

# PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORAS: CABASCANGO OÑA MAYRA GABRIELA  
DÁVILA AUZ FRANCISCA PAMELA

TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SIMULADOR  
DIDÁCTICO DE INYECTORES DIESEL PIEZOELECTRICOS  
CON VISUALIZACIÓN GRÁFICA DE SEÑALES OPERATIVAS  
A TRAVÉS DE UN OSCILOSCOPIO.

DIRECTOR: ING. MENA LUIS  
CODIRECTOR: ING. ERAZO GERMÁN



- Los bancos de pruebas para sistemas riel común se encargan de cualificar y cuantificar el estado técnico funcional del sistema, realizando ensayos como: la medición de la entrega de caudal de inyección y de retorno a cualquier velocidad, comprobación y ajuste de la bomba del distribuidor, experimentación y regulación de la conducta de la sobrealimentación y el dispositivo de compensación.

- El sistema alimentación Riel Común perfila en solución de mejorar las normas de emisión, ya que permite un mejor rendimiento del combustible en los automóviles.
- Actualmente, casi todos los automóviles nuevos fabricados en Europa con motor diésel incorporan riel común identificados bajo distintas siglas según el fabricante (CRDI, CDTI, HDI, JTD, DCI, DTI, HDiT ,DCI, actualmente se empieza a incorporar en todos los TDI).
- Bosch, Siemens, Delphi y Denso son los fabricantes más importantes de estos sistemas. Entre los sistemas mencionados existen diferencias considerables en cuanto a la regulación de la presión y el funcionamiento eléctrico de los inyectores, pero básicamente se rigen por la misma forma de trabajo mecánico.

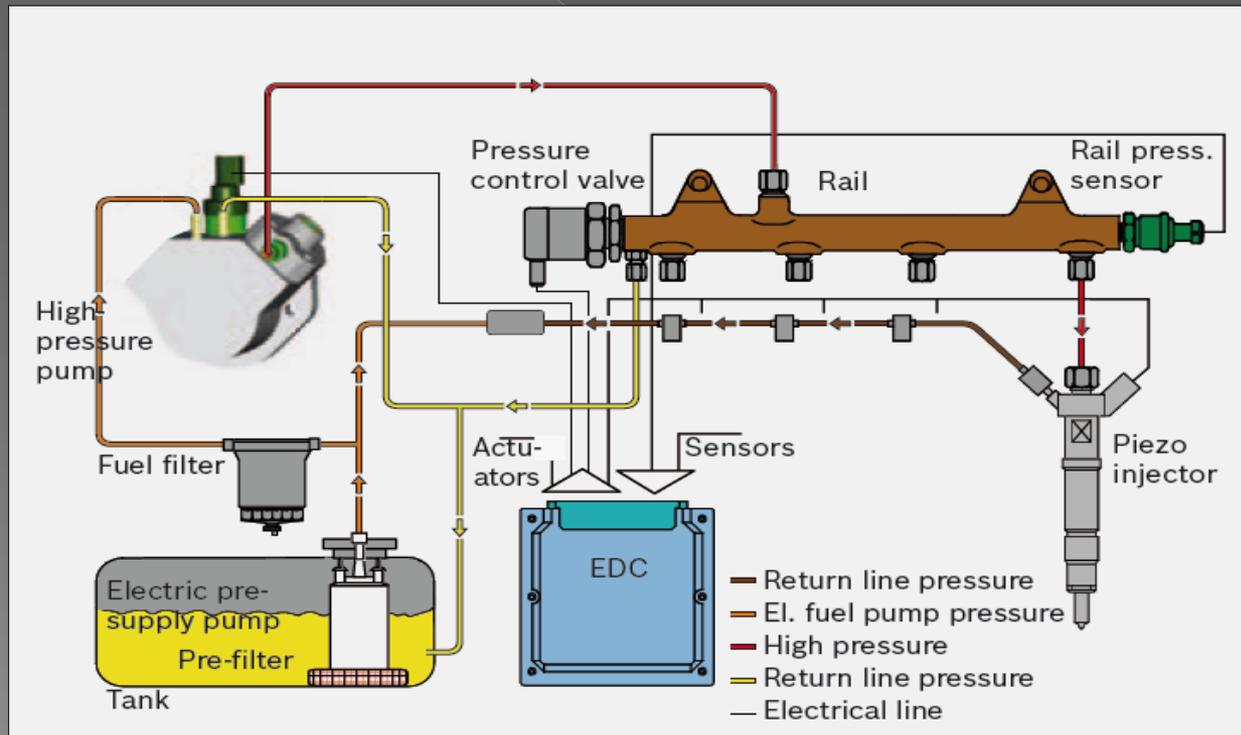
## SISTEMA DE INYECCIÓN RIEL COMÚN BOSCH

El sistema de inyección de acumulador Bosch “Riel Común” con inyección directa ofrece:

- 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.”

