

Universidad Nacional de La Plata

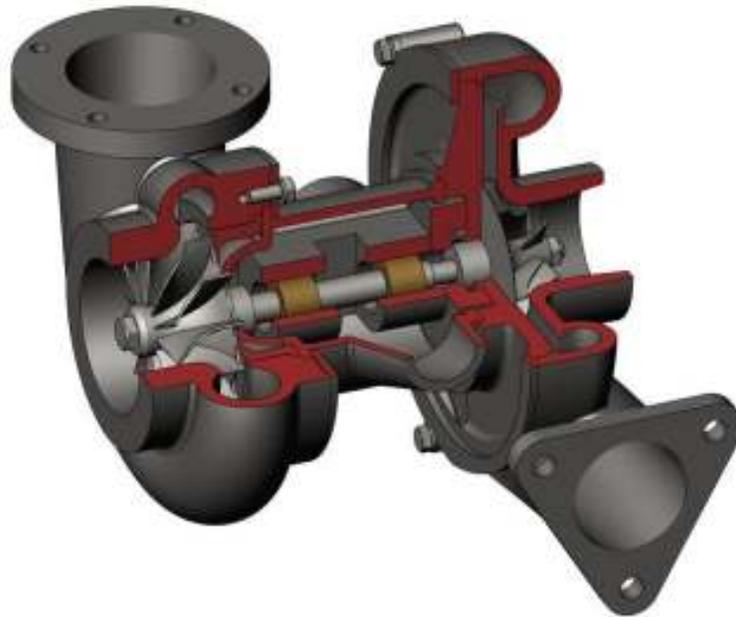
Facultad de Ingeniería

Área Departamental Mecánica

**Proyecto de Motores**

Curso 2011

“Sobrealimentación en motores”



**Integrantes Comisión:**

- |                      |                     |         |
|----------------------|---------------------|---------|
| • Barone Sebastián   | Ingeniería Mecánica | 56202/9 |
| • Citarella Bruno    | Ingeniería Mecánica | 56169/1 |
| • Crispiani Federico | Ingeniería Mecánica | 56175/5 |
| • Pesavento Nicolás  | Ingeniería Mecánica | 56168/2 |

• **Índice**

1. Introducción.....	2
2. Turbocompresor.....	4
2.1.0. Turbocompresor de geometría fija.....	4
2.1.1. Sistema de regulación de la presión del turbo.....	5
2.1.2. Ventajas e inconvenientes del turbocompresor de geometría fija.....	8
2.2.0. Turbocompresor de geometría variable.....	8
2.2.1. Electroválvula reguladora de presión de sobrealimentación.....	10
3. Problemática de la demora de respuesta del turbocompresor y sus posibles soluciones.....	11
4. Motores con turbocompresor y compresor volumétrico.....	12
5. Temperaturas de un turbocompresor.....	14
6. Mantenimiento del turbo.....	15
7. Intercambiador de calor o intercooler.....	15
8. Compresor volumétrico.....	18
9. Compresor comprex.....	20
10. Sobrealimentación mecánica vs. turbosobrealimentación.....	22
11. Problemática de la sobrealimentación.....	23
12. Bibliografía.....	23

## 1. Introducción

La incorporación de la sobrealimentación a motores de combustión interna permite aumentar la potencia del motor evitando la necesidad de incrementar sus dimensiones. Una aplicación bastante práctica de esta técnica puede verse en motores de automóviles que recorren trayectos de gran altitud sobre el nivel del mar, donde la potencia de los mismos se ve drásticamente reducida a causa de la menor densidad del aire.

Para ello, es necesario incrementar el volumen de aire que ingresa normalmente a la cámara de combustión en motores de aspiración normal o natural (motores atmosféricos). Éste es el punto donde la sobrealimentación interviene. Con ella la cantidad de combustible que podrá oxidarse será mayor ya que la cantidad de aires es mayor, obteniendo así un aumento del par y la potencia entregados pudiendo la segunda aumentar hasta un 40%.

Por otro lado, el aumento de la potencia debe ser tenida en cuenta cuando el motor es diseñado a fin de evitar presiones y temperaturas excesivas.

En las Imágenes n°1 y 2 se puede observar la comparación entre motores aspirados y sobrealimentados, de encendido por chispa y por compresión respectivamente. En ambos gráficos se puede apreciar el aumento del trabajo entregado por los motores sobrealimentados, respecto de los aspirados.

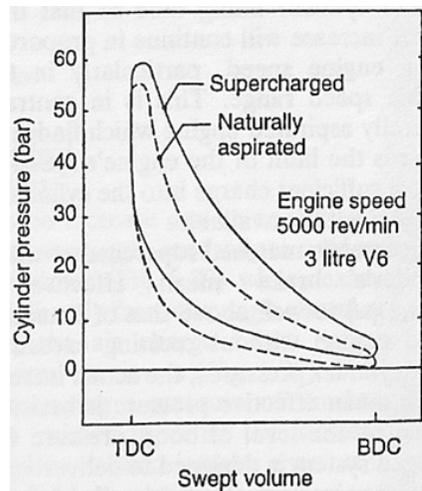


Imagen n°1: comparación en diagrama P-V de motor de encendido por chispa aspirado y sobrealimentado

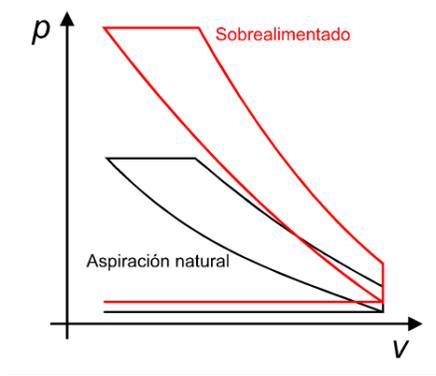


Imagen n°2: comparación en diagrama P-V de motor de encendido por compresión aspirado y sobrealimentado

Los distintos dispositivos de sobrealimentación pueden verse en el esquema de la Imagen n°3:

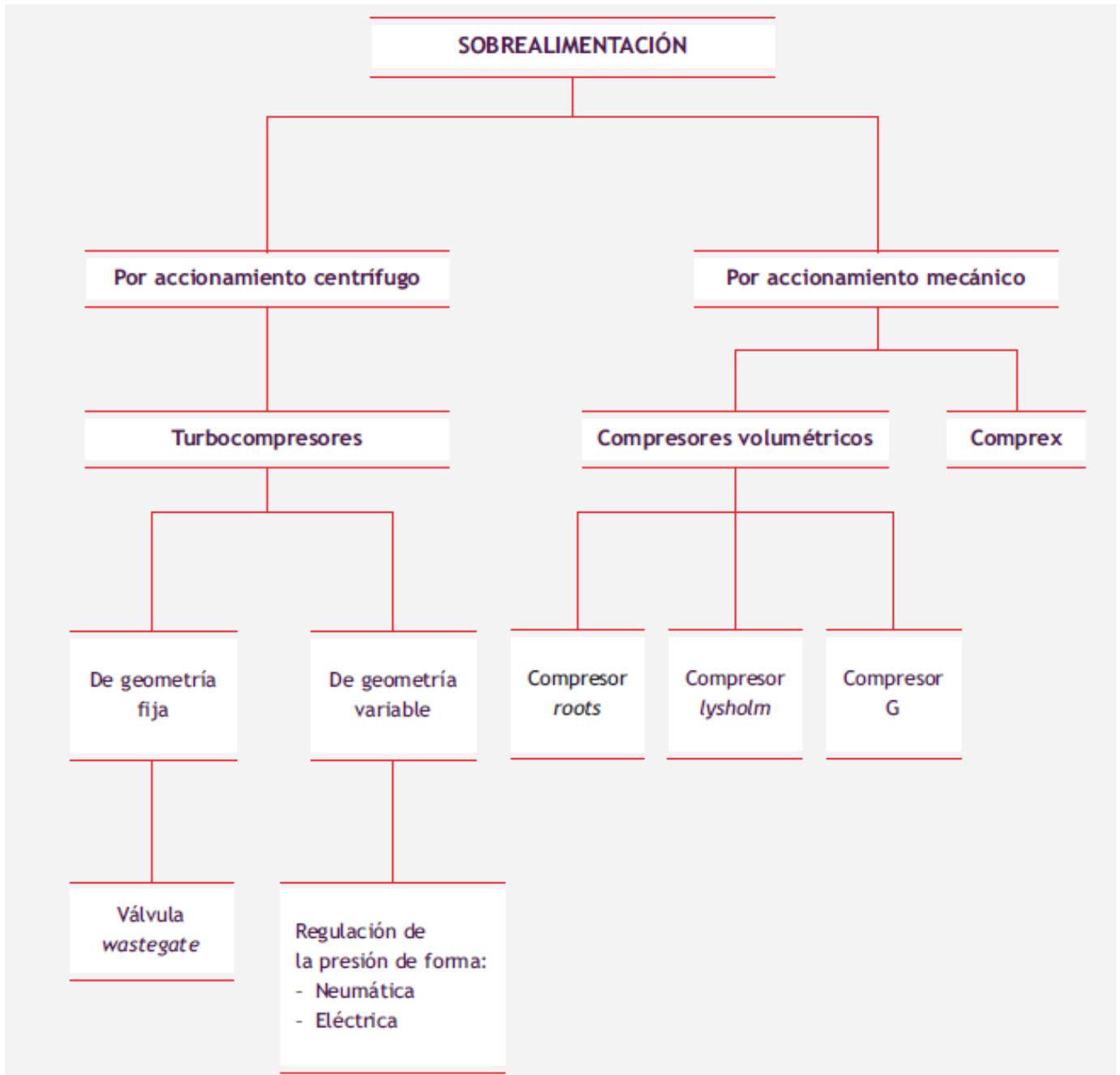


Imagen n°3: tipos de sobrealimentación

## 2. Turbocompresor

El turbocompresor es una turbomáquina diseñada para comprimir aire, que opera con la energía que normalmente se pierde en los gases de escape del motor. Se compone básicamente de una turbina solidaria a un eje que impulsa el compresor de aire de admisión en su otro extremo.

Los gases de combustión ingresan a la turbina conectada al múltiple de escape haciendo que esta gire y, a través del eje que une ésta y el compresor, impulse el segundo, el cual inyecta aire de admisión.

Los turbocompresores pueden clasificarse en:

- Turbocompresores de geometría fija.
- Turbocompresores de geometría variable.

### 2.1.0 Turbocompresor de geometría fija

El conjunto turbocompresor está formado principalmente por una turbina (2) y un compresor (1) que se encuentran introducidos en sus respectivas carcasas de formas opuestas y unidas ambas por un eje común (3). Tanto la turbina como el compresor contienen álabes para conseguir aumentar la presión de alimentación. En una parte anexa al turbo también se encuentra la válvula de descarga wastegate y su accionador (4), que se encarga de limitar la presión de sobrealimentación del turbocompresor desviando una cantidad de gases de escape directamente al escape sin pasar por la turbina. En la Imagen n°4, se puede observar lo mencionado anteriormente.

La carcasa de la turbina tiene forma de caracol para aumentar la velocidad de los gases haciendo impulsar con mayor fuerza los álabes.

La carcasa del compresor tiene el mismo aspecto que la turbina, pero en ella el sentido de circulación es opuesto. En él, el aire ingresa en dirección axial coincidente con el eje del turbocompresor y es acelerado hasta salir del mismo por la cámara espiral la cual aumenta su sección en la dirección en que el flujo la recorre a fin de disminuir su velocidad y así incrementar su presión.

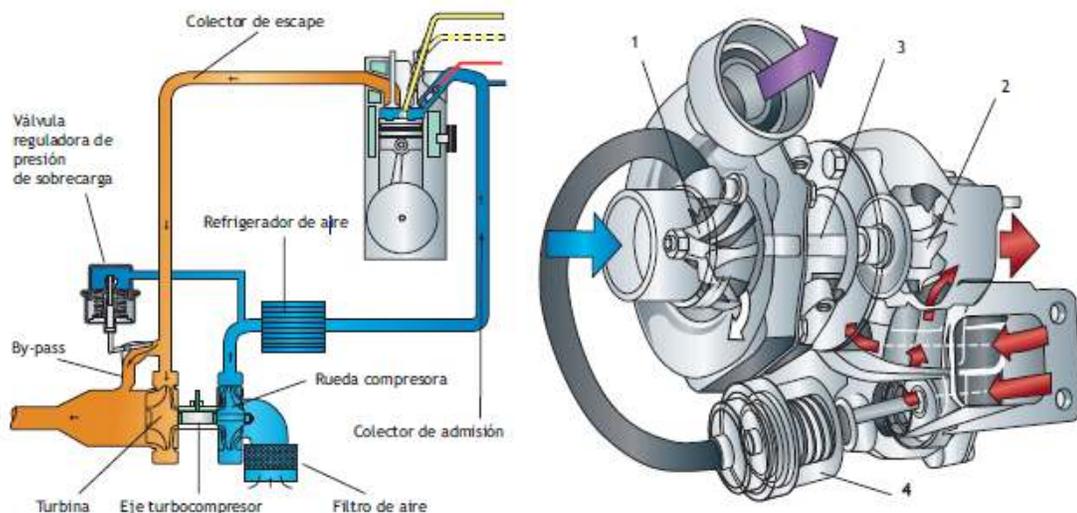


Imagen n°4: componentes de un turbocompresor de geometría fija

En la parte central del conjunto, se ubica el eje que une la turbina y el compresor. Este eje está sometido a altas solicitaciones mecánicas debido al giro y, además, debe soportar temperaturas extremas (hasta 900°C).

El eje se apoya en el turbocompresor por medio de cojinetes o rodamientos (en el caso de turbos muy pesados) en sus extremos y está en contacto con el circuito de engrase para conseguir un perfecto movimiento del eje y una refrigeración debido a las altas temperaturas. La falta de una lubricación adecuada puede provocar la destrucción del turbo en cuestión de minutos. De forma resumida se puede decir que al aceite que pasa por el turbo se le asignan dos principales tareas:

- Establecer una pantalla de estanqueidad entre los gases de escape, el aire introducido y las partes internas del turbocompresor.

- Transportar una parte muy elevada del calor cedido por los gases de escape a la turbina. Se reduce la temperatura de las partes del turbo que están en contacto con el aceite en unos 200°C.

Para garantizar siempre la lubricación de los cojinetes, el motor no debería pararse inmediatamente después de haber efectuado recorridos a alta velocidad, recomendándose mantener el motor en ralentí durante un breve espacio de tiempo (30 segundos). Por otra parte, si las paradas son repetitivas con el motor en caliente se ocasionarán erosiones y desprendimientos de incrustaciones de las paredes del cuerpo central.

### **2.1.1 Sistema de regulación de la presión del turbo**

La regulación de la presión de sobrealimentación permite suministrar al motor una presión límite variable de sobrealimentación, la cual está acorde con las condiciones de trabajo, tanto de solicitud de carga como a las climatológicas, temperatura del aire y presión atmosférica.

Para ello, el turbocompresor dispone de una válvula mecánica denominada wastegate encargada de regular la presión de soplado del mismo. Esta válvula está situada en derivación con el conducto de escape. Está constituida por una cápsula sometida a la presión de sobrealimentación, una membrana y una cámara de presión con un muelle. El accionamiento de esta válvula puede ser de tipo neumático o eléctrico.

#### **– Regulación de la presión por accionamiento neumático.**

Durante el funcionamiento del motor en ralentí o carga parcial la velocidad de los gases de escape es moderada creando una presión de sobrealimentación en el tubo (1) que es incapaz de abrir la válvula (4). Cuando el motor gira a plena carga (elevadas revoluciones) la presión en el colector de admisión supera los valores preestablecidos. Esta presión de soplado se transmite del colector de admisión a la válvula wastegate a través del tubo de conexión, que hace desplazar la membrana (2) y esta, a su vez, comprime el muelle (3) de la válvula (4) desplazándola de su asiento. En esta situación parte de los gases de escape dejan de fluir por la turbina del turbocompresor, reduciéndose el efecto del compresor y disminuyendo la presión de alimentación en el lado de admisión. En la Imagen n°5a, se puede observar lo mencionado anteriormente y en la Imagen n°5b la ubicación de los elementos que ayudan a la regulación.

