



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



**DIRECCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**REPORTE DE RESIDENCIA:**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE  
INYECTORES A DIESEL.**

**RESIDENTE:**

**CAMACHO PÉREZ JONATHAN DE JESÚS 13270060**

**ASESOR DE RESIDENCIA:**

**M.C. HERNÁN VALENCIA SÁNCHEZ**

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS. JUNIO 2018

# ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	7
CAPÍTULO 1 .....	8
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	10
1.2.1. IMPACTO ECONÓMICO.....	10
1.3. OBJETIVOS. ....	11
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	11
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
1.4. HIPÓTESIS.....	12
1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	12
1.5.1. ALCANCES.....	12
1.5.2. LIMITACIONES .....	12
1.6. ESTADO DEL ARTE.....	13
1.6.1. PROYECTOS REALIZADOS.....	13
1.6.2. CATALOGO DEL FABRICANTE .....	14
1.6.3. EXISTENTES EN EL MERCADO .....	17
CAPÍTULO 2 .....	19
2.1. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1.1. HISTORIA DE LA INYECCIÓN DIESEL .....	20
2.1.1.1. SISTEMA DE INYECCIÓN BOSCH .....	23
2.1.2. SISTEMA DE INYECCIÓN.....	24
2.1.2.1. ¿QUÉ ES UN INYECTOR? .....	24
2.1.2.2. COMBUSTIÓN DIESEL.....	25
2.1.2.3. ¿CÓMO OPERA EL SISTEMA DE INYECCIÓN DIESEL? .....	26
2.1.3. TIPOS DE SISTEMAS DE INYECCIÓN DIESEL .....	28
2.1.3.1. INYECCIÓN DIRECTA.....	28
2.1.3.4. BOMBAS ROTATIVAS DE ÉMBOLOS RADIALES .....	31
2.1.3.5. SISTEMA UNIDAD-BOMBA.....	32

2.1.4.	AVERÍAS COMUNES EN LOS INYECTORES .....	33
2.1.4.1.	LIMPIEZA .....	34
2.2.	INTRODUCCIÓN AL DISEÑO.....	36
2.2.1.	EL DISEÑO .....	36
2.2.2.	EL DISEÑO EN LA INGENIERÍA MECÁNICA .....	36
2.2.3.	FASES E INTERACCIONES DEL PROCESO DE DISEÑO .....	36
2.2.4.	HERRAMIENTAS Y RECURSOS DEL DISEÑO.....	38
2.2.4.1.	HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES .....	39
2.2.4.2.	ADQUISICIÓN DE INFORMACIÓN TÉCNICA.....	39
2.3.	SOFTWARE DE DISEÑO SOLIDWORKS .....	41
2.3.1.	PRODUCTIVIDAD .....	41
2.3.2.	CAPACIDAD.....	42
CAPÍTULO 3 .....		43
3.1.	METODOLOGÍA.....	44
3.1.1.	METODOLOGÍA CUANTITATIVA .....	44
CAPÍTULO 4 .....		47
4.1.	MEMORIA DE CÁLCULOS.....	48
4.1.1.	PRINCIPIO DE PASCAL.....	48
4.1.1.1.	PRESIÓN .....	49
4.1.1.2.	PRESIÓN ABSOLUTA Y RELATIVA .....	50
4.1.1.3.	PRESIÓN HIDROSTÁTICA E HIDRODINÁMICA .....	50
4.1.2.	PROPIEDADES DE LA PRESIÓN EN UN MEDIO FLUIDO.....	51
4.1.3.	GATO HIDRÁULICO .....	51
4.1.3.1.	LAS PARTES DEL GATO HIDRÁULICO .....	52
4.1.3.2.	TIPOS DE GATOS HIDRÁULICOS .....	53
4.2.	FUNDAMENTACIÓN DEL DISEÑO DEL PROTOTIPO .....	55
4.3.	CÁLCULOS MATEMÁTICOS .....	59
4.4.	DISEÑO DEL PROTOTIPO .....	65
4.5.	COSTOS DEL PROYECTO.....	71

5.	CONCLUSIÓN .....	72
5.1.	RECOMENDACIONES .....	72
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	73
7.	ANEXOS.....	74
7.1.	ENCUESTA APLICADA.....	74
7.1.1.	DATOS RECOLECTADOS .....	75
7.2.	GUÍA DE USUARIO.....	78
7.3.	ARTICULO DE REVISTA .....	86

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.	Banco de pruebas de inyección diesel XBD-CRI200. ....	14
Ilustración 2.	Heui inyector de combustible diesel banco de pruebas.....	15
Ilustración 3.	Diesel Common Rail inyector banco de prueba CR825 apoyo Vp44 Red3 4 EUI EUP Hp0 prueba del inyector y la bomba. ....	15
Ilustración 4.	XBD-CRIA200 inyector diesel Common Rail banco de pruebas. ....	16
Ilustración 5.	Bgs Prueba y Ajuste de los Inyectores Diesel /62650.....	17
Ilustración 6.	Prueba de Inyector Diesel Andcalibr por Jtc 4818.....	18
Ilustración 7.	Primera bomba inyectora “lineal” Diesel.....	20
Ilustración 8.	Bomba rotativa de Bosch. ....	21
Ilustración 9.	Sistema de inyección Bosch.....	24
Ilustración 10.	Inyector y sus componentes. ....	25
Ilustración 11.	Etapas del proceso de combustión diesel. ....	26
Ilustración 12.	Bomba de paletas y componentes. ....	26
Ilustración 13.	Bomba de inyección.....	27
Ilustración 14.	Sistema de inyección Common-Rail.....	29
Ilustración 15.	Sistema de inyección bomba-inyector.....	30
Ilustración 16.	Bomba de inyección de pistón radial. ....	31
Ilustración 17.	Sistema de inyección unidad-bomba.....	32
Ilustración 18.	Condiciones de uso de un inyector.....	33
Ilustración 19.	Desmonte de inyectores. ....	35
Ilustración 20.	Fases del proceso de diseño. ....	37
Ilustración 21.	Herramientas computacionales. ....	39

Ilustración 22. Fuentes de investigación. ....	44
Ilustración 23. TIC'S. ....	45
Ilustración 24. Software a emplear. ....	45
Ilustración 25. Proceso de construcción de prototipo. ....	46
Ilustración 26. Proceso de verificación. ....	46
Ilustración 27. Principio de Pascal. ....	49
Ilustración 28. Principio de funcionamiento. ....	52
Ilustración 29. Partes del gato hidráulico. ....	53
Ilustración 30. Gato hidráulico de botella. ....	53
Ilustración 31. Gato hidráulico de piso. ....	54
Ilustración 32. Gato hidráulico de 4 Ton. ....	55
Ilustración 33. Manguera de alta presión (5800 psi). ....	56
Ilustración 34. Vaso para pintura por gravedad. ....	56
Ilustración 35. Manómetro de 4000 psi. ....	57
Ilustración 36. Conexiones y accesorios de bronce. ....	57
Ilustración 37. Conexiones hidráulicas. ....	58
Ilustración 38. Vista preliminar del banco de pruebas. ....	58
Ilustración 39. Realización de los componentes del prototipo. ....	65
Ilustración 40. Corte seccional de análisis estático de presión. ....	66
Ilustración 41. Mallado del modelo a simular. ....	66
Ilustración 42. Resultados obtenidos de tensión de Von-Mises. ....	67
Ilustración 43. Resultados obtenidos de deformación unitaria. ....	68
Ilustración 44. Construcción de prototipo. ....	69
Ilustración 45. Ensamble del banco de pruebas de inyectores diesel (prototipo). ....	69
Ilustración 46. Banco de pruebas para inyectores diesel. ....	70
Ilustración 47. Encuesta empleada. ....	74
Ilustración 48. Proceso de combustión del ciclo Diesel. ....	82
Ilustración 49. Lectura de presión. ....	83
Ilustración 50. Prueba de hermeticidad. ....	84
Ilustración 51. Diagnóstico de la forma de pulverización. ....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Conversiones de unidades de presión.....	59
Tabla 2. Conversiones de unidades de fuerza. ....	61
Tabla 3. Costos de realización de proyecto.....	71
Tabla 4. Propiedades gasolina/diesel. ....	80

## ÍNDICE DE ECUACIONES

$P = FA$ Ecuación 1. Presión.....	49
$P = dFAdA * n$ Ecuación 2. Expresada en forma diferencial. ....	49
$P = ddASf * n dS$ Ecuación 3. Integrando la expresión diferencial. ....	49
$Pab = Pa + Pm$ Ecuación 4. Presión absoluta.....	50

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Representación en % de la pregunta 1.....	75
Gráfica 2. Representación en % de la pregunta 2.....	76
Gráfica 3. Representación en % de la pregunta 3.....	76
Gráfica 4. Representación en % de la pregunta 4.....	77

## INTRODUCCIÓN

El mantenimiento a los inyectores diesel, es un proceso que se considera más complejo en comparación a los inyectores de gasolina; en este caso consiste en regular las condiciones de apertura de los inyectores en cuanto al rango de presión con las que operan dichos elementos mecánicos.

Es muy común que en un gran porcentaje de talleres automotrices no puedan brindar el servicio de mantenimiento de inyectores diesel, esto es debido a la falta de talleres especializados a motores diesel y de equipos especializados para realizar dicha función.

Como en cualquier otro ámbito, el mantenimiento preventivo provee al usuario de la unidad de muchos beneficios, ya que con ello se refleja un ahorro económico sobre todo, pero también se obtiene un funcionamiento óptimo de la maquinaria.

Un banco de pruebas es fundamental para verificar la calidad de trabajo que tienen los inyectores, y además podrás medir la vida útil que estos puedan tener en el tiempo. Para ello, es imprescindible que realices pruebas antes de ejecutar las técnicas correctas para la limpieza de los inyectores de tu vehículo.

Con esto se podrá solucionar la necesidad de contar con un banco de pruebas de inyectores diesel y se añadirá la portabilidad de éste, sin necesidad de instalaciones rigurosas.

# CAPÍTULO 1



## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

La industria automotriz ha estado evolucionando muy rápido en los últimos años, siempre buscando los máximos rendimientos del automóvil; el sistema de inyección no es la excepción ya que se han desarrollado el sistema de inyección electrónica en motores a gasolina y diesel (Fuel Injection y Common-Rail) respectivamente.

Los inyectores por ser dispositivos de alta precisión se deben someter a un mantenimiento preventivo para obtener un funcionamiento óptimo; ya que al llevarse a cabo el proceso de combustión se genera residuos que obstruyen el flujo de combustible, los engomados se desgastan debido a las altas presiones con las que operan.

Debido a estos problemas que se presentan en dichos elementos, se realizara un banco de pruebas de inyectores mecánicos a diesel, con la finalidad de dar una solución a los problemas planteados.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN.**

Con la construcción de este banco de pruebas de inyectores diesel, se lograra comprobar el estado de los inyectores, identificando posibles averías las cuales pueden hacer que estos no operen en óptimas condiciones.

Durante el desarrollo de este proyecto se aplicaran los conocimientos obtenidos en diferentes materias como: máquinas de fluidos incompresibles, diseño asistido por computadora, procesos de manufactura avanzada, etc.

### **1.2.1. IMPACTO ECONÓMICO**

El mantenimiento en la actualidad representa un proceso de cambio en los equipos del sistema de inyección, los cuales cuantifican su uso; se requiere conservar y/o reponer el equipo por mal uso o falta de mantenimiento.

El mantenimiento obedece al estudio de aspectos de gran ayuda, ya que con su aplicación se espera minimizar los costos de reparaciones, maximizar la eficiencia de los motores diesel, que responda de manera adecuada a las operaciones de trabajo, prolongar la vida útil de los inyectores y demás elementos del sistema de inyección para poder cumplir con el proceso de combustión;

Nuestra meta fundamental es diseñar y construir un banco de pruebas de inyectores diesel que cumplan dos características que nos hemos planteado: 1) que sea ergonómico, 2) que sea económico. El uso de las bombas de alta presión cuantifica un gasto significativo en el consumo de la energía eléctrica.

## **1.3. OBJETIVOS.**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir un banco de pruebas de inyectores a diesel.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1) Realizar una investigación acerca de proyectos realizados con el tema planteado en fuentes como: libros, sitios web, manuales y/o asesorías externas; acerca del diseño y funcionamiento de prototipos realizados.
- 2) Llevar a cabo una recopilación bibliográfica acerca del diseño, delimitando las fuentes bibliográficas a utilizar en dicho proyecto.
- 3) Realizar el diseño pertinente del prototipo de acuerdo a las especificaciones y necesidades planteadas, con la ayuda de un software como Solidworks.
- 4) Construir el prototipo de acuerdo a las especificaciones de las decisiones tomadas en la etapa de diseño.
- 5) Hacer una serie de pruebas tanto en la estructura y en el funcionamiento del prototipo; realizando las correcciones necesarias.

## **1.4. HIPÓTESIS.**

Diseñar un banco de pruebas de inyectores mecánicos diesel de uso fácil y bajo costo es factible. El beneficio que se logra con el diseño de éste banco de pruebas sin la necesidad de instalaciones rigurosas: es que el equipo tenga un funcionamiento óptimo, prolongando su vida útil y evitando procesos de revisión, mantenimiento y correcciones de manera frecuentes.

## **1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES.**

### **1.5.1. ALCANCES**

El alcance de este proyecto es el diseño de un banco de pruebas para inyectores diesel, que permita comprobar el correcto funcionamiento de los mismos.

- 1) Diseño intrascendente.
- 2) Instalación y uso sencillo.
- 3) Portabilidad

### **1.5.2. LIMITACIONES**

En limitantes hay que tener en cuenta para un correcto funcionamiento de los inyectores deben tener ciertas exigencias como:

- 1) La inspección de los inyectores es de forma manual.
- 2) Rango de presión de trabajo específico.
- 3) Servicio a inyectores mecánicos diesel.

## 1.6. ESTADO DEL ARTE.

### 1.6.1. PROYECTOS REALIZADOS

- **Diseño y construcción de un banco para inyectores mecánicos de motores diesel.**

Diseñado y construido por Arellano Cabrera Herman Jonathan y Falconí Toro Diego Vicente, desarrollaron su trabajo de tesis para obtener el título de Ingeniero Automotriz en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, con fecha de publicación el 11 de Junio del 2015.

El banco de pruebas para inyectores mecánicos de motores diesel, satisface las necesidades que deben cumplir un equipo de estas características siendo eficaz, silencioso y seguro; las pruebas que se pueden realizar en el banco permiten tener un criterio preciso sobre las anomalías y fallas que posee un inyector mecánico. El equipo consta con:

- Bomba lineal mecánica.
  - Bomba manual.
  - Cañerías de alta presión.
  - Filtro de combustible.
  - Probetas.
  - Control de inyección.
  - Motor eléctrico de 110 voltios de 1 hp
- 
- **Diseño y construcción de un banco de prueba para inyectores electrónicos a diesel para un sistema Common Rail.**

Diseñado y construido por Barco Vargas Wilson Xavier y Pacay Guingla Jhon Álvaro, desarrollaron su trabajo de tesis para obtener el título de Ingeniero en Electrónica en la Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil con fecha de publicación el 25 de Febrero del 2010.

Las características con las que cuenta este banco de pruebas son:

- Es alimentado con una línea de presión de aire comprimido de 100 psi como mínimo para su funcionamiento.
- Es alimentado por una red voltaje de 120Vac.
- El software que emplearon fue LABVIEW 7.1.
- Realiza la exanimación a cuatro tipos de marcas distintas de inyectores.
- Tiene un costo final de \$4534.00 centavos de dólar de Ecuador

### 1.6.2. CATALOGO DEL FABRICANTE

La gama de ofertas es muy amplia en el catalogo del fabricante, el inconveniente que existe al ser una empresa de exportación extranjera son los precios que se manejan por compras al menudeo y se pueden encontrar en esta página: <https://spanish.alibaba.com> › **Medición e Instrumentos de Análisis.**

- **Banco de pruebas de inyección diesel XBD-CRI200.**



**Ilustración 1. Banco de pruebas de inyección diesel XBD-CRI200.**

- **Heui inyector de combustible diesel banco de pruebas.**



**Ilustración 2. Heui inyector de combustible diesel banco de pruebas.**

- **Diesel Common Rail inyector banco de prueba CR825 apoyo Vp44 Red3 4 EUI EUP Hp0 prueba del inyector y la bomba.**



**Ilustración 3. Diesel Common Rail inyector banco de prueba CR825 apoyo Vp44 Red3 4 EUI EUP Hp0 prueba del inyector y la bomba.**

- **XBD-CRIA200 inyector diesel Common Rail banco de pruebas.**



Ilustración 4. XBD-CRIA200 inyector diesel Common Rail banco de pruebas.



### 1.6.3. EXISTENTES EN EL MERCADO

Actualmente en mercadolibre.com.mx (México) se ofrece una gama limitada de bancos de inyectores diesel, los cuales se encuentran en la siguiente página: <https://listado.mercadolibre.com.mx/banco-de-pruebas-para-inyector>.

