

Análisis de las curvas características y la opacidad de un motor JO5ETC16173 con la implementación de un turbocargador

Analysis of the characteristic curves and the opacity of a JO5ETC16173 engine with the implementation of a turbocharger

MSc. Edwin G. Puente M

Universidad Internacional del Ecuador, Ecuador

Ing. Abel P. Remache C

Universidad Internacional SEK Ecuador, Ecuador

Autor para correspondencia: epuente@uide.edu.ec, abelbelo@hotmail.com

Fecha de recepción: 07 de Agosto de 2017 - Fecha de aceptación: 30 de Septiembre de 2017

Resumen: Se ha realizado el análisis de las curvas características y la opacidad de un Motor con la implementación de un turbocargador. Con los resultados y el análisis se conoce la importancia del uso de un turbocargador ya que eleva en gran porcentaje el torque y la potencia de un motor. Los ensayos fueron realizados en la ciudad de Quito-Ecuador a 2850 metros de altura sobre el nivel del mar, a una presión atmosférica de 73900 pascales (Pa) y a una temperatura aproximadamente de 22,78 grados Centígrados. Los resultados obtenidos por medio del dinamómetro LPS3000 generaron valores de importancia como: Torque del motor sin turbocargador 170,7 lbf/ft a 1500rpm, con turbocargador 304,69 lbf/ft a 1500rpm; potencia a las ruedas sin turbocargador 28,43 hp a 2500rpm y con turbocargador 122,94 hp a 2500rpm; potencia del motor sin turbocargador 60,06 hp a 2500rpm y con turbocargador 151,29 hp a 2500rpm. La potencia normal del vehículo sin turbocargador es de 65,57 hp a 2500 rpm y con turbocargador es de 160,35 hp a 2500rpm. Se puede demostrar que las emisiones de gases producidas por un motor turbocargado son menos contaminantes que las emisiones producidas por un motor sin esta sobrealimentación. Se comprueba que la medición de opacidad del vehículo fue de 93% sin la sobrealimentación y un 61% con el turbocargador implementado.

Palabras clave: opacidad; turbocargador; torque; potencia; emisiones de gases; sobrealimentación de motores

Abstract: Analysis has been made of the characteristic curves and opacity of a motor with the implementation of a turbocharger. With the results and analysis of the importance of using a turbocharger is known as large percentage increases in torque and power of an engine. The tests were conducted in the city of Quito-Ecuador at 2850 meters above sea level, at an atmospheric pressure of 73900 pascals (Pa) and at a temperature of approximately 22.78 degrees Celsius. The results obtained by the dynamometer LPS3000 generated values of importance as: Torque engine without turbocharging 170.7 lbf / ft at 1500rpm, with turbocharging 304.69 lbf / ft to 1500rpm; power to the wheels without turbocharging 2500rpm 28.43 hp and 122.94 hp turbocharged 2500rpm; without turbocharger engine power 60.06 hp at 2500rpm and 2500rpm hp turbo 151.29. The normal power of the vehicle without turbocharger is 65.57 hp at 2500 rpm and turbocharger is 160.35 hp at 2500rpm. It can be shown that emissions of gases produced by a turbocharged

engine are less polluting emissions produced by an engine without the supercharger. It is found that the measurement of opacity of the vehicle was 93% without overfeeding and 61% with turbocharger implemented.

Key words: opacity; turbochargers; torque; power; emissions; engine supercharger

Introducción

En la actualidad existen normativas cada vez más rigurosas en cuanto a las emisiones de gases contaminantes que emiten los vehículos, debido a estas se contamina el ambiente y provocan enfermedades a las personas. Las emisiones de gases principalmente atacan las vías respiratorias de los seres humanos, en consecuencia se generan enfermedades alérgicas, como el asma, rinoconjuntivitis y bronquitis.

