



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO
DIDÁCTICO DE UN MOTOR CUMMINS DIÉSEL PARA
LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ”**

**JIMÉNEZ SARANGO ÁNGEL FABIÁN
BAUTISTA LÓPEZ PEDRO JAVIER**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2014

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013-06-27

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

ÁNGEL FABIÁN JIMÉNEZ SARANGO

Titulada:

“ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO DE UN MOTOR CUMMINS DIÉSEL PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Marco Santillán Gallegos

DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. David Bravo Morocho
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Javier Villagrán Cáceres
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013-06-27

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

PEDRO JAVIER BAUTISTA LÓPEZ

Titulada:

“ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO DE UN MOTOR CUMMINS DIÉSEL PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Marco Santillán Gallegos

DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. David Bravo Morocho
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Javier Villagrán Cáceres
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES: ÁNGEL FABIÁN JIMÉNEZ SARANGO

TÍTULO DE LA TESIS: “ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO DE UN MOTOR CUMMINS DIÉSEL PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

Fecha de Examinación: 2014-04-28

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Jorge PaucarGuambo PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. David Bravo Morocho DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Javier VillagránCáceres ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Jorge Paucar Guambo
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES: PEDRO JAVIER BAUTISTA LÓPEZ

TÍTULO DE LA TESIS: “ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO DE UN MOTOR CUMMINS DIÉSEL PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

Fecha de Examinación: 2014-04-28

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Jorge Paucar Guambo PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. David Bravo Morocho DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Javier Villagrán Cáceres ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Jorge Paucar Guambo
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Pedro Javier Bautista López

Ángel Fabián Jiménez Sarango

DEDICATORIA

Este gran logro académico se lo dedico de manera muy especial a mi familia que siempre me apoyo de manera incondicional y siempre creyeron en mis capacidades como ser humano y estudiante, también agradecerles a todos mis amigos que siempre estuvieron ahí para brindarme un apoyo solidario y de esta forma poder culminar una etapa de mi vida satisfactoriamente y con un título profesional.

Ángel Jiménez Sarango

Dedico esta tesis con todo mi amor y cariño a Dios a mis padres y para todas las personas quienes inspiraron mi espíritu y me apoyaron e hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños y aspiraciones por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se me terminaba ya que era muy difícil de atravesar, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

Pedro BautistaLópez

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento primero, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, y de manera muy especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por llegar a brindarme la gran oportunidad de obtener una profesión y de esta manera poder llegar a ser una persona mucho más útil para el desarrollo de la sociedad. De igual forma agradecerles a mi familia, amigos, compañeros y profesores que me apoyaron de alguna forma para poder culminar esta profesión con éxito.

Ángel Jiménez Sarango

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Y en especial me gustaría agradecerte a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado y para todos los amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

Pedro Bautista López

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 <i>Objetivo general.</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos:</i>	2
2. MOTOR CUMMINS	
2.1 Generalidades	3
2.2 Ciclos del motor Cummins Diésel.....	3
2.3 Partes	4
2.3.1 <i>Bloque.</i>	4
2.3.2 <i>Cigüeñal.</i>	5
2.3.3 <i>Cabezote.</i>	6
2.3.4 <i>Pistón.</i>	6
2.3.5 <i>Segmentos de biela.</i>	7
2.3.6 <i>Biela.</i>	7
2.3.7 <i>Cojinetes.</i>	8
2.3.8 <i>Válvulas.</i>	8
2.3.9 <i>Árbol de levas.</i>	9
2.3.10 <i>Bomba de aceite.</i>	10
2.3.11 <i>Bomba de agua.</i>	10
2.3.12 <i>Volante de inercia.</i>	11
2.4 Sistema de alimentación	11
2.4.1 <i>Bomba de alta presión.</i>	12
2.5 Sistema de lubricación.....	12
2.6 Sistema de combustible	13
2.7 Sistema de refrigeración	14
2.8 Sistema de admisión de aire	14
2.9 Sistema de gases de escape.....	15
2.10 Funcionamiento del motor Cummins	15
2.11 Sistema eléctrico.....	16
2.11.1 <i>ECU.</i>	16
2.11.2 <i>Módulo de frenos.</i>	17
2.11.3 <i>Sensor MAP.</i>	18
2.11.4 <i>El sensor MAF.</i>	18
2.11.5 <i>Sensor (SRS) y el Sensor (TRS).</i>	19
2.11.6 <i>Sensor de posición del acelerador (TPS).</i>	19
2.11.7 <i>Gobernador de velocidad limitada (LSG).</i>	20
2.11.8 <i>Sensor de presión del turbo (TBS).</i>	20
2.11.9 <i>Sensor de temperatura del combustible (FTS).</i>	20
2.11.10 <i>Sensor de presión del combustible (FPS).</i>	21
2.11.11 <i>Sensor del nivel del refrigerante (CLS).</i>	21
2.11.12 <i>Sensor de temperatura del aceite (OTS).</i>	21
2.11.13 <i>Sensor de presión del aceite (OPS).</i>	22
2.11.14 <i>Sensor de presión del intercooler (C2PS).</i>	22
2.11.15 <i>Sensor de temperatura del aire (ATS).</i>	22
2.11.16 <i>Válvula IAC.</i>	23
2.11.17 <i>Válvula EGR.</i>	23
2.11.18 <i>Electroválvula de purga del canister (EVAP).</i>	23

2.11.19	<i>Inyector</i>	24
2.12	Sistemas de inyección.....	25
2.13	Bomba rotativa	25
2.13.1	<i>Bomba mecánica</i>	26
2.14	Bomba electrónica	27
2.15	Bomba inyector	28
2.16	El turbocompresor	29
2.17	Intercooler	29
3.	ANÁLISIS DE COMPONENTES Y SIMULACIÓN	
3.1	El policarbonato.....	31
3.2	Dimensionamiento del bloque motor	32
3.3	Culata.....	33
3.4	Junta de culata	34
3.5	Cigüeñal.....	34
3.6	Biela.....	35
3.7	Pistón	36
3.8	Camisas	36
3.9	Válvulas.....	37
3.10	Árbol de levas.....	38
3.11	Volante de inercia.....	39
3.12	Análisis de movimiento y carga del motor.....	39
3.13	Dinámica del motor	40
3.14	Análisis de esfuerzos	56
3.15	Diseño y construcción de las estructuras de soporte.	60
3.15.1	<i>Soporte del banco N^o 1.</i>	60
3.15.2	<i>Soporte del banco N^o 2.</i>	62
3.15.3	<i>Ensamblaje del banco didáctico</i>	68
3.15.4	<i>Armado final.</i>	77
4.	PRUEBAS Y ENSAYOS	
4.1	Compresión del motor	79
4.2	Presión de la bomba.....	82
5.	ELABORACIÓN DE GUÍAS	
5.1	Guías de operación	87
5.2	Guías de mantenimiento	87
5.3	Guías de seguridad	89
5.4	Guías de laboratorio	90
5.4.1	<i>Práctica # 1</i>	90
5.4.2	<i>Práctica # 2</i>	94
5.4.3	<i>Práctica # 3</i>	96
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1	Conclusiones	99
6.2	Recomendaciones.....	100

BIBLIOGRAFÍA
ANEXOS

LISTA DE TABLAS

Pág.

1	Propiedades mecánicas	31
2	Propiedades físicas.....	32
3	Propiedades térmicas	32
4	Propiedades de la deformación	58
5	Cargas y accesorios.....	58
6	Propiedades del material	61
7	Propiedades del material soporte 2	63
8	Tipos de pernos.....	70

LISTA DE FIGURAS

Pág.		
1	Ciclos del motor.....	3
2	Block del motor	5
3	Cigüeñal.....	5
4	Cabezote	6
5	Pistón	6
6	Segmentos de biela	7
7	Biela.....	7
8	Cojinetes	8
9	Válvulas.....	9
10	Árbol de levas.....	9
11	Bomba de aceite.....	10
12	Bomba de agua	11
13	Volante de inercia.....	11
14	Bomba de alta presión	12
15	Sistema de lubricación.....	13
16	Sistema de combustible	13
17	Sistema de refrigeración	14
18	Sistema de gases de escape.....	15
19	ECU	17
20	Módulo de frenos.....	17
21	Sensor MAP.....	18
22	Sensor MAF.....	18
23	Sensor SRS y TRS.....	19
24	Sensor TPS	20
25	Gobernador de velocidad limitada.....	20
26	Sensor de temperatura de combustible (FTS).....	21
27	Sensor de presión de combustible (FPS)	21
28	Sensor de temperatura del aceite (OTS)	22
29	Sensor de presión del aceite (OPS).....	22
30	Sensor de presión del intercooler (C2PS).....	23
31	Sensor de temperatura del aire (ATS)	23
32	Válvula IAC.....	24
33	Válvula EVAP	24
34	Inyector.....	25
35	Bomba rotativa	26
36	Bomba de inyección rotativa mecánica	27
37	Bomba rotativa electrónica.....	28
38	Bomba de inyección rotativa mecánica	29
39	Turbocompresor.....	30
40	Intercooler.....	30
41	Bloque del motor	33
42	Cabezote	33
43	Junta de culata	34
44	Cigüeñal.....	35
45	Biela.....	36
46	Pistón	36
47	Camisa	37
48	Válvula.....	38
49	Árbol de levas.....	39
50	Volante de inercia.....	39
51	Orden de encendido.....	40

52	Ciclo Sabathe.....	40
53	Aplicación de una fuerza.....	55
54	Diagrama esfuerzo cortante.....	55
55	Análisis de esfuerzos.....	56
56	Deformación.....	57
57	Factor de seguridad.....	57
58	Estructura 1.....	60
59	Deformación de la estructura.....	61
60	Estructura 2.....	62
61	Deformación estructura 2.....	62
62	Medición de los tubos.....	64
63	Corte del tubo.....	65
64	Soldadura parte externa.....	65
65	Soldadura parte interna.....	66
66	Soldadura total de la estructura.....	66
67	Esmerilada de la estructura.....	66
68	Soldadura de las ruedas.....	67
69	Proceso de lijado.....	67
70	Proceso de pintura.....	67
71	Estructura finalizada.....	68
72	Perno de 1/4 de pulgada.....	69
73	Perno 5/16 de pulgada.....	69
74	Perno 3/8 de pulgada.....	69
75	Perno 7/16 de pulgada.....	70
76	Perno de 1/2 de pulgada.....	70
77	Elementos del motor.....	71
78	Árbol de levas.....	71
79	Cigüeñal.....	71
80	Cárter.....	72
81	Estructura del banco.....	72
82	Volante de inercia.....	73
83	Cabezote del motor.....	73
84	Aseguramiento del cabezote.....	74
85	Varillas de empuje.....	74
86	Ajuste de balancines.....	75
87	Tapa de balancines.....	75
88	Aseguramiento tapa de balancines.....	75
89	Colector de admisión.....	76
90	Inyectores.....	76
91	Alternador.....	77
92	Filtro de combustible.....	77
93	Turbo.....	77
94	Compresor del turbo.....	78
95	Banco didáctico.....	78
96	Cañerías.....	79
97	Ubicación de los inyectores.....	79
98	Inyector.....	80
99	Colocación del inyector en el cilindro.....	80
100	Manómetro.....	80
101	Medida de compresión.....	81
102	Equipo de pruebas.....	81
103	Selección de la bomba.....	82
104	Acoplamiento de la bomba de combustible.....	82
105	Prueba en la bomba de combustible.....	83
106	Encendido del banco.....	83

107	Datos obtenidos	84
108	Caudal de combustible.....	84
109	Calibración de la bomba	85
110	Desacoplamiento de la bomba de combustible.....	85
111	Banco de pruebas para bombas de inyección	86
112	Sprite slide	87
113	Sprite loctite.....	88
114	Sprite slide	88
115	Loctite.....	88
116	No tocar	89
117	Riesgo eléctrico	89

SIMBOLOGÍA

Vp	Cilindrada parcial	cm ³
V	Cilindrada total	cm ³
Vt	Volumen total	cm ³
Ni	Potencia indicada	kW
Ne	Potencia efectiva	kW
Pe	Presión media indicada	Pa
F	Fuerza	kN
Mab	Momento	N.m
P	Presión	$\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
V	Volumen	$\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$
T	Temperatura	°K
Qa	Calor admitido	$\frac{\text{kcal}}{\text{kJ}}$
Qr	Calor rechazado	$\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$
Cv	Calor específico	$\frac{\text{kcal}}{\text{kg}^0\text{K}}$

LISTA DE ABREVIACIONES

PMS	Punto Muerto Superior
PMI	Punto Muerto Inferior
ECU	Unidad de Control del Motor
RPM	Revoluciones Por Minuto
EGR	Recirculación de Gases de Escape
MAP	Sensor de Presión del Aire
MAF	Sensor de Presión del Flujo de Aire
SRS	Sensor de Sincronización de Referencia
TRS	Sensor de Referencia de Tiempo de Inyección
TPS	Sensor de Posición del Acelerador
LSG	Gobernador de Velocidad Limitada
TBS	Sensor de Presión del Turbo
FTS	Sensor de Temperatura del Combustible
CLS	Sensor del Nivel del Refrigerante
OTS	Sensor de Temperatura del Aceite
OPS	Sensor de Presión del Aceite
C2PS	Sensor de Presión del Intercooler
ATS	Sensor de Temperatura del Aire
PSI	Libras por Pulgada Cuadrada
IAC	Control de Marcha Mínima
NOx	Óxidos de Nitrógeno
Ni	Níquel
Cr	Cromo
kN	Kilo Newton

LISTA DE ANEXOS

- A** Descripción y características de lámina depolicarbonato celular
- B** Presentación motores Cummins
- C** Manual de mantenimiento
- D** Bomba de inyección rotativa
- E** Norma de perfiles estructurales utilizados en el diseño de la estructura

RESUMEN

El análisis e implementación de un banco didáctico de un motor Cummins Diésel para la Escuela de Ingeniería Automotriz tiene como finalidad dar a conocer el funcionamiento real de motores Cummins a Diésel para desarrollar conocimientos y destrezas que garanticen la solución de problemas que se presenten en su mantenimiento.

A través de diferentes técnicas de recopilación de información se pudo determinar las partes y piezas necesarias para el ensamble del motor, que por ser de uso didáctico se las tuvo que importar. En el proceso de acoplamiento se procedió a ubicar todas las piezas fijas y móviles en el block, asegurados e inspeccionados de manera efectiva.

Mediante el programa Solidworks se realizó la respectiva simulación visualizando los distintos esfuerzos que pueden producir deformaciones, valores determinados en un máximo de 65.799 kN.m, normal en 4.025 kN.m, y mínimo en 0.3 kN.m; los elementos tendientes a sufrir mayores deformaciones son: cigüeñal, pistón y biela. El motor Cummins Diésel ensamblado se puede visualizar todos sus componentes internos ya que su armadura es de policarbonato.

Antes de manipular esta herramienta didáctica, se debe leer las guías de operación, seguridad y mantenimiento para poder utilizar de manera adecuada el equipo, asegurando de esta forma su larga vida útil.

ABSTRACT

The investigation was carried out the analysis and implementation of a training bank in a Cummins Diésel Engine for school of automotive engineering; it aims to present the actual performance of Cummins Diésel Engines to develop knowledge and skills that ensure resolving problems that arise in their maintenance.

Through information gathering several techniques could determine parts and pieces necessary for assembly from engine that bring use teaching had to import. In the coupling process proceeded to locate all fixed and moving parts in block, insured and inspected effectively.

The program Solidworks the respective simulation was performed by viewing the various efforts that can produce deformations determined in a maximum of 65,799 kN.m (newton kilograms per meter), 4,025kN.m (newton kilograms per meter) normal values, and minimum at 0.3 kN.m (newton kilograms per meter), elements tend to suffer larger deformations are: crankshaft, piston and connecting rod. The Cummins Diésel Engine assembly can display all its internal components as its armor is made of polycarbonate.

Finally, before handling this teaching tool should read the guide operation, safety and maintenance in order to properly use the equipment, thus ensuring long life.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El motor Cummins Diésel basa su funcionamiento en aumentar la presión del aire contenido en el volumen del cilindro, hasta alcanzar una alta presión y temperatura, arribada los 500⁰C, cuando se pulveriza el combustible sobre este aire a presión caliente, genera una combustión, que impulsa el pistón hacia abajo. Con el pasar del tiempo estos motores fueron utilizados únicamente en vehículos pequeños, hasta que en el año 1919 aparecieron los primeros motores Cummins los cuales fueron utilizados para equipos y maquinaria pesada.

En 1985, se transfiere una línea de maquinado de cabezas de cilindro del motor en la planta Cummins de Columbus Indiana. Este hecho marca el principio del desarrollo de la actividad de maquinado de componentes, actividad que se convertiría en una de las especialidades de esta Planta.

A partir de 1980, Cummins Engine Company y la empresa Mexicana y Paraestatal Dina deciden construir una planta de manufactura en San Luis actualmente (2009), Cummins fabrica cigüeñales para motores industriales. Los motores Cummins debido a todas estas ventajas se han constituido en la carta de presentación de la industria pesada automotriz y de generación de energía, por esta razón importante conocer el funcionamiento del mismo ya que este banco de pruebas se lo implementa con el afán de facilitar al estudiante a la adquisición de conocimientos sumamente claros y no confusos en cuanto al motor Cummins en este banco se podrá realizar sus respectivas pruebas y comprender el funcionamiento de este tipo de motores.

1.1 Antecedentes

La ingeniería automotriz se encuentra relacionada en cada uno de los avances de la tecnología aplicada en los motores Diésel y principalmente a los motores Cummins.

La aplicación de estos motores presenta varios escenarios implicados como la minería, industria pesquera, forestal, petrolera y del transporte; la evolución de estos motores ha sido una constante lucha por mejorar continuamente, y los resultados son notorios. En la actualidad, los vehículos Diésel han ganado mucho terreno en el parque automotor, revisando datos de los últimos años en la industria automotriz, nos daremos cuenta que los autos que vienen equipados con motor Diésel tienen gran demanda por motivos de productividad, economía y el reducido índice de emisiones. Los motores Cummins debido a todas estas ventajas se han constituido en la carta de presentación de la industria pesada automotriz y de generación de energía, debido a todo esto es indispensable la capacitación y entrenamiento sobre su tecnología lastimosamente los bancos de pruebas para estos motores sobrepasan los \$ 20.000 por lo que su adquisición resulta muy compleja.

1.2 Justificación

La inyección electrónica Diésel es una ingeniería aparte, puesto que existe un sinnúmero de submúltiplos electrónicos tales como: Cummins, Common Rail, Delphi, Siemens, entre otros, que están presentes en todos los autos de inyección electrónica Diésel, siendo un factor preponderante el estudio profundo de ellos. Nuestro estudio está enfocado en un modelo muy conocido pero sobretodo comercial que radica en implementar un motor Diésel Cummins, plasmado en un banco didáctico de pruebas para que los estudiantes de Ingeniería automotriz cumplan con sus respectivas prácticas de laboratorio. Las expectativas a cumplirse, hacen que este banco de pruebas permita al estudiante llegar a tener un mejor conocimiento de todos sus elementos y funcionamiento de los mismos, en un motor Diésel Cummins. Hoy en día existe una gran demanda de este tipo de motores en el mercado nacional, es por ello que es necesario que el ingeniero automotriz tenga un amplio conocimiento sobre el funcionamiento, localización y solución de averías de este tipo de motores, para poder dar soluciones inmediatas a los demandantes de estos servicios y que el cliente cuente con la seguridad de que el profesional a cargo de este tipo de trabajos, garantice un servicio de calidad.

Son contados los talleres de servicio que ponen a disposición de los usuarios el mantenimiento y la reparación de estos motores; bajo este contexto, pretendemos implementar un banco que sirva, sobre todo para un entrenamiento, que motive a los

estudiantes a inclinarse por la maravillosa rama de los motores Cummins, puesto que el campo laboral se está tornando muy alentador.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Implementar un banco didáctico motor Cummins Diésel para la Escuela de Ingeniería Automotriz.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Estudiar las diferentes generalidades del motor Diésel, así como también sus partes mecánicas y los diferentes sistemas que utiliza.

Identificar las diferentes partes que constituyen el sistema de alimentación del motor Diésel.

Explicar el funcionamiento del motor Cummins y de cada uno de los componentes que lo conforman.

Establecer el análisis de los componentes del motor Cummins y su respectiva simulación de cada uno de ellos.

Realizar cálculos y pruebas de presión de fluidos durante el funcionamiento de motor para comprender los parámetros reales.

CAPÍTULO II

2. MOTOR CUMMINS

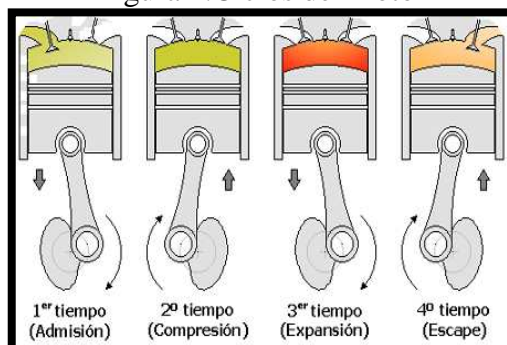
2.1 Generalidades

La marca de motores Cummins ha llegado a ser líder en el mundo automotriz del transporte pesado Diésel, el cual llega a presentar dos grupos de motores, la característica de estos motores difiere por los rangos de potencia y versatilidad en cualquier área de trabajo pesado. Este tipo de marca de motores posee una tecnología muy avanzada, en relación a seguridad, potencia y un control seguro sobre emisiones de gases. Las áreas en que se pueden destacar este tipo de motores son varios como: el transporte pesado, camionetas marca Dodge, maquinaria pesada y motores estacionarios (Cummins, 2014).