## 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.



# FUNCIONAMIENTO PIEZOELÉCTRICOS

# DE INYECTORES

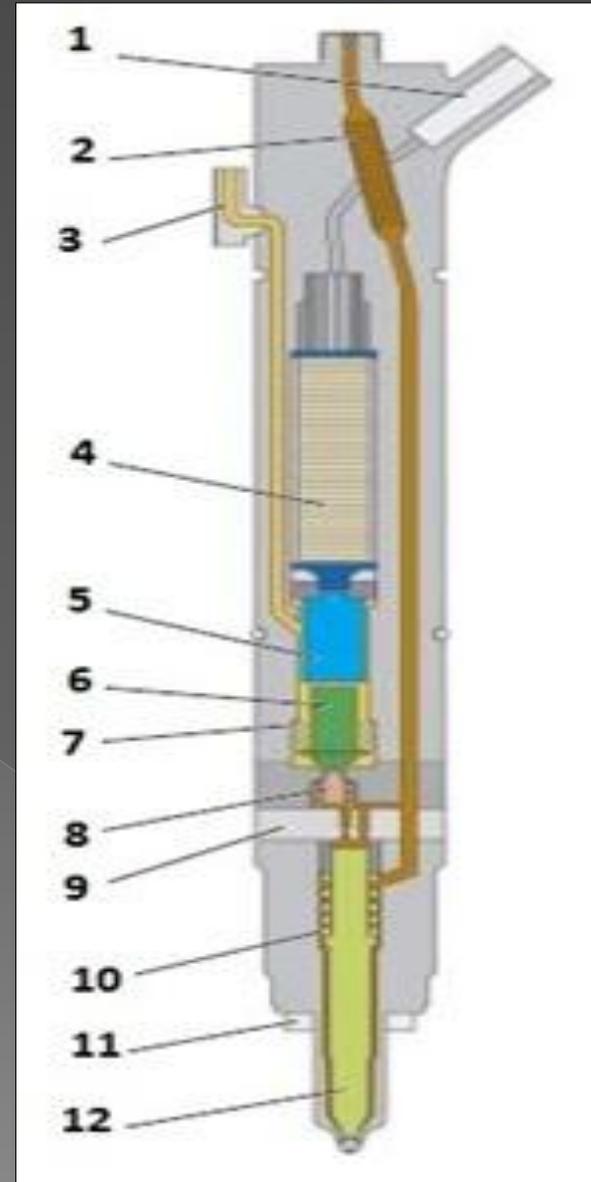
- La operación de estos inyectores se realiza por un efecto llamado piezoeléctrico.
- Consiste en un cristal de cuarzo que cambia de tamaño cuando se somete a un impulso eléctrico. Inversamente es capaz de generar un impulso eléctrico si se fuerza a cambiar deformándolo.
- En estos inyectores, el solenoide que abría y cerraba la válvula para permitir el drenaje al retorno del diésel sobre el embolo, es remplazado por un elemento Piezoeléctrico.

- El PCM envía sobre el piezoeléctrico una tensión inicial de unos 70 V por un tiempo de 0,2mseg. Ya en el interior, los cristales logran elevar este voltaje a unos 140 V, esto toma otros 0,2 ms y se logra con una corriente de aprox. 7 Amp. A este proceso se lo llama TENSION DE CARGA y CORRIENTE DE CARGA.
- El aumento de tensión se logra gracias al contacto entre los mismos cristales los cuales logran multiplicar el efecto de voltaje. Para terminar el proceso de inyección es necesario colocar otro impulso de tensión final llamado TIEMPO DE DESCARGA esto toma alrededor de otros 0,2 ms.

