

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SIMULADOR DIDÁCTICO DE INYECTORES DIESEL PIEZOELÉCTRICOS CON VISUALIZACIÓN GRÁFICA DE SEÑALES OPERATIVAS A TRAVÉS DE UN OSCILOSCOPIO

Gabriela Cabascango<sup>1</sup>/Pamela Davila<sup>2</sup>/Ing. Luis Mena<sup>3</sup>/Ing. Germán Erazo<sup>4</sup>

Universidad de Fuerzas Armadas ESPE  
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica  
Quijano y Ordoñez y Marqués de Maénza s/n

Email: gaby\_c03@hotmail.es<sup>1</sup>, panchitad14@hotmail.com<sup>2</sup>, lamena@hotmail.com<sup>3</sup>, wgerazo@espe.edu.ec<sup>4</sup>

Latacunga – Ecuador

Energía Mecánica Innovación y Futuro 2014

## RESUMEN

Los avances tecnológicos relacionados con motores diesel y sus sistemas están en constante actualización, se realiza una investigación para obtener un equipo de simulación y prueba de inyectores diesel piezoeléctricos a fin de motivar el desarrollo de prácticas que fortalezcan las competencias profesionales de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Automotriz y profesionales afines. Se construye el simulador de pruebas para inyectores diesel piezoeléctricos con visualización gráfica de señales operativas a través de un osciloscopio. Esta aplicación permite que los inyectores piezoeléctricos operen en condiciones de funcionamiento reales: estanqueidad, pulverización, apertura electrónica del inyector.

**Palabras clave:** Ingeniería, Inyector piezoeléctrico, CRDI, pulsos.

## ABSTRACT

Technological advances related to diesel engines and their systems are constantly updated, an investigation was performed to obtain a computer simulation and testing of diesel piezo injectors to motivate develops practices that strengthen the professional skills of the students studying Automotive Engineering and related professionals. A simulator test for diesel piezoelectric injectors graphically display operating signals through an oscilloscope is constructed. This application allows the piezo injectors operating in actual operating conditions: sealing, spray, electronic injector opening.

**Keywords:** Engineering, piezoelectric injector, CRDI, pulses.

## I. INTRODUCCIÓN

La incursión de nuevas tecnologías ha permitido que los avances tecnológicos relacionados con motores diesel y sus sistemas estén en constante actualización es por esto que se construyó un simulador de inyectores diesel piezoeléctricos, que fortalecerá las competencias profesionales de los futuros ingenieros automotrices.

### A. Sistema de alimentación combustible

(Sánchez, 2008) “El combustible a alta presión generado por la bomba de suministro va desde el raíl común y es distribuido a cada cilindro. El inicio y final de la inyección es controlado por la apertura o cierre de la válvula de aguja de la tobera, usando una válvula electro magnética ubicada dentro del inyector.”

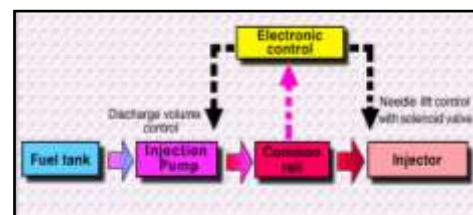


Figura 1: Mapa de bloque sistema de combustible riel común  
Fuente: Manual Motores Diesel

### B. Sistema de inyección riel común Bosch

(Bosch, 2003) “El sistema de inyección de acumulador Bosch “Riel Común” para motores con inyección directa ofrece una flexibilidad destacadamente mayor para la adaptación del sistema de inyección al motor, en comparación con los sistemas convencionales propulsados por

levas:

- Mayor campo de aplicación (para turismos y vehículos industriales ligeros con potencias de hasta 30 kW/cilindro)
- Para vehículos industriales pesados y hasta incluso para locomotoras y barcos con potencias de hasta aprox. 200 kW/cilindro),
- Alta presión de inyección hasta aprox. 1400 bar,
- Comienzo de inyección variable,
- Posibilidad de inyección previa, principal y posterior,
- Presión de inyección adaptada al estado de servicio.”