2.2 Ciclos del motor Cummins Diésel

El ciclo del motor Diésel lento es el opuesto al ciclo rápido, más aproximado a la realidad ideal de cuatro tiempos es una idealización del diagrama del indicador de un motor Diésel, en el que se eliminan las fases de renovación de la carga y se asume que el fluido termodinámico que evoluciona es un gas perfecto, en general aire. Además, todos los procesos son ideales y reversibles, y que se realizan sobre el mismo fluido.

Figura 1. Ciclos del motor



Fuente: <http://luisdiesel12.blogspot.com/2012/07/ciclo-otto-y-ciclo-diesel.html>

En la primera fase de admisión del pistón se encuentra en el PMS y la válvula de admisión se encuentra en etapa de abertura mientras que la de escape se encuentran en etapa de cerradura, al desplazarse el pistón hacia la parte inferior crea un vacío en el interior del mismo, en lo cual, llega a aspirar aire dentro del cilindro.

En la segunda fase compresión ocurre que las válvulas se llegan a cerrar casi totalmente y el pistón se desplaza hacia el PMS, lo cual comprime el aire y eleva su temperatura y por acción de la presión se llega a encender la mezcla.

La tercera fase explosión se llega a producir la combustión de la mezcla aire/combustible y ocurre que durante esta fase se llega a liberar cierta energía que se expande en el interior del cilindro y produce un movimiento del pistón desplazándolo hacia el PMI. De esta forma se transforma la energía química que tiene el combustible, en energía mecánica que se le aplica primero al pistón, ésta a su vez se transmite a la biela y posteriormente al cigüeñal, es aquí donde termina todo el ciclo y se llega a dar uso de todo el proceso.

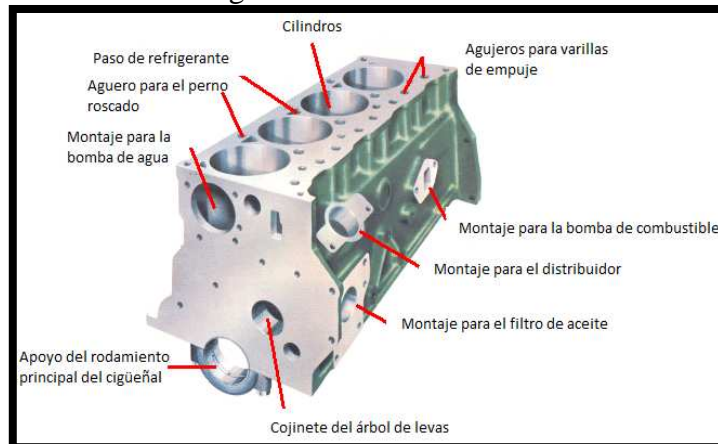
La cuarta fase escape se da un movimiento de abertura en la válvula de escape y el pistón se llega a desplazar hacia el punto PMI, llegando a evacuar los gases que se llegan a producir en el momento de combustión de esta manera termina un ciclo que combustión quedando preparado para su renovación(FLERAS, 2009).

2.3 Partes

2.3.1 Bloque. Es una estructura estandarizada o básica de los motores en donde van colocados varios elementos del motor como: cilindros, árbol de levas, cigüeñal y los demás componentes que llegan a conformar todo el motor.

La colocación de los cilindros pueden ser tanto lineal como en V, en el interior del bloque está dotado de unos orificios donde dan lugar a los cilindros, conductos de aceite, conductos de refrigerante, apoyos de cojinete de bancada, varillas de empuje, etc. y por la parte superior del mismo llega a contener unos taladros en el cual posteriormente ira alojada la culata(LUCAS, 2011).

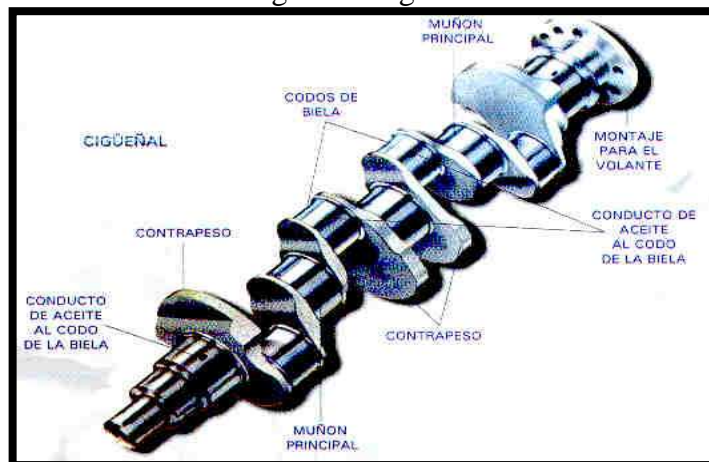
Figura 2. Block del motor



Fuente: <http://www.motorera.com/dictionary/en.htm>

2.3.2 Cigüeñal. Es un elemento mecánico el cual llega a transformar el movimiento alternativo en rotativo, de tal forma que en el cigüeñal se recibe unas fuerzas producidas por la explosión de la combustión en la cabeza del pistón, luego pasa a las bielas y posteriormente son transmitidos al eje del motor.

Figura 3. Cigüeñal



Fuente: <http://jufreoilservice.blogspot.com/2012/04/partes-de-un-ciguenal-de-autos.html>

El cigüeñal un en motor es un elemento indispensable ya que forma parte del mecanismo biela- manivela, la función de este elemento es recoger y transmitir la fuerza en cuanto se pone en marcha el motor al llegar a girar el cigüeñal las fuerzas centrifugas son totalmente uniformes cambios de potencia que se llega a generar en cada uno de los cilindros(LUCAS, 2011).

2.3.3 Cabezote. La misión del cabezote o comúnmente llamada culata es sellar totalmente los cilindros en un motor, esto es para evitar fugas de compresión. En el interior del cabezote también se encuentran alojados algunos elementos como: bujías, árbol de levas, válvulas, balancines propulsores y conductos de agua esto es para la refrigeración del mismo.

Figura 4. Cabezote



Fuente: http://www.repararculata.es/funcionamiento_culatas.html

La culata tiene que estar unida fuertemente al bloque y para lograr tal objetivo en el intermedio de los dos se coloca un elemento llamado junta de culata. La constitución de dicho elemento está constituido por materiales totalmente flexibles pero que tienen las propiedades de soportar grandes y elevadas temperaturas que se llega a generar en el motor (LUCAS, 2011).

2.3.4 Pistón. Es un elemento en el cual por su base inferior es hueco, y en su parte superior es cerrado, dicho elemento es acoplado a la biela a través de un émbolo la trayectoria del pistón es ascendente y descendente.

Figura 5. Pistón



Fuente: <http://topicomotors.blogspot.com/2012/10/diferencias-entre-un-motor-diesel-y-un.html>

La función principal del pistón es llegar a transmitir la fuerza producida por la combustión de la mezcla hacia la biela y posteriormente hacia el cigüeñal. Al momento de cambio de fuerzas descendente y ascendente el pistón debe vencer cierta inercia de tal forma que el pistón debe ser lo más liviano posible(LUCAS, 2011).

2.3.5 Segmentos de biela. La función principal de segmentos de bielas es evitar que el lubricante llegue a filtrarse sobre la cámara de combustión y de esta forma pueda escaparse junto con los gases de escape hacia el medio ambiente. La construcción de estos accesorios suele ser fabricado de hierro fundido de grano fino con aleaciones especiales (LUCAS, 2011).

Figura 6. Segmentos de biela



Fuente: <http://www.lym.com.mx/t1.html>

2.3.6 Biela. Es un elemento o barra mecánica que está diseñado para establecer uniones en sus extremos y la cual permite la unión de dos operadores de tal forma que transforma movimiento rotativo en lineal. Este elemento está sometido a esfuerzos de tracción y compresión. Básicamente consta de tres partes, el pie, cuerpo y cabeza.

Figura 7. Biela



Fuente: <http://www.autodaewoospark.com/ruidos-motor.php>

El pie es la parte que une la biela con el pistón a través de un pasador o bulón. El cuerpo es la parte media de la biela que actúa como prolongamiento, es muy rígida, en algunos de los casos presenta un conducto por donde es dirigido el aceite, la cabeza es aquella que se encuentra acoplada junto con el codo del cigüeñal (LUCAS, 2011).

2.3.7 Cojinetes. Son elementos que permiten el libre movimiento entre piezas y móviles, se lo puede definir como un apoyo para una muñequilla. Deben ser lo suficientemente robustos para soportar los esfuerzos a que estarán sometidos en la carrera de la explosión, éstos van lubricados a presión y llevan un orificio en su mitad superior por el que se suministra el aceite procedente de un conducto de lubricación del bloque.

Estos elementos llamados cojinetes cumplen dos funciones principales, reducir la fricción entre las partes rotativas de un motor y apoyar al cigüeñal, mediante la lubricación de los dos metales y cuando se deslizan entre sí esto ayuda a la reducción de fricción (LUCAS, 2011).

Figura 8. Cojinetes



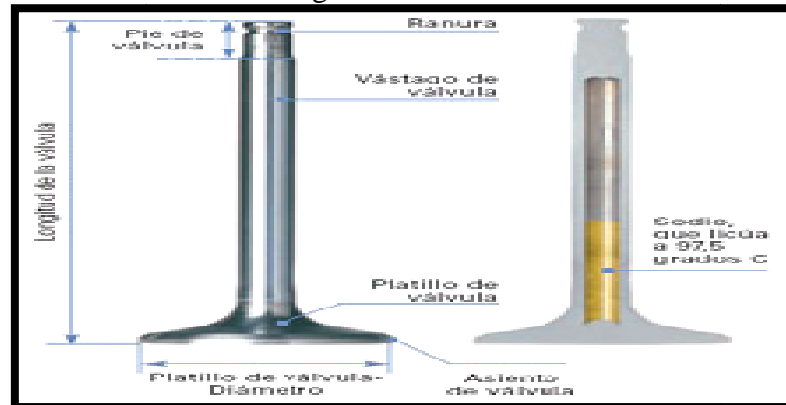
Fuente: <http://www.repuestosintermotor.com/cojinetes-de-biela/>

2.3.8 Válvulas. En los motores de combustión interna las válvulas son componentes muy importantes. Su función principal es regular la entrada de gases admisión y la salida de gases escape en la cámara de combustión mediante la variación de la sección de paso.

Las válvulas cumplen la misión de abrir y cerrar las lumbreras de admisión y escape en el momento indicado de cada ciclo, la admisión suele tener mayor proporción que la de

escape. De la misma forma las válvulas están sometidas a trabajos en situaciones bastante hostiles o desfavorables tales como: bajo calor, alta presión, fricción, e incluso sin lubricación suficiente. Deben funcionar durante mucho tiempo y cumpliendo con su máxima seguridad(LUCAS, 2011).

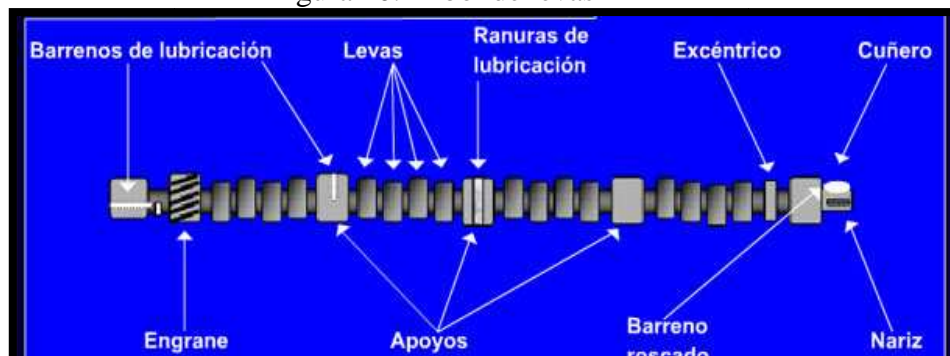
Figura 9. Válvulas



Fuente: <http://maquinasdebarcos.blogspot.com/2009/04/motores-diesel-hablemos-de-las-valvulas.html>

2.3.9 *Árbol de levas.* Es un órgano del motor que su función principal es regular el movimiento de las válvulas de admisión y de escape. Se trata de un elemento dotado de movimiento rotativo, sobre el cual se encuentran las levas o excéntricas, que provocan un movimiento oscilatorio del elemento causante de la distribución.

Figura 10. Árbol de levas



Fuente: http://www.rolcar.com.mx/Tip_de_la_Semana/2006/arbol_de_levas.asp

Este componente está formado por una serie de levas, tantas como válvulas lleve el motor con el ángulo correspondiente de desfase para efectuar la apertura de los distintos cilindros, según el orden de funcionamiento establecido. El árbol de levas además de las levas lleva mecanizados una serie de muñones de apoyo sobre los que gira, cuyo

número varía en función del esfuerzo a transmitir. Cuando va instalado sobre culata de aluminio, el número de apoyos suele ser igual al número de cilindros más uno.

El árbol de levas determina los siguientes factores:

- El momento de apertura de las válvulas.
- El ángulo que permanece abierto.
- El desplazamiento o alzada máxima de la válvula.
- La forma de hacer la apertura y cierre de la válvula (Wikipedia.com, 2014).

2.3.10 Bomba de aceite. Su presencia es indispensable en un motor de combustión interna, ya que esta representa el corazón del sistema de lubricación del motor y el tipo de bomba más utilizada es generalmente la de dientes helicoidales porque esta genera gran presión pero a la vez produce el menor ruido posible. Su función principal es proporcionar un flujo y presión constante de aceite limpio a todos los componentes que tienen fricción durante el funcionamiento del motor (FLORES, 2011).

Figura 11. Bomba de aceite



Fuente: <http://www.automotriz.net/tecnica/bomba-aceite-lubricacion.html>

2.3.11 Bomba de agua. Es un dispositivo mecánico, su función principal es hacer circular el líquido refrigerante a través del bloque de motor, radiador, culata, etc.

La cual es accionada por una correa de transmisión y sólo funciona cuando el motor se encuentra encendido, este elemento está conectado al cigüeñal. El objetivo principal de este sistema es el intercambio de calor al ingresar el líquido por el radiador, el cual por corriente de aire disipa la temperatura (ORJUELA, 2011).

Figura 12. Bomba de agua



Fuente:http://es.made-in-china.com/co_cnjuntu/product_Chongqing-Cummins-M11-Series-Engine-Water-Pump-3073693_eurrsieug.html

2.3.12 *Volante de inercia.* El volante de inercia es una rueda o disco de gran masa rígidamente unido al cigüeñal.

Figura 13. Volante de inercia



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Volante_de_inercia

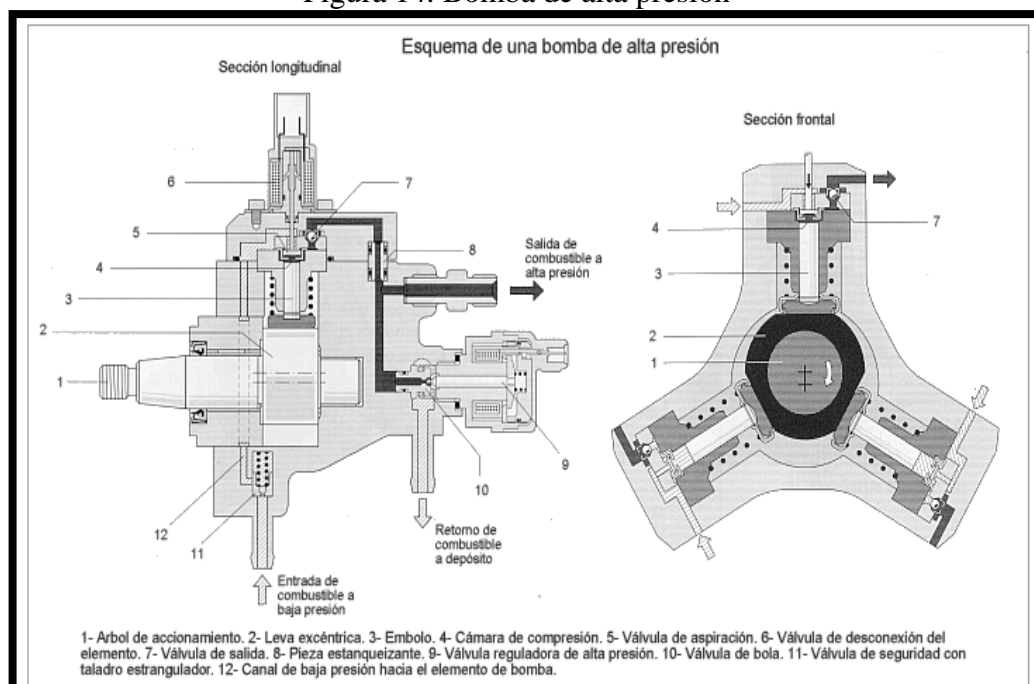
La misión del volante de inercia es eliminar las fluctuaciones emitidas por los pistones al cigüeñal durante la carrera de combustión, admisión y escape, esto se lo realiza almacenando energía durante las aceleraciones del cigüeñal y devolviéndola cuando este empieza a disminuir de velocidad. Por otra parte, cuanto más pesado sea el volante de inercia y de mayor diámetro, menores serán las vibraciones (ANGEL, 2011).

2.4 Sistema de alimentación

HERMÓGENES Gil menciona que el sistema de alimentación de combustible tiene por objeto absorber el combustible del depósito y dirigirlo a los cilindros en las mejores condiciones lugar donde se producirá la respectiva combustión de forma correcta, este sistema depende del tipo de motor tanto en gasolina como en Diésel.

2.4.1 Bomba de alta presión. La bomba es accionada por el motor, a través de acoplamiento, rueda dentada, cadena o correa dentada, con 3000 rpm como máximo, ésta se lubrica con su propio combustible, según el espacio de montaje la válvula reguladora de presión está adosada directamente a la bomba de alta presión o se instala por separado. El combustible se comprime en la parte interna de la misma con tres émbolos de bomba, la misión de la bomba es poner siempre a disposición suficiente combustible comprimido, en todos los márgenes de servicio y durante toda la vida útil del vehículo (HERMÓGENES, 2010 págs. 444-445).

Figura 14. Bomba de alta presión



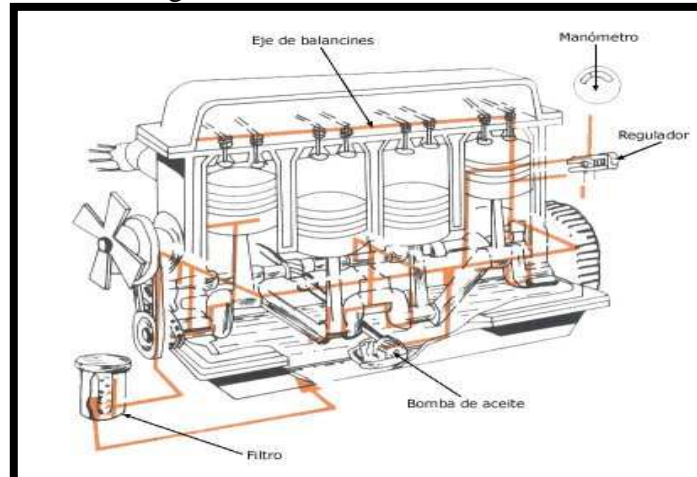
Fuente: http://www.aficionadosalamecanica.net/common_rail3.htm

2.5 Sistema de lubricación

El sistema de lubricación dentro del funcionamiento de un motor es de mucha importancia, el motivo se deriva en que existen variedad de piezas que giran y rozan de tal forma que hacen contacto directo de metal con metal y causan una pérdida de energía y el agarrotamiento por la fricción. Los sistemas de lubricación surten de aceite a estas partes con fricción y producen una capa delgada que evita el contacto directo entre las partes metálicas. Las funciones de circulación y ajuste de la presión del aceite, en comparación con los motores de gasolina, son muy diferentes en un motor Diésel porque las cargas aplicadas sobre cada parte son mayores, por lo tanto, el aceite se

ensucia fácilmente y las temperaturas son muy altas lo que significa que por lo general, el método de filtración es combinado y existe un enfriador del aceite para motores pequeños (HERMÓGENES, 2010 págs. 579-594).

Figura 15. Sistema de lubricación



Fuente: <http://www.almuro.net/sitios/Mecanica/engrase.asp?sw06=1>

2.6 Sistema de combustible

Al igual que en los motores a gasolina, el sistema de combustible, en motores Diésel es similar ya que su función principal del sistema es inyectar una cierta cantidad precisa de combustible presurizado y atomizado en cada cilindro del motor y en su momento oportuno. Esta combustión ocurre cuando se realiza la mezcla aire-combustible.

Figura 16. Sistema de combustible



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/bomba-ve.htm>

El sistema debe realizar lo siguiente:

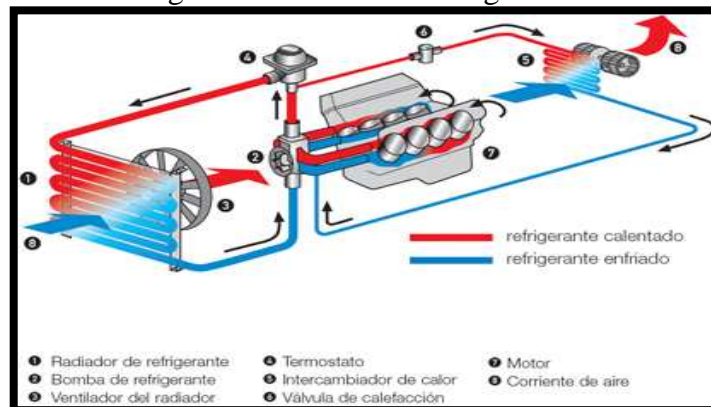
- Suministrar la cantidad de combustible.

