



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

EXTENSIÓN LATACUNGA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

**“CONSTRUCCIÓN Y PROGRAMACIÓN DE UN
MÓDULO ELECTRÓNICO PARA COMPROBACIÓN Y
CALIBRACIÓN DE INYECTORES DIESEL CRDI”**

KEVIN ANDRÉS JÁCOME MOROMENACHO

DIEGO ARTURO LÓPEZ NICOLALDE

Tesis presentada como requisito previo a la obtención
del grado de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AÑO 2013

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
EXTENSIÓN LATACUNGA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

NOSOTROS: KEVIN ANDRÉS JÁCOME MOROMENACHO
 DIEGO ARTURO LÓPEZ NICOLALDE

DECLARAMOS QUE:

DECLARAMOS QUE: El presente proyecto denominado “CONSTRUCCIÓN Y PROGRAMACIÓN DE UN MÓDULO ELECTRÓNICO PARA COMPROBACIÓN Y CALIBRACIÓN DE INYECTORES DIESEL CRDI” fue desarrollado con base a una investigación exhaustiva y detallada, respetando derechos intelectuales de autor, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. En tal virtud este trabajo es de nuestra autoría. Por consiguiente, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado anterior mente mencionado.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

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

Latacunga, Diciembre del 2013.

Kevin Andrés Jácome Moromenacho
C.I: 171819311-1

Diego Arturo López Nicolalde
C.I: 100345070-5

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
EXTENSIÓN LATACUNGA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICADO

Ing. Luis Mena (DIRECTOR)
Ing. Stalin Mena (CODIRECTOR)

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado “CONSTRUCCIÓN Y PROGRAMACIÓN DE UN MÓDULO ELECTRÓNICO PARA COMPROBACIÓN Y CALIBRACIÓN DE INYECTORES DIESEL CRDI” realizado por KEVIN ANDRÉS JÁCOME MOROMENACHO Y DIEGO ARTURO LÓPEZ NICOLALDE, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

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

El mencionado trabajo consta de UN documento empastado y UN disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a los señores: KEVIN ANDRÉS JÁCOME MOROMENACHO Y DIEGO ARTURO LÓPEZ NICOLALDE, que lo entreguen al ING. JUAN CASTRO CLAVIJO, en su calidad de Director de la Carrera de Ingeniería Automotriz.

Latacunga, Diciembre del 2013.

Ing. Luis Mena
DIRECTOR

Ing. Stalin Mena
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
EXTENSIÓN LATACUNGA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

NOSOTROS: KEVIN ANDRÉS JÁCOME MOROMENACHO
DIEGO ARTURO LÓPEZ NICOLALDE

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución, del trabajo: “CONSTRUCCIÓN Y PROGRAMACIÓN DE UN MÓDULO ELECTRÓNICO PARA COMPROBACIÓN Y CALIBRACIÓN DE INYECTORES DIESEL CRDI” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Diciembre del 2013.

Kevin A. Jácome M.
C.I: 171819311-1

Diego A. López N.
C.I: 100345070-5

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios por cuidarme, bendecirme con lo que tengo y por darme el talento y gusto por los vehículos, esto fue de gran ayuda a ser perseverante.

Dedico a toda mi familia, pero en especial a mi madre Marlene que gracias a su apoyo, sacrificio, ejemplo y amor me motivo a salir adelante profesionalmente, a mi padre Rodrigo que m cuidas desde el cielo a Edwin por su apoyo incondicional.

Dedico a mis abuelitos Ernesto y Ernestina, hermanos Sebastián, Steven y Erick, tíos Espe, Héctor y Juanita, que gracias a ustedes me motivaron a no darme por vencido, y a buscar solución a todo problema que se me presente.

Andrés Jácome M.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres Luis Arturo y Ruth Patricia por ser mi ejemplo de trabajo, sacrificio y perseverancia, y por dame la oportunidad de prepararme y ser profesional, regalándome la mejor herencia que unos padres pueden dar a sus hijos: la educación.

De manera especial también se lo dedico muy cariñosamente a mi hermano Luis Patricio, quien siendo menor que mí, me ha enseñado a sobrepasar los obstáculos y dificultades que se han presentado en mi vida y por estar a mi lado compartiendo todos los momentos de alegrías y tristezas, buscando siempre salir adelante siendo el mejor en cualquier aspecto de la vida.

Diego López N.

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por darme la vida, y a la virgen del Cisne por ayudarme a culminar sin repetir ninguna materia la malla curricular.

Agradezco a mi Madre Marlene por el apoyo económico y moral, ya que gracias a ti mamacita me enseñaste a buscar mis sueños a luchar por lo que quiero.

Doy gracias a la ESPE-L por haberme abierto las puertas, y por recibirme 5 años en sus aulas, también agradezco a los Ingenieros que me brindaron su conocimiento, y me prepararon para defenderme en el mundo profesional.

Agradezco a mis amigos, que compartimos buenos y malos momentos durante el trascurso de la carrera.

Andrés Jácome M.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios y a la Virgen Dolorosa por permitirme culminar con éxito esta etapa formativa de mi vida.

A mis queridos padres Luis Arturo y Ruth Patricia por ser mi apoyo y respaldo incondicional durante toda mi vida.

A mi hermano Luis Patricio por ser el compañero, amigo y ejemplo a seguir durante todo este tiempo de etapa formativa.

A los amigos y familiares que desinteresadamente me han ayudado a salir a adelante.

A mis profesores y compañeros de aula con quienes he podido compartir conocimientos y experiencias, gracias por ser pilar fundamental en mi formación.

Diego López N.

RESUMEN

El crecimiento del parque automotor en el Ecuador abre un inmenso campo de actuación del Ingeniero Automotriz, quien debe estar a la vanguardia de las nuevas y continuas tecnologías incorporadas por los vehículos, cuyo principal objeto es disminuir las poluciones contaminantes que generan actualmente fenómenos climáticos como el calentamiento global. Dentro de estas tecnologías se presenta el sistema de inyección electrónica diesel CRDI, aplicado en una vasta gama de vehículos que abarcan desde vehículos para el trabajo pesado, así como la gama de vehículos pequeños y de trabajo liviano.

De aquí la creciente necesidad de realizar proyectos enfocados en el mantenimiento y reparación de estos sistemas. Con esto nace la idea de construir y programar un módulo electrónico que acoplado a un banco de alta presión, permita mediante el ingreso de datos generar pulsos electromagnéticos de apertura y cierre del inyector.

Esto permitirá realizar pruebas para determinar el estado de los diferentes inyectores CRDI (DENSO, DELPHI Y BOSCH), estas pruebas basarán su criterio de diagnóstico fundamentalmente en los volúmenes de entrega y retorno de cada inyectores en diferentes ciclos de trabajo (DUTY) y presión, manteniendo o variando el número de repeticiones necesarias para la prueba.

Habiendo generado un criterio acerca del estado del inyector, el técnico propiciará o no una inmediata reparación del mismo.

El proceso de reparación y calibración de los inyectores CRDI (DENSO, DELPHI y BOSCH), formará parte de la capacitación que brindaremos, como complemento del diagnóstico brindado por el modulo comprobador.

Dentro del proceso de elaboración de este proyecto se han usado herramientas informáticas como lo son: ARDUINO 1.0.3 , PROTEUS , SolidWorks 2010 , y un sin número de componentes , en su mayoría electrónicos que conforman los tres circuitos encargados del control , potenciación y transferencia de los pulsos electromagnéticos encargados del generar ciclos de inyección para cada inyector CRDI.

SUMMARY

Fleet growth in Ecuador opens a vast field of action of Automotive Engineer, who should be at the forefront of new technologies and continuous built by vehicles whose primary purpose is to reduce polluting emissions currently generated climatic phenomena such as the global warming. Within these technologies presents electronic injection system diesel CRDI, applied in a wide range of vehicles ranging from cars to heavy work and the range of small cars and light duty.

Hence the growing need for projects focused on the maintenance and repair of these systems. With that the idea to build and program an electronic module coupled to a bank of high pressure allows data entry by electromagnetic pulses generate opening and closing of the injector.

This will allow testing to determine the state of the individual nozzles CRDI (DENSO, DELPHI AND BOSCH), these tests base their diagnostic criteria mainly in delivery volumes and return of each injector in different cycles (DUTY) and pressure maintaining or varying the number of repetitions needed for testing.

Having generated a criterion about the state of the injector, the technician will promote or not an immediate repair.

The process of repair and calibration of the injectors CRDI (DENSO, DELPHI and BOSCH), form part of the training that will provide, as an adjunct to diagnosis module provided by the tester.

In the process of developing this project has used tools such as: ARDUINO 1.0.3, PROTEUS, SolidWorks 2010, and a number of components , most of which make up the three electronic charge control circuits , empowerment and transfer electromagnetic pulse generating charge of injection cycles for each injector CRDI.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	ii
CERTIFICADO.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
AGRADECIMIENTO	viii
RESUMEN	ix
SUMARY	x
ÍNDICE DE CONTENIDOS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xvi
CAPÍTULO 1	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1. Características	1
1.1.1. Pre inyección	2
1.1.2. Inyección principal	3
1.1.3. Inyección posterior.....	3
1.2. Composición del sistema	4
1.2.1. Circuito de baja presión	4
1.2.2. Circuito de alta presión	6
1.3. Composición del sistema electrónico de control	11

1.3.1.	Como funciona.....	11
1.4.	Inyector	12
1.4.1.	Componentes del inyector (BOSCH)	13
1.4.2.	Funcionamiento	14
1.4.3.	Posición de reposo	14
1.4.4.	Inicio de inyección	15
1.4.5.	Posición de trabajo	16
1.4.6.	Fin de inyección.....	16
CAPÍTULO 2		18
SELECCIÓN DE COMPONENTES ESTRUCTURALES		
Y DIMENSIONAMIENTO DEL MÓDULO.		18
2.1.	Descripción de los componentes del módulo de inyectores CRDI.	18
2.1.1.	Placa de mando.....	18
2.1.2.	Placa de potencia	19
2.1.3.	Placa de transferencia	20
2.2.	Selección de la bomba de alta presión.	21
2.3.	Dimensionamiento de la carcasa exterior del módulo de	
	inyección CRDI.	24
2.4.	Selección de controladores del módulo de inyección CRDI.....	25
2.4.1.	Controlador del LCD del módulo.....	25
2.4.2.	Interruptor ON-OFF para el ciclo de trabajo de los inyectores... ..	25
2.4.3.	Controlador Reset del módulo	26
2.5.	Acoplamiento de conectores en el módulo.	27
2.5.2.	Conectores de voltaje y señal del módulo	27
2.5.3.	Conector del inyector del sistema CRDI	28

2.6.	Selección de componentes eléctricos del banco de inyectores	
	CRDI que funcionan conjuntamente con el módulo.	29
2.6.1.	Variador de frecuencia	29
2.6.2.	Contactador	30
2.6.3.	Interruptor automático magneto térmico	30
2.6.4.	Pulsadores	30
2.7.	Selección de componentes electrónicos para el	
	módulo de inyectores CRDI.	31
2.7.1.	Para el circuito de mando	31
2.7.2.	Para el circuito de potencia.....	33
2.7.3.	Para el circuito de transferencia	35
	CAPÍTULO 3.....	37
	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO	37
3.1.	Diseño del circuito electrónico del generador de pulsos de	
	apertura de los inyectores.....	37
3.2.	Diseño y construcción de las placas de control	37
3.2.1.	Placa de mando.....	38
3.2.2.	Placa elevadora de potencia.....	39
3.2.3.	Placa de transferencia	40
3.3.	Fuente de poder.....	41
3.3.1.	Obtención de 12 y 5 Voltios de la fuente de poder	42
3.4.	Impresión de los circuitos controladores del módulo, instalación.....	
	de conexiones y controladores, construcción de la carcasa	
	base estructural del módulo para inyectores CRDI.....	43
3.4.1.	Circuito de mando.....	43

3.4.2.	Circuito de potencia	44
3.4.3.	Circuito de transferencia.....	44
3.5.	Circuito impreso de mando	44
3.6.	Circuito impreso de potencia.....	45
3.7.	Circuito impreso de transferencia.....	46
3.8.	Conexión y alojamiento de los tres circuitos del módulo dentro de la carcasa.....	47
3.9.	Conexión de controladores e indicadores externos del módulo.....	48
3.10.	Funcionamiento del módulo comprobador de inyectores diesel CRDI.....	53
CAPÍTULO 4	.....	60
PROGRAMACIÓN	.....	60
4.1.	Programación del módulo para la calibración de inyectores CRDI.....	60
4.2.	Resultados obtenidos.....	81
CAPÍTULO 5	.....	86
GUÍAS DE LABORATORIO	.....	86
5.1.	Guía de laboratorio comprobación del inyector DENSO	86
5.2.	Guía de laboratorio comprobación del inyector BOSCH.....	90
5.3.	Guía de laboratorio comprobación del inyector DELPHI.....	94
5.4.	Conclusiones	98
5.5.	Recomendaciones	99
BIBLIOGRAFÍA	.....	100
ANEXOS	.....	101

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2

Tabla 2. 1 Características de la Bomba de Alta Presión HP3	23
--	----

CAPÍTULO 3

Tabla 3. 1 Presión de inyectores diesel CRDI	55
--	----

CAPÍTULO 4

Tabla 4. 1 Caudales entrega-retorno iny.BOSCH	82
---	----

Tabla 4. 2 Caudales entrega-retorno iny.DENSO	82
---	----

Tabla 4. 3 Caudales entrega-retorno iny.DELPHI.....	82
---	----

Tabla 4. 4 Diagnóstico de inyectores.	83
--	----

Tabla 4. 5 Especificaciones eléctricas inyector DENSO.	84
---	----

Tabla 4. 6 Tabla de resistencias inyectores CRDI.	84
--	----

Tabla 4. 7 Tabla de resultados.....	85
-------------------------------------	----

ÍNDICE DE GRÁFICOS

CAPÍTULO 1

Figura 1. 1 Desarrollo de la presión inyección.	2
Figura 1. 2 Inyección previa y principal.	3
Figura 1. 3 Circuito de Baja Presión.	4
Figura 1. 4 Partes del filtro de combustible.	6
Figura 1. 5 Circuito de alta presión.	7
Figura 1. 6 Bomba de alta presión.	8
Figura 1. 7 Acumulador de alta presión.	9
Figura 1. 8 Inyector Bosch.	10
Figura 1. 9 Cañerías de combustible.	11
Figura 1. 10 Sensores-Señales de entrada ECU.	12
Figura 1. 11 Esquema interno inyector Bosch.	13
Figura 1. 12 Inyector posición de reposo.	15
Figura 1. 13 Inyector final inyección.	17

CAPÍTULO 2

Figura 2. 1 Bomba HP3	22
Figura 2. 2 Despiece de la Bomba HP3.	22
Figura 2. 3 Vista detallada del módulo.	24
Figura 2. 4 Interruptor LCD	25
Figura 2. 5 Activación interruptor Inyectores.	26
Figura 2. 6 Reset LCD	26
Figura 2. 7 Encendido fuente de energía.	27
Figura 2. 8 Conectores cables de voltaje y señal.	28
Figura 2. 9 Conexión módulo con inyector diesel	28

CAPÍTULO 3

Figura 3. 1 Circuito general del módulo en Live Wire	37
Figura 3. 2 Placa del microprocesador de la placa de mando	39
Figura 3. 3 Placa de potencia	40
Figura 3. 4 Placa de transferencia	41
Figura 3. 5 Vista posterior de la fuente de poder	42

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1. Características

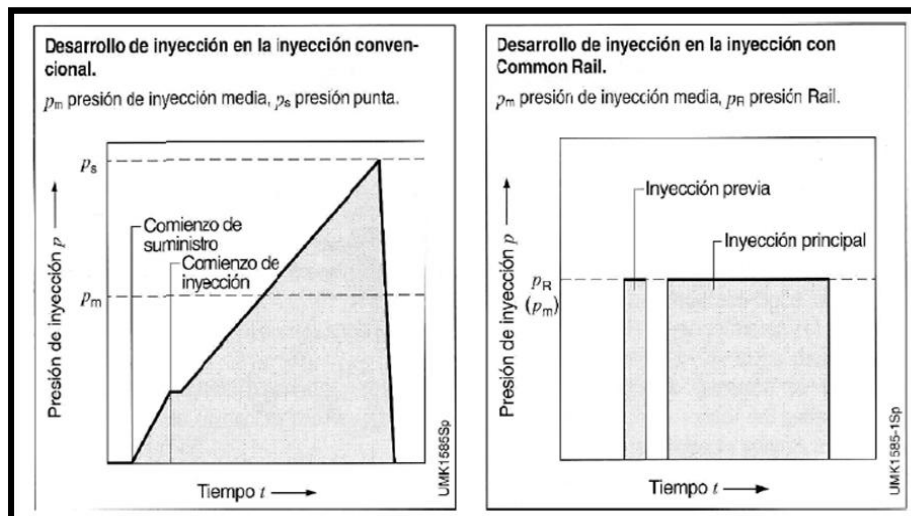
El sistema de Common-rail o conducto común es un sistema de inyección de combustible electrónico para motores diésel de inyección directa en el que el diesel es aspirado directamente del depósito de combustible a una bomba de alta presión y ésta a su vez lo envía a un conducto común para todos los inyectores y por alta presión al cilindro, las características de este sistema en general son las siguientes :

La generación de la presión y el control de la inyección están completamente separados.

La presión de inyección es independiente de la velocidad del motor RPM, es regulable en modo flexible entre 150 y 1350 bares.

Es un sistema completamente de control electrónico.

En el sistema "Common Rail" divide la inyección en una "inyección previa", "inyección principal", y en algunos casos en una "inyección posterior".



Fuente: Cesar Mauri Arruda, Robert Bosch Ltda
Figura 1. 1 Desarrollo de la presión inyección.

