 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA AUMENTAR LA CAPACIDAD VOLUMÉTRICA DEL AIRE EN LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN DEL MOTOR DIESEL (BANCO DE PRUEBA DE MOTOR DIESEL) DEL ITM

Fabián Esteban Ramírez Foronda

Sergio Alberto Sepúlveda Godoy

Ingeniería Electromecánica

Director(es) del trabajo de grado

Carlos Alberto Acevedo Álvarez, IM

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

2019

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

Los motores de combustión Diesel son la principal elección para los automotores de carga o montajes industriales donde se requiere de un alto par motor, también son empleados en plantas de generación eléctrica en zonas no interconectadas a la red de energía pública, conociendo esto se vuelve necesario el estudio de la combustión en dichos mecanismos con el fin de aumentar la eficiencia y reducir las emisiones de gases contaminantes.

En este trabajo se buscó aumentar la eficiencia de un motor de combustión interna Diesel, optando por la implementación de un sistema turbo cargado para la admisión de aire, estableciendo como objetivo general, diseñar e implementar un sistema para aumentar la capacidad volumétrica del aire en la cámara de combustión de motor diesel del banco de prueba del ITM.

Para conseguir dicho objetivo, se inició con la parametrización del motor existente en el banco de pruebas del laboratorio de ciencias térmicas del ITM, logrando con esto tener los datos técnicos necesarios para desarrollar los cálculos teóricos los cuales nos guiaron a la búsqueda comercial del turbo cargador que cumpla con las necesidades del motor.

Posteriormente se realizaron los mecanizados y soldadura de los múltiples de admisión y de escape, con el fin de instalar el turbo cargador. No obstante, la temperatura influye aumentando el volumen de los fluidos, obteniendo con esto menor cantidad de masa por caudal lo que resulta en contra prestación, debido a esto se implementó un sistema intercambiador de calor, con el fin de enfriar el aire que ingresa a la cámara de combustión consiguiendo así mayor masa de aire por caudal.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Por último, se configuró la bomba de inyección de ACPM, estableciendo la marcha lenta del motor en 600 RPM y altas en 3800 RPM.

Palabras clave: Turbo cargador, repotenciar motor diésel, adaptación turbo compresor.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Queremos dar a conocer mediante este escrito, nuestros sinceros agradecimientos a todas las personas que con su apoyo hicieron posible que el objetivo se lograra.

Agradecemos a Dios por darnos la vida, la oportunidad de asistir día por día a las clases en la universidad, por darnos la salud y el esfuerzo físico para cumplir con las obligaciones.

Gracias a nuestras madres, padres y hermanos, que fueron soporte frente a las dificultades encontradas en el camino de la carrera, gracias por siempre creer en nosotros y este proyecto y de acompañarnos siempre indiferente de las adversidades que se nos cruzaban.

Gracias a nuestras parejas por su paciencia, acompañamiento y motivación durante toda la carrera para no desvanecernos en medio camino.

Agradecemos a nuestros familiares, amigos, compañeros de estudio quienes nos brindaron sus conocimientos y comprensión.

El más sincero agradecimiento a la institución universitaria, directivos, docentes y en especial al profesor Carlos Alberto Acevedo Álvarez que con su pasión y dedicación cada día era más satisfactorio realizar y sacar adelante este proyecto.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

ACC: Accesorios

ACPM: Aceite combustible para motores.

AMP: Amperios

°C: Grados Celsius

cc: Centímetros cúbicos

CO: Monóxido de carbono

hp: Caballos de potencia

ITM: Instituto Tecnológico Metropolitano

MTTO: Mantenimiento

PMI: Punto muerto inferior

PMS: Punto muerto superior

RPM: Revoluciones por minuto

 ITM Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1. Contexto del proyecto.....	11
1.1 Introducción	11
1.2 Antecedentes.....	13
1.3 Objetivos.....	14
1.3.1 General	14
1.3.2 Específicos.....	14
1.4 Alcance	15
2. Marco teórico	17
2.1 Generalidades del motor de combustión interna diesel	17
2.1.2 Principio de funcionamiento del motor de combustión interna diesel.....	17
2.1.2 Ciclo de admisión	17
2.1.3 Ciclo de compresión	18
2.2.4 Ciclo de explosión.....	19
2.1.5 Ciclo de escape	19
2.2 Partes de un motor diesel	20
2.2.1 El bloque	20
2.2.2 El cigüeñal.....	21
2.2.3 La culata.....	21
2.2.4 Las válvulas	22
2.2.5 Árbol de levas	23
2.2.6 Engranajes de distribución	23
2.2.7 Bomba de aceite.....	24
2.2.8 Bomba de agua	24
2.2.9 Pistón	25
2.2.10 Biela	25
2.2.11 Cilindro o camisa	26
2.2.12 Los cojinetes	26

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.13 El turbo compresor	27
2.3 Aplicaciones del motor diesel	27
2.4 Tipos de mantenimientos para el motor diesel	28
2.4.1 Mantenimiento preventivo	28
2.4.2 Ventajas del mantenimiento preventivo	28
2.4.3 Mantenimiento correctivo	29
3 Metodología	30
3.1 Caracterización del motor de combustión interna del banco del prueba de itm	30
3.2 Acondicionamiento del sistema de escape, refrigeración y admisión del aire .34	
3.2.1 Sistema de escape	34
3.2.2 Sistema de refrigeración y admisión del aire.....	38
3.3 Selección e instalación del turbo cargador	40
3.3.1 Selección del turbo cargador	40
3.3.2 Instalación del turbo cargador	46
3.4 Calculos teoricos del incremento de potencia	49
3.4.1 Caudal de aire requerido.....	49
3.4.2 Estimacion teórica de las variables que aumentan la potencia en el motor de combustion interna diesel.....	53
4 Resultados y discusión.....	55
5 Conclusiones	57
6 Recomendaciones y trabajo futuro	58
Referencias.....	60

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de admisión	18
Figura 2. Ciclo de compresión.	18
Figura 3. Ciclo de explosión.	19
Figura 4. Ciclo de escape.	19
Figura 5. Bloque del motor diesel.	20
Figura 6. Cigüeñal del motor diesel.	21
Figura 7. Culata del motor diésel.	22
Figura 8. Válvulas de admisión y escape.	22
Figura 9. Árbol de levas.	23
Figura 10. Engranajes de distribución tipo cascada.	23
Figura 11. Bomba de aceite de piñones para motores diesel	24
Figura 12. Bomba para refrigeración en motores de combustión interna diesel	24
Figura 13. Pistón para motor diesel tipo tina.	25
Figura 14. Biela completa de motor diesel con pistón.	25
Figura 15. Camisas o cilindros instalados en el bloque del motor.	26
Figura 16. Cojinetes para biela y bancada de motores automotrices.	26
Figura 17. Ilustración de un turbo compresor con geometría variable y sus partes.	27
Figura 18. Sistema de escape existente	35
Figura 19. Base de acoplamiento de múltiple de escape con el turbo cargador instalado	36
Figura 20. Salida de sistema de escape modificado e implementado en el motor Kia – K2	36
Figura 21. Motor Kia – K2, con la modificación del sistema de escape.	37
Figura 22. Soporte del intercambiador	38
Figura 23. Posición del filtro del aire antes del cambio	39
Figura 24. Cambio de posición del filtro de aire.	39
Figura 25. Ruteo de mangueras del aire desde la toma a presión atmosférica, hasta la admisión del aire al motor a mayor presión.	40
Figura 26. Válvula de alivio del turbo cargador instalado en el motor.	41
Figura 27. Acoplamiento del turbo cargador a los múltiples de escape y de admisión.	47
Figura 28. Implementación de la manguera de lubricación	48
Figura 29. Adaptación de la manguera de descargue de aceite del turbo cargador al motor.	48

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. Caracterización del motor del banco de pruebas	30
TABLA 2. Evaluación antes de darle ignición al motor	31
TABLA 3. Medición de los sistemas del motor	33
TABLA 4. Datos técnicos necesarios para la selección del turbo	42
TABLA 5 Datos técnicos necesarios para la selección del turbo	42
TABLA 6 DIMENSIONES DE LOS MODELOS PRESELECCIONADOS DE LOS TURBO CARGADORES.	46
TABLA 7. Comparación de parámetros antes y después de la implementación del turbo cargador	54

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

INDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1:.....	43
ECUACIÓN 2:.....	44
ECUACIÓN 3.....	50
ECUACIÓN 4.....	50
ECUACIÓN 5.....	51
ECUACIÓN 6.....	52
ECUACIÓN 7.....	52
ECUACIÓN 8.....	54

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. CONTEXTO DEL PROYECTO

1.1 INTRODUCCIÓN

El motor de combustión interna fue inventado en 1893 por el ingeniero mecánico alemán Rudolf Diesel quien diseñó este prototipo para que funcionara a partir de aceites vegetales. En la actualidad el principio de funcionamiento del motor es el mismo, pero el combustible es *fuel oil* de orden 1 extraído del petróleo, lo que aumenta el poder calorífico y las emisiones de gases contaminantes (Diesel, 1898).

