



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“REHABILITACIÓN Y REPOTENCIACIÓN DEL MOTOR
DE UN VEHÍCULO LAND ROVER DE 1986 PARA
TALLER MÓVIL DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA
AUTOMOTRIZ-ESPOCH.”**

**FREIRE TORRES EDISON DAVID
FIALLOS CUADRADO DIEGO BELIZARIO**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2015

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2014-01-20

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

EDISON DAVID FREIRE TORRES

Titulada:

“REHABILITACIÓN Y REPOTENCIACIÓN DEL MOTOR DE UN VEHÍCULO LAND ROVER DE 1986 PARA TALLER MÓVIL DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ-ESPOCH.”

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. Víctor Bravo Morocho
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Raúl Cabrera Escobar
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2014-01-20

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

DIEGO BELIZARIO FIALLOS CUADRADO

Titulada:

“REHABILITACIÓN Y REPOTENCIACIÓN DEL MOTOR DE UN VEHÍCULO LAND ROVER DE 1986 PARA TALLER MÓVIL DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ-ESPOCH.”

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. Víctor Bravo Morocho
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Raúl Cabrera Escobar
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: EDISON DAVID FREIRE TORRES

TÍTULO DE LA TESIS: “REHABILITACIÓN Y REPOTENCIACIÓN DEL MOTOR DE UN VEHÍCULO LAND ROVER DE 1986 PARA TALLER MÓVIL DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ-ESPOCH.”

Fecha de Examinación: 2015-03-23

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Doctor Mario Audelo G. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Víctor Bravo Morocho DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Raúl Cabrera Escobar 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.

Doctor Mario Audelo G.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: DIEGO BELIZARIO FIALLOS CUADRADO

TÍTULO DE LA TESIS: “REHABILITACIÓN Y REPOTENCIACIÓN DEL MOTOR DE UN VEHÍCULO LAND ROVER DE 1986 PARA TALLER MÓVIL DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ-ESPOCH.”

Fecha de Examinación: 2015-03-23

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Doctor Mario Audelo G. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Víctor Bravo Morocho DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Raúl Cabrera Escobar 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.

Doctor Mario Audelo G.
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.

Edison David Freire Torres

Diego Belizario Fiallos Cuadrado

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a mis padres, Carlos Freire y Enma Torres por su apoyo y confianza depositada en mí por sus consejos, comprensión y amor incondicional que aunque estando lejos me supieron brindar, para ellos mi dedicación y mi esmero con todo mi corazón, a mis hermanas, cuñados y hermanos quienes fueron los impulsores para que siga adelante y ejemplo a seguir para culminar mis estudios, a mí sobrina Sofía que la amo mucho, a mis tíos por abrirme las puertas de su hogar y brindarme cariño y consejos para seguir adelante durante todos estos años, a mis primos con quienes compartí penas y muchas alegrías, a una persona muy especial con quien compartí buenos y malos momentos, pero que siempre me brindo cariño y forma parte de este gran logro gracias por creer en Mí, a cada uno de mis compañeros, amigos e ingenieros que gracias a su ayuda, incondicional se logró superar muchos retos.

Con esfuerzo y sacrificio se puede realizar un sueño y cumplir sus metas.

Edison Freire Torres

El desarrollo de este trabajo se lo dedico a mis padres, compañeros e instructores que gracias al esfuerzo y dedicación de cada uno de ellos permitieron mi formación académica, moral apoyándome en los momentos de dificultad.

Diego Fiallos Cuadrado

AGRADECIMIENTO

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 para todos los amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

Edison Freire Torres

Diego Fiallos Cuadrado

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	2
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Motor.....	4
2.1.1 <i>Conceptos generales</i>	4
2.1.2 <i>Motor diesel</i>	5
2.1.3 <i>Características generales</i>	6
2.1.4 <i>Funcionamiento</i>	7
2.1.5 <i>Sistemas y Partes</i>	8
2.1.5.1 <i>Sistema de encendido</i>	8
2.1.5.2 <i>Sistema de lubricación</i>	9
2.1.5.3 <i>Sistema de admisión</i>	10
2.1.5.4 <i>Sistema de escape</i>	10
2.1.5.5 <i>Sistema de Refrigeración</i>	13
2.2 Repotenciación de motores.....	14
2.2.1 <i>Variables de mejora del rendimiento del motor</i>	14
2.2.1.1 <i>Incremento del desplazamiento</i>	14
2.2.1.2 <i>Incremento de la relación de compresión</i>	14
2.2.1.3 <i>Mejor llenado de los cilindros</i>	14
2.2.1.4 <i>Enfriamiento del aire entrante</i>	14
2.2.1.5 <i>Dejar que el aire entre más fácil</i>	15
2.2.1.6 <i>Dejar que los gases de escape salga más fácilmente</i>	15
2.2.1.7 <i>Reducir pesos en partes móviles</i>	15
2.2.1.8 <i>Inyección de combustible</i>	15
2.2.2 <i>Repotenciación en el sistema de admisión</i>	15
2.2.3 <i>Repotenciación en el sistema de escape</i>	16
2.2.4 <i>Elevación de compresión</i>	16
2.2.4.1 <i>Por aumento de la cilindrada</i>	16
2.2.4.2 <i>Por aumento de la presión media efectiva</i>	17
2.2.4.3 <i>Por aumento del régimen de giro</i>	17
3. DIAGNÓSTICO TÉCNICO DEL ESTADO ACTUAL DEL MOTOR	
3.1 Despiece del motor.....	18
3.2 Inspección visual.....	19
3.2.1 <i>Análisis según la inspección visual</i>	19
3.2.2 <i>Elementos faltantes del motor</i>	26
3.3 Prueba de fisuras.....	27
3.3.1 <i>Prueba hidrostática</i>	27
3.4 Análisis de los elementos principales del motor.....	27
3.4.1 <i>Culata</i>	27
3.4.2 <i>Block de cilindros</i>	27

3.4.3	<i>Cigüeñal</i>	28
3.4.4	<i>Biela – pistón</i>	28
3.5	Resumen de diagnóstico de estado de los elementos del motor	28
3.6	Resultados del diagnóstico	30
4.	REHABILITACIÓN DEL MOTOR	
4.1	Condiciones iniciales de funcionamiento del motor.....	31
4.1.1	<i>Datos técnicos del motor</i>	31
4.2	Requerimientos.....	31
4.2.1	<i>Espacio físico utilizado</i>	31
4.2.2	<i>Herramientas</i>	32
4.2.2.1	<i>Herramientas de precisión manuales</i>	32
4.2.2.2	<i>Herramientas manuales</i>	32
4.2.3	<i>Equipos utilizados</i>	32
4.2.4	<i>Insumos</i>	33
4.2.5	<i>Equipo de protección personal (EPP)</i>	33
4.3	Ensamblaje y calibración.....	34
4.3.1	<i>Ensamblaje</i>	35
4.3.2	<i>Instalación de los accesorios del motor</i>	40
4.3.3	<i>Calibración</i>	41
4.3.3.1	<i>Holgura de válvulas</i>	41
4.3.3.2	<i>Grado de inclinación de la bomba de inyección</i>	41
5.	REPOTENCIACIÓN DEL MOTOR	
5.1	Selección del turbocompresor	42
5.1.1	<i>El turbocompresor</i>	43
5.1.2	<i>Constitución de un turbocompresor</i>	44
5.1.3	<i>Funcionamiento en distintos tipos de motores</i>	45
5.1.4	<i>Ventajas de usar un turbocompresor</i>	45
5.1.5	<i>Cálculos para la selección del turbocompresor</i>	46
5.1.5.1	<i>Obtención del caudal de aire aspirado</i>	46
5.1.5.2	<i>Obtención de datos geométricos de los turbocompresores</i>	49
5.1.6	<i>Selección del turbocompresor</i>	52
5.2	Acople del turbocompresor al motor	58
5.2.1	<i>Comprobación del caudal de aire aspirado</i>	58
5.2.2	<i>Selección de los ductos de lubricación del turbocompresor</i>	60
5.2.2.1	<i>Medición presión de aceite del ducto de entrada al turbocompresor</i>	60
5.2.3	<i>Selección de los ductos de aspiración del compresor y turbina</i>	60
5.2.4	<i>Turbocompresor instalado en el motor</i>	61
6.	PRUEBAS Y PUESTA A PUNTO DEL MOTOR	
6.1	Puesta a punto.....	63
6.2	Pruebas de funcionamiento.....	63
6.2.1	<i>Banco dinamométrico</i>	63
6.2.1.1	<i>Instalación del motor en el banco dinamométrico</i>	67
6.2.1.2	<i>Toma de datos en el banco dinamométrico</i>	68
6.3	Cálculos de torque, potencia y consumo	69
6.3.1	<i>Cálculos de torque, potencia y consumo sin turbo</i>	69
6.3.1.1	<i>Cálculo de torque</i>	69
6.3.1.2	<i>Cálculo de potencia efectiva</i>	70

6.3.1.3	<i>Cálculo de consumo de combustible</i>	71
6.3.2	<i>Cálculos de torque, potencia y consumo con turbo</i>	72
6.3.2.1	<i>Cálculo de torque</i>	73
6.3.2.2	<i>Cálculo de potencia efectiva</i>	74
6.3.2.3	<i>Cálculo de consumo de combustible</i>	75
6.4	<i>Análisis de resultados de las pruebas.</i>	76
7.	ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO Y MEDIDAS DE SEGURIDAD	
7.1	<i>Plan de mantenimiento.</i>	79
7.1.1	<i>Mantenimiento preventivo</i>	79
7.1.2	<i>Mantenimiento correctivo</i>	80
7.2	<i>Medidas de seguridad</i>	82
7.2.1	<i>Mantenimiento</i>	82
7.2.2	<i>Conducción</i>	82
7.2.3	<i>Pruebas en el banco dinamométrico</i>	83
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
8.1	<i>Conclusiones</i>	84
8.2	<i>Recomendaciones.</i>	85

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Elementos faltantes del motor 26
2	Elementos del motor, estado y acción tomada 28
3	Datos técnicos del motor SD22 31
4	Tolerancia de los elementos constitutivos del motor SD22 34
5	Medidas estándar de los elementos del motor SD22 35
6	Reconocimiento de pernos..... 35
7	Variaciones de torque 36
8	Flujo másico para distintas revoluciones 49
9	Aplicación de Garrett en los motores Nissan 50
10	Preselección de turbocompresor 52
11	Mapa del compresor 56
12	Velocidad de aire aspirado sin turbo 59
13	Diferencia entre el flujo real y calculado de aire 59
14	Flujo comparativo 62
15	Datos generales sacados del banco dinamométrico sin turbo..... 69
16	Datos para el cálculo del torque sin turbo 69
17	Datos para el cálculo de la potencia efectiva sin turbo..... 70
18	Datos para el cálculo de la potencia efectiva corregida sin turbo 71
19	Datos para el cálculo del consumo específico de combustible sin turbo..... 72
20	Datos es generales sacadas del banco dinamométrico con turbo 73
21	Datos para el cálculo del torque con turbo 73
22	Datos para el cálculo de la potencia efectiva con turbo 74
23	Datos para el cálculo de la potencia efectiva corregida con turbo 74
24	Datos para el cálculo del consumo específico de combustible con turbo 75
25	Comparación de potencia efectiva..... 78
26	Plan de mantenimiento preventivo del motor SD22..... 81

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Motor de combustión interna..... 5
2	Sistema de encendido 8
3	Sistema de lubricación 9
4	Sistema de admisión 10
5	Sistema de escape 11
6	Sistema de refrigeración 13
7	Motor en condiciones iniciales 18
8	Émbolos y bielas en mal estado..... 19
9	Conjunto cigüeñal y block..... 20
10	Bielas 20
11	Culata..... 21
12	Culata vista lateral derecha..... 21
13	Tapa de distribución 22
14	Volante de inercia 22
15	Camisas..... 23
16	Disco de embrague 23
17	Base del motor de arranque 23
18	Engranajes de distribución 24
19	Alternador 24
20	Ventilador 25
21	Resortes guías y seguros de válvula 25
22	Máquina comprobador de culatas y blocks 27
23	Rectificadora de asientos de válvulas 36
24	Rectificadora de cigüeñales 37
25	Camisas cambiadas..... 37
26	Holgura mediante plastigage 38
27	Montaje émbolos 38
28	Conjunto block-cigüeñal..... 39
29	Culata armada 39
30	Orden de apriete..... 40
31	Disposición de los múltiples..... 42
32	Circulación de los gases en el turbocompresor 43
33	Partes del turbocompresor 44
34	Bomba de inyección y válvula de estrangulación 45
35	Relación de compresión del compresor 57
36	Rendimiento del compresor..... 57
37	Mapa del turbocompresor seleccionado 58
38	Anemómetro y revoluciones..... 59
39	Presión de lubricación del turbocompresor 60
40	Plancha de acero 61
41	Turbocompresor instalado 61
42	Medición de datos con turbo 62
43	Motor SD22 ensamblado 63
44	Banco Dinamométrico FA 200/30 SP ESPOCH..... 64
45	Junta de cardán 64

46	Esquema de freno dinamométrico	65
47	Motor montado para las pruebas	68
48	Gráfica de torque del motor sin turbo.....	70
49	Gráfica de potencia del motor sin turbo	71
50	Gráfica del consumo específico de combustible del motor sin turbo.....	72
51	Gráfica de torque del motor con turbo.....	73
52	Gráfica de potencia del motor con turbo	75
53	Gráfica del consumo específico de combustible del motor con turbo.....	76
54	Torque con y sin turbocompresor	76
55	Potencia efectiva con y sin turbocompresor	77
56	Consumo específico con y sin turbocompresor	77

SIMBOLOGÍA

N	Revoluciones por minuto	RPM
CV	Caballo de vapor	CV
T	Temperatura	°C
L	Litro	L
V	Cilindrada	cm ³
d	Diámetro del émbolo	cm
Π	Constante	Pi
l	Carrera del émbolo	cm
i	Relación de compresión	----
m	Masa teórica de aire aspirado	kg/s
P	Presión	kgf/ m ²
P	Densidad del aire	kg/m ³
C	Velocidad de aire	m/s
A	Área	m ²
C _p	Capacidad calorífica	J/kg °K
γ	Constante de los gases	----
r _{c,tt}	Relación de compresión del compresor	----
n _{c,tt}	Rendimiento del compresor	----
M	Torque	kgm
Ne	Potencia efectiva	CV
Cs	Consumo específico	kg/CVh
K	Coeficiente de corrección	----

LISTA DE ABREVIACIONES

MAN	Maschinfabrik Augsburg Numberg
EPP	Equipo de Protección Personal
SMAW	Soldadura Manual de Metal por Arco (Shielded Metal ArcWelding)
AGA	Asociación Americana de Gas (American Gas Association)
SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices

LISTA DE ANEXOS

- A** Manual de inspección y reparación del SD22
- B** Orden de apriete de la culata del SD22
- C** Propiedades del aire seco a presión atmosférica
- D** Catálogo de Turbo Master
- E** Ensayo de turbomáquinas
- F** Precalentamiento de aceros en soldadura
- G** Clasificación de los aceites lubricantes SAE

RESUMEN

En este proyecto se rehabilitó, analizó y repotenció un motor SD22, mediante un análisis de cada uno de los elementos y estudios similares, se buscó información que permitió realizar un diagnóstico de la situación actual del motor, donde se determinó partes averiadas y faltantes que necesitaban reparar o sustituir para ponerlo en funcionamiento, luego de realizar los cambios respectivos con sus debidas mediciones y calibraciones, se procedió a repotenciarlo mediante la implementación de un turbocompresor, realizando su respectiva selección, comprobación y cálculos de ensayo de turbomáquinas para la adaptación del turbocompresor más adecuado.

Se realizó un análisis de repotenciación mediante las pruebas en el banco dinamométrico de la ESPOCH, obteniendo como resultados valores de torque, potencia efectiva y consumo específico antes y después de la repotenciación, obteniendo un incremento de 6,63CV (52,7 %) en potencia efectiva, ahorro de consumo específico de combustible de 0,17kg/CV.h (35,4 %) y un incremento de torque de 3,37kg.m (48 %) al implementar el turbocompresor TB28, valores que fueron alcanzados a 1400 RPM.

Estableciendo un plan adecuado de mantenimiento que permitirá cumplir debidamente su trabajo y mantener su vida útil, tomando en cuenta la corrección de cantidad de aceite por los aditamentos implementados que permitirá que el motor trabaje en perfectas condiciones.

Además se recomienda utilizar el aceite SAE 20W40, lubricar el turbocompresor antes de ponerlo en funcionamiento, mantener encendido el motor 10 minutos luego ciclo de trabajo prolongado, y seguir con el plan de mantenimiento establecido.

ABSTRACT

An engine SD22 was repaired, analyzed and overhauled in this project. Information was looked for by means of an analysis of the elements and similar studies in order to carry out a diagnosis of the current engine situation. Some broken down and missing parts were identified to be repaired or substituted and the engine can run. After changing some things with the corresponding measures and calibrations, the engine was overhauled by means of turbocharger implementation, selection, checking and turbo engine trial calcula for the most appropriate adaptation of the turbocharger.

A potentiation analysis was carried out by tests in the dinamometric bench of ESPOCH. The results were torque values, effective power and specific consumption before and after of the potentiation. There was an increase of 6,63CV (52,7 %) in effective power, consumption savings of combustibile of 0,17kg/CV.h (35,4 %) and a torque increase of 3,37kg.m (48 %) when the turbocharger TB28 was implemented. These values increased up 1400 RPM.

A maintenance plan was established so that, the engine can operate and keep its useful life, keeping in mind the quantity of additive oil which will allow the engine to work the best.

It is recommended to use the oil SAE 20W40, lubricate the turbocharger before it starts to run, keep the engine on during after working and continue with the maintenance plan.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El primer Land Rover debutó en 1948, su diseño y simplicidad brillante puede ofrecer unas capacidades extraordinarias y una fuerza y durabilidad sin precedentes, de hecho, en la actualidad se estima que dos de cada tres de estos vehículos siguen funcionando, muchos de ellos en algunas de las condiciones más extremas y en los lugares más inhóspitos del mundo.

La idea de Rudolfo Diesel era obtener un rendimiento superior al motor a gasolina empleando una relación de compresión muy elevada, que el motor de gasolina no podía aceptarse sin dificultad de funcionamiento. Para realizarla, el cilindro no se podía aspirar más aire puro que introducir separadamente el combustible para que se inflame en el momento en que la compresión alcanza su máxima presión (GUERBER, 1989 pág. 17).

Desde la implementación de un motor de combustión interna a gasolina en un vehículo autopropulsado, hasta la actualidad, se han percibido cambios tecnológicamente importantes en el desarrollo de la industria automotriz, cambios que sin duda alguna han sido beneficiosos para la industria, que se han acoplado efectivamente a la necesidad ecológica mundial y han satisfecho demandas y requerimientos de todos los usuarios de automóviles.

Uno de esos cambios bastante novedoso fue la sustitución de los sistemas carburados, por controles más eficientes de inyección de combustible por medios electrónicos, es decir la inyección electrónica de combustible.

Pero existen muchos vehículos antiguos que con un buen mantenimiento y sustitución de algunas partes podrían seguirnos siendo de utilidad ya que esto es muy común en el

mercado automotriz ya sea por rescatar algo de historia con los vehículos clásicos o por objetos de competición.

Por tal motivo hemos considerado el estudio de rehabilitación del motor del vehículo Land Rover con el fin de obtener un vehículo antiguo pero que se presente de una manera eficiente y eficaz de tal manera que nos pueda servir como para un vehículo taller.

1.2 Justificación

La importancia de esta investigación se debe a que en la última década al igual que la construcción e innovación de nuevos vehículos la reconstrucción y restauración de vehículos antiguos se ha convertido en una ciencia mediante la cual los ingenieros automotrices aplican todos sus conocimientos y habilidades ya sea para la creación de nuevos modelos o para la reconstrucción de los antiguos, Para esto es necesario que el estudiante tenga un conocimiento amplio y adecuado en los diferentes sistemas que existen en el vehículo y sus posibles mejoras y desarrollos con el fin de optimizar las mismas, por tal motivo nace este proyecto de rehabilitación y repotenciación del motor de un vehículo Land Rover de 1986 para taller móvil para la Escuela de Ingeniería Automotriz-ESPOCH el cual servirá como aporte para nuestra Escuela ya sea como un posible vehículo taller que servirá para diferentes actividades, ya sea como para prestar servicios de campo como también para la realización de las prácticas de los estudiantes el cual busca aplicar e innovar en el campo automotriz los diferentes conocimientos adquiridos durante la Carrera de Ingeniería Automotriz, presentando a la sociedad la calidad de profesionales que otorga esta institución.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Rehabilitar y repotenciar el motor de un vehículo Land Rover de 1986 para taller móvil de la Escuela de Ingeniería Automotriz-ESPOCH.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Investigar los diferentes sistemas automotrices referentes al motor.

Diagnosticar el estado técnico del motor del vehículo.

Hallar las posibles soluciones en función del estado del motor.

Repotenciar el motor del vehículo.

Realizar pruebas y poner a punto el motor.