- Sincronizar la cantidad de combustible.
- Regular la cantidad que suministra.
- Dispersar o atomizar el combustible.
- Distribuir uniformemente la cantidad de combustible en cada cilindro.(HERMÓGENES, 2010 págs. 523-526)

2.7 Sistema de refrigeración

El sistema de refrigeración es el de mayor importancia en un motor Diésel ya que aproximadamente el 40% de la fallas se debe a esto, de tal manera que el sistema de enfriamiento se encarga de controlar la temperatura del motor para evitar un sobrecalentamiento, y el correcto funcionamiento de los elementos es muy importante para el sistema, el anticongelante se encarga de disipar, los excesos de temperatura en las partes críticas dentro del motor (HERMÓGENES, 2010 págs. 597-618).

Figura 17. Sistema de refrigeración



Fuente: http://www.uxon.com.ar/1_4_Consejos.htm

2.8 Sistema de admisión de aire

El flujo de aire en un motor Cummins comienza conforme el aire de admisión es aspirado a través del filtro de aire hacia el interior del turbo cargador por la rueda del compresor, al comprimir el aire en el compresor provoca que este se caliente, el cual a través de un tubo grande fluye hacia el enfriador de carga de aire ubicado en la parte frontal del vehículo, este aire caliente baja de temperatura por acción del movimiento del aire ambiente y ventilador activado, una vez que la temperatura del aire caliente, ha disminuido, éste entra hacia otro tubo grande que permite que fluya libremente dentro

del múltiple de admisión, luego de esto el flujo de aire continua su recorrido hacia los cilindros del motor(ACOSTA, 2012).

2.9 Sistema de gases de escape

El sistema de gases de escape en el funcionamiento del motor es necesario para la evacuación de los gases producidos durante el transcurso de la combustión para ello consta de varios elementos básicos como: múltiple de escape y header, convertidor catalítico, sujetadores de tubería de escape, silenciador, colas de escape.

Figura 18. Sistema de gases de escape



Fuente: <http://www.naikontuning.com/articulos/motor-bi-turbo-TSI/>

El sistema de gases de escape tiene tres funciones básicas: protección del medio ambiente, confort acústico, precipitaciones del motor, la línea de escape va desde el motor hasta la parte trasera del vehículo, que es la única parte visible (HERMÓGENES, 2010 págs. 318-364).

2.10 Funcionamiento del motor Cummins

Los principios básicos de funcionamiento y los principales componentes de un motor Diésel son muy similares al de gasolina, lleva incorporado un bloque, cigüeñal, pistones y debajo un cárter de aceite, también incorpora una culata, lo diferente del motor Diésel es que no lleva cámara de combustión en la culata y solo lleva tres agujeros dos grandes y uno pequeño, los de mayor diámetro son de admisión y de escape, el pequeño es de donde se incorpora el inyector, la culata va unida hacia el bloque, el proceso de combustión es similar a los motores de gasolina, cabe destacar que no incorpora bujías

de chispa sino de precalentamiento. Un motor Diésel funciona mediante la ignición de la mezcla aire-gas sin chispa. La relación de compresión es de 22 a 1 de tal forma que por esta acción el aire alcanza una temperatura bastante elevada.

El combustible Diésel se inyecta en la parte superior de la cámara de compresión a gran presión, de forma atomizada y se mezcla con el aire a alta temperatura y presión. Como resultado, la mezcla se quema muy rápidamente, esta combustión ocasiona que el gas contenido en la cámara se expanda, impulsando el pistón hacia abajo es decir del PMS al PMI.

2.11 Sistema eléctrico

Las funciones básicas del sistema eléctrico comienzan al arrancar la máquina, en suministrar la energía necesaria para arrancar el motor. Los componentes electrónicos que forman parte del sistema eléctrico sirven en su mayoría para efectuar un control más fino de los distintos componentes como la inyección del motor, control de cambios de servo transmisión, control de las funciones hidráulicas, etc. Y todo ello de una forma que permite el ajuste o modificación de los parámetros de funcionamiento, de manera que la máquina se adapte en cada momento a las condiciones, en que trabaja de una forma automática (HERMÓGENES, 2010 págs. 677-768).

2.11.1 ECU. Los motores de Diésel al igual que los de gasolina de inyección electrónica incorporan una unidad completamente electrónica (ECU), esta unidad electrónica funciona al igual que un ordenador normal, tiene incorporado un microprocesador que sirve para comparar las distintas señales que recibe de los sensores. La ECU compara estas señales, con las señales grabadas en la memoria y genera nuevas y rectificadas señales de control que son enviadas a los distintos actuadores exteriores que su función es lograr que el motor tenga un funcionamiento correcto, las señales que la centralita recibe continuamente son las siguientes.

- Señal del sensor de régimen rpm.
- Señal del sensor de temperatura del refrigerante motor.
- Señal del sensor de sobrepresión del turbo.

- Señal de control del relé que alimenta a las bujías.
- Señal de control del sistema EGR.
- Señal de control de la presión del turbo.

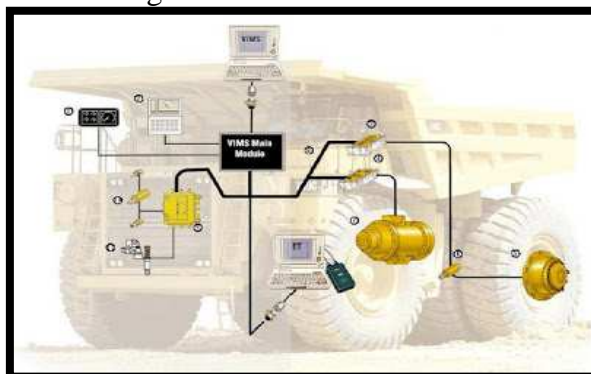
Figura 19. ECU



Fuente: <http://es.aliexpress.com/w/wholesale-diesel-cummins-engine.html>

2.11.2 Módulo de frenos. Es un elemento electrónico que tiene por nombre (ECM de freno) este es el componente principal del sistema eléctrico de frenos, tal componente se encuentra ubicado por el compartimiento, exactamente por la parte frontal de la cabina este sistema llega a tener varias señales tanto de entrada como de salida.

Figura 20. Módulo de frenos



Fuente: <http://equipopesado28007.blogspot.com/2007/06/sistema-vims-de-caterpillar-sistema-de.html>

El ECM del freno controla los siguientes componentes:

- Sistema de frenos.
- Sistema de lubricación para el eje trasero.
- Ventilador de enfriamiento del motor.
- Embrague del compresor de aire acondicionado.

- Luz de freno.
(HERMÓGENES, 2010 págs. 1060-1066)

2.11.3 *Sensor MAP.* La función de este tipo de sensor es controlar la presión absoluta del colector, dicho sensor mide la cantidad de aire que ingresa a través del sistema de admisión en el motor, esta medición del caudal de aire sirve para ajustar la relación aire combustible. Si en algún momento el sensor llega a tener índice de fallo o desperfecto se encenderá la luz "Check Engine" también se puede percibir si hay desperfecto al momento que el vehículo llegue a funcionar torpemente (HERMÓGENES, 2010 pág. 392).

Figura 21. Sensor MAP



Fuente: http://electronicdelautocbtis160.blogspot.com/2012_06_01_archive.html

2.11.4 *El sensor MAF.* Este sensor sirve para para medir la cantidad de aire que ingresa al motor, dicha información viaja hasta la centralita a través de un conductor que envía una señal de voltaje a la ECU, en estos sensores la señal que entra es una corriente pulsante de frecuencia variable.

Figura 22. Sensor MAF



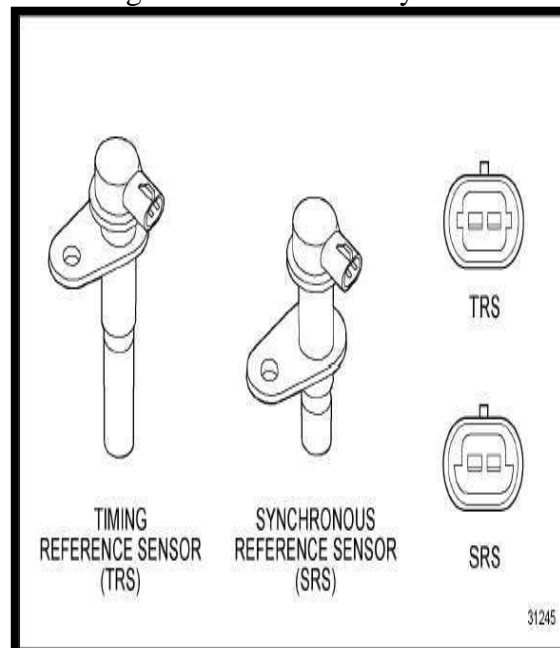
Fuente: <http://egidal.blogspot.com/2013/05/sensor-maf.html>

En la parte interna del sensor se compone de un hilo metálico muy fino el cual se encuentra a una temperatura bastante elevada, que a través del ingreso de aire dicha temperatura va disminuyendo y el hilo caliente va generando distinta información que

ingresa a la centralita, este sensor llega a estar ubicado en el sistema de admisión del vehículo, lo más cercano al filtro de aire (GARCIA, 2012).

2.11.5 *Sensor SRS y el Sensor TRS.* La función de este tipo de sensores es controlar constantemente el tiempo de inyección del motor, la función del sensor TRS es proveer una señal por cilindro y la función del sensor SRS es enviar una señal por revolución, la fusión de estos dos sensores sirve para enviar comunicación a la centralita y pueda conocer cual cilindro está listo para el encendido.

Figura 23. Sensor SRS y TRS



Fuente: http://trucktractor6x4.tpub.com/TM-9-2320-302-20/css/TM-9-2320-302-20_83.htm

El sensor SRS posee una diferencia física que posee un disco con un solo diente e indica a la centralita la posición inicial del cigüeñal y el sensor TRS posee un disco de 36 dientes y su función es informar cuando el motor esta con carga o sin ella, dicha información se puede conocer através de la variación tangencial del disco.

2.11.6 *Sensor de posición del acelerador (TPS).* Este sensor está incorporado en el acelerador del conductor que genera una señal a la centralita, mientras el conductor genera movimiento, dicho sensor envía una señal a la centralita mediante un potenciómetro que varía la frecuencia este potenciómetro de 1023 counts tiene distintas fases y ofrece varias ventajas como: auto calibración no requiere lubricación y la eliminación de problemas de uniones no deseadas por congelación de sus componentes (HERMÓGENES, 2010 pág. 392).

Figura 24. Sensor TPS



Fuente: <http://blogelh.blogspot.com/2008/08/actividad-1-ensayo.html>

2.11.7 *Gobernador de velocidad limitada (LSG).* La función de este tipo de sensor es llegar a controlar las mínimas y máximas revoluciones en vacío.

2.11.8 *Sensor de presión del turbo (TBS).* La función de este sensor es monitorear la presión constante de descarga de compresión del turbocargador (presión mediada 24- 28 PSI).

Figura 25. Gobernador de velocidad limitada



Fuente: <http://www.tecmarkcorp.com/products/air-switches-tbs.php>

Este tipo de sensor envía datos a la centralita para que esta desarrolle el respectivo control de emisiones de gases contaminantes que se genera a través de la aceleración al motor, adicionalmente dicho sensor puede ayudar a la solución de alimentación de aire.

2.11.9 *Sensor de temperatura del combustible (FTS).* Este tipo de sensor es muy importante ya que llega a proveer cierta información a la ECU sobre la temperatura y densidad del combustible con esta información la ECU puede llegar a ajustar cálculos de proporción para un buen reglaje de consumo de combustible.

Figura 26. Sensor de temperatura de combustible (FTS)



Fuente: <http://www.mpatv.com/2009/06/coolant-sensorsensor-de-temperatura/>

2.11.10 *Sensor de presión del combustible (FPS).* La función principal de este tipo de sensor es monitorear periódicamente la presión que genera el combustible y el conductor puede percibir dicha información cuando la potencia del motor se reduce considerablemente debido a los filtros de combustible sucios (ESPINOZA, 2012).

Figura 27. Sensor de presión de combustible (FPS)



Fuente: http://www.meas-spec.com/product/t_product.aspx?id=2956

2.11.11 *Sensor del nivel del refrigerante (CLS)*. La misión del sensor es vigilar periódicamente la posición del nivel de refrigerante, al momento que el refrigerante disminuye considerablemente se enciende la luz de advertencia en el tablero del conductor, es preciso revisar constantemente dicho nivel del líquido refrigerante ya que este puede disminuir ya sea por averías en el radiador o evaporación y como consecuencia disminución de potencia principal y el posterior apagado del motor (ESPINOZA, 2012).

2.11.12 *Sensor de temperatura del aceite (OTS)*. Este sensor llega a mejorar la marcha en vacío y también el tiempo de inyección, esto es para una mejor estabilidad de partida en frío. Es muy importante realizar dichos ajustes ya que ayuda a eliminar el humo blanco que se genera en la partida, también este sensor puede ayudar a la protección del motor debido a una generación de alta presión del aceite (ESPINOZA, 2012).

Figura 28. Sensor de temperatura del aceite (OTS)



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/sensores7.htm>

2.11.13 *Sensor de presión del aceite (OPS)*. Este sensor es para protección del motor, tiene un sistema que se llega a activar si la presión del aceite llega a caer bajo ciertas especificaciones realizadas de carga y velocidad (ESPINOZA, 2012).

Figura 29. Sensor de presión del aceite (OPS)



Fuente: http://www.sendosensor.com/es/Engine-Oil-Pressure-Sensor-SS301-e_p76.html

2.11.14 *Sensor de presión del intercooler (C2PS).* La función de este sensor es realizar la activación del sistema de protección del motor, si en algún lapso de tiempo la presión del intercooler llega a disminuir o aumentar sobre dichas especificaciones que tiene pre-programadas la ECU (el aire ingresa a una temperatura de 96°C - 110°C y sale a 36°C - 46°C que es la temperatura que llega a ingresar en los cilindros).

Figura 30. Sensor de presión del intercooler (C2PS)



Fuente: <http://www.opelclub.com/t15753-sensor-de-presion-del-intercooler-en-astra-g-turbo-z20let#261521>

2.11.15 *Sensor de temperatura del aire (ATS).* La función de este sensor es detectar a que temperatura ingresa el aire al motor y mediante dicha información la ECU realiza ciertas funciones de regulación de cantidad de combustible para inyectado, según las especificaciones que se encuentran programadas en la ECU. Se puede ajustar de esta manera con mayor precisión la mezcla este sensor no tiene incidencia en la realización de la mezcla, ya que si tiene un mal funcionamiento existirá fallas en el motor (HERMÓGENES, 2010 pág. 393).

Figura 31. Sensor de temperatura del aire (ATS)



Fuente: <http://cmat18105-2.blogspot.com/2008/06/sensor-mat-temperatura-aire-funcion.html>

2.11.16 Válvula IAC. Este tipo de actuador llamado IAC, tiene la misión de aumentar las revoluciones del motor, en la fase de calentamiento y carga del motor, este actuador es controlado a través de la ECU, y mediante señal eléctrica permite el paso de aire adicional el que pasa por el estrangulador, cierta cantidad de aire la controla la ECU y llegara a energizar el tiempo necesario a los inyectores, ésto para proveer más combustible y llegar a generar mucha más mezcla al motor(GARCIA, 2012).

Figura 32. Válvula IAC



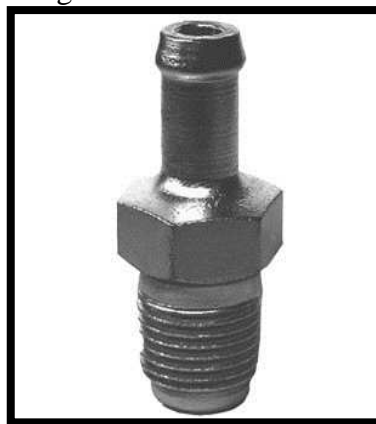
Fuente: <http://www.autodaewoospark.com/valvula-IAC.php>

2.11.17 Válvula EGR. La función de esta válvula es realizar la recirculación de la gases que salen del múltiple de escape y llevarlos de nuevo hacia el múltiple de admisión esto es con la finalidad de que las partículas de combustible no quemadas se combustionen otra vez, llegando a obtener de esta manera la formación de NO_x, dentro de los parámetros considerables. Para no tener la formación de NO_x, es muy necesario reducir la temperatura de la combustión(HERMÓGENES, 2010 págs. 534-535).

2.11.18 *Electroválvula de purga del canister (EVAP)*. La función de este tipo de actuador es muy importante ya que llega a permitir el paso de la evaporación del combustible hacia el múltiple de admisión.

En el momento que el motor se encuentra sin funcionar los gases del hidrocarburo tienden a evaporarse y al momento de dar marcha al motor la ECU manda una señal al canister para efectuar una purga, esto con el motivo dar paso a los gases almacenados en el canister de tal forma se evita que los gases del combustible salgan a la atmósfera de manera nociva.

Figura 33. Válvula EVAP



Fuente: <http://www.interfil.com/productos/1063-valvula-pcv.aspx>

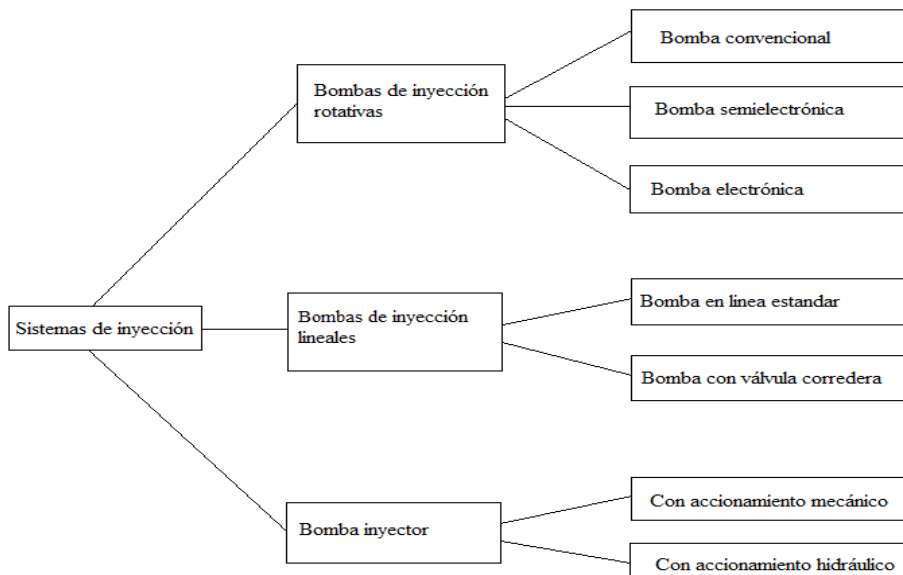
2.11.19 *Inyector*. Es un componente básico para el funcionamiento del motor y que está dentro del sistema de inyección, éste es el encargado de proveer combustible inyectado en el interior del cilindro o sobre el conducto de admisión del cilindro. La función del inyector es pulverizar finamente el hidrocarburo que proviene del riel de combustible esta electroválvula se activa millones de veces, sin dejar de escapar nada de combustible, esta electroválvula es muy sensible a la excitación, el inyectado de hidrocarburo es en forma de aerosol y debe estar medido en la cantidad justa y en momento indicado de acuerdo con el funcionamiento del motor (HERMÓGENES, 2010 págs. 459-460).

Figura 34. Inyector



Fuente: <http://poke-sitemadeinyeccionlineal6a.blogspot.com/>

2.12 Sistemas de inyección

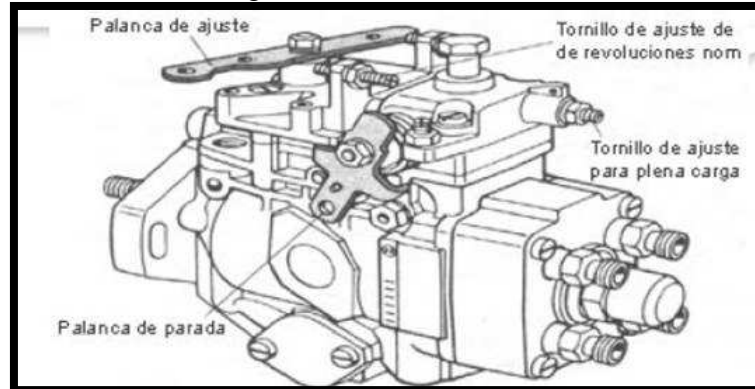


Fuente: Autores

2.13 Bomba rotativa

Esta bomba adopta el funcionamiento de carrera de pistón constante tiene la característica principal de llegar a proveer de combustible a varios cilindros con el único objetivo de dar presurización al combustible y para esta función llega a emplear un distribuidor rotativo y que ésta a su vez tiene internamente una bomba de alimentación de combustible que tiene varios de elementos de regulación y también avance.

Figura 35. Bomba rotativa



Fuente:<http://www.monografias.com/trabajos96/maquinaria-minera-ii/maquinaria-minera-ii2.shtml>

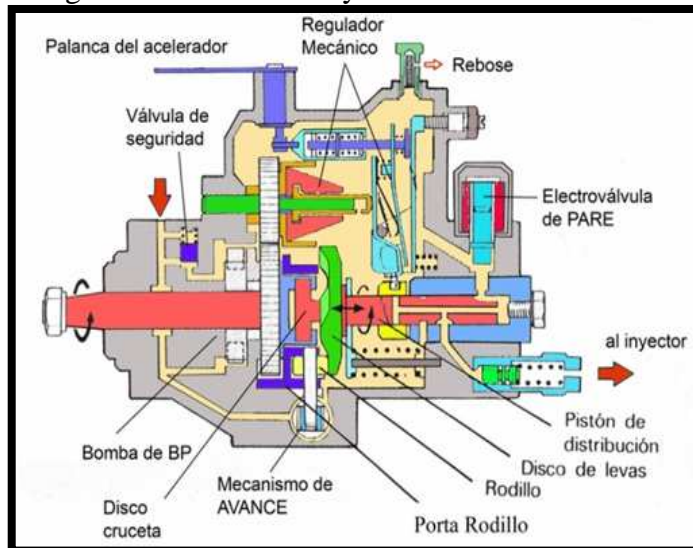
La bomba rotativa presenta las siguientes ventajas:

- Logra alcanzar mayores velocidades de rotación en motores Diésel rápidos.
- Entrenimiento prácticamente nulo (la lubricación del sistema la asegura el propio combustible) y reglajes sencillos y accesibles.
- El precio de adquisición y mantenimiento son mucho menores.