Existe la necesidad de evaluar el desempeño del motor diesel con el uso de un turbocargador en alturas superiores a los 2500 metros sobre el nivel del mar. Además comparar el nivel de opacidad que emite un motor estándar y un motor sobrealimentado.

Debido a que el rendimiento de un motor de combustión interna no es el mismo a nivel del mar y en la altura, con el pasar del tiempo se han adicionado algunos componentes extras para mejorar su rendimiento como: un turbocargador, cambio de árbol de levas, cigüeñal, camisas, pistones y nuevos sistemas de inyección, según Alonso “por la altura se ven afectados los vehículos en un 35% de su potencia normal” (2001, p. 187), por lo tanto estos componentes adicionales ayudan al vehículo en su rendimiento y mejora de su torque y potencia.

Existen usuarios que piensan que la mejor manera de aumentar la potencia de su vehículo, es modificar el ingreso de combustible al motor alterando la Unidad de Control Electrónica conocida como ECU, según Bosch, “la ECU es la encargada de controlar todos los sistemas electrónicos del vehículo como también la cantidad de combustible que es inyectado en cada cilindro en cada ciclo del motor”, o también abriendo el paso de inyección. Pero sin tomar en cuenta que para una buena combustión se necesita una correcta relación aire-combustible, y en realidad lo único que se obtiene es un incremento de la opacidad que se refiere al “smog provocado por la emisión del escape del motor diesel” (2002, p. 38).

El incremento de la opacidad corresponde a un exceso de combustible que no puede ser bien combustionado en la cámara, provocando que el motor sufra un imperfecto interno llamado ahogamiento del motor, como es fácil de darse cuenta existe un mayor consumo de combustible y también se eleva la contaminación del medio ambiente lo que contradice totalmente el objetivo 7 del SENPLADES 2013 en Ecuador, cuyo fin es garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global.

Ralbovsky, indica que la importancia de un turbocargador es que el motor consiga el 100% en su eficiencia volumétrica, esto quiere decir cuando las revoluciones por minuto del motor alcanzan a generar un par máximo (Ralbovsky, 2000, p. 278).

También manifiesta que conforme disminuye la eficiencia volumétrica, igualmente lo hace el par motor, esto se debe a numerosos factores como son:

- Restricciones en los sistemas de admisión y escape.
- La cantidad de tiempo necesario para llenar el cilindro. (El tiempo disminuye según aumenta la velocidad del motor)
- Aumento de la temperatura atmosférica y de la humedad
- El calentamiento del aire de admisión por el motor.
- Aumento de altitud.
- Tipo de cámara de combustión.

Ralbovsky (2000), da a conocer que un turbocargador se adapta perfectamente al motor Diesel y le ayuda a vencer alguno de sus defectos tradicionales. La ventaja de turboalimentar de aire a un motor diesel son las siguientes:

- Mayor par y potencia del motor.
- Relación peso-potencia mejorada.
- Mayor ahorro de combustible.
- Mejor combustión.
- Compensación de altitud.
- Funcionamiento silencioso.

Samaniego (2014), manifiesta que “un turbocargador es una bomba de aire diseñada para operar utilizando la energía de los gases de escape originalmente desperdiciados por los motores no turbocargados, estos gases hacen girar el rotor de la turbina que acoplado por un eje al compresor aspira una gran cantidad de aire filtrado y traslada directamente al motor. A continuación, se dará a conocer las normas que se utilizan para los ensayos de torque y potencia y la norma de medición de opacidad.

Normas de torque y potencia:

- ISO 1585
- SAE J1349
- JIS D1001
- DIN 70020
- EWG 80/1269

Norma general que será aplicada en el ensayo de medición de la opacidad:

- RTE INEN 017
- INEN NTE 2207/2202

Bajo estas consideraciones se busca conocer las curvas características; potencia, torque y la medida de opacidad de un motor diesel estándar y sobrealimentado, en alturas superiores a los 2500 metros sobre el nivel del mar. Lo que permitirá evaluar el desempeño de un motor diesel y nivel de contaminación del motor bajo estas condiciones.