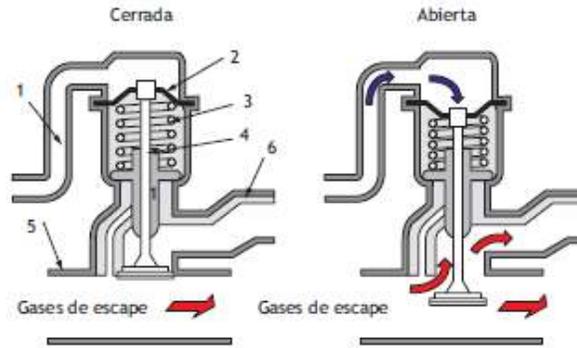


Imagen n°5a: válvula de accionamiento neumático

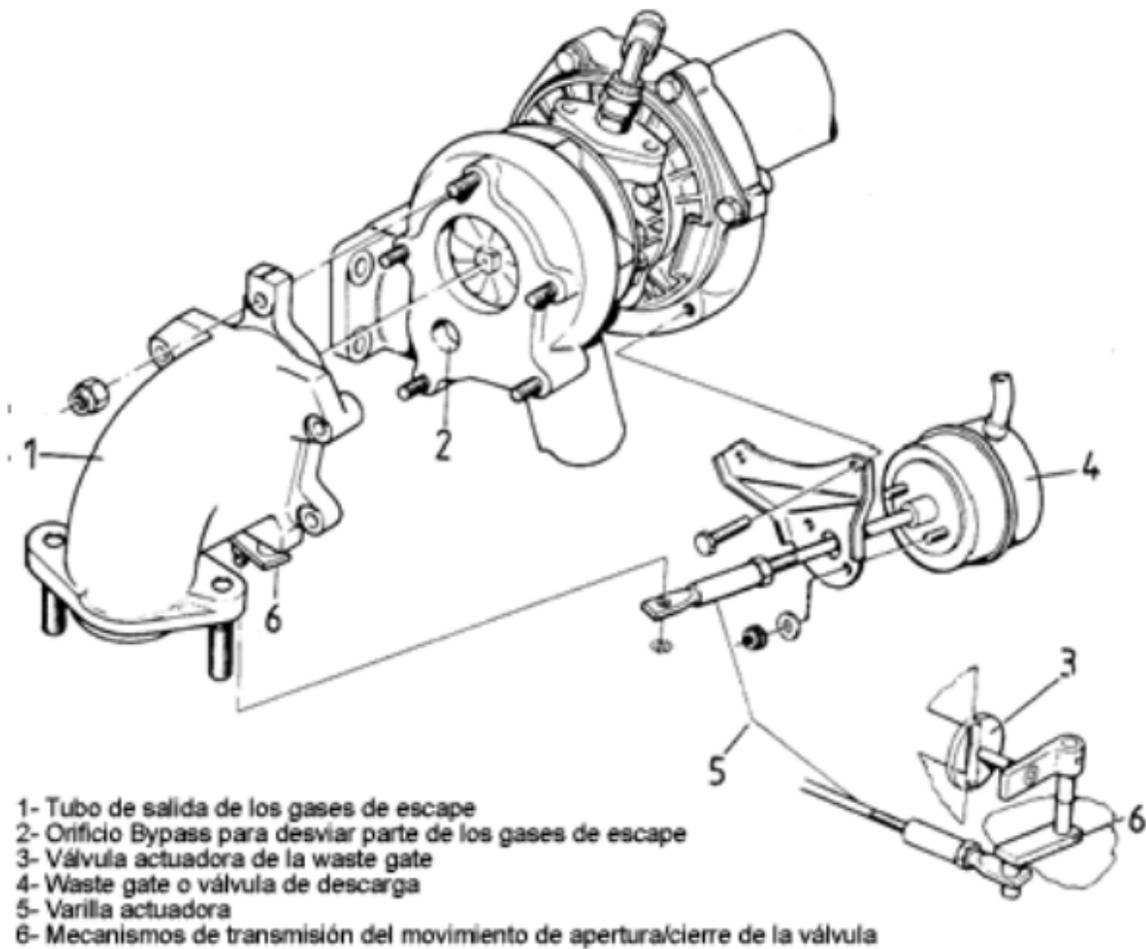


Imagen n°5b: situación de los elementos que regulan por accionamiento neumático la presión en un turbocompresor

### – Regulación de la presión por accionamiento eléctrico.

La única diferencia con el sistema neumático es que se instala una electroválvula de regulación intercalada en el tubo de unión entre el colector y la válvula mecánica. Esta electroválvula para limitación de la presión de sobrealimentación es excitada por la unidad de control del motor y la señal que recibe va a variar en función de las señales que llegan a la unidad de control, como las revoluciones del motor, temperatura del aire aspirado, presión en el colector de admisión, posición del pedal del acelerador y transmisor altimétrico.

Está compuesta por un bobinado eléctrico (3) que controla la posición de un inducido constituido por un émbolo (2) que, al desplazarse, puede cerrar el paso permanente que se establece entre A (colector de admisión) y B (conducto hacia la wastegate). Según el valor de la corriente recibida en el bobinado, el émbolo pasa a cerrar el conducto A y a establecer el paso directo entre C (presión atmosférica) y B. Esto se puede observar en la Imagen n°6:

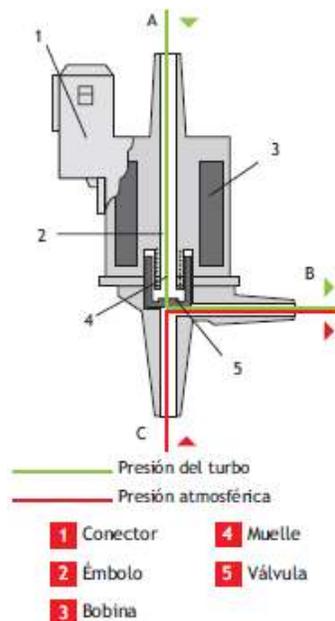


Imagen n°6: válvula de accionamiento eléctrico

La presión de control con que se acciona la válvula wastegate viene determinada por la proporción de periodo de la señal. De esta forma se gestiona la cantidad de caudal de gases de escape que pasa a accionar la turbina del turbocompresor. La presión de control se obtiene por medio de la combinación de la presión atmosférica y la presión de sobrealimentación.

Cuando el motor gira a bajas y medias revoluciones, la electroválvula de control deja pasar la presión de sobrealimentación que hay en el colector de admisión (conducto después del compresor) directamente hacia la válvula wastegate, pero esto no se producirá mientras no se supere una presión de soplado suficiente para vencer la fuerza de restitución del muelle de la válvula. Si las revoluciones aumentan demasiado, la fuerza de soplado abrirá la válvula y disminuirá el paso de gases de escape por la turbina, es decir, se disminuirá la sobrealimentación.

También puede ocurrir que la unidad de control considere que la presión en el colector puede sobrepasar ciertos límites de funcionamiento (circulación en altitud,

elevada temperatura ambiente o aceleraciones fuertes) sin que esto sea un riesgo para el motor. Para ello actuará sobre la electroválvula y comunicará el conducto de presión atmosférica situado antes del compresor (colector de admisión) con el de la válvula wastegate, manteniéndose esta cerrada por no vencerse la presión del muelle, y provocando un aumento de la sobrealimentación al entrar en contacto todos los gases con la turbina.

### **2.1.2 Ventajas e inconvenientes del turbocompresor de geometría fija**

A continuación se detallan de forma resumida las ventajas e inconvenientes que ofrece la utilización de un turbocompresor del tipo mencionado en un vehículo:

#### **Ventajas:**

- No consume energía en su accionamiento.
- Fácil localización, sin accionamiento directo del eje del motor.
- Reducido volumen en relación al caudal proporcionado.
- Gran capacidad de comprimir a altos regímenes y altos caudales.

#### **Inconvenientes:**

- Mala capacidad de respuesta en bajas cargas por el poco volumen de gases.
- Retraso en su actuación, por la inercia de la masa móvil y su aceleración mediante gases.
- Alta temperatura de funcionamiento al accionarse con gases de escape.
- Mayores cuidados de uso y mantenimiento.

### **2.2.0 Turbocompresor de geometría variable**

Los turbocompresores de geometría variable tienen la característica de que a bajas revoluciones del motor se nota su efecto, eliminando el gran inconveniente de los turbocompresores de geometría fija.