(HERMÓGENES, 2010 págs. 416-419)

2.13.1 Bomba mecánica. Bomba de inyección rotativa con corrector de sobrealimentación para motores turboalimentados sin gestión electrónica. En la parte alta de la bomba se ve el corrector de sobrealimentación para el turbo y los elementos que forman parte del regulador mecánico de velocidad que actúa por la acción de la fuerza centrífuga en combinación con las palancas de mando y de la bomba, sobre la corredera de regulación para controlar el caudal a inyectar en los cilindros, a cualquier régimen de carga del motor y en función de la velocidad de giro.

Figura 36. Bomba de inyección rotativa mecánica



Fuente:http://campus.claroline.net/claroline/phpbb/viewtopic.php?topic=6&cidReset=true&cidReq=1971_003&start=5

También se realiza reglajes en la bomba mecánica a medida que pasa el tiempo o cada vez que se desmonta para hacer una reparación, hay que hacer una serie de reglajes de los mandos, además de hacer el calado de la bomba sobre el motor (HERMÓGENES, 2010 págs. 418 - 429).

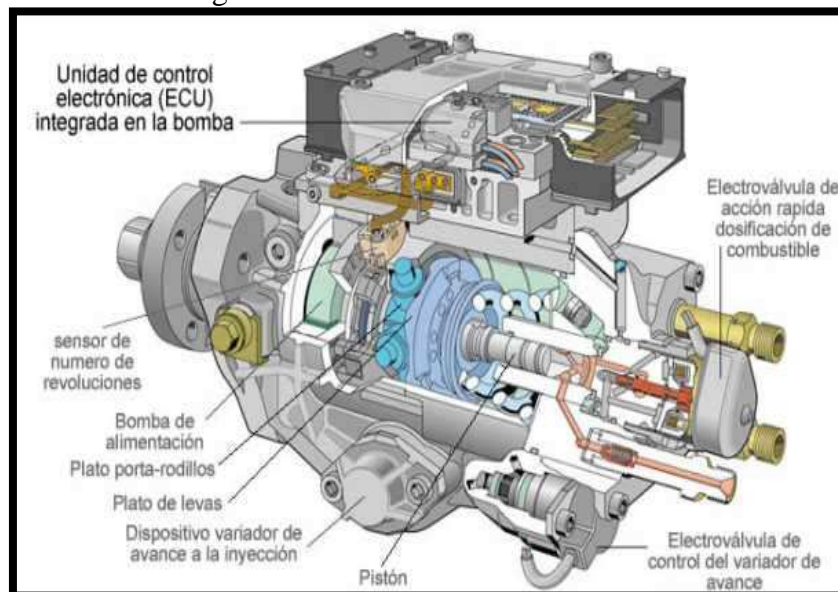
2.14 Bomba electrónica

Éste es un dispositivo que se ubica sobre la bomba de inyección (suele ser utilizado tanto en bombas electrónicas como mecánicas) estas llevan incorporadas una electroválvula que sirve de stop, es decir cierra y abre el circuito imposibilitando el paso de combustible hacia el distribuidor y esto genera que la bomba no inyecte nada de combustible esta electroválvula se llega a accionar en el momento que el conductor llega a girar la llave de contacto llegando a cerrar el paso de combustible.

El combustible tiene cierta temperatura por tal motivo hay un sensor de temperatura que se encuentra incorporado en la bomba de inyección, dicho sensor envía una información hacia la ECU y esta a su vez puede calcular la cantidad exacta de combustible a inyectar. En este tipo de bombas el reglaje es automático y no es necesario realizar el calado de la bomba, el reglaje que se lo debe realizar es el que viene impulsado por un caudal de

inyección a los cilindros diferente al preconizado por el fabricante, que se verificará en el banco de pruebas.

Figura 37. Bomba rotativa electrónica



Fuente:<http://blogdeautomoviles.com/65408/adaptacion-de-la-bomba-de-inyeccion-rotativa-a-la-gestion-electronica>

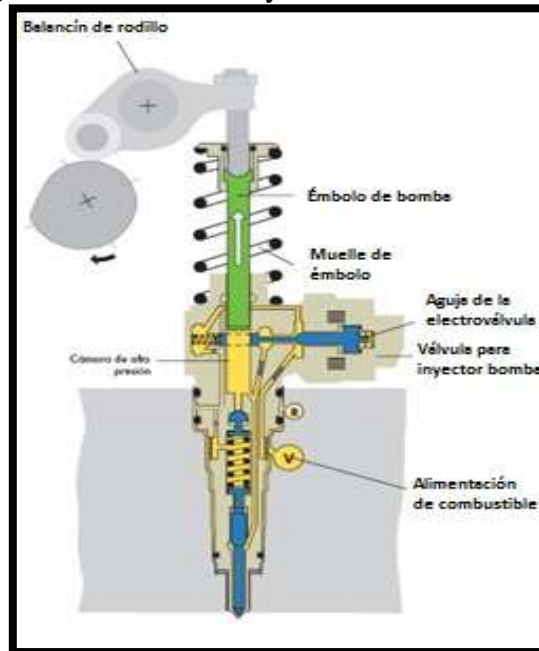
El combustible tiene cierta temperatura por tal motivo hay un sensor de temperatura que se encuentra incorporado en la bomba de inyección, dicho sensor envía una información hacia la ECU y ésta a su vez puede calcular la cantidad exacta de combustible a inyectar.

En este tipo de bombas el reglaje es automático y no es necesario realizar el calado de la bomba, el reglaje que se lo debe realizar es el que viene motivado por un caudal de inyección a los cilindros diferente al preconizado por el fabricante, que se verificará en el banco de pruebas(HERMÓGENES, 2010 págs. 449-456).

2.15 Bomba inyector

Se la denomina de esa forma porque es una bomba que genera alta presión y que está asociada a un inyector y ambos logran formar un solo conjunto, en los sistemas de inyección Diésel hay un elemento inyector para cada cilindro del motor, éste se encuentra ubicado sobre la culata y su accionamiento depende de unos elementos mecánicos llamados balancines solidarios al árbol de levas, con este tipo de bomba inyector se logra eliminar la bomba tradicional rotativa.

Figura 38. Bomba de inyección rotativa mecánica



Fuente:<http://www.tecnomovil.com/Cursos-formacion/Inyeccion-TDI/Curso-TDI.htm>

Al momento de realizar el respectivo montaje de la bomba inyector es preciso respetar la posición de ésta, por tal motivo de que en el momento de su funcionamiento por las elevadas presiones y fuerzas existentes, al momento de la inyección de combustible puede llegar a ocasionar ciertos daños en la parte interna de la bomba (HERMÓGENES, 2010 págs. 431-437).

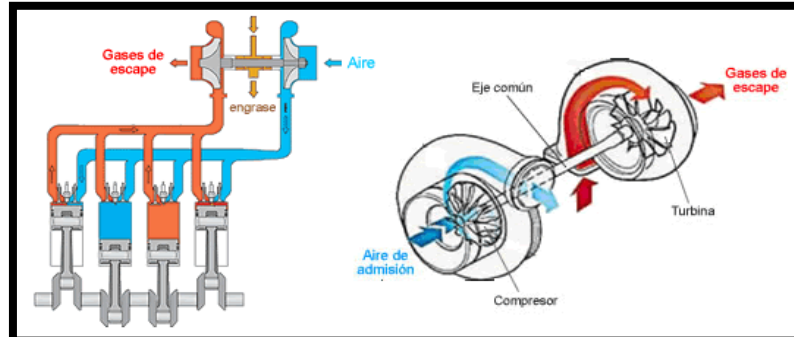
2.16 El turbocompresor

Tiene la particularidad de aprovechar la fuerza con la que salen los gases de escape para impulsar una turbina colocada en la salida del colector de escape, dicha turbina se une mediante un eje a un compresor. El compresor está colocado en la entrada del colector de admisión, con el movimiento giratorio que le transmite la turbina a través del eje común, el compresor eleva la presión del aire que entra a través del filtro y consigue que mejore la alimentación del motor.

El turbo impulsado por los gases de escape alcanza velocidades por encima de las 100.000 rpm, por tanto, hay que tener muy en cuenta el sistema de engrase de los cojinetes donde apoya el eje común de los rodetes de la turbina y el compresor. También hay que saber que las temperaturas a las que se va a estar sometido el turbo en

su contacto con los gases de escape van a ser muy elevadas (alrededor de 750°C.)(HERMÓGENES, 2010 págs. 561-536).

Figura 39. Turbocompresor



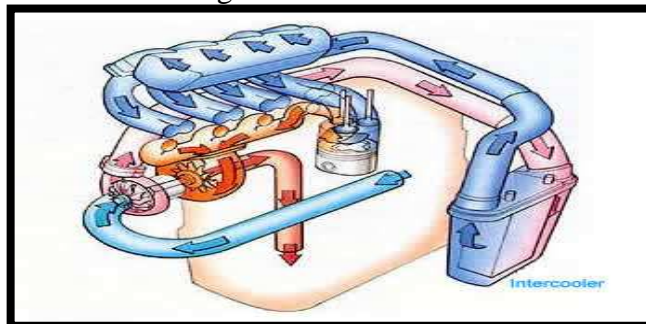
Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/turbo2.htm>

2.17 Intercooler

Para evitar el problema del aire calentado al pasar por el rodete compresor del turbo, se han tenido que incorporar sistemas de enfriamiento del aire a partir de intercambiadores de calor. El intercooler es un radiador que es enfriado por el aire que incide sobre el coche en su marcha normal. Por lo tanto se trata de un intercambiador de calor aire/aire a diferencia del sistema de refrigeración del motor que se trataría de un intercambiador agua/aire.

- Entrada de aire através del filtro a temperatura ambiente.
- Aire comprimido por el compresor.
- Aire comprimido enfriado en el intercooler.
- Gases de escape a muy alta temperatura.
- Gases de escape a muy alta temperatura que salen del turbo.

Figura 40. Intercooler



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/turbo2.htm>

CAPÍTULO III

3. Análisis de componentes y simulación

3.1 El policarbonato

Ya que nuestro banco didáctico es construido en material de policarbonato, es necesario tener conocimiento sobre este material, el policarbonato es un grupo de termoplásticos fácil de trabajar, moldear y termoformar, y son utilizados ampliamente en la manufactura moderna. El nombre "policarbonato" se basa en que se trata de polímeros que presentan grupos funcionales unidos por grupos carbonato en una larga cadena molecular. También el monóxido de carbono fue usado para sintetizar carbonatos a escala industrial y producir difenil carbonato.

Teniendo en cuenta la síntesis al grupo carbonato, se puede dividir a los policarbonatos en carbonatos poliaromáticos y carbonatos polialifáticos. Estos últimos son producto de la reacción del dióxido de carbono con epóxidos. Teniendo en cuenta que la estabilidad termodinámica del dióxido de carbono, se requiere usar en la elaboración de catalizadores, las diferentes tablas de propiedades que presentan este tipo de plásticos son las siguientes.

Tabla 1. Propiedades mecánicas

Alargamiento a la rotura (%)	100-150
Coefficiente de fricción	0,31
Dureza – Rockwell	M70
Módulo de tracción (GPa)	2,3-2,4
Relación de Poisson	0,37
Resistencia a la abrasión - ASTM D1044 (mg/1000 ciclos)	10-15
Resistencia a la compresión (MPa)	>80

Fuente: Autores

Tabla 2. Propiedades físicas

Absorción de agua - equilibrio (%)	0,35
Absorción de agua - en 24 horas (%)	0,1
Densidad (g cm-3)	1,2
Índice refractivo	1,584-6
Índice de oxígeno límite (%)	25-27
Número abbe	34,0
Inflamabilidad	V0-V2
Resistencia a los rayos ultravioletas	Aceptable

Fuente: Autores

Tabla 3. Propiedades térmicas

Calor específico (J K-1 kg-1)	Approx. 1200
Coefficiente de expansión térmica (x10-6 K-1)	66-70
Conductividad térmica (W m-1 K-1)	0,19-0,22 a 23C
Temperatura máxima de utilización (C)	115-130
Temperatura mínima de utilización (C)	-135
Temperatura de deflexión en caliente - 0.45MPa (C)	140
Temperatura de deflexión en caliente - 1.8MPa (C)	128-138

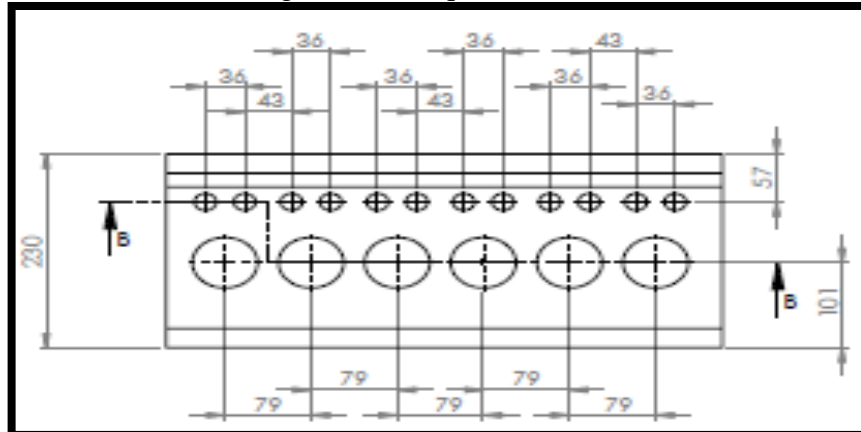
Fuente: Autores

3.2 Dimensionamiento del bloque motor

El material empleado en la fabricación de los bloques es, generalmente fundición de hierro con estructura perlítica, aleado con pequeñas proporciones de cromo y níquel, que proporcionan una gran resistencia al desgaste y protección a la corrosión.

En la fabricación de bloques se emplean también las aleaciones ligeras a base de aluminio-silicio, que tienen las ventajas de su menor peso y gran conductibilidad térmica, con lo que se mejora la refrigeración también la resistencia a vibraciones muy fuertes que se producen por motivo de la explosión en los cilindros y éstos a la vez generan cierta onda expansiva que impacta directamente con el block del motor por tal motivo este elemento debe ser la más resistente posible.

Figura 41. Bloque del motor



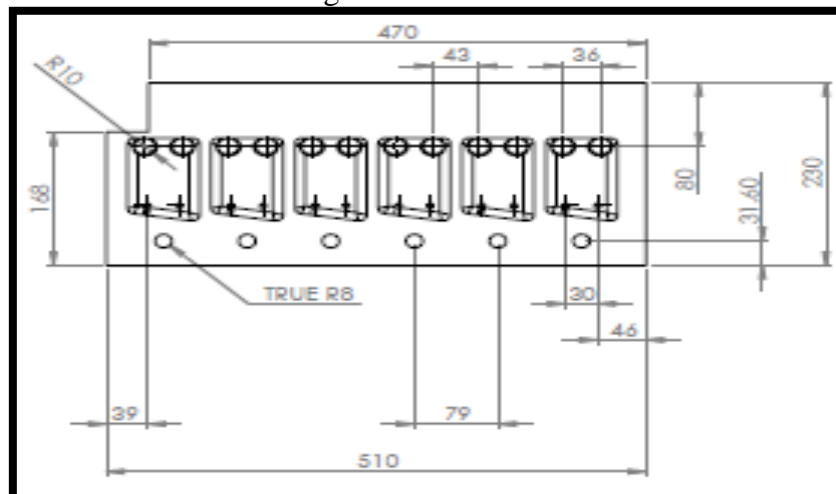
Fuente: Autores

3.3 Culata

La culata se la fábrica de aleación de aluminio, silicio y magnesio. Sus principales cualidades son una buena resistencia, disminución de peso y gran transferencia de calor, lo que permite alcanzar prontamente la temperatura de funcionamiento y por consecuencia facilita la refrigeración. Estas culatas resultan más caras de fabricar y son más frágiles porque sufren mayores deformaciones. Poseen la ventaja de ser más ligeras en cuanto se refiere al peso y su mayor capacidad de refrigeración del motor.

Estas particularidades hacen que las culatas de este tipo de material sean las más empleadas actualmente. Se pueden montar en motores con bloque de fundición e incluso de aleación de aluminio.

Figura 42. Cabezote



Fuente: Autores

También se las puede construir con aleación de hierro, cromo y níquel, por lo que son más resistentes y menos propensas a las deformaciones. Estas culatas permiten un mayor par de apriete, algunas de sus desventajas es mayor peso y su menor capacidad de refrigeración del motor.

3.4 Junta de culata

La junta de culata se encuentra constituida por amianto (silicato de cal, alúmina y hierro) u otros materiales flexibles pero capaces de soportar altas temperaturas que genera el motor.

Los elastómeros, son utilizados debido a sus excelentes propiedades de compresibilidad, recuperabilidad y estanquidad para los circuitos de refrigeración y lubricación del motor. Los elastómeros más empleados son el caucho nitrílico, poliacrílico, silicona y vitón o caucho fluorado.

Figura 43. Junta de culata



Fuente: http://www.mgtf.es/mgf/el_taller/sustituir_junta_culata.php

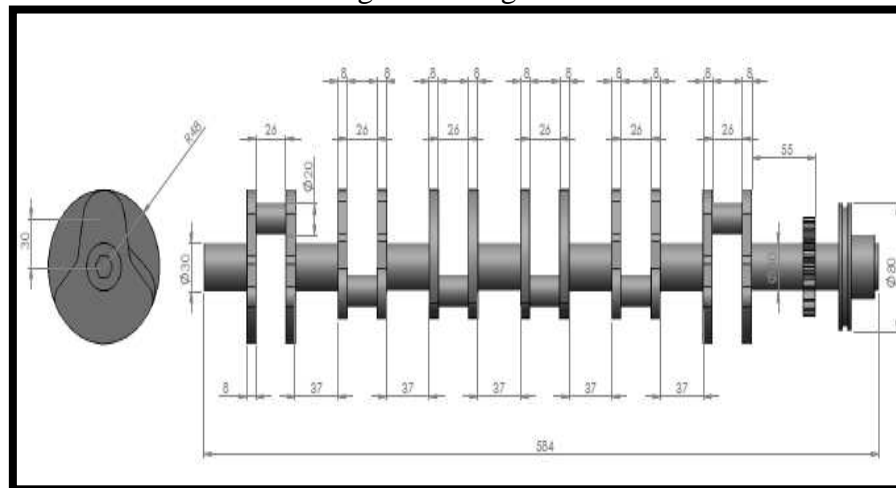
3.5 Cigüeñal

El material empleado para la respectiva construcción de los cigüeñales es de acero al carbono, en casos de mayores instancias se emplean aceros especiales al cromo-níquel o al cromo-molibdeno-vanadio tratados térmicamente. Se construyen también cigüeñales en fundición nodular que poseen unas características de resistencia semejantes a las de acero carbono.

Debido a las fuertes descargas, deben utilizarse cojinetes con una superficie bastante dura o rígida (antifricción de aleación cobre- plomo, duraluminio, etc.), las muñequillas del cigüeñal se endurecen superficialmente mediante cementación, temple superficial o nitruración.

En un sistema especial de temple superficial muy empleado en la fabricación en serie, el endurecimiento se produce mediante un calentamiento superficial obtenido por procedimiento eléctrico (por inducción) y posterior enfriamiento con agua; este sistema de endurecimiento es muy rápido. Otro sistema de endurecimiento superficial es el flameado, en el cual el calentamiento se obtiene con la llama.

Figura 44. Cigüeñal



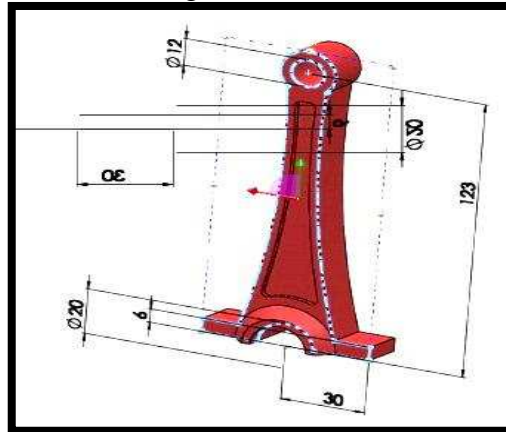
Fuente: Autores

3.6 Biela

La biela está construida con acero templado o forjadoes decir el acero al carbono aleado con Ni y Cr, con gran resistencia mecánica a la tensión, aunque hay motores de competenciaque utilizan bielas detitaniooaluminio, realizadas por operaciones de arranque de material.

La biela está expuesta a esfuerzos tales como la de flexión que se origina en el momento de la carga máxima al explotar la mezcla combustible (expansión del ciclo), la compresión se radica por la componente de la fuerza sobre el eje longitudinal de la biela y la flexión por la componente transversal a la misma y lo mismo con el par reactivo suministrado por la carga a través del cigüeñal al oponerse el movimiento.