Elaborar un plan de mantenimiento y guía de seguridad.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Motor

2.1.1 *Conceptos generales.* Existen diversos tipos, siendo de los más comunes los siguientes:

- Motores térmicos, cuando el trabajo se obtiene a partir de energía calórica.
 - Motores de combustión interna, son motores térmicos en los cuales se produce una combustión del fluido del motor, transformando su energía química en energía térmica, a partir de la cual se obtiene energía mecánica, el fluido del motor antes de iniciar la combustión es una mezcla de un comburente como el aire y un combustible, como los derivados del petróleo y gasolina, los del gas natural o los biocombustibles.
 - Motores de combustión externa, son motores térmicos en los cuales se produce una combustión en un fluido distinto al fluido motor, el fluido motor alcanza un estado térmico de mayor fuerza posible de llevar es mediante la transmisión de energía a través de una pared.
- Motores eléctricos, cuando el trabajo se obtiene a partir de una corriente eléctrica.

En los aerogeneradores, las centrales hidroeléctricas o los reactores nucleares también se transforman algún tipo de energía en otro, sin embargo, la palabra motor se reserva para los casos en los cuales el resultado inmediato es energía mecánica.

Los motores eléctricos utilizan la inducción electromagnética que produce la electricidad para producir movimiento, según sea la constitución del motor núcleo: con cable arrollado, sin cable arrollado, monofásico, trifásico, con imanes permanentes o sin

ellos, la potencia depende del calibre del alambre, las vueltas del alambre y la tensión eléctrica aplicada (WIKIPEDIA, 2014).

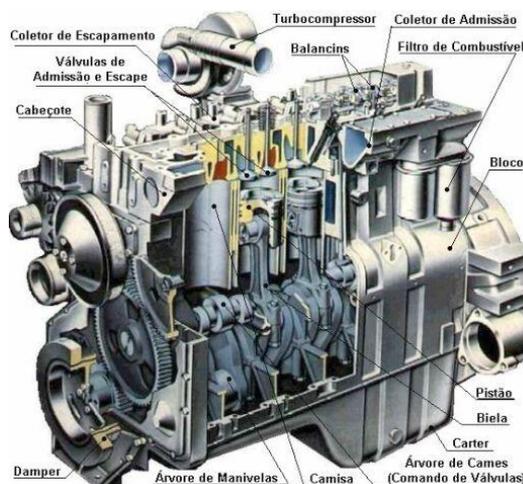
Los motores de combustión interna son máquinas térmicas, en las cuales el cuerpo de trabajo inicialmente es una mezcla formada por aire y combustible, a ésta se le agrega calor y se transforma en gases de combustión los cuales, en un proceso de expansión desplazan el pistón dentro del cilindro, la energía obtenida de esta forma, parte se transforma en mecánica y parte se entrega al medio ambiente en forma de calor.

El ciclo de un motor de combustión interna termodinámicamente está formado por los siguientes cuatro procesos:

- El proceso de admisión es un proceso de succión del cuerpo de trabajo.
- El proceso de compresión es un proceso en el que el cuerpo de trabajo se comprime.
- El proceso de expansión es un proceso en el cual el cuerpo de trabajo inicial entra en combustión, generando un cuerpo de trabajo formado por gases de combustión cuya posterior expansión genera un trabajo positivo.
- El proceso de escape consiste en la expulsión del cuerpo de trabajo final o gases de combustión (ORTÍZ FLORES, 2012 pág. 95).

2.1.2 Motor diesel.

Figura 1. Motor de combustión interna



Fuente: <http://www.joseclaudio.eng.br/Imagens/image002.jpg>

El motor diésel inventado en 1893, por el ingeniero Rudolf Diesel, empleado de la firma MAN, que en aquellos años se encontraba en la producción de motores y vehículos de carga, el ingeniero Rudolf Diesel estudiaba los motores de alto rendimiento térmico con el uso de combustibles alternativos en los motores de combustión interna.

Durante años el ingeniero Rudolf Diesel trabajó para utilizar combustibles diferentes a la gasolina, basados en los principios de los motores de compresión por medio de la chispa, cuyos orígenes se remontan a las máquinas de vapor ya que poseen una mayor prestación, así fue como a finales del siglo XIX, MAN produce el primer motor conforme los estudios del ingeniero Rudolf Diesel, encontrando para su funcionamiento, un combustible poco volátil, que en aquellos años era muy utilizado el aceite liviano, más conocido como fuel oil que se usaba para alumbrar las lámparas de la calle (TECNICOS DIESEL, 2014).

La máquina diesel es un motor térmico que tiene ignición interna variable que es producido por autoencendido del combustible, debido a altas temperaturas de la opresión del aire en el interior del cilindro.

2.1.3 *Características generales:*

- Rendimiento: es el cociente entre la potencia útil que generan y la potencia absorbida. Habitualmente se representa con la letra griega η .
- Velocidad de poco giro o velocidad nominal: es la velocidad angular del cigüeñal, es decir, el número de revoluciones por minuto (rpm o RPM) a las que gira. Se representa por la letra n .
- Potencia: es el trabajo que el motor es capaz de realizar en la unidad de tiempo a una determinada velocidad de giro. Se mide normalmente en caballos de vapor (CV), siendo 1CV igual a 736 vatios.
- Par motor: es el momento de rotación que actúa sobre el eje del motor y determina su giro. Se mide en $\text{kg}\cdot\text{m}$ (kilogramos por metro) o lo que es lo mismo Newtonmetro (Nm), siendo 1kgm igual a 9,81Nm.
- Estabilidad: es cuando el motor se mantiene a altas velocidades sin gastar demasiado combustible tanto como energía eléctrica en su correspondiente tiempo

que pasa el motor sin ningún defecto pero esto solo se hace en las fábricas donde se desarrolla el motor (WIKIPEDIA, 2013).

2.1.4 *Funcionamiento.* Un motor diésel funciona según ciclos de 4 y de 2 tiempos el funcionamiento de 4 tiempos que es el de mayor parte de los motores diesel de automóvil, aparte del sistema propio de inyección, tiene elementos análogos a los del motor de gasolina, como los órganos auxiliares de distribución por árbol de levas y válvulas, los de engrase y refrigeración y un motor eléctrico de arranque (GUERBER, 1989 pág. 19).

Según el ciclo de 4 tiempos, en el momento que el pistón se encuentra en el punto más alto, la válvula de admisión se abre y el pistón aspira aire fresco hasta llegar al punto más bajo, la temperatura que inicia la combustión procede de la elevación de la presión que se produce en el segundo tiempo del motor, la compresión, en este momento la válvula de admisión se cierra y el pistón empieza a ascender comprimiendo el aire hasta llegar al punto más alto del cilindro, el combustible se inyecta en la parte superior de la cámara de combustión a gran presión desde unos orificios muy pequeños que presenta el inyector de forma que se atomiza y se mezcla con el aire a alta temperatura y presión, la propia presión del aire enciende la mezcla, aumenta la presión en el cilindro impulsando el pistón hacia abajo.

En esta carrera de trabajo es donde se realiza la fuerza útil, cuando el pistón llega al punto más bajo, se abre la válvula de escape y el pistón empieza a ascender empujando los gases quemados hacia el exterior, en el momento que llega al punto más alto la válvula de escape se cierra (MOLINA VIDAL, 2013).

Para obtener una buena ignición de la mezcla gaseosa en un motor a gasolina se sabe que basta con que el carburador suministre una proporción bien determinada de aire y gasolina que también es válida para los motores a inyección, en el caso diesel es completamente distinta de la mezcla gaseosa, ya que debe efectuarse con rapidez extrema por pulverización del combustible en el aire al final de la compresión. Para que cada partícula de combustible pueda disponer de la cantidad de oxígeno suficiente para su completa combustión se necesita un remanente del aire del orden del 40% (GUERBER, 1989 pág. 25).

Ventajas y desventajas:

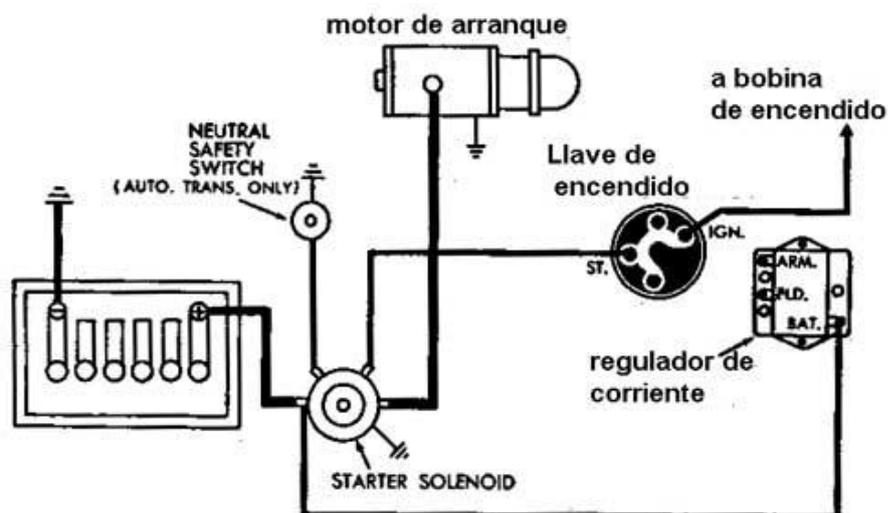
El motor diesel con respecto al a gasolina presenta mejor rendimiento, combustible más barato, mayor par motor conseguido particularmente en pocas revoluciones, ausencia de carburador y de equipo eléctrico de encendido, peligro de incendio reducido y gases de escape menos contaminantes (J. POURBAIX, 1996 pág. 5).

El motor diesel presenta inconvenientes como construcción más voluminosa, mayor costo de adquisición, la bomba de inyección e inyectores requieren un mantenimiento regular y cuidadoso, gastos de conservación más elevados, debido a sus fuertes vibraciones generalmente solo se pueden utilizar en vehículos pesados aunque algunos coches están equipados con diesel, como los gastos de inversión son bastantes elevados un vehículo equipado con motor diesel solo será rentable cuando se prevea un recorrido de muchos kilómetros por año (J. POURBAIX, 1996 pág. 5).

2.1.5 *Sistemas y Partes.* Los diferentes sistemas en el motor son:

2.1.5.1 *Sistema de encendido.* El sistema de encendido se encarga primordialmente de aportar la energía que necesita el motor de combustión para mantener los ciclos que describe por sí mismo.

Figura 2. Sistema de encendido



Fuente:http://1.bp.blogspot.com/_WY_xNWoiCe0/S_cJn6CIyeI/AAAAAAAAAAM/49DZjgd0Kgs/s1600/arrancad001.jpg

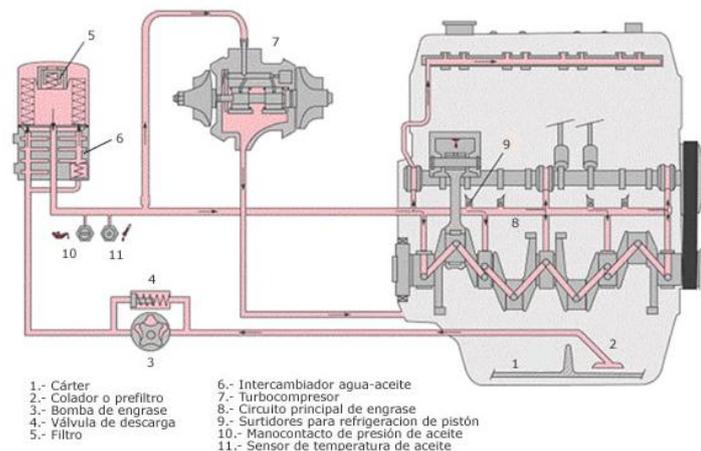
Los motores de combustión describen ciclos de cuatro fases: admisión, compresión, combustión y escape; pero dicho motor únicamente entrega energía en la fase de combustión, por lo que necesita energía para el resto.

Será el sistema de encendido quien se encargue de dichas fases, aportando esta energía mediante un motor eléctrico que mueve al cigüeñal o eje del motor, además el sistema de encendido tiene otra función y es la de almacenar y generar esta energía eléctrica, mediante las baterías y el alternador.

Después de realizar las fases correspondientes debe producir el encendido del combustible, como el caso del motor Otto, que produce chispas en la cámara de combustión o bien se encarga de enviar el combustible diesel mediante las bombas de inyección (SLIDESHARE, 2011).

2.1.5.2 Sistema de lubricación. Dentro de un motor, hay muchas piezas que giran y rozan, estas hacen un contacto directo de metal con metal, y causan una pérdida de energía y el agarrotamiento por la fricción.

Figura 3. Sistema de lubricación



Fuente:<http://www.aficionadosalamecanica.net/images-engrase/engrase-motor-turbo.jpg>

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.

El sistema de lubricación tiene la función de: enviar el aceite bajo presión, de filtrar, enfriar, circular y ajustar la presión del aceite.

En comparación con los motores de gasolina, los métodos de combustión del motor diesel son diferentes y las cargas aplicadas sobre cada parte son mayores, por lo tanto, el aceite se ensucia fácilmente y las temperaturas son más altas, lo cual significa que, por lo general el método de filtración es del tipo combinado, y hay un enfriador del aceite (LICONA PAYARES, 2014).

2.1.5.3 *Sistema de admisión.* El sistema de admisión consiste de una caja de filtros si se utiliza, elemento filtrante, tubería y conexiones al múltiple de admisión o turbocargador.

Figura 4. Sistema de admisión



Fuente: Autores

Un sistema de filtrado efectivo provee al motor aire limpio con una restricción mínima, separando del aire los materiales finos como el polvo, arenas, etc. También debe permitir la operación del motor por un período de tiempo razonable antes de requerir servicio, un sistema de filtrado ineficiente afectará de manera adversa el desempeño, las emisiones y la vida útil del motor (DEERE, 2014).

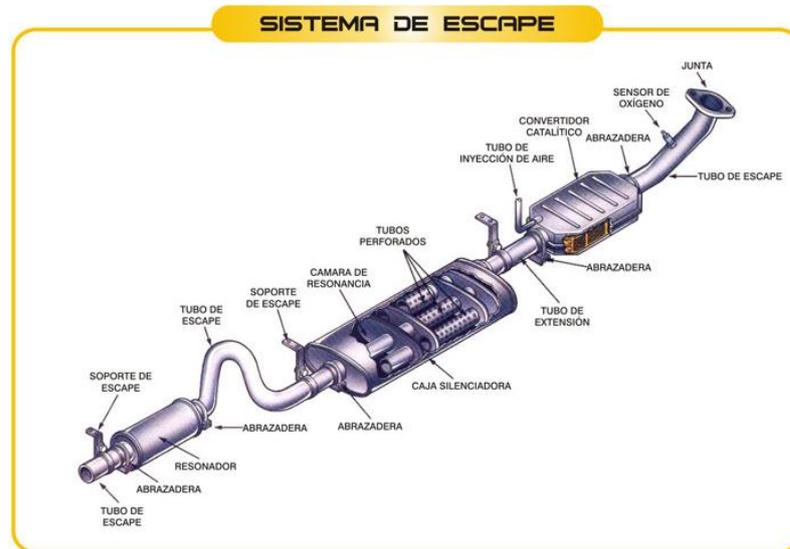
2.1.5.4 *Sistema de escape.* El sistema de escape se puede dividir en dos partes:

- Las que corresponden al motor.
- Las que corresponden al tubo de escape que conduce los gases al ambiente.

Los gases muy calientes, (hasta 700°C), que abandonan el motor se hacen converger en el múltiple de escape, y se conducen a través de tuberías a los distintos dispositivos que

componen el sistema, hasta terminar en la atmósfera a través del tubo de cola. La temperatura de los gases va decreciendo a medida que se mueve por el sistema, pero siempre se tratará de que salgan a la atmósfera aun a más de 100°C.

Figura 5. Sistema de escape



Fuente: <http://www.toyocosta.com/blog/wp-content/uploads/2014/05/escape.jpg>

Partes constituyentes del sistema de escape:

- Las válvulas de escape.
- El múltiple de escape.
- Los sensores de oxígeno.
- El convertidor catalítico.
- El silenciador.
- El resonador.
- El tubo de cola o salida.
- Los tramos de conducto que unen las partes.

Particularidades de las partes componentes:

Válvulas de escape. Son una parte constituyente del motor, estas válvulas tienen un trabajo muy severo, se mueven a alta velocidad cuando el motor gira rápido, tiene la responsabilidad de cerrar herméticamente la salida de la cámara de combustión y están

en el medio del paso de gases a más de 700°C cuando el motor trabaja con carga y velocidades elevadas, estas condiciones hacen que las válvulas de escape sean una pieza del motor de altas exigencias constructivas y de material.

El múltiple de escape. Este elemento es algo más que un conjunto de conductos que hacen converger los gases quemados a un tubo único dotado de un platillo de acople donde se une el tubo de escape. Lo primero que debe cumplir el múltiple de escape es tener suficiente resistencia a la corrosión para ser duradero a las altas temperaturas de funcionamiento, lo que generalmente se logra con un proceso de aluminación, silicación, cromización o la combinación de estos procesos sobre un tubo de acero, o bien utilizando hierro fundido aleado, además debe impedir un elevado enfriamiento de los gases calientes, por eso, es común que sean de paredes metálicas gruesas.

El silenciador. Este elemento tiene el objetivo de amortiguar el ruido que se produciría si la onda mecánica de choque generada cuando se abre la válvula de escape llegase directamente al exterior, el silenciador tampoco es imprescindible, pero pueden imaginarse una vía de tráfico intenso si todos los automóviles produjeran ruido intenso, por eso, en la mayoría de los países es de uso obligatorio este dispositivo.

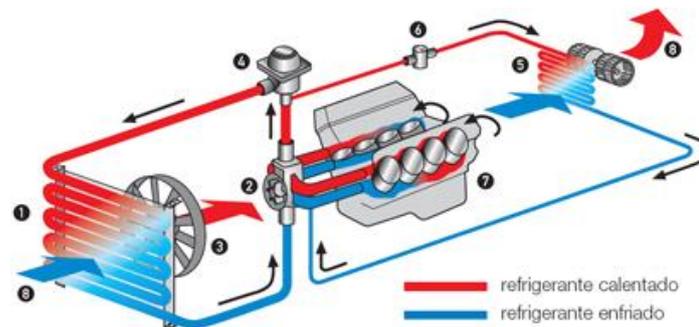
El resonador. Es un elemento complementario que junto con el colector de escape y sus salidas permiten un equilibrio en la salida de los gases, permitiendo que salgan de manera rápida y eficaz y así disminuir ruidos y mejora el rendimiento en distintas revoluciones a las que es sometido el motor según la exigencia que requiera.

El tubo de salida de gases de escape. Durante su trayectoria a lo largo de todo el laberinto anterior en el tubo de escape, los gases se han enfriado, este enfriamiento en ciertos casos de funcionamiento a poca potencia, permite que los gases puedan llegar a una temperatura menor de 100°C dentro del tubo de escape, lo que implica que el abundante vapor de agua que contienen pueda condensarse como agua líquida, más probablemente en el tubo de cola que está al final, el agua en este estado puede formar soluciones con las otras sustancias que contienen los gases de escape, para producir agentes muy corrosivos, preferentemente ácidos: nítrico, con los óxidos de nitrógeno, y sulfúrico, con el dióxido de azufre de las gasolinas que contiene este elemento.

Los tramos de tubo de escape. No son tramos de un tubo cualquiera, son en general de paredes muy finas para que sean de poco peso, y relativamente flexibles y así evitar cargas adicionales a las partes integrantes durante las dilataciones y contracciones, por el notable cambio de temperatura entre reposo y funcionamiento, además están en el "frente de guerra" sometido por el exterior a la intemperie y por el interior a gases oxidantes muy caliente, por eso reciben un tratamiento protector superficial, generalmente aluminado, que le permite resistir esas condiciones por largo tiempo (ORG, 2014).

2.1.5.5 Sistema de Refrigeración. Durante el funcionamiento del motor, la temperatura alcanzada en el interior de los cilindros es muy elevada, superando los 2000°C en el momento de la combustión.

Figura 6. Sistema de refrigeración



- | | | |
|----------------------------|---------------------------|---------------------|
| ❶ Radiador de refrigerante | ❸ Termostato | ❹ Motor |
| ❷ Bomba de refrigerante | ❺ Intercambiador de calor | ❻ Corriente de aire |
| ❸ Ventilador del radiador | ❻ Válvula de calefacción | |

Fuente: http://www.radiadoresstopcar.com.ve/wp-content/uploads/2012/03/1.se_.jpg

Esta temperatura, al estar por encima del punto de fusión de los metales empleados en la construcción del motor, podría causar la destrucción de los mismos. Aunque esta temperatura sea instantánea, pues baja durante la expansión y escape de los gases, aun así la temperatura media es muy elevada, y si no se dispusiera de un buen sistema de refrigeración, para evacuar gran parte del calor producido en la explosión, la dilatación de los materiales sería tan grande que produciría en ellos agarrotamientos y deformaciones, por lo tanto el sistema de refrigeración tendrá que evacuar el calor producido durante la combustión hasta unos límites donde se obtenga el máximo

rendimiento del motor, pero que no perjudiquen la resistencia mecánica de las piezas ni el poder lubricante de los aceites de engrase (MEGANEBY, 2013).