Teniendo presente lo anterior actual mente se investigan en mejorar los procesos de combustión en dichos motores con el fin de obtener la mayor potencia con el menor consumo de combustible y por ende menos emisiones de gases contaminantes nocivos para el ambiente (Escuela de Ingenieria , 2015).

Una de las mejoras que se emplea en la actualidad, es el sistema de admisión turbo alimentado, el cual aumenta significativamente la eficiencia del motor de combustión Diesel, dado que al aumentar la masa de aire dentro de la cámara de combustión, aumenta el nivel de compresión y a su vez aumenta la potencia (Volkswagen , 2018).

Adicionalmente el turbo cargador es impulsado por los gases de escape resultantes del proceso de combustión, los cuales salen a gran velocidad a medida que se acelera más mayor es su velocidad, al aprovechar la energía cinética resultante de los gases de escape se puede mover una turbina, la cual succiona aire a presión atmosférica y la convierte a presión manométrica, aumentando la masa del aire en el sistema de admisión (González *et al.*, 2006).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Esta masa de aire debe ser enfriada para reducir el volumen, por tal motivo el aire que ingresa al sistema debe pasar por un intercambiador para liberar parte de la temperatura que consiguió al pasar por la turbina (González *et al.*, 2006).

Teniendo presente lo expuesto anteriormente se implementó un sistema de admisión turbo cargado para el motor KIA - K2 que se encuentra en el laboratorio de máquinas térmicas del ITM, con el fin de actualizar este motor y aumentar la eficiencia de trabajo y por ende la potencia, resaltando esta actualización como un principio para trabajos futuros, los cuales pueden ser, la implementación de un generador eléctrico o nuevas tecnologías en aprovechamiento del calor residual en procesos térmicos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1.2 ANTECEDENTES

El laboratorio de máquinas térmicas del ITM posee un motor diesel de marca KIA referencia K2 con sistema de admisión de aire atmosférico, y por ello no se puede extraer la mayor potencia aprovechable del motor. Para mejorar la potencia final de un motor de combustión interna existen dos formas comunes de hacerlo, las cuales son aumentar la cilindrada o aumentar el nivel de compresión del motor (González *et al.*, 2006).

Debido a lo anterior las nuevas tecnologías no emplean el método de motores con mayor cilindrada, ya que esto incrementa los costos por mayor cantidad de materiales y un aumento significativo del peso total del motor, por esto la alternativa más rentable y eficiente es aumentar el nivel de compresión en el motor por medio de turbo cargadores, obteniendo altas potencias en motores de baja cilindrada las cuales se pueden comparar con potencias en motores con mayor cilindrada (Volkswagen , 2018).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 GENERAL

Diseñar e implementar un sistema para aumentar la capacidad volumétrica del aire en la cámara de combustión de motor diesel (Banco de prueba de motor diesel) del ITM.

1.3.2 ESPECÍFICOS

1. Caracterizar el motor de combustión interna de banco de prueba de ITM, basado en el trabajo de grado titulado “Desarrollo de un banco experimental de un motor de combustión interna”.
2. Diseñar el sistema de múltiple de escape y de refrigeración para acoplar el turbo cargador y el *intercooler*.
3. Rediseñar el sistema de admisión instalando componentes que aumenten la presión y el aumento de caudal a la cámara de combustión.
4. Caracterizar motor de combustión de interna de banco de prueba de ITM ya con el sistema de refrigeración diseñado e instalado en el motor de banco de prueba para medir los resultados finales vs los iniciales
5. Diseñar guía de trabajo experimental con las modificaciones realizadas

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1.4 ALCANCE

Para dar cumplimiento al proyecto de aumentar la potencia del motor diesel del banco de pruebas del ITM, se optó por la implementación del turbo cargador ubicado en el múltiple de admisión de aire del motor, teniendo en cuenta que no solo con la compra de este dispositivo se alcanzaría esta meta, por lo tanto, se parametrizó las características del motor para seleccionar el turbo cargador que más se acomode a las necesidades del mismo.

Consecutivamente se realizaron diferentes intervenciones tales como el diseño, construcción e instalación de los diferentes elementos periféricos, como lo son los múltiples de escape y admisión.

Adicionalmente se recalibro la bomba de inyección al rotar el tornillo de regulación de combustible $\frac{1}{4}$ de vuelta aumentado un poco la inyección de ACPM consiguiendo con esto mayor potencia con un consumo de combustible similar al que poseía antes de la implementación del turbo cargador.

Como el ingreso de aire al motor debe de estar lo más frío posible, dado que el volumen de los fluidos aumenta con la temperatura, se instaló un sistema de intercambiador de temperatura para obtener mayor masa con el mismo caudal, obligando a cambiar de posición las mangueras de admisión del combustible del motor.

Luego de realizar las implementaciones anteriormente mencionadas, se probó el encendido del motor con el fin de darle la puesta a punto, calibrando las RPM de marcha lenta y observando los gases de escape los cuales no deben ser de color azul o blancuzco, ya que esto se interpreta como una mezcla rica en combustible representando un consumo innecesario de ACPM y emisión de gases contaminantes.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para estandarizar el proceso de montaje de un turbo cargador, se ejecutó una guía de instalación para este tipo de motores.

Se realizó una guía de instalación del turbo cargador con las respectivas modificaciones a los múltiples de entrada de aire, como a los de salida de los gases, con el fin de documentar los procedimientos necesarios para futuras implementaciones por parte de los estudiantes que deseen ejecutar proyectos similares.

No se realizaron pruebas de medición de gases, torque y potencia final, ya que no se poseen los equipos necesarios para realizar dichas mediciones en los laboratorios del ITM, sin embargo, se realizaron los cálculos con los caudales de aire requerido por el turbo compresor para estimar el incremento de la potencia en teoría.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2 MARCO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DIESEL

El motor de combustión interna de ignición por compresión fue inventado en 1893 por el ingeniero alemán Rudolf Christian Karl Diesel, quien diseñó un motor que empleara como combustible aceite vegetal, partiendo del punto de inflamación de este al ser dispersado sobre un oxidante que supera los 100 °C, logrando así el ciclo de expansión del cual se extrae la potencia del motor (Diesel, 1898).

2.1.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DIESEL

El motor Diesel posee cuatro ciclos de trabajo que se repiten continuamente en el tiempo, estos realizan una función específica para lograr aprovechar la transformación de energía química a mecánica, mediante el aprovechamiento de expansión de gases en el proceso de combustión, resaltando lo mencionado anteriormente se describen cada una de los ciclos del motor Diesel como; admisión, compresión, explosión y escape (Arango *et al.*, 2014).

2.1.2 CICLO DE ADMISIÓN

La admisión es el primer ciclo, ya que es el momento donde ingresa el oxidante que en este caso es aire atmosférico a la cámara de combustión. Para lograr este ciclo el pistón debe desplazarse del punto muerto superior (PMS), en el cual el pistón se encuentra en la parte superior del cilindro, hasta el punto muerto inferior

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

(PMI), donde el pistón se encuentra en la parte inferior del cilindro, con el fin de realizar un vacío el cual es llenado con aire en el momento de apertura de la válvula de admisión como se muestra en la figura 1 (URL, 2018).

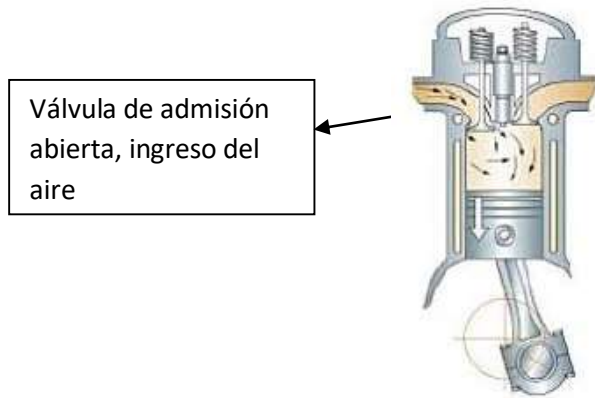


Figura 1. Ciclo de admisión (Chindon & Palaguachi, 2011)

2.1.3 CICLO DE COMPRESIÓN

El ciclo de compresión es aquel donde el pistón se desplaza del PMI al PMS consiguiendo reducir el espacio entre el cilindro y la culata, lo que hace que el aire se comprima reduciendo el espacio entre las moléculas y por ende aumentando la fricción entre ellas, consiguiendo con esto un incremento significativo en la temperatura del fluido como se enseña en la figura 2 (URL, 2018).