### C. Crdi (Common Rail Direct Injection) o sistema de inyección directa de riel común

Castro G. (2008) “Lo que distingue al sistema de riel común de otros tipos de inyección Diesel es que el diesel a presión no procede directamente de la bomba, sino de un riel común de inyección. El riel es una tubería de la que parte una ramificación para cada inyector. La principal ventaja de este sistema es que la presión con que trabaja es prácticamente independiente del régimen y la carga del motor; es decir, aunque el conductor no acelere a fondo y el motor gire a bajas revoluciones, es posible inyectar el diesel a una presión muy alta y casi constante durante todo el proceso de inyección.”

Las ventajas del CRDI son:

- Optimización del consumo de combustible, tanto en bajo como alto régimen
- El motor genera más potencia y torque, así una mejor aceleración, velocidad final y fuerza en todo momento.

### D. Funcionamiento de inyectores piezoeléctricos

(Augeri, 2008) “La operación de estos inyectores se realiza por un efecto llamado piezoeléctrico. El fenómeno piezoeléctrico consiste en un cristal de cuarzo que cambia de tamaño cuando se somete

a un impulso eléctrico. Inversamente es capaz de generar un impulso eléctrico si se fuerza a cambiar deformándolo.”



Figura 2: De inyectores piezoeléctricos  
Fuente: CISE ELECTRONICS CORP

En estos inyectores, el solenoide que abría y cerraba la válvula para permitir el drenaje al retorno del diésel sobre el embolo, es reemplazado por un elemento Piezoeléctrico.

### E. INYECTOR PIEZOELÉCTRICO

Gonzales C. (2010) “Un elemento piezoeléctrico es aquel al cual si se le aplica una deformación genera una tensión eléctrica. Inversamente, cuando se le aplica tensión puede manifestar una deformación mecánica.” Los inyectores de tipo piezoeléctrico tienen grandes ventajas respecto a los convencionales:

- Tiempos de conmutación muy pequeños.
- Posibilidad de inyecciones múltiples en lapsos muy cortos.
- Gran exactitud de dosificación.

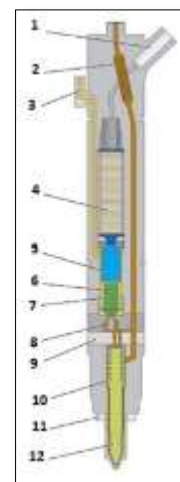


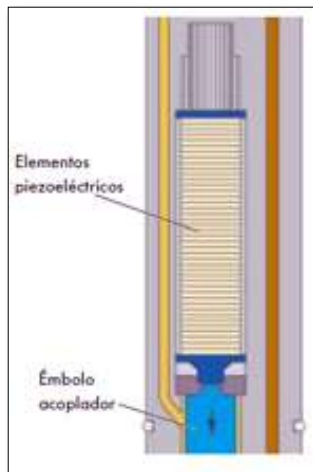
Figura 3: Inyector piezoeléctrico.  
1 Terminal eléctrico, 2 Filtro de barra, 3 Retorno de combustible, 4 Actuador piezoeléctrico, 5 Embolo acoplador, 6 Embolo de válvula, 7 Muelle

émbolo de válvula,8 Válvula de mando,9 Placa estranguladora,10 Muelle de la tobera del Inyector,11 Retén,12 Aguja

**Fuente:** CISE ELECTRONICS COR

## F. ACTUADOR PIEZOELECTRICO

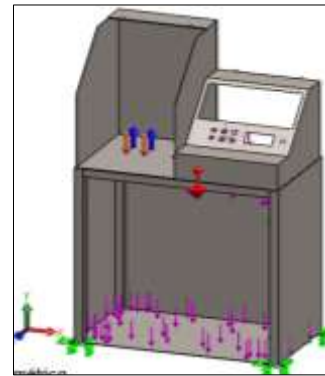
(Gonzales, 2010) "Está constituido por una gran cantidad de elementos piezoeléctricos, para poder conseguir un recorrido de suficiente magnitud para la gestión del inyector. Al aplicarse la tensión el actuador piezoeléctrico se dilata hasta 0.03mm con una tensión de excitación de 110 – 148 voltios.