Figura 45. Biela

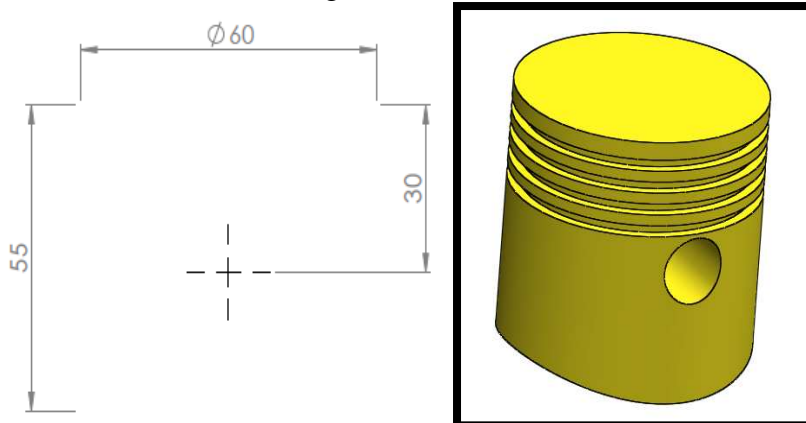


Fuente: Autores

3.7 Pistón

El pistón opta por ser de forma cilíndrica está construido de aleaciones de aluminio el cual posee buena conductividad térmica, su fabricación implica el uso de equipos de alta tecnologías para lograr la máxima precisión en cuanto a medidas y de esta forma alcanzarla mayor resistencia al desgaste y corrosión debido a las altas temperaturas y al movimiento a las que está sometido el motor.

Figura 46. Pistón



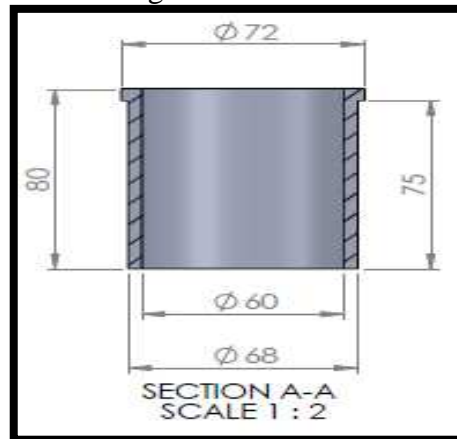
Fuente: Autores

3.8 Camisas

La camisa de los cilindros se los construye habitualmente de aleaciones de hierro fundido agregándole en proporciones iguales fosforo o boro en su material la cual tiende a ser más resistente al desgaste. El templado interior suele ser más grande y se ajusta bien con el templado los anillos del pistón, una rugosidad adecuada con capacidad de

almacenamiento de aceite y características sobre la marcha, con la redondez para que exista suficiente precisión y de forma de cilindro para asegurar la exactitud de la posición entre la instalación de cara de soporte y el orificio central.

Figura 47. Camisa



Fuente: Autores

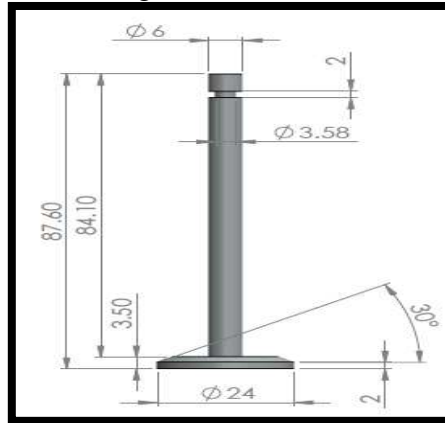
Dentro de las camisas o por la parte exterior del cilindro existen a veces un proceso de cromado (cromado esponjoso, aceite almacenado cromado), nitrógeno y fosforilación que permite mejorar la resistencia al desgaste.

3.9 Válvulas

El material básico para su fabricación es la aleación cromo silicio, también de hierro cementado. Durante la fase de funcionamiento del motor la válvula de admisión cambia su temperatura entre los 200°C y 400°C. La válvula de escape entre 600°C y 800°C. estas piezas mecánicas están sometidas a grandes cargas de compresión en un ambiente de gases a 7.000 RPM y las válvulas golpean el asiento 3.500 veces por minuto existen otros tipos de válvulas como:

Válvulas cromadas (Cr). El cromado del vástago de las válvulas tiene como objetivo incrementar el endurecimiento superficial, la resistencia a la corrosión y a la abrasión, reduciendo de forma significativa el rozamiento con la guía de la válvula y extendiendo la vida útil de la válvula. El material utilizado en la fabricación de guías de válvula es la aleación fundición gris al cromo-vanadio, que además presenta las siguientes características:

Figura 48. Válvula



Fuente: Autores

- Mayor resistencia a la fricción.
- Buena conductibilidad al calor.

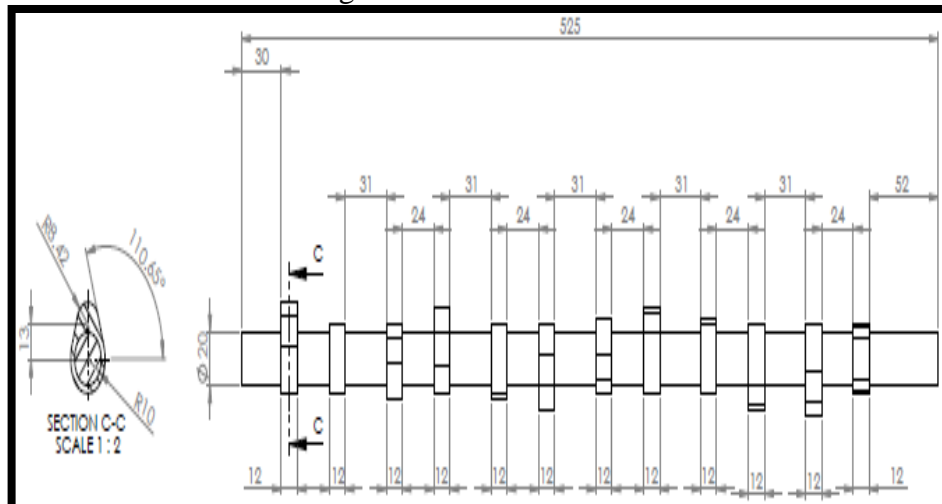
Válvulas Nitruadas (Ni). La nitruración es un procedimiento en la cual se pretende mejorar la resistencia al desgaste y el límite de fatiga, aumentado también considerablemente la resistencia a la corrosión, así como también en cuanto a la duración de la válvula. La capa nitrurada brinda una protección superficial para el mejor deslizamiento del vástago.

3.10 Árbol de levas

Los materiales utilizados para la fabricación del árbol de levas dependerá de la calidad y el tipo de motor que se fabrica para la mayoría de vehículos se los construye de hierro fundido refrigerado. Este material no solo es barato, si no que el hierro fundido frío también es extremadamente durable y confiable.

Ésto es porque el tratamiento de frío aumenta la resistencia y la dureza de cualquier metal que sufre el proceso. Los árboles de levas están sometidos a esfuerzos de flexión y torsión este elemento es el responsable de gran parte de rendimiento del motor, para la creación de dicho componente se necesita el desarrollo de mucho conocimiento de geometría, cálculo matemático y de mecánica de los gases posteriormente se requiere de varias pruebas sofisticadas en los autos de competencia el árbol de levas es la pieza central para una buena preparación.

Figura 49. Árbol de levas

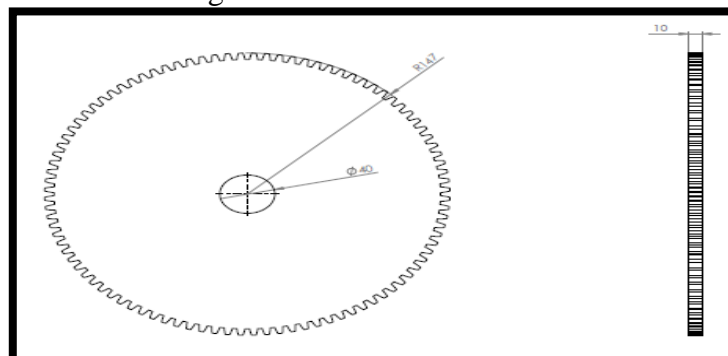


Fuente: Autores

3.11 Volante de inercia

El volante de inercia consiste en una rueda o un disco, se los construye de fundición de acero, calado en el árbol motor, y cuyas dimensiones están diseñadas de acuerdo con las características generales del sistema del que forma parte.

Figura 50. Volante de inercia



Fuente: Autores

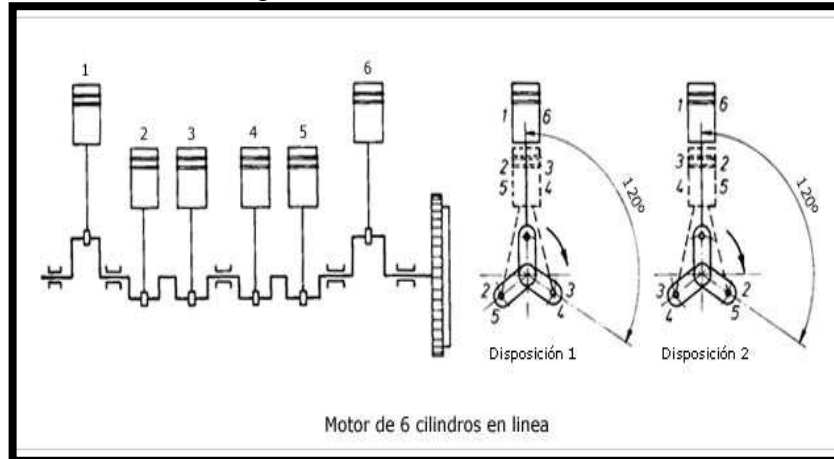
Se encuentra sujeto a variaciones de velocidad y por ende a la aceleración, y como estas pueden ser amortiguadas con elementos de máquinas como son los volantes.

3.12 Análisis de movimiento y carga del motor

Realizando un análisis sobre el movimiento y estado de los cilindros del motor en un ciclo real podemos determinar lo siguiente: Al momento de producirse la explosión

sobre el primer cilindro, el sexto cilindro se encuentra en admisión, el quinto se encuentra en compresión y a la vez el segundo cilindro está en escape, el cuarto cilindro está terminando la fase de compresión y el tercero también terminando la fase de admisión, el orden de encendido del motor Cummins Diésel es 1-5-3-6-2-4.

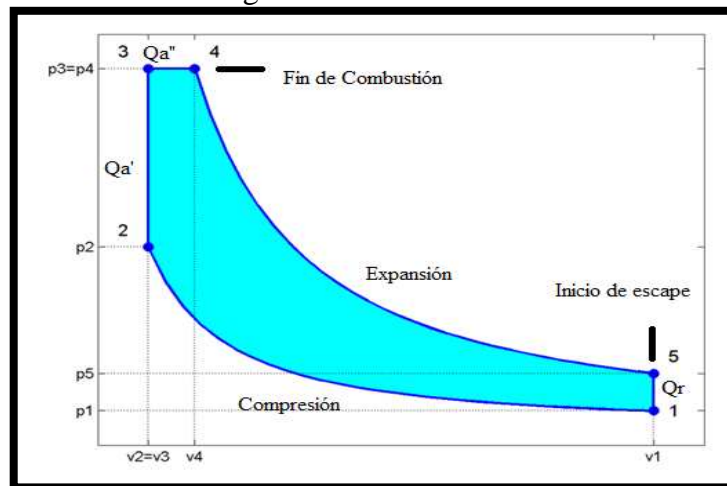
Figura 51. Orden de encendido



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/motor-arquitectura.htm>

3.13 Dinámica del motor

Figura 52. Ciclo Sabathe



Fuente: <http://it.wikipedia.org/wiki/File:PvDiagramm-Seiliger.png>

Ciclo teórico Diésel Sabathe

1-2 Compresión adiabática isentrópica ($S = \text{cte.}$)

2-3 Suministro de calor a $V = \text{cte.}$

3-4 Suministro de calor a $P = \text{cte.}$

4-5 Expansión adiabática isentrópica ($S = \text{cte.}$)

5-1 Rechazo de calor a $V = \text{cte.}$

Análisis del ciclo

1-2 Compresión adiabática isentrópica ($S = \text{cte.}$)

$$P_1 V_1^k = P_2 V_2^k \quad (1)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (2)$$

$$\varphi = \frac{V_1}{V_2} \quad (3)$$

$$T_2 = T_1(\varphi)^{k-1}$$

$$P_2 = P_1 \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$P_1 V_1 = R T_1 \quad (4)$$

$$V_1 = \frac{R T_1}{P_1}$$

2-3 Suministro de calor a $V = \text{cte.}$

$$\frac{P_2}{T_2} = \frac{P_3}{T_3} \quad (5)$$

Relación de combustión a $V = \text{cte.}$

$$\tau = \frac{P_3}{P_2} \quad (6)$$

$$P_3 = P_2 \tau$$

Como:

$$T_3 = T_2 \frac{P_3}{P_2} (7)$$

Entonces:

$$\frac{T_3}{T_1} = \frac{T_2}{T_1} \tau$$

$$T_3 = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{K-1} T_1 \tau$$

$$T_3 = (\varphi)^{K-1} T_1 \tau$$

$$P_2 V_2 = R T_2 (8)$$

$$V_2 = \frac{R T_2}{P_2}$$

Calor admitido (Q a')

$$Q'_a = m C_v (T_3 - T_2) (9)$$

3-4 Suministro de calor a P = cte.

$$\frac{V_3}{T_3} = \frac{V_4}{T_4} (10)$$

$$T_3 = \frac{V_3}{V_4} T_4$$

Relación de combustión a p = cte.

$$\tau' = \frac{V_4}{V_3} = \frac{V_4}{V_2} (11)$$

En consecuencia

$$T_3 = \frac{T_4}{\tau'}$$

$$T_4 = \tau' T_3$$

$$P_3 V_3 = R T_3 \quad (12)$$

$$V_3 = \frac{R T_3}{P_3}$$

$$V_4 = \tau' V_3$$

Calor admitido (Q_a'')

$$Q_a'' = m C_p (T_4 - T_3) \quad (13)$$

4-5 Expansión adiabática isentrópica ($S = \text{cte.}$)

$$\frac{T_4}{T_5} = \left(\frac{V_5}{V_4}\right)^{k-1} = \left(\frac{P_4}{P_5}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (14)$$

$$P_4 V_4^k = P_5 V_5^k \quad (15)$$

$$P_5 = P_4 \left(\frac{V_4}{V_5}\right)^k \tau' = \frac{V_4}{V_3} V_4 = \tau' V_5$$

$$T_4 = T_5 \left(\frac{P_4}{P_5}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$T_5 = \frac{T_4}{\left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{k-1}}$$

5-1 Rechazo de calor a $V = \text{cte.}$

$$Q_r = m c_v(T_5 - T_1) \quad (16)$$

Cálculos realizados

Cilindrada parcial

$$V_p = \frac{\pi}{4} * d^2 * l \quad (17)$$

d = Diametro del pistón

l = Longitud de la carrera

$$V_p = \frac{\pi}{4} * (60\text{mm})^2 * 65\text{mm}$$

$$V_p = \frac{\pi}{4} * 3600\text{mm}^2 * 65\text{mm}$$

$$V_p = \frac{\pi}{4} * 183783,2\text{mm}^3 * \frac{1\text{cm}^3}{(10\text{mm})^3}$$

$$V_p = \frac{\pi}{4} * 183783,2\text{mm}^3 * \frac{1\text{cm}^3}{1000\text{mm}^3}$$

$$V_p = 183,7 \text{ cm}^3$$

Cilindrada total

$$V = V_p * i \quad (18)$$

V_p = Cilindrada parcial

i = Número de cilindros

$$V = V_p * i$$

$$V = 183,7\text{cm}^3 * 6$$

$$V = 1102,2\text{cm}^3$$

$$\varphi = \frac{V_t}{V_c} = \text{f\u00f3rmula de la relaci\u00f3n de compresi\u00f3n}$$

despejando (V_c)

$$V_c = \frac{V_t}{\varphi} \quad (19)$$

Reemplazando en la f\u00f3rmula del volumen total

$$V_t = V_p + V_c$$

$$V_t = V_p + \frac{V_t}{\varphi}$$

$$V_t = V_p + V_c$$

$$V_t = V_p + \frac{V_t}{\varphi}$$

$$0 = V_p + \frac{V_t}{\varphi} - V_t$$

$$0 = \frac{V_p * \varphi + V_t - V_t * \varphi}{\varphi}$$

$$0 = V_p * \varphi + V_t - V_t * \varphi$$

$$V_t * \varphi = V_p * \varphi + V_t$$

$$V_t * \varphi - V_t = V_p * \varphi$$

$$V_t * (\varphi - 1) = V_p * \varphi$$

$$V_t = \frac{V_p * \varphi}{(\varphi - 1)}$$

$$V_t = \frac{183,7 \text{ cm}_3 * 18,5}{18,5 - 1}$$

$$V_t = \frac{3398,45 \text{ cm}^3}{17,5}$$

$$V_t = 194,19 \text{ cm}^3 = \text{volumen total}$$

reemplazando en V_c

$$V_c = \frac{V_t}{\varphi}$$

$$V_c = \frac{194,19 \text{ cm}^3}{18,5}$$

$$V_c = 10,49 \text{ cm}^3$$

Volumen total

$$V_t = V_p * V_c \quad (20)$$

V_p = Cilindrada parcial

V_c = Volumen de la camara de combustión

$$V_t = 183,7 \text{ cm}^3 * 10,49 \text{ cm}^3$$

$$V_t = 1927,01 \text{ cm}^3$$

Relación de compresión en motores Diésel: es generalizada de 12 a 22, en los motores Cummins está entre los valores de 16,5 a 18,5.

Rendimiento Volumétrico

$$\eta_v = \frac{m}{V * \delta_t} \quad (21)$$

Dónde:

m_a = Cantidad de aire aspirado

V = Cilindrada

δ_t = Densidad teórica del aire

V_p = Cilindrada parcial

$$\eta_v = \frac{14,5_g}{1102,2\text{cm}^3 * 1,293 \frac{g}{\text{cm}^3}}$$

$$\eta_v = 0,109$$

Potencia indicada

$$N_i = \frac{2P_i V_h n_i}{10^3} \quad (22)$$

P_i = Presión media indicada

V_h = Volumen de trabajo del cilindro, m^3

n_i = Frecuencia de rotación del eje cigüeñal, r.p.s

= El número de tiempos del motor (=4 para los motores de cuatro tiempos y =2 para motores de dos tiempos).

$$N_i = \frac{2 \left(10 * 10^5 \frac{N}{\text{m}^2} \right) (1.83 * 10^{-4} \text{m}^3) (35 \frac{\text{rev}}{\text{seg}})}{40000}$$

$$N_i = 0,320 \text{KW}$$

Potencia efectiva del motor

$$(N_e < N_i) N_e = n_m N_i \quad (23)$$

n_m = Rendimiento mecánico

N_i = Potencia indicada

$$N_e = 0,9 * 0,320kW$$

$$N_e = 0,29kW$$

$$N_e = 0,72 * 0,320kW$$

$$N_e = 0,23kW$$

Para los motores modernos el rendimiento mecánico constituye de 0,72 a 0,9 conociendo el rendimiento mecánico se puede determinar la:

Presión media efectiva

$$P_e = n_m P_i (24)$$

n_m = Rendimiento mecánico

P_i = Presión media indicada

$$P_e = 0,9 * 7,5^5 \text{ Pa}$$

$$P_e = 0,72 * 7,5^5 \text{ Pa}$$

$$P_e = 21357,42 \text{ Pa}$$

$$P_e = 17085,9 \text{ Pa}$$

Al desarrollar la potencia máxima un motor, la presión media efectiva constituye $6,10^5$ a $7,5,10^5$ Pa para los motores Diésel de cuatro tiempos.