1.1.1. Pre inyección

En la inyección previa se aporta al cilindro un pequeño caudal de combustible ($1 \dots 4 \text{ mm}^3$) que generan un acondicionamiento previo de la cámara de combustión, pudiendo mejorar el grado de rendimiento de la combustión y consiguiendo los siguientes efectos:

La presión de compresión aumenta ligeramente mediante una reacción previa o combustión parcial.

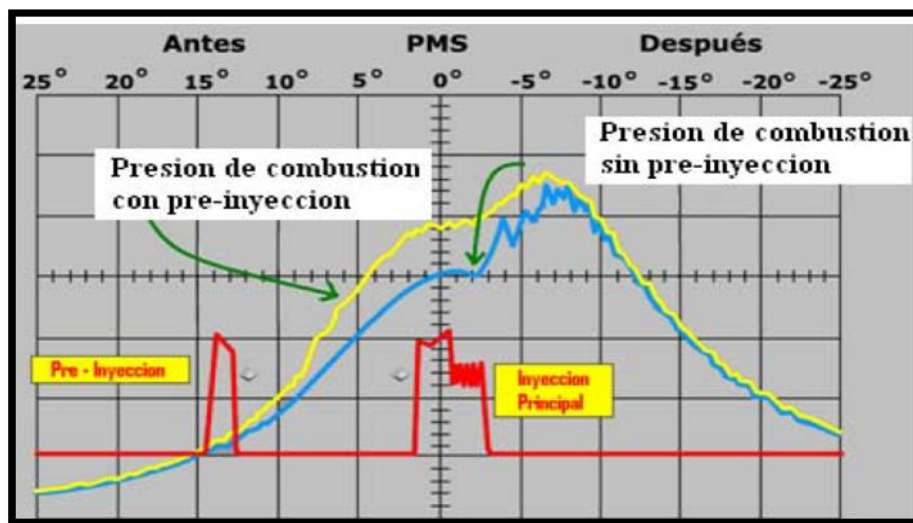
Se reduce el retardo de encendido de la inyección principal.

Se reduce el aumento de la presión de combustión y las puntas de presión de combustión (combustión más suave).

Estos efectos reducen el ruido de combustión, el consumo de combustible. Y en muchos casos, las emisiones.

1.1.2. Inyección principal

Con la inyección principal se aporta la energía para el trabajo realizado por el motor . Asimismo es responsable de la generación del par motor . La magnitud de la presión de inyección es casi constante durante todo el proceso.



Fuente: Cesar Mauri Arruda, Robert Bosch Ltda

Figura 1. 2 Inyección previa y principal.

1.1.3. Inyección posterior

La inyección posterior sigue a la inyección principal durante el tiempo de expansión o de expulsión hasta 200 grados de giro del cigüeñal después del PMS. Esta inyección introduce en los gases de escape una cantidad de combustible exactamente dosificada.

Contrariamente a la inyección previa y a la inyección principal, el combustible no se quema, sino que se evapora por el calor residual en los gases de escape/combustible es conducida en el tiempo de expulsión, a través de las válvulas de escape.

Mediante la retroalimentación de gases de escape se conduce otra vez una parte del combustible a la combustión y actúa como una inyección previa muy avanzada. El combustible en los gases de escape sirve como medio reductor para el óxido de nitrógeno en catalizadores NOx apropiados.

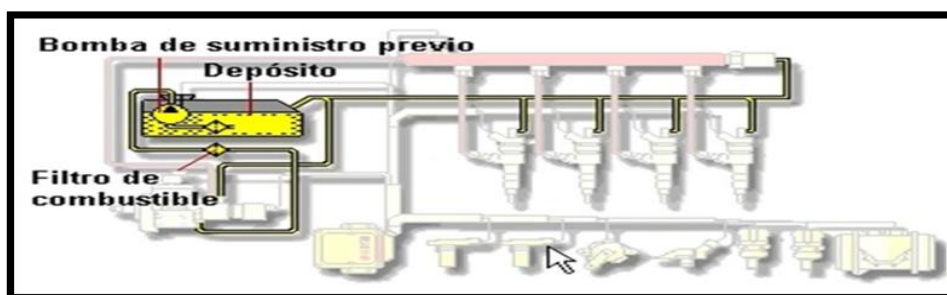
1.2. Composición del sistema

Dentro de la composición de un sistema CRDI identificamos generalmente dos circuitos fundamentales que son: ***Circuito de baja presión y Circuito de alta presión.***

1.2.1. Circuito de baja presión

Se compone de:

- Depósito de combustible
- Bomba de suministro previo
- Filtro de combustible
- Tuberías de conexión.



Fuente: Cesar Mauri Arruda, Robert Bosch Ltda

Figura 1. 3 Circuito de Baja Presión.

- En el circuito de baja presión se aspira el combustible del tanque por medio de una bomba de suministro previo , forzando al combustible a pasar por las líneas al circuito de alta presión.
- Un prefiltro separa los contaminantes del combustible , evitando así el desgaste prematuro de los componentes de alta precisión.

1. Depósito de combustible

Los depósitos de combustible deben ser resistentes a la corrosión y mantenerse estancos incluso a una sobre presión de servicio doble, pero por lo menos hasta 0,3 bares de sobrepresión . La sobrepresión producida debe escapar por sí misma a través de aberturas apropiadas, válvulas de seguridad o similares. El combustible no debe salir por la tapa de la boca de llenado o por los dispositivos para compensación de presión , incluso en posición inclinada .

2. Tuberías de combustible en la parte de baja presión.

Para la parte de baja presión pueden emplearse además de tubos de acero , también tuberías flexibles , con armadura de malla de acero , que sean difícilmente inflamables . Las tuberías de combustible no deben quedar afectadas en su funcionamiento en caso de una deformación del vehículo, un movimiento del motor o similares.

3. Filtro de combustible

Un filtrado insuficiente puede originar daños en componentes de la bomba, válvulas de presión y en los inyectores .El filtro de combustible limpia el combustible delante de la bomba de alta presión e impide así el desgaste prematuro de las piezas sensibles.



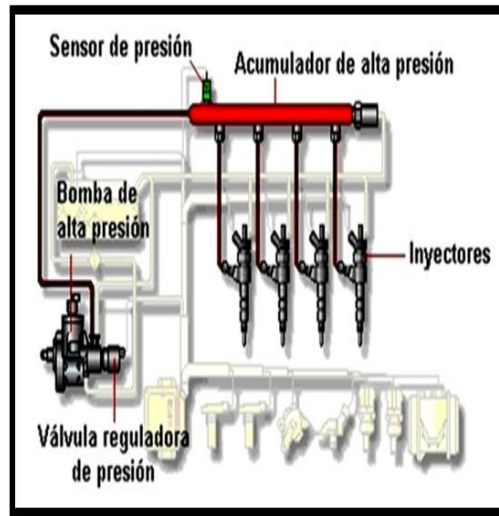
Fuente: Autores

Figura 1. 4 Partes del filtro de combustible.

1.2.2. Circuito de alta presión

Se compone de :

- Bomba de alta presión.
- Acumulador de alta presión con sensor de alta presión.
- Inyectores.
- Tuberías de alta presión.



Fuente: Cesar Mauri Arruda, Robert Bosch Ltda

Figura 1. 5 Circuito de alta presión.

a) Genera y almacena alta presión

El combustible pasa a través del filtro de combustible a la bomba de alta presión que lo fuerza dentro del acumulador (riel) de alta presión generando una presión máxima de 1350 bares.

Para todo proceso de inyección el combustible se toma desde el acumulador de alta presión. La presión del riel permanece constante. Se emplea una válvula de control de presión para asegurar que la presión del riel no exceda el valor deseado o descienda.

b) Control dinámico de la presión del riel

La válvula de control de presión es activada por la UCE. Una vez abierta permite que el combustible regrese al tanque vía líneas de retorno y la presión del riel cae. Para que la UCE pueda activar la válvula de control de presión en forma correcta, se mide la presión en forma correcta, se mide la presión del riel por medio de un sensor de presión.

c) Inyección de combustible

Cada vez que se inyecta combustible, se extrae del riel a alta presión y se inyecta directamente al cilindro. Cada cilindro tiene su propio inyector.

Cada inyector tiene una válvula solenoide que recibe el comando de apertura desde la UCE. Mientras permanece abierto se inyecta combustible en la cámara de combustión de los cilindros.

d) Componentes del circuito de alta presión.

1. Bomba de alta presión:

La bomba tiene la misión de poner siempre a disposición suficiente combustible comprimido , en todos los regímenes de servicio y durante toda la vida útil del vehículo . Esto incluye el mantenimiento de una reserva de combustible necesaria para un proceso de arranque rápido y un aumento rápido de la presión en el riel. La bomba de alta presión genera permanentemente la presión del sistema para el acumulador de alta presión. La bomba es accionada por el motor , a través de acoplamiento , la bomba se lubrica con combustible.



Fuente: Autores

Figura 1. 6 Bomba de alta presión.

2. Acumulador de alta presión (Rail):

Es un canal donde se almacena el combustible a presión que llega de la bomba y del que se abastecen los inyectores. Su misión es almacenar el combustible necesario para abastecer a todos los inyectores sin que se produzcan bajadas de presión, y amortiguar las pulsaciones que se producen a la salida de la bomba de alta presión y la toma de combustible durante la inyección.

La presión en el distribuidor de combustible es común para todos los cilindros, se mantiene a un valor casi constante incluso al extraer grandes cantidades de combustible. Con esto se asegura que permanezca constante la presión de inyección al abrir el inyector.

La presión del combustible se mide mediante el sensor de presión del riel y se regula al valor deseado mediante la válvula reguladora de presión.



Fuente: Autores

Figura 1. 7 Acumulador de alta presión.

3. Inyectores:

El comienzo de inyección y el caudal de inyección se ajustan con el inyector activado eléctricamente. Las toberas de estos inyectores abren cuando se libera el flujo de combustible a través de una electroválvula controlada. Las toberas inyectan el combustible directamente en las

cámaras de combustión del motor. La función del inyector puede dividirse en cuatro estados de servicio, con el motor en marcha y bomba de alta presión funcionando:

- Inyector cerrado (con alta presión presente)
- Inyector abre (comienzo de inyección)
- Inyector totalmente abierto.
- Inyector cerrado (final de inyección).

El combustible excedente, retorna al depósito de combustible a través de una tubería colectiva en la cual desembocan también los conductos de retorno de la válvula reguladora de presión y de la parte de baja presión, así como del caudal de lubricación de la bomba de alta presión.



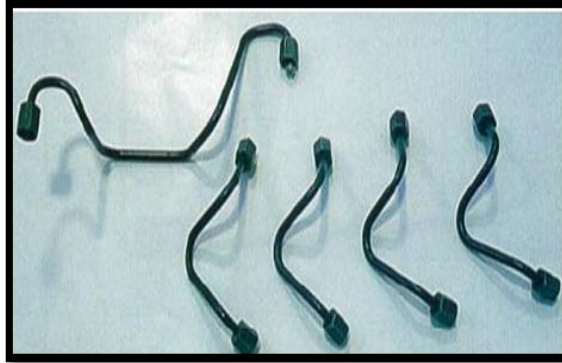
Fuente: Autores

Figura 1. 8 Inyector Bosch.

4. Tuberías de combustible en la parte de alta presión:

Las tuberías de alta presión deben soportar permanentemente la presión máxima del sistema y las oscilaciones de presión que se producen durante las pausas de inyección . Por este motivo , las tuberías constan de tubos de acero . Normalmente presentan un diámetro exterior de 6 mm y un diámetro interior de 2,4 mm . Las diferentes distancias entre el riel y los inyectores se compensan mediante curvaturas más o menos pronunciadas en el correspondiente tendido de las tuberías de inyección .

La longitud de tubería es lo más corta posible.



Fuente: Cesar Mauri Arruda, Robert Bosch Ltda

Figura 1. 9 Cañerías de combustible.

1.3. Composición del sistema electrónico de control

La regulación electrónica diesel con Common rail se divide en tres bloques de sistema:

1. Sensores
2. Unidad de mando
3. Actuadores

1.3.1. Como funciona

1. Sensores:

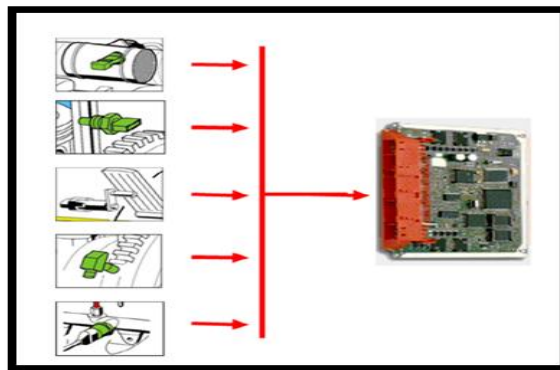
Son elementos que informan mediante la transformación diversas magnitudes físicas en señales eléctricas, a la unidad de control sobre los parámetros indicados.

La diferencia entre el sistema de control electrónico de un vehículo a gasolina con uno equipado con CRDI , va a ser el aumento de un sensor en la parte del Rail , cuyas siglas se denominan FRP , el cual

está encargado de censar la presión generada dentro del riel , para su pertinente evacuación o elevación según se necesite.

De igual manera en la bomba de alta presión se ubica una válvula encargada de medir la presión generada por la bomba.

Esta válvula será denominada IPR. Dentro del rail un sistema CRDI será capaz de generar una variación de presión que va desde los 5000 PSI hasta los 25000 PSI, según el régimen de prueba.



Fuente: Diesel Levante srl.

Figura 1. 10 Sensores-Señales de entrada ECU.

1.4. Inyector

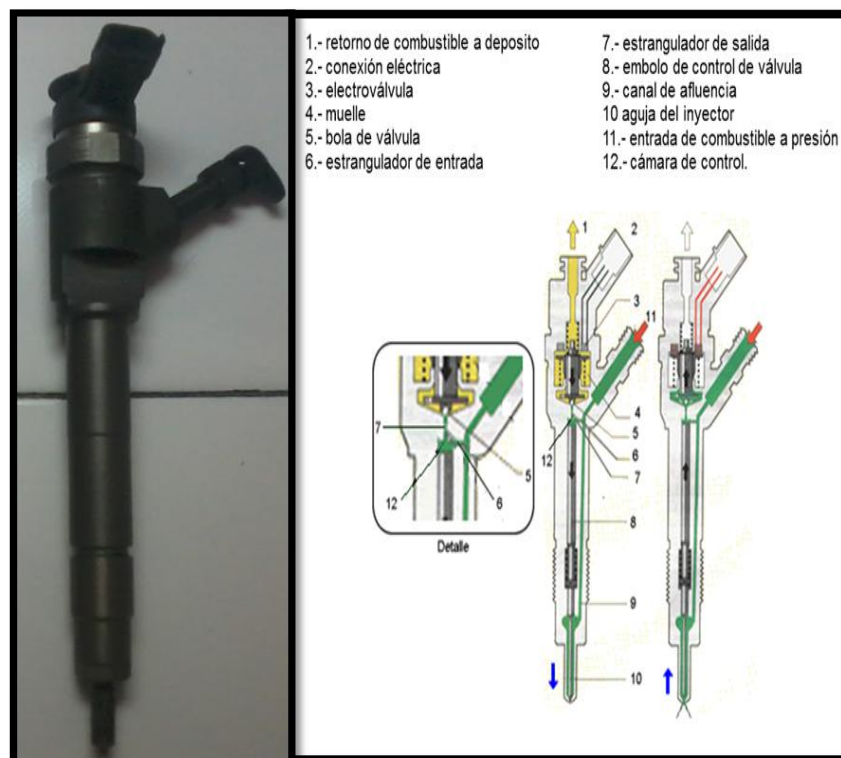
El inyector utilizado en los sistemas Common Rail se activa de forma eléctrica a diferencia de los utilizados en sistemas que utilizan bomba rotativa que inyectan de forma mecánica. Con esto se consigue más precisión a la hora de inyectar el combustible y se simplifica el sistema de inyección.

De aquí lo mencionado anteriormente acerca de la aparición de tres inyecciones en este tipo de inyectores, vamos a tener una pre – inyección, una inyección principal y una post inyección. Todo esto generado a través

de parámetros de funcionamiento y régimen del motor a través de los sensores.

Cabe recalcar que estos inyectores son de tipo inductivo ya que cada tipo DENSO, DELPHI y BOSCH tienen incorporados una bobina, que es la que al recibir pulsos electromagnéticos permitirá abrir y cerrar el inyector.

1.4.1. Componentes del inyector (BOSCH)



Fuente: Cesar Mauri Arruda, Robert Bosch Ltda
Figura 1. 11 Esquema interno inyector Bosch.

1.4.2. Funcionamiento

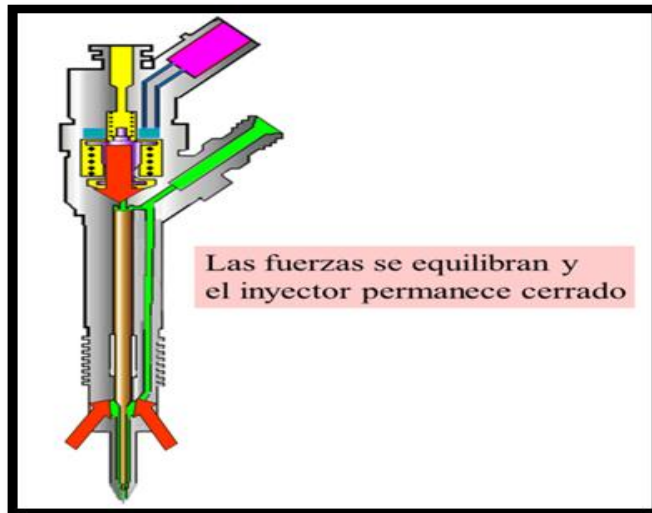
La función del inyector puede dividirse en cuatro estados de servicio, con el motor en marcha y la bomba de alta presión funcionando:

1. Inyector cerrado (con alta presión presente).
2. El inyector abre (comienzo de inyección)
3. Inyector totalmente abierto.
4. El inyector cierra (final de inyección).