2.2 Repotenciación de motores.

Hay muchas diferentes maneras de hacer que las máquinas mejoren su rendimiento. Los fabricantes de autos están constantemente jugando con todas las siguientes variables para hacer a las máquinas más potentes y/o más ahorradoras de combustible.

2.2.1 Variables de mejora del rendimiento del motor:

2.2.1.1 Incremento del desplazamiento. Esto significa más torque y potencia porque puede quemar más combustible durante cada revolución del motor, incrementando el desplazamiento del émbolo.

2.2.1.2 Incremento de la relación de compresión. Produce más potencia, hasta cierto punto, entre más se comprima la mezcla aire/combustible, más espontánea es la explosión antes de que la chispa la encienda. Las gasolinas de alto octano previenen este tipo de combustiones tempranas, es por esto que los autos de alto desempeño generalmente necesitan gasolina de alto octano sus motores utilizan altos porcentajes de compresión para tener más potencia.

2.2.1.3 Mejor llenado de los cilindros. Si coloca más aire y combustible en cada cilindro de determinado tamaño, puede obtener más potencia del cilindro, de la misma forma que habría aumentado el tamaño del cilindro. Los turbo cargadores y súper cargadores presurizan el aire entrante para colocar más aire efectivamente en cada cilindro.

2.2.1.4 Enfriamiento del aire entrante. Comprimir el aire eleva su temperatura, debería tener el aire más fresco en el cilindro porque el aire caliente es el más escaso, porque se expande cuando la combustión se produce, muchos autos con súper cargador y turbo cargador tienen un enfriador interno, este es un radiador especial en el que el aire comprimido pasa para ser enfriado antes de que entre al cilindro.

2.2.1.5 *Dejar que el aire entre más fácil.* A medida que el émbolo se mueve en la fase de admisión, la resistencia del aire afluir puede afectar el rendimiento volumétrico del motor, la resistencia del aire puede ser reducida dramáticamente colocando dos válvulas de succión en cada cilindro los autos modernos lo utilizan, los filtros de aire grandes también pueden mejorar el flujo de aire.

2.2.1.6 *Dejar que los gases de escape salga más fácilmente.* Si la resistencia del aire hace que se le dificulte la salida a los gases del cilindro, le quita potencia al motor, la resistencia del aire puede ser reducida añadiendo una segunda válvula de descarga a cada cilindro, un auto con 2 válvulas de succión y descarga tiene 4 válvulas por cilindro, lo que mejora el desempeño, si el tubo de escape es muy pequeño o el mofle tiene gran cantidad de resistencia de aire entonces esto puede causar una presión que tiene el mismo efecto, los sistemas de descarga de alto desempeño utilizan cabeceras, grandes tubos de escape para eliminar la presión en el sistema de descarga.

2.2.1.7 *Reducir pesos en partes móviles.* Las partes ligeras ayudan al motor a que se desempeñe mejor, cada vez que un pistón cambia la dirección utiliza energía para detener el recorrido en una dirección y comenzar en otra, entre más ligero el pistón, volante de inercia, cigüeñal y bielas, menos energía se perderá.

2.2.1.8 *Inyección de combustible.* Permite tener una medida precisa de combustible para cada cilindro, esto mejora el desempeño y la economía de combustible.

2.2.2 *Repotenciación en el sistema de admisión.* Para repotenciar el sistema de admisión o sobrealimentarlo, ya que este depende directamente del aire que ingresa al múltiple de admisión se lo puede realizar con un compresor de lóbulos, de paletas o un turbocompresor son muchos los casos en que el aire aspirado no puede considerarse normal, pues ha perdido sus condiciones ya sea porque, la altura o el calor le han hecho perder su presión acostumbrada ya sea por las condiciones de trabajo que imponen una temperatura demasiado alta. En caso de los motores de avión y también en climas tropicales y desérticos es posible que no nos interese tanto conseguir mayor potencia introduciendo más combustible sino conseguir la misma potencia recuperando el aire perdido que se conseguirá al introducir más aire para recuperarlo por los distintos factores de temperatura y climáticos (MILLARES, 1987 pág. 12).

2.2.3 *Repotenciación en el sistema de escape.* Permitirá recuperar potencia perdida en el tramo de escape debido a su flujo, a la geometría de los ductos y a la evacuación de la temperatura o a su vez, se puede utilizar todos estos factores perdidos con la implementación de un turbocompresor.

Que trata de la combinación motor-turbosoplante, es decir que los gases de escape alimentan una turbina que mueve un soplador centrífugo montado sobre su mismo eje que es el que alimenta la aspiración del motor, los elementos añadidos son de alta velocidad, pequeños y ligeros que aprovecharan la parte de energía contenida en los gases de escape mejorando el rendimiento general y la baja de consumo, al reducirse la densidad del aire atmosférico la turbina encuentra menor resistencia y se embala más para encontrar un nuevo punto de equilibrio en el que el soplante absorbe esa energía adicional con lo que el aire se comprime más, compensando así la pérdida de densidad haciendo al motor casi insensible al efecto de la altura (MILLARES, 1987 pág. 14).

2.2.4 *Elevación de compresión.* Para la repotenciar el motor por medio de elevación de compresión se puede actuar por:

- Por aumento de la cilindrada.
- Por aumento de la presión media efectiva.
- Por aumento del régimen de giro.

2.2.4.1 *Por aumento de la cilindrada.* El aumento de cilindrada puede darse modificando la cámara de combustión, superficie del culata, modificando los émbolos y la superficie entre la culata y el block, generalmente no se recomienda modificar únicamente la cámara de combustión ya que todo el esfuerzo será recibido por la culata, por otra parte se puede modificar la relación de compresión al modificar la geometría de los émbolo si se modifica la altura de la cabeza se puede aumentar el aumento de cilindrada o cambio de relación de compresión que tiene como finalidad el aumento de potencia efectiva máxima. Este tipo de trabajos se puede realizar, teniendo mucho cuidado de que el émbolo no choque contra la culata, ya que en la mayoría de los motores el émbolo corona al cilindro, lo que significa que el tanto superior del émbolo, estando en punto muerto superior está exactamente a la misma altura tope de los cilindros por esta razón la modificación deberá realizarse con mucho cuidado, teniendo

en la mayoría de los casos modificar la geometría de la cabeza del émbolo, para evitar el choque, no solamente sobre la culata sino sobre el mismo empaque (COELLO SERRANO, 2006 pág. 63).

2.2.4.2 *Por aumento de la presión media efectiva.* Se lo puede obtener al variar la relación de compresión modificación del perfil de levas, sincronización variable de válvulas modificando la cámara de combustión, aumentando la relación de compresión, adicionando empaques especiales en el cabezote, modificando la geometría de los colectores tanto de escape como de admisión, con todos estos parámetros se obtiene un aumento de presión media efectiva elevando así la presión media efectiva de combustión y la potencia en el motor.

2.2.4.3 *Por aumento del régimen de giro.* Para conseguir un aumento de régimen de giro se debe hacer modificaciones como en los codos de biela, codos de bancada, mejora en el eje cigüeñal y su respectivo balanceo que depende de la variación de pesos en los émbolos y el volante de inercia, además de esto se debe corregir la lubricación en el cigüeñal, a pesar de que el fabricante ha diseñado el eje cigüeñal para dar mejores resultados se puede aliviar su peso original, reduciendo con ello la inercia producida elevando con esto el número de revoluciones.

Las bielas son otro elemento que pueden ser sometidas a un cambio de su diseño original, especialmente en lo que se refiere a su peso y en mejoras de lubricación, ya que se desea llegar a un régimen de mayor revoluciones es importante que las mismas puedan soportar fuerzas de tracción, presión y flexión durante su trabajo con esto se consigue llegar a un mayor número de revoluciones, siempre y cuando no varíe la resistencia de cada elemento y su balanceo sea el adecuado.

Generalmente se puede llegar a un incremento de revoluciones con solo alivianar pesos en distintos elementos, el motor puede tener una elevada potencia pero con un bajo torque ya que aprovecha las revoluciones altas de funcionamiento para conseguir una mejor potencia efectiva.

CAPÍTULO III

3. DIAGNÓSTICO TÉCNICO DEL ESTADO ACTUAL DEL MOTOR.

3.1 Despiece del motor.

El despiece del motor no se pudo realizar en su totalidad ya que el motor en condiciones iniciales se encontró en la mayor parte desacoplado y sin ningún apriete, se tuvo un inconveniente al desmontar el émbolo 2 y 3, ya que por el desgaste de las camisas se dificultaba la extracción con los rines de aceite como se puede ver en la figura 7 obtenemos la culata desprendida, en el motor no existía la bomba de inyección ni el motor de arranque, el cárter con severos golpes además no se encontraba con ningún tipo de protección, disolvente o recubrimiento para que el mismo no sufra mayor degradación ya que se encuentra en la interperie y totalmente desprotegido.

Figura 7. Motor en condiciones iniciales



Fuente. Autores

3.2 Inspección visual.

Según un aspecto visual se puede identificar los diferentes elementos del motor existentes y realizar una breve descripción de su estado de conservación ya que muchos de ellos permanecieron en condiciones atmosféricas, sin ningún cuidado o protección.

3.2.1 *Análisis según la inspección visual:*

Los émbolos se encuentran en mal estado y con severos golpes como se muestra en la figura 8 literal (1), además falta dos segmentos, literal (2) o rines de potencia en el primer émbolo, excesiva holgura de funcionamiento en los anillos del émbolo, los émbolos se encontraban con deformaciones y sus cojinetes de biela con trabajo excesivo además se ven muestras de excesivo hollín en la cabeza de los émbolos y en parte del block de cilindros, esto nos da a conocer un diagnóstico apriori de una indebida combustión que puede producirse por varios factores como una mala inyección por mucho paso de combustible ya sea por una mala pulverización de los inyectores, otro factor relevante sería la fuga de presión de aceite entre los segmentos y los émbolos produciendo así excesivo hollín que además de todos estos motivos mecánicos puede suscitarse por un inadecuado sistema de operación.

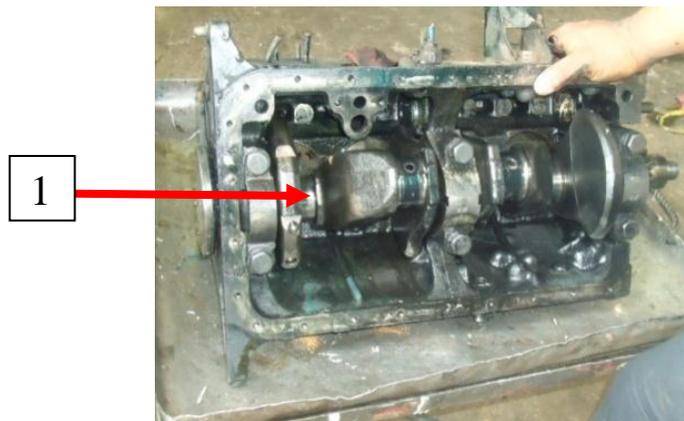
Figura 8. Émbolos y bielas en mal estado



Fuente. Autores

Los cojinetes del cigüeñal se encuentran en mal estado faltando un par de cojinetes de biela en el émbolo número 4 como se muestra en la figura 9 literal (1) y el cigüeñal con oxido por las condiciones en que se encontraba el motor.

Figura 9. Conjunto cigüeñal y block



Fuente: Autores

Además de dos bielas torcidas, se puede deducir que las bielas se encuentran torcidas ya que, al desmontarlas presentaron más dificultad que la otra y se puede observar un ligero cambio de tamaño y simetría al colocarlas una junto a la otra, esto que puede ser producido por el choque abrupto en la parte superior donde realiza el mayor trabajo debido ya sea a una mala inyección, tensiones mecánicas, un sobreesfuerzo ya sea de revoluciones o demasiado torque al que fue sometido al momento de trabajo al que le podemos adjuntar un mal mantenimiento y una mala ocupación por parte de los operarios.

Figura 10. Bielas



Fuente: Autores

Algunas válvulas con muy bajo bisel y marcas de hollín y se encuentran golpeadas. Se pudo observar que la culata presenta una capa de oxidación como se muestra en la figura 11 literal (1) ya que se encontraba desacoplado del motor y sin ningún recubrimiento o protección alguna.

Figura 11. Culata



Fuente: Autores

Las bujías de precalentamiento como se muestra en la figura 12 literal (1), al desmontarlas de la culata se pudo observar que sus electrodos están completamente quemados y las bases de los mismos se encuentran averiadas debido a un mal manejo de las mismas, un mantenimiento inadecuado, una inadecuada conexión y por negligencia de la persona encargada de estos elementos, al desmontar el filtro literal (2) se observa la presencia de partículas extrañas.

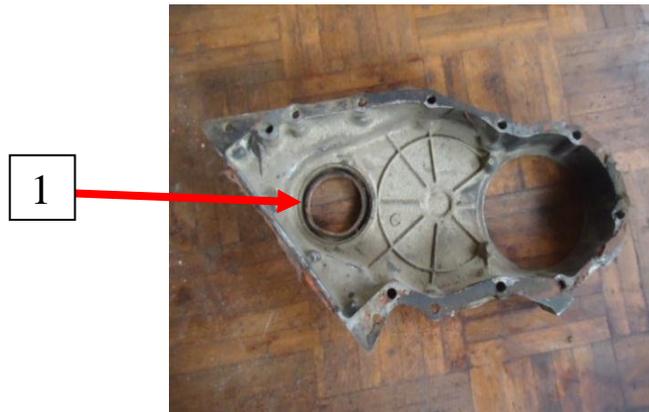
Figura 12. Culata vista lateral derecha



Fuente: Autores

La tapa de distribución estaba sucia y presenta una deformación en el retén como se muestra en la figura 13 literal (1), esto debido a una posible sobretensión mecánica al que fue sometido el aceite, también puede ser un defecto de fábrica o falla del elemento por haber cumplido ya sus horas de vida útil para el que fue diseñado.

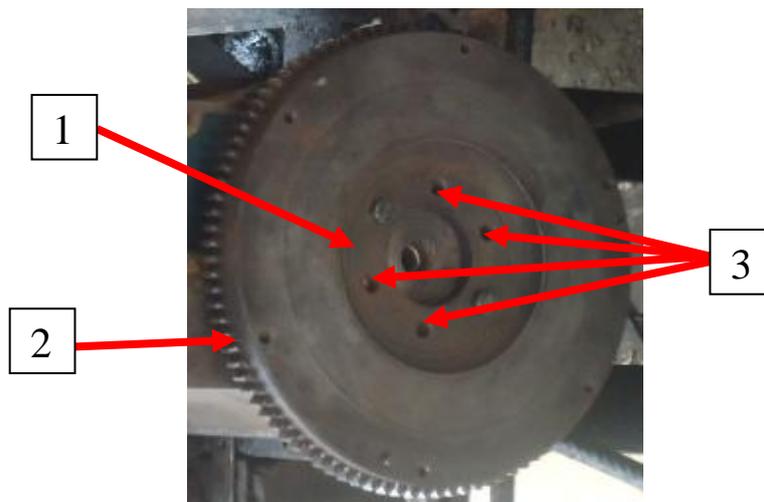
Figura 13. Tapa de distribución



Fuente: Autores

El volante de inercia presenta de oxidación como se muestra en la figura 14 literal (1), la rueda dentada literal (2) se encuentra en buenas condiciones y se encontraban faltantes 4 pernos literal (3).

Figura 14. Volante de inercia



Fuente: Autores

Las camisas presentan oxidación como se muestra en la figura 15 literal (1) y un desgaste elevado como se puede observar, ya que presenta diferencias dimensionales entre la cabeza y su falda esto que puede ser causa de un trabajo excesivo, un mal mantenimiento, el motor fue sometido a mucha carga, un refrigerante inadecuado un aceite mal seleccionado además de los factores climáticos que ayudan a la degradación de los elementos en este caso las camisas quedando así obsoletas ya que han perdido sus propiedades mecánicas y sus dimensiones para las que fueron fabricados.

Figura 15. Camisas



Fuente: Autores

El buje del disco de embrague se encuentra con excesiva holgura ya que los segmentos tanto primarios como secundarios se encuentran fuera de su rango dimensional.

Figura 16. Disco de embrague



Fuente: Autores

El alojamiento del motor de arranque presenta flexión y oxidación como se muestra en la figura 17 literal (1).

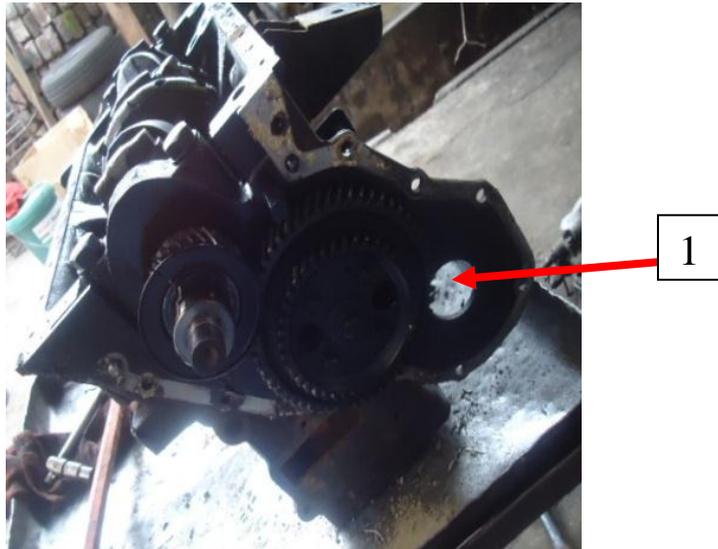
Figura 17. Base del motor de arranque



Fuente: Autores

La distribución del motor es de engranajes como muestra en la figura 18 faltando el piñón lateral (1) que conecta la distribución con la bomba de inyección mismo que presenta una reducción de dos a uno que indica que mientras el cigüeñal da dos vueltas la bomba de inyección dará solamente una con un número de dientes de 40 que conectará al árbol de levas y así complementará la distribución por engranes del motor.

Figura 18. Engranajes de distribución



Fuente: Autores

El alternador se encontraba sucio y desacoplado del motor como se muestra en la figura 19, además se puede observar que consta de una válvula de avance al vacío que puede servir para el servo freno o como ayuda de algún aditamento mecánico.

Figura 19. Alternador



Fuente: Autores

En el ventilador se observó que el mecanismo que conecta las hélices con la polea se encuentra obsoleto como se muestra en la figura 20, quedando obsoleto el mecanismo de ventilador con accionamiento variable.

Figura 20. Ventilador



Fuente: Autores

Los resortes guías y seguros de válvula mostrado en la figura 21 literal (1), se encuentran en buen estado, con la acotación que al desmontarlas los soportes de sus bases se encontraban obsoletos por la fricción a las que están sometidos, tanto las válvulas como los resortes, por otra parte se puede observar el ducto de entrada y salida de refrigerante que al desmontarlo no presentaba la válvula conocida como termostato.

Figura 21. Resortes guías y seguros de válvula



Fuente: Autores

El empaque de la culata presenta golpes y cortes; los inyectores se encuentran en buen estado de funcionamiento; el cárter con severos golpes y un agujero; los rociadores se

encuentran sucios y obstruidos; los múltiples de admisión y escape se encontraban con un nivel de oxidación moderado; la bomba de aceite se encuentra en buen estado; la bomba de agua se encuentra en buen estado; el termostato se encuentra remordido y oxidado; el buje del pistón tiene rozamiento y desgaste.

3.2.2 Elementos faltantes del motor:

Tabla 1. Elementos faltantes del motor

Nº	Nombre del elemento	Cantidad
1	Bomba auxiliar de combustible	1
2	Bomba de inyección	1
3	Cañería de aceite	1
4	Cañerías de agua	2
5	Cañerías de presión	4
6	Chaqueta de biela	1
7	Filtro de aire	1
8	Mangueras de aire	2
9	Motor de arranque	1
10	Pernos de biela	2
11	Pernos del cárter	8
12	Pernos del volante de inercia	4
13	Piñón de distribución	1
14	Radiador	1
15	Reten de presión de aceite del block	1
16	Segmentos de aceite	3
17	Termostato	1
18	Válvula de estrangulación de aire	1
19	Varillas de los balancines	2

Fuente: Autores

3.3 Prueba de fisuras.

3.3.1 Prueba hidrostática. Esta prueba esta únicamente dirigida hacia el block de cilindros y a la culata, misma que determinará si existen o no fisuras en los ductos de lubricación y refrigeración.

Esta prueba se realizó en la máquina de prueba comprobador de culatas y bocks, con una temperatura de refrigerante de 80°C que simula la temperatura del motor en condiciones de trabajo y los ductos fueron sometidos a una presión de 4 bares.

Figura 22. Máquina comprobador de culatas y blocks



Fuente: Autores

Esta prueba se realizó en la ciudad de Ambato en la rectificadora Nuñez misma que dio como resultados que la culata y el block de cilindros se encuentran en buen estado, sin fisuras ni daños además de la comprobación de la bancada del cigüeñal.

3.4 Análisis de los elementos principales del motor.

3.4.1 Culata. Se comprueba con la regla si existe o no ovalamiento, ya sea por trabajo o por un incremento de temperatura excesivo, se comprobó además el alojamiento de las válvulas emitiéndole presión de aire con la máquina rectificadora de asientos, además de la prueba hidrostática que se realizó para ver si no existe fisuras.