Son los más implantados en vehículos modernos. Su funcionamiento es similar a los de geometría fija, pero con la salvedad de que estos no necesitan de una válvula de descarga, puesto que el sistema puede hacer disminuir el giro de la turbina y, por tanto, rebajar la presión a los valores preestablecidos en determinados modos de funcionamiento del motor.

La gestión electrónica en este caso es la encargada de hacer disminuir o aumentar la fuerza que ejercen los gases de escape sobre la turbina. Con esto se consiguen tiempos de respuesta del turbo muy breves, además de velocidad de gases alta y un funcionamiento progresivo de la turbina desde bajos regímenes.

Para conseguir los efectos anteriormente expuestos se ha dispuesto en la turbina de escape del turbocompresor una corona (3) con un número de álabes móviles (2) en su periferia. La corona, a su vez, se encuentra unida a una varilla (6) y esta a una cápsula neumática (8) dividida en dos cámaras.

Teniendo en cuenta que la presión que ejercen los gases de escape está relacionada con el número de revoluciones del motor, se podrán obtener diferentes regímenes de funcionamiento de la turbina según la orientación que tomen las paletas o álabes móviles, es decir, se variará la sección de paso de los gases de escape.

En la Imagen n°7, se pueden apreciar algunos de los componentes de un turbocompresor de geometría variable:

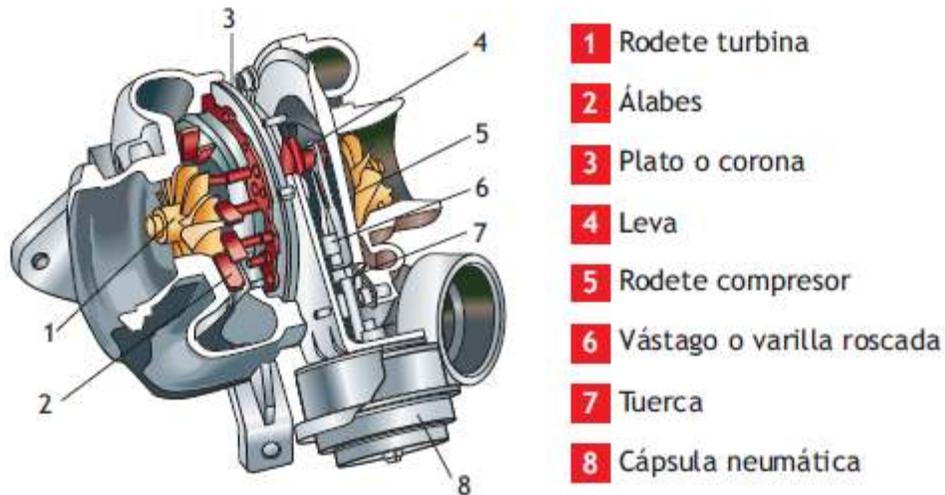


Imagen n°7: componentes de un turbocompresor de geometría variable

**– Funcionamiento con bajos regímenes de rotación del motor**

En un turbocompresor convencional, en este estado de funcionamiento la presión que ejercerían los gases de escape sería baja, produciendo un giro lento de la turbina de escape y, como consecuencia, una presión de sobrealimentación mínima. Sin embargo, en un turbo de geometría variable, los álabes móviles se encuentran cerrados en su totalidad de forma que la sección de paso entre ellos es mínima (ver Imagen n°8). Esto hace aumentar la velocidad de los gases a su paso por ellos, creando una mayor velocidad de giro de la turbina y, por tanto, del compresor, aumentando la sobrealimentación en estos regímenes bajos.

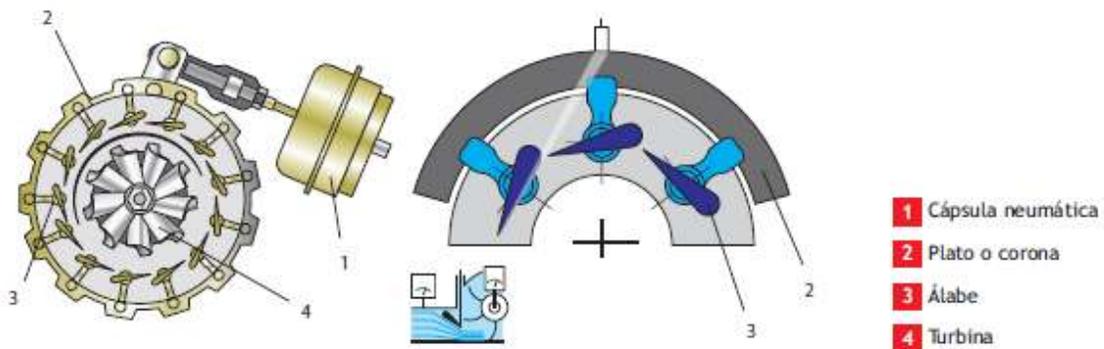


Imagen n°8: funcionamiento en bajos regímenes de giro del motor

**– Funcionamiento con regímenes altos de rotación del motor**

Al aumentar la velocidad de giro aumenta de igual forma la velocidad de los gases de escape y, por tanto, su energía cinética. En esta situación, del mismo modo se eleva la velocidad del rotor del turbocompresor, aumentando la presión de sobrealimentación y

actuando esta a través de un tubo de conexión sobre la membrana de la cápsula neumática, que hacer variar por medio del conjunto de varillas la posición de los álabes móviles. La posición final de los álabes móviles dependerá de la presión de sobrealimentación, estando estos totalmente abiertos (mayor sección de paso de gases) cuando se alcancen los valores máximos de presión establecidos (ver Imagen n°9). Con este aumento de la sección de paso de los gases de escape va a disminuir la velocidad con la que van a incidir en el rotor de la turbina, obteniéndose velocidades de giro del compresor iguales o inferiores a las conseguidas con regímenes bajos.

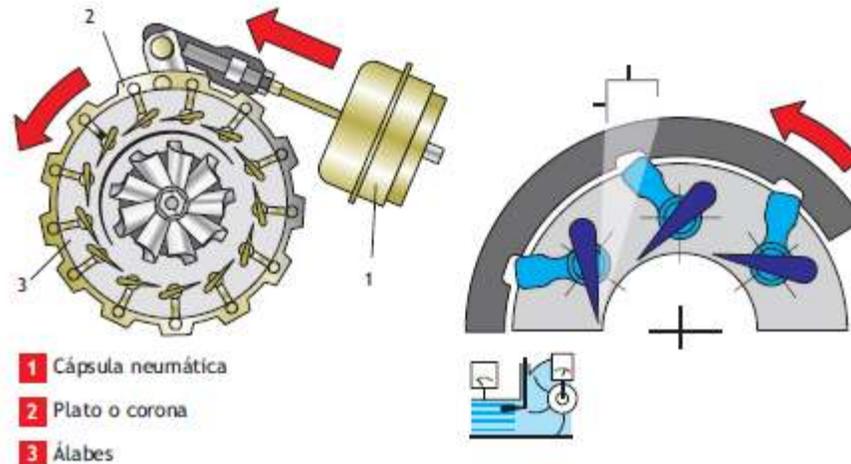


Imagen n°9: funcionamiento en altos regímenes de giro del motor

### 2.2.1 Electroválvula reguladora de presión de sobrealimentación

En los turbos de geometría variable la presión de sobrealimentación es regulada en función de un mapa de curvas características programadas en la unidad de control del motor, la cual excita correspondientemente la válvula electromagnética (1) para la limitación de la presión de sobrealimentación.

La presión de control, con la que el depresor (2) acciona las varillas que actúan sobre los álabes móviles (3), se determina en función de la proporción de periodo de la señal. A través de los álabes móviles se influye sobre el caudal de los gases de escape que actúan contra la turbina. La presión de control se constituye por una combinación de presión atmosférica y depresión.

Cuando el motor se encuentra en bajas revoluciones, la electroválvula de control es activada cuando recibe la señal de voltaje, cerrando el conducto que proviene de la admisión (presión atmosférica) y abriendo el de depresión (bomba de vacío), con lo que la membrana de la cápsula neumática es absorbida, actuando esta sobre el sistema de varillas y palancas desplazándolas hacia su izquierda. En esta posición los álabes están dispuestos de forma que entre ellos exista la menor sección de paso que hace aumentar las revoluciones de giro de la turbina.