- **Bgs Prueba Y Ajuste De Los Inyectores Diesel /62650.**

La marca del banco de inyectores diesel es BGS, actualmente está fijado en un precio de \$ 7,990.00 MXN, cuenta con 5 años de garantía y el lugar de procedencia es Querétaro, Querétaro. Es una estructura sencilla que cuenta: con la base, el depósito de combustible, manómetro, palanca y dos conexiones para los inyectores.



**Ilustración 5. Bgs Prueba y Ajuste de los Inyectores Diesel /62650.**

▪ **Prueba De Inyector Diesel Andcalibr Por Jtc 4818.**

El diseño es prácticamente igual al banco anterior, con algunas pequeñas modificaciones en el depósito y conexiones. La marca del banco es JTC Tools, cuenta con 1 mes de garantía, se encuentra en Monterrey, Nuevo León.

• DESCRIPCIÓN:

Material: aleación de aluminio (A356)

- Indicador de dial de 3,5 pulgadas que lee 0-600 bar y también lee 0-8700 lbs / sq.lncg
- El tanque de líquido está provisto de un filtro. • Se suministra con tubos M14xM14 y M14xM12.

CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO:

- Prueba de inyector diesel y calibración de bomba de mano
- Peso del artículo: 4.0 Kilogramos



**Ilustración 6. Prueba de Inyector Diesel Andcalibr por Jtc 4818.**

# CAPÍTULO 2

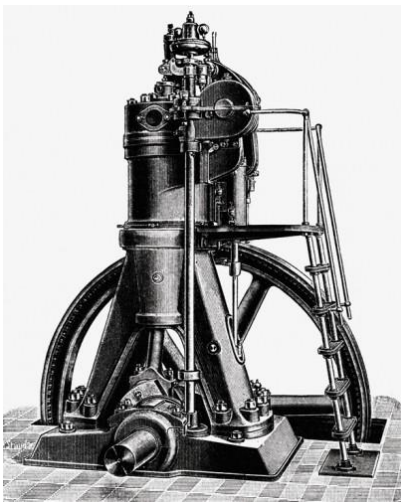
## 2.1. MARCO TEÓRICO.

### 2.1.1. HISTORIA DE LA INYECCIÓN DIESEL

La bomba inyectora Diesel está encargada de alimentar con el combustible adecuado al motor Diesel, inventado pocos años antes del año 1900 por un ingeniero alemán llamado Rudolf Diesel. La idea primitiva era encontrar un motor apropiado para mover vehículos pesados y que utilizara prácticamente cualquier combustible.

Diesel buscaba algún tipo de combustible que no fuera estrictamente la nafta, y que tuviera mayor poder calorífico para poder obtener mayores potencias que pudieran movilizar locomotoras, barcos, camiones y tanques de guerra. Es decir, que mantuviera alto rendimiento y que no tuviera las limitaciones de la nafta, como por ejemplo un aceite pesado que recibe el nombre de fuel-oil (aceite combustible).

La primera bomba que diseñara Diesel fue una tipo de bomba inyectora LINEAL, que funcionaba como una jeringa, que al ser presionada, inyecta combustible al interior del cilindro del motor. Dentro de este cilindro, en el momento de la compresión del aire acumulado, se producen temperaturas cercanas a los 800 a 900 grados, y la inyección a presión del combustible finamente dividido, hace que se encienda sin la necesidad de una bujía como los motores de nafta.

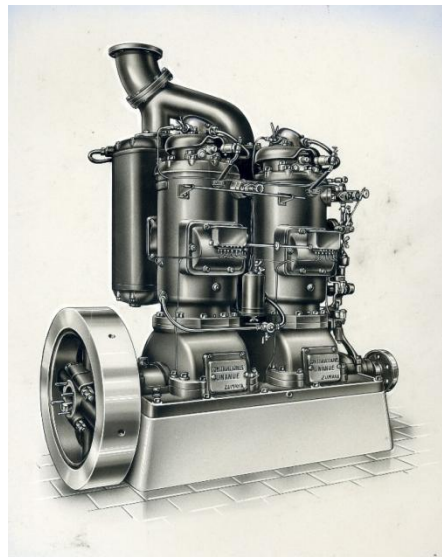


**Ilustración 7. Primera bomba inyectora “lineal” Diesel.**

Esto ya nos está dando la idea de que el elemento clave en esta ecuación es la PRESIÓN; debía alcanzarse una presión de combustible elevada a fin de que pudiera entrar pulverizada en la cámara de combustión de un motor fuertemente comprimido. La bomba lineal tenía un elemento inyector (la “jeringa”) por cada cilindro, y estaba sincronizada con el orden de encendido de manera que le tocara una inyección al cilindro que en ese momento había comprimido el aire.

Durante años se fue perfeccionando este sistema; los motores Diesel debían ser robustos para soportar las elevadas presiones y eso los volvía lentos, aunque muy poderosos. Su marcha era muy ruidosa debido a las explosiones internas cuando el combustible entraba en contacto con el aire sobrecalentado, pero dado que utilizaba combustibles no refinados, se trataba de vehículos económicos.

La firma alemana Bosch comenzó a ensayar una bomba más liviana, pequeña y rápida con el fin de aplicarla a automotores, y entonces apareció la Bomba Rotativa, veloz, económica, pequeña y liviana.



**Ilustración 8. Bomba rotativa de Bosch.**

La bomba rotativa se desarrolló en dos versiones: la radial y la axial, que eran dos maneras opuestas de comprimir el combustible, y significó la aplicación masiva a los automotores en una época en que el combustible diesel era mucho más económico que la nafta.

Con el tiempo, surgió la necesidad de reducir los humos del motor a fin de no contaminar el aire que debían respirar los ciudadanos y entonces se puso en marcha una infinidad de sistemas reductores de humo que en definitiva llevaron a la introducción de la electrónica como respuesta al problema, pero que dejaron en claro que a la vez, era necesaria una mejor pulverización del combustible, y eso solamente podría lograrse aumentando la presión de inyección.

De a poco, se fueron incorporando sensores: de temperatura del motor, de régimen de vueltas de la rotación (RPM), del grado de aceleración, del grado de avance necesario debido a lograr dicha aceleración, y la bomba inyectora fue pasando a ser controlada por la electrónica. Más adelante se decidió emplear una central electrónica de control de la inyección (EDC).

De allí, surgió la inyección de alta presión (pasó de un máximo de 250 Bars a 1.500 Bars) y con ello el Common-Rail.

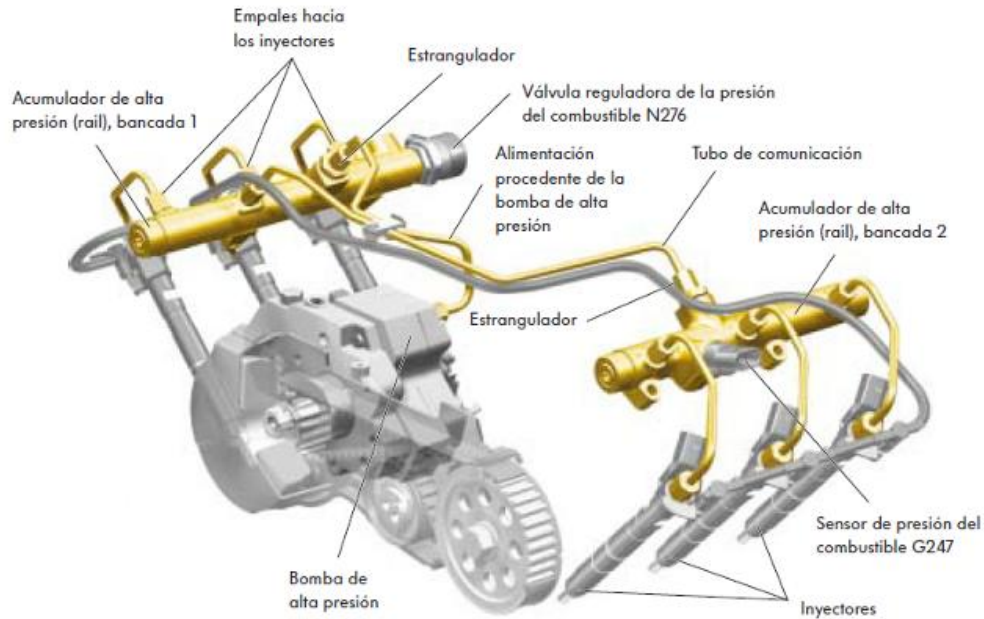
El Common-rail resultó el más práctico y económico y por eso es el más utilizado, en el que la bomba inyectora ha sido reemplazada por una bomba sencilla rotativa de muy alta presión, dejándose el control a cargo de la electrónica que comanda individualmente los inyectores. Pasó entonces a dominar la gama de los automóviles y los diesel ligeros, pequeños camiones y otros usos no contaminantes. (Gallardo, 2016)

#### 2.1.1.1. SISTEMA DE INYECCIÓN BOSCH

El nacimiento de la bomba de inyección está ligado a un gran obstáculo que se presentó en los inicios del motor Diésel: La alimentación de combustible. Antes, se aplicaba el método de asistencia neumática que consistía en soplar el combustible mediante aire comprimido pero este método tenía como inconveniente que no permitía incrementar adecuadamente el régimen de revoluciones además de exigir una instalación compleja.

- A finales de 1922, el técnico alemán Robert Bosch decidió desarrollar su propio sistema de inyección para motores Diésel. Las condiciones técnicas eran favorables: se disponía ya de experiencia en motores de combustión, las tecnologías de producción habían alcanzado un alto nivel de desarrollo y ante todo podían aplicarse conocimientos adquiridos en la fabricación de bombas de aceite. Robert Bosch y su equipo se dedicaron infatigablemente al diseño y fabricación de un nuevo sistema de inyección.
- A comienzos de 1923 se habían proyectado una docena de bombas de inyección distintas y a mediados de año se realizaron los primeros ensayos en el motor. El sector técnico empezó a depositar cada vez más confianza a la aparición de la bomba de inyección mecánica, de la que se esperaba un nuevo impulso para la construcción de motores diésel.
- A mediados de 1925 se dieron los últimos retoques al proyecto definitivo de la bomba de inyección.
- En 1927 se empezaron a comercializar las primeras bombas producidas en serie.

La bomba de inyección desarrollada por Robert Bosch proporcionó la velocidad deseada a los motores Diésel, cosa que propulsó el uso del motor Diésel en varios campos de aplicaciones, especialmente en el sector del automóvil. (Kevin Wilches Rodríguez, 2012)



**Ilustración 9. Sistema de inyección Bosch.**

## 2.1.2. SISTEMA DE INYECCIÓN

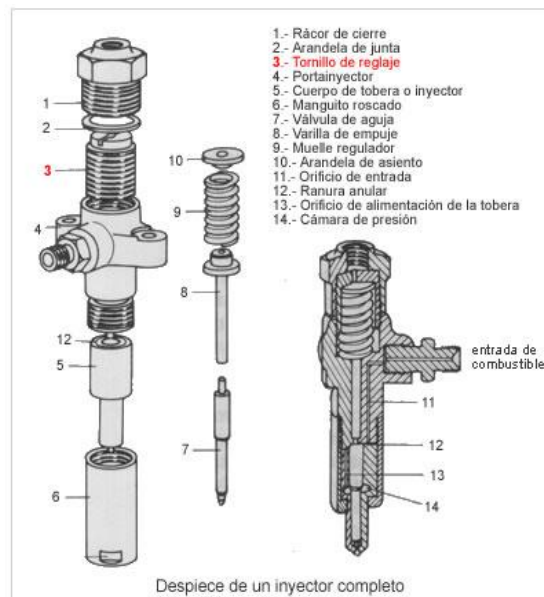
El sistema de inyección proporciona carburante a alta presión al ciclo de compresión del motor. Al ponerse en contacto con el aire en elevadas temperaturas, se enciende provocando la combustión. Este sistema consta de una bomba de desplazamiento capaz de inyectar distintas cantidades de combustible gracias a los émbolos que van unidos a cada inyector o cilindro del motor. (RO-DES, 2008)

### 2.1.2.1. ¿QUÉ ES UN INYECTOR?

Los inyectores son, por tanto, electroválvulas capaces de abrirse y cerrarse millones de veces con una reacción muy precisa al pulso eléctrico que los acciona, sin fugas ni escapes de carburante.



Son los encargados de suministrar el combustible al conducto de admisión o a la cámara de pre-combustión, según si se trata de un sistema de inyección directa o indirecta respectivamente, de forma pulverizada y sin goteos para que el combustible se distribuya de la forma más homogénea posible según el régimen de funcionamiento del motor. (RO-DES, 2008)



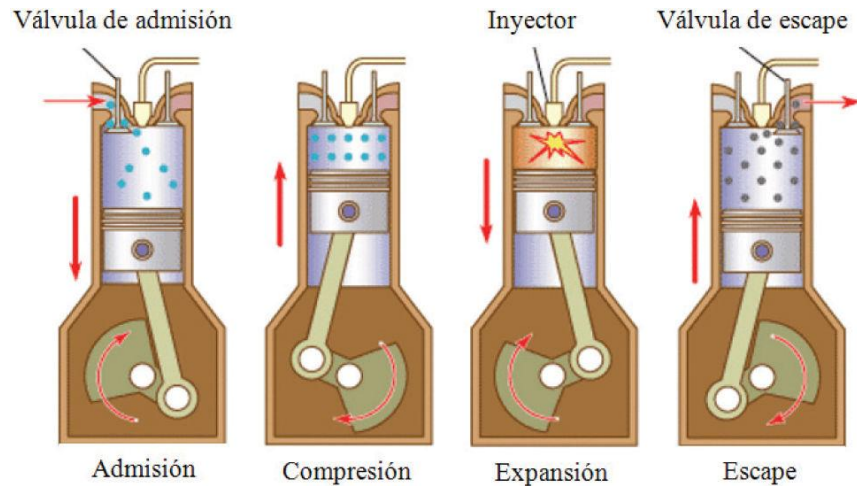
**Ilustración 10. Inyector y sus componentes.**

#### 2.1.2.2. COMBUSTIÓN DIESEL

En los motores de encendido por compresión (Diesel), la combustión se produce cuando, el combustible que se inyecta en estado líquido, pasa a estado casi gaseoso, disgregado por medio de los inyectores y mezclándose con el aire para utilizar todo el oxígeno necesario.

Tras este fenómeno, la combustión se genera en puntos localizados de la cámara de combustión por autoencendido. El proceso de la formación de la mezcla en los motores diesel se diferencia por no tener ninguna mariposa del acelerador (inyección indirecta), por lo que no se estrangula la admisión.

Además, durante la carrera de compresión, sólo existe aire en el interior del cilindro y, no es hasta que ésta termina, cuando se inyecta el combustible que queremos quemar para que el motor nos dé potencia.

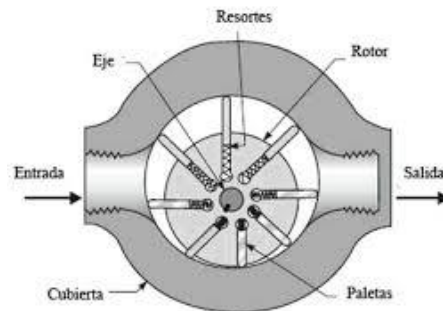


**Ilustración 11. Etapas del proceso de combustión diesel.**

Bajo estas circunstancias, la regulación de la potencia entregada por el motor, se realiza, actuando sobre la cantidad de combustible que inyectamos en el cilindro y no sobre la cantidad de mezcla aspirada, como ocurre en los motores gasolina. (Autonocion.com, 2011)

### 2.1.2.3. ¿CÓMO OPERA EL SISTEMA DE INYECCIÓN DIESEL?

La bomba de suministro (normalmente de paletas) eleva el gasoil desde el depósito hasta la bomba de alta presión, alimentándola con una presión lo más constante posible (0,75 bar), haciendo pasar el combustible por un filtro, donde eliminará, tanto las burbujas que puedan existir como partículas que puedan dañar la bomba de inyección y los inyectores.



**Ilustración 12. Bomba de paletas y componentes.**

Hay que prestar mucha atención a los filtros en este tipo de motores, ya que deben tener un mantenimiento adecuado para que el sistema de inyección trabaje correctamente. Por otro lado, la bomba de inyección es la encargada de suministrar la cantidad de carburante necesario, ejerciendo a su vez de regulador, y con la presión necesaria, para que, cuando el combustible entre en la cámara, se distribuya de forma que pueda combinarse con el aire disponible dentro del cilindro. Esta bomba, está arrastrada por medio del propio motor.



**Ilustración 13. Bomba de inyección.**

Con el fin de que la combustión sea lo más eficiente posible, el inicio de esta ha de estar bien calibrado, de modo que, el inicio se adelante o se retrase según el punto de funcionamiento. Para esto, las bombas tienen una serie de sistemas correctores, si bien éstos eran mecánicos, en la actualidad se han sustituido por sistemas de regulación electrónicos.

Las bombas de inyección, hasta hace unos pocos años, han estado generando presiones alrededor de 1.000 bar. En la actualidad, las presiones máximas se encuentran entre los 1.500 y 2.000 bar.