3.4.2 Block de cilindros. Además de la prueba hidrostática se verifica el alojamiento de la bancada y el alojamiento del cabezote, y sus respectivos cojinetes de acero laterales faltando uno.

3.4.3 Cigüeñal. El cigüeñal presentaba una capa de óxido pero al ser removida dando una medida aceptable de uso tampoco presenta deformaciones de torsión ni flexión, además no ha perdido sus características mecánicas y geométricas.

3.4.4 Biela – pistón. El mecanismo biela pistón muestra un exceso de trabajo y los pistones se encuentran obsoletos están deformados y sus medidas no cumplen con los rangos adecuados, dos bielas presentan deformación por flexión y se encuentran obsoletas.

3.5 Resumen de diagnóstico de estado de los elementos del motor.

Tabla 2. Elementos del motor, estado y acción tomada

N°	Elemento	Descripción	Acción		
			Limpiar	Reparar	Reemplazar
01	Árbol de levas	Sucio	X		
02	Alternador	Oxidado	X		
03	Balancines	Sucios	X		
04	Bielas	Dos se encuentran torcidas	X		X
05	Block	Sucio	X		
06	Bomba auxiliar de combustible	Faltante			X
07	Bomba de aceite	Buen estado	X		
08	Bomba de agua	Oxidada	X		
09	Bomba de inyección	Faltante			X
10	Bujías de precalentamiento	Obsoletas			X
11	Culata	Sucio	X		
12	Camisas	Oxidadas y deformadas			X
13	Cañerías de presión	Faltantes			X

Continuación de la tabla 2. Elementos del motor, estado y acción tomada

14	Cárter	Agujereado y deformado	X	X	
15	Cigüeñal	Oxidado	X		
16	Cojinetes del cigüeñal	Desgastadas			X
17	Disco de embrague	Obsoleto			X
18	Émbolos	Deformaciones			X
19	Empaquetadura	Fisurada			X
20	Engranajes de distribución	Sucios y faltante el de la bomba de inyección	X		X
21	Filtro de aceite	Obstruido			X
22	Filtro de aire	Faltante			X
23	Filtro del combustible	Obstruido y deteriorado			X
24	Inyectores	Buenas condiciones	X		
25	Motor de arranque	Faltante			X
26	Múltiple de admisión	Sucio	X		
27	Múltiple de escape	Sucio	X		
28	Poleas	Sucias	X		
29	Radiador	Faltante			X
30	Regulador de aceleración	Faltante			X
31	Resortes guías y seguros de válvula	Sucios	X		
32	Rociadores	Obstruidos	X		
33	Segmentos	Desgastados y con demasiada holgura			X

Continuación de la tabla 2. Elementos del motor, estado y acción tomada

34	Tapa de distribución	Oxidada	X		
35	Tapa válvulas	Sucio	X		
36	Termostato	Faltante			X
37	Válvulas	Quemadas			X
38	Válvula de desfogue del motor	Sucio y obstruido	X	X	
39	Ventilador	Sucio y averiado	X	X	
40	Volante de inercia	Oxidado	X		

Fuente: Autores

La mayoría de los elementos móviles como son émbolos, segmentos, camisas, bielas, cojinetes, bulones de biela son fáciles de adquirir en el mercado Ecuatoriano, la única dificultad que presenta es encontrar una bomba de inyección compatible con la carrera de inyección del motor siendo de 40 dientes, 10 por cada cilindro y reducción de dos a uno. Para ello se tiene una bomba de inyección con similares características pero de forma lineal.

3.6 Resultados del diagnóstico.

- El motor se encuentra en un estado de abandono y descuido total, además de que el plan de mantenimiento no fue el correcto.
- Los conductos y cañerías que intervienen en la refrigeración presentan oxidación debido a un refrigerante no apropiado.
- El motor estuvo sometido a elevada carga o presión por los usuarios.
- De las pruebas hidrostáticas se observó un resultado favorable ya que los elementos tratados no se encontró defecto alguno.

CAPÍTULO IV

4. REHABILITACIÓN DEL MOTOR.

4.1 Condiciones iniciales de funcionamiento del motor.

El motor es de aspiración normal con una capacidad de aceite de 2,2litros y una cilindrada de 2164cc y una disposición de 4 cilindros en línea y trabaja con combustible diesel, no disponible con turbo alimentación, fue utilizado en el Nissan Cedric de 1965-1971, se produjo también una versión marina MN22 en la década de los 80, el motor también fue utilizado en las camionetas Datsún 720 de 1980 a 1983, produciendo 61CV de freno a 4000RPM.

4.1.1 Datos técnicos del motor:

Tabla 3. Datos técnicos del motor SD22

Motor SD22, 4 cilindros en línea / longitudinal. inyección indirecta	
Cilindrada	2164cc
Diámetro del pistón	83mm
Carrera del pistón	100mm
Relación de compresión	23:1
Potencia	61CV a 4000rpm
Par	145Nm a 1800rpm
Peso en vacío	1320Kg

Fuente:<http://www.forocoches.com/foro/newreply.php?do=newreply&p=11629531>

4.2 Requerimientos.

4.2.1 Espacio físico utilizado:

- El taller ubicado en las calles 18 de Marzo y David Parra (Cantón Chambo).
- Rectificadora tecnimotors ubicada en la ciudad de Riobamba.

- Rectificadora Núñez ubicada en la ciudad de Ambato avenida Indoamericana kilómetro 1.
- Laboratorio de termodinámica de la facultad de mecánica de la ESPOCH.
- Laboratorio turbo diesel ubicado en la ciudad de Riobamba en el kilómetro 1/2 vía San Luis.

4.2.2 *Herramientas:*

4.2.2.1 *Herramientas de precisión manuales:*

- Torquímetro.
- Micrómetro.
- Calibrador pie de rey.
- Anemómetro.
- Manómetro.
- Reloj palpador.

4.2.2.2 *Herramientas manuales:*

- Herramientas de fijación.
- Herramientas de sujeción.
- Herramientas de corte.
- Martillos.
- Extractores.
- Calibrador de válvulas.

4.2.3 *Equipos utilizados:*

- Rectificadora de cigüeñales.
- Máquina de pruebas hidrostática.
- Banco dinamométrico FA 200/30 SP ESPOCH.
- Torno.
- Fresadora.

- Rectificadora de asientos.
- Compresor.
- Soldadora.

4.2.4 *Insumos:*

- Barras de plastigage.
- Desengrasante 5 galones.
- Gasolina 10 galones.
- Lija 1000 6 pliegos.
- Lija 500 2 pliegos.
- Papel victoria.
- Diesel 30 galones.
- Aceite 15W40 2,4 litros.
- Aceite de pipa 40 2,5 litros.
- Filtro de aceite.
- Pintura 1 litro entre azul, plateado, negro y dorado.
- Refrigerante 5 galones.
- Barra de acero de 50 centímetros de largo y de diámetro 2 pulgadas.
- Acero estructural 3 metros.
- Cemento de contacto.
- Pegamento de pernos 1 frasco.

4.2.5 *Equipo de protección personal (EPP):*

- Guantes automotrices.
- Gafas.
- Overol.
- Botas punta de acero.
- Mascarilla.
- Orejeras.
- Mandil.

4.3 Ensamblaje y calibración.

Para el ensamble se establece las siguientes medidas tomadas del manual del fabricante como se muestra en la tabla 4:

Tabla 4. Tolerancia de los elementos constitutivos del motor SD22

N°	Elemento	Tolerancia (mm)	Grados
1	Ángulo de cara de la válvula.		45-30
2	Asiento de válvula.	0,2-0,4	
3	Biela, doblado y torsión.	0,04	
4	Borde de la camisa.	0,02	
5	Borde de la culata.	0,2	
6	Bulón con respecto de su alojamiento.	0,003	
7	Cigüeñal.	0,1	
8	Diferencia entre el vástago de válvula.	0	
9	Entre el engrane y árbol de levas.	0,08-0,28	
10	En segmento colocado en la camisa.	1,5	
11	Espacio de la cámara.	89,7	
12	Guía de Válvula admisión.	0,0015-0,045	
13	Guía de Válvula escape.	0,15-,02	
14	Levantador de válvula.	12,666-12,684	
15	Pie de resorte.	1,3	
16	Rectitud del balancín.	0-0,1	
17	Separación del balancín y válvula.	0,02-0,05	
18	Segmento uno.	0,5	
19	Segmento dos y tres.	0,3	
20	Segmento cuatro y cinco.	0,15	
21	Variación de medida en el árbol de levas.	0-0,03	

Fuente: Manual de inspección y reparación del motor SD22 (Anexo A)

Tabla 5. Medidas estándar de los elementos del motor SD22

N°	Elemento	Medida(mm)	Tolerancia
1	Leva (del árbol de levas).	36,8	
2	Medida entre el borde de alojamiento del culata y el centro del alojamiento del cigüeñal.	267,7	
3	Camisa en forma circular.	82,995-83,025	0,3
4	Diámetro del émbolo.	82,845-82,885	0,15

Fuente: Manual de inspección y reparación del motor SD22 (Anexo A)

Para llegar a las condiciones del motor se debe verificar los elementos adquiridos cumplan con estas medidas de la tablas 4 y 5, además de la verificación del correcto funcionamiento de los elementos adquiridos, bomba de inyección que se adquirió fue una bomba lineal que es comandada su regleta de aceleración por un diafragma de vacío, los parámetros de la misma en las probetas fueron para arranque en frío de 8ccy de régimen máximo 4cc cumpliendo así condiciones aceptables de uso, bomba auxiliar de combustible que alimente correctamente a la bomba de inyección y el motor de arranque que está en buenas condiciones y su capacidad le permita dar las primeras revoluciones de giro al motor, para su accionamiento se ocupa dos baterías de 12V conectadas en serie.

4.3.1 Ensamblaje. Para el apriete de los pernos se ocupa la tabla 6 y 7, con excepción de los pernos de la bancada y de la culata, que su orden de apriete y valor fueron tomados del Anexo A y B

Tabla 6. Reconocimiento de pernos

Dureza	 SAE 2	 SAE 5	 SAE 7	 SAE 8
Marcas	Sin rasgos	3 rayas	5 rayas	6 rayas
Material	Acero al carbono	Acero al carbono	Acero al carbono templado	Acero al carbono templado
Fuerza Mínima	13,22 kg por cm	21,43 kg por cm	23,75 kg por cm	26,79 kg por cm

Fuente: http://www.todomotores.cl/mecanica/torque_pernos.htm

Tabla 7. Variaciones de torque

Clase de perno	Modificación del torque
Normal lubricado con aceite	Disminuir 15 a 25%
Normal con teflón o grasa	Disminuir 50%
Plateado cadmio lubricado	Disminuir 25%
Plateado zinc lubricado	Disminuir 15%

Fuente: http://www.todomotores.cl/mecanica/torque_pernos.htm

Para el ensamblaje se estableció el siguiente orden:

Antes de empezar con el proceso de ensamble se comprueba asentamiento de válvulas mediante la máquina rectificadora de asientos, con una presión de 3,5 PSI que se muestra en la figura 23 literal (1), esta prueba se la realizó para cada una de los orificios de las válvulas, dándonos como resultados un cierre adecuado entre la falda de la válvula y el asiento de la misma, además sus presiones fueron adecuadas quedando completamente asentadas las válvulas.

Figura 23. Rectificadora de asientos de válvulas



Fuente: Autores

- Limpiar muy detalladamente el block de cilindros, cigüeñal y culata ya que se realizaron trabajos pulimiento en la rectificadora y pruebas, partículas que ocasionarían problemas en caso de no tomar en cuenta este detalle.

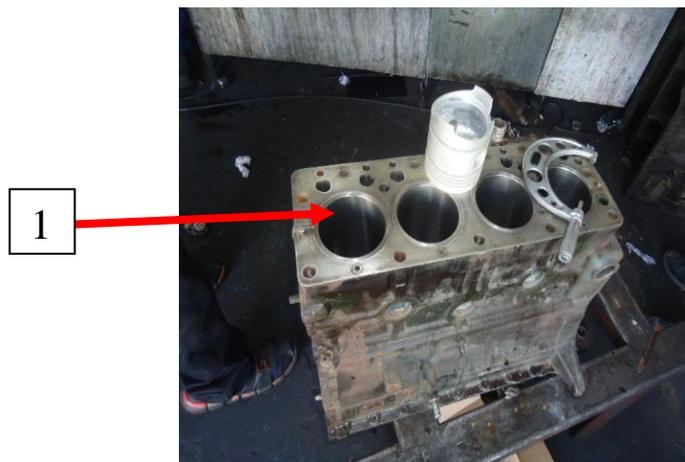
Figura 24. Rectificadora de cigüeñales



Fuente: Autores

- Colocación de las camisas mostrado en la figura 25 literal (1) en el bloque de cilindros.

Figura 25. Camisas cambiadas



Fuente: Autores

- Colocar los bujes nuevos en los apoyos del árbol de levas, luego de colocarlos comprobar las medidas y holguras necesarias que servirán para su respectiva lubricación y su correcto funcionamiento.
- Colocar los cojinetes de bancada para montar el cigüeñal tomando en cuenta su posición y orden.
- Montaje del cigüeñal y comprobación de su holgura mediante plastigage de 0,004in que se muestra en la figura 26, demostrando así un parámetro de holgura

para la película de aceite aceptable ver Anexo A, prueba que se repitió para cada cojinete.

Figura 26. Holgura mediante plastigage



Fuente: Autores

- Colocación de los rociadores.
- Acople de los émbolos con las bielas mediante el bulón y sus seguros.
- Montaje de los segmentos o rines en cada émbolo, tomar en cuenta que cada émbolo posee dos rines de aceite además la disposición y ubicación de los segmentos en el émbolo.
- Montaje de los émbolos en el block de cilindros como se muestra en la figura 27.

Figura 27. Montaje émbolos



Fuente: Autores

- Apriete primario y secundario de la bancada de biela siguiendo un orden en espiral de adentro hacia afuera.

Figura 28. Conjunto block-cigüeñal



Fuente: Autores

- Comprobación de holgura existente entre los cojinetes y el cigüeñal mediante plastigage para los cojinetes de biela.
- Colocación de la rejilla de aceite.
- Colocar bomba de aceite.
- Colocación del árbol de levas.
- Colocación de guías de válvulas.
- Colocación de válvulas con sus resortes y seguros.

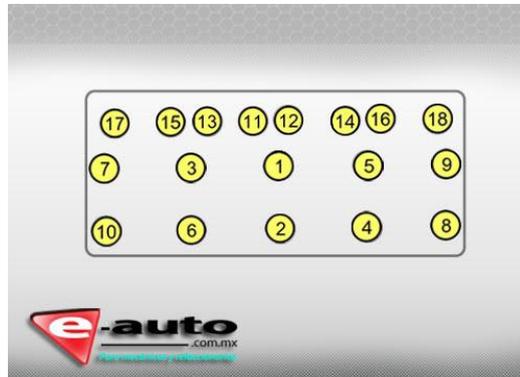
Figura 29. Culata armada



Fuente: Autores

- Apriete primario y secundario de la culata con su respectivo torque y orden ver Anexo B.

Figura 30. Orden de apriete



Fuente: <http://www.e-auto.com.mx/imagenes/manuales/torques-de-cabeza/NISSAN-4L-132-OHV-SD22-SD25.jpg>

- Montaje de los balancines y sus respectivas varillas de accionamiento.
- Empacada total de las tapas del cabezote y cárter.
- Coloque de la bomba de inyección.
- Empacar la tapa de distribución.
- Coloque de la bomba de agua, base del termostato y conductos.

4.3.2 *Instalación de los accesorios del motor:*

- Volante de inercia.
- Motor de arranque.
- Alternador.
- Poleas y banda.
- Tomas y filtros de aire de alto flujo.
- Ventilador y radiador.
- Válvula de desfogue.

4.3.3 Calibración. Ya que los elementos están debidamente medidos y comprobados la calibración se hará únicamente en la holgura de válvulas y en el grado de inclinación de la bomba de inyección, en función de: altura, temperatura, densidad del aire, y presión atmosférica.

4.3.3.1 Holgura de válvulas. Para la toma de esta medida se establece el siguiente proceso:

- Desmontaje del tapa válvulas.
- Mover el cigüeñal hasta que el pistón número 1, quede en solape de válvulas y se puede tomar la medida.
- Seleccionar la galga adecuada:
- Comprobar la medida.
- Apretar o aflojar según este lo requiera.
- Repetir el proceso para cada pistón.
- Asegurarse del apriete.
- Montar la tapa válvulas.

4.3.3.2 Grado de inclinación de la bomba de inyección. Para la toma de esta medida se establece el siguiente proceso:

- Aflojar los pernos de fijación de la bomba.
- Verificar marcas de inclinación de la bomba.
- Colocar el primer pistón en el punto muerto superior.
- Regresar en sentido contrario de giro del cigüeñal hasta que el pistón baje al valor aproximado de 2mm.
- Hacer coincidir el inicio de la inyección de la bomba en ese punto.
- Repetir el proceso tres veces para verificar.

Esta medida se toma a nivel del mar, pero como se trabajará a una altura aproximada de 2673 metros, estos parámetros de deberán modificar inyectando un poco más de combustible mismo que no será quemado en su totalidad por la falta de oxígeno pero compensará la pérdida de potencia al enviar la bomba de inyección más combustible.

CAPÍTULO V

5. REPOTENCIACIÓN DEL MOTOR.

Para repotenciar este motor se ha escogido realizar la implementación de un turbocompresor, ya que se puede instalar un turbocompresor de los existentes con facilidad debido a su geometría y a su disponibilidad en el mercado, que también nos presenta el múltiple de escape y de admisión al mismo lado lo cual facilita su implementación, además la bomba de inyección es regulable según el aire que ingresa al motor, es de 4 cilindros que nos permitirán la facilidad de que el conjunto motor-turbocompresor trabajen en perfectas condiciones.

5.1 Selección del turbocompresor.

Para repotenciar el motor o incrementar su potencia efectiva de todas las maneras existentes se escogió implementar el turbocompresor por las siguientes razones:

- Múltiple de admisión y escape al mismo lado.
- Bomba de inyección regulable según el régimen de aspiración de aire.
- Todo motor diesel tiene la capacidad de soportar el doble de aspiración de aire sin ser sometido a ninguna otra variación.
- Fácil acceso en el mercado nacional.
- Esta calibrado el motor con exceso de combustible debido al ambiente y altura en que trabajará.

Figura 31. Disposición de los múltiples



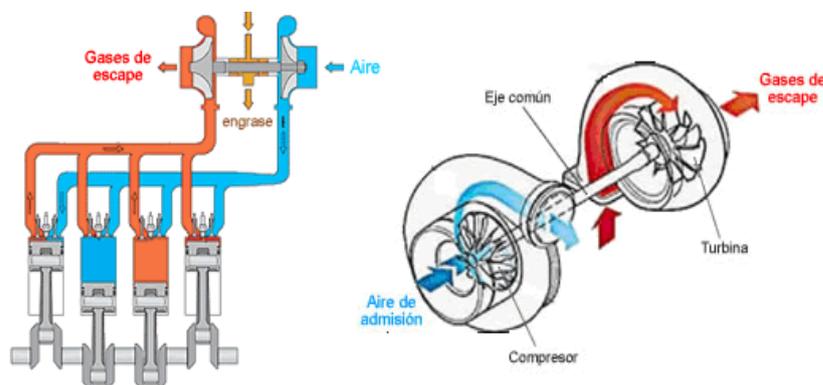
Fuente: Autores

5.1.1 El turbocompresor. Empleados por la mayoría de los motores diesel de hoy en día, tanto en turismos como en vehículos pesados así como por algunos motores a gasolina, en estos últimos comenzó utilizándose en modelos deportivos, obteniéndose elevadas potencias con bajas cilindradas y un peso contenido. Actualmente en su aplicación a motores de gasolina se emplea también en modelos de corte más turístico, sirviendo para ello, tanto de las mejoras experimentadas por los avances de la electrónica en su gestión, como de la utilización de unidades de pequeño tamaño con lo que el retraso de respuesta se hace apenas imperceptible (PÉREZ BELLÓ, 2011 pág. 420).

El compresor centrífugo y la turbina centrípeta son dos máquinas muy aptas para ser montadas sobre un mismo eje, ya que son inversamente proporcionales una de la otra e interconectadas el cual forman el turbocompresor, su velocidad de giro será única y el rendimiento total será el rendimiento de la turbina por el rendimiento del compresor, las temperaturas a las que va hacer sometido el turbo con los gases de escape será aproximadamente de 750°C.

Además con el turbocompresor se puede mejorar el rendimiento mecánico para una misma potencia específica, al implementar componentes internos de menor tamaño que un motor atmosférico de idéntica potencia, mejora el rendimiento térmico al trabajarse con presiones y temperaturas más elevadas, mayores prestaciones para una misma cilindrada, menor consumo para unos requerimientos de potencia similares. En la práctica es frecuente que el consumo suba por la predisposición a exigir más prestaciones (PÉREZ BELLÓ, 2011 pág. 414).