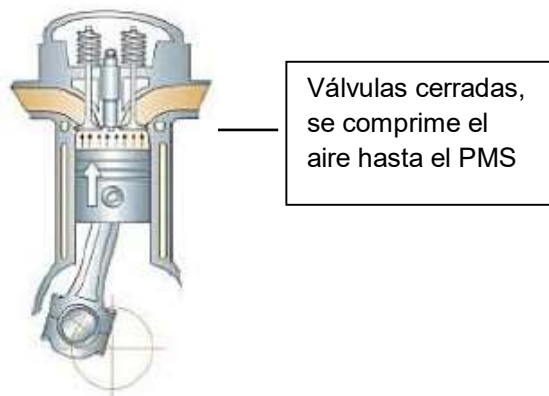


Figura 2. Ciclo de compresión. Fuente: (Chindon & Palaguachi, 2011)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.4 CICLO DE EXPLOSIÓN

El ciclo de explosión ocurre cuando el pistón alcanza el PMS y la temperatura del aire es suficiente para iniciar la combustión del ACPM, el cual es inyectado a presión en la cámara de combustión, consiguiendo con esto la expansión del volumen de gases contenidos en la cámara, dando como resultado una fuerza ejercida en la cabeza del pistón como se muestra en la figura 3 (URL, 2018).

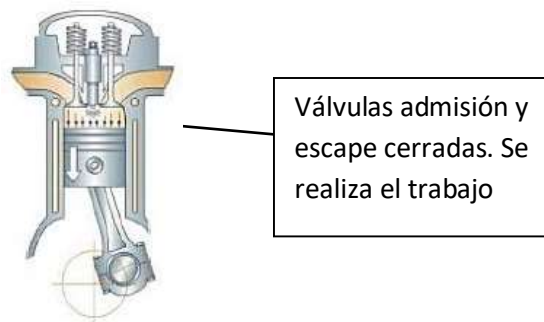


Figura 3. Ciclo de explosión. Fuente: (Chindon & Palaguachi, 2011)

2.1.5 CICLO DE ESCAPE

El ciclo de escape sucede cuando el pistón se desplaza del PMI al PMS luego de haber aprovechado la fuerza ejercida por la expansión de los gases de combustión, y estos deben ser evacuados del cilindro, para ello la válvula de escape se abre dejando salir los gases producto de la combustión como se muestra en la figura 4 (URL, 2018).

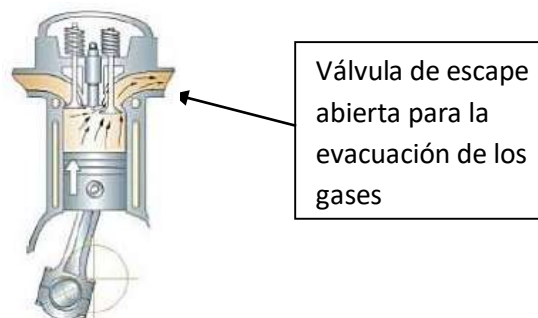


Figura 4. Ciclo de escape. Fuente: (Chindon & Palaguachi, 2011)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2 PARTES DE UN MOTOR DIESEL

El motor Diesel está compuesto por diferentes elementos, los cuales tienen una función determinada, que va desde un cuerpo rígido que contiene los demás elementos, hasta dispositivos complejos con precisión mecánica por engranajes. Dada la complejidad de un motor Diesel, se describirán las principales partes que lo conforman (Adrino, 2006).

2.2.1 EL BLOQUE

El bloque es la estructura básica del motor, en el van alojados los cilindros, el cigüeñal, árbol de levas, la bomba de agua entre otros. Los materiales empleados para su fabricación pueden ser aleaciones de acero y en los modelos actuales se están empleando materiales livianos como el aluminio. (Ver figura 5) (Consuegra, 2007).



Figura 5. Bloque del motor diesel. Fuente: (Giacosa, 1964).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.2 EL CIGÜEÑAL

Es el componente mecánico que cambia el movimiento rectilíneo de los pistones por medio de las bielas en movimiento rotativo, está ubicado dentro del bloque en los muñones de bancada apoyado sobre cojinetes, los cuales actúan como piezas anti desgaste para que el cigüeñal pueda girar sin desgastarse prematuramente (Ver figura 6) (Consuegra, 2007).



Figura 6. Cigüeñal del motor diesel. Fuente: (Giacosa, 1964).

2.2.3 LA CULATA

La culata es la parte superior del motor, en ella se encuentra la cámara de combustión y el sistema de distribución, el cual se encarga de sincronizar los ciclos del motor, realizando apertura y cierre de las válvulas de admisión y de escape por medio del árbol de levas y sus respectivos balancines, adicionalmente también está alojado los inyectores. Los materiales empleados para la fabricación de la culata son diferentes aleaciones de acero o aluminio. (Ver figura 7) (Consuegra, 2007).



Figura 7. Culata del motor diesel. Fuente: (Giacosa, 1964).

2.2.4 LAS VÁLVULAS

Las válvulas son los elementos sellantes de la cámara de combustión, dado que abren y cierran las lumbreras de admisión y escape, permitiendo el ingreso de aire y la salida de los gases de combustión. (Ver figura 8) (Adrino, 2006).



Figura 8. Válvulas de admisión y escape. Fuente: (Engiser , 2018).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.5 ÁRBOL DE LEVAS

Es el encargado de abrir las válvulas, va sincronizado con el cigüeñal por medio de piñones en forma de cascada o por medio de cadenillas. (Ver figura 9) (Adrino, 2006).



Figura 9. Árbol de levas. Fuente: (Iresa, 2018).

2.2.6 ENGRANAJES DE DISTRIBUCIÓN

Conjunto de piñones empleados por el sistema de distribución para sincronizar el árbol de levas, eje de la bomba de inyección y conexión con el cigüeñal. (Ver figura 10) (Adrino, 2006).



Figura 10. Engranajes de distribución tipo cascada. Fuente: (Garcia, 2018).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.7 BOMBA DE ACEITE

Está localizada en la parte baja del bloque del motor, específicamente ubicada en el cárter de aceite, su función es impulsar el aceite para que la lubricación ingrese a la culata, los cojinetes y las partes móviles del motor. (Ver figura 11) (Adrino, 2006).



Figura 11. Bomba de aceite de piñones para motores Diesel. Fuente: (Triwin, 2018).

2.2.8 BOMBA DE AGUA

Es la encargada de hacer circular el refrigerante a través del bloque de motor, culata y el radiador (Ver figura 12) (Adrino, 2006).



Figura 12. Bomba para refrigeración en motores de combustión interna Diesel. Fuente: (Repuetosauto, 2018).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.9 PISTÓN

Es un elemento metálico dispuesto para recibir la energía resultante de la explosión de la mezcla de aire con ACPM, adicionalmente debe poseer propiedades que le permitan ser resistente a la dilatación, y soportar altas temperaturas y presiones (Ver figura 13) (Adrino, 2006).



Figura 13. Pistón para motor Diesel tipo tina. Fuente: (Rheinmetall, 2018).

2.2.10 BIELA

Es un elemento mecánico resistente a esfuerzos de tracción y compresión, ya que su principal función es transmitir la energía del pistón al cigüeñal. Los materiales con que se fabrican van desde aleaciones de acero con procesos de temple y titanio (Ver figura 14) (Adrino, 2006).



Figura 14. Biela completa de motor Diesel con pistón. Fuente: (Giacosa, 1964).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.11 CILINDRO O CAMISA

Es llamado así por su geometría en forma cilíndrica, ya que esta forma es necesaria para alojar el pistón, anillos y biela, y permitir el desplazamiento rectilíneo del pistón el cilindro. Los materiales de fabricación más empleados para la fabricación de los cilindros son las aleaciones de acero, aunque en la actualidad se están imponiendo los cilindros de aluminio con recubrimientos cerámicos, con el fin de reducir peso en el motor (Ver figura 15) (Consuegra, 2007).

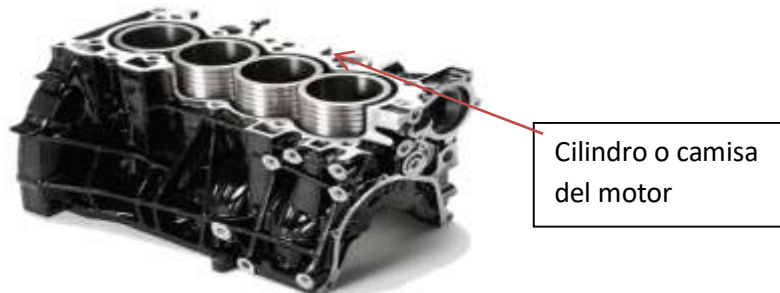


Figura 15. Camisas o cilindros instalados en el bloque del motor. Fuente: (Durán, 2018).