Para poder producir tanta presión, deben ser elementos muy robustos al igual que los conductos que transportan el carburante a dichas presiones. Estos conductos, están fabricados con tubo de acero sin soldaduras, con unos diámetros interiores de hasta 2 mm y paredes de 3 mm.

En cuanto a conductos, hay tantos como cilindros e inyectores tenga el motor. Dado que en su interior se generan fuertes efectos dinámicos, es conveniente que todas las tuberías tengan la misma geometría (longitud y calibre), con el fin que las sobrepresiones producidas afecten a todas por igual.

Los últimos componentes de la cadena son los inyectores. Estos se encargan de repartir el carburante dentro del cilindro. La punta de los inyectores, contiene unos orificios, a través de los cuales se reparte el combustible inyectado.

Estos orificios, están cerrados por medio de la aguja del inyector en estado de reposo mediante un muelle; éste se mueve en el momento la presión alcanza unos valores mínimos, y es en este punto, cuando el combustible levanta la aguja, liberando los orificios, a través de los cuales entra a gran velocidad en la cámara de combustión. Dicho chorro de gasoil, se rompe evaporándose y mezclándose con el aire para generar la mezcla. (Autonocion.com, 2011)

### **2.1.3. TIPOS DE SISTEMAS DE INYECCIÓN DIESEL.**

#### **2.1.3.1. INYECCIÓN DIRECTA.**

En los motores con este tipo de inyección, la cámara de inyección está labrada en la cabeza del mismo pistón. En esta cámara de combustión, se va a inyectar el combustible a través de un inyector, valga la redundancia, que posee varios orificios (entre 4 y 6 dependiendo del tamaño del motor), y que se mezclará a su vez con el aire que ha entrado por la válvula de admisión.

El sistema de inyección, es el encargado de asegurar que se forme la mezcla de manera correcta, para ello se debe de producir una buena atomización del carburante; además, tiene que conseguir que ésta, alcance toda la cámara de combustión, para aprovechar todo el aire contenido en la cámara. Para poder conseguir estas condiciones, vamos a necesitar unas presiones elevadas (1.000-2.000 Bar).

Como el proceso de mezcla está muy limitado, tendremos que reforzar la inyección por medio de la rotación del aire dentro de la cámara en el momento el pistón está generando la compresión de la mezcla. Este es denominado efecto Swirl. (Autonocion.com, 2011)

Dentro de la inyección directa, vamos a encontrar dos tipos de métodos para realizar la inyección:

### 2.1.3.2. COMMON-RAIL

El sistema de common-rail o conducto común, es un sistema de inyección de combustible electrónico, para motores diesel de inyección directa, en el que el gasóleo, es aspirado directamente desde el depósito de combustible a una bomba de alta presión, y ésta, a su vez lo envía a un conducto común (a alta presión). Este conducto, va a ser el encargado de llevar el gasoil a los cilindros por medio de los inyectores.

Este sistema, fue inventado y desarrollado por el grupo industrial italiano Fiat Group, en colaboración con Magneti Marelli, filial del grupo especializada en componentes automovilísticos y electrónicos. La industrialización del sistema lo llevó a cabo Bosch.

El primer vehículo del mundo en equipar este sistema fue el Alfa Romeo 156 en 1.997, equipado con motor JTD.

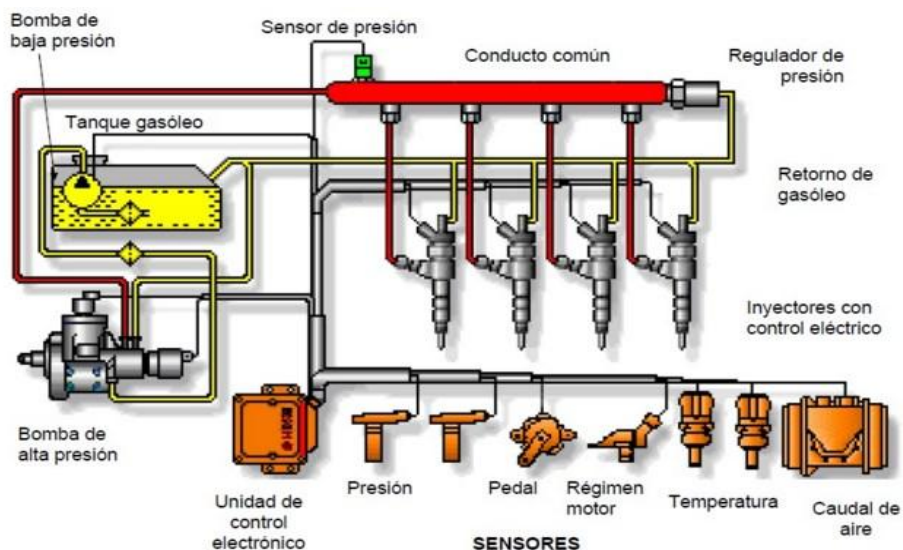


Ilustración 14. Sistema de inyección Common-Rail.

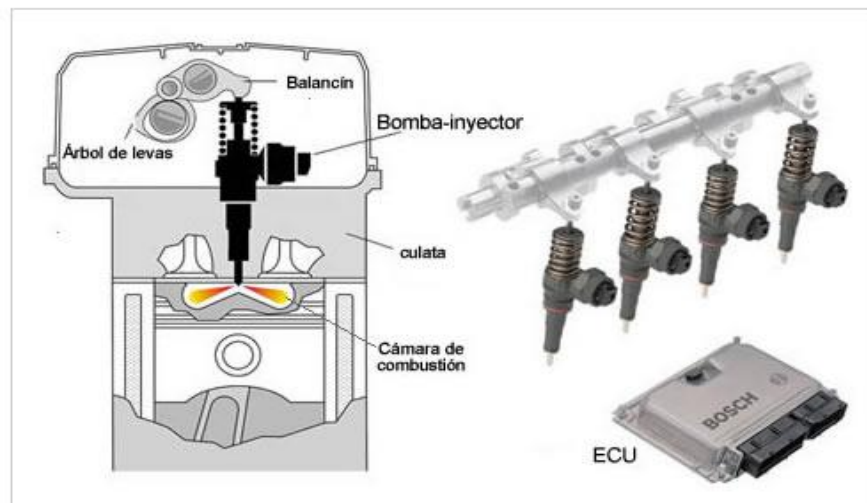
En este sistema, se realizan por separado la generación de presión y la inyección. La presión de inyección se genera independientemente del régimen del motor y del caudal de inyección y está a disposición en el “Rail” (acumulador).

El momento y el caudal de inyección se calculan en la unidad de control electrónica ECU y se realizan por el inyector en cada cilindro del motor, mediante el control de una electroválvula. (Autonocion.com, 2011)

### 2.1.3.3. BOMBA-INYECTOR

La bomba de inyección y el inyector constituyen una unidad. Por cada cilindro del motor se monta una unidad en la culata, y se acciona o, directamente por un empujador, o mediante balancín, por parte del árbol de levas del motor.

Al no existir tuberías de alta presión, es posible una presión de inyección esencialmente mayor (hasta 2000 bar) que en las bombas de inyección en lineal y rotativas. Con esta elevada presión de inyección y mediante la regulación electrónica del comienzo de inyección y de la duración de inyección (o caudal de inyección), podemos obtener una elevada reducción de las emisiones contaminantes del motor diesel y consumo de carburante. (Autonocion.com, 2011)



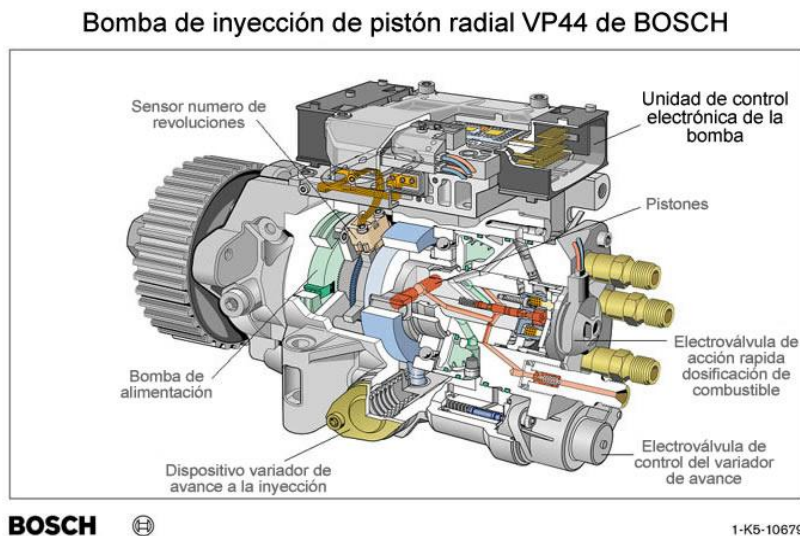
**Ilustración 15. Sistema de inyección bomba-inyector.**

#### 2.1.3.4. BOMBAS ROTATIVAS DE ÉMBOLOS RADIALES

La bomba rotativa de inyección de émbolos radiales VR fue desarrollada por Bosch especialmente para motores diesel de funcionamiento rápido con inyección directa y una potencia de hasta 37 KW por cada cilindro. Esta bomba se caracteriza por un mayor dinamismo en la regulación del caudal y del comienzo de inyección, y por presiones en el inyector de hasta 1600 bar.

Sistema que utiliza la tecnología tradicional de los motores diesel de "inyección indirecta" basado en una bomba rotativa (por ejemplo la bomba "tipo VE" de BOSCH) que dosifica y distribuye el combustible a cada uno de los cilindros del motor. Esta bomba se adapta a la gestión electrónica sustituyendo las partes mecánicas que controlan la "dosificación de combustible" así como la "variación de avance a la inyección" por unos elementos electrónicos que van a permitir un control más preciso de la bomba que se traduce en una mayor potencia del motor con un menor consumo.

Este sistema es utilizado por los motores TDI del grupo Volkswagen y los DTI de Opel y de Renault, así como los TDDi de FORD. (Meganeboy, 2014)



**Ilustración 16. Bomba de inyección de pistón radial.**

### 2.1.3.5. SISTEMA UNIDAD-BOMBA

El sistema UIS integra la bomba de alta presión y el inyector en una sola unidad compacta para cada cilindro del motor. El UIS sustituye el conjunto porta-inyector de los sistemas convencionales, dispensando el uso de las tuberías de alta presión, lo que vuelve posible alcanzarse elevados valores de presión.

Cada unidad inyectora se instala en el cabezal del motor y realiza la inyección de combustible directamente en cada cilindro.

La inyección es controlada mediante una válvula electromagnética de accionamiento rápido. Esa válvula es controlada por la unidad electrónica de mando, que determina el mejor momento y el volumen adecuado de combustible que se inyectará a cada condición de funcionamiento del motor.

La unidad de comando utiliza las informaciones obtenidas de los diversos sensores instalados en el motor, ofreciendo un funcionamiento eficiente y seguro, que incluye funciones de diagnóstico del sistema. (BOSCH, 2005)

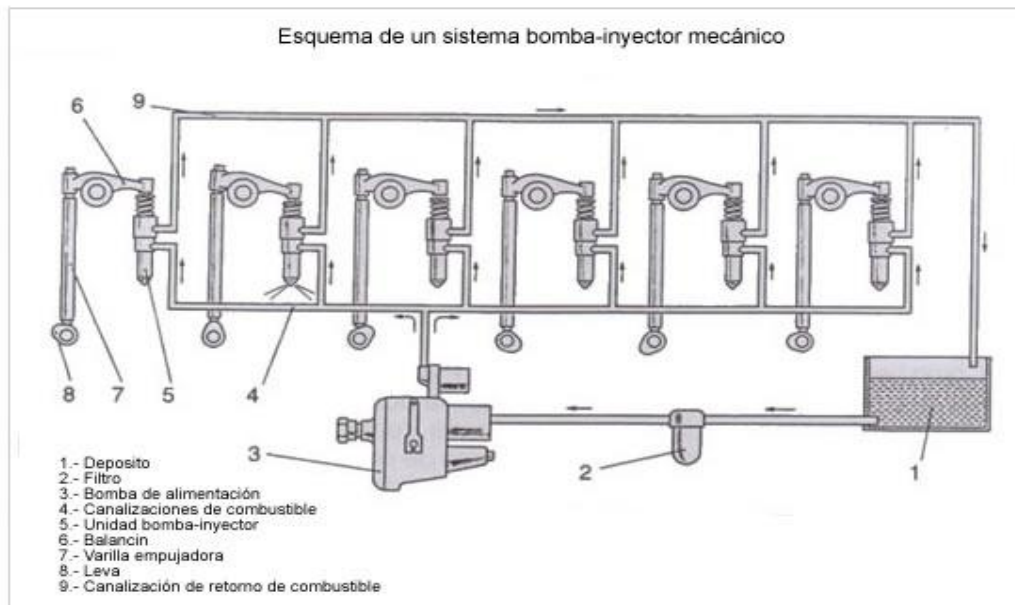


Ilustración 17. Sistema de inyección unidad-bomba.



#### 2.1.4. AVERÍAS COMUNES EN LOS INYECTORES

Los inyectores diesel, son componentes del motor encargados de la pulverización del combustible sobre las cámaras de combustión a presiones muy altas; es por ello, que es un elemento susceptible a tener impregnación de carbón, producido por la combustión que realiza el motor cuando se encuentra en funcionamiento.

Destaquemos que los inyectores son elementos fabricados con ajustes muy precisos, que trabajan a presiones muy elevadas de hasta 2000 aperturas por minuto, sometidos a temperaturas de entre 500 y 600 °C.

Un inyector, al tener sus elementos sucios o gastados, afecta seriamente el funcionamiento del motor diesel, causando un inestable funcionamiento del motor.

En los inyectores, la generación de suciedad, concentración de barniz y depósitos de carbón es muy frecuente; los problemas más comunes son el bloqueo de la aguja y la suciedad en el asiento de la tobera, la obstrucción de los orificios y pérdida de presión, restringiendo la apertura y el flujo de combustible adecuadamente.

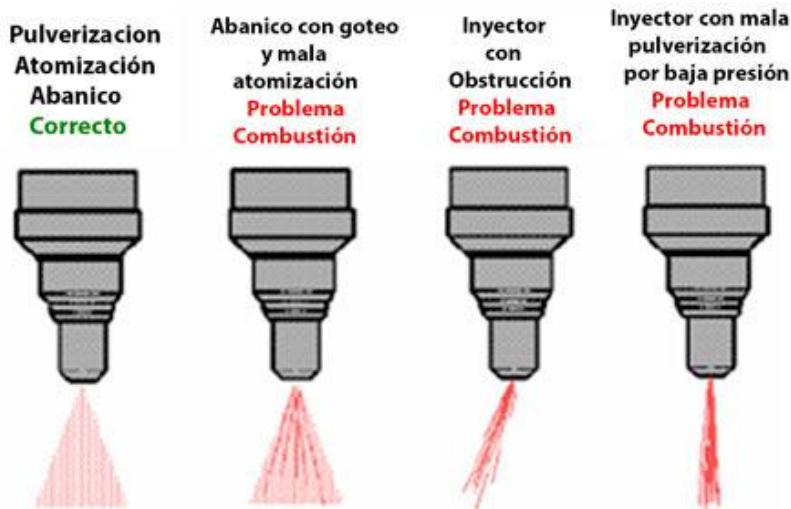


Ilustración 18. Condiciones de uso de un inyector.

Causas más comunes cuando un inyector está dañado:

- Marcha mínima irregular.
- El motor falla al acelerar.
- El arranque del motor es muy difícil.
- Excesivo consumo de combustible.
- No hay marcha mínima rápida.
- El motor falla en alta velocidad.
- Excesiva emisión de humos negros por el escape.
- La falta de potencia del motor.
- Calentamiento excesivo.
- Aumento del consumo de combustible.
- Ruido de golpeteo del motor.

Cuando los inyectores están parcialmente sucios, puede originar una marcha mínima irregular o dispareja. Otro de los fallos, puede ser a causa de una mala conexión eléctrica, es decir, no está siendo alimentada por corriente ocasionando problema en el motor.

Puede localizarse el inyector defectuoso, haciendo la prueba de desconectarle el conducto de llegada de combustible mientras el motor está en funcionamiento, así se observara que inyector está generando la falla. (C.V., 2014)

#### **2.1.4.1. LIMPIEZA**

Si sabemos que el inyector tiene algún tipo de problema en su funcionamiento, deberá procederse al desmontaje del mismo para verificar el estado de sus componentes y realizar la oportuna limpieza de éstos, la cual se efectúa con varillas de latón con punta afilada y cepillo de alambre, también de latón.

Con estas herramientas, se limpian las superficies externas e internas de la tobera y la aguja para retirar las partículas de carbón depositadas en ellas, sin producir ralladuras que posteriormente dificultarían el funcionamiento. Asimismo, se complementa con una limpieza de inyector en un laboratorio especializado. (C.V., 2014)



**Ilustración 19. Desmante de inyectores.**

## **2.2. INTRODUCCIÓN AL DISEÑO**

### **2.2.1. EL DISEÑO**

Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema. Si el plan resulta en la creación de algo físicamente real, entonces el producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y comercializarse.