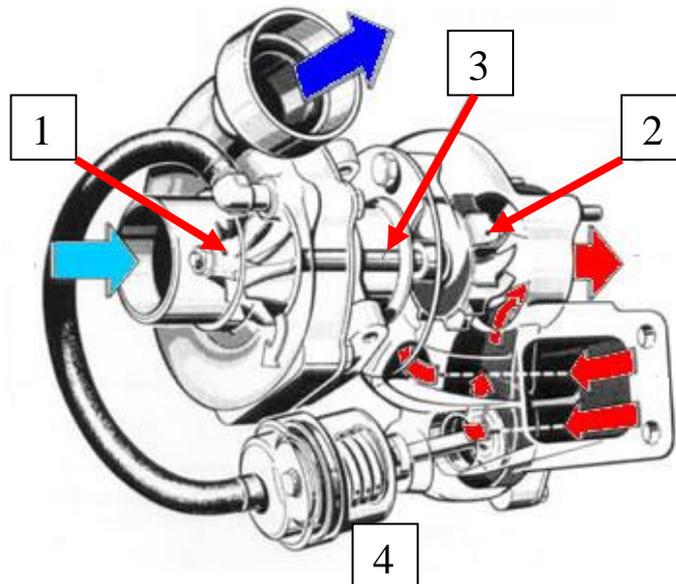
Figura 32. Circulación de los gases en el turbocompresor



Fuente: <http://img86.imageshack.us/img86/2351/turboprincipiofuncion1wr6.gif>

5.1.2 Constitución de un turbocompresor:

Figura 33. Partes del turbocompresor



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/imagesturbo/turbo-esquema.jpg>

Los elementos principales que forman un turbocompresor son como se muestra en la figura 33 el eje común literal (3) que tiene en sus extremos los rodets de la turbina literal (2), el compresor literal (1), válvula de descarga o válvula wastegate literal (4), está formado por dos carcasas solidarias la que integra la turbina, expuesta por tanto a los gases residuales, se fabrica en fundición de hierro aleada con níquel, para así proporcionar resistencia mecánica y a la temperatura, la carcasa que aloja el compresor centrífugo se fabrica de aluminio, más que por su ligereza, por su capacidad de disipación de calor. La turbina está fabricada por una aleación de cromo níquel y hierro, en modelos de altas prestaciones puede utilizarse cerámica el rotor tiene una aleación de aluminio al igual que la carcasa, el eje de la turbina con el rotor del compresor se fabrica en acero de alta resistencia y calidad apoyado en cojinetes de bronce sinterizado. También dispone de un cojinete axial para soportar el empuje generado por la salida de los gases. En la práctica, el eje no apoya directamente en los cojinetes de bronce ya que tiene una lubricación hidrodinámica, de tal forma que es sustentado por un cojín de aceite similar a los cojinetes de bancada, pocos turbocompresores de gran tamaño y velocidad de giro bajas disponen rodamientos de bolas (PÉREZ BELLÓ, 2011 pág. 421).

5.1.3 *Funcionamiento en distintos tipos de motores.* En los motores diesel el turbocompresor está más difundido debido a que un motor diesel trabaja con exceso de aire al no haber mariposa, por una parte; esto significa que a igual cilindrada unitaria e igual régimen motor (RPM) entra mucho más aire en un cilindro diesel. En el caso del motor SD22 existe una válvula de estrangulación en la entrada del múltiple de admisión que a su vez gobierna el caudal de entrada de combustible mediante el vacío de la bomba de inyección y por ello se facilita la implementación del turbocompresor en el motor.

Figura 34. Bomba de inyección y válvula de estrangulación



Fuente: Autores

Por otra parte, y esto es lo más importante, las presiones alcanzadas al final de la carrera de compresión y sobre todo durante la carrera de trabajo son mucho mayores (40 a 55 bares) que en el motor de ciclo Otto (motor de gasolina) (15-25 bares). Esta alta presión, necesaria para alcanzar la alta temperatura requerida para la auto-inflamación del combustible, es el origen de que la fuerza de los gases de escape a igual régimen, cilindrada unitaria y carga requerida al motor sea mucho mayor en el diésel que en la gasolina.

5.1.4 *Ventajas de usar un turbocompresor:*

- Permite aumentar la potencia de un motor, sin la necesidad de hacer mayores cambios.

- Contribuye al rescate de la energía, ya que usa como medio propulsor los gases de escape del motor.
- Añade poco volumen y peso al motor, lo que permite encajarlo a un vehículo sin modificaciones externas.
- Debido a que depende de la presión entre los gases de escape y el medio ambiente se auto-ajusta a cualquier altitud sobre el nivel del mar (WIKIPEDIA, 2013).

5.1.5 Cálculos para la selección del turbocompresor. Un motor de combustión interna funciona porque quema una mezcla aire-combustible, en general no resulta un gran problema ir introduciendo mayores cantidades de aire-combustible para aumentar la potencia sin variar la cilindrada ni realizar mayores cambios al diseño del motor pero siempre tomando en cuenta en no exceder del doble de aire que necesita el motor para su combustión (MILLARES, 1987 pág. 11).

Para la adecuada selección de un turbocompresor se deberá tomar en cuenta que el motor trabaja con carburante diesel con lo cual no tendrá problemas con una posible autoignición, como lo tendría un motor a gasolina, debido al incremento de temperatura que es directamente proporcional al incremento de presión que surgirá al incorporar un compresor de aire a la entrada de la admisión, la disposición del múltiple de escape y de admisión que se encuentran al mismo lado como se puede observar en la figura 29.

5.1.5.1 Obtención del caudal de aire aspirado:

Cilindrada unitaria. Es el volumen de un cilindro y corresponde al volumen desplazado por el émbolo en una carrera (DÍAZ, 2008 pág. 176).

$$V_u = \frac{\pi}{4} * d^2 * l \quad (1)$$

Dónde:

V_u = Cilindrada unitaria (cm³).

d = Diámetro del pistón (cm).

π = Constante pi (3,1416).

l = Carrera del pistón (cm).

$$V_u = \frac{\pi}{4} * (8,3cm)^2 * 10cm$$

$$V_u = 541,06 cm^3$$

Cilindrada total. Conocida como cilindrada; es el producto de la cilindrada unitaria por el número de cilindros (DÍAZ, 2008 pág. 177).

$$V_T = V_u * i \quad (2)$$

V_T = Cilindrada total (cm³).

V_u = Cilindrada unitaria (cm³).

i = Relación de compresión.

$$V_T = (541,06 cm^3) * (4)$$

$$V_T = 2164,24 cm^3$$

Masa teórica de aire aspirado. La masa teórica de aire que es aspirada en el cilindro y que ocupa la cilindrada unitaria (DÍAZ, 2008 pág. 178).

$$m = \frac{p_{ref} V_u}{RT_1} \quad (3)$$

Dónde:

m = Masa teórica de aire aspirado

p_{ref} = 0,9922bar o 1.01204kgf/cm² ver Anexo E

V_u = Cilindrada unitaria

R = 287J/(kg.°K) o 2926,6(kgf.cm/kg.°K)ver Anexo E

T_1 = 20°C o 293°K

$$m = \frac{(1,01204kgf/cm^2) * (541,06 cm^3)}{(2926,6kgf.cm/kg.°K) * (293 °K)}$$

$$m = 0,00063857kg$$

Obtenida la masa teórica de aire aspirado se multiplicara por 2 debido a que el motor aspirará 2 veces en una revolución.

$$m = 0,00063857kg * 2$$

$$m = 0,001277kg$$

Si el motor gira a 1000 rev/min la masa teórica será:

$$m_t = \frac{0,00127kg * 1000rev/min}{1rev}$$

$$m_t = 1,27kg/min$$

$$m_t = 0,021kg/s$$

Obtenido el cálculo de masa teórica en kg que es un valor de peso y mediante la ecuación 4 determina el valor de la masa volumétrica.

$$m_v = \frac{m}{\rho} \quad (4)$$

m_v = Masa volumétrica (m^3)

m = Masa teórica (kg)

ρ = 1,293(kg/ m^3) densidad del aire atmosférico ver Anexo C.

$$m_v = \frac{0,001277kg}{1,293kg/m^3}$$

$$m_v = 0,0009876m^3$$

Si el motor gira a 1000 rev/min la masa teórica será:

$$m_v = \frac{0,0009876m^3 * 1000rev/min}{1rev}$$

$$m_v = 0,987m^3/min$$

$$m_v = 0,016m^3/s$$

Continuando con la misma analogía se obtiene datos de caudal de aire a diferentes revoluciones, la misma que se puede aplicar ya sea en kilogramos o en metros a diferentes revoluciones obteniendo así la tabla 8.

Tabla 8. Flujo másico para distintas revoluciones

Nº	Revoluciones(RPM)	m_t (kg/s)	m_v (m ³ /s)
1	1000	0,021	0,016
2	1100	0,023	0,018
3	1200	0,026	0,020
4	1300	0,028	0,021
5	1400	0,03	0,023
6	1500	0,032	0,025
7	1600	0,034	0,026
8	1700	0,036	0,030
9	1800	0,038	0,031

Fuente: Autores

5.1.5.2 Obtención de datos geométricos de los turbocompresores:

Selección de la marca del turbocompresor:

De las marcas existentes como:

- Garrett
- Holset
- 3k
- Schwitzer
- Mitsubishi
- IHI
- Hitachi
- Toyota
- CZ

De todas estas marcas existentes los fabricantes diseñan turbocompresores para distintos motores como el Holset, que se lo utiliza para los motores Cumins, el triple K se ocupa en los motores Mercedes y en el caso de los motores Nissan según el catálogo de Turbo Master y su aplicación en el mercado nacional, se concluye que Nissan ocupa como marca principal Garrett ver Anexo D.

Clasificación de tipos y modelos de turbocompresores. Tomando en cuenta el año de fabricación de los autos por la tecnología involucrada en esa época ya que así como el aceite y sus grados de viscosidad fueron variando según los años y sus exigencias así mismo se fueron variando el diseño mecánico del motor y sus accesorios como así el turbocompresor. También se toma en cuenta un rango de referencia de cilindrada que oscila de 1500 a 3000cc se obtiene la tabla 9.

Tabla 9. Aplicación de Garrett en los motores Nissan

Nº	Modelo	Año	Motor	Cilindraje (cc)	Numero de cilindros	Modelo del turbo
1	100ZX	1983		1.500	4	TBO208
2	100ZX	1985		1.500	4	TB0212
3	100ZX	1986		1.500	4	TB0212
4	100ZX	1984		1.800	4	TB0210
5	200SX	1988	CA18DET	1.800	4	TB2525
6	200SX	1989	CA18DET	1.800	4	TB2525
7	200SX	1996	SR20DET	2.000	4	TB2815
8	200SX	1994	SR20DET	2.000	4	TB2809
9	300ZX	1989		3.000	V6	TB2209
10	300ZX	1989		3.000	V6	TB2207
11	300ZX	1989		3.000	V6	TB2210
12	300ZX	1989		3.000	V6	TB2206
13	BLUEBIRD	1984	VG20ET	2.000	4	TB2502
14	BLUEBIRD	1985	VG20ET	2.000	4	TB2502
15	BLUEBIRD	1986		2.000	4	TB2502
16	BLUEBIRD	1984		1.800	4	TB0207
17	BLUEBIRD	1985	L18T	1.800	4	TB0210

Continuación de la tabla 9. Aplicación de Garrett en los motores Nissan

18	BLUEBIRD	1986	L18T	1.800	4	TB0210
19	BLUEBIRD	1988	L18T	1.800	4	TB0210
20	CHERRY	1985		1.500	4	TB0212
21	CHERRY	1986		1.500	4	TB0212
22	PATROL	1985	MT4T	2.800	4	TB0347
23	PATROL	1986	M24T	2.800	4	TB0347
24	PATROL	1989	RD28T	2.800	6	TB2527
25	PATROL	1990	RD28T	2.800	6	TB2533
26	PRIMERA	1996	CD20T	2.000	4	TB25
27	PULSAR GTIR	1990		2.000	4	TB2804
28	SILVIA	1994	SR20DET	2.000	4	TB2809
29	SILVIA	1996	SR20DET	2.000	4	TB 2815
30	SKYLINE	1985		2.000	4	TB2504
31	SKYLINE	1986		2.000	4	TB2504
32	SUNNY	1990		2.000	4	TB2804
33	TERRANO	1988	TD27TD	2.700	4	TB2557
34	TERRANO II	1997	TD27TDI	2.700	4	TB25
35	TERRANO II	1993	TD27TD	2.700	4	TB2557
36	TERRANO II	1993	TD27TD	2.700	4	TB2557
37	TERRANO II	2000	TD27TDI	2.700	4	TB25
38	TERRANO II	2001	TD27TD	2.700	4	TB2580

Fuente: Catálogo de Turbo Master (Anexo D)

De la tabla 9 se obtuvo una clasificación de los turbocompresores ocupados de 1500 a 2800cc en los motores Nissan, además de su parentesco en épocas o años de uso y junto a su geometría y disposición de bocas se realizó una preselección, obteniendo así un grupo de turbos de similares características ya sea, geométricas o de proporción de caudal la misma que servirá para un perfecto acople, entre el motor Nissan SD22 y cualquiera de los turbocompresores preseleccionados, además con ello se descarta la posibilidad de obtener un turbo que entre en condiciones sónicas, correr el riesgo de obtener un turbo que sobrepase su régimen de giro, permitiendo que los turbos

preseleccionados ingresen en zona de bombeo adecuado y con un rendimiento que no sobrepase sus condiciones mecánicas para la que fue diseñado.

Tabla 10. Preselección de turbocompresor

N°	Turbo	Cilindrada cc
1	TB0208	1500
2	TB0212	1500
3	TB0207	1800
4	TB2525	1800
5	TB0210	1800
6	TB2804	2000
7	TB2809	2000
8	TB2502	2000
9	TB2815	2000
10	TB2504	2000
11	TB25	2000
12	TB2557	2700
13	TB2580	2700
14	TB0347	2800

Fuente: Autores

Tipos existentes en el mercado. En el mercado nacional se puede encontrar todos los turbos clasificados en la tabla 10, además de distinta procedencia y precio y su variada disposición geométrica y sistema de refrigeración.

5.1.6 Selección del turbocompresor. El turbocompresor seleccionado fue el TB28 ya que es más ocupado en motores de similares características y de la misma marca, ya que los diámetros del colector de admisión y escape son similares a los del compresor y la turbina, además la facilidad de repuestos es muy variada y se lo puede obtener en un alterno chino que nos ahorrara más del 50% en el valor monetario, se puede acotar también que el enfriamiento de este es únicamente con aceite y se acopla de mejor manera con el motor Nissan SD 22 además se tomará en cuenta las siguientes condiciones:

- El caudal volumétrico que circula por el compresor viene impuesto por el rendimiento volumétrico y la cilindrada del motor.
- La potencia suministrada por la turbina es igual a la absorbida por el compresor.
- El caudal de aire que circula por la turbina es casi igual al que circula por el compresor.
- El caudal másico que circula por el motor viene impuesto por las condiciones de salida del compresor.
- La potencia de la turbina es función de la energía aprovechable de los gases de escape.
- El caudal que circula por la turbina viene impuesto por el que suministra el motor.

Ensayo de turbomáquinas:

El compresor tiene la finalidad de elevar la presión del aire atmosférico con el objeto de llenar el colector de aspiración del motor.

Tomando datos de las dimensiones de entrada y salida del compresor y utilizando el ensayo de turbomáquinas ver Anexo E, se llega a obtener un flujo teórico de aire comprimido del compresor que sumado al aire aspirado del motor no debe superar el doble de aire que el motor aspire sin el compresor (MILLARES, 1987 pág. 12).

Mapa del compresor:

Velocidades:
$$C_1 = \frac{RT_1 \dot{m}}{P_1 A_1} \quad (5)$$

C_1 = Velocidad de entrada de aire del compresor (m/s)

$R = 29,27$ (kgf.m/kg.°K) Constante de gases Ver anexo E

$\dot{m} = \dot{m}_t$ Gasto teórico (kg/s) como se muestra en la tabla 8

T_1 = Temperatura de entrada del compresor (°K)

P_1 = Presión de entrada del compresor (kgf/m²)

A_1 = Área de entrada de aire del compresor (m²)

$$C_2 = \frac{RT_2 \dot{m}}{P_2 A_2} \quad (6)$$

C_2 = Velocidad de salida de aire del compresor (m/s)

T_2 = Temperatura de salida del compresor (°K)

P_2 = Presión de salida del compresor (kgf/m²)

A_2 = Área de salida de aire del compresor (m²)

Temperaturas de parada:
$$T_{10} = T_1 + \frac{C_1^2}{2C_p} \quad (7)$$

T_{10} = Temperatura de parada de entrada (°K)

T_1 = Temperatura de entrada del compresor (°K)

C_1 = Velocidad de entrada de aire del compresor (m/s)

C_p = Capacidad calorífica (m/s²°K) Ver anexo D

$$T_{20} = T_2 + \frac{C_2^2}{2C_p} \quad (8)$$

T_{20} = Temperatura de parada de salida (°K)

T_2 = Temperatura de salida del compresor (°K)

C_2 = Velocidad de salida de aire del compresor (m/s)

Presiones de parada:
$$P_{10} = P_1 \cdot \left(\frac{T_{10}}{T_1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (9)$$

P_{10} = Presión de parada de entrada (kgf/m²)

P_1 = Presión de entrada del compresor (kgf/m²)

T_{10} = Temperatura de parada de entrada (°K)

T_1 = Temperatura de entrada del compresor (°K)

γ = Constante de los gases 1,4 ver anexo F

$$P_{20} = P_2 \cdot \left(\frac{T_{20}}{T_2}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (10)$$

P_{20} = Presión de parada de salida (kgf/m²)

P_2 = Presión de salida del compresor (kgf/m²)

T_{20} = Temperatura de parada de salida (°K)

T_2 = Temperatura de salida del compresor (°K)

Relación de compresión:
$$r_{c,tt} = \frac{P_{20}}{P_{10}} \quad (11)$$

P_{20} = Presión de parada de salida (kgf/m²)

P_{10} = Presión de parada de entrada (kgf/m²)

Gasto corregido:
$$\dot{m}^* = \dot{m} \frac{\sqrt{T_{10}/T_{ref}}}{P_{10}/P_{ref}} \quad (12)$$

\dot{m} = m_t Gasto teórico (kg/s) como se muestra en la tabla 8

T_{10} = Temperatura de parada de entrada (°K)

$T_{ref} = T_1$ Temperatura de entrada del compresor (°K)

P_{10} = Presión de parada de entrada (kgf/m²)

$P_{ref} = P_1$ Presión de entrada del compresor (kgf/m²)

Rendimiento (total a total):
$$\eta_{c,tt} = \frac{h_{2x0} - h_{10}}{h_{20} - h_{10}} = \frac{T_{10} \left(\left(\frac{P_{20}}{P_{10}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right)}{T_{20} - T_{10}} \quad (13)$$

Para la obtención de los datos de la tabla 11 se utiliza las ecuaciones 5-13 y el Anexo E.

Partiendo de las condiciones iniciales en las que va a trabajar el motor que son temperatura y presión de la ciudad de Riobamba, además de las condiciones de los gases como son la constante $\gamma = 1,4$ y el valor probable de aspiración de aire del motor, que viene dado por la cilindrada total del motor que se obtiene con los datos geométricos del mismo, como son diámetro y carrera del émbolo obteniendo un valor de 2164,24cc que será corregido mediante la implementación de ecuaciones descritas anteriormente obteniendo así los siguientes datos.