Método

Para la elaboración del estudio se utilizó el motor de un camión Hino FC año 2012 como se observa en la Figura 1. Se realizó el siguiente procedimiento:



Figura 1. Vehículo utilizado para la elaboración de este proyecto

Modificación del motor para que funcione sin el turbocargador, la modificación fue realizada en un taller mecánico mediante la extracción del turbocargador y las cañerías de lubricación y refrigeración como se observa en la Figura 2 para posteriormente incorporar las conexiones adecuadas en el múltiple de admisión y escape, de igual manera se sella con tapones las entradas y retornos de refrigerante y aceite que se conecta en el turbocargador.

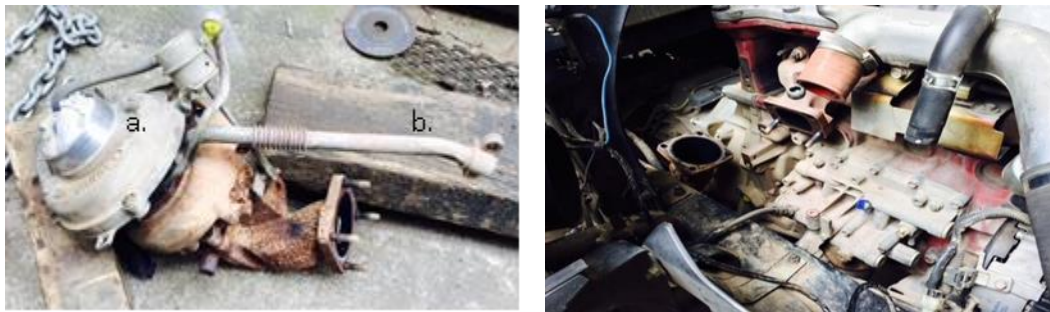


Figura 2. (a) Turbocargador extraído, (b) Lugar de donde se extrajo el turbocargador

Como se aprecia en la Figura 3, el múltiple de admisión fue acoplado mediante un conducto, el mismo que fue elaborado con tubos PVC ya que cumple características físicas homogéneas al conducto extraído originalmente, el cual se encarga de transportar el aire filtrado del exterior y siguiendo su recorrido por el intercooler y finalizado en las tomas de admisión del motor.



Figura 3. Adaptación en el múltiple de admisión.

En la Figura 4 (a, b, c) se observa el proceso de modificación en el múltiple de escape que consiste en la instalación de una unión elaborada con un tubo galvanizado en forma de "S" el cual en sus extremos fue soldado planchas de hierro fundido de manera de empatar con sus uniones en el múltiple de escape del motor y el tubo de escape con sus empaques respectivamente, las bases se las diseñó tomando en cuenta las dimensiones del empaque.