2.2.12 LOS COJINETES

Dado la imposibilidad para instalar rodamientos en un cigüeñal multi-cilíndrico forjado por completo, se emplean los cojinetes como elementos mecánicos que permiten el libre movimiento entre piezas fijas y móviles, respetando el ajuste y holgura para permitir que ingrese la lubricación (Ver figura 16) (Adrino, 2006).



Figura 16. Cojinetes para biela y bancada de motores automotrices. Fuente: (Clevite, 2018).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.13 EL TURBO COMPRESOR

El turbo compresor es un sistema de sobrealimentación que usa una turbina centrífuga para accionar mediante un eje coaxial con ella, el turbo compresor se usa para comprimir los gases y aumentar la potencia del motor. Se aprovechan los gases de escape para su movimiento (Ver figura 17) (Rodes, 2018).

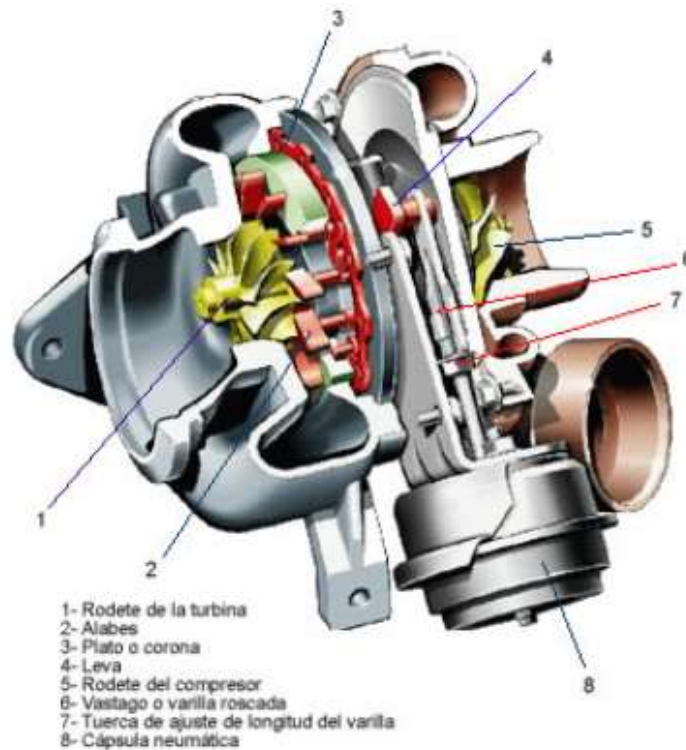


Figura 17. Ilustración de un turbo compresor con geometría variable y sus partes.
 Fuente: (Rodes, 2018).

2.3 APLICACIONES DEL MOTOR DIESEL

Según SENA, (2016), algunas aplicaciones de los motores diesel son:

- Maquinaria agrícola (tractores, cosechadoras)
- Propulsión ferroviaria
- Propulsión marina
- Automóvil y camiones

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Grupos generadores de energía eléctrica (centrales eléctricas y de emergencia)
- Accionamiento industrial (bombas, compresores, entre otros, especialmente de emergencia)

2.4 TIPOS DE MANTENIMIENTOS PARA EL MOTOR DIESEL

2.4.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo es una técnica científica que en especial está dirigida a realizar de manera anticipada soporte de las actividades, con el fin de prevenir el surgimiento de averías en componentes y sistemas del motor en general, además incluye algunas acciones como, inspección periódica de los componentes y sistemas del motor, para descubrir las condiciones que conducen a paros imprevistos, o depreciación perjudicial, ajustes, limpiezas, lubricación, calibración, cambios de componentes, entre otros (Escuela de Ingeniería , 2015).

2.4.2 VENTAJAS DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Dentro de la ventajas del mantenimiento preventivo se encuentran la disminución de paros por imprevistos en los equipos, ahorro de costos por concepto de pagos de horas extras al personal de mantenimiento en las reparaciones correctivas, disminución de los costos de reparaciones sencillas realizadas antes de los imprevistos, cumplimiento en la disponibilidad de la máquina y el conocimiento total de los costos del mantenimiento (Escuela de Ingeniería , 2015).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.4.3 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

En este tipo de mantenimiento se llevan a cabo una serie de acciones, cuyo objetivo es corregir las fallas detectadas en la máquina en los momentos de paro, ya que es la forma más elemental de los mantenimientos, debido a que consiste en localizar y reparar los elementos que interfieren en el correcto funcionamiento de la máquina. Las actividades de mantenimiento correctivo se realizan una vez se presenta la falla, debido a esto no es posible tener una planificación en el tiempo (Escuela de Ingeniería , 2015).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3 METODOLOGÍA

Con el fin de diseñar e implementar un sistema turbo cargado en el motor de marca KIA con referencia K2 perteneciente al banco de pruebas del laboratorio de ciencias térmicas del ITM, se inició con el reconocimiento de las características técnicas que posee dicho motor, con el fin de realizar la mejor selección de componentes necesarios para cumplir con los objetivos propuestos.

3.1 CARACTERIZACIÓN DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL BANCO DEL PRUEBA DE ITM

Para realizar la caracterización del motor del banco de pruebas del laboratorio de ciencias térmicas del ITM, se hizo necesario acudir al manual técnico del motor KIA - K2 con el fin de obtener sus cualidades técnicas, las cuales se establecen en la tabla 1.

Tabla 1. Caracterización del motor del banco de prueba del laboratorio de ciencias térmicas del ITM. Fuente: (Manuales concesionario KIA, 2018).

MOTOR DIESEL	
Modelo	K2 2,5L
Tipo	Atmosférico
Desplazamiento (diámetros por carrera)	2,497 (91 X 96)
Compresión	16,4:1
Potencia	129 hp @ 3.800 RPM
Torque	26 kgf .m @ 1.500 - 3.500 RPM
Sistema valvular	DOHC 4 Válvulas por cilindro

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Sistema de inyección	Common Rail
Refrigeración	Líquido
Convertidor catalítico	EURO 3
Lubricación	Lubricación forzada por bomba
	Capacidad de 7,4 (litros)
Electricidad	Batería 100 AH (12V)
	Alternador 90 A

En la tabla 1 se plasman los datos técnicos del motor KIA – K2, perteneciente al laboratorio de ciencias térmicas del ITM.

Posteriormente se hizo un diagnóstico del estado actual de funcionamiento del motor. Se hace la ignición del motor. Éste se encontraba fuera de servicio, debido al estado de carga de la batería, por tal motivo se procedió a inspeccionar el estado de los sistemas antes de tratar nuevamente de darle ignición nuevamente. Los datos extraídos de las mediciones se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. *Evaluación antes de darle ignición al motor del banco de pruebas del laboratorio de ciencia térmicas del ITM.* Fuente: Autores.

DIAGNÓSTICO DE LOS SISTEMAS ANTES DE PONER EN MARCHA EL MOTOR		
SISTEMAS	COMPONENTE	ESTADO
Eléctrico	Batería	Descargada
	Indicador carga batería	7,5 V
	Bujías de precalentamiento	Bueno
	Válvula solenoide bomba de inyección	Bueno
	Alternador	Bueno, cables alimentación bien conectados
Lubricación	Nivel de aceite motor	Bueno

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	Fugas de aceite motor	Bueno, se evidencia humedad sin goteo por el cárter de motor
	Filtro aceite motor	Bueno, apretado sin fuga
Refrigeración	Ventilador	Bueno, apretado
	Radiador	Bueno, sin fuga de líquido
	Bomba de agua	Bueno, sin fuga de líquido y con su respectiva correa en la polea
Combustible	Filtro combustible motor	Bueno, apretado sin fuga
	Filtro separador combustible	Bueno, se debe accionar el bombín para su llenado de combustible
	Bomba de inyección	Bueno, sin fuga de líquido combustible
Escape	Tubería escape	Bueno
	Silenciador de escape	Bueno
Admisión	Filtro de aire	Bueno
	Mangueras a colector de admisión	Bueno

Datos de las mediciones de los sistemas del motor KIA – K2 perteneciente el banco de pruebas del ITM.