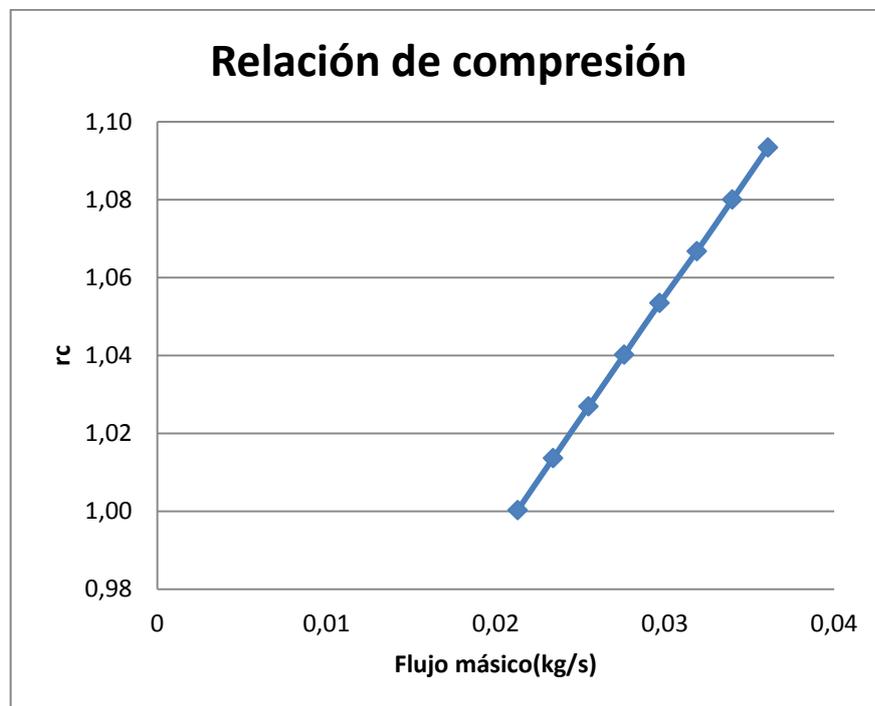
Tabla 11. Mapa del compresor

N°	T ₁	T ₂	P ₁	P ₂	\dot{m}	C ₁	C ₂	T ₁₀	T ₂₀	P ₁₀	P ₂₀	r _{c,tt}	η _{c,tt}	\dot{m}^*
	(°K)	(°K)	(kgf/m ²)	(kgf/m ²)	(kg/s)	(m/s)	(m/s)	(°K)	(°K)	(kgf/m ²)	(kgf/m ²)			kg/s
1	293,15	295,2	7538	7538	0,021	12,12	22,34	293,22	295,40	7544,38	7560,04	1,00	0,08	0,0213
2	293,15	299	7538	7637	0,023	13,32	26,81	293,24	299,38	7545,75	7669,34	1,02	0,222	0,0234
3	293,15	302,9	7538	7737	0,026	14,51	29,22	293,25	303,31	7547,24	7774,87	1,03	0,249	0,0255
4	293,15	306,8	7538	7836	0,028	15,71	31,62	293,27	307,26	7548,86	7880,91	1,04	0,26	0,0276
5	293,15	310,6	7538	7936	0,03	16,90	34,02	293,29	311,21	7550,60	7987,47	1,06	0,266	0,0297
6	293,15	314,5	7538	8035	0,032	18,15	36,54	293,31	315,16	7552,57	8094,92	1,07	0,269	0,0318
7	293,15	318,4	7538	8135	0,034	19,35	38,94	293,34	319,12	7554,58	8202,55	1,09	0,271	0,0339
8	293,15	322,2	7538	8234	0,036	20,54	41,34	293,36	323,09	7556,72	8310,70	1,10	0,272	0,0360
9	293,15	326,1	7538	8334	0,038	21,76	43,78	293,39	327,06	7559,02	8419,50	1,11	0,273	0,0381
16	293,15	352,9	7538	9030	0,053	28,43	59,62	293,55	354,70	7574,07	9189,72	1,21	0,27	0,0528
29	293,15	402,9	7538	10323	0,081	43,19	90,46	294,07	407,05	7621,70	10693,62	1,40	0,26	0,078
40	293,15	445,3	7538	11418	0,104	55,68	116,52	294,69	452,09	7671,61	12036,31	1,56	0,25	0,102

Fuente: Autores

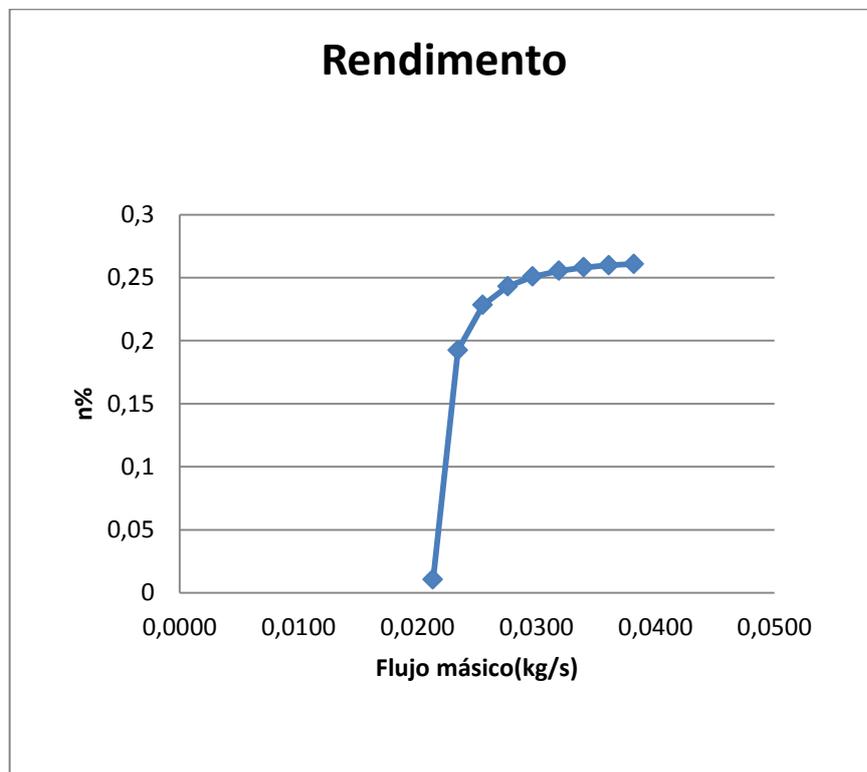
Gráficas:

Figura 35. Relación de compresión del compresor



Fuente: Autores

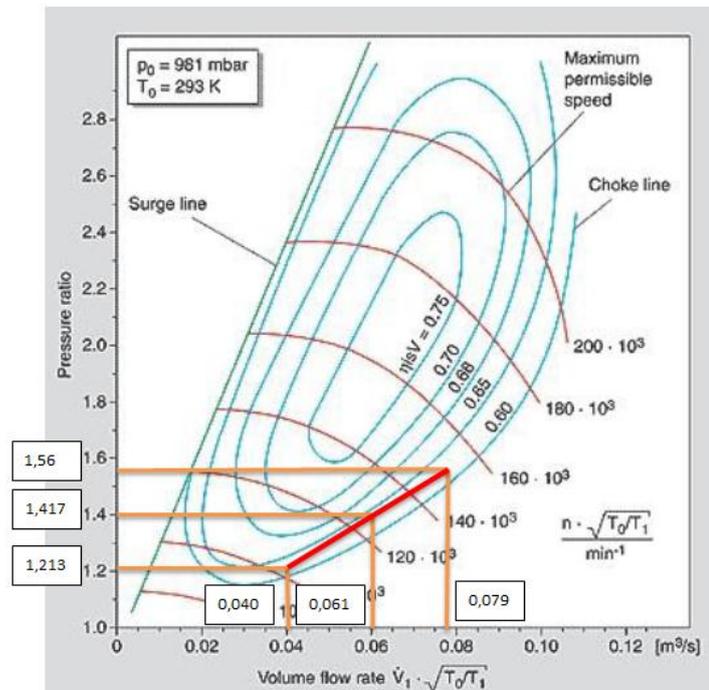
Figura 36. Rendimiento del compresor



Fuente: Autores

Mapa del compresor con los datos obtenidos mediante el ensayo de turbomáquinas a 40 iteraciones su flujo teórico obteniendo en m^3/s aplicando la ecuación 4 ubicada en el capítulo 5.

Figura 37. Mapa del turbocompresor seleccionado



Fuente: Catálogo de Garrett

Este gráfico demuestra que el compresor está en parámetros de funcionamiento y tiene un rendimiento bajo ya que se encuentra en esa zona.

5.2 Acople del turbocompresor al motor.

5.2.1 Comprobación del caudal de aire aspirado. Antes de realizar cualquier modificación al motor se comprobará el flujo másico de aire aspirado real, para corroborar la selección del turbo y no tener ningún inconveniente como una falta de respuesta inmediata, a revoluciones menores y una posible falla a altas revoluciones.

Comparación del aire aspirado con el teórico:

Prueba de comprobación de la aspiración del motor sin turbo, esta prueba se realizó en el laboratorio de termodinámica de la ESPOCH con una temperatura de 18°C .

Figura 38. Anemómetro y revoluciones



Fuente: Autores

La prueba se realizó por tres ocasiones arrojando los siguientes datos:

Tabla 12. Velocidad de aire aspirado sin turbo

N°	RPM	V ₁ (m/s)	V ₂ (m/s)	V ₃ (m/s)	V media	Flujo(m ³ /s)
1	1000	15,5	14,5	15	15	0,017
2	1100	17,4	17,8	17,3	17,5	0,020
3	1200	19,8	20,1	20,1	20	0,023
4	1300	18,8	19,2	19,7	19,2	0,022
5	1400	21,2	21,2	21,2	21,2	0,024
6	1500	23,8	23,9	23,4	23,7	0,027
7	1600	27,4	26,8	26,8	27	0,031

Fuente: Autores

Porcentaje de error entre la prueba y el cálculo:

Tabla 13. Diferencia entre el flujo real y calculado de aire

RPM	Real (m ³ /s)	Calculado (m ³ /s)	Diferencia (m ³ /s)	Porcentaje de diferencia (%)
1000	0,017	0,016	0,0005	3,176
1100	0,020	0,018	0,0019	9,470
1200	0,023	0,02	0,0032	14,122
1300	0,022	0,021	0,0006	2,736
1400	0,024	0,023	0,0010	3,983
1500	0,027	0,025	0,0023	8,556
1600	0,031	0,026	0,0047	15,045

Fuente: Autores

La diferencia que se obtuvo es del 8,156% y se debe a la sensibilidad del instrumento al tiempo de apertura y cierre de válvulas y a la succión misma del motor, factores externos como el ventilador y la geometría de la válvula de aspiración, demostrando así que los datos de aspiración y succión del motor se encuentra en un rango aceptable.

5.2.2 *Selección de los ductos de lubricación del turbocompresor.* Para esta selección se tomará en cuenta que el ducto de presión entrante debe ser de un orificio de diámetro pequeño para que la presión sea adecuada y su flujo sea constante y el turbocompresor no sufra ningún desperfecto por falta de lubricación, además se debe ocupar una cañería de alta presión y recubrimiento metálico misma que soportará altas temperaturas y presiones esto en cuanto al ducto de entrada para el de retorno se tomará en cuenta únicamente el ducto más cercano al cárter y con una cañería de más baja presión que la principal.

5.2.2.1 *Medición presión de aceite del ducto de entrada al turbocompresor.* Esta prueba se la realizó en las siguientes condiciones a una temperatura de 17°C y una presión atmosférica de 556mmHg a 800RPM dando como resultado una presión de 60Psi como se muestra en la figura 39.

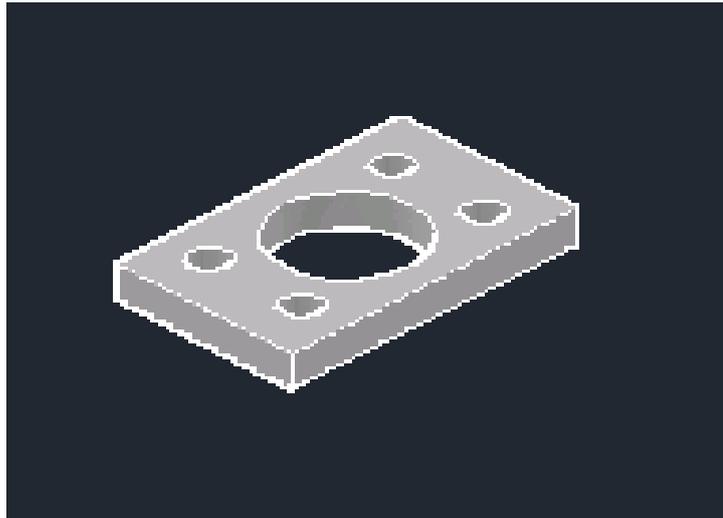
Figura 39. Presión de lubricación del turbocompresor



Fuente: Autores

5.2.3 *Selección de los ductos de aspiración del compresor y turbina.* Para el acople de la turbina se realizó un pequeño cambio al múltiple de escape que al final de su tramo se utilizó una soldadura SMAW que une el múltiple de escape con una plancha es de acero al carbono 1035 de 10mm de espesor y las mismas dimensiones de la turbina como se muestra en la figura 40.

Figura 40. Plancha de acero



Fuente: Autores

Se utilizó un electrodo AGA X48 no maquinable con un precalentamiento de 140°C ver Anexo F, la soldadura soportará temperatura y figura adecuadamente los dos elementos.

5.2.4 *Turbocompresor instalado en el motor:*

Figura 41. Turbocompresor instalado



Fuente: Autores

Para el acople del compresor se ocupó una cañería de tipo flexible y recubrimiento metálico mismo que acopla al múltiple de admisión con el ducto de salida del turbocompresor, para el ducto de aspiración se ocupó un tubo de acero y una manguera con sus respectivos acoples de presión para que no exista ninguna fuga.

Comparación de aspiración de flujo del motor acoplado al compresor:

Comparaciones del flujo con y sin turbo teóricas del compresor acoplado al motor con el aire aspirado del motor, el flujo real se obtuvo con el anemómetro y el área de entrada de aire al compresor.

Figura 42. Medición de datos con turbo



Fuente: Autores

Tabla 14. Flujo comparativo

RPM	Flujo teórico = $m_T * n_{c,tt}$ (kg/s)	Flujo teórico = $m_T * n_{c,tt}$ (m ³ /s)	Flujo real = V*A (m ³ /s)	Porcentaje (%)
1000	0,00168	0,0012993	0,00207077	59,375
1100	0,005106	0,00394896	0,00658159	66,6666667
1200	0,006474	0,00500696	0,00863701	72,5
1300	0,00728	0,00563032	0,00884764	57,1428571
1400	0,00798	0,00617169	0,00966004	56,5217391
1500	0,008608	0,00665739	0,01078497	62
1600	0,009214	0,00712606	0,01274469	78,8461538

Fuente: Autores

Obteniendo así un porcentaje promedio de incremento del 64,7217738 que es el que no supera el doble de aire aspirado por el motor en condiciones normales de funcionamiento quedando así el TB28 acoplado perfectamente al motor SD22.

CAPÍTULO VI

6. PRUEBAS Y PUESTA A PUNTO DEL MOTOR.

6.1 Puesta a punto.

Un motor se dice que está puesto a punto cuando está debidamente calibrado y no exista ninguna fuga de ninguna clase, por consiguiente en el motor SD22 se ha procedido a revisarlo y controlar sus fugas así como la calibración de sus válvulas.

Figura 43. Motor SD22 ensamblado



Fuente: Autores

6.2 Pruebas de funcionamiento.

Las pruebas que se realizaron son las siguientes, torque, potencia efectiva y consumo específico de combustible para las cuales utilizamos el Banco Dinamométrico FA 200/30 SP ubicada en el laboratorio de termodinámica de la ESPOCH, que permita apreciar el funcionamiento del motor y con la obtención de datos se permitan graficar curvas de potencia y torque a determinadas RPM.

6.2.1 Banco dinamométrico. Es una máquina que sirve para comprobar el funcionamiento y determinar diferentes parámetros, como la carga que puede soportar diferentes motores la misma que sometida a diferentes RPM, nos permitirá obtener datos de torque, consumo específico y potencia efectiva. La carga sometida al motor

viene dada por el campo magnético en el estator del banco dinamométrico, generada por las bobinas en su interior y que son accionadas mediante un potenciómetro manual.

Figura 44. Banco Dinamométrico FA 200/30 SP ESPOCH



Fuente: Autores

El motor se acopla mediante una junta cardán o un acople flexible hacia el estator, que permitirá a través de sus bobinas someterlo a carga y esta sea transmitida directamente hacia el eje principal del motor de combustión interna, permitiendo así observar el comportamiento del motor a diferentes revoluciones y diferente carga.

Figura 45. Junta de cardán



Fuente: Autores

Para que se produzca dicha carga en sentido contrario al giro del motor se produce un campo electromagnético en el sentido opuesto que genera un par resistivo que actúa como freno y hace que el motor este sometido a un esfuerzo que viene determinado por

la fuerza del campo electromagnético, al estar sometido el banco a esfuerzo se genera calor mismo que será disipado por un sistema de refrigeración a través de ductos internos en el estator e impulsados por un motor externo eléctrico evitando así posibles sobrecalentamientos

Torque. Cuando se aplica una fuerza en algún punto de un cuerpo rígido, dicho cuerpo tiende a realizar un movimiento de rotación en torno a algún eje. Como en el caso del mecanismo biela manivela del motor de combustión interna o un ejemplo más conocido el de abrir o cerrar una puerta.

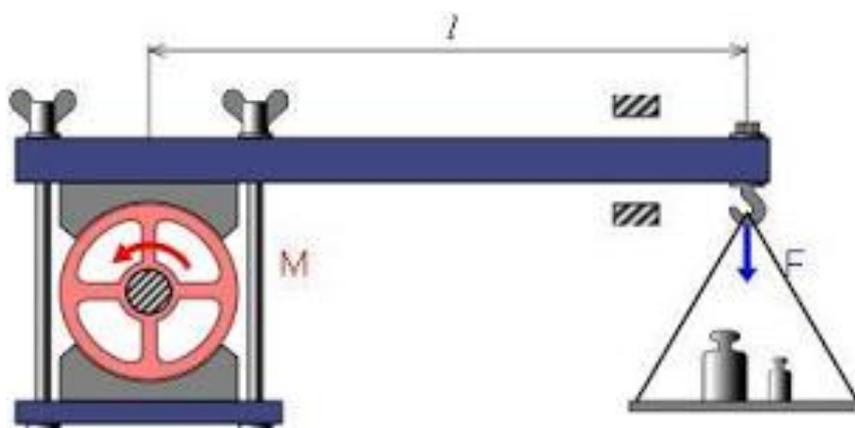
$$M = P \times l \quad (14)$$

Donde M es el torque del motor, P es la carga (peso) en kg y l es la longitud del brazo.

Potencia Efectiva. La fuerza de la explosión aplicada a la biela y transmitida por ésta al codo del cigüeñal para hacerle girar, produce un esfuerzo de rotación que se conoce con el nombre de "par motor". Así pues, el par motor es un esfuerzo de giro.

La potencia efectiva es generada por este par y se conoce también como potencia al freno, ya que se mide empleando un dispositivo frenante, que aplicado al eje del motor, se opone al par motor permitiendo medir su valor.

Figura 46. Esquema de freno dinamométrico



Fuente: [http://1.bp.blogspot.com/-](http://1.bp.blogspot.com/-5HJyaC5mTC0/Ty57gdDD0wI/AAAAAAAAATg/LbYUurRTEB8/s320/FRENO+DE+PRONY.JPG)

[5HJyaC5mTC0/Ty57gdDD0wI/AAAAAAAAATg/LbYUurRTEB8/s320/FRENO+DE+PRONY.JPG](http://1.bp.blogspot.com/-5HJyaC5mTC0/Ty57gdDD0wI/AAAAAAAAATg/LbYUurRTEB8/s320/FRENO+DE+PRONY.JPG)

A cada vuelta del cigüeñal, un punto cualquiera situado en la periferia de la rueda cumple un recorrido igual a $2\pi r$, así que el trabajo de la fuerza tangencial F_t es: (DÍAZ, 2008 pág. 185).

$$W_t = 2\pi r.F_t \quad (15)$$

Ahora el producto $F_t.r$ no es otro que el momento (torque motriz) desarrollado por el motor, el mismo que es igualado por el momento resistente $P.l$ producido por el banco. El trabajo absorbido por el freno a cada vuelta del cigüeñal es por tanto: (DÍAZ, 2008 pág. 186).

$$W_e = 2\pi l.P \quad (16)$$

Entonces la potencia efectiva es la siguiente:

$$N_e = 2\pi l.P.n \quad (17)$$

Donde n es el número de revoluciones del motor en la unidad de tiempo (RPM), l en metros y P en kg. La potencia en CV es: (DÍAZ, 2008 pág. 186).

$$N_e = \frac{2\pi P.l.n}{(75)(60)} \quad (18)$$

$$N_e = \frac{P.l.n}{716,2} \quad (19)$$

Donde P es la carga (peso) en kg, leídos en el dinamómetro del banco.

Consumo específico de combustible. Es la relación entre el flujo de combustible y la potencia efectiva. El flujo de combustible es la masa de combustible que ingresa al motor por el número de cilindros y revoluciones a las que gira el motor y dividido para el tiempo operativo de cada motor, por otro lado la potencia efectiva es el producto entre el rendimiento mecánico del motor y la potencia indicada (DÍAZ, 2008 pág. 218).

El consumo específico estará dado por:

$$C_S = \frac{3600 \cdot V_f \cdot p_b}{t \cdot N_e} \left[\frac{g}{CVh} \right] \quad (20)$$

$$C_S = \frac{V_f \cdot p_b}{t \cdot N_e} \left[\frac{kg}{CVh} \right] \quad (21)$$

En donde V_f volumen en cm^3 de combustible, t el tiempo en segundos para consumir el combustible, p_b es el peso específico del combustible en g/cm^3 .

6.2.1.1 *Instalación del motor en el banco dinamométrico.* Medidas de precaución que se tomó previo a la instalación en el banco dinamométrico:

- Antes de instalar el motor en el banco dinamométrico se tomó datos de referencia de peso del motor que fue de 240 kilogramos, mismo peso que el bastidor de la máquina puede soportar sin ningún problema debido a su robustez, y sus cilindros de gran capacidad.
- Para el acople del motor al banco dinamométrico se utiliza el mecanismo embrague y la junta del banco dinamométrico como se muestra en la figura 46 literal (1).
- Se utilizó adaptaciones de las bases del motor que son paralelas a las bases del bastidor de la máquina, que permitirá una fácil nivelación de la misma como se muestra en la figura 46 literal (2).
- Para la absorción de vibraciones se utilizó gomas de hule flexibles, las cuales se encuentran ubicadas entre las bases del bastidor y las bases del motor como se muestra en la figura 46 literal (3).
- Para el enfriamiento y para el consumo de combustible se ocupó aditamentos adicionales al banco dinamométrico, como son el tanque recirculante de líquido y el medidor de consumo de combustible, con su respectiva probeta y filtros ubicados en el laboratorio para las pruebas.
- Para el escape de gases resultantes durante las pruebas realizadas en el motor, se ocupa un tubo metálico flexible de 2 pulgadas y media de diámetro y 4 metros de longitud, el cual se encuentra en el laboratorio y acoplada al motor de pruebas como se muestra en la figura 46 literal (4).