Caballos por litro de cilindrada del motor

$$N_l = \frac{N_e}{iV_h} (25)$$

N_e = Potencia efectiva

iV_h = Cilindrada

$$N_l = \frac{0,23kW}{1,83 * 10^{-4} m^3}$$

$$N_1 = 1256.83 \frac{\text{kW}}{\text{m}^3}$$

Fuerza que se ejerza sobre la cabeza del pistón

$$F = P_1 * \frac{\pi D^2}{6} \quad (26)$$

$$F = \frac{21357.42 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 3.1416 * (0.6\text{m})^2}{6}$$

$$F = \frac{21357.42 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 3.1416 * 0.36\text{m}^2}{6}$$

$$F = 4025.78\text{N}$$

$$F = 4.025\text{kN}$$

Datos

$$P_1 = 1033 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$T_1 = 700^\circ\text{K}$$

$$\delta = 18.5$$

$$M_{AB} = F \cdot d \quad (28)$$

$$M_{AB} = 4025\text{N} * 0.026\text{m}$$

$$M_{AB} = 104.65\text{N} \cdot \text{m}$$

$$W_{AB} = \left(2000 \frac{\text{rev}}{\text{min}}\right) * \left(1 \frac{\text{min}}{60\text{seg}}\right) * \left(\frac{2\pi\text{rad}}{1\text{rad}}\right) = 209.4 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$V_b = rW_{AB} \quad (30)$$

$$V_b = 0.026\text{m} * 209.4 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$V_b = 5.444 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Torque

$$M_{ab} = F \cdot d \tag{29}$$

$$M_{AB} = 4025\text{N} * 0.03\text{m}$$

$$M_{AB} = 120.75\text{N} \cdot \text{m}$$

$$M_{AB} = 4025\text{N} * 0.123\text{m}$$

$$M_{AB} = 495.075\text{N} \cdot \text{m}$$

$$M_T = M_{AB} + M_{BC} \tag{30}$$

$$M_T = 120.75\text{N} \cdot \text{m} + 495.075\text{N} \cdot \text{m}$$

$$M_T = 615.825\text{N} \cdot \text{m}$$

Como el motor tiene 6 cilindros se multiplica por 6.

$$M_T = 615.825 * i$$

$$M_T = 615.825 * 6$$

$$M_T = 3694.95 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Cálculo termodinámico

$$P_2 = P_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^K$$

$$P_2 = P_1 * \delta$$

$$P_2 = 1.033 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * (18.5)^{1.4}$$

$$P_2 = 61.39 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$T_2 = T_1(\delta)^{K-1}$$

$$T_2 = 973.15^0\text{K} * (18.5)^{1.4-1}$$

$$T_2 = 3216.42^0\text{K}$$

$$V_1 * P_1 = RT_1$$

$$V_1 = \frac{RT_1}{P_1}$$

$$V_1 = \frac{29.264 \frac{\text{kg.m}}{\text{kg}^0\text{K}} * 973.15^0\text{K}}{1.033 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * \left(\frac{100\text{cm}}{1\text{m}}\right)^2}$$

$$V_1 = 2.7568 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\delta = \frac{V_1}{V_2}$$

$$V_2 = \frac{V_1}{\delta}$$

$$V_2 = \frac{2.7568 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}}{18.5}$$

$$V_2 = 0.1490 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

2-3 Suministro de calor a V= cte.

$$V_2 = V_3 = 0.1490 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$q'_a = C_v * (T_3 - T_2)$$

Despejo T_3

$$T_3 = T_2 + \frac{q'_a}{C_v}$$

$$T_3 = 3216.42^{\circ}\text{K} + \frac{1450 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * \frac{\text{kcal}}{4.1868\text{kJ}}}{0.1714 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^{\circ}\text{K}}}$$

$$T_3 = 5236.99^{\circ}\text{K}$$

$$\frac{P_2}{T_2} = \frac{P_3}{T_3}$$

$$P_3 = P_2 * \frac{T_3}{T_2}$$

$$P_3 = 61.39 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * \left(\frac{5236.99^{\circ}\text{K}}{3216.42^{\circ}\text{K}} \right)$$

$$P_3 = 99.95 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau = \frac{P_3}{P_2}$$

$$\tau = \frac{99.5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{61.39 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$\tau = 1.62$$

3-4 Suministro de calor a $P = \text{cte.}$

$$P_3 = P_4 = 99.95 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau' = \frac{V_4}{V_3}$$

$$V_4 = \tau' * V_3$$

$$V_4 = 1.7 * \left(0.1490 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)$$

$$V_4 = 0.2533 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\frac{V_3}{T_3} = \frac{V_4}{T_4}$$

$$T_4 = \frac{V_4 * T_3}{V_3}$$

$$T_4 = \frac{0.2533 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} * 3216.42^0\text{K}}{0.1490 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}}$$

$$T_4 = 5467.914^0\text{K}$$

4-5 Expansión adiabática isentropica $C_s = \text{constante.}$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{K-1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{K-1}{K}}$$

$$P_4 V_4^k = P_5 V_5^k$$

$$P_5 = P_4 * \left(\frac{V_4}{V_5}\right)^K$$

$$V_5 = 99.95 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * \left(\frac{0.2533 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}}{2.7568 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}}\right)^{1.4}$$

$$\text{como } V_5 = V_1 = 2.7568 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$P_5 = 3.534 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{T_5}{T_4} = \left(\frac{V_4}{V_5}\right)^{K-1}$$

$$T_5 = T_4 * \left(\frac{V_4}{V_5}\right)^{K-1}$$

$$T_5 = 5467.914^{\circ}\text{K} * \left(\frac{0.2535 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}}{2.7568 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}}\right)^{0.4}$$

$$T_5 = 2104.32^{\circ}\text{K}$$

5-1 Rechazo de calor a $V = \text{cte}$.

$$Q_r = mC_v * (T_5 - T_1)$$

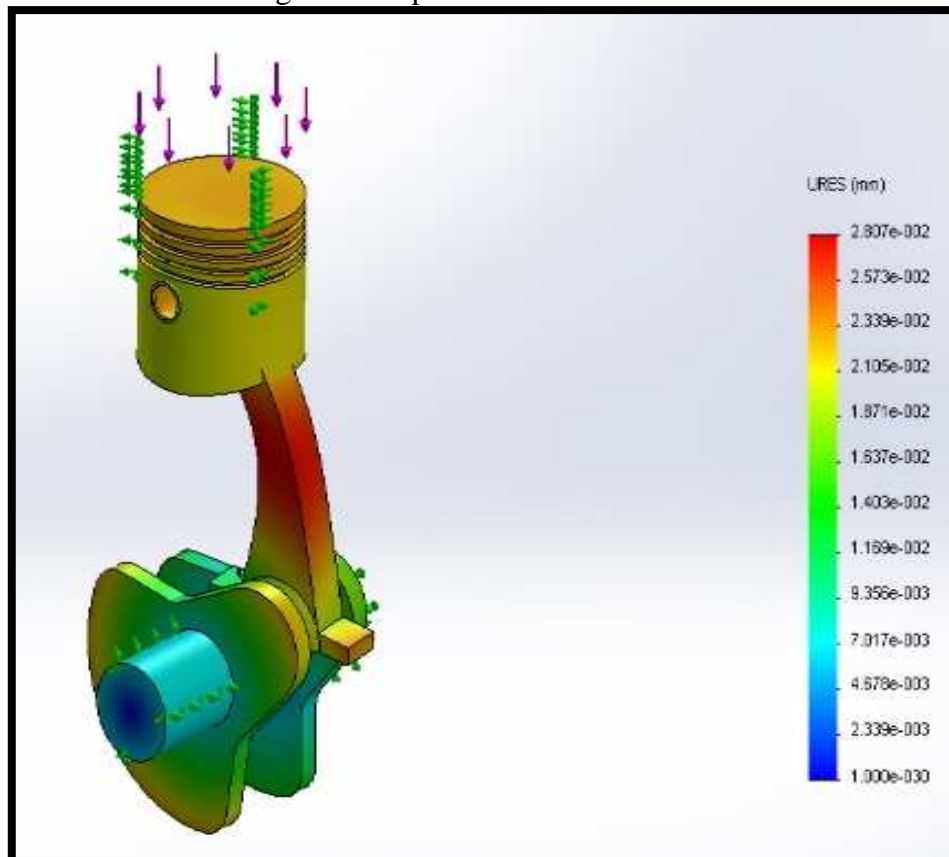
$$q_r = C_v(T_5 - T_1)$$

$$q_r = 0.1714 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^0\text{K}} * (2104.32^0\text{K} - 973.15^0\text{K})$$

$$q_r = 193.88 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

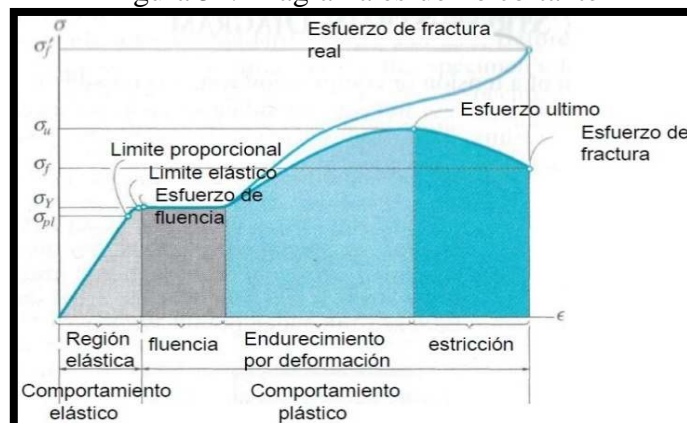
A continuación podemos visualizar en la imagen la deformación que puede sufrir el elemento biela manivela con una fuerza aplicada exagerada.

Figura 53. Aplicación de una fuerza



Fuente: Autores

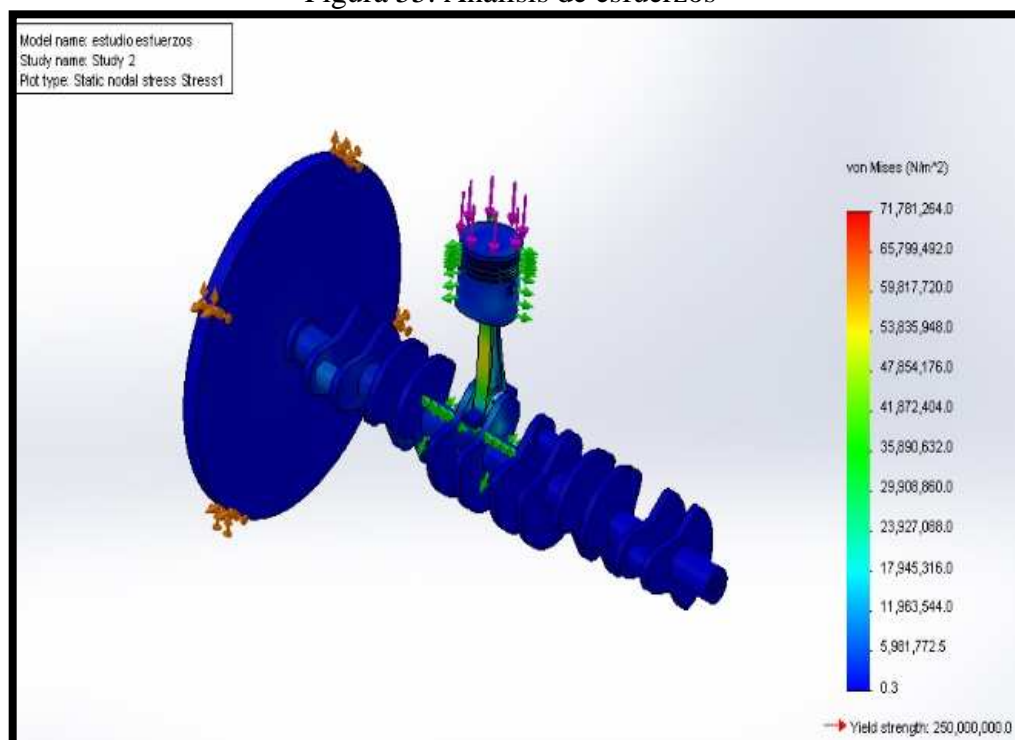
Figura 54. Diagrama esfuerzo cortante



3.14 Análisis de esfuerzos

Al momento de la explosión en la parte interna del motor se llega a generar una fuerza en la cabeza del pistón alrededor de 4.025 kN.m, lo cual esta fuerza es transmitida a través de la biela manivela, la misma que esta acoplada sobre las muñequillas del cigüeñal y como consecuencia se generan los siguientes esfuerzos sobre el mismo.

Figura 55. Análisis de esfuerzos



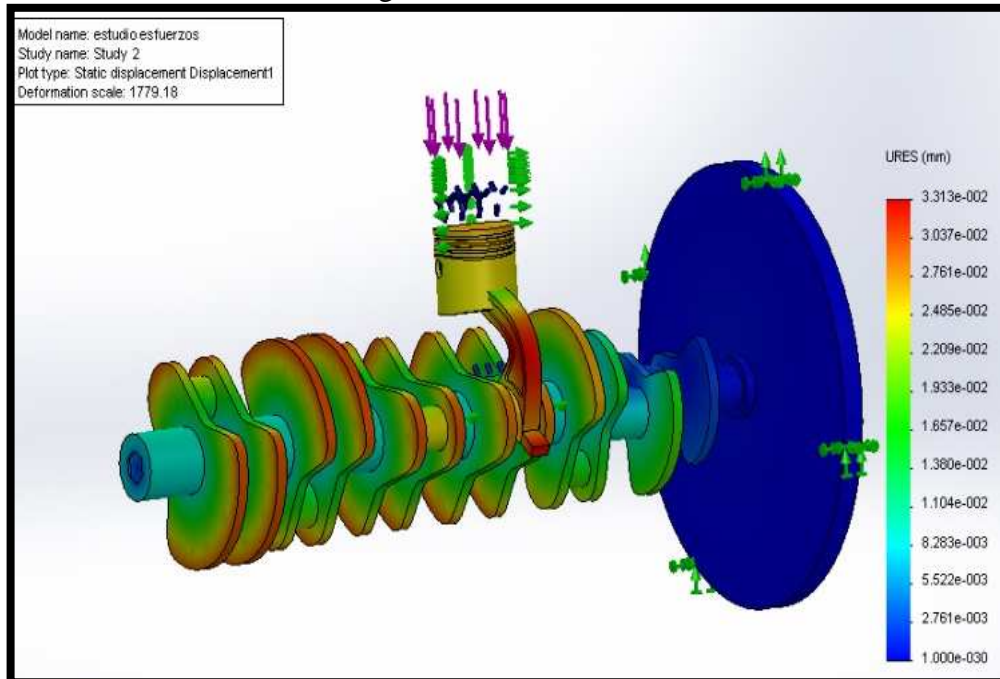
Fuente: Autores

Con las pruebas realizadas en el programa Solidworks, en esta figura el pistón se encuentra sometido a esfuerzos de compresión en cada uno de los elementos y nos podemos guiar en los colores de la columna izquierda, el color azul nos da una garantía que el elemento soporta cierta fuerza aplicada y el color rojo nos indica el máximo esfuerzo que puede soportar cierto elemento.

El siguiente análisis nos muestra que el pistón se encuentra sometido a una fuerza de compresión 4.025 kN.m, mientras que la biela se encuentra bajo flexión y el cigüeñal

bajotorsión mediante un software podemos aplicar el aumento o disminución de fuerzas y consecuencia de ello el elemento sufrirá distintos cambios en su estructura física.

Figura 56. Deformación

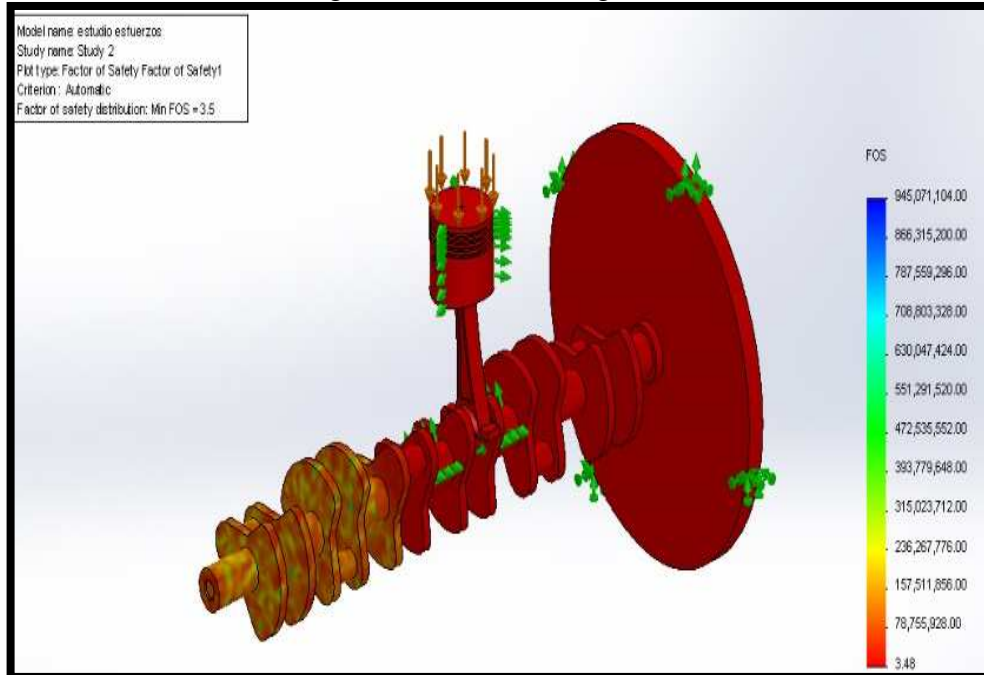


Fuente: Autores

Sobre el análisis de esta figura se determina las deformaciones máximas y mínimas las mismas que se las identifican mediante la dirección de la barra de colores aplicando una fuerza de exagerada sobre el pistón.


En esta figura se observa el análisis del factor de seguridad que es igual a 3.5N con una fuerza aplicada de 4.025kN.m y su material de construcción.

Figura 57. Factor de seguridad



Fuente: Autores

Tabla 4. Propiedades de la deformación

Modelo de referencia	Propiedades	Componentes
	Nombre: ASTM A36	Cuerpo sólido
	Tipo de modelo: isotrópico elástico lineal	
	Criterio de fallo por defecto	
	Limite elástico: $2.5E^{+010}N/m^2$	
	Resistencia a la tracción: $4E^{+006}N/m^2$	
	Módulos elásticos: $2E^{+015}N/m^2$	
	Posición de radio 0.26	
Módulo de corte: $7.93E^{+014}N/m^2$		

Fuente: Autores

Tabla 5. Cargas y accesorios

Nombre del artículo	Imagen del artículo	Detalles del artículo

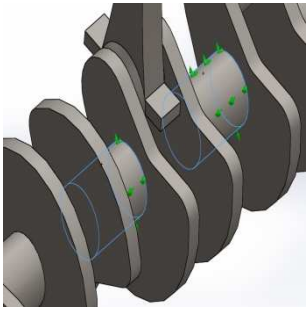
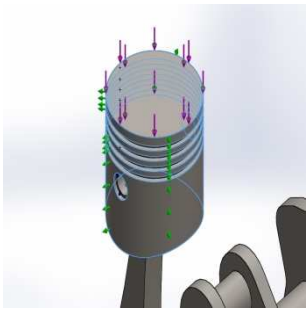
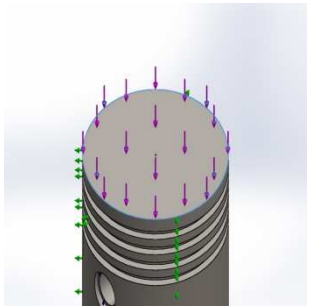
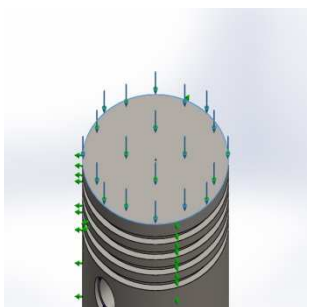
Bisagra fija 1		Entidades:2 fase(s) Tipo: bisagra fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultados
Reacción de fuerzas(N)	4.06706	10.3897	5.6799 9	12.5199
Reacción de momentos(N.m)	0	0	0	0
Faces cilíndricas 1		Entidades: 5 fase (s) Tipo: faces cilíndricas Unidades: Mm		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultados
Reacción de fuerzas(N)	-5.53518	0.103981	38.392 9	38.79
Reacción de momentos(N.m)	0	0	0	0

Tabla 5. (continuación)

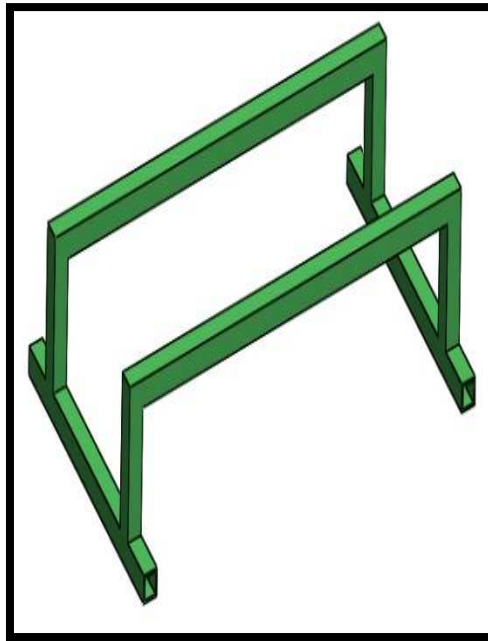
Condición inicial 1		Entidades: 1 fase(s) Tipo: utilizar geometría de referencia Unidades: M			
Fuerzas resultantes					
Componentes	X	Y	Z	Resultados	
Reacción de fuerzas(N)	-0.226874	-0.0111453	0.5930 38	0.635052	
Reacción de momentos(N.m)	0	0	0	0	
Nombre de la carga	Nombre de la imagen	Nombre de los detalles			
Fuerza 1		Entidades: 1 fase(s) Tipo: aplicar fuerza normal Valor: 100 N			

Fuente: Autores

3.15 Diseño y construcción de las estructuras de soporte

3.15.1 Soporte del banco N^o1. Este elemento se lo logro diseñar mediante el programa de simulación Solidworks teniendo en cuenta las características del peso a soportar, a través de ello se pudo determinar qué tipo de material seleccionar para soportar dicho peso sin que la estructura diseñada, llegue a sufrir deformaciones considerables dándonos un coeficiente de seguridad confiable.

Figura 58. Estructura 1



Fuente: Autores

Tabla 6 Propiedades del material

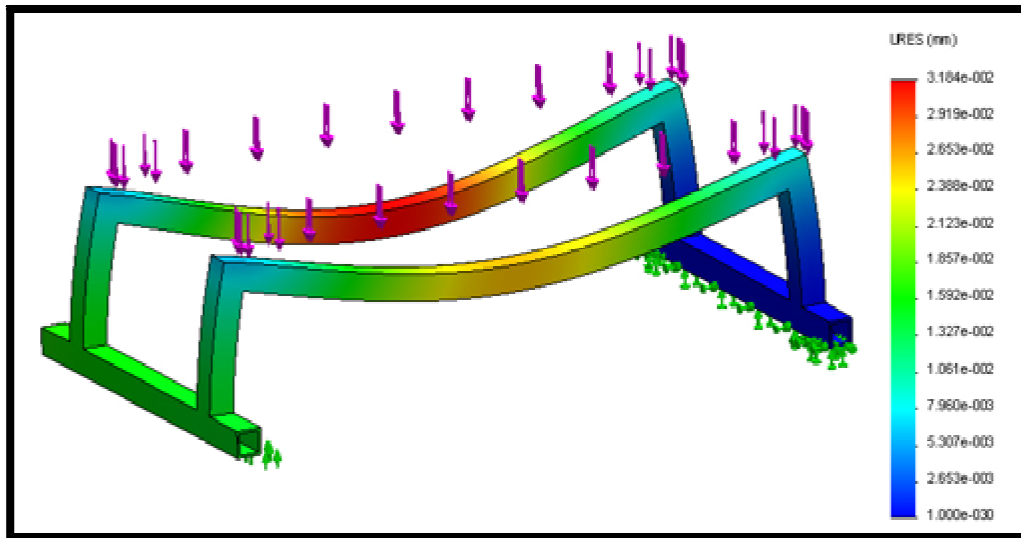
Modelo de referencia	Propiedades	Componentes
	Nombre: ASTM A36	Cuerpo sólido
	Tipo de modelo: isotrópico elástico lineal	Estructura de soporte
	Criterio de fallo por defecto	
	Limite elástico: $2.5E^{+008}N/m^2$	
	Resistencia a la tracción: $4E^{+008}N/m^2$	
	Módulos elásticos: $2E^{+011}N/m^2$	
	Posición de radio 0.26	
	Módulo de corte: $7.93E^{+010}N/m^2$	

Fuente: Autores

En la figura se puede visualizar la deformación máxima, media y mínima que puede sufrir la estructura, a través de un software se logró aplicar fuerzas distribuidas sobre

toda la parte superior de la estructura para poder visualizar los fenómenos que sufriría tal elemento.