**Figura 4:** Actuador piezoeléctrico  
**Fuente:** CISE ELECTRONICS CORP

## G. CONSTRUCCIÓN

Para el diseño mecánico del banco de prueba se utiliza el programa Solid Works Simulation 2014, el mismo que es un programa de Ingeniería Asistida por Computador (CAE) que emplea el Método de Elemento Finito (FEM) para realizar el análisis de tensiones de los componentes mecánicos previamente modelados en 3D, calculando de forma rápida y precisa sus esfuerzos, deformaciones y factor de seguridad de un componente mecánico en función de los materiales asignados, las cargas a las que están sometidos y el tipo de sujeciones en los puntos de apoyo.



**Figura 5:** Asignación de cargas y sujeciones  
**Fuente:** Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

## H. CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO

Se utilizó tubo cuadrado de 30mm de diámetro por 2mm de espesor que servirá como el soporte de nuestro banco, ángulo de 25x2 milímetros con una longitud de 500 milímetros, dos planchas de tol de 1,16 x 1,4 milímetros.



**Figura 6:** Corte y soldado de la estructura.  
**Fuente:** Cabascango, Dávila

Una vez terminada la estructura, con la ayuda del manual de la bomba se ensambla e instalarlo en la estructura. Primero se colocó los empaque que van en el cuerpo de la bomba, después el muelle sobre el pistón.



**Figura 7:** Ensamble de la bomba.  
**Fuente:** Cabascango, Dávila



Figura 8: Ensamble de la bomba en el simulador.  
Fuente: Cabascango, Dávila

### I. DISEÑO ELÉCTRICO

(Svoboda, 2007) “Se llama convertidor DC-DC a un dispositivo que transforma corriente continua de una tensión a otra. Suelen ser reguladores de conmutación, dando a su salida una tensión regulada y, la mayoría de las veces con limitación de corriente. Se tiende a utilizar frecuencias de conmutación cada vez más elevadas porque permiten reducir la capacidad de los condensadores, con el consiguiente beneficio de volumen, peso y precio.”

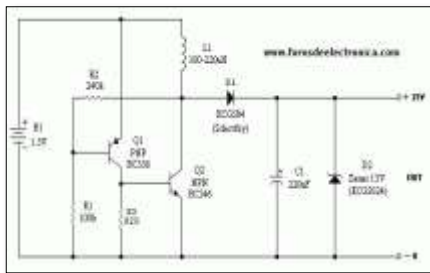


Figura 9: Convertidor DC-DC  
Fuente: Boylestad R

Simplifican la alimentación de un sistema, porque permiten generar las tensiones donde se necesitan, reduciendo la cantidad de líneas de potencia necesarias. Además permiten un mejor manejo de la potencia, control de tensiones de entrada, aumento de armónicas y un aumento en la seguridad.

### J. DISEÑO DE HARDWARE

Para esta etapa que es una de las más complicadas y donde el desarrollador de un sistema que interactúa con actuadores en este

caso de tipo piezoeléctricos, se ve obligado a recurrir a información de bancos existentes, controles o comúnmente conocidos como ECU's, y por último a mediciones en tiempo real de los actuadores, para poder implementar los circuitos necesarios para el control de este tipo de inyectores que son de cierta manera elementos que responden a ciertas características eléctricas de acuerdo a su constitución interna todo lo anterior se resume a continuación en varias etapas bien definidas.



Figura 10: Placa plataforma Arduino  
Fuente: Cursos de robótica

(Jaeger, 2005) “Arduino es un hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios. El hardware consiste en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada/salida.”