El diseño es un proceso innovador y altamente iterativo. También es un proceso de toma de decisiones. El diseño es una actividad de intensa comunicación en la cual se usan tanto palabras como imágenes y se emplean las formas escritas y orales. (Budynas, 2008)

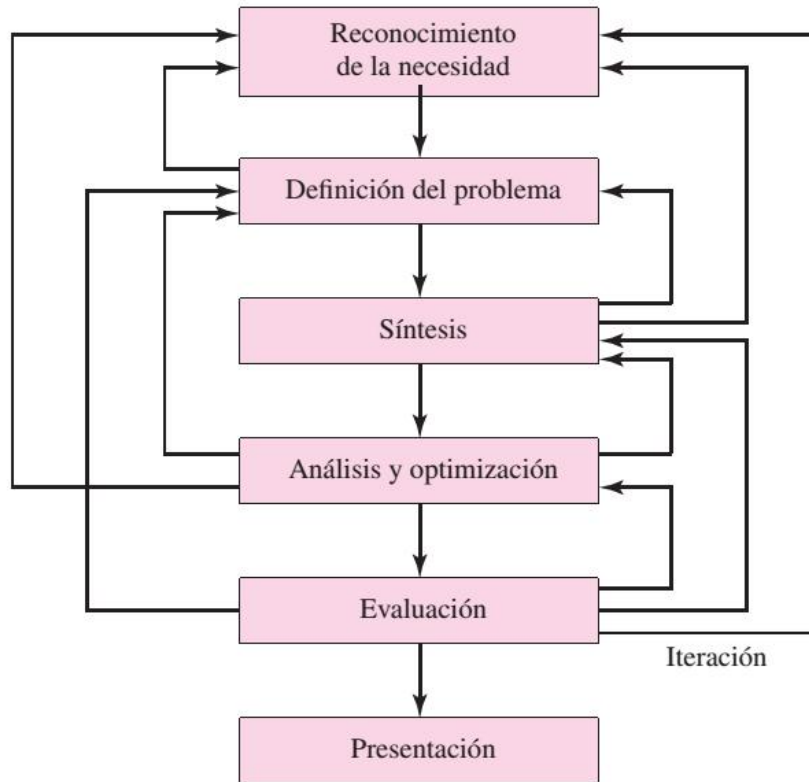
### **2.2.2. EL DISEÑO EN LA INGENIERÍA MECÁNICA**

Los ingenieros mecánicos están relacionados con la producción y el procesamiento de energía y con el suministro de los medios de producción, las herramientas de transporte y las técnicas de automatización. Las bases de su capacidad y conocimiento son extensas.

Entre las bases disciplinarias se encuentran la mecánica de sólidos, de fluidos, la transferencia de masa y momento, los procesos de manufactura y la teoría eléctrica y de la información. El diseño en la ingeniería mecánica involucra todas las áreas que componen esta disciplina. (Budynas, 2008)

### **2.2.3. FASES E INTERACCIONES DEL PROCESO DE DISEÑO**

El proceso completo, de principio a fin, que a menudo se bosqueja como se muestra en la ilustración 20, comienza con la identificación de una necesidad y la decisión de hacer algo al respecto. Después de muchas iteraciones, termina con la presentación de los planes para satisfacer la necesidad. De acuerdo con la naturaleza de la tarea de diseño, algunas fases de éste pueden repetirse durante la vida del producto, desde la concepción hasta la terminación. (Budynas, 2008)



**Ilustración 20. Fases del proceso de diseño.**

- I. **Identificación de una necesidad:** Con frecuencia, el reconocimiento y la expresión de ésta constituyen un acto muy creativo, porque la necesidad quizá sólo sea una vaga inconformidad, un sentimiento de inquietud o la detección de que algo no está bien. A menudo la necesidad no es del todo evidente; el reconocimiento se acciona por una circunstancia adversa particular o por un conjunto de circunstancias aleatorias que se originan casi de manera simultánea.
  
- II. **Definición del problema:** Es más específica y debe incluir todas las especificaciones del objeto que va a diseñarse. Las especificaciones son las cantidades de entrada y salida, las características y dimensiones del espacio que el objeto debe ocupar y todas las limitaciones sobre estas cantidades. Las especificaciones definen el costo, la cantidad que se va a manufacturar, la vida esperada, el intervalo, la temperatura de operación y la confiabilidad.

- III. **Invencción del concepto o diseño del concepto (síntesis):** Éste es el primer y más importante paso en la tarea de la síntesis. Varios esquemas deben proponerse, investigarse y cuantificarse en términos de medidas establecidas.
- IV. **Análisis y optimización:** A medida que el desarrollo del esquema progresa, se deben realizar análisis para evaluar si el desempeño del sistema es cuando menos satisfactorio, y si lo es, qué tan bien se desempeñará.
- V. **Evaluación:** Los esquemas del sistema que no sobreviven al análisis se revisan, se mejoran o se desechan. Los que cuentan con potencial se optimizan para determinar el mejor desempeño del esquema. Los esquemas en competencia se comparan de manera que se pueda elegir el camino que conduzca al producto más competitivo.
- VI. **Presentación:** La comunicación de los resultados a otros es el paso final del proceso de diseño. Sin duda, muchos grandes diseños, invenciones y trabajos creativos se han perdido para la posteridad sólo porque sus creadores no fueron capaces o no estuvieron dispuestos a explicar sus logros a otros. La presentación es un trabajo de venta.

#### **2.2.4. HERRAMIENTAS Y RECURSOS DEL DISEÑO**

En la actualidad, el ingeniero tiene una gran variedad de herramientas y recursos disponibles que le ayudan a solucionar problemas de diseño. Las microcomputadoras poco caras y los paquetes robustos de software proporcionan herramientas de gran capacidad para diseñar, analizar y simular componentes mecánicos.

Además de estas herramientas, el ingeniero siempre necesita información técnica, ya sea en forma de desempeño básico en ciencias/ingeniería o las características de componentes especiales recién lanzados. En este caso, los recursos pueden ir desde libros de ciencia/ingeniería hasta folletos o catálogos de los fabricantes. También la computadora puede jugar un papel importante en la recolección de información. (Budynas, 2008)

#### **2.2.4.1. HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES**

El software para el diseño asistido por computadora (CAD) permite el desarrollo de diseños tridimensionales (3-D) a partir de los cuales pueden producirse vistas ortográficas convencionales en dos dimensiones con dimensionamiento automático. Las trayectorias de las herramientas pueden generarse a partir de los modelos 3-D y, en algunos casos, las partes pueden crearse directamente desde una base de datos 3-D mediante el uso de un método para la creación rápida de prototipos y manufactura (estereolitografía).

Otra ventaja de este tipo de base de datos es que permite cálculos rápidos y exactos de ciertas propiedades como la masa, la localización del centro de gravedad y los momentos de inercia de masa. Del mismo modo, pueden obtenerse con facilidad otras propiedades como áreas y distancias entre puntos. Existe una gran cantidad de software de CAD disponible como: Aries, AutoCAD, CadKey, I-Deas, Unigraphics, SolidWorks y ProEngineer, sólo por mencionar algunos. (Budynas, 2008)



**Ilustración 21. Herramientas computacionales.**

#### **2.2.4.2. ADQUISICIÓN DE INFORMACIÓN TÉCNICA**

En la actualidad vivimos en la que ha sido llamada la era de la información, donde ésta se genera a un ritmo sorprendente. Es difícil, pero extremadamente importante, mantenerse al corriente de los desarrollos recientes y actuales de cualquier campo de estudio y ocupación. Algunas fuentes de información son:

- **Bibliotecas (públicas, universitarias y privadas):** Diccionarios y enciclopedias de ingeniería, libros de texto, monografías, manuales, servicios de índices y extractos, revistas, traducciones, informes técnicos, patentes y fuentes/folletos/catálogos de negocios.
- **Fuentes gubernamentales:** Departamentos de defensa, comercio, energía y transporte; NASA; Oficina editorial del gobierno; Oficina de patentes y marcas registradas; Servicio de información técnica nacional; Instituto nacional para normas y tecnología.
- **Sociedades profesionales:** Sociedad norteamericana de ingenieros mecánicos, Sociedad de ingenieros en manufactura, Sociedad de ingenieros automotrices, Sociedad norteamericana de pruebas y materiales, y la Sociedad norteamericana de soldadura.
- **Vendedores comerciales:** Catálogos, literatura técnica, datos de prueba, muestras e información de costos.
- **Internet:** La puerta de entrada a la red de computadoras con sitios asociados con la mayoría de las categorías mencionadas anteriormente.



## 2.3. SOFTWARE DE DISEÑO SOLIDWORKS

Dassault Systèmes SOLIDWORKS Corp. ofrece herramientas de software 3D completas para crear, simular, publicar y gestionar sus datos. Las soluciones de SOLIDWORKS son fáciles de aprender y usar, y funcionan en conjunto para ayudarle a diseñar productos mejor, más rápido y de manera más rentable. El enfoque de SOLIDWORKS en la facilidad de uso permite que ingenieros, diseñadores y otros profesionales de la tecnología aprovechen más que nunca las ventajas del 3D para darle vida a sus diseños. (S.A., 1997)

### 2.3.1. PRODUCTIVIDAD

**Las herramientas de software cubren el proceso de diseño:** desde el diseño y la validación hasta las comunicaciones técnicas y la gestión de datos. La interfaz de diseño intuitivo y el software integrado trabajan de manera conjunta para ofrecerle la libertad de centrarse en la innovación. Puede maximizar la productividad de su diseño y sus recursos de ingeniería para obtener productos mejores y más rentables de forma más rápida.

**La inteligencia integrada:** elimina las conjeturas del diseño en 3D. Las herramientas de diseño inteligente minimizan las necesidades de formación y le permiten detallar rápidamente diseños sin cometer errores. Puede acotar automáticamente las operaciones de fabricación en 3D, comprobar el grado de finalización de las cotas y mostrar de manera gráfica el estado de las cotas en imágenes en 2D. La interferencia automática y la detección de colisión aseguran que todas las piezas encajan antes de construir un prototipo físico, de modo que se reduce el coste y se acorta el ciclo de diseño general para una comercialización más rápida.

1. La tecnología Simulation acelera los ciclos de prototipado y verifica su diseño.
2. Puede aprovechar los datos de los diseños en 3D para comunicar rápidamente detalles técnicos complejos con animaciones e instrucciones visuales.
3. El software de gestión de datos le asegura que la versión adecuada del archivo está disponible, evita costosos errores y reduce el tiempo que pasa buscando las piezas existentes o los diseños en hasta un 40 %. (S.A., 1997)

### 2.3.2. CAPACIDAD

**Crea rápidamente precisos dibujos en 2D:** que se puedan actualizar automáticamente al vuelo cuando cambie su modelo en 3D. El software de SOLIDWORKS actualiza cotas, tablas importantes y notas para los nuevos valores con un 100 % de precisión. También actualiza las listas de materiales para que no haya confusión con la fabricación.

**Aprovecha el diseño acelerado:** con herramientas industriales especializadas que aseguran la precisión con inteligencia integrada para cada disciplina. El software de SOLIDWORKS ofrece herramientas específicas de la aplicación para la chapa metálica, las piezas soldadas, el diseño de las superficies, los moldes, y los sistemas enrutados.

**Prueba su diseño en condiciones reales:** y cerciórese de que tiene el mejor diseño antes de construirlo. SOLIDWORKS Simulation valida su diseño al comenzar el proceso, en pantalla, para que pueda probar cómo se comporta en condiciones extremas de viento, calor, agua, etc. Con las respuestas que reciba, puede reducir el peso, eliminar materiales innecesarios y optimizar costes, así como evitar la responsabilidad potencial o los problemas de seguridad.

**Diseña teniendo en cuenta el entorno:** y mida la sostenibilidad de su producto. Completamente integradas con el proceso de diseño, las herramientas de SOLIDWORKS Sustainability le ayudan a tomar las decisiones de diseño con más información en tiempo real respecto a los materiales, los recursos, la fabricación, el uso y la eliminación antes de empezar la fabricación. Además de colaborar en la protección del entorno, puede ampliar su mercado, reducir costes y añadir rentabilidad.

# CAPÍTULO 3

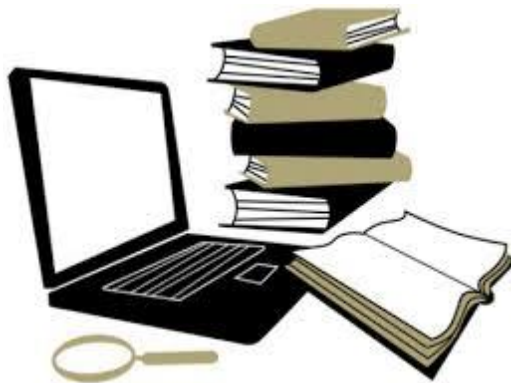
## 3.1. METODOLOGÍA.

### 3.1.1. METODOLOGÍA CUANTITATIVA

La metodología cuantitativa utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente, y confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente el uso de estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento en una población.

Las características que destacan en la metodología cuantitativa, en términos generales es que esta elige una idea, que transforma en una o varias preguntas de investigación relevantes; luego de estas deriva hipótesis y variables; desarrolla un plan para probarlas; mide las variables en un determinado contexto; analiza las mediciones obtenidas (con frecuencia utilizando métodos estadísticos), y establece una serie de conclusiones respecto de las hipótesis. (Eumed.net, 1998)

**Etapa 1.** Investigar sobre el estado del arte haciendo una recopilación de información en bases de datos tales: fuentes de internet, libros, artículos de revistas, etc.



**Ilustración 22. Fuentes de investigación.**

**Etapa 2.** Realizar una investigación sobre el diseño, funcionamiento e instalación de bancos de pruebas para inyectores diesel, mediante el uso de herramientas como: entrevistas a personal capacitado, videos, informes técnicos; además de procesar e interpretar los datos recolectados.



**Ilustración 23. TIC'S.**

**Etapa 3.** Realizar el prototipo del banco de pruebas de inyectores diesel de acuerdo a los datos obtenidos en la etapa anterior mediante la utilización de softwares de diseños mecánicos tal como: Solidworks.



**Ilustración 24. Software a emplear.**

**Etapa 4.** Llevar a cabo el proceso de construcción y ensamblaje de las partes integradoras del prototipo, con las especificaciones previamente detalladas en las etapas anteriores de diseño.



**Ilustración 25. Proceso de construcción de prototipo.**

**Etapa 5.** Comprobar que todas las conexiones hidráulicas del sistema estén selladas herméticamente, así como su buen funcionamiento mediante un proceso de inspección y realizar sus respectivas modificaciones.



**Ilustración 26. Proceso de verificación.**

# CAPÍTULO 4

## 4.1. MEMORIA DE CÁLCULOS.

### 4.1.1. PRINCIPIO DE PASCAL

Es una ley enunciada por el físico y matemático francés Blaise Pascal (1623–1662) que se resume en la frase:

La presión ejercida sobre un fluido poco compresible y en equilibrio dentro de un recipiente de paredes indeformables se transmite con igual intensidad en todas las direcciones y en todos los puntos del fluido.

La prensa hidráulica es una máquina compleja que permite amplificar las fuerzas y constituye el fundamento de elevadores, prensas hidráulicas, frenos y muchos otros dispositivos hidráulicos.

La prensa hidráulica constituye la aplicación fundamental del principio de Pascal y también un dispositivo que permite entender mejor su significado. Consiste, en esencia, en dos cilindros de diferente sección comunicados entre sí, y cuyo interior está completamente lleno de un líquido que puede ser agua o aceite.

Dos émbolos de secciones diferentes se ajustan, respectivamente, en cada uno de los dos cilindros, de modo que estén en contacto con el líquido. Cuando sobre el émbolo de menor sección  $A_1$  se ejerce una fuerza  $F_1$  la presión  $p_1$  que se origina en el líquido en contacto con él se transmite íntegramente y de forma casi instantánea a todo el resto del líquido. Por el principio de Pascal esta presión será igual a la presión  $p_2$  que ejerce el fluido en la sección  $A_2$ , es decir:



De acuerdo al Principio de Pascal, la presión  $P_1$  y la presión  $P_2$  son iguales.

$$P_1 = P_2$$

Y, como:

$$P = \frac{F}{A}$$

Se tendrá:

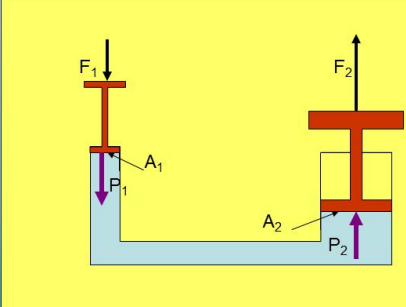
$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$


Ilustración 27. Principio de Pascal.