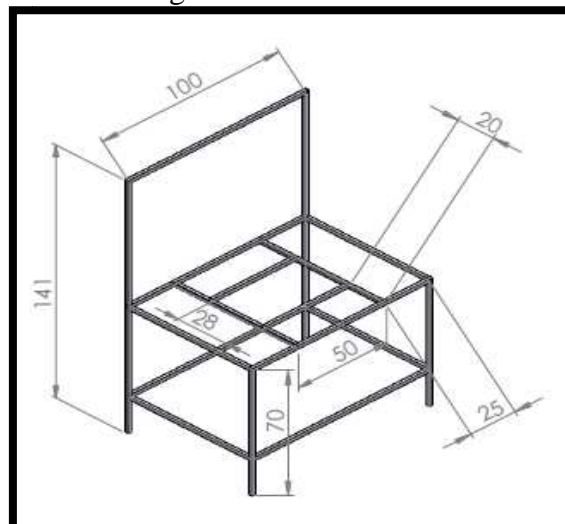
Figura 59. Deformación de la estructura



Fuente: Autores

3.15.2 Soporte del banco N^o 2. De la misma manera el segundo soporte se lo diseño con el programa Solidworks considerando el peso a soportar, que es 50lb.f, teniendo en cuenta este dato se pudo seleccionar el material para construir dicha estructura.

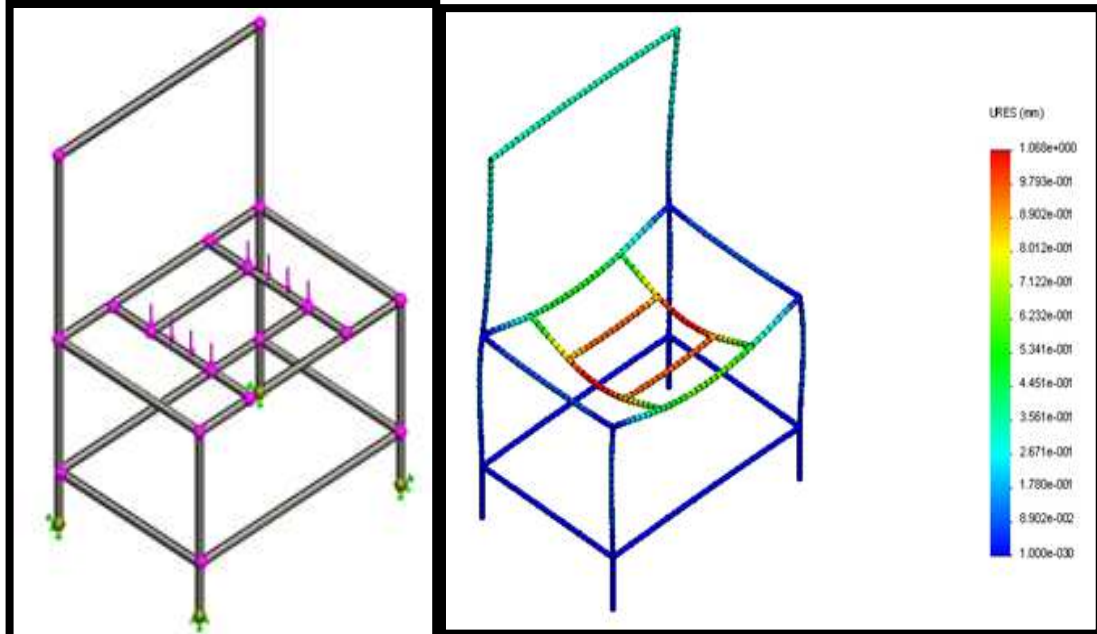
Figura 60. Estructura 2



Fuente: Autores

Sobre las figuras se puede visualizar los esfuerzos aplicados y la deformación que éste llega a sufrir, con un rango de valores máximo, medio y mínimo.

Figura 61. Deformación estructura 2



Fuente: Autores

Tabla 7. Propiedades del material soporte 2

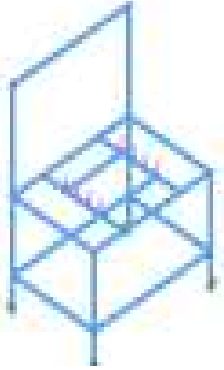
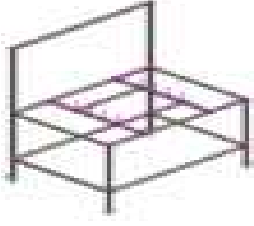
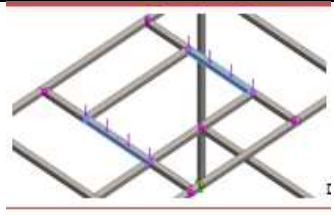
Modelo de referencia	Propiedades	Componentes
	Nombre: modelo ASTM A36	Cuerpo sólido
	Tipo de modelo:elástico isótropo lineal	
	Límite elástico: 2.5e+008 N/m ²	
	Resistencia a la tracción: 4e+008 N/m ²	
	Módulo de elasticidad: 2e+011 N/m ²	
	El coeficiente de Poisson: 0.26	
	Densidad de masa: 7850 kg/m ³	

Tabla 7. (continuación)

	Módulo de cizallamiento: 7.93e+010 N/m ²	
--	--	--

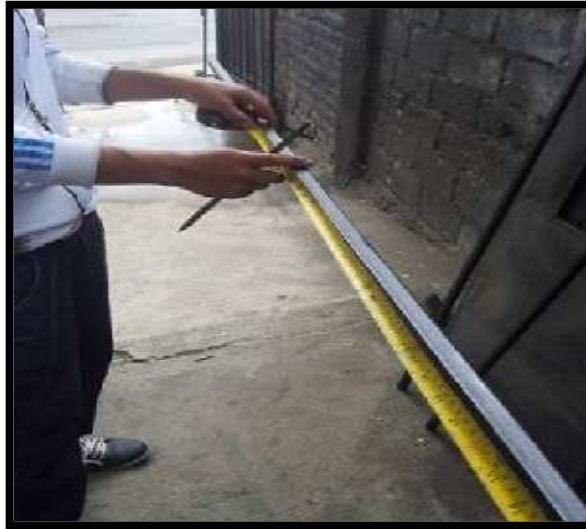
Puntos fijos		Imagen fija		Detalles de la figura	
Punto 1				Entidades: 4 puntos Tipo : figura geométrica	
Nombre de carga		Carga de la imagen		Detalles de la carga	
Fuerza 1				Valores : 50lb.f Momentos: lbf.in	
Reacción de fuerzas					
Conjunto de selección	Unidades	Eje X	Eje Y	Eje Z	Resultados
Modelo completo		0	444.822	-3.8147e-006	444.822
Reacción de momentos					
Conjunto de selección	Unidades	Eje X	Eje Y	Eje Z	Resultados
Modelo completo	N. m	0.0132227	-0.00385897	0.0633553	0.0648354

Fuente: Autores

Construcción del soporte 2

Con un flexómetro se procedido a tomar las medidas exactas sobre el tubo basándose en el documento previamente seleccionado.

Figura 62. Medición de los tubos



Fuente: Autores

Seguidamente ya medidas todas las partes de la estructura sobre el material de construcción, se procedido a su respectivo corte muy sigilosamente de cada una de las partes individuales, ésto con el fin que al momento de acoplar sus partes no llegue a existir un desajuste de medidas.

Figura 63. Corte del tubo



Fuentes: Autores

Posteriormente una vez ya cortadas todas las partes con su respectiva medida se une a través de puntos de suelda en cada uno de sus extremos por la parte exterior, los

electrodos seleccionados para dicha suelda fueron los 60/13 ya que brindan una buena estabilidad de arco, un cordón de soldadura lizo y bien presentado.

Figura 64. Soldadura parte externa



Fuente: Autores

De la misma manera se procedió a soldar con el mismo electrodo 60/13 sobre toda la estructura la parte interior de la misma, con la finalidad de acoplar todas las partes que llegan a conformar toda la estructura del banco didáctico.

Figura 65. Soldadura parte interna



Fuente: Autores

Seguidamente una vez visualizado que todas las partes individuales encajen a su perfección, se realizó el acabado final de soldadura, para que todas sus partes se encuentren bien acopladas entre sí mismas.

Figura 66. Soldadura total de la estructura



Fuente: Autores

Una vez soldada toda la estructura, con una moladora se procedió a esmerilar todos los puntos de suelda ésto para obtener una superficie más liza en toda la estructura.

Figura 67. Esmerilada de la estructura



Fuente: Autores

Posteriormente se procedió a soldar sobre la estructura, las 4 ruedas móviles.

Figura 68. Soldadura de las ruedas



Fuentes: Autores

Otro paso a seguir fue el lijado total de toda la estructura, ésto con el único objetivo de que exista una superficie totalmente liza.

Figura 69. Proceso de lijado



Fuente: Autores

En el proceso de pintado cubrir en su totalidad toda la estructura con la pintura anticorrosiva ésto para evitar corrosión con el pasar del tiempo.

Figura 70. Proceso de pintura



Fuente: Autores

Finalmente durante todos los procesos realizados se logró obtener la estructura del banco didáctico terminada.

Figura 71. Estructura finalizada



Fuente: Autores

3.15.3 Ensamblaje del banco didáctico. El total de las partes del banco didáctico se las ha podido importar a través de la empresa de equipamiento automotriz Ignis Training.

Presentesen todo el país, con su matriz en la ciudad de Cuenca.

Oficina: Altiplano, entre Maita Capac y Carancallo (esquina) sector Totorá Cocha Cuenca

Teléfonos:

Fijo: 074043881

Móvil: 0987643876

Propietario: David Salas

Página web: www.ingnistraining.com

Para la acoplación de la variedad de partes que incorpora el banco didáctico seleccionamos los pernos con sus respectivas tuercas a través de catálogos y tablas, los pernos seleccionados son los siguientes:

- 1/4 cuarto de pulgada para la acoplación de la tapa de engranajes, bomba de agua, turbo compresor, filtro de combustible.

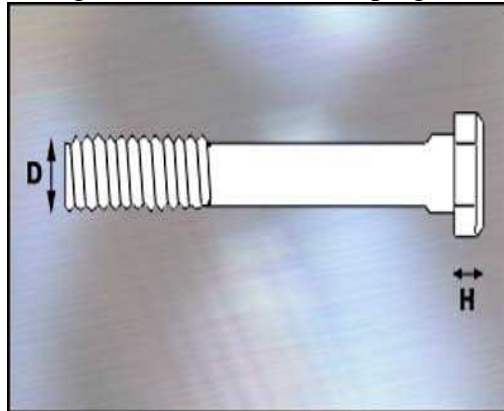
Figura 72. Perno de 1/4de pulgada



Fuente: <http://www.vidri.com.sv/departamento/tornilleria/pernos/perno-cabeza-hexagonal/rosca-ordinario-zincado>

- 5/16 de pulgada para sujetar las bielas sobre el cigüeñal, el cárter del motor.

Figura 73. Perno 5/16 de pulgada



Fuente:http://www.cdxetextbook.com/procedures_sp/threadgaugeSP.html

- 3/8 de pulgada, sujeción del cabezote, volante de inercia.

Figura 74. Perno 3/8 de pulgada



Fuente:http://www.easy.cl/easy/ProductDisplay?mundo=1&id_prod=67328&id_cat=0&tpCa=4&caN0=8158&caN1=9185&caN2=2389&caN3=2780

- 7/16 de pulgada para acoplar los tensores donde está la banda de distribución.

Figura 75. Perno 7/16 de pulgada



Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/stanley-assembly-technologies/pernos-trincado-22234-840533.html>






- 1/2 de pulgada para la sujeción de tapa de válvulas.

Figura 76. Perno de 1/2 de pulgada



Fuente: <http://www.vidri.com.sv/departamento/tornilleria/pernos>

Tabla 8. Tipos de pernos

Grado SAE	1 or 2	5	6	8	Competencia
					
Tamaño	Lb/Pie	Lb/Pie	Lb/Pie	Lb/Pie	Lb/Pie
1/4	5	7	10	10.5	11
5/16	9	14	19	22	24
3/8	15	25	34	37	40
7/16	24	40	55	60	65
1/2	37	60	85	92	97
9/16	53	88	120	132	141
5/8	74	120	167	180	192
3/4	120	220	280	286	316
7/8	190	302	440	473	503
1	282	466	660	714	771

Fuente: <http://widman.biz/boletines/30.html>

El total de las partes fijas y móviles a ensamblar para armar el banco didáctico.

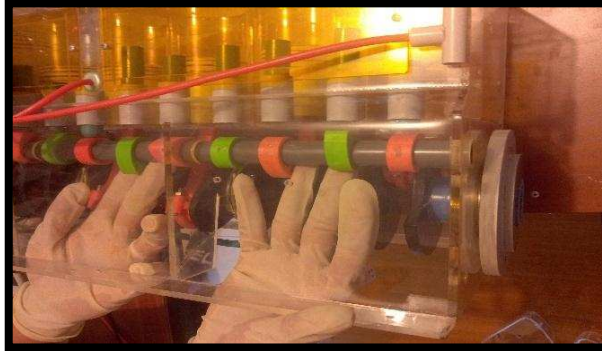
Figura 77. Elementos del motor



Fuente: Autores

Paso 1: El primer elemento a ensamblar dentro del block del motor, es el árbol de levas por motivo de comodidad para luego ser accionado por la función de los engranajes.

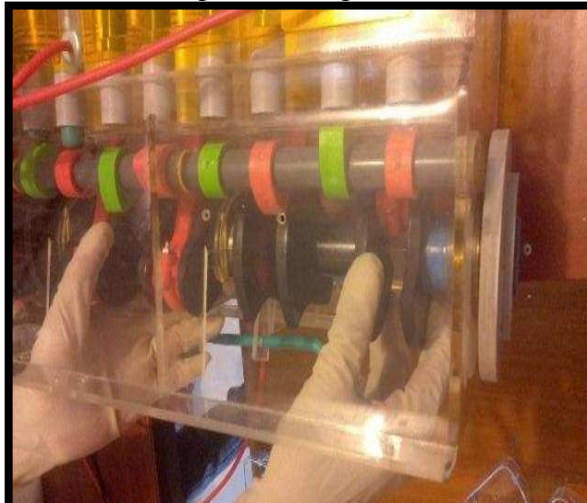
Figura 78.Árbol de levas



Fuente: Autores

Paso 2: Seguidamente al acople de ensamblaje se procedió a colocar el cigüeñal conjuntamente con los pistones.

Figura 79. Cigüeñal



Fuente: Autores

Paso 3: Posteriormente se procedió al ensamblaje del cárter del motor este elemento se encuentra asegurado con una variedad de pernos.

Figura 80. Cáster



Fuente: Autores

Paso 4: A continuación se ensambló la estructura donde va montado el banco didáctico, esta estructura mecánica se encuentra diseñada para soportar cierta carga sin sufrir deformaciones considerables.

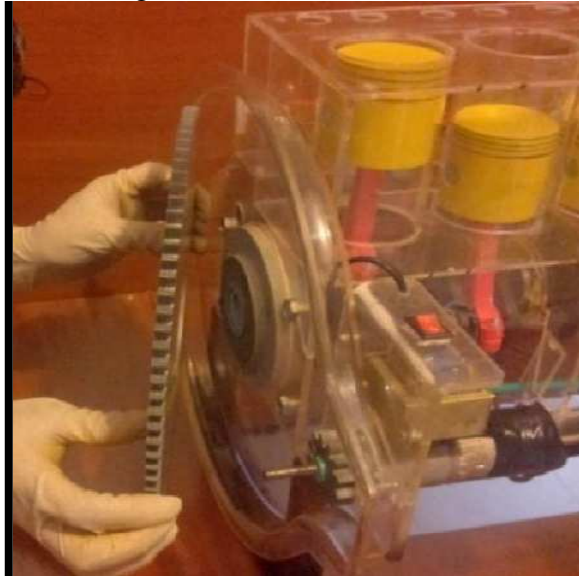
Figura 81. Estructura del banco



Fuente: Autores

Paso 5: Una vez armado en su mayoría el cuerpo del motor se procedió a acoplar otro elemento que es el volante de inercia el mismo que minimiza las vibraciones del motor causadas por el movimiento del cigüeñal.

Figura 82. Volante de inercia



Fuente: Autores

Paso 6: Posteriormente se acopló el cabezote al block del motor teniendo en cuentas los componentes que conforman la culata: balancines y resortes de balancines.

Figura 83. Cabezote del motor



Fuente: Autores

Paso 7: Una vez colocado el cabezote sobre la posición correcta lo siguiente a realizar, fue asegurar el elemento con los pernos seleccionados 3/8 de pulgada, con su respectivo torque asegurando que no exista pernos con juego.

Figura 84. Aseguramiento del cabezote

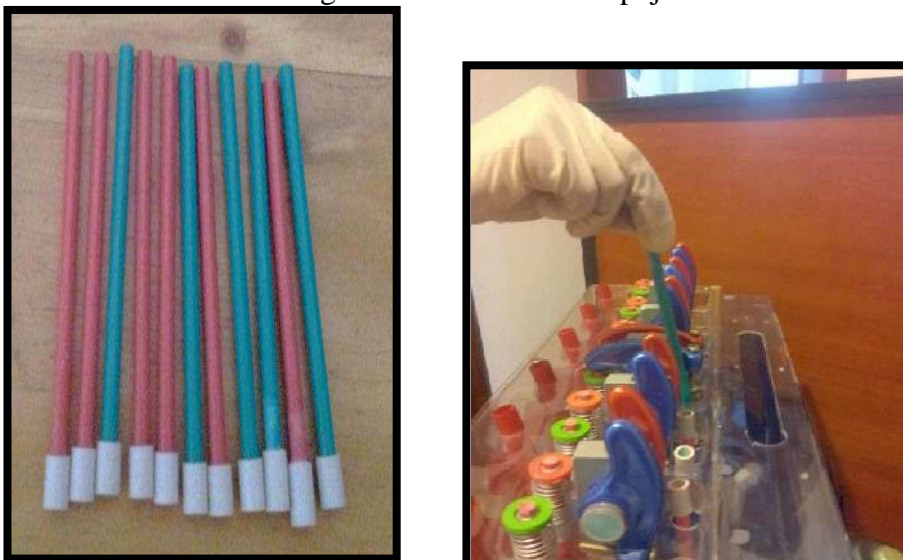


Fuente: Autores

Paso 8: Para la ubicación de las varillas de empuje que relaciona cabezote y block se procedió a girar en el cigüeñal en ángulos de 90° C con la finalidad de acoplar los balancines con cada una de las varillas de empuje.

Nota: Verificar su respectivo ajuste y posición en cada uno de los elementos involucrados y en caso de existir juego entre piezas proceder a su reajuste.

Figura 85. Varillas de empuje



Fuente: Autores

Paso 9: Una vez ubicadas las varillas de empuje se procedió a regular los balancines y válvulas de admisión de escape respectivamente.

Figura 86. Ajuste de balancines



Fuente: Autores

Paso 10: Seguido con el acople de partes del motor se colocó en cada par de balancines su debida tapa de protección para asegurar su hermeticidad durante su funcionamiento.

Figura 87. Tapa de balancines



Fuente: Autores

Paso 11: Se asegura cada una de las tapas de balancines con la ayuda de los pernos 1/2 de pulgada.

Figura 88. Aseguramiento tapa de balancines



Fuente: Autores

Paso 12: Seguidamente se le incorporó el acople del colector de admisión al cabezote este elemento debe estar bien ajustado a través de los diferentes tornillos que incorpora sobre el mismo.

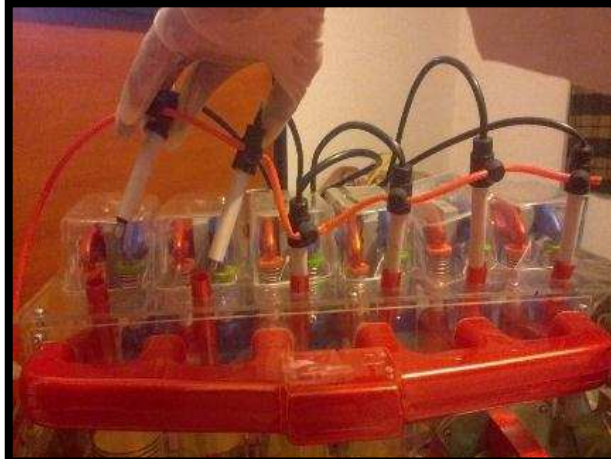
Figura 89. Colector de admisión



Fuente: Autores

Paso 13: Seguidamente se logró ubicar los respectivos inyectores en cada uno de los cilindros del block del motor ya que su función es proveer combustible finamente pulverizado y en proporciones iguales para cada cilindro.