### K. PLACA DRIVER DE POTENCIA

Se realizó el siguiente diagrama eléctrico que no es más que un puente en forma de h para el manejo de los voltajes y corriente necesarios para la activación del inyector piezoeléctrico:

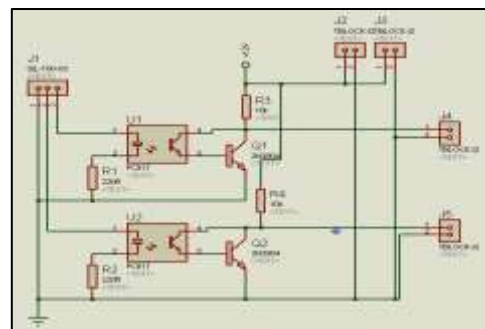
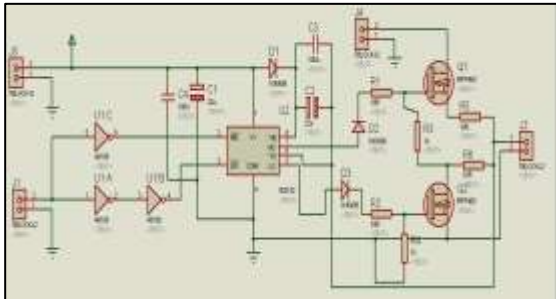


Figura 11: Diagrama de la etapa de potencia.  
Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

El funcionamiento es relativamente sencillo, la placa de control genera las pulsaciones dependiendo de la frecuencia y tiempo de descaso en el controlador esta es enviada al driver de la figura anterior desacoplando voltajes de los pines a través de una etapa de opto acopladores de transistor como son los 4n25, de ahí cada señal es pasada a una compuerta inversora de señal para generar siempre un desfase de 180 grados para que siempre se genere un manejo de los voltajes de carga y descarga en el inyector piezoeléctrico a su vez si las señales se encuentran en un estado bajo, la placa de potencia se encuentra en un estado de deshabilitación o no funcionamiento.



**Figura 12:** Placa de control  
Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

En esta etapa es necesario desfasar el pulso de control ya que en un sentido de trabajo el mosfet que conecta la fuente de 160 voltios conduce en un instante y luego se deshabilita para conectar el mosfet que conecta la tierra de la misma fuente por otro lado el inyector que se conecta a la bornera j2 se encuentra unido entre la unión de los dos mosfets entre el source y drain respectivamente se incluyó dos resistencias en serie para evitar que si el driver maneja o se desconecta por algún caso fuera de lo normal una señal de ruido dichos mosfets no lleguen a su máximo tiempo de conexión y desconexión evitando un corto directo entre los terminales de la fuente en el otro caso solo se utiliza para cargar y descargar el inyector piezoeléctrico, el driver ir2102 simplemente es una gran ayuda al momento de manejar mosfets o igbts que son elementos de mayor potencia de trabajo.

## L. LISTA DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

**Tabla 1:** Para la placa de control se utilizaron

PLACA DE CONTROL		
Resistencia R1	100	1
Resistencia R2	5k	1
<b>(Potenciómetro)</b>		
Resistencia R3	220R	1
Resistencia R4-R9	1k	6
Condensador C1	4700u	1
Condensador C2	220u	1
Condensador C3-C5	1k	3
Circuito integrado U1	7808	1
Circuito integrado U2	7805	1
Diodos D1	LCD-16P	1
Diodo D2- D8	LED-RED	7

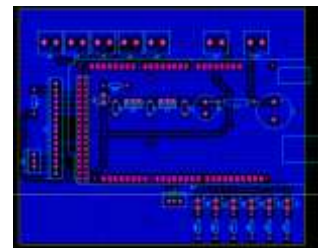
Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

**Tabla 3.1:** Elementos placa de potencia

DIVER DE POTENCIA		
Resistencia R1-R2-R5-R6	10k	4
Resistencia R3-R4	1k	2
Condensador C1-C2	22u	2
Condensador C3-C4	100n	2
Circuito integrado U1	40106	1
Circuito integrado U2	IR2102	1
Transistor Q1-Q2	IRFP460	2
Diodos D1-D3	Fr 207	3
Borneras J1-J4	TBLOCK-I2	4

Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

Una vez diseñado el programa del simulado, se realizó los diagramas de cada placa y la simulación en el programa.