Figura 47. Motor montado para las pruebas



Fuente: Autores

Pasos a seguir para la instalación del motor en el banco dinamométrico:

- Montar el motor en la bancada del banco dinamométrico
- Colocar el eje estriado que unirá el disco de embrague con el cardan hembra del banco dinamométrico.
- Nivelar el motor junto con el eje cardan.
- Fijar y asegurar las bases del motor a la bancada.
- Acoplar las mangueras del motor al recipiente que nos brindará refrigeración para el motor durante la prueba.
- Realizar una prueba de arranque.
- Colocar la tapa de seguridad de la transmisión en su respectivo sitio para realizar el ensayo.

6.2.1.2 *Toma de datos en el banco dinamométrico.* Antes de tomar cualquier dato y dar carga al motor, se debe verificar la nivelación del acople del banco dinamométrico al motor, así como los ductos de entrada y salida de fluidos para evitar posibles mediciones erróneas o fallas.

Pasos para la obtención de los datos:

- Accionar las bujías de precalentamiento.
- Encender la bomba de agua.
- Dar arranque al motor.
- Mantenerlo encendido 3 minutos.

- Encerar la balanza dinamométrica.
- Acelerar el motor a las RPM que se requiera.
- Dar carga gradualmente.
- Tomar datos de la carga en la balanza dinamométrica.
- Tomar datos de temperatura.
- Tomar datos de tiempo de consumo en la probeta graduada.

6.3 Cálculos de torque, potencia y consumo.

6.3.1 Cálculos de torque, potencia y consumo sin turbo: La prueba se realizó en condiciones de temperatura ambiente igual a 18°C, 2000RPM y la temperatura del recipiente a 50°C se obtuvo los siguientes datos:

Tabla 15. Datos generales sacados del banco dinamométrico sin turbo

RPM (Revoluciones por minuto)	P (kg)	t (min, seg)
1900	1	1 min, 27 seg
1800	5,1	0 min, 52 seg
1700	5,3	0 min, 46 seg
1600	5,6	0 min, 40 seg

Fuente: Autores

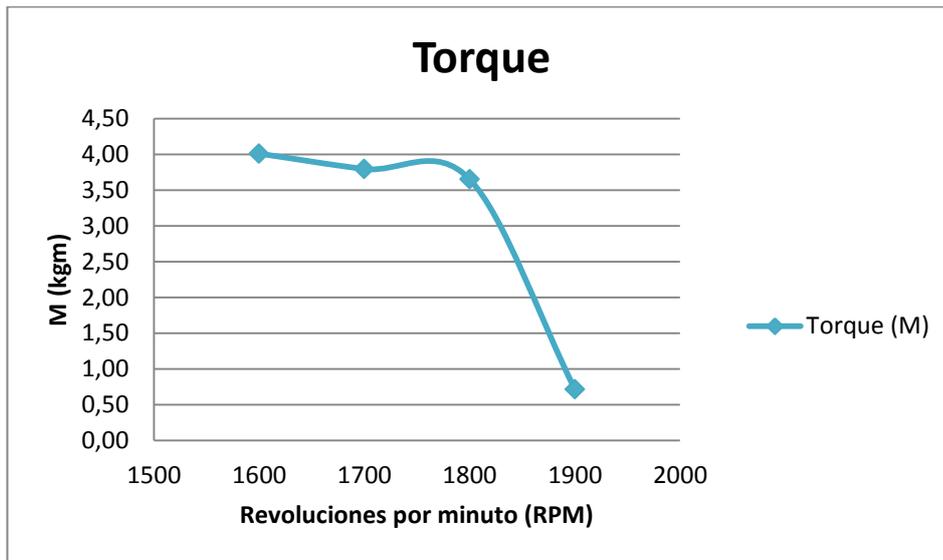
6.3.1.1 Cálculo de torque. Con los datos de la tabla 15 y la ecuación 14 establecida en el capítulo 6 se realiza el cálculo del torque.

Tabla 16. Datos para el cálculo del torque sin turbo

RPM (Revoluciones por minuto)	P (kg)	M = Px0,716 (kgm)
1900	1	0,72
1800	5,1	3,65
1700	5,3	3,79
1600	5,6	4,01

Fuente: Autores

Figura 48. Gráfica de torque del motor sin turbo



Fuente: Autores

6.3.1.2 Cálculo de potencia efectiva. El cálculo de potencia efectiva se obtiene datos del indicador de carga del banco y fueron tabulados en la tabla 15 aplicando la ecuación (19), detallada en el Capítulo 6 se obtiene la gráfica de potencia efectiva.

Tabla 17. Datos para el cálculo de la potencia efectiva sin turbo

RPM (Revoluciones por minuto)	P (kg)	Ne= P*0,716*RPM/716,2 (CV)
1900	1	1,90
1800	5,1	9,18
1700	5,3	9,01
1600	5,6	8,96

Fuente: Autores

La potencia efectiva Ne es el producto entre el rendimiento mecánico y la potencia indicada que sufrirá variaciones dependiendo del ambiente o factores climáticos en los que se realiza la prueba, los mismos que serán corregidos con la ecuación 22 que involucra los datos de temperatura y presión atmosférica de la ciudad de Riobamba.

$$K = \left(\frac{529 + T}{529 + 15} \right) \left(\frac{760}{H} \right) \quad (22)$$

Donde K es el coeficiente de corrección, T la temperatura ambiente en °C, y H la presión atmosférica de Riobamba en mmHg.

Datos: T = 18 °, H = 556 mm Hg

$$K = \left(\frac{529 + 18}{529 + 15} \right) \left(\frac{760}{556} \right)$$

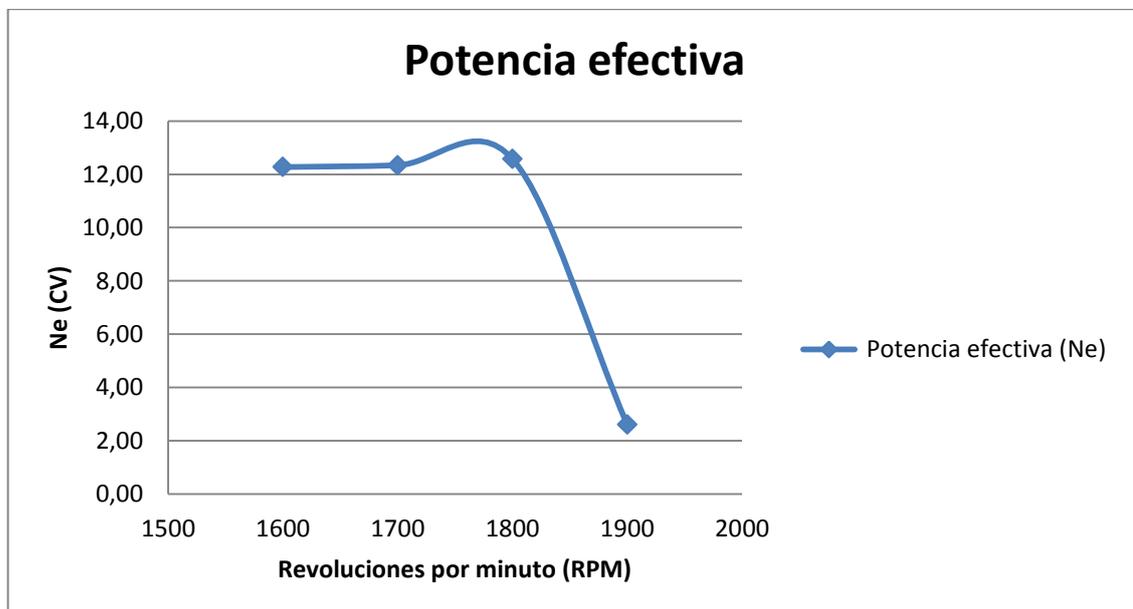
$$K = 1,37$$

Tabla 18. Datos para el cálculo de la potencia efectiva corregida sin turbo

RPM (Revoluciones por minuto)	Ne (CV)	K	$\bar{N}_e = N_e \times K$ (CV) Corregida
1900	1,90	1,37	2,60
1800	9,18	1,37	12,57
1700	9,01	1,37	12,34
1600	8,96	1,37	12,27

Fuente: Autores

Figura 49. Gráfica de potencia del motor sin turbo



Fuente: Autores

6.3.1.3 Cálculo de consumo de combustible. Datos tomados de la probeta graduada y el tiempo de descarga a diferentes revoluciones y carga sometida que sirve para el cálculo de consumo específico, aplicando la ecuación (21) detallada en el Capítulo 6.

Datos:

Ct = Consumo de combustible.

Cs = Consumo específico de combustible.

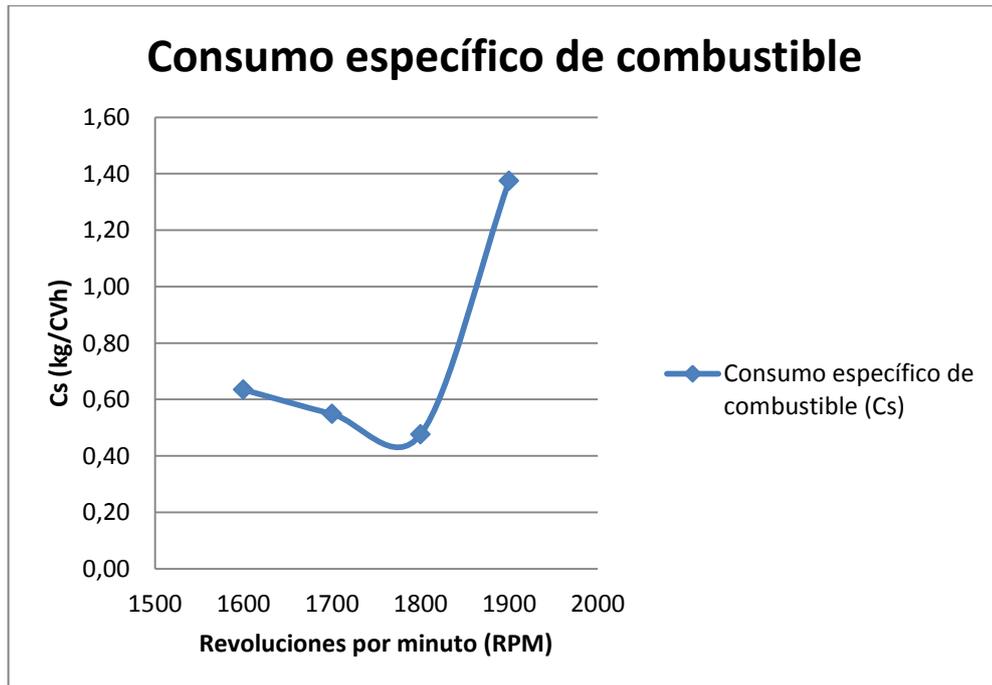
Vf = 100 cm³ medición tomada de la probeta. pb = 0,865 g/cm³ densidad del diesel.

Tabla 19. Datos para el cálculo del consumo específico de combustible sin turbo

RPM (Revoluciones por minuto)	\bar{N}_e (CV) Corregida	t (s)	$C_t = 3,6 \frac{V_f \times p_b}{t} \left[\frac{kg}{h} \right]$	$C_s = \frac{C_t}{N_e} \left[\frac{kg}{CVh} \right]$
1900	2,60	87	3,58	1,38
1800	12,57	52	5,99	0,48
1700	12,34	46	6,77	0,55
1600	12,27	40	7,79	0,63

Fuente: Autores

Figura 50. Gráfica del consumo específico de combustible del motor sin turbo



Fuente: Autores

6.3.2 *Cálculos de torque, potencia y consumo con turbo.* Con el turbo y en condiciones de temperatura ambiente igual a 20°C, 1700RPM y la temperatura del recipiente a 40°C se obtuvo los siguientes datos:

Tabla 20. Datos generales sacadas del banco dinamométrico con turbo

RPM (Revoluciones por minuto)	P (kg)	t (min, seg)
1600	1,6	1 min, 40 seg
1500	5,3	1 min, 10 seg
1400	9,8	0 min, 52 seg
1300	10,5	0 min, 48 seg

Fuente: Autores

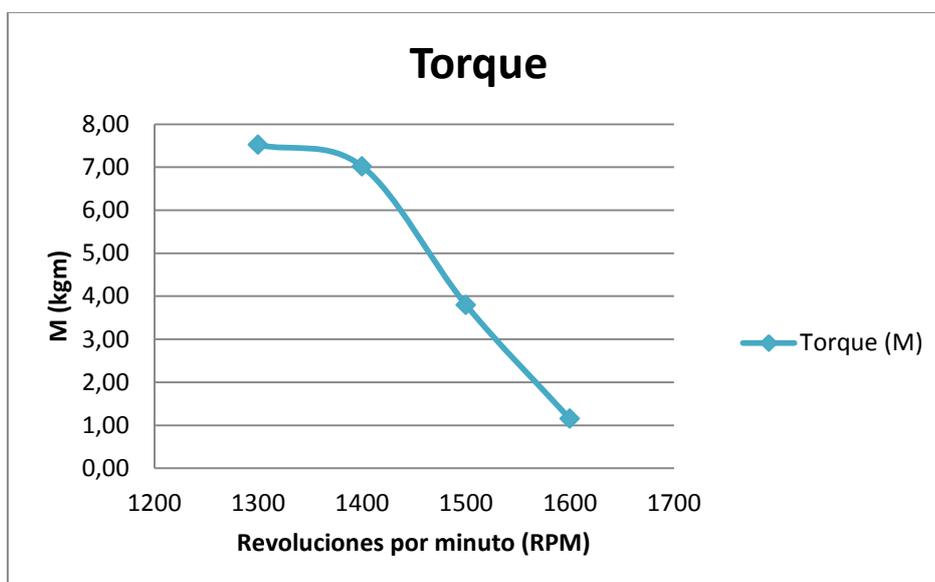
6.3.2.1 Cálculo de torque. Con los datos de la tabla 20 y la ecuación 14 establecida en el capítulo 6 se realiza el cálculo del torque.

Tabla 21. Datos para el cálculo del torque con turbo

RPM (Revoluciones por minuto)	P (kg)	M = P x 0,716 (kgm)
1600	1,6	1,15
1500	5,3	3,79
1400	9,8	7,02
1300	10,5	7,52

Fuente: Autores

Figura 51. Gráfica de torque del motor con turbo



Fuente: Autores

6.3.2.2 Cálculo de potencia efectiva. El cálculo de potencia efectiva se obtiene datos de carga del indicador del banco dinamométrico y fueron tabulados en la tabla 20 aplicando la ecuación (19), detallada en el Capítulo 6 se obtiene la gráfica de potencia efectiva con el motor con turbo.

Tabla 22. Datos para el cálculo de la potencia efectiva con turbo

RPM (Revoluciones por minuto)	P (kg)	Ne= P*0,716*RPM/716,2 (CV)
1600	1,6	2,56
1500	5,3	7,95
1400	9,8	13,72
1300	10,5	13,65

Fuente: Autores

Donde K es el coeficiente de corrección, T la temperatura ambiente en °C, y H la presión atmosférica de Riobamba en mmHg aplicando la ecuación 22 detallada en el capítulo 6.

Datos: T = 20 °, H = 556 mm Hg

$$K = \left(\frac{529 + 20}{529 + 15} \right) \left(\frac{760}{556} \right)$$

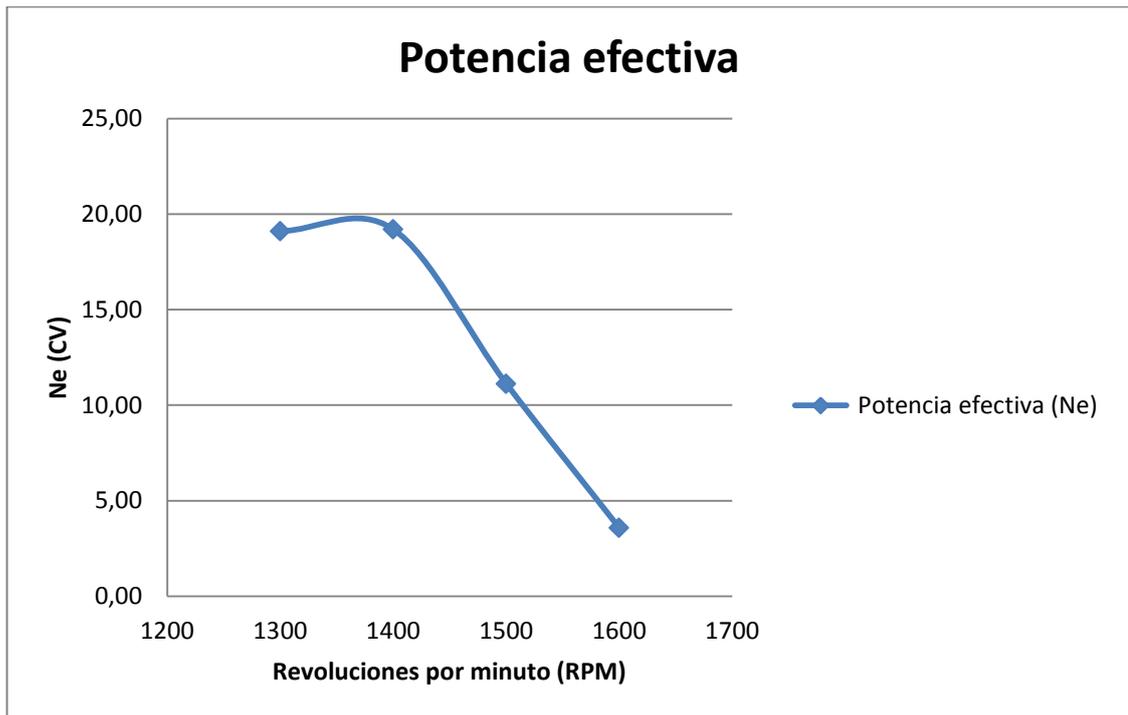
$$K = 1,4$$

Tabla 23. Datos para el cálculo de la potencia efectiva corregida con turbo

RPM (Revoluciones por minuto)	Ne (CV)	K	Ne = Ne x K (CV) Corregida
1600	2,56	1,4	3,58
1500	7,95	1,4	11,13
1400	13,72	1,4	19,20
1300	13,65	1,4	19,10

Fuente: Autores

Figura 52. Gráfica de potencia del motor con turbo



Fuente: Autores

6.3.2.3 Cálculo de consumo de combustible. Datos tomados de la probeta graduada y el tiempo de descarga a diferentes revoluciones y carga sometida que sirve para el cálculo de consumo específico, aplicando la ecuación (21) detallada en el Capítulo 6.

Datos:

Ct = Consumo de combustible.

Cs = Consumo específico de combustible.

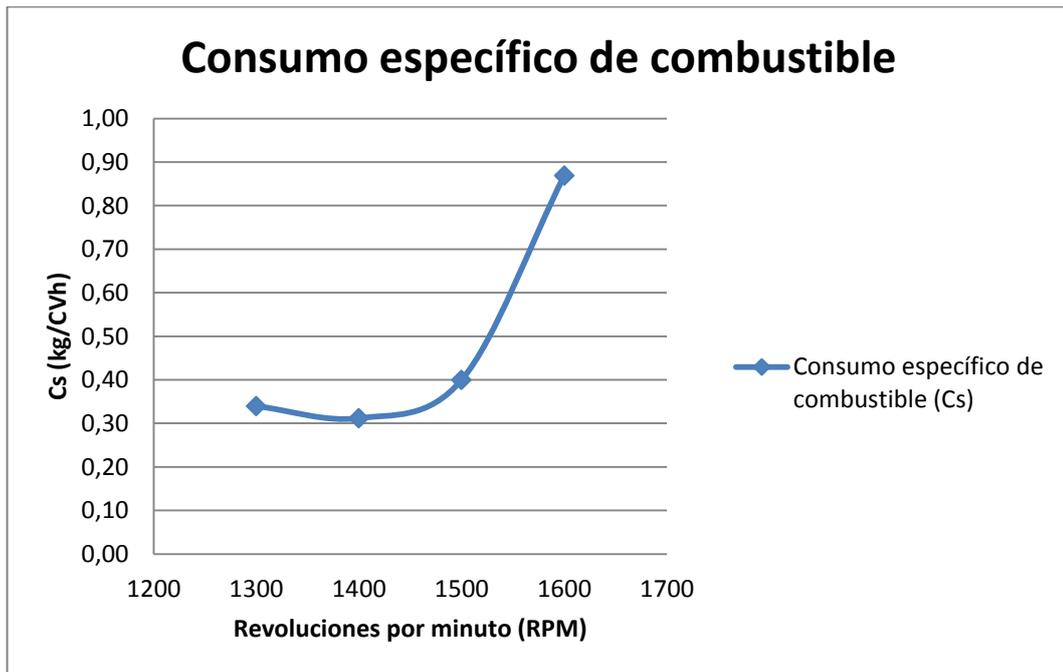
Vf = 100 cm³ medición tomada de la probeta. pb = 0,865 g/cm³ densidad del diesel.