# INYECTOR PIEZOELÉCTRICO

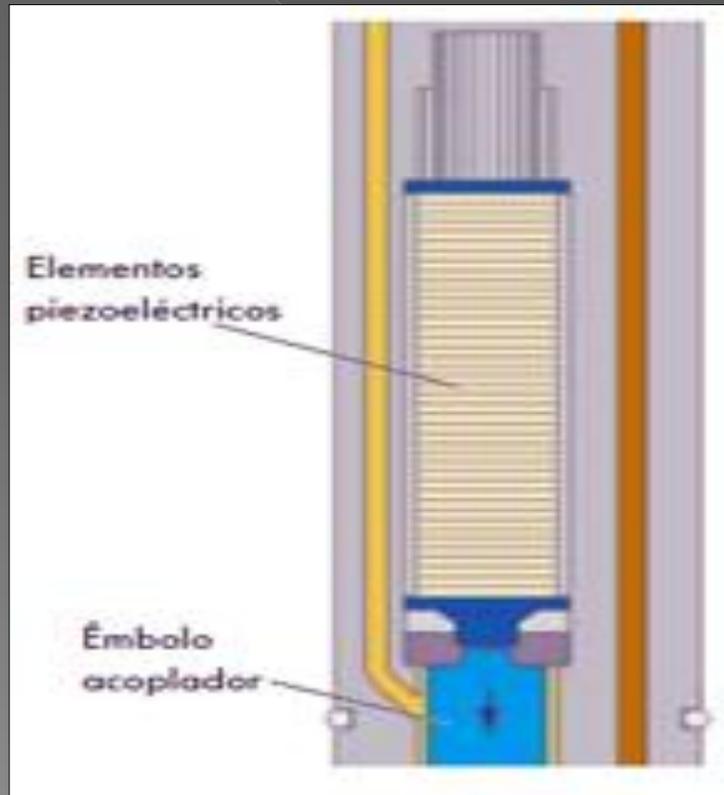
- Un elemento piezoeléctrico es aquel al cual si se le aplica una deformación genera una tensión eléctrica. Inversamente, cuando se le aplica tensión puede manifestar una deformación mecánica.” Los inyectores de tipo piezoeléctrico tienen grandes ventajas respecto a los convencionales:
- Tiempos de conmutación muy pequeños.
- Posibilidad de inyecciones múltiples en lapsos muy cortos.
- Gran exactitud de dosificación.

- 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



## ACTUADOR PIEZOELECTRICO

- 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.



## REQUERIMIENTOS:

El simulador de pruebas de inyectores piezoeléctricos en su diseño debe cumplir con las siguientes condiciones:

- ⦿ Voltaje de operación del simulador 110V
- ⦿ Voltaje de trabajo del inyector 100V- 400V
- ⦿ Voltaje de operación circuito eléctrico 12V
- ⦿ Voltaje de operación interfaz Arduino 5V
- ⦿ Tiempo de activación del inyector
- ⦿ Pre-inyección: 2ms
- ⦿ Inyección: 2ms
- ⦿ Post-inyección: 2ms

## Presiones de operación del simulador

- Presión máxima de inyección 60 MPa (600 bares)
- Presión mínima de inyección 35 MPa (350 bares)
- Capacidad del depósito de combustible 1 litro (1000 cm<sup>3</sup>)
- Tubería de inyección para alta presión M 14 x 1.5
- Factor de seguridad mínimo recomendado 3.0
- Sistema de filtrado 5micrones

## Presiones de soporte de la estructura

- Presión máxima ubicación de la bomba = 80.04 MPa (800 bares)
- Sistema de medición osciloscopio.

# DISEÑO MECÁNICO

## DETERMINACIÓN DE CARGAS

Mediante el procedimiento desarrollado se determinan las fuerzas y el torque que actúa sobre las diferentes partes del banco de pruebas de inyectores.

### ○ Fuerza Generada en el Pistón de Bombeo

- Debido a que la bomba manual de inyección debe proporcionar una presión máxima de 60 MPa para activar los inyectores y considerando que el pistón de bombeo tiene un diámetro de 10 mm, la fuerza requerida en el pistón para generar la presión indicada:

$$p = \frac{F2}{A_{pis}}$$

$P$  = máxima presión de inyección

$A_{pis}$  = área transversal del pistón de bombeo

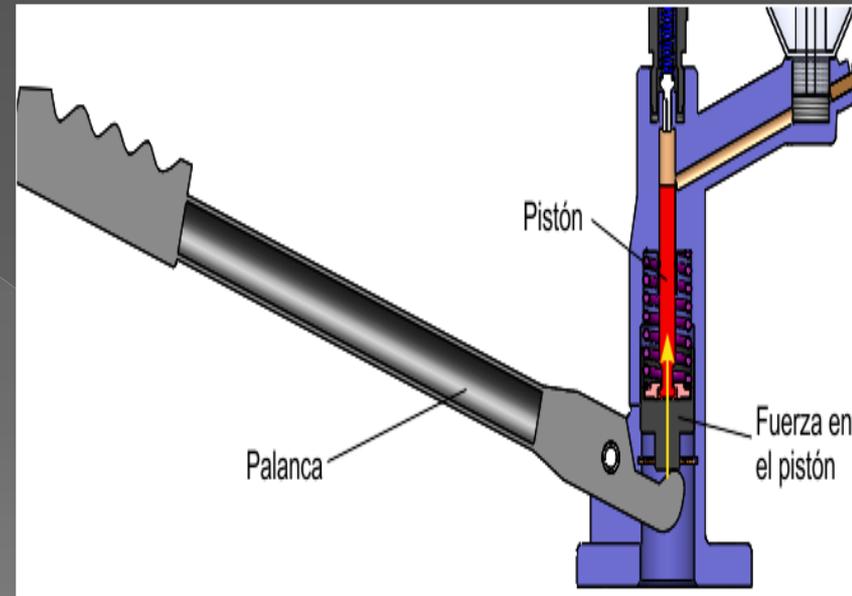
$F2$  = fuerza en el pistón

Despejando se tiene:

$$F = P \cdot A_{pis} = \frac{\pi \cdot d_{pis}^2}{4} \cdot p$$

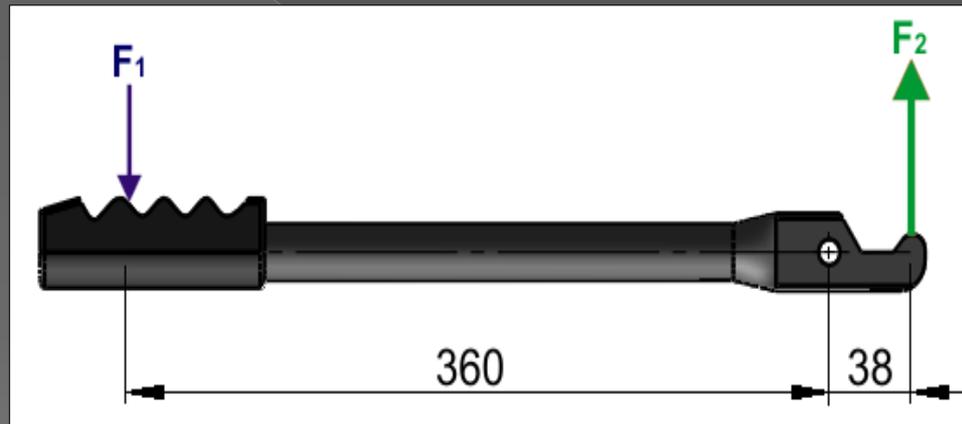
$$F2 = \pi \cdot 0.012m^2 \cdot 60 \cdot 10^6 Nm^2$$

$$F_{pis} = 4712,4 N$$



## ○ Fuerza Generadas en la Palanca

A partir de la fuerza requerida en el pistón de bombeo y considerando las dimensiones de la palanca de bombeo, se determina la fuerza que es necesaria aplicar con la mano en el extremo opuesto de la palanca.