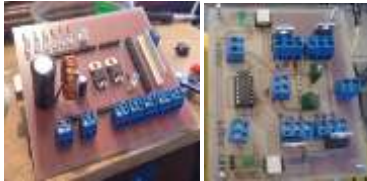
**Figura 13:** Placa de circuito impreso de control.  
Fuente: Fuente: Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

Una vez que se obtuvo los circuitos, se procedió con el diseño de cada placa en las baquelitas.



**Figura 14:** Impresión del circuito en baquelita.  
**Fuente:** Cabascango, Dávila, Erazo, Mena

Una vez lista las placas se procedieron a soldar los elementos de cada una de las mismas y a su posterior comprobación.



**Figura 15:** Ensamble de los circuitos eléctricos  
**Fuente:** Cabascango, Dávila

## M. CONCLUSIONES.

El simulador realizado para este tipo de inyectores dispone de una fuente eléctrica normal de 110V y un driver de potencia que eleve su voltaje a 160V la cual alimenta al inyector para el funcionamiento y la apertura para las diferentes pruebas a rangos y presiones establecidas por el fabricante del motor.

En la construcción del generador de pulsos para la activación del inyector se utilizó elementos eléctricos, electrónicos y así como el uso de una interfaz Arduino el cual maneja un software y un hardware para la apertura del inyector.

Saber que es una plataforma de hardware y software libre que ha tenido gran desarrollo en la comunidad de internet sobre que se desarrolla miles de programas de robótica en corto tiempo.

La bomba cumple con los parámetros para este tipo de simulador y así enviar la presión requerida como son 600 bares para el funcionamiento del inyector.

## BIBLIOGRAFÍA

Augeri. (2008). Cise Electronic Corp. Obtenido de Cise Electronic Corp.

Bosch, R. (2003). Sistemas de Inyección Diesel. En R. Bosch, Sistemas de Inyección Diesel. Alemania.

Castro, L. G. (2008). Manual de Mantenimiento y Reparación. En L. G. Castro, Manual de Mantenimiento y Reparación. Diseli.

Floyd, T. L. (2006). Principios de Circuitos Electrónicos. México: Alfaomega.

Jaeger, R. C. (2005). Diseño de Circuitos Electrónicos. Buenos Aires: Mc Graw Hill.

Sánchez, G. F. (2008). Motores Diesel. En G. F. Sánchez, Motores Diesel. Diseli.

## BIOGRAFÍA.



**Gabriela Cabascango**, nació en la ciudad de Otavalo, Ecuador. Es Ingeniera Automotriz en la Universidad de la Fuerzas Armadas-ESPE Latacunga.



**Pamela Dávila**, nació en la ciudad de Otavalo, Ecuador. Es Ingeniera Automotriz en la Universidad de la Fuerzas Armadas-ESPE Latacunga.



**Luis Mena**, nació en Ambato, Ecuador. Es Ingeniero Automotriz, sus estudios universitarios los realizó en la EX-URSS Universidad “Amistad de Los Pueblos” de MOSCÚ, Facultad de Termodinámica y

Motores Térmicos, Docente tiempo completo en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE desde 1989, Imparte servicios de asesoramiento capacitación en Diseño Construcción y Mantenimiento en Motores de Combustión Interna Diésel-Gasolina.



**Germán Erazo**, nació en la ciudad de Latacunga, Ecuador. Es ingeniero Automotriz, Ingeniero Industrial, posee estudios de Postgrado en Autotrónica, Gerencia de Marketing, Gerencia de

Proyectos, Diseño Curricular, Energías Renovables, Administración de Empresas y Magister en Gestión de Energías. Docente en la Universidad de Fuerzas Armadas-ESPE Latacunga desde 1993. Imparte servicios de asesoramiento y capacitación en mecánica y electrónica automotriz.