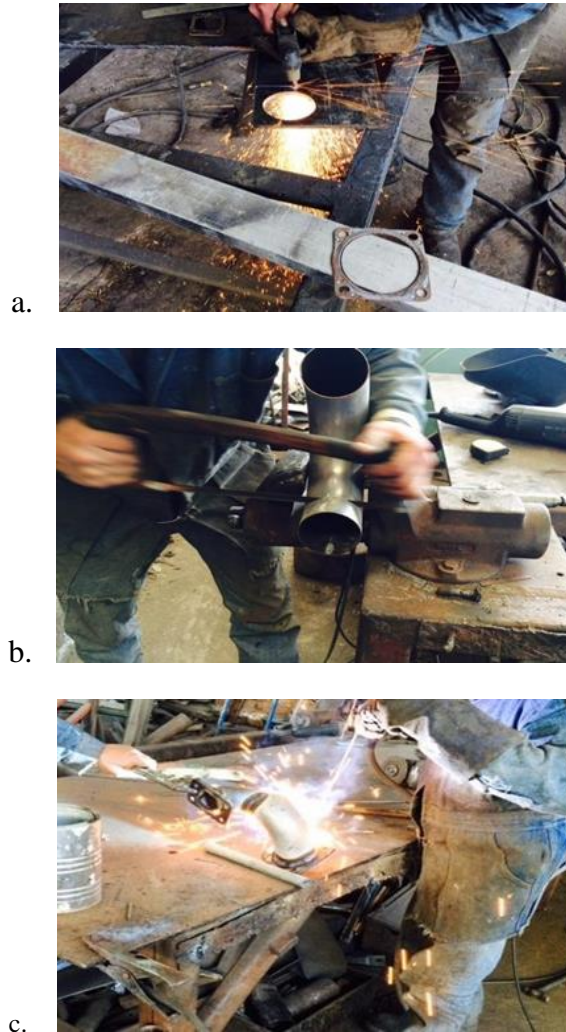


Figura 4. (a) Proceso de corte de las bases, (b) Proceso de doblaje y corte del tubo galvanizado, (c) Proceso de soldadura de la pieza conjunta para los gases de escape

Las adaptaciones dan lugar a un motor en condiciones estándar como se muestra en la Figura 5. Se debe tomar en cuenta el sellado de los conductos de refrigeración y lubricación con tapones a fin de garantizar un sellado hermético y evitar fugas o pérdidas de presión, aceite o refrigerante.



Figura 5. Adaptaciones de admisión y escape adecuadamente montadas

Procedimiento De Ensayos De Torque Y Potencia

Traslado del vehículo en condiciones estándar para ser sometido a las pruebas de desempeño y opacidad, en el Centro de Transferencia Tecnológica para la capacitación e investigación en control de emisiones vehiculares (CCICEV) como se observa en la Figura 6, con un dinamómetro LPS 3000.



Figura 6. Centro de Transferencia Tecnológica para la capacitación e investigación en control de emisiones vehiculares

El LPS 3000 puede ser utilizado para la medición de potencia de diferentes tipos de vehículos livianos, chasis y camiones. Independientemente de la configuración, este dinamómetro puede medir potencias en las ruedas hasta 660 KW con una velocidad máxima de 200 km/h. La simulación de carga del banco se realiza mediante un freno de corrientes parasitas.

La potencia y el torque se miden en función de la aceleración del vehículo en los rodillos (potencia y par a las ruedas) y su deceleración (potencia y par de pérdidas). La suma de los valores de estas potencias representa la potencia del motor. Con los datos recogidos por el banco de pruebas, el software del equipo entrega una gráfica de par y potencia en función de las revoluciones del motor.

Procedimiento De Medición De Opacidad

Los medidores de opacidad de flujo parcial son equipos que funcionan con todo tipo de vehículo y no dependen del diámetro del tubo de escape, además de presentar el nivel de

concentración de gases de escape ya sea en porcentaje de opacidad (%), o en unidades de intensidad luminosa (k).

Límites De Opacidad Permitidos En El Ecuador

Para obtener la muestra de gas se debe realizar una fuerte y rápida aceleración hasta obtener los gases apropiados para realizar las mediciones. La tasa de emisiones gaseosas para los vehículos diésel están dadas por la norma NTE INEN 2207 Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores.

Resultados

A continuación se presenta los resultados de los ensayos de torque, potencia y opacidad realizados en un motor JO5ETC16173 de un camión HINO FC 2012 en el Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (CCICEV). Los resultados obtenidos se refieren a:

- La potencia a las ruedas: es la potencia directamente tomada que ejerce las ruedas.
- La potencia del motor: es la sumatoria de la potencia de las ruedas mas la potencia del arrastre.
- La potencia normal: es la potencia del motor multiplicada por un factor de corrección que el dinamómetro lo establece según la norma que utilice.
- El torque: es el par de torsión que ejerce el motor.