Si el motor no está en marcha la presión de un muelle mantiene el inyector cerrado.

1.4.3. Posición de reposo

La electroválvula no está activada (estado de reposo) y por lo tanto se encuentra cerrado el estrangulamiento de salida que hace que la presión del combustible sea igual en la cámara de control que en el volumen de cámara de la tobera por lo que la aguja del inyector permanece apretado sobre su asiento en la tobera empujada (la aguja) por el muelle del inyector, pero sobre todo la aguja se mantiene cerrada porque la presión en la cámara de control y en el volumen de cámara de la tobera (que son iguales) actúan sobre áreas distintas. La primera actúa sobre el émbolo de control y la segunda sobre la diferencia de diámetros de la aguja, que es un área menor y por tanto la fuerza que empuja a la aguja contra el asiento es mayor que la fuerza en sentido contrario, que tendería a abrirla. El muelle, aunque ayuda, aporta una fuerza muy pequeña.



Fuente: Diesel Levante srl.

Figura 1. 12 Inyector posición de reposo.

1.4.4. Inicio de inyección

El inyector se encuentra en posición de reposo. La electroválvula es activada con la llamada corriente de excitación que sirve para la apertura rápida de la electroválvula. La fuerza del electroimán activado ahora es superior a la fuerza del muelle de válvula, y el inducido abre el estrangulador de salida. En un tiempo mínimo se reduce la corriente de excitación aumentada a una corriente de retención del electroimán más baja. Con la apertura del estrangulador de salida puede fluir ahora combustible, saliendo del recinto de control de válvula hacia el recinto hueco situado por encima, y volver al depósito de combustible a través de las tuberías de retorno. El estrangulador de entrada impide una compensación completa de la presión, y disminuye la presión en la cámara de control de válvula. Esto conduce a que la presión en la cámara de control sea menor que la presión existente en la cámara de la tobera. La presión disminuida en la cámara de control de la válvula conduce a una disminución de la fuerza sobre el émbolo de mando y da lugar a la apertura de la aguja del inyector. Comienza ahora la inyección.

La velocidad de apertura de la aguja del inyector queda determinada por la diferencia de flujo entre el estrangulador de entrada y de salida.

1.4.5. Posición de trabajo

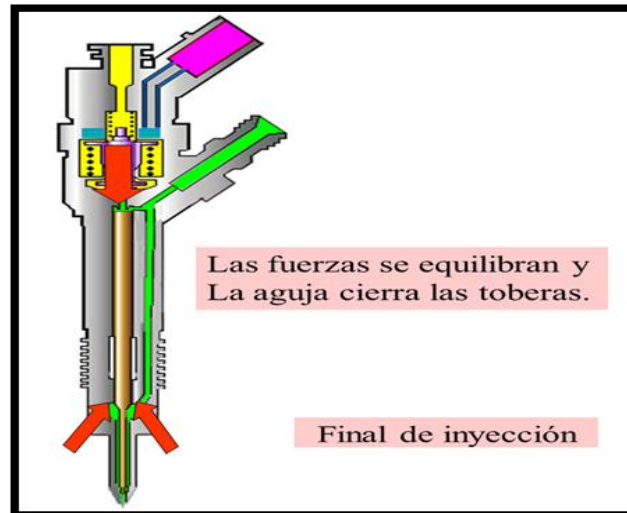
El inyector se encuentra totalmente abierto. El émbolo de mando alcanza su tope superior y permanece allí sobre un volumen de combustible de efecto amortiguador. Este volumen se produce por el flujo de combustible que se establece entre el estrangulador de entrada y de salida. La tobera del inyector esta ahora totalmente abierta y el combustible es inyectado en la cámara de combustión con una presión que corresponde aproximadamente a la presión en el Rail. La distribución de fuerzas en el inyector es similar a la existente durante la fase de apertura.

1.4.6. Fin de inyección

Cuando deja de activarse la electroválvula, el inducido es presionado hacia abajo por la fuerza del muelle de válvula y la bola cierra el estrangulador de salida. El inducido presenta una ejecución de dos piezas. Aunque el plato del inducido es conducido hacia abajo por un arrastrador, puede sin embargo moverse elásticamente hacia abajo con el muelle de reposición, sin ejercer así fuerza hacia abajo sobre el inducido.

Al cerrarse el estrangulador de salida se forma de nuevo en el recinto de control una presión como en el Rail, a través del estrangulador de entrada. Este aumento de presión supone un incremento de fuerza ejercido sobre el embolo de mando. Esta fuerza del recinto de control de válvula y la fuerza del muelle, superan ahora la fuerza del volumen de la cámara de tobera y se cierra sobre su asiento la aguja del inyector.

La velocidad de cierre de la aguja del inyector queda determinada por el flujo del estrangulador de entrada.



Fuente: Diesel Levante srl.

Figura 1. 13 Inyector final inyección.

CAPÍTULO 2

SELECCIÓN DE COMPONENTES ESTRUCTURALES Y DIMENSIONAMIENTO DEL MÓDULO.

2.1. Descripción de los componentes del módulo de inyectores CRDI.

El módulo de inyectores CRDI está constituido fundamentalmente por:

2.1.1. Placa de mando

Llamaremos “placa de mando” al circuito impreso que incorpora un microprocesador capaz de generar pulsos de excitación a la bobina de los diferentes inyectores CRDI, para producir ciclos de inyección propios de cada tipo.

Alimentaremos de manera diferenciada a este circuito con un voltaje continuo de 5 voltios, generados en base a una fuente de poder de un ordenador cualquiera.

A parte del fundamental microprocesador en esta “placa” incorporaremos una serie de componentes electrónicos adicionales, los cuales detallamos a continuación:

- 1 Microprocesador (ATMEGA328P-PV)
- 2 Transistores (2N3904)
- 1 Pantalla LCD (JHD539M8)
- 1 Bus de datos de 12 pines (control de pantalla LCD)
- 1 Bus de datos de 6 pines (comunicación con placa elevadora V)

- 2 Condensadores cerámicos 22pf
- 2 Condensadores cerámicos 103pf
- 2 Condensadores de 1000µf 25V 105⁰C
- 1 Estabilizador de oscilaciones 16000
- 4 Led
- 6 Pulsadores
- 2 Resistencia de 1 KΩ
- 3 Resistencias de 10 kΩ
- 4 Resistencias de 330 Ω

2.1.2. Placa de potencia

Denominaremos como “placa de potencia” al circuito impreso alimentado por un voltaje continuo de 12 voltios generados de manera diferenciada por una fuente de poder de ordenador, y que es capaz de elevar el voltaje hasta 110 voltios en reposo, y en un ciclo de trabajo este valor disminuye hasta llegar a un valor estable de 80 voltios, necesarios para el trabajo de los inyectores CRDI.

Dentro de la estructura del circuito se incluye un integrado de tipo 555 el cual actúa como un oscilador, función que permite cargar y descargar los condensadores igualmente presentes en el circuito.

Los componentes electrónicos complementarios del circuito de “potencia” se detallan a continuación:

- 1 Circuito integrado 555
- 2 Diodos rectificadores
- 1 Rectificador de silicio (NTE 581)
- 2 Condensadores 330mf 200WV 105⁰C

- 2 Condensadores de 1000mf 25V 105⁰C
- 1 Condensador 103μf
- 1 Condensador 104μf
- 1 Rectificador de silicio (NTE 581)
- 1 Transformador de voltaje
- 1 Resistencia de 220Ω
- 1 Resistencia de 47Ω
- 1 LED
- 2 Diodos rectificadores
- 1 Pulsador (ON/OFF)
- 1 Transistor (IRFP 250N)
- 5 Conectores

2.1.3. Placa de transferencia

El circuito impreso denominado “placa de transferencia” será el medio físico receptor de señales generadas tanto por el circuito de mando como por el circuito de potencia, y a su vez será el transmisor y controlador de los pulsos de activación por ciclo de trabajo de los diferentes inyectores CRDI.

La alimentación para este circuito es de 12 voltios continuos generados de manera diferenciada por una fuente de ordenador.

Para cumplir su función el circuito de transferencia incorpora los siguientes componentes electrónicos:

- 1 Transistor MOSFET (IRFP460)
- 1 Transistor CHN048
- 1 Octocoplador (4N25)
- 1 Diodo rectificador

- 1 Resistencia de 220 Ω
- 1 Resistencia de 10K Ω
- 1 Resistencia de 100 Ω
- 1 Disipador de calor
- 5 Conectores

2.2. Selección de la bomba de alta presión.

La bomba de alta presión será la que abastezca de combustible al riel de inyectores incorporado a la estructura que servirá de soporte mecánico para las pruebas de comprobación de inyectores CRDI : Denso, Delphi y Bosch. En nuestro caso el régimen de giro de esta bomba será controlado por el giro de un motor trifásico comandado a su vez por un variador, el cual a través de un potenciómetro nos permitirá aumentar o disminuir progresivamente las rpm del motor y con ello controlar el caudal de salida de la bomba.

Las características propias de la bomba seleccionada son las siguientes:
Es una bomba **DENSO** incorporada por lo general en vehículos Toyota, para nuestro caso específico en la camioneta Toyota HILUX.
Es una bomba de tipo pistón que trabaja por rotación del eje, con una leva excéntrica que permite el movimiento alternante de los pistones al interior de la bomba.

Incorpora en su mismo conjunto una bomba de engranajes lo que elimina el uso de una bomba separada de transferencia.

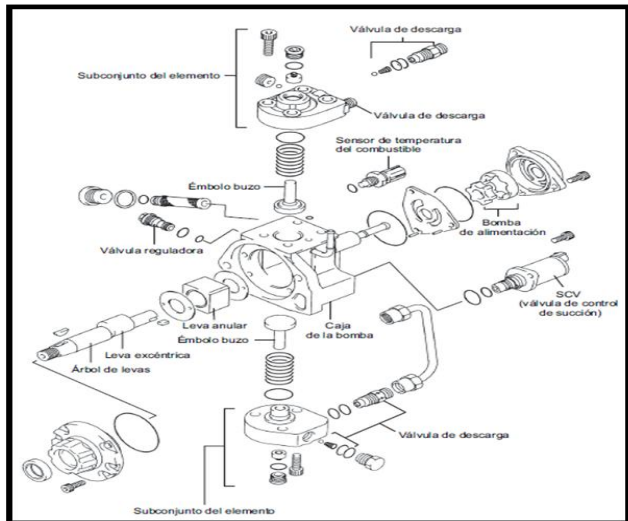
El paso de combustible será controlado por una electroválvula denominada SCV, que trabajara por medio de pulsos y de acuerdo a la necesidad de presión en el sistema.

Puede alcanzar una presión de alta de hasta 1800 bares.



Fuente: Autores

Figura 2. 1 Bomba HP3



Fuente: Diesel Levante srl.

Figura 2. 2 Despiece de la Bomba HP3

Tabla 2. 1 Características de la Bomba de Alta Presión HP3

Piezas componentes		Funciones
Bomba de Alimentación		Aspira el combustible desde el depósito y se lo suministra al émbolo buzo
Válvula reguladora		Regula la presión del combustible en la bomba de suministro
SCV (Válvula de control de succión)		Controla el volumen de combustible que se suministra a los émbolos buzo
Unidad de Bomba	Leva excéntrica	Activa la leva anular
	Leva anular	Activa el émbolo buzo
	Émbolo buzo	Se mueve en vaivén para aspirar y comprimir el combustible.
Válvula de succión		Evitar el flujo inverso de combustible comprimido hacia la SCV
Válvula de descarga		Evitar el flujo inverso desde la rampa del combustible que se bombea desde el émbolo buzo
Bomba		bomba

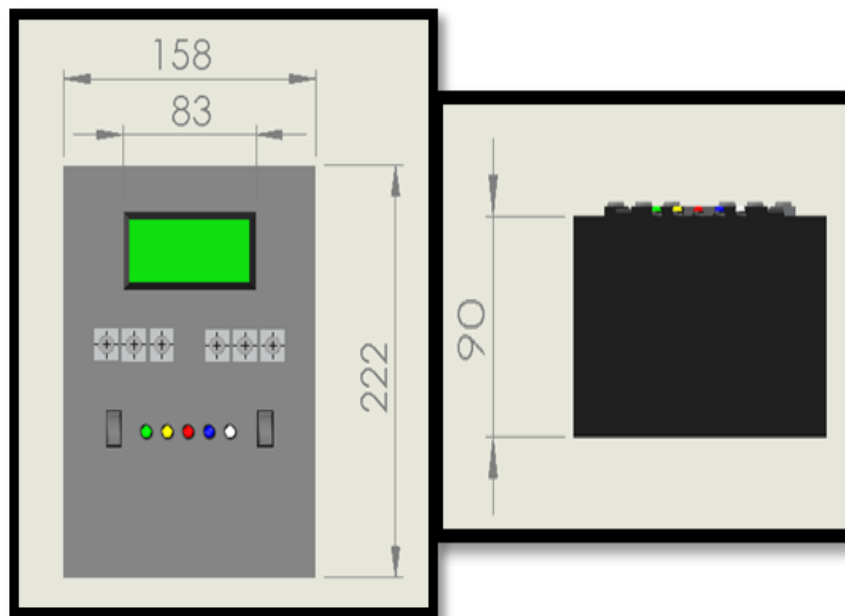
Fuente: Diesel Levante srl.

2.3. Dimensionamiento de la carcasa exterior del módulo de inyección CRDI.

La carcasa será el alojamiento protector en donde ubicaremos independientemente cada uno de los tres circuitos impresos que conjuntamente permitirán el funcionamiento del módulo, todo esto dentro del alojamiento de la carcasa.

Debemos considerar de igual manera que se deben maquinar alojamientos en la parte exterior de la carcasa para ubicar componentes de mando y control, como son la pantalla LCD, pulsadores de selección y LED indicadores de los pulsos enviados por ciclo de trabajo.

Por todo ello hemos considerado un área para la carcasa de 35076 mm^2 , y una superficie total de 3156840 mm^3 :



Fuente: Autores

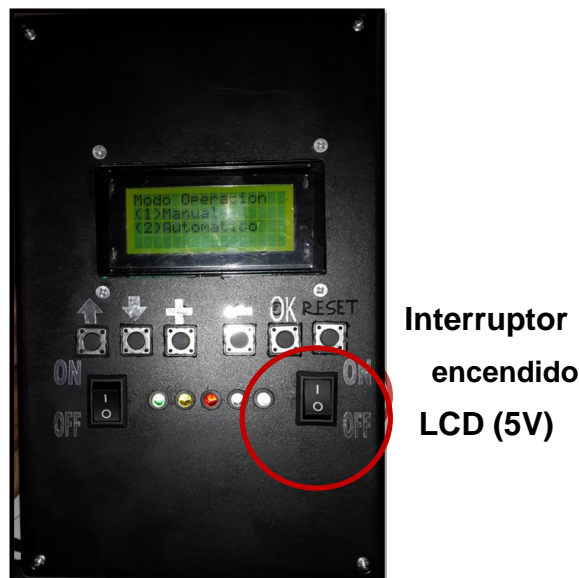
Figura 2. 3 Vista detallada del módulo

2.4. Selección de controladores del módulo de inyección CRDI.

Dentro de los controladores tendremos especialmente interruptores que permitirán energizar los circuitos de control, potencia y transferencia del módulo comprobador, entre ellos los siguientes:

2.4.1. Controlador del LCD del módulo

Seleccionamos un interruptor de tipo ON-OFF para el encendido o apagado de la pantalla LCD.



Fuente: Autores

Figura 2. 4 Interruptor LCD

2.4.2. Interruptor ON-OFF para el ciclo de trabajo de los inyectores.

Este interruptor servirá para activar el circuito de potencia del módulo comprobador, en este caso se dirigirán los 12 voltios hacia la placa de potencia en donde se conmutarán los valores de voltaje superiores

necesarios para generar los pulsos electromagnéticos de apertura y cierre de los inyectores.



Interruptor ciclo trabajo
Potencia: (12 V)

Fuente: Autores

Figura 2. 5 Activación interruptor Inyectores

2.4.3. Controlador Reset del módulo

Permitirá al usuario regresar desde cualquier función al menú principal de selección.



Fuente: Autores

Figura 2. 6 Reset LCD

2.5. Acoplamiento de conectores en el módulo.

Los conectores servirán para comunicar tanto la fuente de poder con el módulo, como el módulo con los inyectores a probar.

2.5.1. Conector de fuente de energía



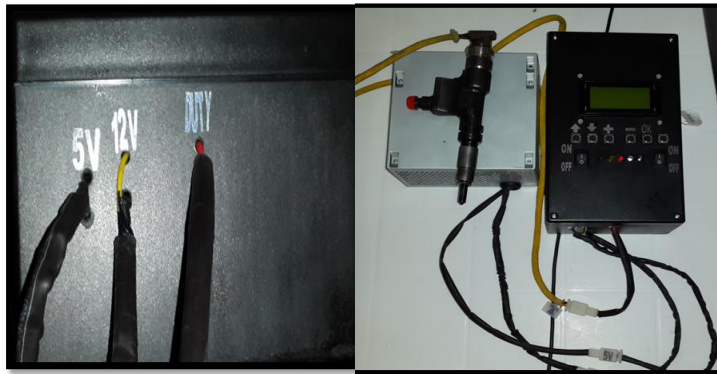
Fuente: Autores

Figura 2. 7 Encendido fuente de energía

Nuestra fuente al no disponer de interruptor de pared de encendido o apagado (ON - OFF), basta con conectar el cable de alimentación **110 V**.

2.5.2. Conectores de voltaje y señal del módulo

La fuente de poder y el módulo de comprobación se conectan a través de los cables de voltaje.