Cuando el motor está en altas revoluciones la unidad de control deja de activar la electroválvula y hace desplazar el émbolo de la misma hacia la derecha cerrando el conducto de depresión y abriendo el conducto de presión del colector de admisión. En esta situación la propia presión hace desplazar en sentido de compresión a la membrana de la cápsula, desplazando esta hacia la derecha el sistema de varillas y palancas. En esta posición se desplaza al conjunto de aletas móviles a la posición de mayor sección de paso. Con esto se reduce la velocidad de los gases de escape que pasan por la turbina

de escape y, como consecuencia, se minimiza la presión de sobrealimentación de la rueda compresora.

Existe una posición intermedia de la electroválvula en la cual se obtiene igualmente una posición equilibrada de sección de paso de los gases de escape entre los álabes móviles, correspondiendo esta situación a la de carga parcial del motor.

El comportamiento de la válvula se puede apreciar en la Imagen n°10:

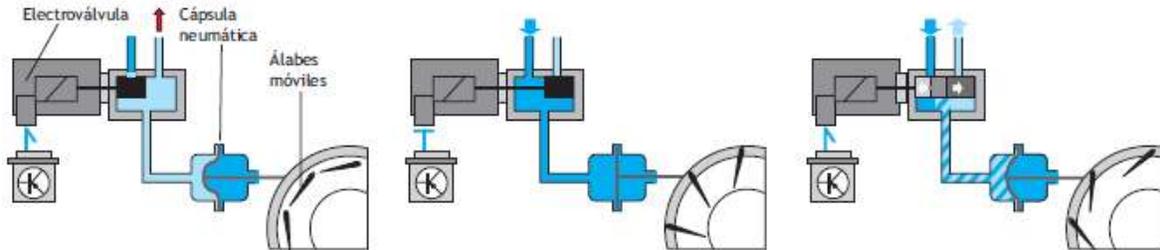


Imagen n°10: regulación de turbocompresor de geometría variable mediante electroválvula

Las ventajas del turbocompresor de geometría variable con respecto al turbocompresor convencional se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Mantienen la presión de sobrealimentación casi constante en todos los regímenes de funcionamiento.
- Permiten conseguir un aumento de la potencia y del par entre un 10 y un 20%.
- Mejoran el consumo de combustible y disminuyen la contaminación al tener una combustión mas completa en todos los regímenes.
- Consiguen una curva de potencia muy progresiva.
- Consiguen un mayor par motriz a bajos regímenes.
- Consiguen una mayor potencia máxima a altos regímenes.

### 3. Problemática de la demora de respuesta del turbocompresor y sus posibles soluciones

Los motores provistos de turbocompresores padecen de una demora mayor en la disposición de la potencia que los motores atmosféricos o con compresor mecánico, debido a que el rendimiento del turbocompresor depende de la presión ejercida por éste. En esta demora influyen la inercia del grupo (su diámetro y peso) y el volumen del colector entre la turbina y la salida de los gases de escape del cilindro.

Un turbocompresor no funciona de igual manera en distintos regímenes de motor. A bajas revoluciones, el turbocompresor no ejerce presión porque la escasa cantidad de gases no empuja con suficiente fuerza. Un turbocompresor más pequeño evita la demora en la respuesta, pero ejerce menos fuerza a altas revoluciones. Distintos fabricantes de motores han diseñado soluciones a este problema. Además de los turbocompresores de geometría variable ya descritos, se pueden mencionar las soluciones que siguen a continuación.

Un "biturbo" es un sistema con dos turbocompresores de distinto tamaño. A bajas revoluciones funciona solamente el pequeño, debido a su respuesta más rápida, y el grande funciona únicamente a altas revoluciones, ya que ejerce mayor presión.

Un "biturbo en paralelo" o "twin turbo" es un sistema con dos turbocompresores pequeños de idéntico tamaño. Al ser más pequeños que si fuera un turbocompresor único, tienen una menor inercia rotacional, por lo que empiezan a generar presión a revoluciones más bajas y se disminuye la demora de respuesta.

Un "turbocompresor asimétrico" consiste en colocar un solo turbocompresor pequeño en una bancada (por ejemplo, la delantera en un motor V6 colocado transversalmente) dejando la otra libre. La idea no es conseguir una gran potencia, sino que la respuesta sea rápida. Este sistema fue inventado por el fabricante sueco Saab y utilizado en el Saab 9-5 V6.

Un "biturbo secuencial" se compone de dos turbocompresores idénticos. Cuando hay poco volumen de gases de escape se envía todo este volumen a un turbocompresor, y cuando este volumen aumenta, se reparte entre los dos turbocompresores para lograr una mayor potencia y un menor tiempo de respuesta. Este sistema es utilizado en el motor Wankel del Mazda RX-7.

También Mazda desarrolló un prototipo de turbo eléctrico. El sistema eléctrico del coche no puede dar suficiente caudal para el motor a altas revoluciones, pero sí a bajas; así ambos se complementan. Con baja carga y revoluciones, la ayuda eléctrica permite un rápido aumento de presión y después la turbina puede suministrar toda la potencia para comprimir el aire. Este sistema ahorra mucha más energía que combinándolo con un compresor mecánico movido por el motor.

El sistema acompañado por un compresor mecánico ha tenido muy buenos resultados en prestaciones y consumos en el motor TSI de VW. Serán descriptos a continuación.

#### **4. Motores con turbocompresor y compresor volumétrico**

La combinación de un turbocompresor y un compresor volumétrico en motores nafteros de altas prestaciones, presentan sus fases de trabajo condicionadas al par solicitado en cada momento. Con esta información una unidad electrónica controla:

- Trabajo del compresor, acoplando o no el mismo.
- Mariposa by-pass.
- Válvula de control de presión del turbocompresor.

Los tres elementos específicos del sistema son (ver Imagen n°11):

– El turbocompresor centrífugo, que funciona por acción de los gases de escape. Es de geometría fija y su válvula de descarga es accionada de forma neumática.

– El compresor de lóbulos o roots, que funciona arrastrado por una correa desde el cigüeñal. Este permite aportar un volumen de aire extra cuando el régimen del motor es bajo, ya que el volumen es forzado por su propio mecanismo. Su activación depende de la unidad de control que, en función de las necesidades, aplicará o no una tensión al electroembrague del compresor.

– La mariposa by-pass, que es conmutada para desviar el flujo de aire en función de las necesidades. Es decir, conmutará el aire para que este proceda directamente del exterior o bien a través del compresor.

El sistema puede funcionar en los siguientes modos:

– Funcionamiento sin carga. Ocurre cuando el motor gira a un régimen bajo sin petición de carga; entonces la unidad desactiva el mando del acoplamiento del compresor, provocando que este no gire y, por tanto, que no haya pérdidas por arrastre. La mariposa de by-pass se encuentra abierta, permitiendo el paso de aire a presión atmosférica sin pasar por el compresor.

– Requerimiento de carga con régimen bajo-medio. En este estado la unidad de control activa el electroembrague del compresor, de forma que este se acopla y gira. Esto provoca un aumento del volumen de aire que permite aumentar rápidamente el rendimiento del motor. La mariposa de by-pass está cerrada permitiendo el paso del aire a través del compresor. Una vez adquiridas las condiciones de trabajo necesarias, entra en juego el efecto de trabajo del turbo centrífugo, permitiendo aportar el volumen solicitado a un régimen mayor.

– Requerimiento de carga con régimen medio-alto. Aquí, si la velocidad del turbo centrífugo es suficiente, la unidad de control no activará el compresor, pero en caso necesario lo hará. Además, la válvula by-pass se encuentra abierta no permitiendo el paso del aire por el compresor. Si la unidad activa al compresor al mismo tiempo modula la señal sobre la mariposa.

En la Imagen n°12, se ven representadas las fases de trabajo en función del régimen del motor y la presión media efectiva, indicando el funcionamiento solo como turbo o con la ayuda del compresor.