Los resultados fueron obtenidos con respecto a las diferentes revoluciones que trabaja el motor del vehículo durante el ensayo y la velocidad a la que circula el vehículo en millas por hora. Para distinguir los valores pico se ha señalado el valor mínimo y el valor máximo en la Tabla 1 y Tabla 2 de resultados.

Las tablas son el promedio de tres pruebas realizadas en cada ensayo.

Tabla 1. Resultados obtenidos sin la implementación de un turbo cargador

N	v	P	P	P	M
(rpm)	(mph)	rueda (HP)	motor (HP)	normal (HP)	normal (lbf.ft)
822,0	19,7	19,8	27,5	30,0	191,9
990,0	23,7	21,6	31,2	34,0	180,3
1177,0	28,2	25,5	37,2	40,6	181,2
1366,0	32,8	27,8	42,0	45,7	175,9
1557,0	37,3	29,5	46,2	50,4	170,0
1747,0	41,9	31,0	50,5	55,1	165,7
1935,0	46,4	31,7	54,3	59,2	160,6
2125,0	51,0	29,0	54,9	59,9	148,0
2315,0	55,5	26,5	54,6	59,6	135,1
2507,0	60,1	28,5	60,3	65,8	137,7
2692,0	64,4	22,6	58,3	63,6	124,0

Nota: Los resultados expuestos en la tabla han sido obtenidos en el dinamómetro del CCICEV donde indica la potencia y en torque del motor a diferentes revoluciones sin la implementación del turbocargador.

Tabla 2. Resultados obtenidos con la implementación de un turbo cargador

N (rpm)	v (mph)	P rueda (HP)	P motor (HP)	P normal (HP)	M normal (lbf.ft)
1332,0	32,4	55,9	69,0	73,1	288,1
1468,0	35,4	63,7	78,2	82,9	298,6
1604,0	39,0	77,1	93,5	99,1	324,5
1751,0	42,5	87,4	106,0	112,3	337,0
1897,0	46,1	94,5	115,4	122,3	338,4
2048,0	49,8	103,2	126,2	133,8	343,0
2198,0	53,4	111,1	136,4	144,5	345,4
2346,0	57,0	116,5	143,3	151,9	340,0
2497,0	60,7	123,6	151,9	161,0	338,6
2631,0	63,9	94,2	124,7	132,1	263,8
2682,0	65,2	74,3	105,6	111,9	219,0

Nota: Los resultados expuestos en la tabla han sido obtenidos en el dinamómetro del CCICEV donde indica la potencia y en torque del motor a diferentes revoluciones con la implementación del turbocargador.

Tabla 3. Resultados de la opacidad

Sin turbocargador	Con turbocargador
93%	67%
91%	60%
96%	58%

Nota: Los valores de opacidad se expresan en porcentaje de acuerdo a la norma INEN NTE 2207/2202

Discusión De Resultados

Como se muestra en la Figura 7, la curva de torque con turbocargador es mucho más elevada a la curva de torque sin el turbocargador y nos entrega una potencia sin turbocargador de 170,7 lbf/ft a 1500 rpm una potencia con turbo cargador de 304,69 lbf/ft obteniendo una diferencia de un 42,98% entre las dos.

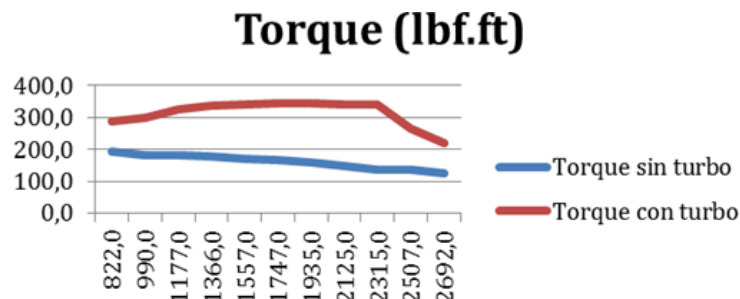


Figura 7. Comparación del torque que ejerce el motor con turbo y sin turbo cargador.