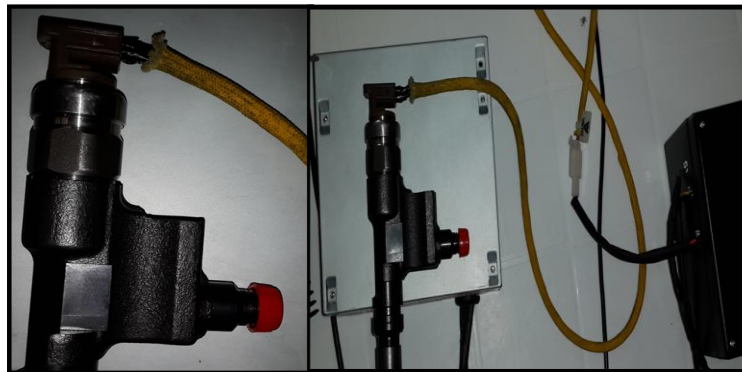


Fuente: Autores

Figura 2. 8 Conectores cables de voltaje y señal

2.5.3. Conector del inyector del sistema CRDI

Para cada inyector a diagnosticar en el comprobador se dispondrá de conectores propios para cada uno, con acoples de fácil y rápido montaje de manera que se facilite cada proceso de prueba.



Fuente: Autores

Figura 2. 9 Conexión módulo con inyector diésel

2.6. Selección de componentes eléctricos del banco de inyectores CRDI que funcionan conjuntamente con el módulo.

2.6.1. Variador de frecuencia

Como se explicó en la sección de la bomba de alta presión, se ha de incorporar un variador de frecuencia conectado a un motor trifásico, para dar el movimiento de rpm variable a la bomba, esto permitirá abastecer combustible a presión al riel de inyectores.

Cabe recalcar que al módulo generara pulsos eléctricos en ciclos de trabajo variables que permitan excitar las bobinas de los inyectores, pero para que se produzca la inyección deseada se requiere un suministro constante de combustible a presión al inyector, de esto se encarga el giro de la bomba y de su calibración a través del variador de frecuencia.

Explicado esto a continuación resumiremos las características del variador de frecuencia a seleccionar:

Los variadores de frecuencia tienen como función principal el convertir y modular la energía que recibe el motor; además permiten variar la velocidad y la frecuencia de los motores trifásicos, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables.

Otras aplicaciones son:

- Movimientos complejos
- Regulación sin golpes mecánicos
- Dominio de par y la velocidad
- Mecánica delicada

Entre los componentes fundamentales de un variador podemos mencionar:

2.6.2. Contactor

Es un mecanismo que tiene por misión cerrar unos contactos, para permitir el paso de la corriente a través de ellos. Este cierre ocurre cuando la bobina del Contactor recibe corriente eléctrica, comportándose como electroimán y atrayendo dichos contactos.

2.6.3. Interruptor automático magneto térmico

Su misión es la de proteger a la instalación y al motor, abriendo el circuito en los siguientes casos:

- **Cortocircuito:** En cualquier punto de la instalación.
- **Sobrecarga:** Cuando la intensidad consumida en un instante, supera la intensidad a la que está calibrado el magneto térmico.

2.6.4. Pulsadores

Los pulsadores son elementos de accionamiento que sirven para cerrar o abrir un circuito permitiendo el paso o no de la corriente a través de ellos. Existen tres tipos: Pulsador de paro, pulsador de marcha y pulsador de doble cámara.

2.7. Selección de componentes electrónicos para el módulo de inyectores CRDI.

A continuación se detallará ciertas características fundamentales de los componentes electrónicos que integran los tres circuitos o placas integrantes del módulo para inyectores CRDI.

2.7.1. Para el circuito de mando

a) Microprocesador (ATMEGA328P-PV) : Atmel ATmega328 de 8-bits microprocesadores AVR ® son de alto rendimiento basados en RISC dispositivos que combinan ISP 32KB de memoria flash con capacidades de lectura y escritura, mientras que 1KB EEPROM, SRAM 2KB, 23 de propósito general líneas de E / S, de 32 años de uso general de trabajo registros, USART programable de serie, y más. Atmel ATmega328 MCUs ejecutar instrucciones potentes en un solo ciclo de reloj, permitiendo que el dispositivo para lograr rendimientos se aproximen 1 MIPS por MHz y equilibrar el consumo de energía y velocidad de procesamiento.

b) Bus de datos de 12 pines: Sistema digital que transfiere datos entre los componentes de una computadora o entre computadoras. Está formado por cables o pistas en un circuito impreso, dispositivos como resistores y condensadores además de circuitos integrados.

Permite la conexión lógica entre distintos subsistemas de un sistema digital, enviando datos entre dispositivos de distintos órdenes: desde dentro de los mismos circuitos integrados.

La mayoría de los buses están basados en conductores metálicos por los cuales se transmiten señales eléctricas que son enviadas y recibidas con la ayuda de integrados que poseen una interfaz del bus dado y se encargan de manejar las señales y entregarlas como datos útiles. Las señales digitales que se transmiten son de datos de direcciones o señales de control.

Los buses definen su capacidad de acuerdo a la frecuencia máxima de envío y al ancho de los datos. Por lo general estos valores son inversamente proporcionales: si se tiene una alta frecuencia, el ancho de datos debe ser pequeño.

c) Pantalla LCD (JHD539M8): Una pantalla de cristal líquido o LCD es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora. A menudo se utiliza en dispositivos electrónicos de pilas, ya que utiliza cantidades muy pequeñas de energía eléctrica.

d) Estabilizador de oscilaciones 16000: Es un dispositivo electrónico diseñado para mantener un nivel de voltaje constante.

Los estabilizadores se encuentran en dispositivos como las fuentes de alimentación de los computadores, donde estabilizan los voltajes DC usados por el procesador y otros elementos. En los alternadores de los automóviles y en las plantas generadoras, los reguladores de voltaje controlan la salida de la planta. En un sistema de distribución de energía eléctrica, los reguladores de voltaje pueden instalarse en una subestación o junto con las líneas de distribución de forma que todos los consumidores reciban un voltaje constante independientemente de que tanta potencia exista en la línea.

2.7.2. Para el circuito de potencia

a) **Circuito integrado 555:** El circuito integrado 555 es un circuito integrado de bajo costo y de grandes prestaciones. Entre sus aplicaciones principales cabe destacar las de multivibrador estable (dos estados metaestables) y monoestable (un estado estable y otro metaestables), detector de impulsos, etcétera.

Está constituido por una combinación de comparadores lineales, flip-flops (biestables digitales), transistor de descarga y excitador de salida

La descripción de los terminales está dada así:

- **GND** (normalmente la 1): es el polo negativo de la alimentación, generalmente tierra.
- **Disparo** (normalmente la 2): Es en esta patilla, donde se establece el inicio del tiempo de retardo, si el 555 es configurado como monoestable. Este proceso de disparo ocurre cuando este pin va por debajo del nivel de $1/3$ del voltaje de alimentación. Este pulso debe ser de corta duración, pues si se mantiene bajo por mucho tiempo la salida se quedará en alto hasta que la entrada de disparo pase a alto otra vez.
- **Salida** (normalmente la 3): Aquí veremos el resultado de la operación del temporizador, ya sea que esté conectado como monoestable, astable u otro. Cuando la salida es alta, el voltaje será el voltaje de alimentación (V_{cc}) menos 1.7 Voltios. Esta salida se puede obligar a estar en casi 0 voltios con la ayuda de la patilla de reset (normalmente la 4).
- **Reset** (normalmente la 4): Si se pone a un nivel por debajo de 0.7 Voltios, pone la patilla de salida a nivel bajo. Si por algún motivo esta patilla no se utiliza hay que conectarla a V_{cc} para evitar que el 555 se "reseteo".

- **Control de voltaje** (normalmente la 5): Cuando el temporizador se utiliza en el modo de controlador de voltaje, el voltaje en esta patilla puede variar casi desde V_{cc} (en la práctica como $V_{cc} - 1$ voltio) hasta casi 0 V (aprox. 2 Voltios). Así es posible modificar los tiempos en que la salida es multivibrador astable y como multivibrador monoestable. Puede también configurarse para por ejemplo generar formas de onda tipo Rampa

b) Rectificador de silicio (NTE 581): El rectificador controlado de silicio (en inglés CSR: Silicon Controlled Rectifier) es un tipo de tiristor formado por cuatro capas de material semiconductor con estructura PNPN o bien NPNP. El nombre proviene de la unión de Tiratrón (tyratron) y Transistor.

Un SCR posee tres conexiones: ánodo, cátodo y gate (puerta). La puerta es la encargada de controlar el paso de corriente entre el ánodo y el cátodo. Funciona básicamente como un diodo rectificador controlado, permitiendo circular la corriente en un solo sentido. Mientras no se aplique ninguna tensión en la puerta del SCR no se inicia la conducción y en el instante en que se aplique dicha tensión, el tiristor comienza a conducir. Trabajando en corriente alterna el SCR se des excita en cada alternancia o semiciclo. Trabajando en corriente continua, se necesita un circuito de bloqueo forzado, o bien interrumpir el circuito.

El pulso de disparo ha de ser de una duración considerable, o bien, repetitivo si se está trabajando en corriente alterna. En este último caso, según se atrase o adelante el pulso de disparo, se controla el punto (o la fase) en el que la corriente pasa a la carga. Una vez arrancado, podemos anular la tensión de puerta y el tiristor continuará conduciendo hasta que la corriente de carga disminuya

por debajo de la corriente de mantenimiento (en la práctica, cuando la onda senoidal cruza por cero)

Los SCR se utilizan en aplicaciones de electrónica de potencia, en el campo del control, especialmente control de motores, debido a que puede ser usado como interruptor de tipo electrónico.

Las características del NTE 581 son:

- Conmutación rápida
- Bajo nivel de fugas
- Caída de tensión baja
- Alta capacidad de corriente
- Alta capacidad de sobretensión
- Alta fiabilidad

2.7.3. Para el circuito de transferencia

a) Octocoplador: El octocoplador combina un LED y un fototransistor. La tensión de la fuente de la izquierda y la resistencia en serie una corriente en el LED emisor cuando se cierra el interruptor S1. Si dicha corriente proporciona un nivel de luz adecuado, al incidir sobre el fototransistor lo saturará, generando una corriente en R2. De este modo la tensión de salida será igual a cero con S1 cerrado y a V2 con S1 abierto. Si la tensión de entrada varía, la cantidad de luz también lo hará, lo que significa que la tensión de salida cambia de acuerdo con la tensión de entrada. De este modo el dispositivo puede acoplar una señal de entrada con el circuito de salida, aunque hay que tener en cuenta que las curvas tensión/luz del LED no son lineales, por lo que la señal puede distorsionarse. Se venden optocopladores especiales para este propósito,

diseñados de forma que tengan un rango en el que la señal de salida sea casi idéntica a la de entrada.

La ventaja fundamental de un optoacoplador es el aislamiento eléctrico entre los circuitos de entrada y salida. Mediante el optoacoplador, el único contacto entre ambos circuitos es un haz de luz. Esto se traduce en una resistencia de aislamiento entre los dos circuitos del orden de miles de MΩ. Estos aislamientos son útiles en aplicaciones de alta tensión en las que los potenciales de los dos circuitos pueden diferir en varios miles de voltios.

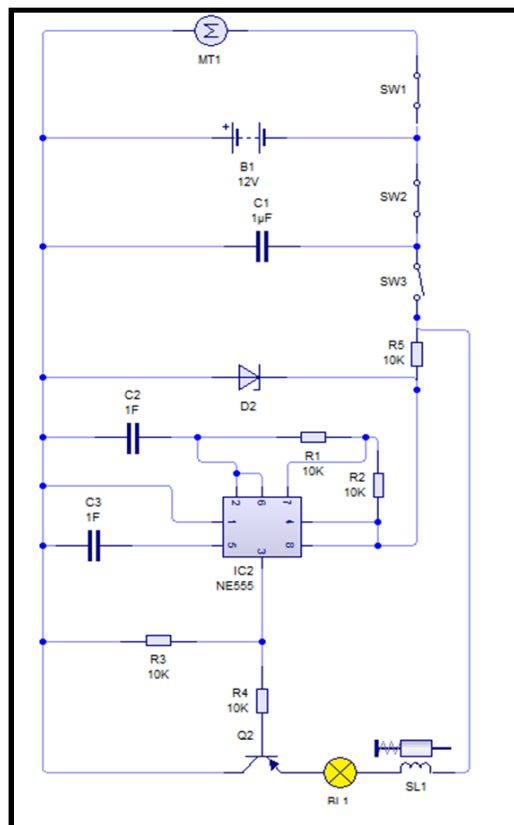
b) Transistor MOSFET: El transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor o MOSFET (en inglés Metal-oxide-semiconductor Field-effect transistor) es un transistor utilizado para amplificar o conmutar señales electrónicas. Es el transistor más utilizado en la industria microelectrónica, ya sea en circuitos analógicos o digitales.

Aunque el MOSFET es un dispositivo de cuatro terminales llamadas surtidor (S), drenador (D), compuerta (G) y sustrato (B), el sustrato generalmente está conectado internamente a la terminal del surtidor, y por este motivo se pueden encontrar dispositivos de tres terminales similares a otros transistores de efecto de campo.

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO

3.1. Diseño del circuito electrónico del generador de pulsos de apertura de los inyectores.



Fuente: Autores

Figura 3. 1 Circuito general del módulo en Live Wire

3.2. Diseño y construcción de las placas de control

Para poder comprobar los Inyectores CRDI (BOSCH, DENSO, DELPHI), se diseñara y construirá tres placas que se detalla a continuación.

1. Placa de mando
2. Placa de potencia
3. Placa de transferencia

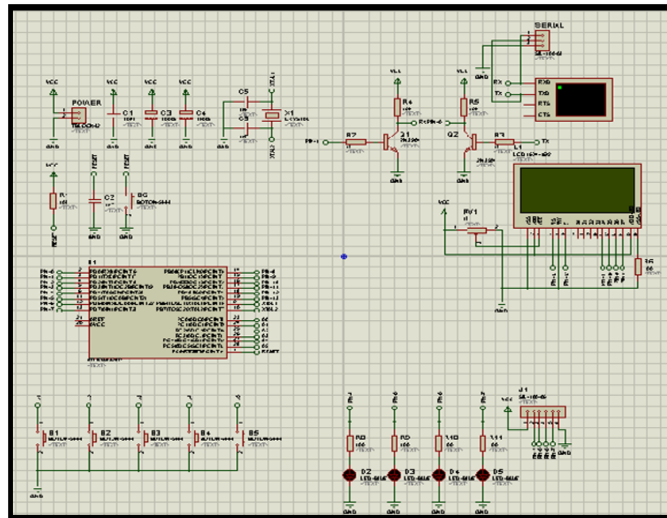
3.2.1. Placa de mando

a) Funcionamiento de la placa de mando: El pic de la placa de mando fue programado en el software ARDUINO, el cual tiene como función generar pulsos de control, la característica fundamental de este PIC es el de trabajar con un cristal de cuarzo que genera oscilaciones; con la programación se controla estas oscilaciones y se obtiene como resultado el tiempo y el DUTY, que viene a ser el ciclo de trabajo % de apertura de la bobina del inyector.

Las resistencias y los transistores son para controlar los leds que nos dan aviso cuando el circuito está funcionando. Los condensadores son para estabilizar el voltaje de 5 V hacia el microprocesador.

Los pulsadores nos permiten controlar el programa del PIC, con el cual se puede configurar para aumentar tiempos de trabajo o el DUTY para diferentes marcas de inyectores CRDI (BOSCH, DENSO, DELPHI). El PIC se comunica con la pantalla LCD mediante un bus de datos de 12 pines con una comunicación CAN (Comunicación de red en un Área) en la cual visualizamos las modificaciones que realizamos con los pulsadores.

b) Diseño de la placa de mando: El diseño y comprobación del funcionamiento de la placa de mando se hizo de manera técnica y gráfica en el software PROTEUS VERSIÓN 7.8



Fuente: Autores

Figura 3. 2 Placa del microprocesador de la placa de mando

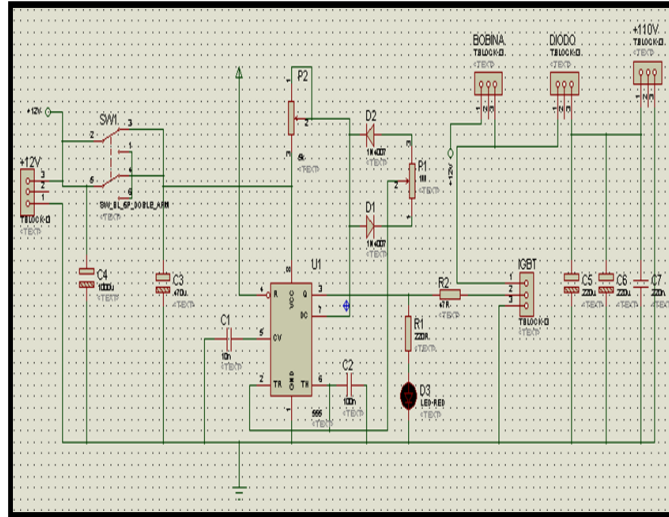
3.2.2. Placa elevadora de potencia

Se alimenta con 12 V y ésta a su vez tiene como objetivo elevar el voltaje a 110 V, pero cuando trabaja se estabiliza en 80 V, tiene un integrado 555 que actúa como oscilador para cargar y descargar los condensadores.

a) **Funcionamiento de la placa elevadora de voltaje.-** El circuito tiene una fuente de alimentación de 12V; la bobina transformadora es la que recibe este voltaje, y a su vez está conectada al circuito integrado 555, el cuál posteriormente elevará el voltaje de 12 V a 110 V, y con el paso del tiempo en el trabajo se estabiliza a 80 V. La carga y descarga para los condensadores es generada por el circuito integrado 555. Los diodos rectificadores son utilizados para separar los ciclos positivos de una señal de corriente alterna para proteger el circuito.

