
Turbocompressors

Autor:

Data de publicació: 13-10-2013

Motors Sobrealimentados

Índice del curso

Introducción

El uso de elementos que sirvan para sobrealimentar los motores viene dado por la necesidad de aumentar la potencia sin tener que aumentar la cilindrada. Aumentar la potencia depende de la cantidad de combustible quemado en cada ciclo de trabajo y del número de revoluciones.

Pero tanto en motores Diesel como en los de gasolina, por mucho que aumentemos el combustible que hacemos llegar al interior de la cámara de combustión, no conseguimos aumentar su potencia si este combustible no encuentra aire suficiente para quemarse.

Así pues, solo conseguiremos aumentar la potencia, sin variar la cilindrada ni el régimen del motor, si conseguimos colocar en el interior del cilindro un volumen de aire (motores Diesel) o de mezcla (aire y gasolina para los motores de gasolina) mayor que la que hacemos entrar en una "aspiración normal" (motores atmosféricos).

En algunos casos, y en países situados a grandes altitudes o con climas muy calurosos, existe la necesidad de compensar la disminución de la densidad de aire producida por una disminución de la presión atmosférica ocasionada por la altitud y una disminución de las moléculas de oxígeno por el aumento de temperatura. Para todos ello la sobrealimentación es la solución que podemos aportar.

Hay dos fabricantes principales a la hora de construir máquinas para sobrealimentar motores (compresores), que son: Garrett y kkk, también están IHI, MHI (Mitsubishi) y Holset.

Turbocompresor de la marca Gattet

La Sobrealimentación en motores de gasolina

En el caso de los motores de gasolina, la sobrealimentación, presenta un problema inicial que ha de tenerse en cuenta. Como se ha visto, en la combustión de los motores de gasolina, el problema que acarrea sobrepasar una cierta presión de compresión puede ocasionar problemas de picado, bien por autoencendido o por detonación.

Este problema es debido al aumento de temperatura que sufre la mezcla de aire-combustible dentro del cilindro en la carrera de compresión del motor que será tanto mayor cuanto mayor sea el volumen de mezcla (precisamente es lo que provoca la sobrealimentación).

La solución para este problema consiste en reducir la relación de compresión por debajo de 10:1 con el fin de que no aumente demasiado la presión y con ello la temperatura de la mezcla que puede provocar el autoencendido o la detonación.

Otro problema que hay que sumar a estos motores lo representa el aumento de las cargas térmicas y mecánicas. Debido a que las presiones durante el ciclo de trabajo en un motor sobrealimentado son mayores, esto se traduce en unos esfuerzos mecánicos y térmicos por parte del motor que hay que tener en cuenta a la hora de su diseño y construcción, reforzando las partes mecánicas más proclives al desgaste y mejorando la refrigeración del motor. Otra cosa a tener en cuenta es la variación en el diagrama de distribución. Así para un motor sobrealimentado, cuanto mayor sea el AEE (avance a la apertura de la válvula de escape) tanto mejor será el funcionamiento de la turbina.

También la regulación al avance del encendido debe de ser mucho más preciso en un motor sobrealimentado, por eso se hace necesario un motor un encendido sin ruptor, por lo que es mejor el uso de encendidos transistorizados o electrónicos.

Además de todo ello, la sobrealimentación de gasolina ha de tener en cuenta los siguientes factores:

- Bomba de gasolina de mayor caudal y presión (por lo que se opta generalmente por bombas eléctricas).
- Que en el circuito de admisión de aire se instale un buen filtrado y que este perfectamente estanco.
- A fin de optimizar el llenado del cilindro, se precisa de un dispositivo (intercooler) que enfríe el aire que se ha calentado al comprimirlo por el sistema de sobrealimentación antes de entrar en los cilindros del motor.
- La riqueza de la mezcla, que influye directamente en la temperatura de los gases de escape; si el motor es turboalimentado, se reducirá la riqueza a regímenes bajos y elevar así la temperatura en el escape para favorecer el funcionamiento de la turbina;; por el contrario, se elevara con regímenes altos, disminuyendo la temperatura de escape, a fin de proteger la turbina.
- En el escape, la sección de las canalizaciones una vez superada la turbina se agranda para reducir en la medida de lo posible las contrapresiones que se originan en este punto. Asimismo, al producir la turbina una descompresión de los gases de escape, los motores turbo son muy silenciosos.
- La contaminación que provocan los motores turboalimentados de gasolina es comparable a la de un motor atmosférico aunque los óxidos de nitrógeno son más importantes debido a las mayores temperaturas.