Como se detalla en la Figura 8, el torque se eleva rotundamente con el motor turbocargado y aumenta aún más a nivel del mar ya que el vehículo se comporta de mejor manera trabajando con más oxígeno a elevaciones menores.

El torque con turbocargador a nivel del mar es mayor que el torque a 2850 metros sobre el nivel del mar con turbocargador con una diferencia de 18,99%, este porcentaje indica la pérdida exacta debido a la altura.



Como se muestra en la Figura 9, la potencia normal es más del doble con el motor sobrealimentado que con el motor estándar, sin la sobrealimentación se establece una potencia de 65,57 hp y con turbocargador una potencia de 160,35 obteniendo una diferencia de 59,1% de potencia entre los dos resultados a 2500 rpm.

Esta gran diferencia de 59,1% se debe al incremento que genera el turbocargador, según González (2001), “Un turbocompresor puede incrementar la potencia y el par motor de un Diesel en un 35% por encima de la versión convencional” y además Villalobos (2009), menciona que “los motores Diesel de aspiración natural (sin turbo) pierden un 10% de potencia por cada 1000 metros que asciendan sobre el nivel del mar”.

La caída de potencia repentina que sufre el motor pasadas las 2500 rpm es normal en cada periodo de motor después de llegar a su pico más alto de potencia, según Segura (2014) “La potencia en el motor de combustión interna crece todo el tiempo con el aumento de la velocidad de rotación, hasta un máximo en el valor de la velocidad nominal, a partir de la cual comienza a decrecer drásticamente, especialmente en el motor Diesel” y además, Algaba (2012), indica que la curva de potencia desciende de esta manera ya que “el llenado de los cilindros es deficiente, las pérdidas mecánicas superan a la potencia producida y el aumento de revoluciones a partir de este punto puede producir la rotura de las piezas”.

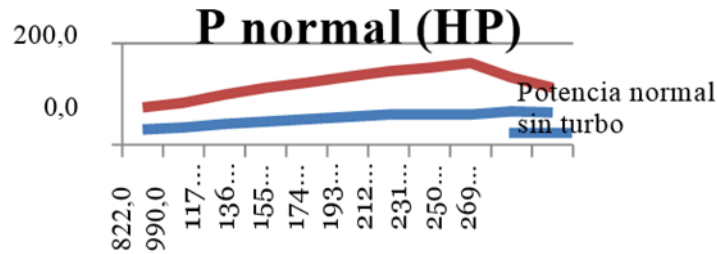


Figura 9. Comparación de la potencia normal que ejerce el motor con turbo y sin turbo cargador

Como se detalla en la Figura 10, la potencia varía rotundamente con el motor turbocargado ya que la eficiencia volumétrica es más completa, y aumenta aún más a nivel del mar ya que el vehículo se comporta de mejor manera trabajando con más oxígeno.

La potencia normal con turbocargador a nivel del mar es mayor que la potencia normal a 2850 metros sobre el nivel del mar con turbocargador con una diferencia de 9,42%, este porcentaje nos indica la pérdida exacta debido a la altura.

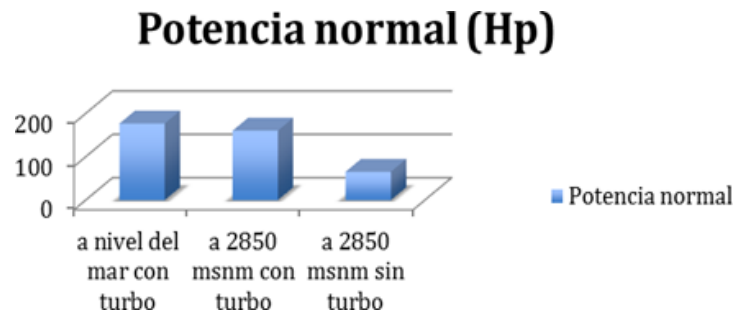


Figura 10. Potencias normales sometidas a distintas exigencias

En la Figura 11, se indican los porcentajes de opacidad obtenidos, comparado con el rango establecido en Ecuador para que el vehículo esté homologado.