Una forma de comprobar si el circuito está funcionando es mediante la activación y desactivación del LED, el cual está conectado con una resistencia recibidora de pulsos, del circuito integrado 555.

b) Diseño de la placa de potencia



Fuente: Autores

Figura 3. 3 Placa de potencia

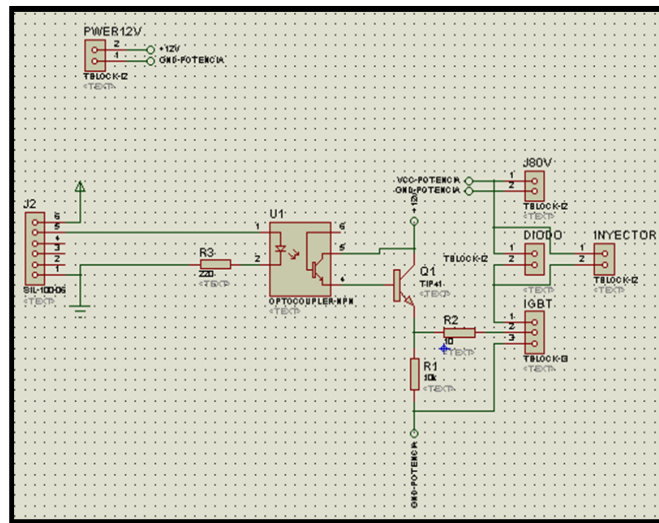
3.2.3. Placa de transferencia

Esta placa recibe las señales de la placa de mando y la placa de potencia, para poder controlar los inyectores CDRI (DELPHI, BOSCH y DENSO).

a) Funcionamiento de la placa transferencia: Tiene una alimentación de 12 V, mediante el transistor MOSFET, se puede controlar el inyector, en este caso utilizaremos uno de 20 A y 500 V, con el octocoplador se evitara los picos de voltaje hacia la base del MOSFET.

En el circuito las resistencias tienen el papel de proteger la base del MOSFET y del octocoplador, y finalmente el transistor amplifica las señales que recibe del PIC al MOSFET para poder tener control en los inyectores.

b) Diseño de la placa de transferencia



Fuente: Autores

Figura 3. 4 Placa de transferencia

3.3. Fuente de poder.

Una fuente de poder es un componente imprescindible en la parte de alimentación de circuitos eléctricos y electrónicos. Este componente será capaz de recibir corriente alterna de cualquier enchufe convencional de hogar y luego de ciertas conexiones convertirlo en corriente continua diferenciada si se quiere, para cada aplicación seleccionada.

La rectificación o paso de corriente alterna a corriente continua se lo hace a través del paso de este flujo por un conjunto de rectificadores, fusibles, diodos, resistencias y otros elementos que hacen posible la recepción de la corriente y permiten regularla y modularla, adaptándola a los requerimientos necesarios.

Para la alimentación del módulo de inyectores, se utilizó una fuente de poder de 650 watts, de la cual se requiere obtener dos voltajes uno de 5 voltios para el circuito o placa de mando del módulo y otra de 12 voltios para los circuitos o placas de potencia y transferencia.

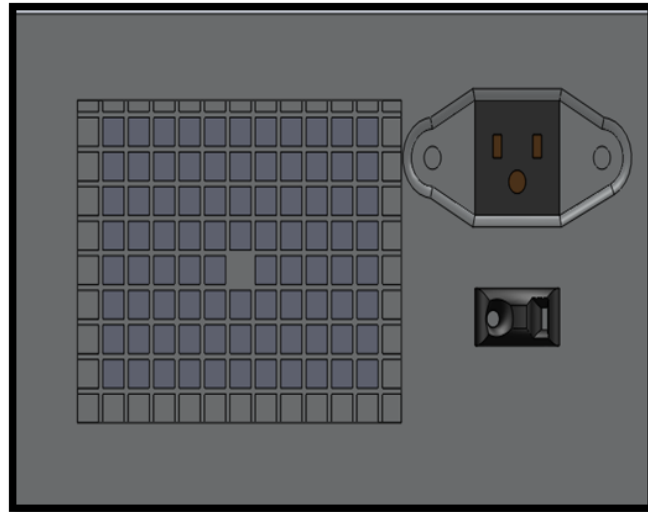
3.3.1. Obtención de 12 y 5 Voltios de la fuente de poder

Lo que procedimos a realizar es: desarmamos la fuente de poder, y con la ayuda del manual de usuario revisamos su estructura, donde observamos que para la obtención de 12 V teníamos que hacer un puente uniendo dos cables de color verde y amarillo, y un cable de color negro que nos serviría como masa; una vez realizado esto se recubre con cinta adhesiva y en las puntas colocamos terminales; para la obtención de los 5 voltios tuvimos que tomar el cable color morado y el cable color negro como masa, de igual manera recubrimos los cables con cinta adhesiva, ponemos terminales en las puntas de los cables . Una vez realizadas estas uniones procedemos a cortar el exceso de cables, y recubrimos las puntas cortadas con cinta adhesiva para evitar corto circuitos. Para verificar si las uniones realizadas son las correctas, el ventilador de la fuente de poder, tiene que encenderse por defecto y se mantiene encendido constantemente.



Fuente: Autores

Figura 3. 5 Vista posterior de la fuente de poder



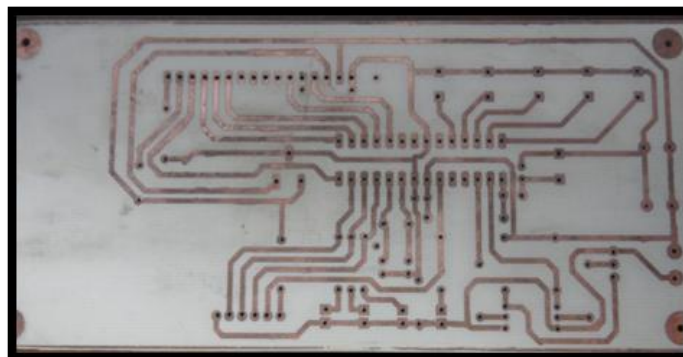
Fuente: Autores

Figura 3. 6 Vista frontal detallada de la fuente de alimentación

3.4. Impresión de los circuitos controladores del módulo, instalación de conexiones y controladores, construcción de la carcasa base estructural del módulo para inyectores CRDI.

Como se mencionó exhaustivamente en el capítulo de diseño, el funcionamiento del módulo de inyectores se regirá por el funcionamiento conjunto de tres circuitos impresos que son:

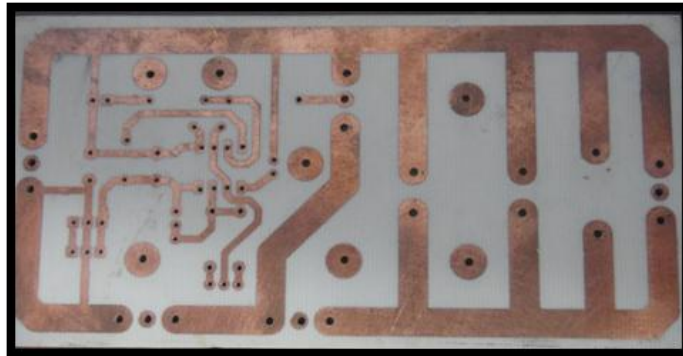
3.4.1. Circuito de mando



Fuente: Autores

Figura 3. 7 Circuito impreso de Mando

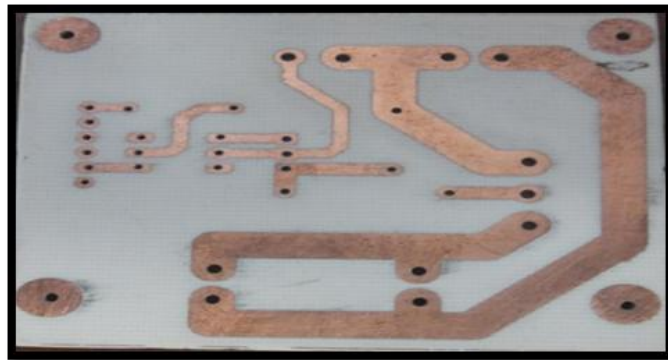
3.4.2. Circuito de potencia



Fuente: Autores

Figura 3. 8 Circuito impreso de Potencia

3.4.3. Circuito de transferencia.

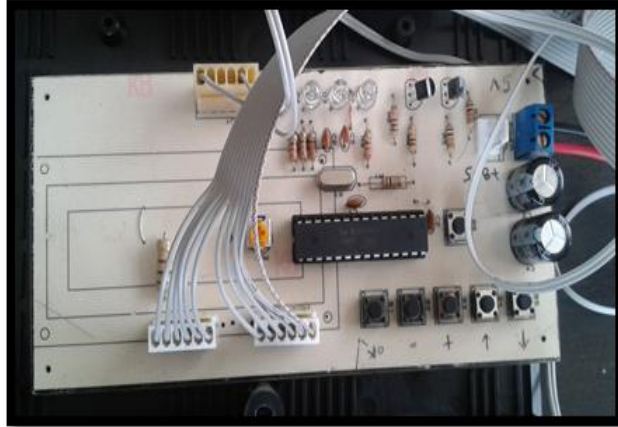


Fuente: Autores

Figura 3. 9 Circuito impreso de Transferencia.

3.5. Circuito impreso de mando

Realizado el diseño e impreso sobre la baquelita, al circuito de mando, le deberemos realizar las diferentes conexiones de todos los componentes electrónicos seleccionados para que desempeñen su función específica dentro del circuito que trabajará con un voltaje continuo de 5 voltios. Cada uno de los componentes seleccionados se encuentran detallados en el capítulo de diseño y están representados en la siguiente imagen del armado completo de la “placa de mando”:



Fuente: Autores

Figura 3. 10 Esquema completo de componentes del circuito de mando

3.6. Circuito impreso de potencia

El circuito impreso de potencia será el encargado de elevar el voltaje, incorporará fundamentalmente condensadores que serán cargados y descargados progresivamente según las necesidades del circuito y el indispensable integrado 555 que será el “timer” encargado de los tiempos de carga y descarga de los condensadores para los pulsos de inyección.

La siguiente imagen representa al circuito impreso en la baquelita al cual se le han acoplado cada uno de los componentes electrónicos designados en la selección:

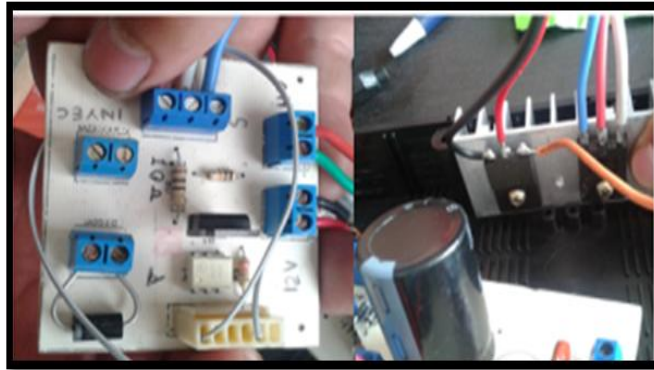


Fuente: Autores

Figura 3. 11 Esquema completo de componentes del circuito de potencia

3.7. Circuito impreso de transferencia

Como se detalló en el capítulo de diseño este circuito será el encargado de conectar los pulsos de voltaje generados en el circuito de potencia hacia los inyectores CRDI, trabajará de igual manera con un voltaje continuo de 12 voltios. Los componentes electrónicos seleccionados han sido incluidos dentro del circuito impreso en la baquelita , destacándose el transistor MOSFET el cual será el encargado de amplificar la señal electrónica que va hacia el inyector , de manera que se genere la excitación de la bobina de acuerdo al ciclo de trabajo. Para la conexión de estos componentes realizamos la conexión indirecta al circuito de transferencia, ya que fue necesaria la implementación de disipadores de calor unidos al transistor para que se garantice su correcto y seguro funcionamiento. El circuito completo se muestra continuación:



Fuente: Autores

Figura 3. 12 Esquema completo de componentes del circuito de transferencia.

3.8. Conexión y alojamiento de los tres circuitos del módulo dentro de la carcasa

En el capítulo destinado al diseño del módulo se establecieron ciertas dimensiones al alojamiento o carcasa del módulo, estas han sido plasmadas en una estructura plástica muy resistente que tiene como ventajas su maleabilidad, bajo peso y principalmente este material evita la generación de corto circuitos además de la entrada y salida de señales parásitas que puedan afectar el normal funcionamiento del circuito.

Los tres circuitos se encuentran conectados y funcionan simultáneamente aunque con diferentes voltajes: 5 voltios para el circuito de mando y 12 voltios para los circuitos de potencia y transferencia.

Los dos voltajes continuos generados por una fuente de poder de ordenador .De igual manera en el capítulo de diseño se han destinado interruptores ON-OFF para activar la alimentación de voltaje a cada uno de los circuito y controladores del módulo , siendo recomendable energizar primeramente la el circuito de mando con 5 voltios , el cual se manifestará con el encendido de la pantalla LCD , para posteriormente

energizar los circuitos de potencia y transferencia que funcionarán bajo las ordenes de los controladores para la activación de los inyectores CRDI.

El esquema siguiente muestra el alojamiento de los tres circuitos, sus conexiones de entrada y salida, disipadores de calor y multiplexados de conexión para los controladores externos, todo esto alojado dentro de la carcasa.



Fuente: Autores

Figura 3. 13 Conexión conjunta interna-externa del módulo CRDI

3.9. Conexión de controladores e indicadores externos del módulo

Dentro del diseño de la placa de mando se implementó en el circuito impreso 6 pulsadores que servirán como herramienta de selección y navegación dentro del menú del módulo , pero estos pulsadores deberán ser conectados a otros ubicados en la parte externa de la carcasa , por debajo de la pantalla LCD.

Estos servirán como navegantes de ascenso-descenso del menú, mas- menos para el ciclo de trabajo, un pulsador de ENTER u OK para selección y por último un pulsador de RESET para reiniciar el menú.

Además de estos se alojará la pantalla LCD para el despliegue del menú de selección para el trabajo con los diferentes tipos de inyectores CRDI y que está controlada directamente por el circuito de mando por medio del multiplexado; dos interruptores de ON-OFF para energizar con 5 voltios para el circuito de mando y con 12 voltios para los circuitos de potencia y transferencia.



Fuente: Autores

Figura 3. 14 Comandos externos módulo.

En la disposición mostrada hemos procedido a perforar el protector exterior para poder fijar los componentes y poder realizar las diferentes conexiones a los respectivos circuitos internos, además de ello procedimos a realizar orificios circulares que permitieran alojar a 5 LED que servirán como indicadores (el primero) del accionamiento del circuito de potencia y los demás como indicadores de los pulsos enviados por cada ciclo de trabajo seleccionado para cada tipo de inyector (Denso, Delphi y Bosch).



Fuente: Autores

Figura 3. 15 Alojamiento y sujeción de controladores en la carcasa del módulo

Una vez elaborados los alojamientos y fijados cada uno de los controladores así como la pantalla LCD, procedemos a realizar las conexiones respectivas usando cable multifilar de cada uno de los componentes eléctricos y electrónicos.



Fuente: Autores

Figura 3. 16 Conexión interna de controladores.

Terminada la conexión de los controladores y LCD procedimos a realizar nuestra primera prueba de funcionamiento, la que consistió en verificar que se energicen tanto con 5 como con 12 voltios los circuitos a través de los interruptores ON-OFF conectados a la fuente de poder, indicadores de ello fueron la pantalla LCD en la cual se desplegó el menú de selección y los LED los que se encendieron al energizar el circuito de potencia y transferencia respectivamente.



Fuente: Autores

Figura 3. 17 Pruebas de componentes

Será necesario finalmente asegurar y sellar toda la estructura, teniendo precaución de la ubicación de cada uno de los componentes tanto internos como externos, la carcasa dispone de canaletas guías en toda su estructura y además está sujeta con 2 tornillos que garanticen su hermeticidad.

Anteriormente se mencionó la importancia de aislar todas y cada una de las conexiones para evitar cortocircuitos, eso se ha llevado a cabo y el resultado es el siguiente:



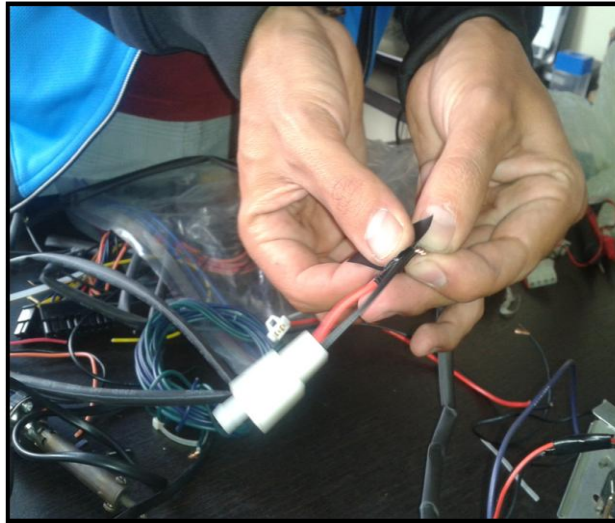
Fuente: Autores

Figura 3. 18 Módulo comprobador CRDI

Los cables aislados que se diferencia a la entrada y salida del módulo son respectivamente los de entrada de voltaje desde la fuente de poder, se distinguen dos cables: uno que lleva 5 voltios y el otro de 12 voltios continuos.