Conociendo el estado de los sistemas del motor KIA – K2 perteneciente el banco de pruebas del ITM, se procedió a realizarle mantenimiento a la batería, por medio del cargador de baterías perteneciente al laboratorio de soldadura del ITM, y obteniendo nuevos datos en la medición de los sistemas luego de darle ignición como se muestra en la tabla 3.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 3. *Diagnóstico de los sistemas del motor del banco de pruebas del laboratorio de ciencia térmicas del ITM al darle ignición. Fuente: Autores.*

ANTES DE PONER EN MARCHA EL MOTOR		
SISTEMA	COMPONENTE	ESTADO
Eléctrico	Batería	Se recarga voltaje a 12,8 V
	Indicador carga batería	14,2 V
	Bujías de precalentamiento	Bueno
	Válvula solenoide bomba de inyección	Abre y cierra solenoide para dar y cortar paso de combustible
	Alternador	Generador a batería de 14,2 V
Lubricación	Indicador presión de aceite	Bueno, 4 bar
	Fugas de aceite motor	Bueno, se evidencia humedad sin goteo por el cárter de motor
	Filtro aceite motor	Bueno, apretado sin fuga
Refrigeración	Ventilador	Bueno, no presenta vaivén en aspas
	Radiador	Bueno, realiza ciclo de liquido
	Bomba de agua	Bueno, sin fuga de líquido, genera presión en liquido
Combustible	Filtro combustible motor	Bueno, apretado sin fuga
	Filtro separador combustible	Bueno, filtro lleno y separando el agua del combustible
	Bomba de inyección	Bueno, sin fuga de líquido combustible
Escape	Tubería escape	Bueno, no presenta fuga de gases
	Silenciador de escape	Bueno
Admisión	Filtro de aire	Bueno

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	Mangueras a colector de admisión	Bueno
--	----------------------------------	-------

Los datos presentados en esta tabla, se tomaron durante el proceso de ignición del motor del banco de pruebas del laboratorio de ciencia térmicas del ITM.

3.2 ACONDICIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ESCAPE, REFRIGERACIÓN Y ADMISIÓN DEL AIRE

3.2.1 SISTEMA DE ESCAPE

El sistema de escape encontrado el motor KIA – K2 perteneciente al laboratorio de ciencias térmicas del ITM, contaba con los siguientes componentes: múltiple de escape, protector de seguridad de temperatura, tubería de escape y silenciador.

La cantidad de elementos pertenecientes al sistema de escape del banco de pruebas no cambió, no obstante, se efectuaron modificaciones para ubicar los nuevos elementos que requiere la implementación del sistema de admisión turbo cargado, los cuales requirieron de intervenciones en los múltiples de entrada de aire y el múltiple de salida de los gases de combustión. Los materiales utilizados y las herramientas requeridas para las modificaciones fueron suministrados por el laboratorio de soldadura del ITM.

Utilizando una cámara fotográfica, se realizó el registro del sistema de escape que poseía el motor KIA – K2 del banco de pruebas del laboratorio de ciencias térmicas del ITM, como se muestra en la figura 18.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 18. Sistema de escape existente perteneciente al motor KIA – K2 del banco de pruebas del laboratorio de ciencias térmicas del ITM. Fuente: Autores.

Para la implementación del turbo cargador en el motor KIA – K2, se requirió La modificación de sistema de escape, para ello se fabricó una base de acople entre el turbo cargador y el múltiple de escape, esto fue posible gracias al trabajo metalmecánico con el torno y soldadura MIG. Los materiales necesarios fueron: 40 cm de tubo galvanizado de 2,5 pulg de diámetro y con un calibre 1/8 de pulg. La base construida se muestra en la figura 19.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 19. Base de acoplamiento de múltiple de escape con el turbo cargador instalado en el motor KIA – K2 del banco de pruebas del laboratorio de ciencias térmicas del ITM. Fuente: Autores.

Inicialmente se pretendía instalar el turbo cargador a un lado del chasis, pero no se contaba con el espacio necesario, debido a esto se tomó la decisión de instalar el turbo cargador en la parte superior del motor realizando una inclinación de la tubería en 75° , consiguiendo de esta forma la instalación del turbo cargador con el espacio suficiente para instalar las mangueras como se muestra en la figura 20.



Figura 20. Salida de sistema de escape modificado e implementado en el motor KIA – K2 del banco de pruebas del laboratorio de ciencias térmicas del ITM. Fuente: Autores.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Después de ubicar el turbo cargador, se procedió con la implementación de la salida de la tubería hacia el silenciador del escape, teniendo en cuenta que el motor ya está montado sobre un chasis que no se puede modificar, por esta razón modificamos la tubería para que pasara por debajo del chasis del motor, y modificando la misma tubería que presentaba el motor inicialmente, al recortarla y dándole un mayor ángulo de inclinación para que pase por debajo del chasis, como se muestra en la figura 21.



Figura 21. Motor KIA – K2 del banco de pruebas del laboratorio de ciencias térmicas del ITM, con la modificación del sistema de escape del para que pase por debajo del chasis. Fuente: Autores.

En el momento de ensamblar los componentes del sistema de escape, se evidencia que las uniones de las boquillas con tornillos quedan con fugas de gases de escape, por este motivo se procede a desensamblar el sistema de escape e instalar empaques de grafito en las juntas de las boquillas para tener un mejor sellado, al igual que en la base del turbo cargador.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.2.2 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN Y ADMISIÓN DEL AIRE

El aire que se requiere inyectar a la cámara de combustión debe tener la menor temperatura posible, por tal motivo se debió instalar un sistema de intercambio de calor como refrigeración, para lograr esto se instaló el intercambiador de calor en la parte frontal del motor, delante del radiador de agua, este disminuye la temperatura del aire mediante las tuberías y las celdas que tiene externamente.

Para instalarlo fue necesario asegurar una platina de 60 cm de larga con un calibre de 1/8 de pulg, y posteriormente soldada a los soportes que presentaba inicialmente el radiador del motor como se muestra en la figura 22.



Figura 22. Soporte del intercambiador de calor implementado en el motor KIA – K2 del banco de pruebas del laboratorio de ciencias térmicas del ITM. Fuente: Autores.

El diseño de los componentes que se encontraban en el banco de pruebas, se realizó sin contemplar una implementación de un turbo cargador, por lo que el colector de admisión quedaba cerca filtro de aire, lo que imposibilitaba el ruteo de las mangueras, por este motivo optó por modificar la posición del colector de la admisión, girándolo 180° en su base, y modificando la posición del filtro del aire en el chasis para que la trayectoria de la entrada del aire al turbo cargador tenga una corta distancia, ya que una gran cantidad de mangueras en el ruteado del motor se

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

vuelve inseguro. Para diferenciar la posición del filtro del aire antes y después se muestra en la figura 23 la posición del filtro antes de la modificación.



Figura 23. Posición del filtro del aire antes del cambio de posición. Fuente: Autores.

Después de tener el intercambiador de calor instalado, el filtro de aire en diferente posición y el colector de admisión girado en su base, se procede a medir las distancias de las mangueras necesarias para poder canalizar y transportar el aire como se muestra en la figura 24.



Figura 24. Cambio de posición del filtro de aire. Fuente: Autores.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Se requirió 3m de manguera caucho-lona corrugada de 2 ½ pulg de diámetro, para realizar los siguientes ruteos: 1m de manguera que transporta el aire desde el filtro del aire hasta la entrada del aire del tubo cargador. 1m de manguera que va desde la salida del turbo cargador hasta la entrada del intercambiador de calor. 1m de manguera que va desde la salida del intercambiador del aire a baja temperatura hasta el colector de aire de admisión, como se muestra en las figuras 25.



Figura 25. Ruteo de mangueras del aire desde la toma a presión atmosférica, hasta la admisión del aire al motor a mayor presión. Fuente: Autores

3.3 SELECCIÓN E INSTALACIÓN DEL TURBO CARGADOR

3.3.1 SELECCIÓN DEL TURBO CARGADOR

Para la selección del turbo compresor se optó por un modelo que posea válvula de alivio y geometría variable, debido a que este tipo de turbo compresores son empleados para trabajo pesado, ya que al ser de geometría variable responden con mayor eficacia a las variaciones del flujo de gases de escape, así se consigue un

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

aumento de la velocidad en el eje de la turbina en comparación con el turbo de geometría constante, adicionalmente se debe contemplar la importancia de la válvula de alivio ya que su función es evitar el exceso de presión de sobrealimentación, esto se debe a que un determinado porcentaje de los gases de escape circunvalarán la turbina y de esta manera se limita la potencia recuperada en la turbina, regulando así la presión de sobre alimentación (González *et al.*, 2006). En la figura 26 se muestra la válvula de alivio.



Figura 26. Válvula de alivio del turbo cargador instalado en el motor del banco de pruebas del laboratorio de ciencias térmicas del ITM. Fuente: Autores.