#### 4.1.1.1. PRESIÓN

La presión es la magnitud escalar que relaciona la fuerza con la superficie sobre la cual actúa, es decir, equivale a la fuerza que actúa sobre la superficie. Cuando sobre una superficie plana de área  $A$  se aplica una fuerza normal  $F$  de manera uniforme, la presión  $P$  viene dada de la siguiente forma:

$$P = \frac{F}{A} \text{ Ecuación 1. Presión.}$$

En un caso general donde la fuerza puede tener cualquier dirección y no estar distribuida uniformemente en cada punto la presión se define como:

$$P = \frac{dF_A}{dA} * \mathbf{n} \text{ Ecuación 2. Expresada en forma diferencial.}$$

Donde  $\mathbf{n}$  es un vector unitario y normal a la superficie en el punto donde se pretende medir la presión. La definición anterior puede escribirse también como:

$$P = \frac{d}{dA} \int_S \mathbf{f} * \mathbf{n} dS \text{ Ecuación 3. Integrando la expresión diferencial.}$$

Donde:

$f$ , es la fuerza por unidad de superficie.

$n$ , es el vector normal a la superficie.

$dA$ , es el área total de la superficie  $S$ .

#### 4.1.1.2. PRESIÓN ABSOLUTA Y RELATIVA

En determinadas aplicaciones la presión se mide no como la presión absoluta sino como la presión por encima de la presión atmosférica, denominándose presión relativa, presión normal, presión de gauge o presión manométrica.

Consecuentemente, la presión absoluta es la presión atmosférica ( $P_a$ ) más la presión manométrica ( $P_m$ ) (presión que se mide con el manómetro).

$$P_{ab} = P_a + P_m \text{ Ecuación 4. Presión absoluta.}$$

#### 4.1.1.3. PRESIÓN HIDROSTÁTICA E HIDRODINÁMICA

En un fluido en movimiento la presión hidrostática puede diferir de la llamada presión hidrodinámica por lo que debe especificarse a cuál de las dos se está refiriendo una cierta medida de presión. (Física Termodinamica, 2016)

#### 4.1.2. PROPIEDADES DE LA PRESIÓN EN UN MEDIO FLUIDO

Manómetro.

1. La fuerza asociada a la presión en un fluido ordinario en reposo se dirige siempre hacia el exterior del fluido, por lo que debido al principio de acción y reacción, resulta en una compresión para el fluido, jamás una tracción.
2. La superficie libre de un líquido en reposo (y situado en un campo gravitatorio constante) es siempre horizontal. Eso es cierto sólo en la superficie de la Tierra y a simple vista, debido a la acción de la gravedad constante. Si no hay acciones gravitatorias, la superficie de un fluido es esférica y, por tanto, no horizontal.
3. En los fluidos en reposo, un punto cualquiera de una masa líquida está sometida a una presión que es función únicamente de la profundidad a la que se encuentra el punto. Otro punto a la misma profundidad, tendrá la misma presión. A la superficie imaginaria que pasa por ambos puntos se llama superficie equipotencial de presión o superficie isobárica. (Física Termodinamica, 2016)

#### 4.1.3. GATO HIDRÁULICO

El funcionamiento del gato hidráulico responde al principio de Pascal, que establece que la presión en un contenedor cerrado es siempre la misma en todos sus puntos.

Se le da el nombre de gato “hidráulico” por la utilización de un líquido, generalmente un aceite, para ejercer presión sobre un cilindro que empujará a otro de diferente tamaño para lograr la elevación del brazo.

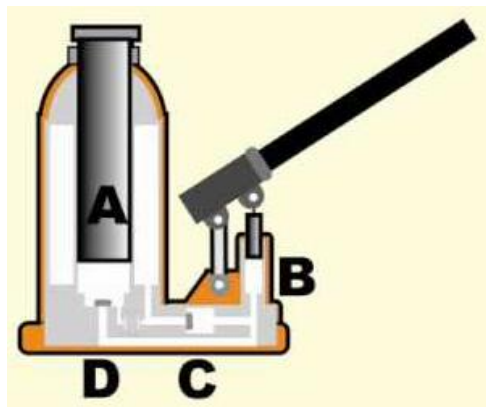
Cuando el fluido, que en este caso es un aceite, es impulsado hacia un cilindro por acción de una bomba, se somete a una fuerza como la presión.

Para ejercer la presión se “inyecta” aire al aceite para desplazarlo y el cilindro de menor tamaño empujará al de mayor tamaño. Así, la presión ejercida sobre el primero será igual en el segundo, con la diferencia de que el mayor tamaño de éste logrará un incremento de la fuerza para que el brazo lleve a cabo la elevación.

Esta forma de trabajar del gato hidráulico es muy similar a la que tiene una jeringa que impulsa su contenido por acción de la presión a la que es sometido.

La presión del aceite permite que el brazo del gato hidráulico se eleve a una determinada altura, esto permitirá maniobrar debajo del aparato o cuerpo que se quiera elevar.

Los gatos hidráulicos cuentan con un seguro que impedirá la entrada del aire si no se está utilizando el gato o que la facilitarán para invertir el proceso y hacer que descienda el brazo.



**Ilustración 28. Principio de funcionamiento.**

#### **4.1.3.1. LAS PARTES DEL GATO HIDRÁULICO**

En general, los gatos hidráulicos constan de las siguientes partes:

- Depósito: Es el lugar donde se contiene el aceite o fluido.
- Bomba: Crea la presión para mover el aceite.
- Válvula de retención: Permite que el líquido llegue al cilindro principal.
- Cilindro principal: Recibe la presión del fluido y empuja al cilindro secundario.
- Cilindro secundario: Acciona el brazo de elevación.
- Brazo de elevación: Como su nombre indica, eleva el cuerpo que se le coloca encima.
- Válvula de liberación: Libera el aire para liberar la presión y revertir el proceso de elevación.

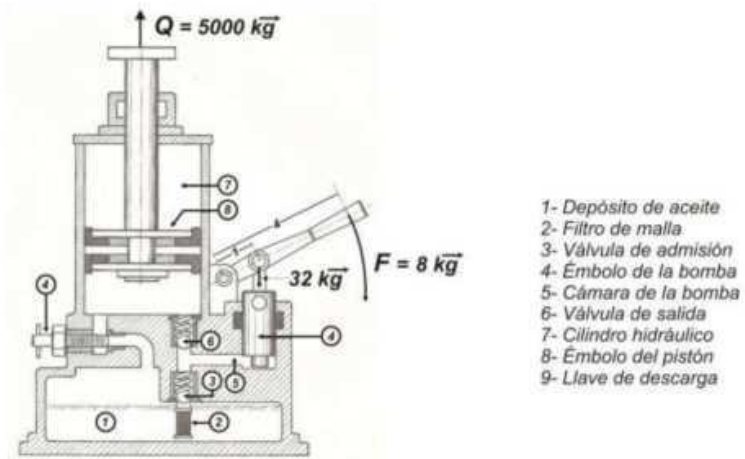


Ilustración 29. Partes del gato hidráulico.

#### 4.1.3.2. TIPOS DE GATOS HIDRÁULICOS

Se tienen dos tipos de gatos hidráulicos: los de botella y los de piso:

##### **Gato hidráulico de botella**

Se diseña en posición vertical y hace contacto directo entre la plataforma y el material que se va a levantar.



Ilustración 30. Gato hidráulico de botella.

## **Gato hidráulico de piso**

Este tipo de gato hidráulico se diseña en posición horizontal. Su brazo largo permite hacer las elevaciones y aumentar la extensión de la elevación.

Este tipo de gato hidráulico suele ser muy utilizado en vulcanizadoras o talleres mecánicos, ya que permiten elevar carros para el cambio de llantas o reparaciones que requieren de que el especialista se coloque debajo del vehículo. (QuimiNet.com, 2011)



**Ilustración 31. Gato hidráulico de piso.**

#### 4.2. FUNDAMENTACIÓN DEL DISEÑO DEL PROTOTIPO

Realizando la etapa del estado del arte, nos percatamos que la gran mayoría de bancos de pruebas de inyectores diesel son de un gran tamaño y sobre todo muy costosos, debido a los componentes que lo integran; nos dimos a la tarea de realizar un diseño ergonómico y económico.

Emplearemos materiales que soporten las altas presiones con las que trabajan los inyectores diesel: usaremos una estructura de un gato hidráulico de la marca Duralast como el principal componente que integrara el banco de pruebas debido, a que en su interior se alcanza presiones elevadas y está elaborado de hierro.



**Ilustración 32. Gato hidráulico de 4 Ton.**

Emplearemos una manguera de alta presión (5800 psi), que está compuesta por caucho y reforzada en su conducto interior por hilos de titanio y nos permite tener una gran maleabilidad en el momento de su uso.



**Ilustración 33. Manguera de alta presión (5800 psi).**

Para el depósito de combustible decidimos emplear un vaso de aluminio para pintura por gravedad de la marca Truper, ya que nos brinda la facilidad de suministrar el combustible sin la necesidad de un elemento mecánico mas como una bomba, además de que es un diseño que se integra de manera perfecta al ser muy intrascendente y contiene una tapa que a la vez actúa como un filtro, ya que no permite que el combustible se contamine.



**Ilustración 34. Vaso para pintura por gravedad.**



Uno de los elementos más importantes es el manómetro el cual debe ser de alta presión, se recomienda usar los manómetros que cuentan con glicerina en su interior, esto para que nos marque una lectura de presión correcta.



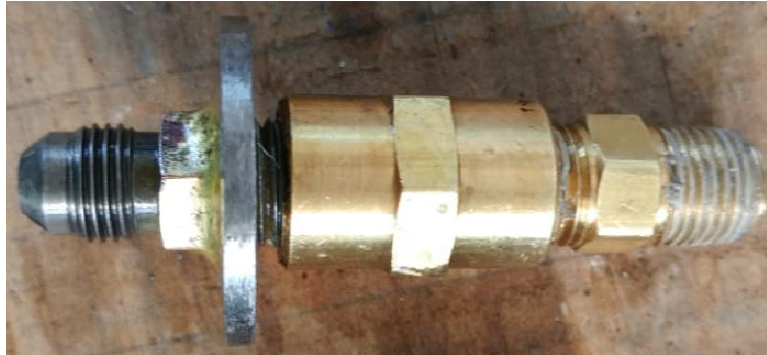
**Ilustración 35. Manómetro de 4000 psi.**

Las conexiones hidráulicas toman un papel fundamental de acuerdo a las teorías estudiadas en materias como hidráulica, automatización industrial; toman una gran relevancia la manufactura con las cuales están elaborados dichos elementos, usaremos en su mayoría accesorios hechos de bronce; otro aspecto en tomar en cuenta es que se tenga homogeneidad en el roscado de las piezas.



**Ilustración 36. Conexiones y accesorios de bronce.**

Para establecer la conexión del gato hidráulico a los accesorios hidráulicos, se tuvo que hacer aplicando soldadura de autógena, teniendo esto los demás accesorios nada más se roscaron aplicando un sello con cinta teflón.



**Ilustración 37. Conexiones hidráulicas.**

Ya teniendo listo el prototipo, la uniremos a una estructura que haga más fácil su uso, la cual estará hecha de tubular y revestida de lámina de acero, el producto final la recubriremos con un capa de pintura.



**Ilustración 38. Vista preliminar del banco de pruebas.**

### 4.3. CÁLCULOS MATEMÁTICOS

**Sabiendo que:** Apertura de un inyector mecánico diesel esta en un rango de (125-275) Bar

**Tabla 1. Conversiones de unidades de presión.**

<i>Multiplique por</i>	<i>Kg./cm<sup>2</sup></i>	<i>Psi</i>	<i>Atmósfera</i>	<i>bar</i>	<i>Pulg. Hg.</i>	<i>KILOPASCAL</i>
<i>Kg./cm<sup>2</sup></i>	1,0000	14,2200	0,9678	0,98067	28,9600	98,0670
<i>Psi</i>	0,0703	1,0000	0,06804	0,06895	2,0360	6,8450
<i>Atmósfera</i>	1,0332	14,6960	1,0000	1,01325	29,9200	101,3250
<i>bar</i>	1,0197	14,5030	0,98692	1,0000	29,5300	100,0000
<i>Pulg. Hg.</i>	0,0345	0,4912	0,03342	0,03386	1,0000	3,3864
<i>KILOPASCAL</i>	0,0101	0,1450	0,00986	0,0100	0,2953	1,0000

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA CON  $P_{MIN} = 125Bar$

#### DATOS DE ENTRADA

$$P_S = 125 \text{ bar} = 1777.5 \text{ psi}$$

$$F_S = ?$$

$$F_E = ?$$

$$D_E = 1.5 \text{ in}$$

$$D_S = \frac{1}{4} \text{ in}$$

## DESARROLLO DE OPERACIONES

Tomando la ecuación:  $P = \frac{F}{A}$  y sabemos que:  $A = \frac{\pi * D^2}{4}$

$$\text{Tenemos: } P = \frac{F}{A} \therefore F = P * A \rightarrow F = (1777.5 \text{psi}) \left[ \frac{(\pi) \left(\frac{1}{4}\right)^2}{4} \right] = 87.25282 \text{ lb}$$

$$\underline{F_S = 87.25282 \text{ lb}}$$

Realizando una igualación de presiones entre el de salida y entrada tenemos:

$$P_E = P_S = \frac{F_E}{A_E} = \frac{F_S}{A_S}$$

Necesitamos conocer la fuerza de entrada:

$$\therefore F_E = \frac{F_S * A_E}{A_S} \rightarrow F_E = \frac{F_S \left( \frac{\pi * D_E^2}{4} \right)}{\frac{\pi * D_S^2}{4}}$$

Sustituyendo valores:

$$F_E = \frac{(87.25282 \text{lb}) \left( \frac{\pi * 1.5 \text{in}^2}{4} \right)}{\frac{\pi \left( \frac{1}{4} \text{in} \right)^2}{4}} = 3141.10152 \text{ lb}$$

$$\underline{F_E = 3141.10152 \text{ lb}}$$

Tabla 2. Conversiones de unidades de fuerza.

Unidad	Equivalencia
1 newton (N)	1 newton (N)
1 kilonewton (kN)	1 000 N
1 kilopondio (1 kp)	9,8 N
1 tonelada fuerza (1 tn)	1 000 kp
1 libra (lb)	0,454 kp
1 libra (lb)	4,448 N

Sabiendo que  $1N = \frac{W}{g}$ , donde:  $W = peso$  y  $g = constante\ gravitacional$

$$F_E = 3141.10152lb = 13971.61956N = 1424.22217kg$$

$$\underline{F_E = 1424.22217kg}$$

Comprobando los resultados realizados obtenemos:

$$P_E = \frac{F_E}{A_E} \rightarrow \frac{3141.10152lb}{\frac{\pi * 1.5in^2}{4}} = 1777.49985\ psi$$

$$\underline{P_E = 1777.49985\ psi}$$

### INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Como conclusión podemos decir que; necesitamos generar una fuerza en el interior del gato hidráulico igual a  **$F_E = 3141.10152\ lb$** , para obtener la presión deseada

$$\underline{P_E = P_S = 1777.5\ psi}$$

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA CON  $P_{MAX} = 275 \text{ Bar}$

DATOS DE ENTRADA

$$P_S = 275 \text{ bar} = 3910.5 \text{ psi}$$

$$F_S = ?$$

$$F_E = ?$$

$$D_E = 1.5 \text{ in}$$

$$D_S = 1/4 \text{ in}$$

DESARROLLO DE OPERACIONES

Tomando la ecuación:  $P = \frac{F}{A}$  y sabemos que:  $A = \frac{\pi * D^2}{4}$

$$\text{Tenemos: } P = \frac{F}{A} \therefore F = P * A \rightarrow F = (3910.5 \text{ psi}) \left[ \frac{(\pi) \left(\frac{1}{4}\right)^2}{4} \right] = 191.95621 \text{ lb}$$

$$\underline{F_S = 191.95621 \text{ lb}}$$

Realizando una igualación de presiones entre el de salida y entrada tenemos:

$$P_E = P_S = \frac{F_E}{A_E} = \frac{F_S}{A_S}$$

Necesitamos conocer la fuerza de entrada:

$$\therefore F_E = \frac{F_S * A_E}{A_S} \rightarrow F_E = \frac{F_S \left( \frac{\pi * D_E^2}{4} \right)}{\frac{\pi * D_S^2}{4}}$$

Sustituyendo valores:

$$F_E = \frac{(191.95621lb)\left(\frac{\pi * 1.5in^2}{4}\right)}{\frac{\pi\left(\frac{1}{4}in\right)^2}{4}} = 6910.42356 lb$$

$$\underline{F_E = 6910.42356 lb}$$

Sabiendo que  $1N = \frac{W}{g}$ , donde:  $W = peso$  y  $g = constante gravitacional$

$$F_E = 6910.42356lb = 30737.56399N = 3133.28888kg$$

$$\underline{F_E = 3133.28888kg}$$

Comprobando los resultados realizados obtenemos:

$$P_E = \frac{F_E}{A_E} \rightarrow \frac{6910.42356lb}{\frac{\pi * 1.5in^2}{4}} = 3910.49979 psi$$

$$\underline{P_E = 3910.49979 psi}$$

## INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Como conclusión podemos decir que; necesitamos generar una fuerza en el interior del gato hidráulico igual a  **$F_E = 6910.42356 lb$** , para obtener la presión deseada

$$\underline{P_E = P_S = 3910.5 psi}$$

## CONCLUSIÓN FINAL

Se realizaron dos secuencias de operaciones en donde, se trabajaron con los puntos mínimos y máximos de presión con que los inyectores mecánicos diesel logran la apertura de la válvula para llevarse a cabo el proceso de combustión.