Particularidades según el sistema de alimentación

según sea el sistema utilizado para sobrealimentar el motor de gasolina, el compresor puede aspirar aire a través del filtro de aire y enviarlo comprimido hacia el carburador, o bien aspirar mezcla de aire-gasolina procedente del carburador y enviarlo directamente a los cilindros. En el primer caso, el carburador se sitúa entre el turbocompresor y el colector de admisión y el sistema recibe el nombre de "carburador soplado"; mientras que el segundo, el carburador se monta antes del turbo, denominándose "carburador aspirado".

La sobrealimentación en los motores Diesel

En el caso de los motores Diesel; la sobrealimentación no es una causa de problemas sino todo lo contrario, es beneficioso para un rendimiento óptimo del motor. El hecho de utilizar solamente aire en el proceso de compresión y no introducir el combustible hasta el momento final de la carrera compresión, no puede crear problemas de "picado" en el motor. Al introducir un exceso de aire en el cilindro aumenta la compresión, lo que facilita el encendido y el quemado completo del combustible inyectado, lo que se traduce en un aumento de potencia del motor. Por otro lado la mayor presión de entrada de aire favorece la expulsión de los gases de escape y el llenado del cilindro con aire fresco, con lo que se consigue un aumento del rendimiento volumétrico o lo que es lo mismo el motor "respira mejor".

No hay que olvidar que todo el aire que entra en el cilindro del motor Diesel hay que comprimirlo, cuanto más sea el volumen de aire de admisión, mayor será la presión en el interior de los cilindros. Esto trae como consecuencia unos esfuerzos mecánicos en el motor que tienen un límite, para no poner en peligro la integridad de los elementos que forman el motor.

Los compresores

La forma de conseguir un aumento de la presión del aire necesario para la sobrealimentación de motores es mediante la utilización de unas máquinas llamadas: compresores. Se clasifican en tres grupos: primero los llamados "volumétricos" o de "desplazamiento positivo"; segundo los que reciben el nombre de "dinámicos" o de "no desplazamiento positivo"; Por último, el otro tipo de compresor se denominado de "onda de presión".

A los primeros pertenecen los compresores de mando mecánico (accionados por el cigüeñal mediante piñones o correa) como ejemplo tenemos el denominado: Roots o de lóbulos, Lysholm, el compresor G y muchos más tipos. Como compresor "dinámico" se conoce a los turbocompresores (accionados por los gases de escape). Como compresor de "onda de presión" tenemos exclusivamente el "comprex" de la empresa Brown Boveri.

En el terreno de la sobrealimentación de motores, tanto en gasolina como en Diesel, los mejores resultados obtenidos hasta ahora se han llevado a cabo con la ayuda de los turbocompresores que si bien tienen algunos inconvenientes, tienen la gran ventaja de que no consumen energía efectiva del motor además de que están facultados para poder girar a un número elevadísimo de r.p.m., por encima de 100.000. Todo esto y su facilidad para ser aplicados al motor debido a su pequeño tamaño (por lo menos en comparación a los compresores volumétricos) hace que se haya estudiado a fondo la manera de utilizarlos y que se hayan conseguido con ellos grandes éxitos tanto en competición como en realizaciones de motores de tipo comercial.

En la siguiente gráfica vemos una comparativa de dimensiones y peso de cada uno de los tipos de compresores donde se aprecia la ventaja del turbocompresor que le hace ser más adecuado a la hora de acoplarlo al motor.

Otras formas de sobrealimentar el motor

Consiste en utilizar la dinámica de la corriente de aire o gases aspirados por el motor.

Como ejemplo el fabricante BMW utiliza para el motor en línea de 6 cilindros del M5 un sistema de aspiración con una válvula de mariposa adicional. De este modo, se aprovecha el efecto de la llamada sobrealimentación por "oscilación de admisión", gracias a la cual se puede mejorar la potencia y el par motor, si bien esto solo es así dentro de un margen de r.p.m. relativamente estrecho.