Al tener definido el tipo geometría que debe tener el turbo cargador, se recurrió a los datos técnicos relevantes de la parametrización del motor, los cuales fueron; la relación de compresión, cilindrada y diámetro de toma de aire y entrada del múltiple de admisión, los cuales se muestran en la tabla 4.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 4. Datos técnicos necesarios para la selección del turbo cargador. Fuente: Autores.

Motor KIA – K2	
Cilindrada	2,5 litros
Relación de compresión	16,4:1
Diámetro de la toma de aire	2 pulgadas

Datos a tener en cuenta en el momento de la selección del turbo cargador.

Para calcular los requerimientos del turbo-cargador, se deben conocer los siguientes datos (Garrett, 2019):

1. Objetivo de caballos de fuerza
2. Desplazamiento del motor
3. Revoluciones máximas de trabajo del motor
4. Temperatura ambiente
5. presión barométrica

Para fijar los hp de objetivo se emplea los datos extraídos del sitio web de Garrett, los cuales se muestran en la tabla 5, teniendo presente la finalidad del uso del motor Diesel.

Tabla 5 Objetivo de caballos de fuerza para la selección de un turbo cargador.

Conductor diario / Camión de trabajo / Vehículo de remolque	+ 150 caballos de fuerza	Fiabilidad, manejabilidad, rendimiento, EGT reducidos, humo bajo
Guerrero de fin de semana	+ 250 caballos de fuerza	Todavía tiene que cumplir con su deber regular durante la semana y divertirse los fines de semana
Rendimiento extremo	+ 350 caballos de fuerza	Conducción en la calle, pero manejabilidad diaria comprometida por una capacidad de alto rendimiento

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Competencia + 400 100% Performance – No es para trabajo
 caballos de
 fuerza y
 más

El motor del banco de pruebas del laboratorio de ciencias térmicas ITM, es un motor de experimentación, al cual se le pueden adicionar diversos elementos de trabajo como lo son generadores de energía eléctrica o elementos de recuperación de calor entre otros, por tal motivo se selecciona como objetivo de fuerza el valor de trabajo, el cual está en el margen de los 150 hp, con la finalidad de aumentar la fuerza de 129 Hp que posee el motor original a 200 hp, consiguiendo con esto un incremento de potencia en un 55%.

Partiendo de lo anterior tenemos como objeto de repotenciación 150 hp, y a una velocidad de giro del cigüeñal de 3800 RPM como máximo según el manual del fabricante, por lo tanto, el turbo compresor debe suministrar el caudal de aire necesario para aumentar los hp adicionales.

- **Cálculo del flujo de aire actual**

Ecuación 1:

$$W_a = Hp \times \frac{A}{F} \times \frac{BSFC}{60}$$

Dónde,

W_a = flujo de aire actual (lb / min)

HP = objetivo de caballos de fuerza (volante) = 200 Hp

A / F = Relación aire / combustible para motor diésel con cero emisión de humo = 22 de aire por una de combustible. Dato suministrado por (Garrett, 2019).

$BSFC / 60$ = 0,38 dato suministrado por (Garrett, 2019).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$W_a = 200 \text{ Hp} \times 22 \times \frac{0,38}{60} = 25,33 \frac{\text{lb}}{\text{min}}$$

- **Cálculo de presión del colector requerida**

Para calcular la presión del colector se emplea la ecuación 2 suministrada por el fabricante de turbo-cargadores GARRETT, el cual determina tener los siguientes datos (Garrett, 2019).

Ecuación 2:

$$P_{ac} = \frac{W_a \times R \times (460 + 140 F)}{E_v \times \frac{N}{2} \times D_{mt}}$$

$P_{ac \text{ req}}$ = presión absoluta del colector (psia) requerida para alcanzar el objetivo de potencia

W_a = flujo de aire actual (lb / min)

R = Constante de gas = 639.6

T_m = Temperatura del colector de admisión (grados F)

E_v = Eficiencia Volumétrica

N = Velocidad del motor (RPM)

D_{mt} = desplazamiento del motor (pulgadas cúbicas, convertir de litros a CI multiplicando por 61, ej. 2.0 litros * 61 = 122 CI). Por lo tanto, el volumen total del motor del ITM es de 2,5 litros multiplicado por 61 es 152,5 in³.

Sustituimos en la ecuación 2:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$P_{ac} = \frac{25,33 \times 639,6 \times (460 + 140 F)}{0,9 \times \frac{3800}{2} \times 152,5} = 37,28 \text{ psi}$$

Para pasar de presión absoluta a presión manométrica se le resta la presión atmosférica quedando así:

$$37,28 \text{ psi} - 12,344 \text{ psi atmosfera en Medellín} = 24,936 \text{ psi}$$

Para efectos prácticos el fabricante Garrett estima que las pérdidas de presión en accesorios y mangueras son aproximadamente 2 psi, por tal motivo le sumaremos 2 psi a la presión absoluta para tener un resultado más preciso, quedando en 39,28 psi, y le restaremos 1 psi efectiva a la presión atmosférica quedando así:

$$12,344 \text{ psi} - 1 \text{ psi} = 11,344 \text{ psi.}$$

Con los datos expuestos anteriormente procedemos a calcular la relación de presión la cual está dada de la siguiente manera.

$$\text{Presión absoluta} / \text{presión atmosférica} = 39,344 \text{ psi} / 11,344 \text{ psi} = 3,46$$

Luego de tener los cálculos efectuados en base a la necesidad del motor del banco de pruebas del ITM, se requirió de la colaboración de las comercializadoras de autopartes de la ciudad, entre ellas Diesel de la Montaña y Turbo diesel, quienes prestaron la asesoría y diferentes tipos de turbos para compararlos, llegando a la conclusión que hay dos referencias en el mercado que se ajustan a las características calculadas para el motor KIA-K2, teniendo presente que este modelo de motores es antiguo en comparación con los modelos de vanguardia.

Los modelos de turbo cargadores preseleccionados para este estudio fueron; el modelo GT2258MS, y el modelo GT22556MS, de los cuales se muestran las dimensiones medidas en la tabla 5.

Tabla 6 Dimensiones de los modelos preseleccionados de los turbo cargadores. Fuente: datos extraídos de las mediciones de los modelos GT2258MS Y GT22556MS.

Característica	Turbo Garret - GT2258MS	Turbo Garret - GT2256MS
Diámetros compresor	D1 = 43 mm	D1 = 42,8 mm
	D2 = 63 mm	D2 = 59,4 mm
Diámetros Turbina	D1 = 45 mm	D1 = 42,7 mm
	D2 = 57 mm	D2 = 50,3 mm

La tabla 6 contiene los datos de los diámetros de la turbina y el compresor centrífugo de los modelos preseleccionados para la implementación del turbo cargador del banco de prueba del laboratorio de ciencias térmicas del ITM.

Debido a las características requeridas en el motor para la implementación de los modelos de turbo cargadores preseleccionados, se establece que el modelo GARRET – GT2256MS, es el más adecuado, ya que su aplicación en motores cumple con los parámetros calculados, y aplica para motores con una cilindrada de 2,2 litros hasta 2,8 litros, estando dentro de los parámetros del motor KIA-K2 que posee el banco de pruebas, y que se muestran en la tabla 4.

3.3.2 INSTALACIÓN DEL TURBO CARGADOR

Empleando las reformas realizadas en los múltiples de admisión y de escape, se procedió con el montaje del turbo cargador seleccionado, revisando cuidadosamente que las juntas en los acoples quedaran selladas de tal forma que no permita la salida o entrada de gases o aire. En la figura 27 se muestra el turbo cargador ya instalado en las bases reformadas por los autores.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 27. Acoplamiento del turbo cargador a los múltiplos de escape y de admisión. Fuente: Autores.

Luego de instalar el turbo cargador en las bases de los múltiplos de admisión y de escape, se procedió a instalar la lubricación del turbo cargador, para ello se inspeccionó el tapón auxiliar de lubricación del bloque de motor, adicionalmente se midió la distancia entre el bloque del motor y la entrada de lubricación del turbo cargador, con el fin de hacer fabricar la manguera que se encargara de transportar el aceite del motor al turbo cargador.

La manguera que se fabricó posee un diámetro de $\frac{1}{2}$ pulg, 45 cm de longitud, y una resistencia a la presión de 1100 psi, con sus respectivos racores engafados a los extremos de la manguera, tal como se muestra en la figura 28.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 28. Implementación de la manguera de lubricación turbo cargador al bloque del motor. Fuente: Autores.

Basados en el principio de conservación de masas todo lo que entra debe salir, por tal motivo se le instaló un retorno de aceite que va desde el punto descarga del turbo cargador, al descargue de la válvula drive del motor, formando una “T” con racores y empleando una manguera de caucho-lona de ½ pulgada de diámetro para la descarga del aceite de lubricación del turbo cargador al motor.