En este punto tenemos que tomar una decisión para realizar dicho prototipo; concluimos que la capacidad de trabajo del gato hidráulico a emplear debe ser de 4 toneladas para lograr alcanzar el rango de presiones calculados con anterioridad:

$$\underline{F_E = 1424.22217kg} \text{ Ó } \underline{F_E = 3133.28888kg} < \underline{4Ton}$$



#### 4.4. DISEÑO DEL PROTOTIPO

##### 1) DISEÑO DEL PROTOTIPO.

Antes de realizar el diseño del prototipo, se analizó las ventajas como desventajas de cada uno de los posibles diseños, ya que se tiene que considerar aspectos como: económico, así como el uso e instalación, además que hay que considerar el espacio de trabajo donde dichos bancos operaran.



Ilustración 39. Diseños posibles.

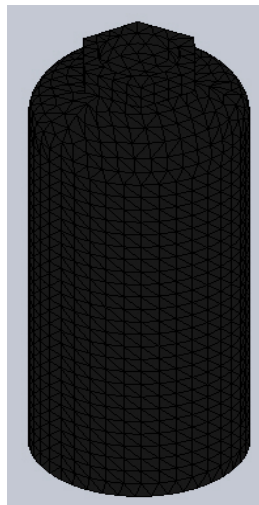
##### 2) ANÁLISIS ESTÁTICO DE PRESIÓN.

En esta parte se analizó solo la carcasa del gato hidráulico ya que en su interior es donde se generará la presión para lograr la apertura del inyector diesel, en donde se tuvieron que hacer suposiciones como fijar la base del cilindro del gato hidráulico representado por las flechas verdes y la fuerza de presión aplicada representado por las flechas rojas, en la ilustración 40.



**Ilustración 40. Corte seccional de análisis estático de presión.**

Para el análisis se le aplicó una presión de 3900 psi, que es la máxima presión con que este banco de pruebas trabajará. Se le aplicó un mallado estándar y sólido para encontrar resultados un poco más redondeados.



**Ilustración 41. Mallado del modelo a simular.**

### 3) INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS ESTÁTICO.

La interpretación del análisis es de mucha importancia para nosotros, ya que nos brinda un parámetro para elegir la mejor opción al momento de comprar el gato hidráulico, ya que intervienen como material, capacidad y marcas.

- **Teoría de Von-Mises:** La tensión de Von Mises es una magnitud física proporcional a la energía de distorsión. En ingeniería estructural se usa en el contexto de las teorías de fallo como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles.

Se obtuvieron los siguientes resultados:  $T_{min} = 7.84481 \text{ MPa}$ , representada por el color azul y  $T_{max} = 287.602 \text{ MPa}$ , representando por el color rojo. Nos indica que en donde se nos puede presentar una fuga de combustible sería en la unión del gato hidráulico con las conexiones hidráulicas por ese motivo se eligió unirlos con soldadura de autógena.

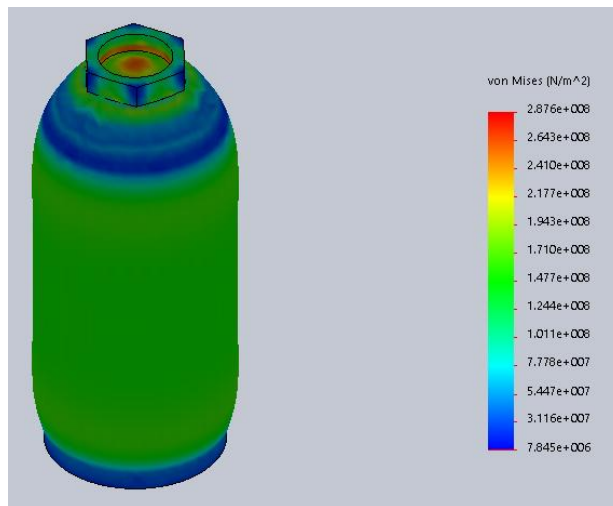


Ilustración 42. Resultados obtenidos de tensión de Von-Mises.

- **Teoría de deformación unitaria:** La deformación es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a esfuerzos internos producidos por una o más fuerzas aplicadas sobre el mismo. La magnitud más simple para medir la deformación es lo que en ingeniería se llama deformación axial o deformación unitaria. Se define como el cambio de longitud por unidad de longitud.

Se obtuvieron los siguientes resultados:  $\varepsilon_{min} = 22.2054 \mu$ , representada por el color azul y  $\varepsilon_{max} = 3067.79 \mu$ , representando por el color rojo. Nos indica que en donde se nos presenta un deformación más grande en teoría sería en la unión del gato hidráulico y las conexiones hidráulicas, y decimos en teoría ya que las deformaciones unitarias son tan pequeñas que son representadas por las micras que es una expresión exponencial muy pequeño.

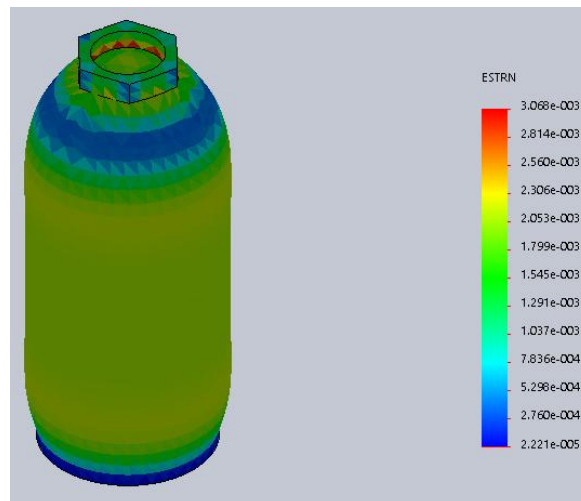
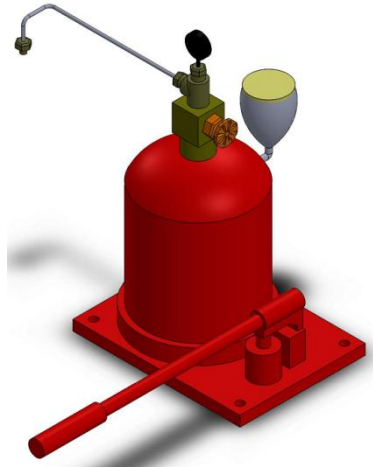


Ilustración 43. Resultados obtenidos de deformación unitaria.

#### 4) CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO.

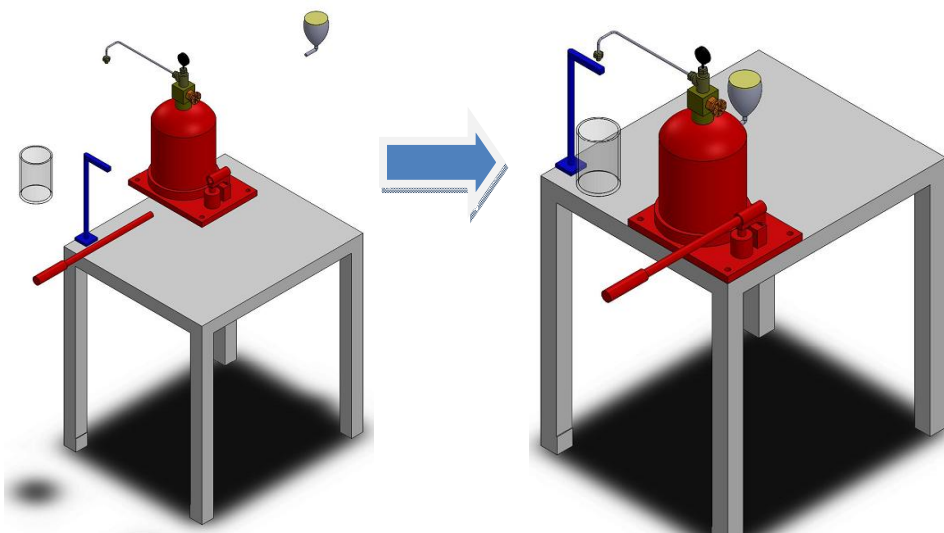
Una vez obtenidos los resultados de análisis estático de presión, se procede a la construcción del prototipo con las especificaciones detalladas en la etapa de diseño.



**Ilustración 44. Construcción de prototipo.**

#### 5) ENSAMBLE DEL BANCO DE PRUEBAS.

Teniendo todos los requerimientos se procede a la etapa de construcción de la base del banco de pruebas y se realiza el montaje para representar la idealización final del banco de pruebas.



**Ilustración 45. Ensamble del banco de pruebas de inyectores diesel (prototipo).**

6) CONSTRUCCIÓN REAL DEL PROTOTIPO.

Teniendo la idealización del prototipo, se procede a realizar la construcción real del banco de pruebas teniendo el producto final, que se representa en la ilustración 46.



**Ilustración 46. Banco de pruebas para inyectores diesel.**

## 4.5. COSTOS DEL PROYECTO.

Tabla 3. Costos de realización de proyecto.

PRODUCTO	PREC. UNIT.	CANTIDAD	TOTAL
Gato hidráulico	\$549.00	1	\$549.00
Manómetro para alta presión	\$680.00	1	\$680.00
Manguera para alta presión	\$80.00	1	\$80.00
Conexiones para manguera	\$210.00	2	\$420.00
Conexión de latón "T"	\$132.64	1	\$132.64
Conexiones de latón	\$19.24	3	\$57.72
Cople de latón	\$24.55	1	\$24.55
Vulcanizado de manguera	\$60.00	2	\$120.00
Vaso de aluminio	\$83.03	1	\$83.03
Inyector Cartepillar	\$1000.00	1	\$1000.00
Angulo de 1"1/4	\$200.00	1	\$200.00
Pintura	\$100.00	1	\$100.00
Soldadura de autógena	\$150.00	2	\$300.00
Lamina	\$80.00	1	\$80.00
Vaso de cristal	\$35.50	1	\$35.50
Plasticero	\$88.50	1	\$88.50
<b>Costo total</b>			<b>\$3850.94</b>

La realización del proyecto tuvo un costo total de **\$3850.94**, con el cual logramos reducir prácticamente a la mitad el costo a los que se encuentran en el mercado con un costo que ronda entre los **\$79990.00 a \$8500.00**.

## 5. CONCLUSIÓN

Los objetivos planteados en el capítulo 1, fueron cumplidos en su totalidad; ya que la construcción del prototipo abarco cada una de las características planteadas: ergonómico, uso e instalación fácil, portabilidad y costo accesible.

Durante la etapa de diseño, se tuvieron que realizar varias suposiciones e idealizaciones que nos ayudaran a tener un factor de seguridad de acuerdo a las teorías de diseño mecánico y que nos permitió continuar con la etapa de construcción, donde se recurrió al uso de materiales ya prefabricados para obtener un resultado congruente con lo diseñado.

### 5.1. RECOMENDACIONES

El prototipo que se diseño y construyo, establece la parte fundamental de un banco para inyectores diesel; que es la generación de la presión con que trabajan dichos elementos. Se puede mejorar en función de que no solo sirva para hacer pruebas a inyectores mecánicos, que si no también los efectué en inyectores electrónicos.

Se lograra agregándole una unidad de control electrónico o en su defecto realizando una tarjeta de programación y efectuando los comandos en un software de programación como Arduino ó Matlab.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Autonocion.com.* (2011). Obtenido de Autonocion.com: <https://www.autonocion.com> › Noticias del Motor
- BOSCH. (2005). *Division Automotive Aftermarket.* Obtenido de Division Automotive Aftermarket: [br.bosch-automotive.com/...sistema...unidade.../uis\\_sistema\\_de\\_unidade\\_injetora\\_1.ht...](http://br.bosch-automotive.com/...sistema...unidade.../uis_sistema_de_unidade_injetora_1.ht...)
- Budynas, R. G. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.* México, D.F.: Mc Graw-Hill.
- C.V., A. E. (2014). *Alianza Flotillera.* Obtenido de Alianza Flotillera: [www.alianzafлотillera.com/.../sintomas-del-mal-funcionamiento-en-el-inyector-de-un-...](http://www.alianzafлотillera.com/.../sintomas-del-mal-funcionamiento-en-el-inyector-de-un-...)
- Çengel, Y. A. (2006). *Mecánica de Fluidos.* México, D.F.: Mc Graw-Hill.
- Çengel, Y. A. (2012). *Termodinámica.* México, D.F.: Mc Graw-Hill.
- Eumed.net.* (enero de 1998). Obtenido de Eumed.net: [www.eumed.net/tesis-doctorales/2012/eal/metodologia\\_cuantitativa.html](http://www.eumed.net/tesis-doctorales/2012/eal/metodologia_cuantitativa.html)
- Fisica Termodinamica.* (16 de Octubre de 2016). Obtenido de Fisica Termodinamica: <https://hernanleon1002.wordpress.com/fisica-de-fluidos-y.../principio-de-pascal/>
- Gallardo, E. (Octubre de 2016). *ALPHA Capacitación Laboral y Cursos Técnicos CAD .* Obtenido de ALPHA Capacitación Laboral y Cursos Técnicos CAD : [www.cursosalpha.com](http://www.cursosalpha.com)
- Kevin Wilches Rodriguez, J. A. (29 de Noviembre de 2012). *BLOG DE BOMBA DE INYECCION DIESEL.* Obtenido de BLOG DE BOMBA DE INYECCION DIESEL: [bombadeinyeccionwichyariza.blogspot.com/2012/.../historia-de-la-bomba-de-diesel.ht..](http://bombadeinyeccionwichyariza.blogspot.com/2012/.../historia-de-la-bomba-de-diesel.ht..)
- Meganeboy, D. (2014). *Aficionados a la Mecanica.* Obtenido de Aficionados a la Mecanica: [www.aficionadosalamecanica.net/bomba-embolos-radiales.htm](http://www.aficionadosalamecanica.net/bomba-embolos-radiales.htm)
- QuimiNet.com.* (11 de Diciembre de 2011). Obtenido de QuimiNet.com: <https://www.quiminet.com/.../gato-hidraulico-funcionamiento-y-tipos-2650085.htm>
- RO-DES.* (2008). Obtenido de RO-DES: <https://www.ro-des.com/mecanica/que-son-los-inyectores/>
- S.A., D. S. (Diciembre de 1997). *Dassault Systèmes SOLIDWORKS Corp.* Obtenido de Dassault Systèmes SOLIDWORKS Corp.: [www.solidworks.es/](http://www.solidworks.es/)

## 7. ANEXOS

### 7.1. ENCUESTA APLICADA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



**DIRECCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA**  
**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

La siguiente encuesta se realiza para recolectar datos con un fin académico.

1.- ¿En este taller mecánico se realiza el mantenimiento del sistema de inyección a vehículos diesel?

Si \_\_\_\_ No \_\_\_\_

2.- ¿Le gustaría poder brindar el mantenimiento del sistema de inyección de vehículos diesel?

Si \_\_\_\_ No \_\_\_\_

3.- ¿El mantenimiento del sistema de inyección a vehículos diesel, es un proceso costoso en comparación a los vehículos a gasolina?

Si \_\_\_\_ No \_\_\_\_

4.- ¿Le gustaría contar con un banco de pruebas para inyectores diesel?

Si \_\_\_\_ No \_\_\_\_

¡Gracias por su colaboración!

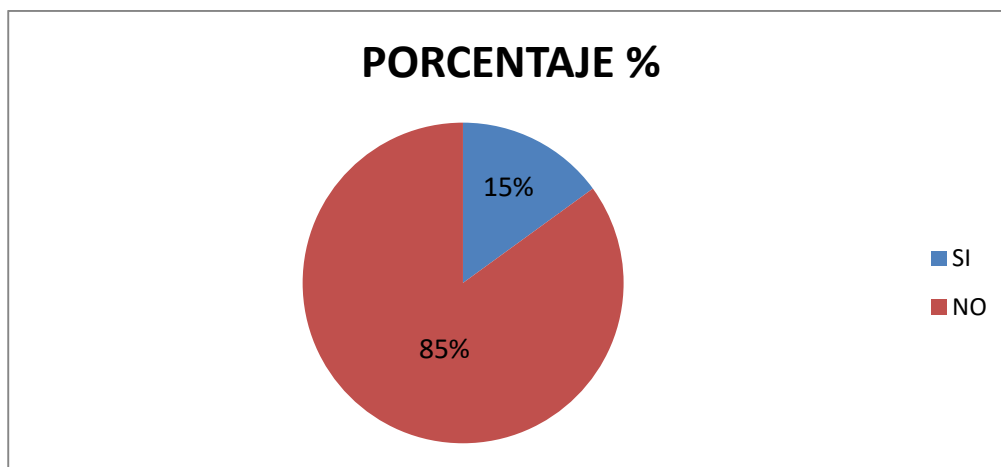
**Ilustración 47. Encuesta empleada.**

### 7.1.1. DATOS RECOLECTADOS

#### INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS RECOLECTADOS

La encuesta fue realizada a 20 talleres mecánicos de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. En la cual se recabaron los siguientes datos, representados en las siguientes graficas.