Figura 90. Inyectores



Fuente: Autor

Paso 14: Continuando con el acople de partes importantes en el motor, se procedió a colocar el alternador el cual provee de electricidad a la batería cuando el motor entra en funcionamiento, sobre este elemento va acoplado la banda de distribución que dará movimiento a los engranajes.

Figura 91. Alternador



Fuente: Autores

Paso 15: Por la parte exterior del motor seguidamente se colocó el filtro de combustible, tiene que estar asegurado correctamente con las debidas cañerías de combustible.

Figura 92. Filtro de combustible



Fuente: Autores

Paso 16: Otro elemento muy importante en el motor es el turbo, este elemento va unido al múltiple de admisión debidamente ajustado para respectivo funcionamiento.

Figura 93. Turbo



Fuente: Autores

Paso 17: El complemento del turbo, es el compresor su ubicación es en la parte lateral del block del motor debe ser ajustado correctamente.

Figura 94. Compresor del turbo



Fuente: Autor

3.15.4 Armado final. Una vez acoplados todos los elementos del motor tanto móviles como fijos se obtiene el ensamblado total del bancodidáctico del motor Cummins ubicada en la segunda estructura que su diseño resulta ser más grande y la misma que fue sometida a cargas para su respectiva selección de materiales y posteriormente su construcción.

Figura 95. Banco didáctico



Fuente: Autores

CAPÍTULO IV

4. Pruebas y ensayos

4.1 Compresión del motor

Paso 1: Se procede a retirar las cañerías de provisión de combustible de cada inyector.

Figura 96. Cañerías



Fuente: Autores

Paso 2: Ubicar todos los inyectores que se encuentran en el motor.

Figura 97. Ubicación de los inyectores



Fuente: Autores

Paso 3: Proceder a desmontar cada uno de los inyectores del motor con el debido cuidado sin tener que confundirlos para posteriormente montarlos en el mismo orden.

Figura 98. Inyector



Fuente: Autores

Paso 4: Una vez retirado todos los inyectores del motor, se procede a colocar un inyector en el primer cilindro.

Figura 99. Colocación del inyector en el cilindro



Fuente: Autores

Paso 5: Se colocó el medidor de presión (manómetro) en el inyector del primer cilindro, del motor para medir su debida presión.

Figura 100. Manómetro



Fuente: Autores

Paso 6: Una vez acoplado el compresor se procedió a dar arranque al motor por unos segundos hasta que la aguja del reloj llegue a su fin, se toma y se anota la lectura, que registra en el mismo, para luego proceder a liberar la presión que hay en la herramienta.

Figura 101. Medida de compresión



Fuente: Autores

Paso 7: Una vez realizada las pruebas en cada uno de los cilindros, los datos obtenidos fueron los siguientes, con una compresión promedio de todos los cilindros de 410psi por cilindro.

Maquinaria utilizada para realizar las pruebas de compresión.

Figura 102. Equipo de pruebas



Fuente: Autores

4.2 Presión de la bomba

Paso 1: Se procedió a la selección del tipo de bomba lineal para posteriormente sujetarla sobre los acoples del banco de pruebas.

Figura 103. Selección de la bomba



Fuente: Autores

Paso 2: Se acopló la bomba de combustible Diésel en el banco de pruebas teniendo en cuenta el debido cuidado sobre la dirección correcta de la misma.

Figura 104. Acoplamiento de la bomba de combustible



Fuente: Autores

Paso 3: Se accedió a conectar sobre las copas de la bomba a las líneas de combustible, tanto las de provisión así como también las de retorno una vez realizada dicha acción se procedió a dar arranque al banco de pruebas y comprobar que no haya fugas de combustible, sobre dicho elemento.

Figura 105. Prueba en la bomba de combustible



Fuente: Autores

Paso 4: Una vez instalada la bomba se procede a manipular cada uno de los controles de funcionamiento del banco de pruebas, estos son:

- Encendido

- Apagado
- Control de las rpm.

Figura 106. Encendido del banco



Fuente: Autores

Paso 5: Sobre las fotografías se puede visualizar datos sobre las revoluciones de la bomba que son mínimas, de igual forma la cantidad de inyectado de combustible en el tiempo determinado, es por ello que a través de la manipulación de controles del banco de pruebas se logra incrementar la velocidad de las rpm.

Figura 107. Datos obtenidos



Fuente: Autores

Paso 6: Al haber un incremento de las revoluciones de la bomba por más de 500 rpm, los cambios son notorios durante el funcionamiento de la misma, el chorro de combustible es mucho más rápido de igual forma la presión y el caudal aumentan considerablemente.

Figura 108. Caudal de combustible



Fuente: Autores

Paso 7: Una vez realizada la prueba de compresión de la bomba y si llega a existir fallo alguno ya sea tanto en la aceleración, como en el inyectado de combustible, posteriormente se procede a la calibración de reglajes y ajustes esto con el único objetivo de mejorar el inyectado de hidrocarburo hacia los inyectores, controlar el tiempo de inyección y determinar la cantidad justa.

Figura 109. Calibración de la bomba



Fuente: Autores

Paso 8: Al terminar su respectiva calibración de reglajes y ajustes sobre la bomba de inyección se procede a desmontar, teniendo en cuenta primero de dar fuga a la presión

que existe en las cañerías, para con esto evitar cualquier tipo de inconvenientes sobre la humanidad de quien este manipulando este elemento.

Figura 110. Desacoplamiento de la bomba de combustible



Fuente: Autores

Este banco de pruebas para bombas de inyección a Diésel cuenta con la capacidad de comprobar distintos parámetros al momento de funcionamiento de la bomba como son: tipo de inyectado de combustible, aceleración mínima, media y máxima de las RPM, tiempo de inyectado del hidrocarburo.

Figura 111. Banco de pruebas para bombas de inyección



Fuente: http://www.slideshare.net/Luis_Reveco/prueba-de-bombas-de-inyeccion

CAPÍTULO V

5. ELABORACIÓN DE GUÍAS DE PRÁCTICAS

5.1 Guías de operación

- Utilizar una fuente de corriente preferiblemente de 220V para su correcto funcionamiento.
- Accionar el interruptor en posición ON para su respectivo funcionamiento del banco didáctico.
- Una vez realizado la práctica observar que el interruptor se encuentre en posición OFF o apagado.

5.2 Guías de mantenimiento

- Cada 5 practicas limpiar la carcasa del motor con el Sprite slide éste remueve grasas, polvo y por ende le da más brillo.

Figura 112. Sprite slide



Fuente: Autores

- Observar que la banda se encuentre en perfectas condiciones en cuanto a la flexibilidad caso contrario aplicar la crema loctite para bandas (aerosol).

Figura 113. Sprite loctite



Fuente: Autores

- Limpiar el cárter del motor cada 5 prácticas con el sprite slide.

Figura 114. Sprite slide



Fuente: Autores

- En caso de despegue de partes del motor utilizar el adhesivo loctite 330 para fijar nuevamente sus partes.

Figura 115. Loctite



Fuente: Autores

5.3 Guías de seguridad

Criterios de seguridad:

- Usar guantes, gafas, mandil etc.
- Visualización de las señales de seguridad.

Figura 116. No tocar



Fuentes: Autores

- Cuando el motor se encuentra en funcionamiento no se debe manipular la banda de distribución que se encuentra ubicada en la parte delantera del motor lo cual puede causar averías en la misma.

Figura 117. Riesgo eléctrico




Fuentes: Autores


- Al momento de conectar el motor a una fuente de voltaje se lo debe hacer de una forma segura ya que puede existir una avería en el enchufe o en los conductores la misma que puede causar corto circuito en el motor.

- Tener en cuenta que el banco didáctico se encuentre en perfectas condiciones para al momento de su manipulación.
- Al momento de conectar el enchufe a la fuente de energía observar que el interruptor se encuentre en posición OFF.
- Cuando el banco didáctico se encuentre en funcionamiento no manipular los cables eléctricos.
- No tener contacto con las partes móviles del banco didáctico ya que puede generar daños graves.
- Utilizar un cobertor para aislarlo tanto de humedad como de suciedad.

5.4 Guías de laboratorio


5.4.1 Práctica# 1

	<p align="center">ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ</p> <p align="center">PRÁCTICA # 1</p> <p>TEMA: Reconocimiento de los elementos fijos y móviles del banco didáctico.</p>
<p>Objetivo general</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conocer el funcionamiento del motor Cummins. <p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificar los elementos móviles y fijos del banco didáctico. • Determinar la función que cumple cada uno de los elementos que constituyen el motor Cummins. • Analizar las posibles soluciones y reajustes en el motor. 	
<p align="right">Págs. ¼</p>	
<p>Análisis de resultados</p>	


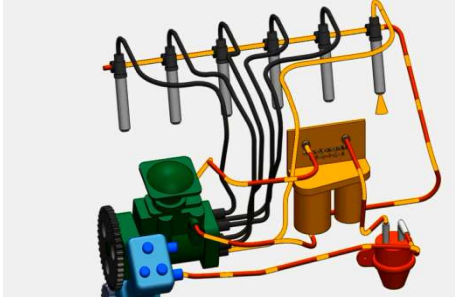
Partes móviles		
Cigüeñal		El cigüeñal. es el encargado de transformar el movimiento lineal de los pistones en un movimiento rotativo.
Árbol de levas		El árbol de levas es un eje que gira solidario al cigüeñal y a la mitad de vueltas que éste.
Biela		La función de la biela es transmitir la fuerza recibida por el pistón en la combustión hasta el cigüeñal.
Volante		El volante de inercia va unido al cigüeñal, cuya misión es regularizar el giro del motor mediante la fuerza de inercia que proporciona su gran masa.
Correa de distribución		Su trabajo es sincronizar el movimiento ascendente de los pistones con el descendente de las válvulas.
		Págs. 2/4

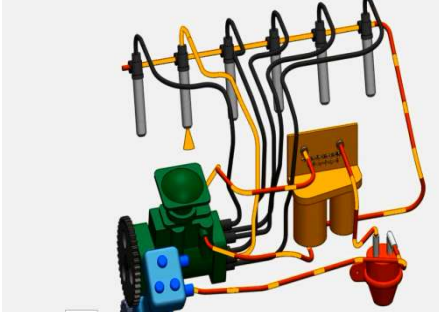
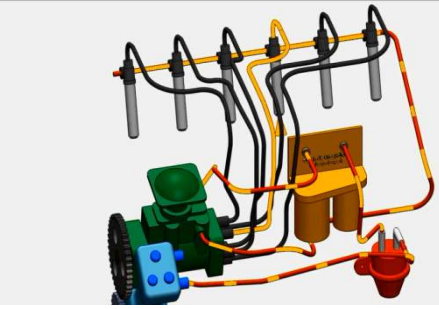
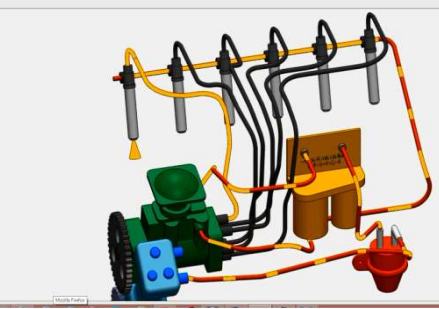
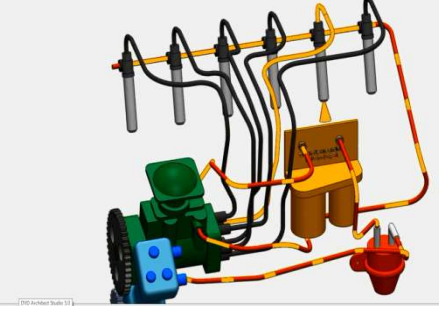
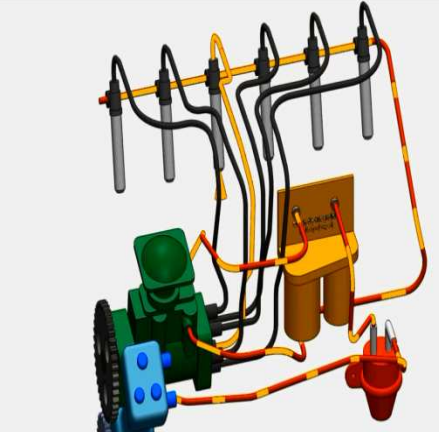
Partes fijas

<p>Bloque del motor</p>		<p>El bloque constituye el cuerpo estructural donde se alojan y sujetan todos los demás componentes del motor. Construida en fundición de hierro.</p>
<p>Cabezote</p>		<p>Se construye en aleación de aluminio, silicio y magnesio. Alojan a las válvulas.</p>
<p>Junta de la culata</p>		<p>Constituida por amianto, silicato de cal, aluminio y hierro u otros materiales flexibles capaces de soportar grandes temperaturas</p>
<p>Camisa</p>		<p>Las camisas son unos cilindros desmontables que se acoplan al bloque motor. Se utiliza aleaciones de hierro fundido resistentes al desgaste</p>
		<p>Págs. ¾</p>

<p>Válvula</p>		<p>El material básico es la aleación cromo silicio, también de hierro cementado. Son admisión y escape inyecta combustible y elimina gases de escape.</p>
<p>Conclusiones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se concluyó que mediante el reconocimiento de las partes móviles y fijas de un motor, el estudiante está preparado para desarrollar su propio concepto y funcionamiento de cada uno de estos elementos puestos en análisis. • Se determinó que todos los elementos tanto fijos y móviles cumplen diferentes funciones y ventajas, así como también su constitución de materiales por el que están contruidos para soportar altas temperaturas y presiones. 		
<p>Recomendaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realizar un estudio avanzado de las partes móviles y fijas tanto del motor real como la del banco didáctico el mismo que está construido en policarbonato ya que con esto el estudiante obtendrá más conocimientos acerca de las propiedades de estos elementos del motor. • Ejecutar este proyecto, ya que se ha determinado durante toda la realización que hemos adquirido valiosos conceptos, funciones a través de las prácticas realizadas en el banco didáctico. 		
		<p>Págs. 4/4</p>


5.4.2 Práctica# 2

	<p align="center">ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ</p> <p align="center">PRÁCTICA # 2</p> <p>TEMA:Identificar el orden de encendido</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar la capacidad visual y teórica del estudiante, para poder identificar el orden de inyección. 		
<p>Objetivos específicos</p>		
<ul style="list-style-type: none"> • Identificar si el pistón se encuentra en el PMS o en el PMI en cada uno de los cilindros para el previo orden de encendido. • Analizar el ciclo del motor. 		
<p>Procedimiento</p>		
<p>Se debe tener mucha atención al momento en que el banco didáctico esté en funcionamiento ya que cuando cada diodo se enciende se puede lograr obtener el orden de encendido del motor.</p>		
<p>Análisis de resultados</p>		
<p>Orden de encendido</p>		
<p>Cilindro 1</p>		<p>Según el orden de encendido en un motor su funcionamiento empieza con el cilindro número 1.</p>
		<p align="right">Págs. 1/3</p>

Cilindro 5		Observando la parte física de la imagen el siguiente cilindro en funcionar es el número 5.
Cilindro 3		Siguiendo el orden de encendido el cilindro número 3 es el próximo a funcionar.
Cilindro 6		A continuación contamos con sexto cilindro en funcionamiento.
Cilindro 2		Seguido el próximo cilindro a funcionar es el número 2.
Cilindro 4		Finalmente para terminar un ciclo de funcionamiento, se cierra el orden de encendido con la activación del cuarto cilindro.
		Págs. 2/3

<p>Conclusiones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se concluyó que el orden del motor sirve para que funcione correctamente es decir que tiempo de encendido no este ni adelantado ni atrasado debe estar en punto correcto de explosión y así en todos los procesos de combustión. <p>Recomendaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para poder identificar bien el orden de encendido el estudiante debe tener su mente totalmente clara y estar muy atento al momento que el diodo emita una luz. • Es muy importante identificar cual es el primer cilindro en el motor, ya que nos servirá de guía para poder establecer es el orden de encendido correcto. 	
<p>Págs. 3/3</p>	

5.4.3 Práctica # 3

	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ</p> <p>PRÁCTICA # 3</p> <p>TEMA:Identificar los distintos elementos que conforman el sistema de combustible.</p>
<p>Objetivo general</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar el funcionamiento de cada elemento del sistema de combustible. 	
<p>Págs. 1/3</p>	
<p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificar el tipo de bomba de inyección que incorpora el motor. • Reconocer los conductos que conforman el sistema de combustible. 	

Procedimiento

Se debe tener mucha atención al momento en que el banco didáctico esté en funcionamiento ya que cuando cada diodo se enciende se puede lograr obtener el orden de encendido del motor.

Análisis de resultados

Elemento	Figura	Función
Bomba rotativa		Las bombas de inyección rotativas aparte de inyectar combustible en los cilindros también tienen la función de aspirar gas-oíl del depósito de combustible.
Filtro de combustible		Retiene impurezas del combustible este sistema es de alta precisión.
Depósito		Lugar donde se almacena el combustible.
		Págs. 2/3
Inyectores		Son los encargados de inyectar combustible finamente pulverizado y en proporciones iguales.

Conclusiones

- Se determinó que es de suma importancia que el estudiante tenga muy claro que tipo de bombas incorporan estos motores.
- Se analizó que el estudiante al conocer el funcionamiento de la bomba de inyección, éste se encuentra en plena facultad de emitir criterios para cambiar de elementos de inyección con el único fin de mejorar el funcionamiento del motor.

Recomendaciones

- El estudiante debe tener conocimiento amplio y muy claro de cuáles son los conductos por donde circula el combustible.
- Tener el debido cuidado al instalar las líneas de combustible que tienen relación directa con los inyectores.

Págs. 3/3

CAPÍTULO VI

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

Se estudió las diferentes generalidades del motor a Diésel, para de esta manera conocer en si el funcionamiento de forma detallada con cada uno de los elementos que lo conforman internamente y exteriormente.

Se identificó las diferentes partes que conforman el sistema de alimentación del motor Cummins para conocer la misión y funcionamiento de cada uno de ellos así como también su acoplamiento y desacoplamiento de los mismos en dicho sistema del motor.

Se estableció un análisis aplicado a cada uno de los diferentes elementos que conforman el motor con el objetivo de conocer de qué material están contruidos.

Se ha determinado que los motores Diésel Cummins son una de las principales marcas líderes a nivel mundial encunto se refiere a maquinaria pesada por sus destacadas características y rangos de potencia que presentan estos motores así como también se puede conocer sus diferentes ciclos de funcionamiento tales como admisión,compresión,explosióny escape de la misma manera la ubicación y función que cumplen cada uno de los elementos que conforman el motor Cummins.

Se realizaron los cálculos en los elementos móviles más principales como el pistón, volante de inercia, cigüeñal para de esta forma conocer los esfuerzos deformaciones y en si el coeficiente de seguridad de los mismos.

6.2 Recomendaciones

Promover la investigación de forma amplia sobre motores Cummins a Diésel para llegar a comprender su funcionamiento real.

Realizarla correcta manipulación de los elementos que conforman el sistema de combustible ya que su material de construcción es frágil.

Realizar investigaciones para conocer la mejor composición de los materiales que conforman los componentes de un motor a Diésel.

Generar soluciones adecuadas a las necesidades dentro del mantenimiento del banco didáctico.

Al aplicar los cálculos tanto de esfuerzos como deformaciones en las simulaciones del software se debe tomar en cuenta que estas fallas se presentarán en un motor real.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, Mayz. 2012. Sistema de admicion de aire. [En línea] 2012. [Citado el 15 de Noviembre de 2013.] <http://www.automotriz.net/tecnica/conocimientos-basicos-22.html>.

ANGEL, Negrodo. 2011. Volante de inercia. [En línea] 2011. [Citado el 10 de Noviembre de 2013.] <http://www.slideshare.net/blackangell2011/volante-de-inercia>.

Cummins, Icn. 2014. Motores Cummins. [En línea] 2014. [Citado el 15 de Septiembre de 2013.]
<http://cmipefstg.cummins.com/cmi/navigationAction.do?nodeId=1&siteId=6&nodeName=Motores+Rango+Pesado&menuId=6001>.

ESPINOZA, Garner. 2012. Sensores Diésel. [En línea] 2012. [Citado el 05 de Diciembre de 2013.]
http://www.garner.com.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=53&Itemid=77.

FLERAS, Gard. 2009. Ciclo Diésel. [En línea] 2009. [Citado el 12 de Octubre de 2013.]
<http://www.slideshare.net/Flerasgard/ciclo-diesel>.

FLORES, Fabían. 2011. Bomba de aciete. [En línea] 2011. [Citado el 18 de Octubre de 2013.]
<http://www.slideshare.net/galarga/bombas-de-aceite>.

GARCIA, Alejandro. 2012. Sensores del automovil. [En línea] 2012. [Citado el 20 de Noviembre de 2013.] <http://www.slideshare.net/jesusalejandro3781/sensores-13906844>.

HERMÓGENES, Gil. 2010. *Manual prectico del automovil*. Madrid MMXI, 2010.

LUCAS, Oscar. 2011. Partes de un motor diésel. [En línea] 2011. [Citado el 15 de Octubre de 2013.] <http://www.slideshare.net/OzzkarLukaz/partes-de-un-motor-diesel..>

ORJUELA, Manuel. 2011. Bomba de agua. [En línea] 2011. [Citado el 05 de Noviembre de 2013.] <http://www.slideshare.net/blackangell2011/bomba-de-agua-8726903>.

Wikipedia.com. 2014. Arbol de levas. [En línea] 2014. [Citado el 23 de Octubre de 2013.]
http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81rbol_de_levas.