En la gráfica (figura inferior) nos muestra el incremento del par motor y de la potencia del motor M5 con sobrealimentación por oscilación de admisión.

Si en motores de 6 cilindros el tubo de aspiración se realiza como en los motores de 4 cilindros, desembocan todos los tubos articulados en un colector. Y eso es bueno para la potencia máxima, pero no lo es tanto para el par motor. Solo se puede conseguir un buen par motor, si se aprovechan las ondas de choque o las pulsaciones, que se generan al cerrar las válvulas de admisión, para obtener un efecto de sobrealimentación, en otros cilindros. Cuantos más cilindros (ondas de choques) se deriven a un colector, más pequeño será el efecto de sobrealimentación, porque las pulsaciones se compensan entre ellas en el colector. El sistema funciona de forma óptima para el motor 3 cilindros, porque en ese caso una válvula de admisión se cierra, cuando la otra justo empieza a abrirse. Y lo mismo es válido para el lado del escape. También aquí se agrupan los cilindros adecuados con longitudes adecuadas de conductos, para conseguir una mejora en el rendimiento volumétrico.

El sistema de admisión de un motor Opel de 6 cilindros (figura inferior) aprovecha mediante una solución ingeniosa los tiempos de trabajo que se dan al dividir el colector de admisión, en dos partes como si trabajaríamos con un motor de 3 cilindros. Por medio de un tubo de aspiración adecuado con una válvula de mariposa conmutable (B) se divide el motor de 6 cilindros en régimen de revoluciones bajo, en 2 motores de 3 cilindros (C). A partir de aproximadamente 4000 r.p.m. se abre la válvula de mariposa conmutable (B) y el modo de funcionamiento se modifica de tal forma, que se genera una potencia elevada. Dependiendo de la conformación y del ajuste del sistema de aspiración, puede producirse otro incremento de potencia para un número de revoluciones muy elevado, si se vuelve a cerrar la válvula de mariposa a partir de aproximadamente 6000 r.p.m. (como se ve en la gráfica superior).

El turbocompresor

Tiene la particularidad de aprovechar la fuerza con la que salen los gases de escape para impulsar una turbina colocada en la salida del colector de escape, dicha turbina se une mediante un eje a un compresor. El compresor está colocado en la entrada del colector de admisión, con el movimiento giratorio que le transmite la turbina a través del eje común, el compresor eleva la presión del aire que entra a través del filtro y consigue que mejore la alimentación del motor. El turbo impulsado por los gases de escape alcanza velocidades por encima de las 100.000 rpm, por tanto, hay que tener muy en cuenta el sistema de engrase de los cojinetes donde apoya el eje común de los rodetes de la

turbina y el compresor. También hay que saber que las temperaturas a las que se va a estar sometido el turbo en su contacto con los gases de escape van a ser muy elevadas (alrededor de 750 °C).

Ciclos de funcionamiento del Turbo

Funcionamiento a ralentí y carga parcial inferior: En estas condiciones el rodete de la turbina de los gases de escape es impulsada por medio de la baja energía de los gases de escape, y el aire fresco aspirado por los cilindros no será precomprimido por la turbina del compresor, simple aspiración del motor.

Funcionamiento a carga parcial media: Cuando la presión en el colector de aspiración (entre el turbo y los cilindros) se acerca a la atmosférica, se impulsa la rueda de la turbina a un régimen de revoluciones más elevado y el aire fresco aspirado por el rodete del compresor es precomprimido y conducido hacia los cilindros bajo presión atmosférica o ligeramente superior, actuando ya el turbo en su función de sobrealimentación del motor.

Funcionamiento a carga parcial superior y plena carga: En esta fase continua aumentando la energía de los gases de escape sobre la turbina del turbo y se alcanzara el valor máximo de presión en el colector de admisión que debe ser limitada por un sistema de control (válvula de descarga). En esta fase el aire fresco aspirado por el rodete del compresor es comprimido a la máxima presión que no debe sobrepasar los 0,9 bar en los turbos normales y 1,2 en los turbos de geometría variable.