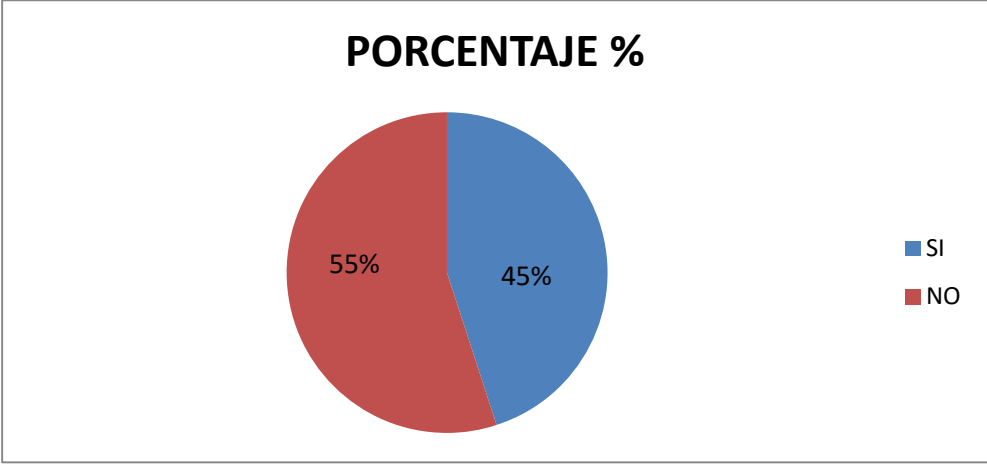
1.- ¿En este taller mecánico se realiza el mantenimiento del sistema de inyección a vehículos diesel?



Gráfica 1. Representación en % de la pregunta 1.

De la primera pregunta, concluimos que la gran mayoría de talleres mecánicos de la ciudad no brindan el servicio de mantenimiento del sistema de inyección de vehículos diesel; y que de los talleres que si lo brindan únicamente lo hacen a vehículos pequeños.

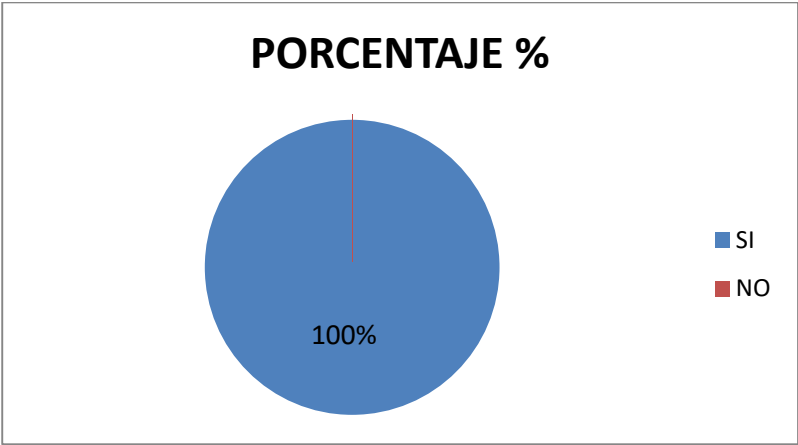
2.- ¿Le gustaría poder brindar el mantenimiento del sistema de inyección de vehículos diesel?



Gráfica 2. Representación en % de la pregunta 2.

En la contestación de esta pregunta encontramos diferentes puntos de vista, la cual se concluye; que los que dijeron que si, la mayoría coincidió que es bueno tener una oferta más amplia para sus clientes. Mientras que los que dijeron que no, la contestación más repetida fue que es un mercado un poco exclusivo y que ellos prefieren seguir ofertando sus servicios a vehículos diesel.

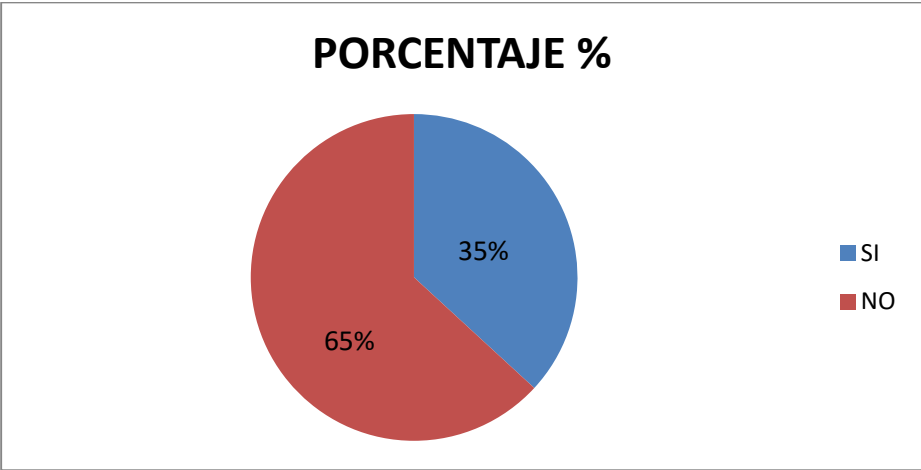
3.- ¿El mantenimiento del sistema de inyección a vehículos diesel, es un proceso costoso en comparación a los vehículos a gasolina?



Gráfica 3. Representación en % de la pregunta 3.

Bueno en esta pregunta concordaron todos los encuestados en una respuesta definitiva que fue que si, esto debido a los altos costos de las piezas del sistema de inyección diesel.

4.- ¿Le gustaría contar con un banco de pruebas para inyectores diesel?



Gráfica 4. Representación en % de la pregunta 4.

Esta pregunta resulto un poco controversial, en la contestación de los talleres que respondieron que si a la pregunta número 2, ya que dos encuestados respondieron que no debido a los altos costos de dichos dispositivos para realizar dicha función. Mientras que los que respondieron que no a la pregunta número 2, permanecieron igual en su contestación.

## 7.2. GUÍA DE USUARIO



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



**DIRECCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**REPORTE DE RESIDENCIA:**

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE  
INYECTORES MECÁNICOS A DIESEL (inyector tipo lápiz para  
Caterpillar).

**GUÍA DE USO**

**Residentes:**

Blanco Ríos Daniel

Camacho Pérez Jonathan de Jesús

**Catedrático:**

M.C. Hernán Valencia Sánchez

## **¿CÓMO OPERAR EL BANCO DE PRUEBAS?**

En primer lugar, el equipo funciona de la misma manera que el mismo vehículo por ende el principio es similar ya que mediante este dispositivo, le entrega diesel con mucha presión a los inyectores.

El principal diagnostico que se debe realizar en los inyectores mecánicos diesel, es la forma de cómo este pulveriza el combustible inyectado; para tal prueba el operador debe ser asistido por otra persona y tener un criterio de visualización muy agudo para determinar un diagnostico oportuno.

Luego de comprobado, se puede proceder a la limpieza de inyectores en caso de que sea necesaria, de acuerdo a los resultados vertidos por el banco de pruebas.

### **RECOMENDACIONES:**

- Usar bata de preferencia colores oscuros
- Usar mascarilla
- Usar lentes de seguridad

## DIFERENCIAS ENTRE GASOLINA Y DIESEL

Tabla 4. Propiedades gasolina/diesel.

Propiedad	Gasolina	Diesel
Densidad (kg/l)	0.75	0.84
Punto de ignición (°C)	367	63
Calor de combustión (MJ/kg)	376	46

### PROCESO DE COMBUSTIÓN “CICLO DIESEL”

Para modelar el comportamiento del motor diésel se considera un ciclo Diesel de seis pasos, dos de los cuales se anulan mutuamente:

#### Admisión E→A

El pistón baja con la válvula de admisión abierta, aumentando la cantidad de aire en la cámara. Esto se modela como una expansión a presión constante (ya que al estar la válvula abierta la presión es igual a la exterior). En el diagrama PV aparece como una recta horizontal.

#### Compresión A→B

El pistón sube comprimiendo el aire. Dada la velocidad del proceso se supone que el aire no tiene posibilidad de intercambiar calor con el ambiente, por lo que el proceso es adiabático. Se modela como la curva adiabática *reversible* A→B, aunque en realidad no lo es por la presencia de factores irreversibles como la fricción.



### **Combustión B→C**

Un poco antes de que el pistón llegue a su punto más alto y continuando hasta un poco después de que empiece a bajar, el inyector introduce el combustible en la cámara. Al ser de mayor duración que la combustión en el ciclo Otto, este paso se modela como una adición de calor a presión constante. Éste es el único paso en el que el ciclo Diesel se diferencia del Otto.

### **Expansión C→D**

La alta temperatura del gas empuja al pistón hacia abajo, realizando trabajo sobre él. De nuevo, por ser un proceso muy rápido se aproxima por una curva adiabática reversible.

### **Escape D→A y A→E**

Se abre la válvula de escape y el gas sale al exterior, empujado por el pistón a una temperatura mayor que la inicial, siendo sustituido por la misma cantidad de mezcla fría en la siguiente admisión. El sistema es realmente *abierto*, pues intercambia masa con el exterior. No obstante, dado que la cantidad de aire que sale y la que entra es la misma podemos, para el balance energético, suponer que es el mismo aire, que se ha enfriado. Este enfriamiento ocurre en dos fases. Cuando el pistón está en su punto más bajo, el volumen permanece aproximadamente constante y tenemos la isócara D→A. Cuando el pistón empuja el aire hacia el exterior, con la válvula abierta, empleamos la isobara A→E, cerrando el ciclo.

En total, el ciclo se compone de dos subidas y dos bajadas del pistón, razón por la que es un ciclo de cuatro tiempos, aunque este nombre se suele reservar para los motores de gasolina.

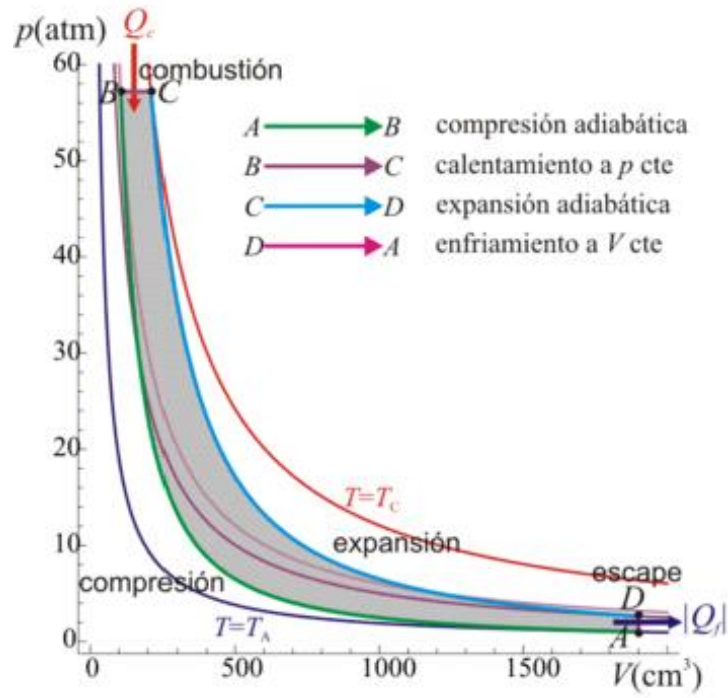


Ilustración 48. Proceso de combustión del ciclo Diesel.

## PRUEBAS A REALIZAR

### 1. APERTURA DEL INYECTOR:

Esta prueba se realiza para verificar a que presión se logra la apertura del inyector. Para este tipo de inyectores se espera que la apertura se logre a alcanzar la presión de 2000 psi.



Ilustración 49. Lectura de presión.

### 2. CAÍDA DE PRESIÓN:

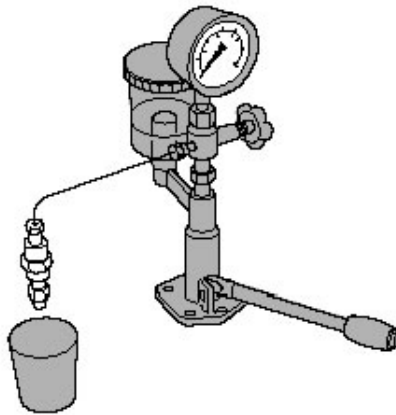
Respecto a la caída de presión se debe comprobar el siguiente enunciado “que 710 psi debe caer en un lapso de tiempo de 5 segundos”, pero antes se eleva la presión a 1850 psi. Respuestas:

- ✓ Si el enunciado no se cumple, esto quiere decir que el inyector esta en perfectas condiciones en sus elementos mecánicos.
- ✓ Si el enunciado se cumple, quiere decir que el inyector presenta posibles fallas en la aguja o en el vástago del inyector.

### 3. HERMETICIDAD:

Para realizar esta prueba se debe elevar la presión a unos 1850 psi antes de la presión de apertura. Para verificar la prueba se debe colocar una hoja de papel debajo del inyector, después de realizar la prueba, se verifica si no cayó ningún residuo de diesel en la hoja de papel.

- ✓ Si existe un goteo en la hoja, quiere decir que hay un problema en los empaques del inyector.
- ✓ Si no se presenta goteo, el inyector está en perfectas condiciones en sus empaques.



**Ilustración 50. Prueba de hermeticidad.**

#### 4. PULVERIZACIÓN:

Esta prueba se realiza con ayuda del muestrario, en el cual se debe observar la forma en el que el inyector pulveriza el combustible. También se puede realizar colocando una hoja de papel debajo del inyector y observar la forma que se crea. Para dar un diagnóstico óptimo la forma que se debe formar en el papel debe ser un círculo, de lo contrario se presentan problemas en el momento de pulverizar el combustible.

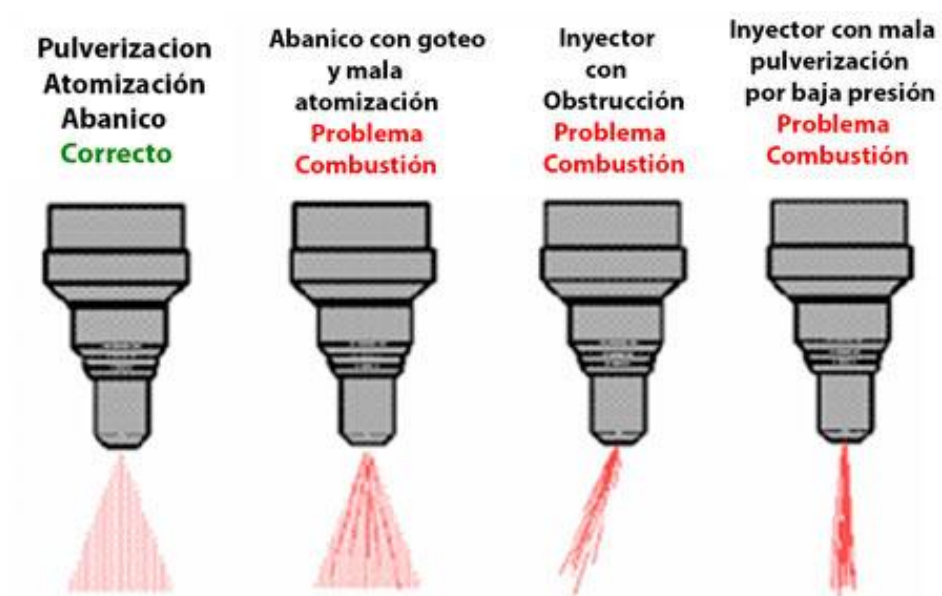


Ilustración 51. Diagnóstico de la forma de pulverización.

### 7.3. ARTICULO DE REVISTA

#### **Diseño y construcción de un banco de pruebas para inyectores diesel**

#### **Design and construction of a test bench for diesel injectors**

Hernán Valencia Sánchez (1). Docente del TecNM/ITTG. [hvalencia@ittg.edu.mx](mailto:hvalencia@ittg.edu.mx)

Jonathan de Jesús Camacho Pérez (2). Estudiante del TecNM/ITTG. [jonathan091293@outlook.com](mailto:jonathan091293@outlook.com)

Daniel Blanco Rios (3). Estudiante del TecNM/ITTG. [dan230794@gmail.com](mailto:dan230794@gmail.com)

#### **Resumen**

El proyecto consiste en el diseño y construcción de un prototipo de un banco de pruebas para inyectores diesel, con el cual se busca reducir los altos costos y espacios que se requieren para obtener uno de los ofrecidos por los fabricantes.

La carencia de talleres, espacio y de equipos especializados en vehículos diesel, creo la necesidad de buscar una alternativa que diera respuesta a la necesidad planteada; diseñando y construyendo un prototipo con las siguientes características:

- 1) Diseño ergonómico.
- 2) Portabilidad
- 3) Instalación y uso sencillo
- 4) Costo accesible

#### **Abstract**

The project consists of the design and construction of a prototype of a test bench for diesel injectors, with which it is sought to reduce the high costs and spaces that are required to obtain one of those offered by the manufacturers.