Tabla 24. Datos para el cálculo del consumo específico de combustible con turbo

RPM (Revoluciones por minuto)	\bar{N}_e (CV) Corregida	t (s)	$C_t = 3,6 \frac{V_f \times p_b}{t} \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$	$C_s = \frac{C_t}{N_e} \left[\frac{\text{kg}}{\text{CVh}} \right]$
1600	3,58	100	3,11	0,87
1500	11,13	75	4,45	0,40
1400	19,20	52	5,99	0,31
1300	19,10	48	6,49	0,34

Fuente: Autores

Figura 53. Gráfica del consumo específico de combustible del motor con turbo

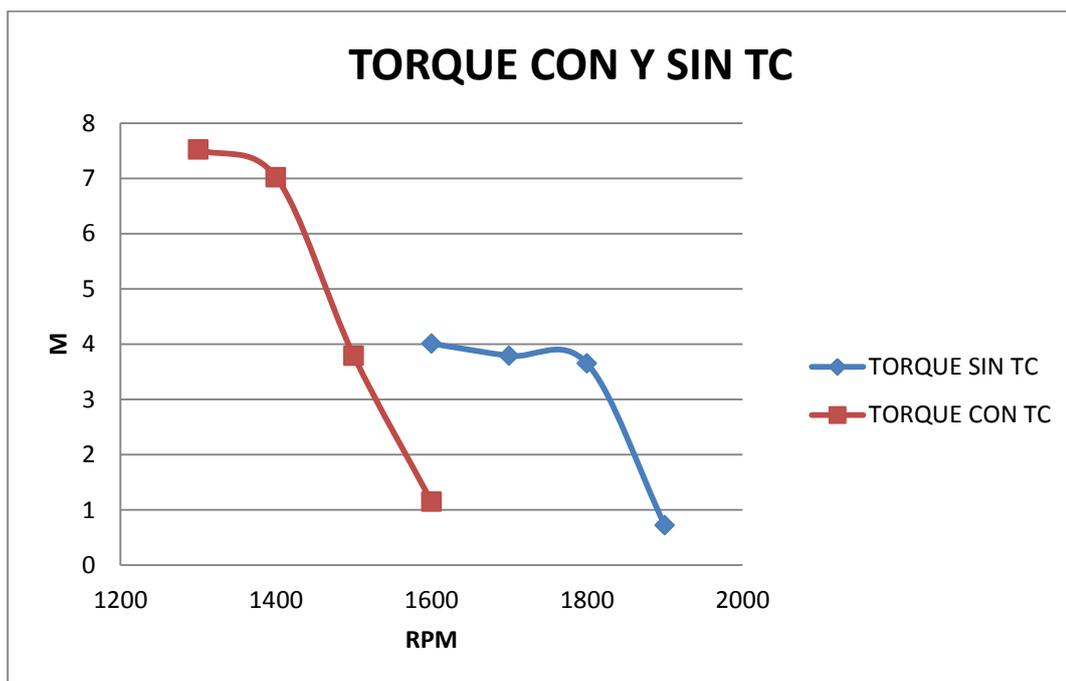


Fuente: Autores

6.4 Análisis de resultados de las pruebas.

De las pruebas se dedujo que:

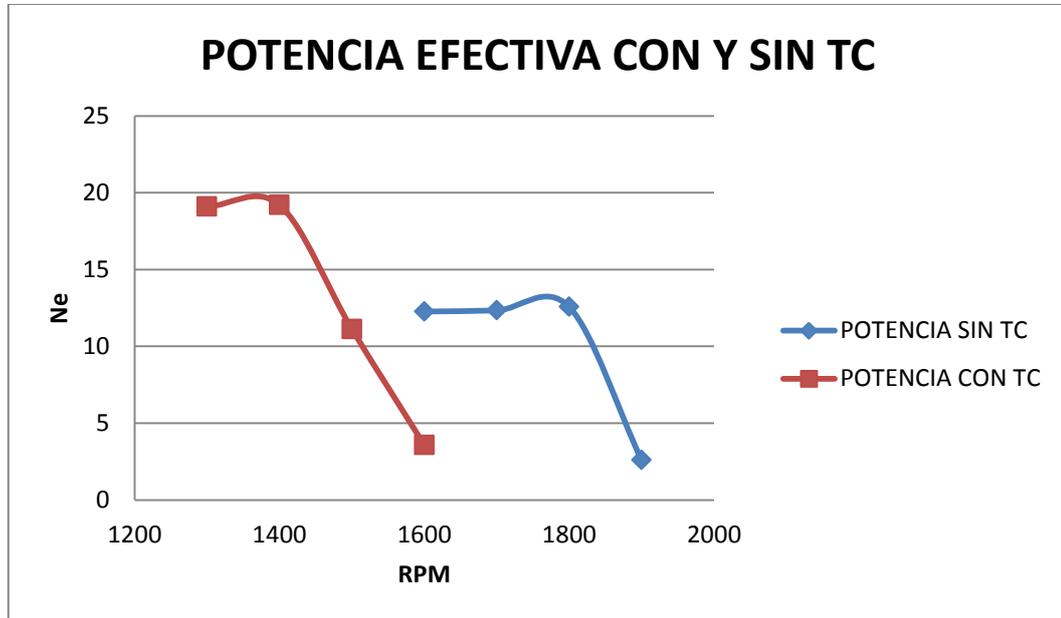
Figura 54. Torque con y sin turbocompresor



Fuente: Autores

El motor con turbo soporta trabajar con carga a menos revoluciones llegando a darnos datos de hasta 1200RPM cosa que no se pudo lograr con el motor sin turbo.

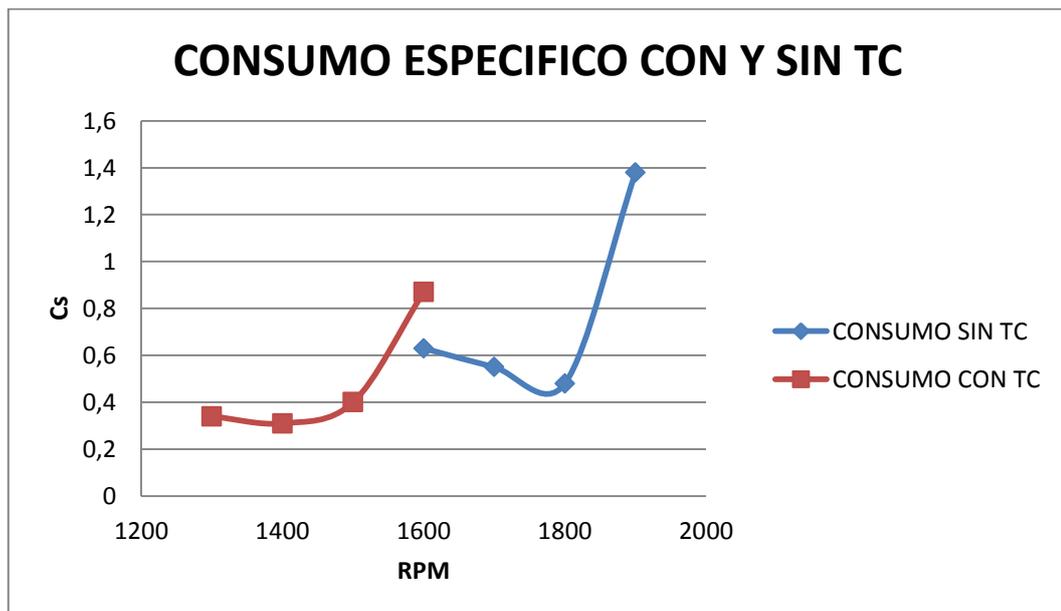
Figura 55. Potencia efectiva con y sin turbocompresor



Fuente: Autores

El motor con turbocompresor alcanza su potencia efectiva a menos revoluciones que el motor sin turbo.

Figura 56. Consumo específico con y sin turbocompresor



Fuente: Autores

El motor sin turbo su consumo fue menor a las 1400RPM mientras que con el turbocompresor fue a las 1800RPM.

Tabla 25. Comparación de potencia efectiva

	Potencia CV	RPM
Sin Turbo	12,57	1800
Con turbo	19,20	1400
Diferencia	6,63	400

Fuente: Autores

Obteniendo como resultado al implementar el turbocompresor TB28 al motor SD22 un incremento de 6,63CV (52,7%) en potencia efectiva, ahorro de consumo específico de combustible de 0,17kg/CVh (35,4%) y un incremento de torque de 3,37kgm (48%) además que esta fue alcanzada a menos revoluciones.

CAPÍTULO VII

7. ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO Y MEDIDAS DE SEGURIDAD

7.1 Plan de mantenimiento.

El plan de mantenimiento se puede dar en forma de mantenimiento preventivo y correctivo.

7.1.1 *Mantenimiento preventivo.* Es aquel mantenimiento que permitirá que el motor cumpla debidamente su trabajo y vida útil para el que fue establecido tomando en cuenta que debido al implementó del turbocompresor aumentará la cantidad de aceite.

Para el mantenimiento se debe cambiar el valor de cantidad de aceite debido a que se implementó un componente el cual involucra aceite.

Elementos adicionales:

Cañería de aceite principal, que tiene un diámetro de 1/4 de pulgada y una longitud de 45cm, $D = 1/4'' = 0,625\text{cm}$, Área $= 0,3067\text{cm}^2$

Entonces la cantidad de aceite será el área por su longitud $13,8\text{cm}^3$

Cañería de retorno de aceite que tiene un diámetro de 1/2 de pulgada y una longitud de 50 cm, $D = 1/2'' = 1,27\text{cm}$, Área $= 1,266\text{cm}^2$

Entonces la cantidad de aceite será el área por su longitud $63,33\text{cm}^3$

Sumadas las cantidades obtenemos:

Volumen total de aumento $= 13,8\text{cm}^3 + 63,3\text{cm}^3 = 77,1\text{cm}^3$

Volumen total aumentado = $77,1 \text{ cm}^3 = 0,077 \text{ litros}$

Entonces el motor que se colocaba 2,2 litros de aceite ahora se colocara la cantidad de 2,28litros.

Clasificación de los aceites:

Los aceites actualmente se clasifican según la norma SAE, el grupo SAE clasifica a los aceites según la viscosidad y temperatura que puede ir desde SAE 0W hasta el SAE 20W esto para condiciones de lubricación en ambientes fríos, y en caliente SAE 20, 30,40 y 50 esta viscosidad es medida a una temperatura de 100°C , una vez sabiendo esto se ha escogido el aceite el aceite SAE 20W40 ya que permite un arranque en frío de -10°C y su viscosidad cinemática es de 12,5 a 16,3 clasificándose en semifluido propiedad que servirá, tanto como para la bomba de aceite como para el turbocompresor que estará trabajando aproximadamente en los 100°C ver Anexo F.

Pero para condiciones y regímenes de trabajo diseñados el mantenimiento debe seguirse el siguiente cronograma basado en distintos motores como se muestra en la tabla 26.

7.1.2 *Mantenimiento correctivo.* Es aquel que permite dar una nueva vida útil al motor sustituyendo componentes que han sufrido un desgaste total y pueden ser sustituibles y reparables como es el caso del cigüeñal que puede ser rectificado o reemplazado. Para este mantenimiento es necesario conocer torques, medidas y holguras que se muestra en el capítulo 5.

Tabla 26. Plan de mantenimiento preventivo del motor SD22

Mantenimiento	x	1000	5Km		10Km		15Km		20Km		25Km		30Km		35Km		40Km		45Km		50Km		
			C	R	C	R	C	R	C	R	C	R	C	R	C	R	C	R	C	R	C	R	C
Cambio	-	Revisión																					
Aceite del motor			Δ		Δ		Δ		Δ		Δ		Δ		Δ		Δ		Δ		Δ		Δ
Filtro de aceite			Δ		Δ		Δ		Δ		Δ		Δ		Δ		Δ		Δ		Δ		Δ
Filtro de aire			Δ		Δ		Δ		Δ		Δ		Δ		Δ		Δ		Δ		Δ		Δ
Nivel refrigerante																	Δ						
Filtro de combustible			Δ		Δ		Δ		Δ		Δ		Δ		Δ		Δ		Δ		Δ		Δ
Filtro de la bomba de combustible									Δ								Δ						
Bandas											Δ					Δ					Δ		
Limpiar inyectores																					Δ		
Fugas de aceite						Δ				Δ				Δ							Δ		Δ
Mangueras y conexiones de vacío																					Δ		
RPM en marcha mínima							Δ			Δ				Δ							Δ		Δ
Cañerías de combustible										Δ											Δ		
Cables de encendido																					Δ		
Bujías de precalentamiento																					Δ		
Embrague										Δ				Δ							Δ		Δ

Fuente: Autores

7.2 Medidas de seguridad.

Las medidas de seguridad se darán para los siguientes aspectos:

- Mantenimiento.
- Conducción.
- Pruebas en el banco dinamométrico.

7.2.1 *Mantenimiento.* Para realizar un mantenimiento de una manera eficaz y segura se debe seguir las siguientes precauciones:

- Utilice herramienta y equipo apropiado.
- Esperar de 10 a 15 minutos para que el motor y el turbo se encuentren completamente en función de parada o temperatura adecuada antes de tomar cualquier acción.
- Nunca retirar o aflojar la tapa del radiador cuando aún se encuentre caliente para evitar posibles accidentes.
- Luego de realizar cualquier trabajo en bomba de inyección limpieza o cambio de filtros, purgar las cañerías para evitar posibles fallas o daños en los demás componentes.
- Nunca agregue gasolina, alcohol o agua al combustible diesel por ningún motivo.
- Nunca utilice combustible que ha permanecido en almacenamiento por más de 12 meses.
- El índice de cetano mínimo debe ser de 40.

7.2.2 *Conducción.* Para realizar una conducción segura y apropiada seguir las siguientes indicaciones:

- Respete las señales de tránsito y seguridad vial.
- Revise los niveles de aceite refrigerante y estado de bandas.
- No exceda al motor de las 1800 revoluciones.
- Antes de ponerlo en marcha espere de 10 a 15 segundos con el conector en contacto para que las bujías de calentamiento puedan cumplir su función.

- Luego de una prolongada marcha de trabajo espere el ralentí unos 5 minutos antes de apagar el motor para que el turbo pueda lubricarse y no se produzca fallas en el eje por el asentamiento de carbón, hollín.
- Controle la temperatura no debe exceder los 85 grados centígrados.

7.2.3 Pruebas en el banco dinamométrico. Para utilizar el motor en el banco dinamométrico debe seguir las siguientes indicaciones:

- Lea la guía de laboratorio antes de cualquier prueba.
- Revisar que la junta se encuentre en perfectas condiciones.
- Recuerde que las bujías de precalentamiento son solamente de doce voltios.
- No exceda al motor de las 1500 rpm con el turbo.
- Nivelar el motor con la bancada del banco dinamométrico.
- Colocar el seguro de la junta antes de cualquier prueba.
- Revisar el nivel de aceite antes de cualquier prueba.
- Purgar las cañerías del diesel antes de cualquier prueba.
- Antes de cualquier prueba encienda el motor de 10 a 15 minutos para evitar fugas o fallas que puedan alterar los datos finales.

CAPÍTULO VIII

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

8.1 Conclusiones.

Se investigó y estudio, los sistemas de los motores, su funcionamiento, constitución e importancia para el correcto desempeño del motor.

Mediante una inspección visual y prueba de fisuras, se obtuvo un diagnóstico técnico general de todos los elementos constitutivos del motor y se dio solución a cada uno de los inconvenientes que presentaban ciertos elementos con su cambio y/o reparación.

Mediante la sustitución y reparación adecuada de cada elemento malo o faltante se pudo rehabilitar al motor SD22.

Se calculó el flujo másico de aire que consume el motor a determinadas RPM, y con la ayuda del catálogo de Garrett se seleccionó la marca y modelo de turbos, que son utilizados en motores de iguales características, seleccionado el TB28, mediante el mapa del compresor dando un rango adecuado de funcionamiento.

Mediante la implementación del turbocompresor se pudo obtener mayor potencia efectiva y menor consumo de combustible, a menos revoluciones alcanzando su máxima potencia, datos que se pudo comprobar con la ayuda del banco dinamométrico de la ESPOCH.

Para el correcto mantenimiento del motor y el turbocompresor se incrementó el volumen de aceite ya que se añadieron nuevos componentes al motor y mediante el catálogo de lubricante SAE se concluye que el aceite más adecuado para el motor es el SAE 20W40.

Con el motor rehabilitado obteniendo una potencia efectiva máxima de 12,57CV a 1800RPM, y con el motor repotenciado una potencia efectiva máxima de 19,20CV a 1400RPM, el motor queda rehabilitado y repotenciado, con un incremento de potencia efectiva del 52,7%, ahorro de consumo específico de combustible de 35,4% y un incremento de torque 48% el cual se encuentra listo para el uso pertinente del taller móvil de la Escuela de Ingeniería Automotriz ESPOCH.

8.2 Recomendaciones.

Leer las medidas de seguridad descritas en el capítulo 7 antes de tomar cualquier acción ya sea de conducción, pruebas, mantenimiento o reparación.

Utilizar el combustible adecuado para evitar posibles fallas o daños en el motor.

Tener precaución con las bujías de precalentamiento ya que son únicamente de 12V y el motor de arranque de 24V y podría suscitarse una confusión en el caso de la instalación eléctrica.

No utilizar el motor en el banco dinamométrico por más de una toma de datos en el día porque su ventilación no es la adecuada y se sobrecalentaría.

Mantener el motor encendido 10 minutos luego de un ciclo de trabajo prolongado para evitar fallos en el eje del turbocompresor por el excesivo calentamiento del aceite circulante.

Lubricar de manera adecuada el eje de cualquier turbo antes de su funcionamiento para evitar posibles daños en el mismo.

Seguir adecuadamente el plan de mantenimiento recomendado para que el motor tenga mayor duración de su vida útil.

BIBLIOGRAFÍA

COELLO SERRANO, Efrén. 2006. *Preparación de motores de competencia.* Quito : Ediciones América, 2006.

DEERE, JOHN. 2014. Sistema de Admisión de Aire del Motor. [En línea] 02 de Enero de 2014. [Citado el: 08 de Septiembre de 2014.] https://www.deere.com/es_LA/services_and_support/tips/engines/air_intake_system_engine/air_intake_system_engine.page.

DÍAZ, Rodrigo. 2008. *Termodinámica Automotriz.* Riobamba : ECOPYCENTER, 2008.

GUERBER, R. 1989. *Motor diesel.* Barcelona : Gustavo Gili, S.A., 1989.

J. POURBAIX, E. ALBERTAL. 1996. *Motores diesel.* Barcelona : Marcombo, S.A., 1996.

LICONA PAYARES, Leandro Enrique. 2014. Aprendiendo Mecanica Diesel. [En línea] 13 de Marzo de 2014. [Citado el: 16 de Septiembre de 2014.] <http://www.aficionadosalamecanica.com/refrigeracion-motor.htm>.

MEGANEBOY, DANI. 2013. Refrigeración del motor. [En línea] 29 de Diciembre de 2013. [Citado el: 25 de Junio de 2014.] <http://www.aficionadosalamecanica.com/refrigeracion-motor.htm>.

MILLARES, Juan. 1987. *Sobrealimentación de Motores.* Barcelona : Ediciones CEAC, S.A., 1987.

MOLINA VIDAL, Víctor. 2013. Principios básicos motor de combustion interna. [En línea] 14 de Abril de 2013. [Citado el: 09 de Junio de 2014.] http://www.academia.edu/8103611/PRINCIPIOS_B%C3%81SICOS_MOTOR_DE_COMBUSTION_INTERNA.

ORG, SABELOTODO. 2014. Sistema de escape del automóvil. [En línea] 31 de Agosto de 2014. [Citado el: 16 de Septiembre de 2014.] <http://www.sabelotodo.org/automovil/sisescape.html>.

ORTÍZ FLORES, Ramiro. 2012. *Generación Térmica*. Bogotá : Ediciones de la U, 2012.

PÉREZ BELLÓ, Miguel Ángel. 2011. *Sistemas auxiliares del motor*. Madrid : Paraninfo, SA, 2011.

SLIDESHARE. 2011. Sistema de encendido. [En línea] 25 de Noviembre de 2011. [Citado el: 28 de Marzo de 2014.] <http://es.slideshare.net/adrianmengym/sistema-de-encendido-o-arranque>.

TECNICOS DIESEL, S.A. 2014. Motor diesel. [En línea] 29 de Marzo de 2014. [Citado el: 06 de Junio de 2014.] <https://plus.google.com/107295586105362481387/posts>.

WIKIPEDIA. 2014. Motor. [En línea] 03 de Junio de 2014. [Citado el: 20 de Julio de 2014.] <http://es.wikipedia.org/wiki/Motor>.

—. **2013.** Motor diesel. [En línea] 07 de Marzo de 2013. [Citado el: 06 de Junio de 2014.] http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_di%C3%A9sel.

—. **2013.** Turbocompresor. [En línea] 05 de Agosto de 2013. [Citado el: 15 de Octubre de 2014.] <http://es.wikipedia.org/wiki/Turbocompresor>.