Constitución de un turbocompresor

Los elementos principales que forman un turbo son el eje común (3) que tiene en sus extremos los rodetes de la turbina (2) y el compresor (1) este conjunto gira sobre los cojinetes de apoyo, los cuales han de trabajar en condiciones extremas y que dependen necesariamente de un circuito de engrase que los lubrica. Por otra parte el turbo sufre una constante aceleración a medida que el motor sube de revoluciones y como no hay límite alguno en el giro de la turbina empujada por los gases de escape, la presión que alcanza el aire en el colector de admisión sometido a la acción del compresor puede ser tal que sea más un inconveniente que una ventaja a la hora de sobrealimentar el motor. Por lo tanto se hace necesario el uso de un elemento que nos limite la presión en el colector de admisión. Este elemento se llama válvula de descarga o válvula waste gate (4).

Regulación de la presión turbo

Para evitar el aumento excesivo de vueltas de la turbina y compresor como consecuencia de una mayor presión de los gases a medida que se aumenten las revoluciones del motor, se hace necesaria una válvula de seguridad (también llamada: válvula de descarga o válvula waste gate). Esta válvula está situada en derivación, y manda parte de los gases de escape directamente a la salida del escape sin pasar por la turbina.

La válvula de descarga o wastegate esta formada por una cápsula sensible a la presión compuesta por un muelle (3), una cámara de presión y un diafragma o membrana (2). El lado opuesto del diafragma esta permanentemente condicionado por la presión del colector de admisión al estar conectado al mismo por un tubo (1). Cuando la presión del colector de admisión supera el valor máximo de seguridad, desvía la membrana y comprime el muelle de la válvula despegandola de su asiento. Los gases de escape dejan de pasar entonces por la turbina del sobrealimentador (pasan por el bypass (9)) hasta que la presión de alimentación desciende y la válvula se cierra.

La presión máxima a la que puede trabajar el turbo la determina el fabricante y para ello ajusta el tarado del muelle de la válvula de descarga. Este tarado debe permanecer fijo a menos que se quiera intencionadamente manipular la presión de trabajo del turbo, como se ha hecho habitualmente. En el caso en que la válvula de descarga fallase, se origina un exceso de presión sobre la turbina que la hace coger cada vez mas revoluciones, lo que puede provocar que la lubricación sea insuficiente y se rompa la película de engrase entre el eje común y los cojinetes donde se apoya. Aumentando la temperatura de todo el conjunto y provocando que se fundan o gripen estos componentes.

Ejemplo practico de modificación de la presión de soplado del turbo

Como ejemplo citamos aquí el conocido turbo Garret T2 montado en el clásico: Renault 5 GT Turbo, que tanto ha dado que hablar, por lo fácil que era modificar la presión de soplado del turbo, para ello simplemente había que atornillar/desatornillar el vástago (2) del actuador de la wastegate (4). Cuanto más corto sea el vástago, más presión se necesita para abrir la wastegate, y por consiguiente hay más presión de turbo.

Para realizar esta operación primero se quitaba el clip (1) que mantiene el vástago (2) en el brazo de la válvula (5). Afloja la tuerca (3) manteniendo bien sujeta la zona roscada (6) para que no gire y dañe la membrana del interior de la wastegate, ahora ya se puede girar el vástago (usualmente tiene dado un punto para evitar que la gente cambie el ajuste, así que hay que taládrarlo antes de girarlo).

Tres vueltas en el sentido de las agujas del reloj deberían aumentar la presión en 0.2 bar (3 psi), pero es un asunto de ensayo y error. Cuando finalmente tengas la presión de soplado deseada aprieta la tuerca y pon el clip.

Para saber mas sobre la modificación de la presión de este modelo de turbo en particular visita esta web.

Temperatura de funcionamiento

Como se ve en la figura las temperaturas de funcionamiento en un turbo son muy diferentes, teniendo en cuenta que la parte de los componentes que están en contacto con los gases de escape pueden alcanzar temperaturas muy altas (650 °C), mientras que los que esta en contacto con el aire de aspiración solo alcanzan 80 °C.

Estas diferencias de temperatura concentrada en una misma pieza (eje común) determinan valores de dilatación diferentes, lo que comporta las dificultades a la hora del diseño de un turbo y la elección de los materiales que soporten estas condiciones de trabajo adversas.