En la figura 29 se muestran los acoples de las mangueras de lubricación del turbo cargador.



Figura 29. Adaptación de la manguera de descargue de aceite del turbo cargador al motor. Fuente: Autores.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.4 CÁLCULOS TEÓRICOS DEL INCREMENTO DE POTENCIA

Para determinar la potencia final obtenida luego de las implementaciones de los sistemas periféricos para el incremento de volumen de aire en los cilindros, es necesario realizar los cálculos teóricos a partir de los datos conocidos empleando ecuaciones, ya que para validar la potencia final obtenida físicamente, es necesario disponer de equipos sofisticados y costosos, tales como; dinamómetro fricción, para determinar la potencia y torque a diferentes RPM. Caudalímetro ultrasónico no invasivo, con el cual se mide el volumen de entrada del aire a diferentes RPM. Anemómetro; con el cual se mide la velocidad de entrada del aire en la toma de la caja filtro. Lamentablemente estos equipos no se encuentran dentro de los laboratorios del ITM, y solicitar este servicio por otras entidades incrementaría en gran magnitud el costo del proyecto, convirtiéndolo en inviable para los autores

3.4.1 CAUDAL DE AIRE REQUERIDO

Para calcular el aire requerido por el motor KIA- K2 del banco de pruebas del ITM, debemos determinar el volumen de cada cilindro y el volumen de la cámara de compresión.

- La cilindrada total del motor es de 2.497 cm^3
- Número de cilindros = 4
- Relación de compresión = 16,1 a 1
- Volumen por cilindro = $624,25 \text{ cm}^3$

Partiendo de los datos anterior mente expuestos y empleando la fórmula para hallar la relación de compresión despejamos el volumen de la cámara de compresión a partir de la formulas expuestas en el trabajo de Adrino (2006), tenemos que;

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Ecuación 3

$$Rc = \frac{v1 + v2}{v2}$$

Rc = Relación de compresión

V₁ = volumen del cilindro

V₂ = volumen de la cámara de compresión

Despejamos V₂ de la ecuación 1 nos queda;

$$Rc = \frac{v1}{v2} + \frac{v2}{v2}$$

$$Rc = \frac{v1}{v2} + 1$$

$$Rc - 1 = \frac{v1}{v2}$$

Nos queda;

Ecuación 4

$$v2 = \frac{v1}{Rc - 1}$$

Sustituimos los valores de V₁ y Rc en la ecuación 2 nos queda;

$$v2 = \frac{624,25}{16,41 - 1} + 1$$

$$V_2 = 40,5 \text{ cm}^3$$

Volumen de la cámara de combustión por cilindro = 40,5 cm³

Conociendo el volumen de cada cilindro y el de la cámara de combustión, se empleó el software online gratuito ofertado por la página web WIDMAN INTERNATIONAL SRL, el cual es utilizado para la selección de filtros de admisión

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de aire, y que obedece a la siguiente ecuación de cálculo (WIDMAN INTERNATIONAL SRL, 2019).

Ecuación 5. Empleada para determinar el caudal de aire requerido por el motor de combustión diésel.

$$CFM = \left(\frac{\text{pulg}^3 \times RPM \text{ max}}{3456} \right) \times \text{Eficiencia volumetrica del motor}$$

Dónde:

CFM = pies cúbicos por minuto

Eficiencia volumétrica de los motores;

- Motor a gasolina a carburador = 0,7 a 0,8
- Motor diesel sin turbo = 0,9
- Motor diesel con turbo = 1,5 a 3

Teniendo presente que las RPM máximas del motor empleado en el banco de pruebas es de 3800, y que tomaremos el menor valor de eficiencia volumétrica para un motor diesel sin turbo que es (0,9) y con turbo (1,5), reemplazamos y tenemos que;

$$2497 \text{ cm}^3 = 152,3763 \text{ in}^3$$

Reemplazamos en la ecuación 3 con la eficiencia volumétrica para un motor sin turbo 0,9 y tenemos que;

$$CFM = \left(\frac{152,3763 \text{ pulg}^3 \times 3800 \text{ RPM}}{3456} \right) \times 0,9 = 150,78$$

Reemplazamos en la ecuación 3 con la eficiencia volumétrica para un motor con turbo 15 y tenemos que;

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$CFM = \left(\frac{152,3763 \text{ pulg}^3 \times 3800 \text{ RPM}}{3456} \right) \times 15 = 251,3$$

Convertimos CFM a litros por minuto;

Ecuación 6

$$CFM \times 28,3 = \text{litros /min}$$

Motor sin turbo

Sustituimos y nos queda que:

$$\frac{\text{litros}}{\text{min}} = 150,78 \times 28,32 = 4.270$$

Motor con turbo

Sustituimos y nos queda que:

$$\frac{\text{litros}}{\text{min}} = 251,3 \times 28,32 = 7.116,8$$

Para calcular el incremento en el volumen del aire con el turbo cargador tenemos que;

Ecuación 7

$$\% = \frac{\text{volumen mayor}}{\text{volumen menor}} \times (100)$$

Sustituimos en la ecuación 7 y nos queda que:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\%de\ incremento = \frac{7116,8\ litros\ x\ min}{4270\ litros\ x\ min} \times (100) = 167$$

Para determinar cuál es porcentaje de incremento entre el motor con turbo y sin turbo se resta el resulta de la ecuación 5 con el 100% y nos queda:

$$\% de\ incremento = 167 - 100 = 67$$

La implementación del turbo compresor proporciona un incremento del caudal del aire del 67%, comparado con el consumo atmosférico del motor sin el turbo compresor.

3.4.2 ESTIMACIÓN TEÓRICA DE LAS VARIABLES QUE AUMENTAN LA POTENCIA EN EL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA DIESEL

Partiendo de los datos hallados en el caudal de aire requerido tenemos que;

Volumen de la cámara de combustión de cada cilindro = 40,05 cm³

Volumen de cada cilindro = 624,5 cm³

Incremento del aire requerido con la implementación del turbo = 67 %

Para calcular Incremento del volumen de aire con el turbo compresor dentro de un cilindro empleamos la ecuación 8.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Ecuación 8

$$\text{Volumen final} = \text{volumen inicial} \times \% \text{ de incremento}$$

Sustituimos en la ecuación 6 y nos queda que:

$$\text{Volumen final} = 624,5 \times 67\% = 1042,5 \text{ cm}^3$$

Cálculo de la relación de compresión del motor diesel con el turbo compresor empleando la ecuación 1;

$$R_c = \frac{v_1 + v_2}{v_2}$$

$$\text{Volumen de la cámara de combustión por cilindro del motor} = 40,5 \text{ cm}^3$$

Sustituimos y nos queda que:

$$R_c = \frac{1042,5 + 40,5}{40,5} = 26,74$$

Con los datos calculados se realiza una parametrización del motor después de la implementación del turbo cargador comparada con los datos del motor original. (Ver tabla 6).

Tabla 7. Comparación de parámetros antes y después de la implementación del turbo cargador.

Parámetros	Motor sin turbo	Motor con turbo
Volumen por cilindro	624,5 cm ³	1042,5 cm ³
Volumen total del motor	2497 cm ³	4170 cm ³
Caudal de aire requerido	4270 litros de aire/min	7116,8 litros de aire/min
Relación de compresión	16,1 a 1	26,74 a 1

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Partiendo de las características del motor del banco de prueba del laboratorio de ciencias térmicas del ITM, y buscando aumentar la potencia del mismo, se implementó un sistema admisión de aire turbo cargado en el motor Diesel KIA K2, empleando un turbo cargador GARRET – GT2256MS, debido a que este aplica en motores con compresión inicial que va desde 14/1 a 18/1 y de cilindrada que va desde 2,2 litros hasta 2,8 litros, consiguiendo la puesta a punto del motor dentro de los estándares de las RPM según la ficha técnica del fabricante, pero aumentando la velocidad de respuesta en altas RPM.

Adicionalmente los resultados obtenidos en el proceso de instalación fueron satisfactorios, ya que las modificaciones realizadas en los múltiples de admisión y escape no intervinieron con la funcionalidad de los demás elementos.

Fue necesario la implementación de un sistema intercambiador de calor, ya que sin este no se alcanzaría la eficiencia planeada en el proceso de combustión, debido al aumento de volumen con igual masa en el caudal de aire al aumentar la temperatura, cuando realmente se requiere es el aumento de la masa con el mismo caudal de aire, por esto se hace necesario el sistema intercambiador de calor para refrigerar el aire que ingresa después del turbo cargador a la cámara de combustión, logrando con esto aumentar la compresión del motor sin modificar sus dimensiones iniciales.