The lack of workshops, space and equipment specialized in diesel vehicles, created the need to find an alternative that would respond to the need; designing and building a prototype with the following characteristics:

- 1) Ergonomic design.
- 2) Portability
- 3) Installation and easy use
- 4) Accessible cost

## 1. Introduccion

El proyecto consiste: En diseñar y construir un prototipo de un banco de pruebas para inyectores diesel. Reducir costos de produccion. Diseñar un banco de pruebas con las características: debe ser ergonómico, instalación y manejo fácil

## 2. Diseño del prototipo

Antes de realizar el diseño del prototipo, se analizó las ventajas como desventajas de cada uno de los posibles diseños, ya que se tiene que considerar aspectos como: económico, así como el uso e instalación, además que hay que considerar el espacio de trabajo donde dichos bancos operaran.



Ilustración 1. Diseños posibles.

### 3. Memoria de cálculos.

**Sabiendo que:** Apertura de un inyector mecánico diesel esta en un rango de (125-275) Bar

Tabla 1. Conversiones de unidades de presión.

<i>Multiplique por</i>	<i>Kg./cm<sup>2</sup></i>	<i>Psi</i>	<i>Atmósfera</i>	<i>bar</i>	<i>Pulg. Hg.</i>	<i>KILOPASCAL</i>
<i>Kg./cm<sup>2</sup></i>	1,0000	14,2200	0,9678	0,98067	28,9600	98,0670
<i>Psi</i>	0,0703	1,0000	0,06804	0,06895	2,0360	6,8450
<i>Atmósfera</i>	1,0332	14,6960	1,0000	1,01325	29,9200	101,3250
<i>bar</i>	1,0197	14,5030	0,98692	1,0000	29,5300	100,0000
<i>Pulg. Hg.</i>	0,0345	0,4912	0,03342	0,03386	1,0000	3,3864
<i>KILOPASCAL</i>	0,0101	0,1450	0,00986	0,0100	0,2953	1,0000

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA CON  $P_{MIN} = 125Bar$

#### DATOS DE ENTRADA

$$P_S = 125 \text{ bar} = 1777.5 \text{ psi}$$

$$F_S = ?$$

$$F_E = ?$$

$$D_E = 1.5 \text{ in}$$

$$D_S = 1/4 \text{ in}$$

#### DESARROLLO DE OPERACIONES

Tomando la ecuación:  $P = \frac{F}{A}$  y sabemos que:  $A = \frac{\pi * D^2}{4}$

$$\text{Tenemos: } P = \frac{F}{A} \therefore F = P * A \rightarrow F = (1777.5 \text{ psi}) \left[ \frac{(\pi) \left(\frac{1}{4}\right)^2}{4} \right] = 87.25282 \text{ lb}$$

$$\underline{F_S = 87.25282 \text{ lb}}$$



Realizando una igualación de presiones entre el de salida y entrada tenemos:

$$P_E = P_S = \frac{F_E}{A_E} = \frac{F_S}{A_S}$$

Necesitamos conocer la fuerza de entrada:

$$\therefore F_E = \frac{F_S * A_E}{A_S} \rightarrow F_E = \frac{F_S \left( \frac{\pi * D_E^2}{4} \right)}{\frac{\pi * D_S^2}{4}}$$

Sustituyendo valores:

$$F_E = \frac{(87.25282lb) \left( \frac{\pi * 1.5in^2}{4} \right)}{\frac{\pi \left( \frac{1}{4}in \right)^2}{4}} = 3141.10152 lb$$

$$\underline{F_E = 3141.10152 lb}$$

**Tabla 2. Conversión de unidades de fuerza.**

Unidad	Equivalencia
1 newton (N)	1 newton (N)
1 kilonewton (kN)	1 000 N
1 kilopondio (1 kp)	9,8 N
1 tonelada fuerza (1 tn)	1 000 kp
1 libra (lb)	0,454 kp
1 libra (lb)	4,448 N

Sabiendo que  $1N = \frac{W}{g}$ , donde:  $W = peso$  y  $g = constante gravitacional$

$$F_E = 3141.10152lb = 13971.61956N = 1424.22217kg$$

$$\underline{F_E = 1424.22217kg}$$

Comprobando los resultados realizados obtenemos:

$$P_E = \frac{F_E}{A_E} \rightarrow \frac{3141.10152lb}{\frac{\pi * 1.5in^2}{4}} = 1777.49985 \text{ psi}$$

$$\underline{P_E = 1777.49985 \text{ psi}}$$

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA CON  $P_{MAX} = 275 \text{ Bar}$

#### DATOS DE ENTRADA

$$P_S = 275 \text{ bar} = 3910.5 \text{ psi}$$

$$F_S = ?$$

$$F_E = ?$$

$$D_E = 1.5 \text{ in}$$

$$D_S = 1/4 \text{ in}$$

#### DESARROLLO DE OPERACIONES

Tomando la ecuación:  $P = \frac{F}{A}$  y sabemos que:  $A = \frac{\pi * D^2}{4}$

$$\text{Tenemos: } P = \frac{F}{A} \therefore F = P * A \rightarrow F = (3910.5 \text{ psi}) \left[ \frac{(\pi) \left(\frac{1}{4}\right)^2}{4} \right] = 191.95621 \text{ lb}$$

$$\underline{F_S = 191.95621 \text{ lb}}$$

Realizando una igualación de presiones entre el de salida y entrada tenemos:

$$P_E = P_S = \frac{F_E}{A_E} = \frac{F_S}{A_S}$$

Necesitamos conocer la fuerza de entrada:

$$\therefore F_E = \frac{F_S * A_E}{A_S} \rightarrow F_E = \frac{F_S \left( \frac{\pi * D_E^2}{4} \right)}{\frac{\pi * D_S^2}{4}}$$

Sustituyendo valores:

$$F_E = \frac{(191.95621lb) \left( \frac{\pi * 1.5in^2}{4} \right)}{\frac{\pi \left( \frac{1}{4}in \right)^2}{4}} = 6910.42356 lb$$

$$\underline{F_E = 6910.42356 lb}$$

Sabiendo que  $1N = \frac{W}{g}$ , donde:  $W = \text{peso}$  y  $g = \text{constante gravitacional}$

$$F_E = 6910.42356lb = 30737.56399N = 3133.28888kg$$

$$\underline{F_E = 3133.28888kg}$$

Comprobando los resultados realizados obtenemos:

$$P_E = \frac{F_E}{A_E} \rightarrow \frac{6910.42356lb}{\frac{\pi * 1.5in^2}{4}} = 3910.49979 psi$$

$$\underline{P_E = 3910.49979 psi}$$

#### 4. Interpretación de resultados matemáticos.

Planteamiento con la presión de 125 Bar. Como conclusión podemos decir que; necesitamos generar una fuerza en el interior del gato hidráulico igual a  **$F_E = 3141.10152 lb$** , para obtener la presión deseada  **$P_E = P_S = 1777.5 psi$**

Planteamiento con la presión de 275 Bar. Como conclusión podemos decir que; necesitamos generar una fuerza en el interior del gato hidráulico igual a  $F_E = 6910.42356 \text{ lb}$ , para obtener la presión deseada  $P_E = P_S = 3910.5 \text{ psi}$

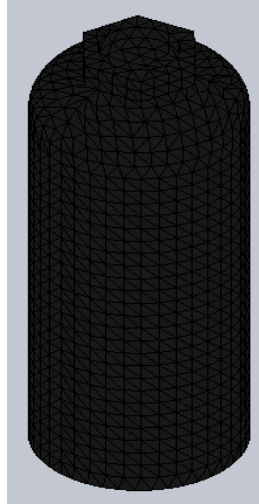
### 5. Análisis estático de presión.

En esta parte se analizo solo la carcasa del gato hidráulico ya que en su interior es donde se generara la presión para lograr la apertura del inyector diesel, en donde se tuvieron que hacer suposiciones como fijar la base del cilindro del gato hidráulico representado por las flechas verdes y la fuerza de presión aplicada representado por las flechas rojas, en la ilustración 1.



Ilustración 2. Corte seccional de análisis estático de presión.

Para el análisis se le aplico una presión de 3900 psi, que es la máxima presión con que este banco de pruebas trabajara. Se le aplico un mallado estándar y solido para encontrar resultados un poco mas redondeados.



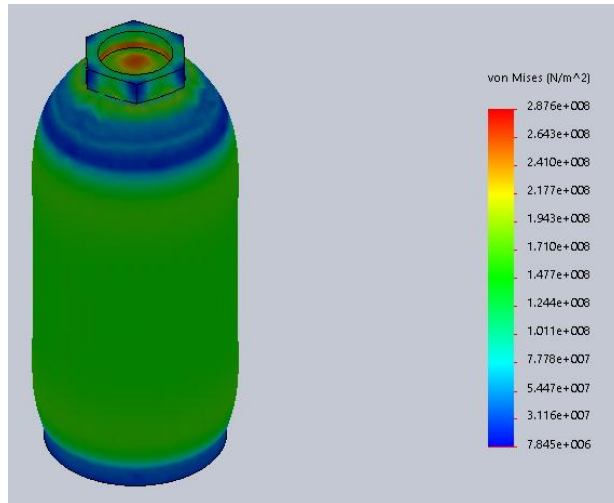
**Ilustración 3. Mallado del modelo a simular.**

## **6. Interpretación del análisis estático.**

La interpretación del análisis es de mucha importancia para nosotros, ya que nos brinda un parámetro para elegir la mejor opción al momento de comprar el gato hidráulico, ya que intervienen como material, capacidad y marcas.

- **Teoría de Von-Mises:** La tensión de Von Mises es una magnitud física proporcional a la energía de distorsión. En ingeniería estructural se usa en el contexto de las teorías de fallo como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles.

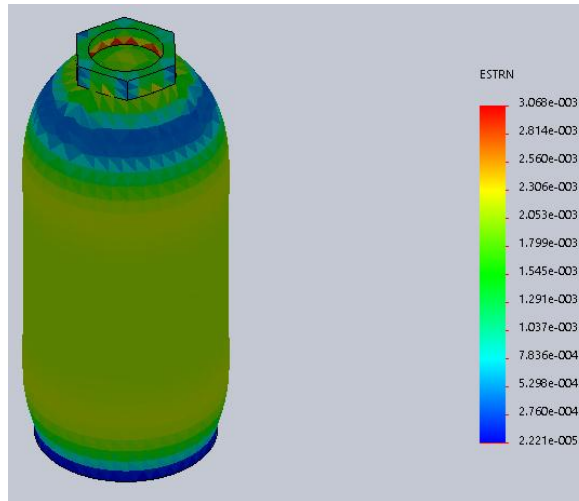
Se obtuvieron los siguientes resultados:  $T_{min} = 7.84481 \text{ MPa}$ , representada por el color azul y  $T_{max} = 287.602 \text{ MPa}$ , representando por el color rojo. Nos indica que en donde se nos puede presentar una fuga de combustible sería en la unión del gato hidráulico con las conexiones hidráulicas por ese motivo se eligió unirlos con soldadura de autógena.



**Ilustración 4. Resultados obtenidos de tensión de Von-Mises.**

- **Teoría de deformación unitaria:** La deformación es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a esfuerzos internos producidos por una o más fuerzas aplicadas sobre el mismo. La magnitud más simple para medir la deformación es lo que en ingeniería se llama deformación axial o deformación unitaria. Se define como el cambio de longitud por unidad de longitud.

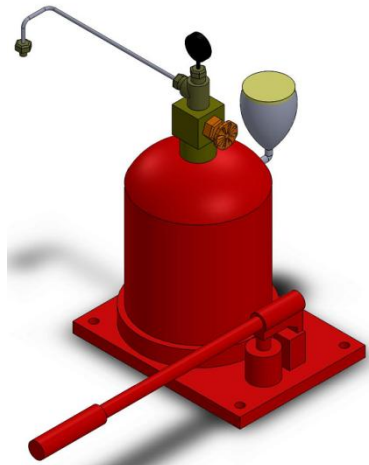
Se obtuvieron los siguientes resultados:  $\epsilon_{min} = 22.2054 \mu$ , representada por el color azul y  $\epsilon_{max} = 3067.79 \mu$ , representando por el color rojo. Nos indica que en donde se nos presenta un deformación más grande en teoría sería en la unión del gato hidráulico y las conexiones hidráulicas, y decimos en teoría ya que las deformaciones unitarias son tan pequeñas que son representadas por las micras que es una expresión exponencial muy pequeño.



**Ilustración 5. Resultados obtenidos de deformación unitaria.**

### **7. Construcción de prototipo.**

Una vez obtenidos los resultados de análisis estático de presión, se procede a la construcción del prototipo con las especificaciones detalladas en la etapa de diseño.



**Ilustración 6. Construcción de prototipo.**

## 8. Ensamble del banco de pruebas.

Teniendo todos los requerimientos se procede a la etapa de construcción de la base del banco de pruebas y se realiza el montaje para representar la idealización final del banco de pruebas.

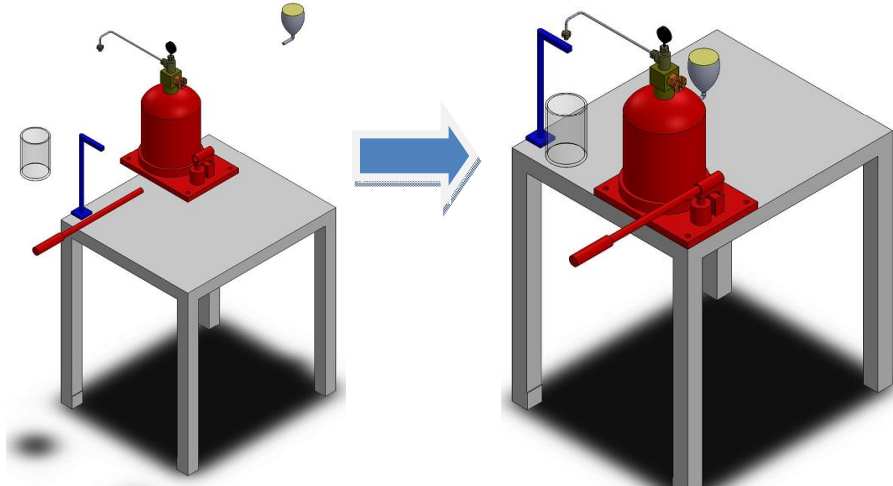


Ilustración 7. Ensamble del banco de pruebas de inyectores diesel (prototipo).

## 9. Construcción real del prototipo.

Teniendo la idealización del prototipo, se procede a realizar la construcción real del banco de pruebas teniendo el producto final, que se representa en la ilustración 7.



Ilustración 8. Banco de pruebas para inyectores diesel.



## 10. Resultados.

Se realizaron dos secuencias de operaciones en donde, se trabajaron con los puntos mínimos y máximos de presión con que los inyectores mecánicos diesel logran la apertura de la válvula para llevarse a cabo el proceso de combustión.

En este punto tenemos que tomar una decisión para realizar dicho prototipo; concluimos que la capacidad de trabajo del gato hidráulico a emplear debe ser de 4 toneladas para lograr alcanzar el rango de presiones calculados con anterioridad:

$$\underline{F_E = 1424.22217kg} \text{ Ó } \underline{F_E = 3133.28888kg} < \underline{4Ton}$$

## 11. Conclusión

Los resultados que obtuvimos en la etapa de diseño, nos dieron un rango de seguridad para poder empezar la construcción del prototipo con un gato hidráulico de 4 Ton, debido que los inyectores diesel operan con un rango de presiones muy elevados. El prototipo que construimos está diseñado para efectuar 4 tipos de pruebas: a) apertura, b) hermeticidad, c) pulverización y caída de presión.

## 12. Bibliografía.

Budynas, R. G. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México, D.F.: Mc Graw-Hill.

Çengel, Y. A. (2006). *Mecánica de Fluidos*. México, D.F.: Mc Graw-Hill.

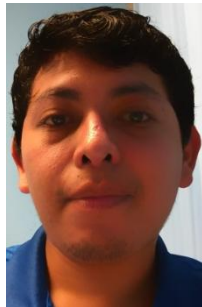
Çengel, Y. A. (2012). *Termodinámica*. México, D.F.: Mc Graw-Hill.

González, S. G. (2012). *SolidWorks*. México, D.F.: AlfaOmega.

### 13. Información de los autores



Jonathan de Jesús Camacho Pérez, Alumno De 11° Semestre De Ing. Mecánica del Instituto Tecnológico De Tuxtla Gutiérrez.



Daniel Blanco Rios, Alumno De 11° Semestre De Ing. Mecánica del Instituto Tecnológico De Tuxtla Gutiérrez.



Hernán Valencia Sánchez, Licenciatura en Ingeniería Mecánica y con un Posgrado en Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica Egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Jefe de Proyectos de Investigación del Departamento de Metal-Mecánica, Docente del Departamento de Metal-Mecánica del Instituto tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.