El turbo se refrigera en parte además de por el aceite de engrase, por el aire de aspiración cediendo una determinada parte de su calor al aire que fuerza a pasar por el rodete del compresor. Este calentamiento del aire no resulta nada favorable para el motor, ya que no solo dilata el aire de admisión de forma que le resta densidad y con ello riqueza en oxígeno, sino que, además, un aire demasiado caliente en el interior del cilindro dificulta la refrigeración de la cámara de combustión durante el barrido al entrar el aire a una temperatura superior a la del propio refrigerante líquido.

Los motores de gasolina, en los cuales las temperaturas de los gases de escape son entre 200 y 300°C más altas que en los motores diesel, suelen ir equipados con carcasas centrales refrigeradas por agua. Cuando el motor está en funcionamiento, la carcasa central se integra en el circuito de refrigeración del motor. Tras pararse el motor, el calor que queda se expulsa utilizando un pequeño circuito de refrigeración que funciona mediante una bomba eléctrica de agua controlada por un termostato. En un principio cuando se empezó la aplicación de los turbocompresores a los motores de gasolina, no se tuvo en cuenta la consecuencia de las altas temperaturas que se podían alcanzar en el colector de escape y por lo tanto en el turbo que esta pegado a el como bien se sabe. La consecuencia de esta imprevisión fue una cantidad considerable de turbos carbonizados, cojinetes defectuosos y pistones destruidos por culpa de la combustión detonante. Hoy en día los cárteres de los cojinetes de los

turbocompresores utilizados para sobrealimentar motores otto se refrigeran exclusivamente con agua y se han desarrollado y se aplican materiales mas resistentes al calor. Los fondos de los pistones de los motores turbo casi siempre se refrigeran por medio de inyección de aceite. Con estas medidas se han solucionado la mayor parte de los problemas que tienen los motores de gasolina sobrealimentados por turbocompresor, eso si, siempre teniendo presente que si por algún motivo la temperatura de escape sobrepasa durante un tiempo prolongado el limite máximo de los 1000°C el turbo podrá sufrir daños.

Intercooler

Para evitar el problema del aire calentado al pasar por el rodete compresor del turbo, se han tenido que incorporar sistemas de enfriamiento del aire a partir de intercambiadores de calor (intercooler). El intercooler es un radiador que es enfriado por el aire que incide sobre el coche en su marcha normal. Por lo tanto se trata de un intercambiador de calor aire/aire a diferencia del sistema de refrigeración del motor que se trataría de un intercambiador agua/aire. Con el intercooler (se consigue refrigerar el aire aproximadamente un 40% desde 100°-105° hasta 60°- 65°). El resultado es una notable mejora de la potencia y del par motor gracias al aumento de la masa de aire (aproximadamente del 25% al 30%). Además se reduce el consumo y la contaminación.

El engrase del turbo

Como el turbo esta sometido a altas temperaturas de funcionamiento, el engrase de los cojinetes deslizantes es muy comprometido, por someterse el aceite a altas temperaturas y desequilibrios dinámicos de los dos rodets en caso de que se le peguen restos de aceites o carbonillas a las paletas curvas de los rodets (alabes de los rodets) que producirán vibraciones con distintas frecuencias que entrando en resonancia pueden romper la película de engrase lo que producirá microgripajes. Además el eje del turbo esta sometido en todo momento a altos contrastes de temperaturas en donde el calor del extremo caliente se transmite al lado mas frío lo que acentúa las exigencias de lubricación porque se puede carbonizar el aceite, debiendose utilizar aceites homologados por el API y la ACEA para cada país donde se utilice (visita esta web para saber mas sobre aceites).

Se recomienda después de una utilización severa del motor con recorridos largos a altas velocidades, no parar inmediatamente el motor sino dejarlo arrancado al ralentí un mínimo de 30 seg. para garantizar una lubricación y refrigeración optima para cuando se vuelva arrancar de nuevo. El cojinete del lado de la turbina puede calentarse extremadamente si el motor se apaga inmediatamente despues de un uso intensivo del motor. Teniendo en cuenta que el aceite del motor arde a 221 °C puede carbonizarse el turbo.