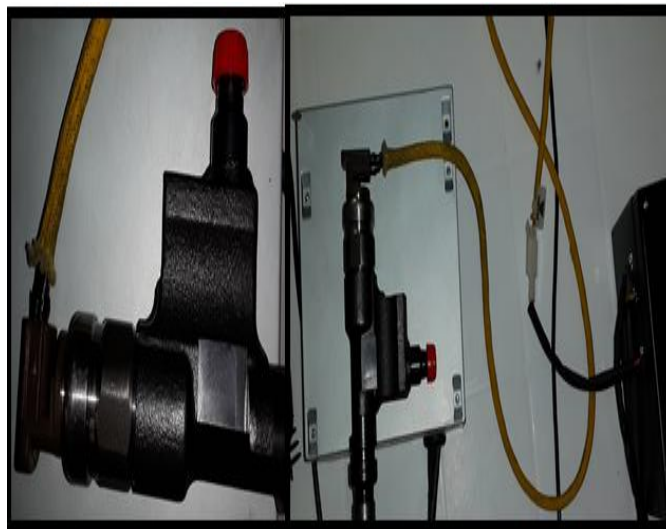
El otro cable corresponderá al conector de señal hacia el inyector CRDI, éste será el que envíe los pulsos del ciclo de trabajo propio de cada inyector.

Todas estas conexiones, botones e interruptores de mando irán debidamente señalizadas, para generar una interface amigable para el usuario del módulo.



Fuente: Autores

Figura 3. 19 Conexión cables de voltaje y señal



Fuente: Autores

Figura 3. 20 Conexión módulo con inyector diesel

3.10. Funcionamiento del módulo comprobador de inyectores diesel CRDI

El módulo de comprobación de inyectores CRDI basa su funcionamiento en la generación y transmisión de pulsos eléctricos que son ingresados

como datos en el módulo, hacia diferentes inyectores CRDI, en nuestro caso inyectores Denso, Delphi y Bosch.

Esta generación se produce por el trabajo de tres circuitos que son: circuito de mando, circuito de potencia y circuito de transferencia, cuyo funcionamiento y composición han sido detallados anteriormente.

Estos circuitos deben ser alimentados por voltajes continuos de 5 y 12 voltios respectivamente, los que son generados por una fuente de poder de ordenador que recibe un voltaje alterno de 110 voltios alternos de cualquier interruptor casero. A través de estos voltajes de trabajo de las “placas” es lo que se va a generar las pulsaciones necesarias enviadas para que el inyector cumpla su función de inyectar combustible, todo esto acompañado por un suministro constante y a presión de combustible, tarea encargada por el conjunto mecánico complementario a diseñarse en un proyecto diferenciado.

Al usar una fuente de poder de ordenador ganamos un flujo constante de corriente eléctrica tanto de 5 como 12 voltios continuos , además que protegemos al módulo de cualquier tipo de variación en el flujo eléctrico , que pueda comprometer el normal y adecuado funcionamiento de nuestros circuitos internos.

Hemos mencionado en muchas ocasiones los diferentes datos a ser ingresados en el módulo para poder comprobar cada uno de los inyectores CRDI (Denso, Delphi y Bosch), esto es a que vamos a tener siempre un diferente DUTY o ciclo de trabajo para cada uno de estos inyectores.

Con esto mostramos las diferencias entre cada uno de estos inyectores, esto lo ratificamos añadiendo la siguiente tabla de valores donde se

muestra las diferentes presiones de funcionamiento que requieren los inyectores CRDI, especificadas por los fabricantes.

Tabla 3. 1 Presión de inyectores diesel CRDI

FABRICANTE INYECTOR	PRESIÓN DE APERTURA (BAR)	PRESIÓN MÁXIMA (BAR)
DENSO	7 – 8	2000
DELPHI	6	1800
BOSCH	0,5 – 1,5	1350

Fuente: Autores

Para hacer funcionar el módulo de inyectores en primer lugar debemos conectar como se mencionó, la fuente de poder de ordenar a un interruptor de corriente alterna de 110 voltios, este energizará respectivamente a cada uno de los circuitos con el voltaje que le corresponde (5 o 12 voltios).



Fuente: Autores

Figura 3. 21 Conexión fuente de energía

Conectada la fuente de poder, entran en uso los dos interruptores de ON-OFF que hemos dispuesto para tanto para el encendido de la pantalla LCD como para la activación de los circuitos generadores y transmisores de pulsos hacia los inyectores.

Activados estos interruptores se encenderá la pantalla LCD donde se desplegará el menú de selección y además se encenderá un LED indicador de la activación del circuito de potencia.



Fuente: Autores

Figura 3. 22 Activación del módulo de comprobación

Dentro del Menú desplegado al encender la pantalla LCD nos vamos a encontrar con un título inicial que hemos denominado “Modo de Operación” y dentro del cual tenemos dos opciones de selección:

- Manual
- (2) Automático

De aquí y con el manejo de los pulsadores direccionales, escogeremos la opción de Automático, de modo de que cuando ingresemos los datos propios para cada prueba, el circuito del módulo trabaje de manera

automática enviando pulsos de tipo electromagnético de excitación de la bobina interna, que permitan la apertura y cierre progresivos del inyector.

La opción de (1) Manual ha sido incluida como alternativa dentro de la programación del microprocesador del circuito de mando , que es el que controla toda la parte de automatización y recepción de datos, en este caso no será usada dentro de las pruebas a realizarse por la complejidad de una calibración manual de los pulsos enviados a los inyectores.



Fuente: Autores

Figura 3. 23 Menú de operación

Inmediatamente seleccionado la opción (2) Automático pulsando el botón de ENTER u OK, se desplegará una segunda pantalla que nos muestra como opciones de selección las siguientes:

- Regresar
- Num.Rep. (Número de Repeticiones)
- Per.Trab. (Periodo de Trabajo)
- Aceptar

Como paso siguiente seleccionaremos la opción Num.Rep. (Número de Repeticiones), selección que nos permitirá ingresar los datos necesarios para el inyector CRDI a comprobar. Estos datos reflejarán el número de pulsaciones que va a generar el módulo.



Fuente: Autores

Figura 3. 24 Opción Número de repeticiones

Ingresaremos pertinentemente el número de repeticiones necesarias para la duración de la prueba que vamos a realizar, paso seguido nuestra pantalla regresará al segundo menú y el cursor se ubicará en la opción Per.Trab. (Periodo de Trabajo o DUTY) que corresponde a la velocidad de apertura dispuesta para cada inyector CRDI (Denso, Delphi y Bosch). Cabe recalcar que el DUTY o ciclo de trabajo va a ser diferente para cada inyector, se va incrementar en forma de tanto por ciento y va a alcanzar un valor de hasta el 80% incrementándose de 10%.



Fuente: Autores

Figura 3. 25 Ciclo de trabajo “DUTY”

Ingresado el DUTY pertinente en % para el inyector a realizársele la prueba, nuestro cursor se posicionará nuevamente en la segunda pantalla y será el momento de “Aceptar” las configuraciones que hemos ingresado para que el módulo inicie con la prueba enviado cierto número de pulsos a

velocidad establecida. Para esto se deberá verificar que exista la presión y caudal de combustible necesario para iniciar la prueba.



Fuente: Autores

Figura 3. 26 “Aceptar” inicio de la prueba.

CAPÍTULO 4

PROGRAMACIÓN

4.1. Programación del módulo para la calibración de inyectores CRDI.

Para el proceso de programación del microprocesador ubicado en el circuito de mando hemos recurrido a la herramienta informática ARDUINO en su versión 1.0.3

Esta es una herramienta informática gratuita o denominada software libre, que ofrece al usuario una poderosa herramienta de desarrollo de software, esto quiere decir que en nuestro proyecto la hemos utilizado para desarrollar el software que controle la placa denominada de Mando. De aquí lo que mencionamos anteriormente acerca del ingreso de datos al módulo reflejados por la actividad de los diferentes pulsadores e interruptores que hemos colocado como controladores, y a través de estos datos ingresados poder controlar en este caso los pulsos generados y su velocidad para la apertura de los diferentes inyectores.

Uno de los motivos por los que decidimos desarrollar el software en esta plataforma virtual fue que puede ser utilizada en varios sistemas operativos como son: Windows, Linux, Macintosh OSX , lo cual nos permite ampliar y mejorar el desarrollo de nuestro software.

La interface de programación se desarrolla en un editor de texto para escribir el código, un área de mensajes, una consola de texto, una barra de herramientas y una serie de menús.

Para el desarrollo de este software hemos tenido que poner en práctica los conocimientos adquiridos en asignaturas como programación y micro controladores, además de la investigación acerca del uso del programa y como desarrollar un código de programación que permitiera controlar a través del ingreso de datos enviar pulsos para la apertura de inyectores CRDI.

El desarrollo de las líneas de programación puede ser muy complejo de descifrar por el lector de este trabajo por lo cual hemos tratado de adjuntar la explicación de cada una de las funciones y librerías usadas en este proyecto, lo hemos desarrollado de la siguiente manera:

SOFTWARE “MOD.CRDI” DESARROLLADO EN ARDUINO VERSIÓN: 1.0.3

```
#include <LiquidCrystal.h>1
#include <Ultrasonic.h>2

#define abajo A43
#define derecha A3
#define izquierda A2
#define arriba A5
#define aceptar A1
#define menu 3
#define HUEI1 4
#define HUEI2 54
#define HUEI3 6
```

¹ [La pantalla se puede controlar por medio de 4 u 8 líneas de datos.]

² [Incluye la librería Ultrasonic.h]

³ [Asignación de variable “abajo A4”]

⁴ [Asignación de librería “HUEI25”]

```

#define HUEI4 7

int contador;5
boolean Pin_arriba;
boolean Pin_abajo;6
boolean Pin_derecha;
boolean Pin_izquierda;
boolean Pin_aceptar;
boolean manual;
boolean automatico;
boolean setear;
boolean setear2;
int tiempoAlto;
int tiempoBajo;
int NumeroRepeticiones=0;7
int DutyCicle=0;8
String inputString = ""; // a string to hold incoming data9
int cont;
int limite=1;
Ultrasonic INY1 (53,51);
Ultrasonic INY2 (49,47);
Ultrasonic INY3 (45,43);
Ultrasonic INY4 (41,39);
LiquidCrystal lcd(13, 12, 11, 10, 9, 8);
void setup() 10

```

⁵ [# enteros, se usa para almacenar y guardar valores de 2 bytes]

⁶ Un booleano sólo puede tomar dos valores, Verdadero o Falso

⁷ [inicialización de variables en valor 0]

⁸ [inicialización de variable "DUTY" en valor 0]

⁹ [pin de entrada se encuentran en un estado de alta impedancia]

¹⁰ [Nos indica que no vuelva la función donde fue llamada]

```

{
Serial.begin(9600);11
    pinMode(arriba,INPUT);
    pinMode(abajo,INPUT);12
    pinMode(derecha,INPUT);
    pinMode(izquierda,INPUT);
    pinMode(aceptar,INPUT);
    pinMode(HUEI1,OUTPUT);
    pinMode(HUEI2,OUTPUT);
    pinMode(HUEI3,OUTPUT);
    pinMode(HUEI4,OUTPUT);
    digitalWrite(HUEI1,0);13
    digitalWrite(HUEI2,0);
    digitalWrite(HUEI3,0);
    digitalWrite(HUEI4,0);
    digitalWrite(arriba,HIGH);
    digitalWrite(abajo,HIGH);
    digitalWrite(derecha,HIGH);
    digitalWrite(izquierda,HIGH);
    digitalWrite(aceptar,HIGH);
    lcd.begin(16, 4);14
    lcd.clear();15

```

¹¹ [Se utiliza para la comunicación entre la placa Arduino y un ordenador u otros dispositivos en este caso la LCD]

¹² [Configura el pin especificado para comportarse como una entrada o una salida: INPUT-Entrada OUTPUT – Salida.]

¹³[Escribe un valor HIGH o LOW hacia un pin digital. Si el pin ha sido configurado como OUTPUT con pinMode(), su voltaje será establecido al correspondiente valor: 5V (o 3.3V en tarjetas de 3.3V) para HIGH, 0V (tierra) para LOW.]

¹⁴[Aparece en la pantalla LCD en la fila 16 y columna 4]


```

Serial.begin(9600);16
inputString.reserve(200);17
    Serial.println18
    lcd.clear();
delay(1000);19
    lcd.clear();
    setear=0;
    lcd.display();
}

void loop()20
{
    Pin_arriba = digitalRead(arriba);21
    Pin_abajo = digitalRead(abajo);
    Pin_aceptar = digitalRead(aceptar);
    setear=0;
    manual=0;automatico=0;
//Serial.println("loop");22
    menu_principal();
}

```

¹⁵[Borra la pantalla del LCD]

¹⁶[Establece la velocidad de datos en bits por segundo para la transmisión de datos en serie.]

¹⁷[Los strings se representan como arrays de caracteres (tipo char) que terminan con el carácter NULL.]

¹⁸ ["Funcion de Seteo"];

¹⁹ [Pausa el programa por un tiempo determinado (en milisegundos) especificado por un parámetro. Hay 1000 milisegundos en un segundo.]

²⁰[se usa sólo en la declaración de funciones. Indica que se espera que no devuelva información a la función donde fue llamada.]

²¹[Lee el valor de un pin digital especificado, HIGH o LOW]

²² [Imprime los datos al puerto serie como texto ASCII seguido de un retorno de carro (ASCII 13, o '\r') y un carácter de avance de línea (ASCII 10, o '\n').]

```

}

void menu_principal()
{
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Modo Operacion");23
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("(1)Manual  ");
    lcd.setCursor(-4, 2);
    lcd.print("(2)Automatico  ");
    Seleccion_Menu();
    delay(100);
    if(manual==1 && automatico==0)
    {
        Modo_Manual();
    }
    if(manual==0 && automatico==1)24
    {
        Modo_Automatico();
    }
}

void lectura_temperatura()
{
}

void Seleccion_Menu()25
{

```

²³ [Imprime en la pantalla la palabra "Modo Operación"]

²⁴ [Comprueba si cierta condición |se cumple]

²⁵ [La palabra reservada void se usa sólo en la declaración de funciones. Indica que se espera que no devuelva información a la función donde fue llamada.]

```

while(setear==0)26
{
  Pin_arriba = digitalRead(arriba);
  Pin_abajo = digitalRead(abajo);
  Pin_aceptar = digitalRead(aceptar);
  if(Pin_arriba==0)27
  {
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("(1)Manual <<");28
    lcd.setCursor(-4, 2);
    lcd.print("(2)Automatico ");
    manual=1;
    automatico=0;
    delay(200);29
  }
  if(Pin_abajo==0)
  {
    Pin_aceptar = digitalRead(aceptar);
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("(1)Manual ");30

    lcd.setCursor(-4, 2);
    lcd.print("(2)Automatico <<");
  }
}

```

²⁶ [Los bucles **while** se ejecutan continuamente, hasta que la expresión de dentro del paréntesis, () pasa a ser falsa]

²⁷ [Comprueba si cierta condición se cumple]

²⁸ [Imprime en la pantalla la palabra "Manual <<"]

²⁹ [Tiempo de espera de 200 milisegundos]

³⁰ [Imprime en la pantalla la palabra "Manual"]

```

manual=0;
automatico=1;
delay(200);
}
if(Pin_aceptar==0){setear=1;} 31
}
//setear=1;
}
void Modo_Manual()
{
  lcd.clear();
  while(manual==1)32
  {
    Pin_arriba = digitalRead(arriba),33
    Pin_abajo = digitalRead(abajo);
    Pin_aceptar=digitalRead(aceptar);
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Modo Manual:");34
    lcd.setCursor(0, 1);35
    lcd.print("Regresar  ");36
    lcd.setCursor(-4, 2);
    lcd.print("Encender  ");
    if(Pin_arriba==0 && Pin_aceptar==0)
    {

```

³¹[Comprueba si cierta condición |se cumple]

³² [bucle de comparación]

³³ [Lee el valor de un pin digital especificado, HIGH o LOW]

³⁴ [Muestra en la pantalla la palabra "Modo Manual"]

³⁵ [ubica en la posición en la columna 0 fila 1]

³⁶[Imprime en la pantalla la palabra "Regresar"]

```

manual=0;
automatico=0;
Pin_aceptar=1;
setear=0;
}
if(Pin_arriba==0)
{
//manual=0;
//automatico=0;
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Modo Manual:");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Regresar <<");37
lcd.setCursor(-4, 2);
lcd.print("Encender  "); <<");38

delay(1000);

}
if(Pin_abajo==0)
{
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Modo Manual:");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Regresar  "); <<");39
lcd.setCursor(-4, 2);
lcd.print("Encender <<");

```

³⁷ [Muestra en la pantalla la palabra “ Regresar <<”]

³⁸ [Muestra en la pantalla la palabra “Encender”]

³⁹ [Muestra en la pantalla la palabra “Regresar ”]

```

    delay(1000); 40
  }
  if(Pin_abajo==0 && Pin_aceptar==0)
  {
    digitalWrite(HUEI1,HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(HUEI1,LOW);
    delay(500);
    digitalWrite(HUEI2,HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(HUEI2,LOW);
    delay(500);
    digitalWrite(HUEI3,HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(HUEI3,LOW);
    delay(500);
    digitalWrite(HUEI4,HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(HUEI4,LOW);
    delay(500);
    Pin_aceptar=1;
  }
}

```

```

void Modo_Automatico() 41

```

⁴⁰ [Espera 1000 mili segundos antes de pasar al otro bucle]

⁴¹ [La palabra reservada void se usa sólo en la declaración de funciones. Indica que se espera que no devuelva información a la función donde fue llamada.]

```

{
    lcd.clear();42
    while(automatico==1)
    {
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Regresar  ");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Num.Rep.  ");43
        lcd.setCursor(-4, 2);44
        lcd.print("Per.Trab.  ");
    }

    lcd.setCursor(-4, 3);
    lcd.print("Aceptar  ");
    delay(200);
    setear2=1;
    while(setear2==1){
        Pin_arriba = digitalRead(arriba);45
        Pin_abajo = digitalRead(abajo);
        if(Pin_arriba==0)
        {
            contador--;
            delay(200);
            if(contador<=0){contador=0;}
        }
        if(Pin_abajo==0)46

```

⁴²[limpia la pantalla LCD]

⁴³ [Muestra en la pantalla la palabra "Num.Rep."]