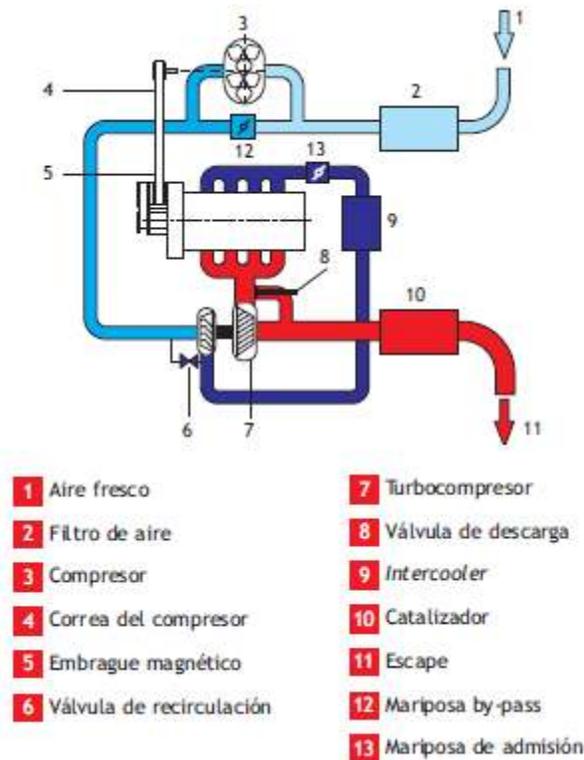


Imagen n°11: elementos de un motor con turbocompresor y compresor volumétrico



Imagen n°12: fases de trabajo en función del régimen del motor y la presión media efectiva

## 5. Temperaturas de un turbocompresor

Las diferencias de temperaturas que se alcanzan a un lado y otro del turbocompresor son muy notables. En la turbina se pueden alcanzar temperaturas de 800 a 1000 °C, mientras que en el compresor como máximo se alcanzan unos 80 °C. Esto hace que el eje común al que se unen tanto la turbina como el compresor esté sometido a temperaturas muy diferentes en sus extremos, lo cual dificulta el diseño y sobre todo la elección de materiales para su construcción.

El turbocompresor se refrigera principalmente por el aceite de engrase, y además por el aire de entrada del colector de admisión que recoge parte del calor que contiene el rodete compresor. Hay que destacar que esto último no es nada beneficioso para el motor, ya que el aire caliente hace dilatar el aire de admisión y descender su densidad, con lo que el rendimiento volumétrico del motor se ve seriamente perjudicado.

A continuación, en la Imagen n°13 se puede apreciar una determinada distribución de temperaturas para un turbocompresor:

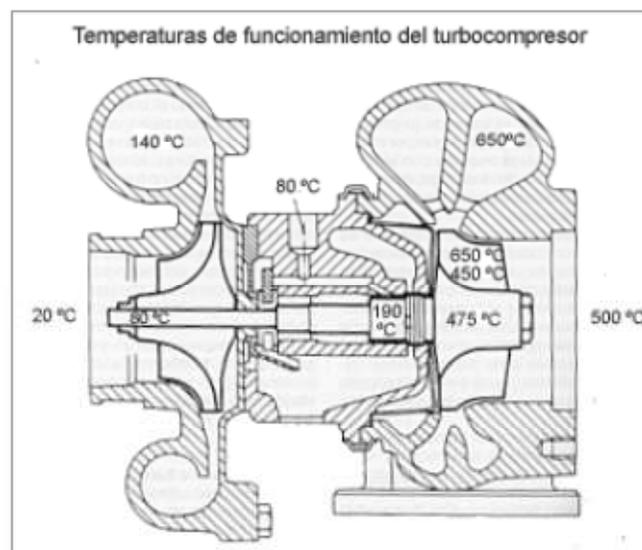


Imagen n°13: distribución de temperaturas de un turbocompresor

## 6. Mantenimiento del turbo

Debido a las altas solicitaciones térmicas y mecánicas a las que está sometido un turbo es imprescindible realizar una serie de actuaciones en el motor para evitar averías en el sobrealimentador.

Estas se pueden resumir en los siguientes aspectos:

- Evitar arranques en frío bruscos, ya que la presión de aceite de funcionamiento normal tarda en alcanzarse un breve espacio de tiempo.
- Después de largos recorridos, dejar en ralentí el vehículo durante aproximadamente 2 minutos, para disminuir la temperatura del turbo.
- Reducir la carga del vehículo momentos previos a la parada del mismo con objeto de refrigerar los puntos mas calientes.
- Sustituir el aceite y filtro en los tiempos establecidos por el fabricante para evitar la formación y acumulación de residuos en el aceite. Se recomienda la utilización de aceites sintéticos que mejoran la refrigeración y lubricación.
- Cualquier manipulación sobre el sobrealimentador debe ser producida por personal calificado.

Aun siguiendo las normas generales de mantenimiento de un vehículo para la conservación del turbo, se pueden dar en el propio componente las siguientes averías más usuales:

- Problemas relacionados con falta de lubricación, desgaste de tipo axial, etc.
- Entrada de cuerpos extraños en su interior, arrastrados por el aceite.
- Temperaturas de funcionamiento extremas.

## 7. Intercambiador de calor o intercooler

Es un sistema compuesto por un intercambiador de calor en el que se introduce el aire calentado que sale del rodete compresor para enfriarlo antes de introducirlo en los cilindros del motor. El aire que incide sobre este intercambiador o radiador proviene del exterior durante la marcha del vehículo y consigue rebajar la temperatura del aire que pasa por el interior del intercooler unos 40°C (el aire de admisión en motores turboalimentados puede alcanzar hasta 100°C). Un intercambiador aire-aire se puede observar en la Imagen n°14.

Con la introducción del intercooler se consigue aumentar la potencia y el par del motor debido al aumento de la masa de aire que entra en el cilindro como consecuencia del incremento de densidad del aire cuando este enfría. Otros efectos positivos resultantes de la utilización del intercooler son la disminución del consumo y de las emisiones contaminantes.

En ciertos motores el intercambiador es de tipo aire/agua, es decir, al aire se le fuerza a pasar por un radiador por el que circula el agua del sistema de refrigeración.

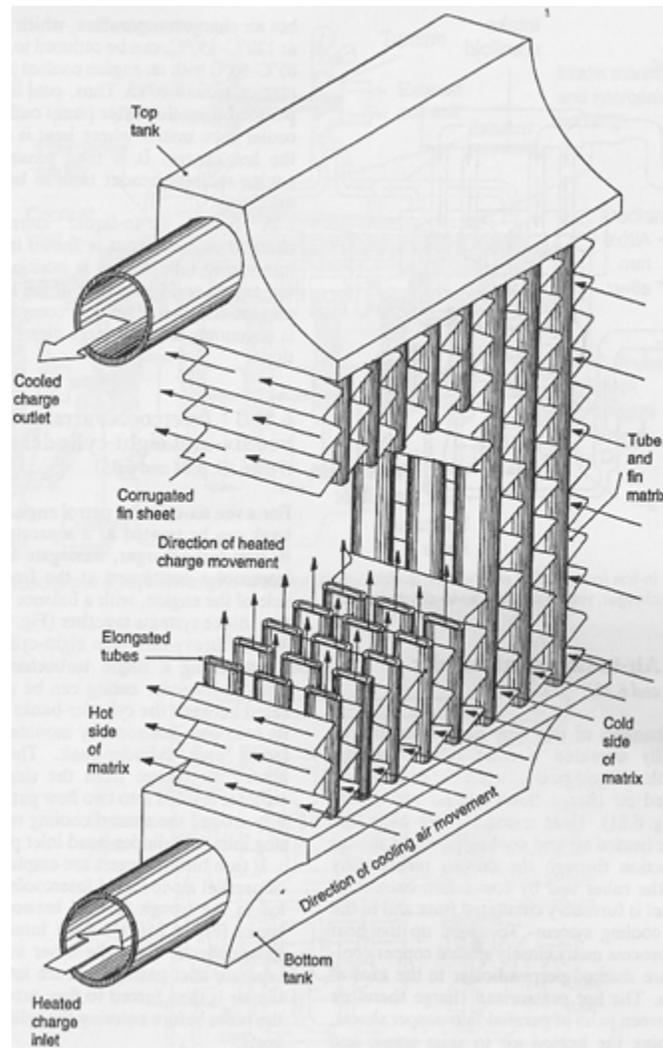


Imagen n°14: intercambiador aire-aire

En la Imagen n°15 se puede apreciar el recorrido del aire y gases de escape en un motor con intercooler.