El engrase en los turbos de geometría variable es mas comprometido aun, por que ademas de los rodamientos tiene que lubricar el conjunto de varillas y palancas que son movidas por el depresor neumatico, al coger suciedades (barnices por deficiente calidad del aceite), hace que se agarroten las guías y compuertas y el turbo deja de trabajar correctamente, con perdida de potencia por parte del motor.

Recomendaciones de mantenimiento y cuidado para los turbocompresores

El turbocompresor está diseñado para durar lo mismo que el motor. No precisa de mantenimiento especial; limitándose sus inspecciones a unas comprobaciones periódicas. Para garantizar que la vida útil del turbocompresor se corresponda con la del motor, deben cumplirse de forma estricta las siguientes instrucciones de mantenimiento del motor que proporciona el fabricante:

-
- Intervalos de cambio de aceite
 - Mantenimiento del sistema de filtro de aceite
 - Control de la presión de aceite
 - Mantenimiento del sistema de filtro de aire

El 90% de todos los fallos que se producen en turbocompresores se debe a las siguientes causas:

- Penetración de cuerpos extraños en la turbina o en el compresor
 - Suciedad en el aceite
 - Suministro de aceite poco adecuado (presión de aceite/sistema de filtro)
 - Altas temperaturas de gases de escape (deficiencias en el sistema de encendido/sistema de alimentación).
- Estos fallos se pueden evitar con un mantenimiento frecuente. Cuando, por ejemplo, se efectúe el mantenimiento del sistema de filtro de aire se debe tener cuidado de que no se introduzcan fragmentos de material en el turbocompresor.

El futuro del turbocompresor

El turbocompresor todavía no ha llegado al final de su potencial de desarrollo, a continuación enumeramos las siguientes mejoras que están en fase de ensayo o ya se aplican y se fabrican en serie.

- Fabricación del carter (carcasa) de la turbina y del colector de escape de una sola pieza. Con ello se pueden ahorrar la brida, conjuntamente con el sellado, y los anclajes caros entre el carter de la turbina y el colector de escape. Al mismo tiempo se reduce también el peso. Además, se mejora la respuesta del motor turbo, por que se requiere calentar menos material.

- Reducción del grosor de las paredes del carter de la turbina. La consecuencia es un peso menor y un mejor comportamiento en la respuesta.
- Las turbinas de aleación de titanio y aluminio son más ligeras que las ruedas de acero de gran calidad. Esto también favorece el comportamiento de respuesta del motor, porque el turbocompresor acelera más rápidamente.
- La geometría variable del carter de la turbina mejora el rendimiento de un turbocompresor y, por tanto, del motor con respecto a todo el régimen de revoluciones. En el motor Diesel estos turbocompresores ya se utilizan con buenos resultados, en motores de gasolina todavía no, hace falta todavía que se perfeccionen mejor las características térmicas de los materiales con los que están contruidos.
- La colocación de dos turbocompresores pequeños (en lugar de uno grande) sobre todo en motores en "V" o motores que tengan igual o más de 6 cilindros. También la utilización de motores biturbo con turbos hermanados o escalonados (figura inferior) que utilizan un turbo pequeño para cuando el motor funciona a bajas r.p.m. y un turbo más grande cuando el motor funciona a altas r.p.m..

El sistema biturbo de turbos hermanados o escalonados fue desarrollado por los ingenieros resultantes del departamento deportivo de la marca de automóviles Opel OPC (Opel Performance Center). Basta con considerar las presiones efectivas alcanzadas para darse cuenta del enorme potencial del motor equipado con turbos hermanados o escalonados. Mientras que las versiones Diesel sobrealimentadas clásicas funcionan a presiones incluidas entre 1,7 y 1,9 bares, el motor de 1,9 l de turbos hermanados llega a presiones efectivas de 2,6 bares. Esta presión tiene una influencia directa sobre la potencia del motor: cuanto más alta es la cifra mayor es la potencia desarrollada por el motor. Para que se pueda utilizar la técnica de los turbos hermanados, es necesario que el bloque motor sea especialmente robusto y que pueda resistir presiones enormes, incluso después de un fuerte kilometraje.