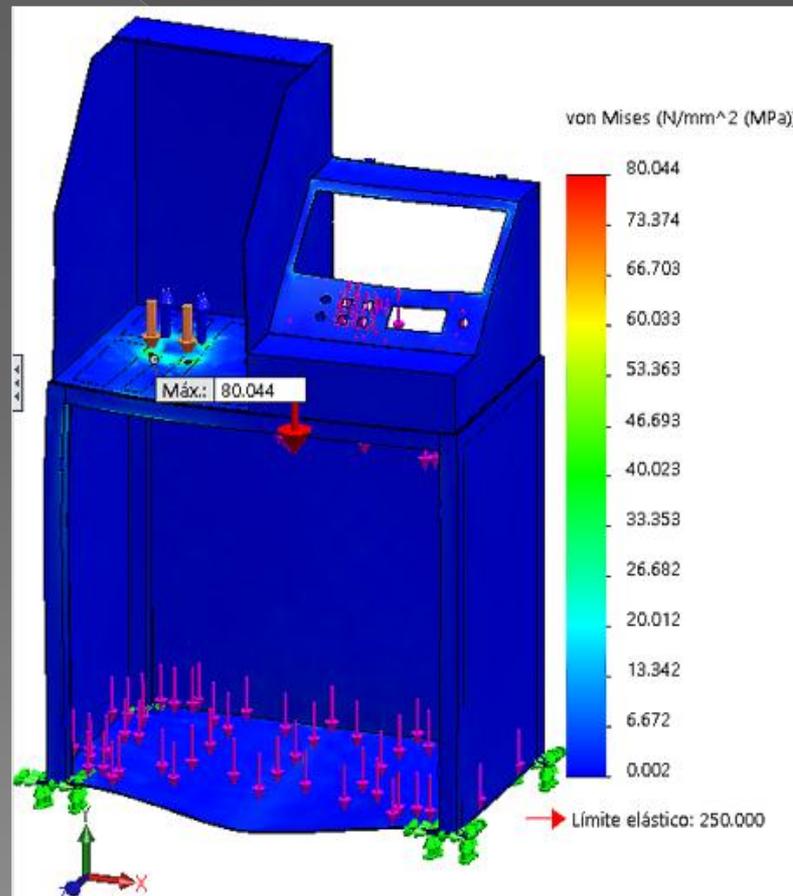


$$F_1 \cdot 360\text{mm} = F_2 \cdot 38\text{mm}$$

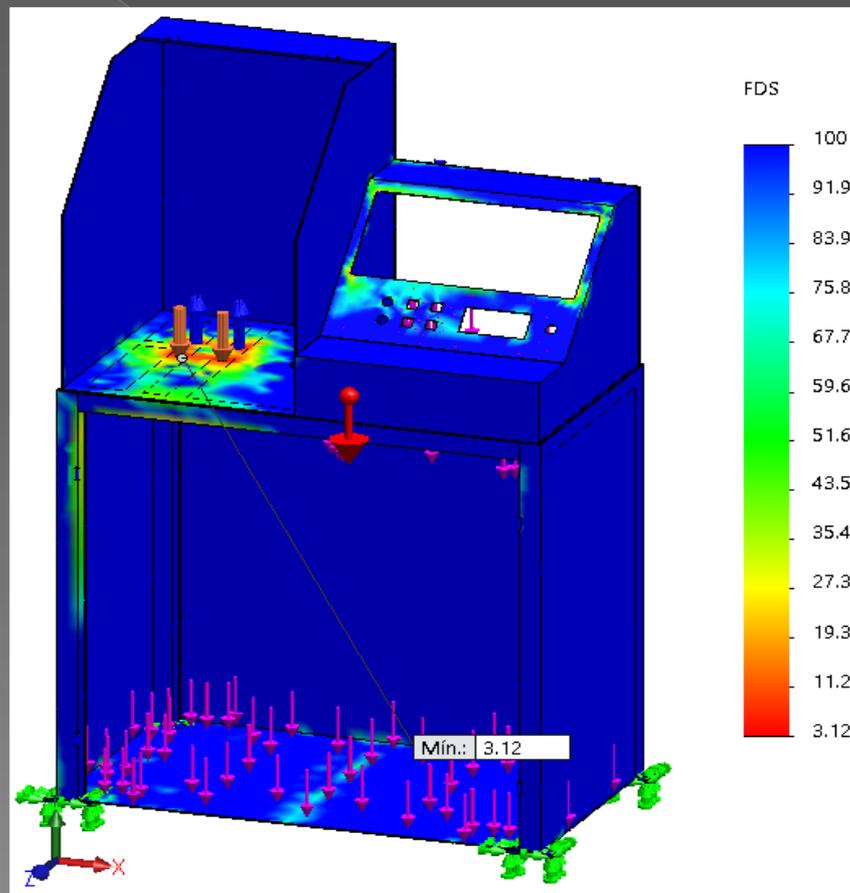
$$F_1 = 3141.6 \text{ N} \cdot 38 / 360$$

$$F_1 = 497,4 \text{ N} = 50,7 \text{ kgf}$$

- Se determina que la estructura soporte el valor máximo de la tensión de Von Mises es de 80,04 MPa y se produce en los agujeros para los pernos que sujetan la bomba de inyección manual, sin embargo esta tensión es menor que el límite de fluencia del material de 250 MPa, por lo tanto la estructura puede resistir la tensión máxima a la que está sometido.



- Como se observa en la parte crítica de la estructura soporte se encuentra en los agujeros para los pernos de sujeción de la bomba de inyección y su valor es de 3,12, pero al ser éste valor mayor que el mínimo recomendado, se concluye que su diseño es seguro.