⁴⁴ [ubica en la posición en la columna -4 fila 2]

⁴⁵ [Lee el valor de un pin digital especificado, HIGH o LOW]

⁴⁶[Comprueba si cierta condición se cumple]

```

{
    contador++;
    delay(200);
    if(contador>=3){contador=3;}
}
if(contador==0)
{
    Pin_aceptar = digitalRead(aceptar);47
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Regresar << ");48
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Num.Rep.   ");
    lcd.setCursor(-4, 2);
    lcd.print("Per.Trab.   ");
    lcd.setCursor(-4, 3);
    lcd.print("Aceptar     ");
    if(Pin_aceptar==0 && contador==0)49
    {
        lcd.setCursor(10, 0);
        lcd.print("ok");
        manual=0;
        automatico=0;
        Pin_aceptar=1;
        setear2=0;
        setear=0;
    }
}

```

⁴⁷ [Lee el valor de un pin digital especificado, HIGH o LOW]

⁴⁸ [Muestra en la pantalla la palabra "<<"]

⁴⁹ [Comprueba si cierta condición |se cumple]


```

if(contador==1)
{
Pin_aceptar = digitalRead(aceptar);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Regresar    "); <<" );50
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Num.Rep.  <<  "); <<" );51

lcd.setCursor(-4, 2);
lcd.print("Per.Trab.    "); <<" );52

lcd.setCursor(-4, 3);
lcd.print("Aceptar      "); <<" );53
if(Pin_aceptar==0 && contador==1)
{
Pin_aceptar=1;
lcd.clear();
Serial.println("Numero de Repeticiones");54
boolean NumRep=1;
while(NumRep==1)55

{

```

⁵⁰ [Muestra en la pantalla la palabra “ Regresar <<”]

⁵¹ [Muestra en la pantalla la palabra “ Num.Rep. << ”]

⁵² [Muestra en la pantalla la palabra “ Per. Trab.”]

⁵³ [Muestra en la pantalla la palabra “ Aceptar ”]

⁵⁴ [Muestra en la pantalla la palabra “ Numero de Repeticiones”]

⁵⁵ [Los bucles **while** se ejecutan continuamente, hasta que la expresión de dentro del paréntesis, () pasa a ser falsa]

```

Pin_aceptar = digitalRead(aceptar);
Pin_derecha = digitalRead(derecha);
Pin_izquierda = digitalRead(izquierda);
Pin_arriba = digitalRead(arriba);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("N# Repeticiones:"); 56

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(NumeroRepeticiones);

lcd.print("      ");
lcd.setCursor(-4, 2);
lcd.print("      ");
lcd.setCursor(-4, 3);
lcd.print("      ");
if(Pin_derecha==0)
{
    while(Pin_derecha==0){Pin_derecha=
digitalRead(derecha);}
    NumeroRepeticiones++;

if(NumeroRepeticiones>=1000){NumeroRepeticiones=1000;}
}
if(Pin_izquierda==0)
{
    while(Pin_izquierda==0){Pin_izquierda=
digitalRead(izquierda);}
    NumeroRepeticiones--;
}

```

⁵⁶ [Muestra en la pantalla la palabra "N#Repeticiones:"]

```

    if(NumeroRepeticiones<=0){NumeroRepeticiones=0;}
        }
        if(Pin_aceptar==0 && Pin_arriba==0)
    {
        Serial.print("Pin_aceptar=");
        Serial.println(Pin_aceptar);
        lcd.setCursor(-4, 2);
        lcd.print("Procesando...");57

        NumRep=0; 58    delay(1000);
    }
}
}
}
}

```

```

if(contador==2)59
{
    Pin_aceptar = digitalRead(aceptar);
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Regresar    ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Num.Rep.    ");60

    lcd.setCursor(-4, 2);
    lcd.print("Per.Trab. << ");
    lcd.setCursor(-4, 3);
    lcd.print("Aceptar    ");61

```

⁵⁷ [Muestra en la pantalla la palabra "Procesando..."]

⁵⁸ [Define a la variable NumRep y lo iguala a 0]

⁵⁹ [Comprueba si cierta condición |se cumple]

⁶⁰ [Muestra en la pantalla la palabra "Num.Rep."]

```

if(Pin_aceptar==0 && contador==2)
{
  Pin_aceptar=1;
  lcd.clear();
  Serial.println("Duty Cicle");
  boolean PerTrab=1;
  while(PerTrab==1)62
  {
    Pin_aceptar = digitalRead(aceptar);
    Pin_derecha = digitalRead(derecha);
    Pin_izquierda = digitalRead(izquierda);
    Pin_arriba = digitalRead(arriba);
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Duty Cicle %:");63

    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(DutyCicle);
    lcd.print(" %      ");
    lcd.setCursor(-4, 2);64

    lcd.print("      ");
    lcd.setCursor(-4, 3);65
    lcd.print("      ");

```

⁶¹ [Muestra en la pantalla la palabra "Aceptar"]

⁶² [Los bucles **while** se ejecutan continuamente, hasta que la expresión de dentro del paréntesis, () pasa a ser falsa]

⁶³ [Muestra en la pantalla la palabra "Duty Cicle %:"]

⁶⁴ [Ubica en la posición en la columna -4 fila 2]

⁶⁵ [Ubica en la posición en la columna -4 fila 3]

```

    if(Pin_derecha==0)
    {
        while(Pin_derecha==0){Pin_derecha=
digitalRead(derecha);}
        DutyCicle=DutyCicle+10;
        if(DutyCicle>=80){DutyCicle=80;}
    }
    if(Pin_izquierda==0)66
    {
        while(Pin_izquierda==0){Pin_izquierda=
digitalRead(izquierda);}67
        DutyCicle=DutyCicle-10;;
        if(DutyCicle<=10){DutyCicle=10;}
    }
    if(Pin_aceptar==0 && Pin_arriba==0)
    {
        Serial.print("Pin_aceptar=");
        Serial.println(Pin_aceptar);
        lcd.setCursor(-4, 2);68
        lcd.print("Procesando...");69

        PerTrab=0;
        delay(1000);
    }
}
}
}

```

⁶⁶ [Comprueba si cierta condición |se cumple]

⁶⁷ [Lee el valor de un pin digital especificado, HIGH o LOW]

⁶⁸ [ubica en la posición en la columna -4 fila 2]

⁶⁹ [Muestra en la pantalla la palabra "Procesando..."]

```

if(contador==3) 70
{
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Regresar  ");71
  lcd.setCursor(0, 1);72
  lcd.print("Num.Rep.  ");
  lcd.setCursor(-4, 2);73
  lcd.print("Per.Trab.  ");
  lcd.setCursor(-4, 3);
  lcd.print("Aceptar  << ");
  Pin_aceptar = digitalRead(aceptar);74
  if(Pin_aceptar==0 && contador==3)
  {
    Pin_aceptar=1;
    lcd.clear();
    Serial.println("Trabajando:");75 boolean work=1;
    while(work==1)
    {
      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.print("N#Repeticiones:");
      lcd.print(NumeroRepeticiones); 76
      lcd.print("  ");

```

⁷⁰ [Comprueba si cierta condición |se cumple]

⁷¹ [Muestra en la pantalla la palabra "Regresar"]

⁷² [Ubica el cursor en la posición en la columna 0 fila 1]

⁷³ [Ubica en la posición en la columna -4 fila 2]

⁷⁴ [Lee el valor de un pin digital especificado, HIGH o LOW]

⁷⁵ [Muestra en la pantalla la palabra "Trabajando:"]

⁷⁶ [Muestra en la pantalla la palabra "Repeticiones:"]

```

lcd.setCursor(-4, 2);
lcd.print("Duty Cicle:") lcd.print(DutyCicle);
switch (DutyCicle) 77
{
  case 10:
    tiempoAlto=10;
    tiempoBajo=90;
    break;
  case 20:
    tiempoAlto=20;
    tiempoBajo=80;
    break;
  case 30:
    tiempoAlto=30;
    tiempoBajo=70;
    break;
  case 40:
    tiempoAlto=40;78
    tiempoBajo=60;
    break;
  case 50:
    tiempoAlto=50;
    tiempoBajo=50;
    break;
  case 60:
    tiempoAlto=60;

```

⁷⁷ [Muestra en la pantalla la palabra "Duty Cicle:"]

⁷⁸ Representa la designación del tiempo de apertura y cierre para el inyector representado por decenas porcentuales del ciclo duty.

```

        tiempoBajo=40;
        break;
    case 70:
        tiempoAlto=70;
        tiempoBajo=30;

        break;
    case 80:
        tiempoAlto=80;
        tiempoBajo=20;
        break;
    default:
        tiempoAlto=10;
        tiempoBajo=90;
}
int contTrab;
for(contTrab=0;contTrab<NumeroRepeticiones;contTrab++)79
{
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("N# Repeticiones:");80

    lcd.setCursor(0, 1);81

    lcd.print(contTrab+1);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(-4, 2);82

```

⁷⁹ [Es usada para repetir un bloque encerrado entre llaves]

⁸⁰ [Muestra en la pantalla la palabra "N# Repeticiones:"]

⁸¹ [Ubica en la posición en la columna 0 fila 1]

⁸² [ubica en la posición en la columna -4 fila 2]


```

    lcd.print("Duty Cicle:");
    lcd.print(DutyCicle);
    digitalWrite(HUEI1,HIGH);83
    digitalWrite(HUEI2,HIGH);
    digitalWrite(HUEI3,HIGH);
    digitalWrite(HUEI4,HIGH);
    delay(tiempoAlto);
    digitalWrite(HUEI1,LOW);
    digitalWrite(HUEI2,LOW);
    digitalWrite(HUEI3,LOW);
    digitalWrite(HUEI4,LOW);
    delay(tiempoBajo);
}
Serial.print("Trabajo terminado");84

    lcd.setCursor(-4, 2);
    lcd.print("Finalizando...");85
    work=0;
    delay(1000);

}
}

}

```

⁸³ Designación del tiempo de apertura y cierre para el inyector representado por decenas porcentuales del ciclo duty.

⁸⁴ [Muestra en la pantalla la palabra "Trabajo terminado"]

⁸⁵ [Muestra en la pantalla la palabra "Finalizado..."]

4.2. Resultados obtenidos.

Antes de someter a nuestros inyectores CRDI a los análisis pertinentes en nuestro banco de pruebas, deberemos generar datos guía para nuestros caudales piloto (retorno) y principal, de modo de obtener coeficientes de corrección para las pruebas que pertinentemente realizaremos con nuestro módulo comprobador CRDI.

Cuando nos referimos a pruebas vamos a decir que para cada inyector: DENSO, DELPHI y BOSCH vamos a generar datos de caudales piloto y principal que servirán ya sea como coeficientes comparadores o de corrección en nuestras futuras pruebas.

Los datos serán obtenidos en un banco profesional de última generación de marca ZW Technology facilitado por la empresa ECOLDIESEL, especialista en reparación y diagnóstico de sistemas Common Rail.

Las pruebas realizadas detallarán los volúmenes exactos de entrega y retorno, presión, revoluciones de embolada y corrección de cada inyector sometido a trabajo.

Luego de someter a los inyectores a las pruebas en el banco especializado se obtuvieron los siguientes datos para cada uno:

Tabla 4. 1 Caudales entrega-retorno iny.BOSCH

INYECTOR BOSCH				
PRESIÓN (bar)	FRECUENCIA(Hz)	EMBOLADA(RPM)	ENTREGA (cc)	RETORNO (cc)
1200	20	2000	60	20
500	8	800	10	10

Fuente: Autores

Tabla 4. 2 Caudales entrega-retorno iny.DENSO

INYECTOR DENSO				
PRESIÓN (bar)	FRECUENCIA(Hz)	EMBOLADA(RPM)	ENTREGA (cc)	RETORNO (cc)
1200	20	2000	80	30
500	8	800	20	20

Fuente: Autores

Tabla 4. 3 Caudales entrega-retorno iny.DELPHI

INYECTOR DELPHI				
PRESIÓN (bar)	FRECUENCIA(Hz)	EMBOLADA(RPM)	ENTREGA (cc)	RETORNO (cc)
1200	20	2000	50	20
500	8	800	10	10

Fuente: Autores

Estas tablas individualizan a los caudales de entrega y retorno de cada uno de los inyectores a probarse, con estos valores lograremos comparar los volúmenes obtenidos con nuestro comprobador y así generar un criterio de diagnóstico de los inyectores. Debemos mencionar que para cada banco comprobador de CRDI los valores van a cambiar , debido a que podrían llamarse comprobadores genéricos que suplantán el trabajo

de los comprobadores originales que por su elevado costo son muy escasos y restringidos en el mercado.

La tolerancia establecida en valores de volúmenes de entrega y retorno va a fluctuar entre más-menos: 1-2 centímetros cúbicos cc. Esta tolerancia servirá a la hora de verificar los resultados obtenidos en nuestro comprobador. En complemento a lo estipulado anteriormente en las tablas de valores volumétricos de entrega y retorno para inyectores en BUEN ESTADO, a continuación detallaremos una tabla donde se evidencien valores de entrega y retorno a plena carga (1200 RPM) para inyectores (DENSO, DELPHI y BOSCH) en mal estado o inservible:

Tabla 4. 4 Diagnóstico de inyectores.

INYECTORES DENSO ,DELPHI Y BOSCH			
ESTADO	ENTREGA (cc)	RETORNO(cc)	OBSERVACIÓN
BUENO	60	20	Inyector operable
REGULAR	60	40	Realizar inspección y reparar si es necesario
MALO	60	80,100,200	Reparación obligatoria , inyector inoperable
MALO	150	20	Reparación obligatoria, inyector inoperable.

Fuente: Autores

Resultó fundamental la correcta elección del transistor de potencia MOSFET , esto después de tener en cuenta las prestaciones de voltaje , amperaje y resistencia necesarias para hacer trabajar un inyector CRDI , estas mediciones fueron realizadas por nosotros en un vehículo Toyota HILUX y son presentadas a continuación:

Tabla 4. 5 Especificaciones eléctricas inyector DENSO.

INYECTORES DENSO CRDI TOYOTA HILUX	
VOLTAJE (V)	80V
AMPERAJE (A)	80 Amp. (Conjunto), 20 Amp. c/u
RESISTENCIA (Oh)	0,5± 0,5 Ω

Fuente: Autores

Tabla 4. 6 Tabla de resistencias inyectores CRDI.

INYECTORES	RESISTENCIA
BOSCH	0,3± 0,5 Ω
DENSO versión antigua	3,2± 0,5 Ω
DELPHI	0,2± 0,5 Ω

Fuente: Autores

Estos datos reflejarán las prestaciones de nuestro MOSFET, ya que el circuito de potencia producirá hasta 110 voltios lo cuales deberán ser modulados hasta 80 voltios para inyectores DENSO y BOSCH y 12 voltios para inyectores DELPHI, una resistencia promedio de 0,5 ohmios y un amperaje de 20 amperios.

Con todo este análisis el transistor escogido fue: **NTE 2970**, con una capacidad de 500 voltios, 22 amperios, y 380 watts de potencia.

Las mediciones y pruebas iniciales realizadas en el banco el banco de calibración profesional, permitieron generar datos de pauta referenciales

para determinar especialmente el DUTY o ciclo de trabajo siendo el número de pulsos constantes para cada inyector, quedando de la siguiente manera para la entrega y retorno en ralentí y plena carga:

Tabla 4. 7 Tabla de resultados

INYECTOR	ENTREGA cc RALENTÍ	RETORNO cc RALENTÍ	ENTREGA cc PLENA CARGA	RETORNO cc PLENA CARGA
DENSO	40% DUTY 20 cc	40% DUTY 10 cc	80% DUTY 72 cc	80% DUTY 35 cc
DELPHI	20% DUTY 10 cc	20% DUTY 10 cc	40% DUTY 50 cc	40% DUTY 60 cc
BOSCH	20% DUTY 10 cc	20% DUTY 14 cc	40% DUTY 60 cc	40% DUTY 110 cc

Fuente: Autores

CAPÍTULO 5

GUÍAS DE LABORATORIO

5.1. Guía de laboratorio comprobación del inyector DENSO

TEMA:

“Pruebas en el inyector Denso con banco de inyectores CRDI”

OBJETIVOS:

- Comprobar el estado del inyector Denso, visualmente
- Realizar las pruebas a ralentí, media y plena carga, conectando el inyector Denso al banco.
- Obtener y comparar los volúmenes de diesel de inyección y retorno para el inyector Denso.

HERRAMIENTAS Y EQUIPOS:

- Banco de Inyectores CRDI
- Inyector Denso
- Módulo electrónico para inyectores CRDI
- Manual de usuario del banco y módulo de inyectores diesel CRDI.

REVISIÓN TEÓRICA:

Sistemas CRDI DENSO

El sistema Common-rail o conducto común es un sistema de inyección de combustible electrónico para motores diesel de inyección directa en el que 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, las características de este sistema en general son las siguientes :

La generación de la presión y el control de la inyección están completamente separados, la presión de inyección es independiente de la

velocidad del motor RPM, es regulable en modo flexible entre 150 y 1350 bares.

En el sistema "Common Rail" divide la inyección en una "inyección previa", "inyección principal", y en algunos casos en una "inyección posterior".