El porcentaje de opacidad del vehículo sin el turbocargador es de 93% y con el turbocargador es de 61%, comparando este último resultado con el rango máximo permitido en Ecuador que es 50% el vehículo presenta una opacidad alta, la cual se deduce que tiene algún problema de canister, inyección o admisión de aire muy pobre.



Figura 11. Comparación de los resultados de medición de la opacidad

Conclusiones

Se obtuvo un torque muy elevado con el motor sobrecargado posicionándose con un 42,98% por encima del resultado obtenido de torque con el motor sin la sobre alimentación, siendo las dos pruebas realizadas a 1500 rpm.

El torque con turbocargador a nivel del mar es mayor que el torque a 2850 metros de altura con turbocargador, con una diferencia de 18,99%, este porcentaje indica la pérdida exacta debido a la altura.

En el análisis realizado sobre la potencia los resultados fueron muy evidentes y determinantes a favor del uso de un turbocompresor, ya que se ha comprobado que ayuda rotundamente a mejorar la eficiencia volumétrica del motor además de consumir menos combustible realizando un mismo recorrido con el vehículo.

La potencia normal, que es la potencia bruta del vehículo se muestra con un gran incremento del 59,1% cuando el motor estar sobrealimentado a comparación del motor estándar.

Se determinó mediante un análisis que un vehículo turbo cargado trabaja de mejor manera a nivel del mar, y se comprobó con los resultados obtenidos a 2850 metros de altura en el CCICEV que el vehículo pierde un 9,42% de su potencia total.

Después del ensayo de opacidad y el análisis de sus resultados se dedujo que un vehículo turbocargado contamina menos que un vehículo estándar con una gran diferencia en los valores obtenidos, de al menos un 30%, ayudando al medio ambiente en la reducción de gases contaminantes perjudiciales para la salud humana.

Bibliografía

Alonso, J. M. (2001). Técnicas del Automóvil. Madrid: Paraninfo.

Bosch, R. (2002). Regulación Electrónica Diesel. Plochingen: Departamento Product Marketing Diagnostics and Test Equipment.

Ralbovsky, E. (2000). Motores Diesel. Madrid: Paraninfo.

SENPLADES (2013). Objetivos del Plan Nacional del Buen Vivir. Recuperado el 26 de septiembre del 2013 de: <http://plan.senplades.gob.ec/>

Samaniego. (2014). Scribd. Obtenido de [https://es.scribd.com/doc/89301595/Analisis deTurbocargador](https://es.scribd.com/doc/89301595/Analisis-deTurbocargador)

ISO 1585. Organización Internacional de normalización, Potencia neta. (2011).

INEN NTE 2207/2202. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Normas Técnicas Ecuatorianas, Ensayo de opacidad; límites/procedimiento. (2011).

González (2001). Turbocompresores y compresores. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos6/turbo/turbo.shtml#ixzz3SEW7ifUT>

Villalobos (2009). Condiciones atmosféricas y funcionamiento del motor. Obtenido de <http://www.automotriz.net/cms/tecnica/condiciones-atmosfericas-y-funcionamiento-delmotor/Segura> (2014). Curvas características y pérdidas en un motor EC y ECH. Obtenido de <http://es.slideshare.net/Nitojuacmsi/45-curvas-caracteristicas-y-perdidas-mecanicas>

Algaba (2012). Características de los motores. Obtenido de <http://es.slideshare.net/dialmi/emotores-diapositivas-04-caracteristicas-de-los-motores-reducido>