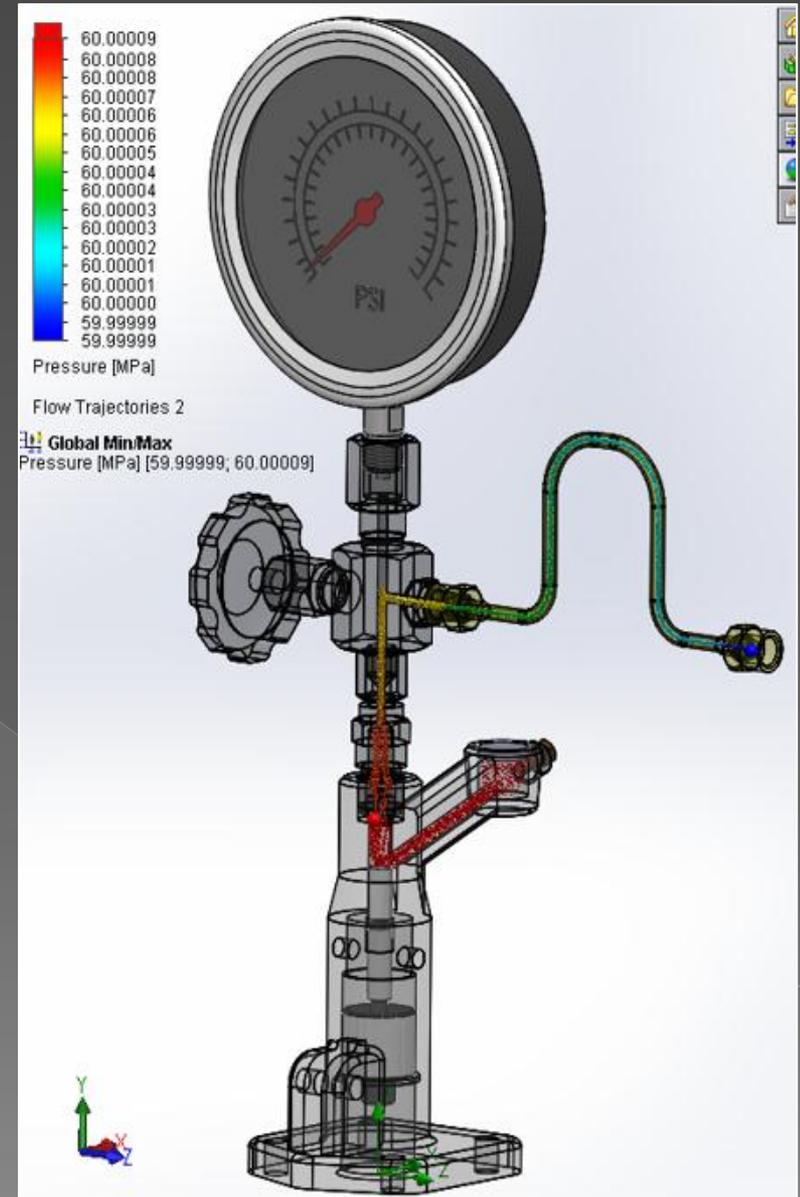


# DISEÑO HIDRÁULICO

- El diseño determina si el combustible dentro de la bomba de inyección alcanza la velocidad y presión de trabajo requeridas. Debido a la geometría compleja que tiene el trazado por donde circula el combustible, el análisis del flujo de fluido se realiza con el programa SolidWorks Flow Simulation que es un software de Dinámica de Fluidos Computacional, permite simular el comportamiento dinámico del diésel a medida que circula por la bomba de inyección hasta el inyector.

- **Presión total**

- Del diagrama de presión total se determina que la presión total varía, desde un valor máximo de 60.00009 MPa a la entrada del diesel hasta un valor mínimo de 59,99998 MPa a la salida, es decir, la caída de presión es de 110 MPa, el mismo que se considera que es casi despreciable.



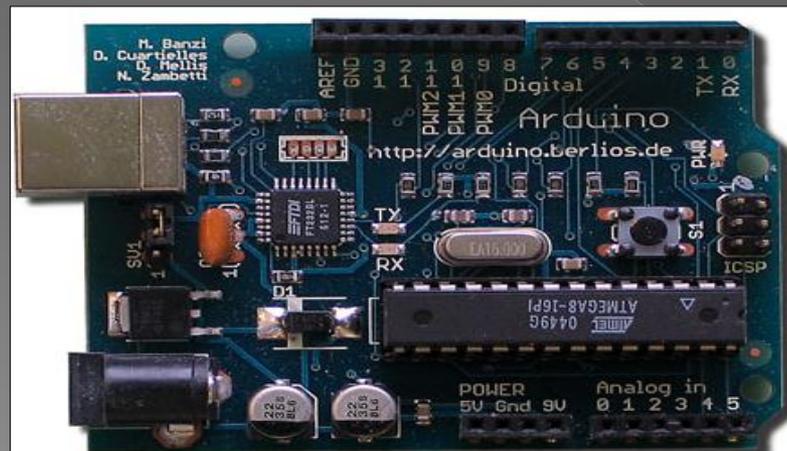
## CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO

- 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.
- Una vez terminada la estructura, con la ayuda del manual de la bomba se ensambla e instalarlo en la estructura.