PROCEDIMIENTO:

- Conectar la fuente de alimentación del módulo de inyectores CRDI (110V)
- Conectar los cables de señal y voltaje del módulo de comprobación hacia la fuente, tener en cuenta los conectores macho y hembra de 5V Y 12V.
- Conectar la cañería de alta presión con el riel y el inyector.
- Encendemos el banco con el breaker ubicado en la parte posterior, observamos si se enciende la pantalla del variador.
- Elegimos el sentido de giro (el motor gira en sentido anti horario), presionamos REV en la pantalla del variador.
- Elegido el sentido de giro movemos el potenciómetro e incrementamos las revoluciones a 830rpm.
- Ajustamos la válvula de alivio hasta tener una presión de 7251 PSI
- Conectar el cable de señal del módulo hacia el inyector
- Encender la fuente de alimentación
- Con los botones ON – OFF encender el módulo de comprobación de inyectores.
- Escoger en el menú principal el modo automático, con los pulsadores (↑)(↓)
- En el menú ingresar el valor de Núm. Rep. Igual a 200 repeticiones, aceptamos pulsando los botones OK y (↑)

- Luego ingresar en Per. Trab. o ciclo DUTY el valor para inyectores Denso es igual a 40% (valores simulados en ralentí de motor), aceptamos el dato ingresado.
- Una vez ingresado los datos encendemos la placa de transferencia con el interruptor ON – OFF, observamos si se enciende el LED indicador.
- Aceptamos la opción con el pulsador OK y observamos que inicia la inyección, y el combustible se dirige a la las probetas por medio de las mangueras.
- Comparamos los niveles obtenidos en cc. de entrega y retorno que hay en los dos recipientes (Entrega y Retorno).
- Después de la comprobación observamos y analizamos el funcionamiento del inyector para deducir su estado.
- Para comprobar los niveles del inyector a media y plena carga realizamos los pasos anteriores solo que en los parámetros modificamos por los siguientes datos:

INYECTOR DENSO	NUM. REPETICIONES	PER. TRABAJO
Media carga	250	60 %
Plena carga	300	80%

ANÁLISIS DE RESULTADOS:

Ralentí

830 RPM al % Duty en pulsos = cm³ Entrega
 cm³ Retorno

Media carga

1000 RPM al % Duty en pulsos = cm³ Entrega
 cm³ Retorno

Plena carga

1100 RPM al % Duty en pulsos = cm³ Entrega
..... cm³ Retorno

CONCLUSIONES:

.....
.....
.....
.....

RECOMENDACIONES:

.....
.....
.....

5.2. Guía de laboratorio comprobación del inyector BOSCH

TEMA:

“Pruebas en el inyector Bosch con banco de inyectores CRDI”

OBJETIVOS:

- Comprobar el estado del inyector Bosch, visualmente
- Realizar las pruebas a ralentí, media y plena carga, conectando el inyector Bosch al banco.
- Obtener y comparar los volúmenes de diesel de inyección y retorno para el inyector Bosch.

HERRAMIENTAS Y EQUIPOS:

- Banco de Inyectores CRDI
- Inyector Bosch
- Módulo electrónico para inyectores CRDI
- Manual de usuario del banco y módulo de inyectores diesel CRDI.

REVISIÓN TEÓRICA:

Sistemas CRDI BOSCH

El sistema Common-rail o conducto común es un sistema de inyección de combustible electrónico para motores diesel de inyección directa en el que 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, las características de este sistema en general son las siguientes :

La generación de la presión y el control de la inyección están completamente separados, la presión de inyección es independiente de la velocidad del motor RPM, es regulable en modo flexible entre 150 y 1350 bares.

En el sistema “Common Rail” divide la inyección en una “inyección previa”, “inyección principal”, y en algunos casos en una “inyección posterior”.

PROCEDIMIENTO:

- Conectar la fuente de alimentación del módulo de inyectores CRDI (110V)
- Conectar los cables de señal y voltaje del módulo de comprobación hacia la fuente, tener en cuenta los conectores macho y hembra de 5V Y 12V.
- Conectar la cañería de alta presión con el riel y el inyector.
- Encendemos el banco con el breaker ubicado en la parte posterior, observamos si se enciende la pantalla del variador.
- Elegimos el sentido de giro (el motor gira en sentido anti horario), presionamos REV en la pantalla del variador.
- Elegido el sentido de giro movemos el potenciómetro e incrementamos las revoluciones a 830rpm.
- Ajustamos la válvula de alivio hasta tener una presión de 7251 PSI
- Conectar el cable de señal del módulo hacia el inyector
- Encender la fuente de alimentación
- Con los botones ON – OFF encender el módulo de comprobación de inyectores.
- Escoger en el menú principal el modo automático, con los pulsadores (↑)(↓)
- En el menú ingresar el valor de Núm. Rep. Igual a 200 repeticiones, aceptamos pulsando los botones OK y (↑)
- Luego ingresar en Per. Trab. o ciclo DUTY el valor para inyectores Denso es igual a 20% (valores simulados en ralentí de motor), aceptamos el dato ingresado.
- Una vez ingresado los datos encendemos la placa de transferencia con el interruptor ON – OFF, observamos si se enciende el LED indicador.

- Aceptamos la opción con el pulsador OK y observamos que inicia la inyección, y el combustible se dirige a las probetas por medio de las mangueras.
- Comparamos los niveles obtenidos en cc. de entrega y retorno que hay en los dos recipientes (Entrega y Retorno).
- Después de la comprobación observamos y analizamos el funcionamiento del inyector para deducir su estado.
- Para comprobar los niveles del inyector a media y plena carga realizamos los pasos anteriores solo que en los parámetros modificamos por los siguientes datos:

INYECTOR DENSO	NUM. REPETICIONES	PER. TRABAJO
Media carga	250	30 %
Plena carga	300	40%

ANÁLISIS DE RESULTADOS:

Ralentí

830 RPM al % Duty en pulsos = cm³ Entrega
 cm³ Retorno

Media carga

1050 RPM al % Duty en pulsos = cm³ Entrega
 cm³ Retorno

Plena carga

1100 RPM al % Duty en pulsos = cm³ Entrega
 cm³ Retorno

CONCLUSIONES:

.....

RECOMENDACIONES:

.....

.....

.....

5.3. Guía de laboratorio comprobación del inyector DELPHI

TEMA:

“Pruebas en el inyector Delphi con banco de inyectores CRDI”

OBJETIVOS:

- Verificar la resistencia en la bobina del inyector Delphi, de manera de constatar que no se encuentre en corto circuito antes de conectarlo al banco de pruebas.
- Comprobar el estado del inyector Delphi, con las pruebas a ralentí y plena carga
- Obtener y comparar los niveles entregados tanto de entrega como retorno del inyector Delphi.

HERRAMIENTAS Y EQUIPOS:

- Banco de Inyectores CRDI
- Inyector Delphi
- Módulo electrónico para inyectores CRDI
- Manual de usuario del banco y módulo de inyectores diesel CRDI.

REVISIÓN TEÓRICA:

Sistemas CRDI

El sistema Common-rail o conducto común es un sistema de inyección de combustible electrónico para motores diesel de inyección directa en el que 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, las características de este sistema en general son las siguientes :

La generación de la presión y el control de la inyección están completamente separados, la presión de inyección es independiente de la velocidad del motor RPM, es regulable en modo flexible entre 150 y 1350 bares.

En el sistema "Common Rail" divide la inyección en una "inyección previa", "inyección principal", y en algunos casos en una "inyección posterior".

PROCEDIMIENTO:

- Conectar la fuente de alimentación del módulo de inyectores CRDI (110V)
- Conectar los cables de señal y voltaje del módulo de comprobación hacia la fuente, tener en cuenta los conectores macho y hembra de 5V Y 12V.
- Conectar la cañería de alta presión con el riel y el inyector Delphi.
- Encendemos el banco con el breaker ubicado en la parte posterior, observamos si se enciende la pantalla del variador.
- Elegimos el sentido de giro (el motor gira en sentido anti horario), presionamos REV en la pantalla del variador.
- Elegido el sentido de giro movemos el potenciómetro e incrementamos las revoluciones a 830rpm.
- Ajustamos la válvula de alivio hasta tener una presión de 7251 PSI
- Conectar el cable de señal del módulo hacia el inyector
- Encender la fuente de alimentación
- Con los botones ON – OFF encender el módulo de comprobación de inyectores.
- Escoger en el menú principal el modo automático, con los pulsadores (⬆)(⬇)
- En el menú ingresar el valor de Núm. Rep. Igual a 100 repeticiones, aceptamos pulsando los botones OK y (⬆)
- Luego ingresar en Per. Trab. o ciclo DUTY el valor para inyectores Delphi es igual a 20% (valores simulados en ralentí de motor), aceptamos el dato ingresado.

- Una vez ingresado los datos encendemos la placa de transferencia con el interruptor ON – OFF, observamos si se enciende el LED indicador.
- Aceptamos la opción con el pulsador OK y observamos que inicia la inyección, y el combustible se dirige a la las probetas por medio de las mangueras.
- Comparamos los niveles obtenidos en cc. de entrega y retorno que hay en los dos recipientes (Entrega y Retorno).
- Después de la comprobación observamos y analizamos el funcionamiento del inyector para deducir su estado.
- Para comprobar los niveles del inyector a media y plena carga realizamos los pasos anteriores solo que en los parámetros modificamos por los siguientes datos:

INYECTOR DENSO	NUM. REPETICIONES	PER. TRABAJO
Media carga	250	30 %
Plena carga	300	40%

ANÁLISIS DE RESULTADOS:

Ralentí

830 RPM al % Duty en pulsos = cm³ Entrega
 cm³ Retorno

Media carga

1050 RPM al % Duty en pulsos = cm³ Entrega
 cm³ Retorno

Plena carga

1100 RPM al % Duty en pulsos = cm³ Entrega
 cm³ Retorno

CONCLUSIONES:

.....

.....
.....

RECOMENDACIONES:

.....
.....
.....

5.4. Conclusiones

- Se diseñó y construyó el circuito electrónico y eléctrico del módulo comprobador de inyectores CRDI basado en tres "placas" o circuitos que han sido denominados: CONTROL, POTENCIA y TRANSFERENCIA, cada uno de estos circuitos permitirán a través del ingreso de datos, enviar pulsos electromagnéticos de ciclo de trabajo (DUTY) variable a los inyectores CRDI: Denso, Delphi y Bosch.
- Se programó el micro controlador de modulo usando un software especializado denominado ARDUINO 1.0.3, esto permitirá la conexión y funcionamiento conjunto de todos los circuitos de control y potencia incorporados en el módulo comprobador.
- Se incorporó el modulo comprobador de inyectores al banco de pruebas, encargado de generar la presión necesaria para cada una de las evaluaciones en los diferentes inyectores CRDI.
- Se colocó una resistencia cerámica de "1 Ohm" en el emisor del transistor que envía los pulsos al inyector, esto evito nuevos recalentamientos que pudieran desembocar en daños de componentes y logrando el funcionamiento óptimo del comprobador.
- Fue necesario ampliar el intervalo de tiempo entre cada pulso electromagnético enviado al inyector, que inicialmente fue establecida en la programación en 0,5 ms (mili segundos) a un nuevo intervalo de: "1,5"ms, esto posibilitó la rápida recuperación de carga y descarga de los capacitores del circuito de potencia.

5.5. Recomendaciones

- Al momento de estar ensamblando el módulo se recomienda, ubicar las placas con cierta separación una de otra para evitar cortos circuitos y daños de los componentes.
- La carcasa del módulo debe ser fabricada con un polímero de preferencia plástico medio lustroso; esto servirá para eliminar señales parasitas dentro del módulo, y en caso que se presente un corto circuito no trasmite al resto de componentes.
- La fuente de poder funciona con 100V C.A., en caso de enviar un voltaje superior o inferior puede averiar la fuente.
- Por los altos valores de voltaje y amperaje conmutados por el transistor, que conllevan a su calentamiento, se recomienda unirlo a un disipador de calor de buenas características y amplias dimensiones.
- Evitar manipular el modulo con manos mojadas, o grasas; la pantalla LCD del módulo es muy sensible si se sigue estos consejos permitirá alargar la vida útil de los componentes del módulo.
- Evitar dejar caer, o golpear el módulo, hay q recalcar que su construcción está realizada con materiales frágiles de fácil deterioro si no se los cuida.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

- Thomas Floyd. (1996). Dispositivos electrónicos (6ª ed.). México: Noriega Limusa ediciones.
- Thomson. (2004). Instrumentación electrónica (7ª ed.). México: Montytexto ediciones.
- BOSCH Robert., "Sistema de inyección Diesel por acumulador Common Rail", tercera edición alemana 2005, Pag. 20 a 55.
- Rueda Santander Jesús., TÉCNICO EN MECÁNICA Y ELECTRÓNICA AUTOMOTRIZ, "Electricidad y Electrónica Inyección Electrónica", Tomo 3, Edith. Diseli, 2005, Pag 790 a 797.

PAGINAS INTERNET

- Descripción bomba de alta presión DENSO HP3 en la URL: <http://www.dieselevante.it/fuelpumps/index.asp#>
- Despiece , tolerancias y codificación inyectoros DENSO , DELPHI Y BOSCH en URL: <http://www.dieselevante.it/fuelpumps/index.asp#>
- Inyección CRDI BOSCH en la URL: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1126/2/Capitulo%201.pdf>
- Poweredes., "Probador CRDi", Disponible en la URL: <http://www.poweredes.com/probadorcrdi.pdf>

ANEXOS

ANEXO A
SISTEMA DE COMBUSTIBLE COMMON RAIL

PRUEBAS PARA INYECTORES CRDI

1. Inyector de devolución de combustible

a). El flujo de retorno de combustible excesivo es la falla más común para inyectores CRDI. Las causas están sellando daños en la superficie de la válvula de control, cansancio excesivo en la varilla hidráulica y la manga aburren. O daños en el plástico especial anillo de sellado para sellar combustible de alta presión.

b). El flujo de retorno máximo de una normal de Bosch inyector del CR es de aproximadamente un tercio de su máxima de inyección de combustible. Por ejemplo, si el ciclo máximo cantidad de inyección del inyector Bosch CRDI es 100mm^3 /por ciclo de trabajo, entonces el máximo rendimiento del combustible debe ser no más de 33mm^3 / ciclo.

c). Si un inyector del CRDI tiene retorno de combustible excesivo, para ello la cantidad de retorno de combustible debe ser decenas de veces más que la de inyección de combustible.

d). El rendimiento de combustible de los inyectores CRDI se puede inspeccionar directamente en el motor o en el vehículo sin ser eliminado. Simplemente quite las mangueras de retorno de combustible de los inyectores y, a continuación conecte las tuberías de nylon con conectores a los orificios de retorno de combustible en el inyector. Los otros extremos del tubo de nylon deberán estar conectados a las botellas dosificadoras. Después que todo esté conectado encienda el motor, en 10-20 segundos, el combustible devuelto en las botellas de medición debe indicar el estado de los inyectores.

e). La inspección de retorno de combustible de los inyectores CRDI se puede hacer mediante el uso de un banco de pruebas de la bomba de alta presión.

f). Las partes dañadas a causa de retorno de combustible excesivo, tales como el pequeño sellado por bola, la varilla hidráulica con la manga de partido, o el sellado de plástico, que deberán ser inspeccionados y reemplazados.

2. Inspeccione el solenoide del inyector.

a). Medir la resistencia de la bobina del solenoide entre dos clavijas de los terminales en la toma de conexión mediante el uso de un multímetro de más bajo rango de resistencia. La resistencia normal de un inyector CRDI está en el intervalo de 0,4-2 Ohm.

Ud. Puede comprobar la resistencia de la bobina de un nuevo inyector CRDI del mismo modelo, esto le permitirá tener este valor como referencia para poder inspeccionar otros inyectores.

Tabla1. Resistencia de inyectores

INYECTOR	RESISTENCIA
BOSCH	0,3 ±0,5Ω
DELPHI	0,2 ±0,5Ω
DENSO	0,5 ±0,5Ω 3,2 ±0,5Ω versión antigua.

Fuente: Autores

Si la resistencia medida es significativamente diferente, es síntoma de que la bobina del inyector puede estar dañada.

b). Mida la resistencia entre la bobina y el cuerpo del inyector mediante el uso de un multímetro en el rango resistencia más alto. Si el medidor no muestra ningún valor, el aislamiento de la bobina se ha dañado.

3. Prueba de cantidad de inyección:

- a)** Probar un inyector nuevo del mismo modelo. Usando los datos de prueba para poder probar otros inyectores.
- b)** Comparar con el inyector de referencia, si la diferencia de cantidad de inyección es menos del 10%, el inyector tiene un funcionamiento anormal.
- c)** Operar el banco de pruebas con la bomba de alta presión a las rpm requeridas.
- d)** Comprueba cantidades de inyección en las siguientes condiciones:

Tabla2. Parámetros de prueba

Condición Operacional	Presión (Bar)	Inyección Frecuencia (Hz)	Inyección ancho de pulso
Inicio	300	2	3000
Media velocidad	1000	10	2000
De alta velocidad	1350	10	1000

Fuente: Autores

- e)** Un fallo en la cantidad de inyección puede ser causada por el depósito de carbono en los orificios de la tobera. Adicionalmente la boquilla de pulverización requiere una limpieza por ultrasonido (400 Hz).

ANEXO B

CODIFICACIÓN DE COMPONENTES POR VEHÍCULO

ANEXO C
ARTÍCULO

Tabla1. Valores de entrega y retorno para inyectores CRDI

TABLA DE ENTREGA Y RETORNO DE INYECTORES CRDI					
		FULL CARGA		RALENTÍ	
Nº. PARTE	APLICACIÓN	ENTREGA	RETORNO	ENTREGA	RETORNO
0445110250	MAZDA BT-50	14	4	2-2,5	2
0445110126	H. TUCSON	17	6	2	2
0445110279	KIA SORENTO	19	6	2	2
0445110186	KIA SORENTO	18	5	2	2
23670	TOYOTA HILUX	18	6	2,3	2
9430612737	HINO GD	27	5	2,5	2
R03701D	TERRACAN 2.9	19	5	2	2
R02901D	KIA SPORTAGE	19	5	2	2

Fuente: Autores.

Latacunga, Diciembre 2013

AUTORES

Kevin Andrés Jácome Moromenacho

Diego Arturo López Nicolalde

Ing. Juan Castro

DIRECTOR DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Dr. Freddy Jaramillo

SECRETARIO ACADÉMICO

UNIDAD DE ADMISIÓN Y
REGISTRO