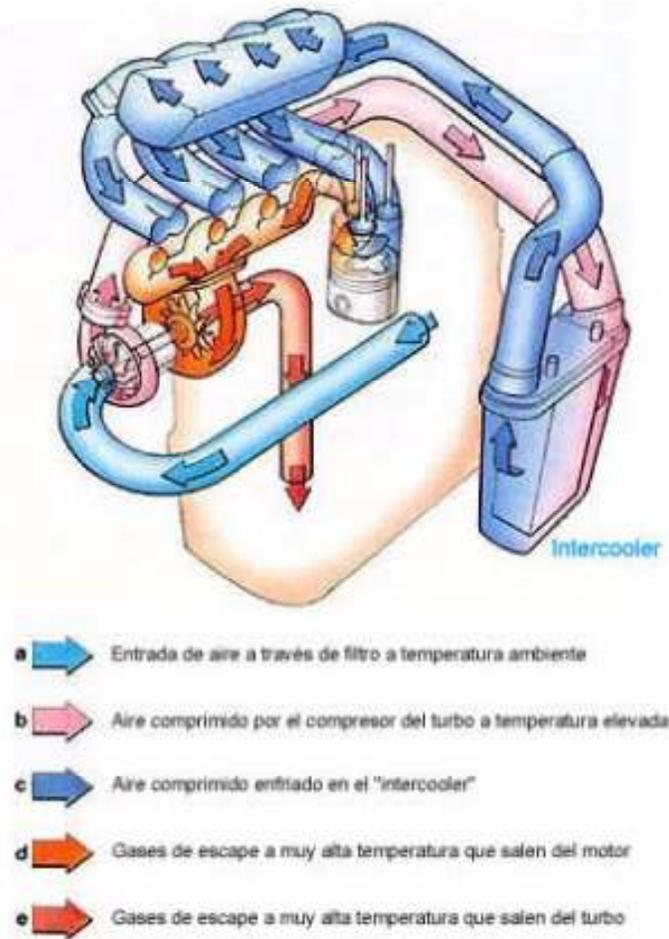


Imagen n°15: flujos de aire y gases de combustión en un motor con intercooler instalado

En la Tabla n°1, se presentan algunos valores de parámetros de funcionamiento de motores aspirados, sobrealimentados y sobrealimentados con enfriamiento (con intercooler).

Tabla n°1: motor atmosférico vs. sobrealimentado vs. sobrealimentado con enfriamiento

	Atmosf.	Sobreal.	Sobreal. Enfriador
$p_{admisión}$ (bar)	1	2	1.95
$T_{admisión}$ (°C/K)	20/293	120/393	60/333
$\rho_{admisión}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1.2	1.8	2.1
$m_f$ (mg/cc)	30	45	52.5
$p_{mi}$ (bar)	10	15	17.5

## 8. Compresor volumétrico

Los compresores volumétricos son accionados mediante el cigüeñal, normalmente por una correa dentada o engranajes, pudiendo conseguir de 10.000 a 15.000 rpm. Se caracterizan por hacer circular el aire a mayor velocidad de la que proporciona la presión atmosférica, creando una acumulación de aire en el colector de admisión y, consecuentemente, una sobrepresión en el mismo.

El compresor volumétrico más utilizado en automóviles es el compresor de lóbulos, conocido también como de tipo roots.

No disponen de válvula de descarga como en los turbocompresores, siendo la velocidad del motor la que limita la sobrealimentación.

Su principio de funcionamiento se basa en aspirar aire e introducirlo en una cámara que disminuye su volumen. Está compuesto por dos rotores, cada uno de los álabes, con una forma de sección parecida a la de un ocho. Los rotores están conectados por dos ruedas dentadas y giran a la misma velocidad en sentido contrario, produciendo un efecto de bombeo y compresión del aire de forma conjunta (ver Imagen n°16).

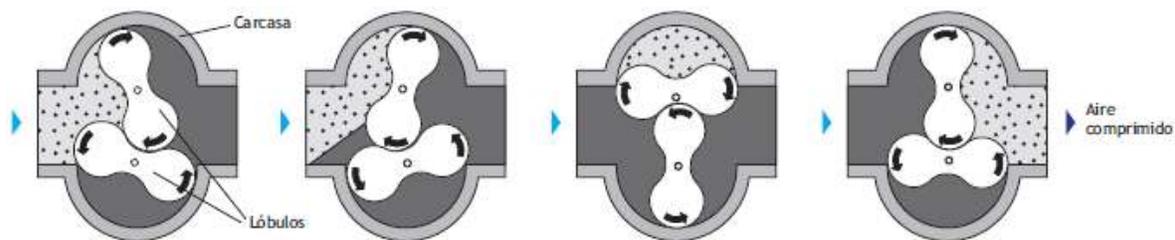


Imagen n°16: funcionamiento de un compresor roots

En la Imagen n°17, se puede ver la comparación de potencia y torque entre un motor naftero aspirado (curvas punteadas) y uno con compresor roots (curvas continuas).

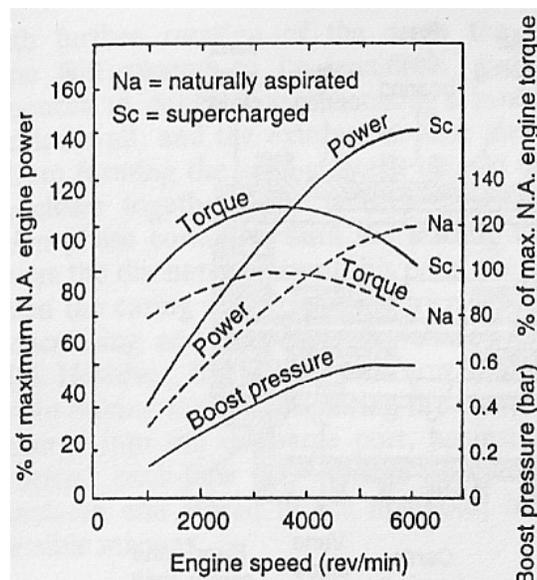


Imagen n°17: comparación entre motor aspirado y con compresor roots

Este compresor consigue impulsar el aire a mayor velocidad. Además los rotores no están en contacto el uno con el otro, ni cada uno de ellos con las paredes de la carcasa, siendo baja la estanqueidad del sistema y, por tanto, dando lugar a pequeñas fugas del aire.

Con el fin de reducir los inconvenientes del compresor volumétrico de lóbulos se diseñó el denominado compresor lysholm (o a tornillo), formado por dos piezas helicoidales que giran engranadas entre sí (ver Imagen n°18). Aunque también es movido mediante correa por el cigüeñal, el rendimiento es algo superior al compresor roots, al disponer de un material que mejora el flujo de aire y que reduce su peso e inercia.



Imagen n°18: compresores lysholm

Por otra parte, otro tipo de compresor que actualmente está en desuso pero que la marca Volkswagen lo utilizó en varios de sus modelos fue el de tipo G. Este compresor se caracteriza por no tener elementos de compresión y sí disponer de un conducto en forma de caracol que provoca un movimiento oscilante de dos piezas que forman un canal helicoidal (ver Imagen n°19).

Una de las piezas es fija, mientras que la otra describe un movimiento circular (no rotativo) mediante una excéntrica. El movimiento de la parte móvil va reduciendo el volumen del canal espiral de manera que se fuerza al aire a salir por un extremo a mayor velocidad y presión. Los grandes inconvenientes de este sistema son sus problemas de lubricación y estanqueidad.



Imagen n°19: compresor tipo G

De forma resumida, se detallan las ventajas e inconvenientes más importantes de los compresores volumétricos:

### Ventajas:

- Sobrealimentación racional y equilibrada en cualquiera de los regímenes de giro del motor.
- Se ponen en marcha en el mismo instante de arranque del motor. Además aumentan y disminuyen de régimen al igual que lo hace el motor.
- Respuesta inmediata a la demanda del acelerador. No tiene efecto de retardo.

### Inconvenientes:

- Restan potencia al motor al ser accionados mecánicamente por el cigüeñal. Se calcula la pérdida en un 10% de la suministrada por el motor.
- Bajo rendimiento según se aumenta la presión.
- Son de gran tamaño dificultando su instalación en el motor.

## 9. Compresor complex

Este tipo de compresores se empezaron a implantar en los vehículos para mejorar las características del turbocompresor en bajas revoluciones del motor.