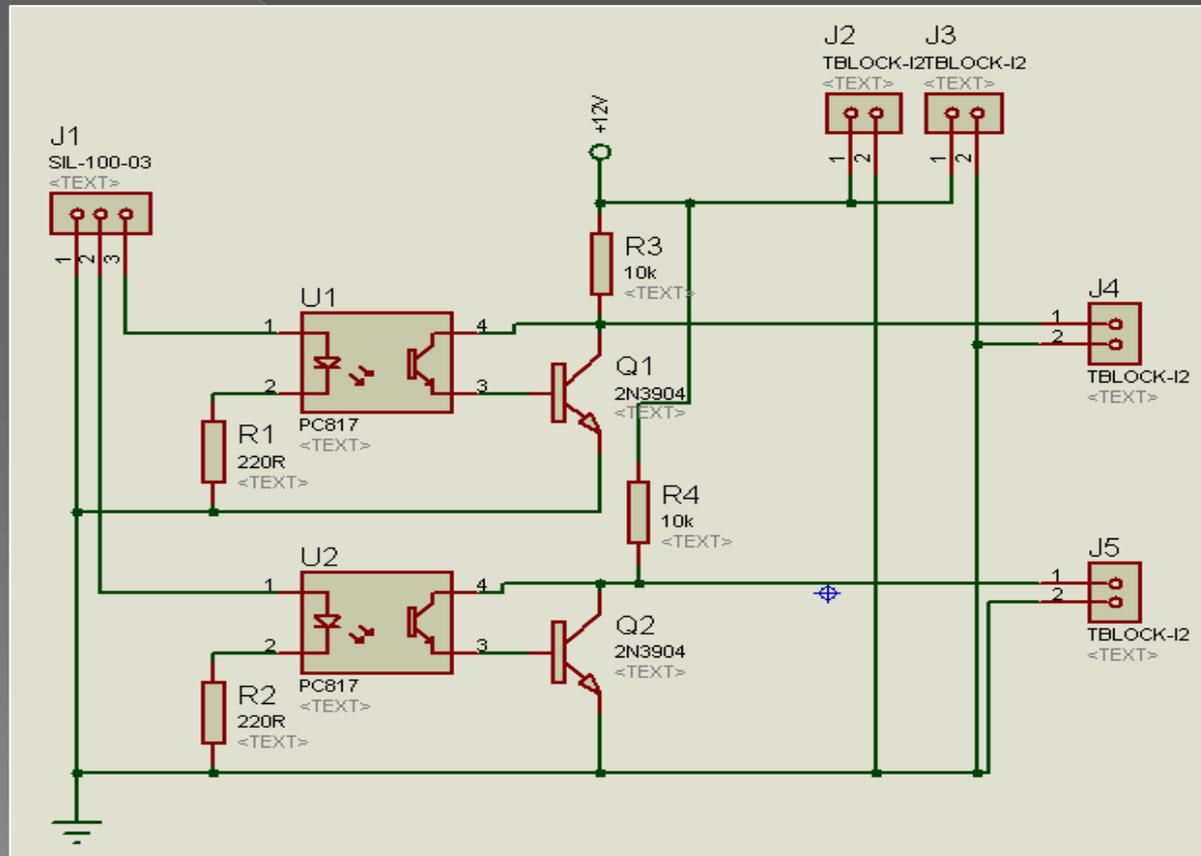
## DISEÑO ELÉCTRICO

- Se utilizó un convertidor DC-DC que es 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.
- 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.