El incremento teórico del flujo de aire en el sistema de admisión, después de la implementación del turbo cargador fue del 67% con respecto al flujo inicial que poseía el motor sin el turbo, lo que representa un incremento en la relación de compresión después de la implementación del turbo cargador, la cual ronda

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

teóricamente los 26.74 a 1, en comparación con la relación de compresión inicial la cual era de 16,1 a 1, lo que se interpreta como un aumento en la compresión del 66%. El volumen teórico de aire contenido en los cilindros del motor inicialmente era de 2497 cm³, posteriormente al instalar el turbo compresor se logra aumentar hasta 4170 cm³, logrando un incremento del 67% en volumen contenido en la sumatoria de los cuatro cilindros del motor.

La parametrización física del motor luego de la implementación del turbo cargador, no se pudo llevar a cabo, dado que los laboratorios del ITM no cuentan con los equipos necesarios para llevar a cabo este tipo de mediciones, y la realización de estas por fuera de la institución no es viable debido, el alto costo que acarrea un pago a terceros por la prestación de este servicio.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5 CONCLUSIONES

El incremento en la potencia de un motor de combustión depende de diferentes factores, siendo los más relevantes el incremento en la cilindrada o el incremento en el nivel de compresión, resaltando que si se repotencia un motor por el incremento de cilindrada este tendría un mayor consumo de combustible conservando el mismo nivel de eficiencia, no siendo esta la mejor opción en términos de eficiencia. Por lo anterior la mejor alternativa es el incremento de la potencia del motor a partir del aumento del nivel de compresión, empleando dispositivos periféricos como lo son los turbo cargadores, los cuales aumentan el nivel de compresión al aumentar la masa dentro del mismo volumen de la cámara de combustión y aprovechando la energía cinética de los gases de escape que normalmente se desperdicia.

Empleando los resultados de los cálculos teóricos realizados en este estudio y teniendo presente los resultados de estudios anteriores, se concluye que el incremento en la eficiencia de un motor Diesel con este tipo de implementaciones puede aumentar hasta un 20%, y el incremento en potencia puede rondar el 40% adicional aproximadamente, dado que el volumen de aire que ingresa comparado con el incremento mínimo del combustible que se adiciona en el proceso, y la pronta respuesta del motor en términos de aceleración al aprovechar la energía cinética de la salida de los gases de combustión, da como resultado dicho porcentaje.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

6 RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

En el proceso de implementación del sistema de alimentación turbo cargado a un motor Diesel, es necesario primero realizarle una parametrización estandarizada, precisa y meticulosa, ya que la mala selección del dispositivo turbo cargador que se pretende instalar conllevaría a la pérdida de la estequiometría entre el carburante y el comburente, trayendo consigo problemas de mayor envergadura en el motor, los cuales pueden ir desde recalentamiento por una mezcla pobre, hasta perforaciones en el pistón o culata, convirtiendo un proceso de mejora de eficiencia en la destrucción del motor.

El estudio de los dispositivos turbo cargadores, no son sencillos de realizar, ya que existe una brecha de información, debido a que los fabricantes de turbo compresores son muy reservados con los catálogos, lo que dificultó la tarea de seleccionar un turbo compresor.

En la implementación del turbo cargador se debe contemplar los espacios de trabajo en los elementos periféricos del motor, ya que hay que instalar elementos que no se tenían en el diseño original, tales como los múltiples de admisión y de escape y los intercambiadores de calor, los cuales requieren de un espacio con la posibilidad de flujo de aire circundante con el fin de entregar el calor extraído del motor al ambiente.

Dado el avance que se dio en el banco de pruebas al implementar el turbo cargador en el motor Diesel, se hace necesario la parametrización del motor con dichas mejoras, por lo tanto, se debe pensar como trabajo futuro la medición del torque final empleando un dinamómetro, y la emisión de gases empleando un analizador de gases.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Otro trabajo futuro puede ser la modernización de los equipos de medidas tales como; el termómetro, el tacómetro, el indicador de lubricación y las señales virtuales, estas se pueden implementar de forma digital, ya que las existentes son análogas y no presentan un alto margen de precisión.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- Adrino, J. (06 de 2006). *Ministerio del interior de España*. Obtenido de http://www.intt.gob.ve/repositorio/biblioteca/educacion_y_seguridad_vial/libro_mecanica.pdf
- Arango, J., Fabio, s., & Sergio, P. (2014). Comportamiento de un motor diesel de 1.105 hp operado mediante el sistema dual–fuel con diesel – gas natural en campos petroleros. *Informador tecnico* .
- Chindon, E., & Palaguachi, J. (1 de 10 de 2011). *Universidad Politecnica Salesiana* . Obtenido de dspace.ups.edu.ec: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1558>
- Clevite. (14 de 12 de 2018). *www.autozone.com.mx*. Obtenido de https://www.autozone.com.mx/motor-interno/cojinete-de-biela/mahle-cojinete-de-biela/524753_0_0_134041
- Consuegra, S. (21 de 06 de 2007). *itsa.edu.co*. Obtenido de <http://www.itsa.edu.co/docs/17-S-Consuegra-Modulo-Motores-Diesel.pdf>
- Diesel, R. (1898). *Patente nº 608,845*. Estados Unidos .
- Durán, J. (14 de 12 de 2018). *Carplanet MX*. Obtenido de <http://carplanet.mx/noticia/general/sabes-que-tipo-de-motor-tiene-tu-auto/591fc13e07f8a>
- Engiser . (14 de 12 de 2018). *Engiser 101*. Obtenido de <http://www.engiser101.com/es/motor/50-valvula-escape-trw-058109611m.html>
- Escuela de Ingenieria . (2015). *Duoc. DI*. Obtenido de http://www.duoc.cl/sites/default/files/mantenimiento_de_motores_diesel_0.pdf
- Fernandez, C. (8 de 2015 de 2015). *Slide share*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/EdgarVargasMedina/exposicion-motores-diesel>
- Garcia, G. (14 de 12 de 2018). *Prueba de ruta* . Obtenido de <https://www.pruebaderuta.com/sistema-de-distribucion.php>
- Garrett. (24 de abril de 2019). *Garrett Avancing Motion*. Obtenido de <https://www.garrettmotion.com/turbocharger-technology/how-a-turbo-works/expert/>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Giacosa, D. (1964). MOTORES ENDOTERMICOS. En D. Giacosa, *MOTORES ENDOTERMICOS* (págs. 16-18). Barcelona: Hoepli, Barcelona.

González, D., Osorio, L., & Tabaquirá, J. (2006). CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA Y TÉCNICA DE UN TURBOCOMPRESOR DE UN VEHÍCULO MAZDA 4.5T. *Scientia et Technica Año XII*, 149-154.

Iresa. (14 de 12 de 2018). *www.iresa-web.com*. Obtenido de <https://www.iresa-web.com/productos-top/productos-arboles-levas-top/180-arboles-de-levas>

Repuetosauto. (14 de 12 de 2018). *www.repuetosauto.es*. Obtenido de <https://www.repuetosauto.es/1737256-vdo-bomba-de-agua>

Rheinmetall. (14 de 12 de 2018). *Rheinmetall Automotive AG*. Obtenido de <https://www.ms-motorservice.com/es/productos-y-aplicaciones/productos-en-el-motor/pistones/>

Rodes. (14 de 12 de 2018). *www.ro-des.com*. Obtenido de <https://www.ro-des.com/mecanica/turbocompresores-geometria-variable-vtg/>

Triwin. (14 de 12 de 2018). *Everychina*. Obtenido de <http://dieselengine-part.spanish.sell.everychina.com/p-104620021-bomba-de-aceite-con-engranaje-de-lubricante-3948071-para-el-motor-diesel-de-cummins-6bt5-9-4bt.html>

URL. (14 de 12 de 2018). *URL.edu.gt*. Obtenido de <http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/ManualesIng/02/30/05.pdf>

Volkswagen . (14 de 12 de 2018). *www.germaniamotors.com/Volkswagen/Amarok*. Obtenido de http://germaniamotors.com/portfolio/nueva-amarok/?gclid=Cj0KCQiAhKviBRCNARIsAAGZ7Ceb7Cds8t-puXTektj3Z4dO4yK7eLWvH5ltXGj8QQuh5VsnlP6h0UaAtenEALw_wcB

WIDMAN INTERNATIONAL SRL. (23 de Marzo de 2019). *widman.biz*. Obtenido de <https://www.widman.biz/Seleccion/cfm.html>

FIRMA ESTUDIANTES

Fabian Ramirez
Sergio A. Sepúlveda



FIRMA ASESOR

Se entrega informe final para revisión por primera vez

FECHA ENTREGA: Abril 30 de 2019

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO _____

ACEPTADO _____

ACEPTADO CON
MODIFICACIONES _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____