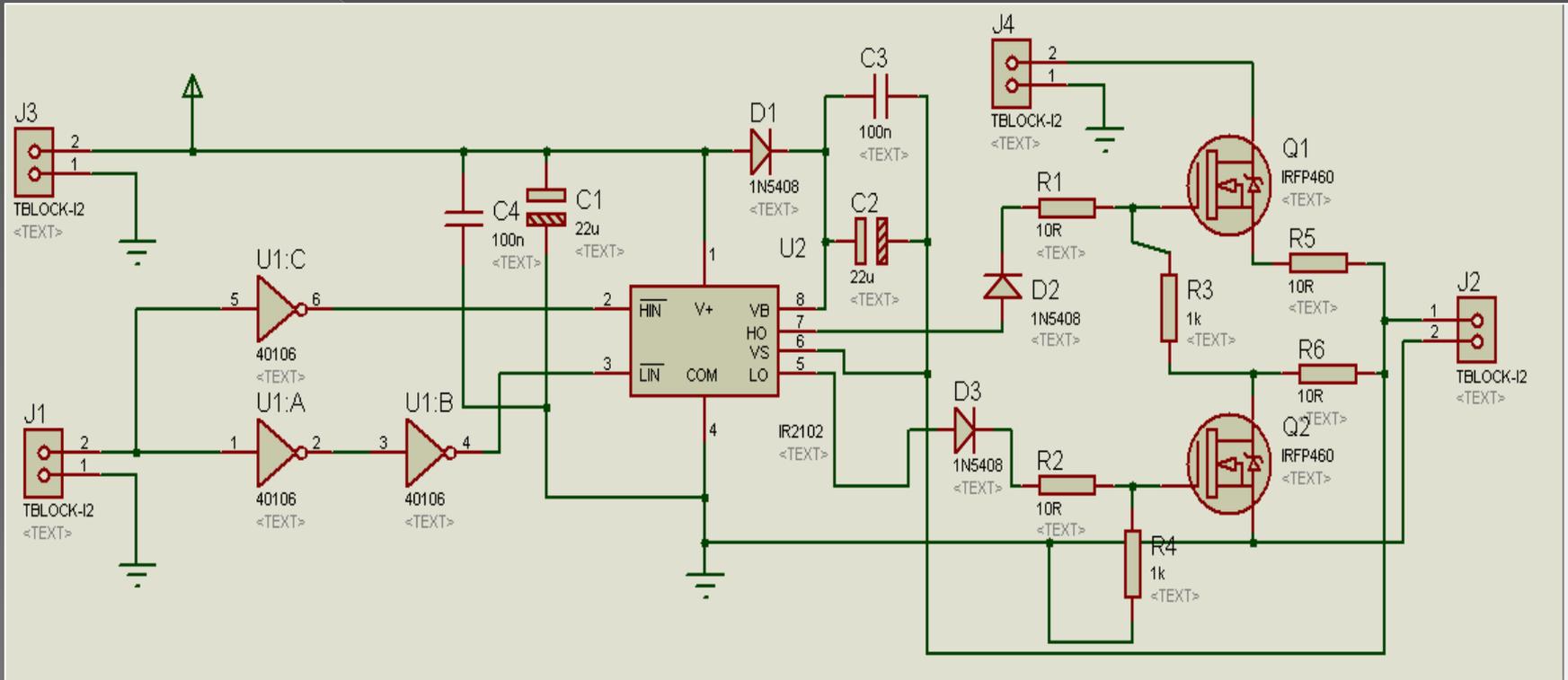


- **PLACA DRIVER DE POTENCIA**

- 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:



- 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 des habilitación o no funcionamiento.



- 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 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.

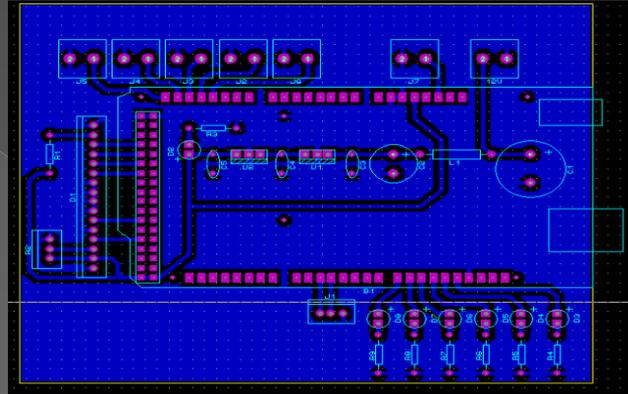
# LISTA DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

PLACA DE CONTROL		
Resistencia R1	100	1
Resistencia R2 (Potenciómetro)	5k	1
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

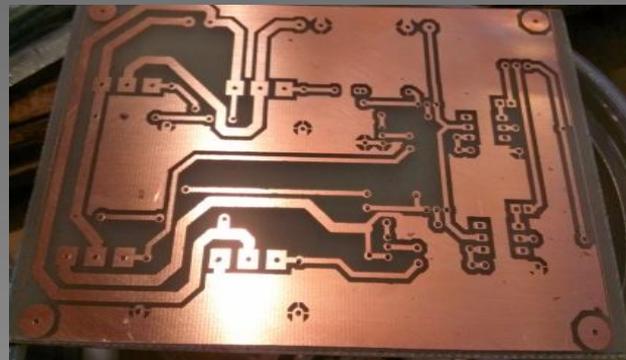
Tabla 1: Para la placa de control se utilizaron

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

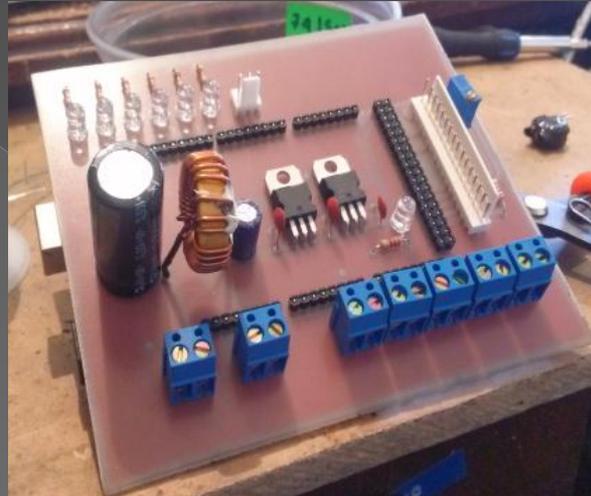
- Una vez diseñado el programa del simulado, se realizó los diagramas de cada placa y la simulación en el programa.



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



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



- *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.
- Para el diseño mecánico para el simulador utiliza el programa Solid Works Simulation 2014, para realizar el análisis de tensiones esfuerzos empezando desde la palanca, deformaciones y factor de seguridad de un componente mecánico en función de los materiales asignados, las cargas a las que están sometidos.