El principio de funcionamiento se basa en transmitir por contacto directo al aire del colector de admisión los residuos de energía de presión contenidos en los gases de escape por medio de las finas paredes radiales de un tambor que recibe movimiento del cigüeñal del motor (ver Imagen n°20). El aire de admisión ingresa por un extremo y los gases de escape por otro. Estos últimos entran en contacto directo con el aire y lo comprimen y lo envían a la admisión del motor. Al girar el tambor, los gases usados para comprimir el aire salen por el conducto de escape y en su lugar entra aire que luego será comprimido y enviado al motor nuevamente.

La absorción de potencia del motor es mínima ya que el accionamiento tiene como único objetivo mantener al rotor en movimiento giratorio. La función de compresión la siguen realizando de forma exclusiva los gases de escape.

Su régimen de funcionamiento máximo está en torno a los 15.000 o 20.000 rpm, produciéndose a partir de aquí un descenso notable de su rendimiento.

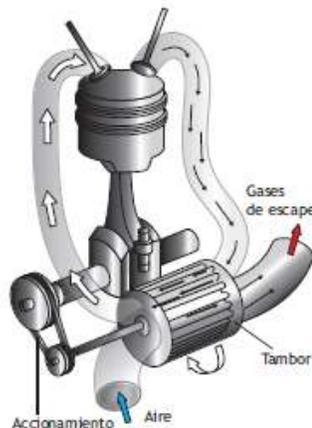


Imagen n°20: funcionamiento de un compresor complex

En las Imagen n°21 y 22 se puede ver la configuración de un motor con compresor complex y detalles del compresor, respectivamente.

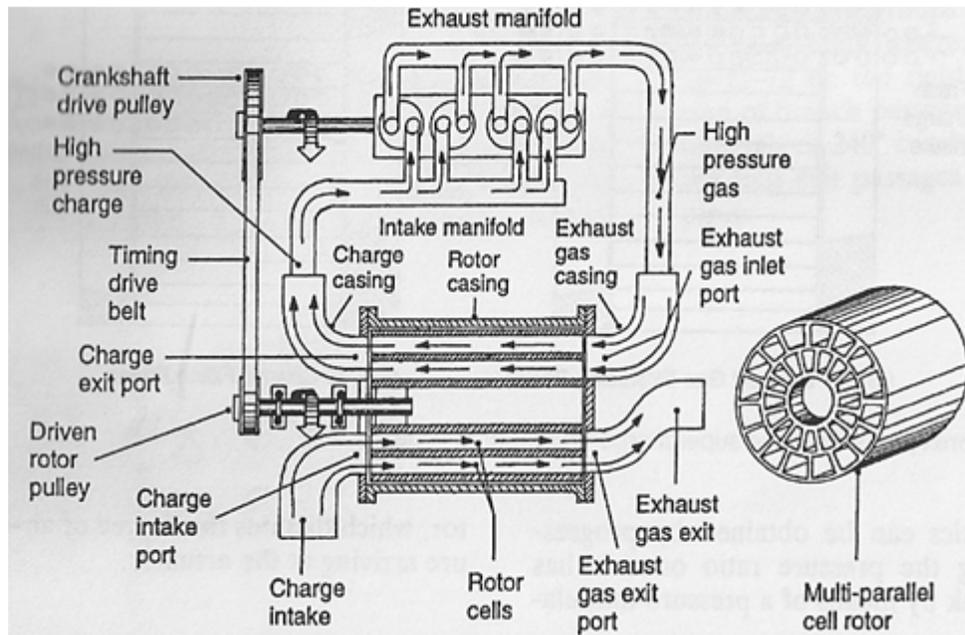


Imagen n°21: de un motor con compresor complex

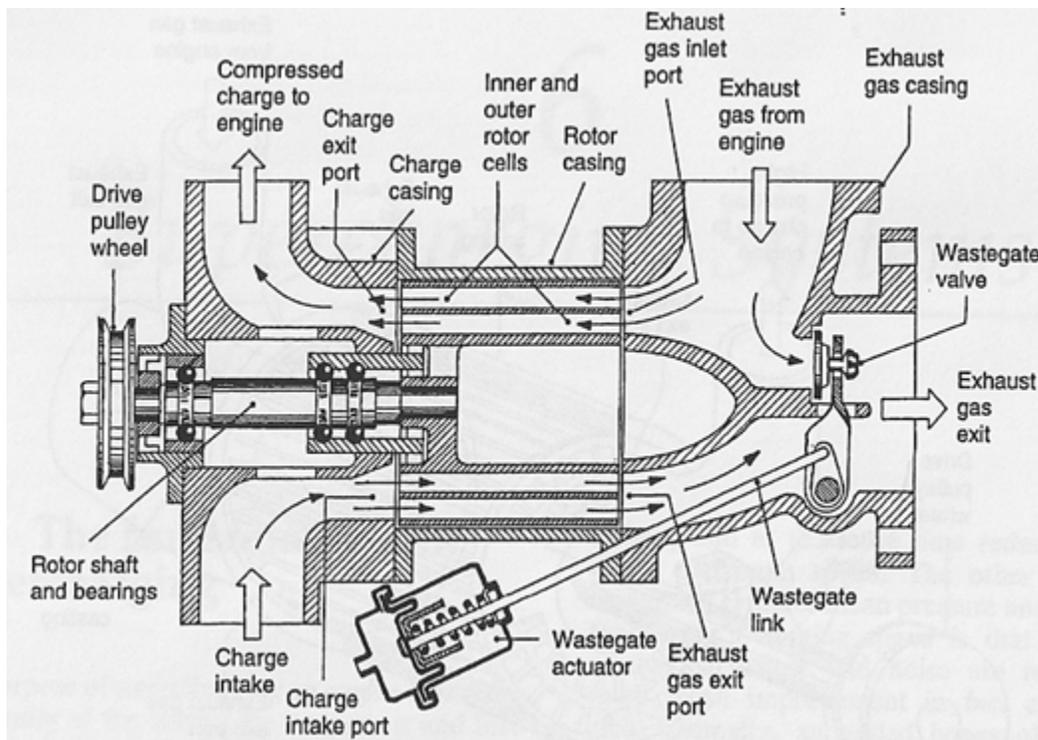


Imagen n°22: componentes de un compresor complex

A continuación, se detallan las ventajas e inconvenientes de este tipo de compresor:

**Ventajas:**

- No consume energía en su accionamiento.
- Respuesta inmediata al acelerador.
- Incremento notable del par desde bajas vueltas.

**Inconvenientes:**

- Gran tamaño del equipo.
- Produce mucho ruido.
- Mala localización por la necesidad de accionamiento mediante el motor.
- Mala aplicación a motores de gasolina por un límite de giro muy pequeño.
- No tiene posibilidad de alejar los gases de escape de la admisión; excesiva proximidad entre los mismos.

## 10. Sobrealimentación mecánica vs. turbosobrealimentación

Ambas formas de sobrealimentación presentan argumentos a favor y en contra. Algunos de ellos se presentan a continuación:

- Sobrealimentación mecánica:
  - Comportamiento del compresor poco sensible al régimen, generando un grado de sobrealimentación constante.
  - Respuesta instantánea del compresor a cambios de régimen del motor (ayuda a la aceleración).
  - Potencia absorbida por el compresor reduce el rendimiento global del motor.
  - Volumen y peso del compresor.
- Turbosobrealimentación:
  - Aprovechamiento de parte de la energía de los gases de escape.
  - Mejora del rendimiento global del motor.
  - Peso y tamaño reducido.
  - Acoplamiento fluidodinámico turbogruppo / motor complejo.
  - Respuesta muy variable en función del régimen y de la carga del motor.
  - Mala respuesta en transitorios del motor.

La utilización de uno u otro sistema dependerá del tipo de motor al que se deba aplicar y del objetivo buscado para dicho motor.

## 11. Problemática de la sobrealimentación

A continuación, en la Tabla n°2 se presentan algunos problemas que pueden surgir en los sistemas de sobrealimentación, las consecuencias que pueden ocasionar y sus posibles soluciones:

Tabla n°2: problemas que pueden surgir, sus consecuencias y formas de solucionarlos

problema	consecuencia	solución
caudal del motor excesivo para la turbina	exceso de contrapresión de escape	válvula de descarga (waste-gate)
		turbina de geometría variable (TGV)
energía excesiva en la turbina	embalamiento del turbogrupo	válvula de descarga (waste-gate)
	temperatura de entrada excesiva	turbina de geometría variable (TGV)
falta de energía disponible en la turbina	falta de potencia en el motor por falta de aire	modificación del diagrama de distribución
		mejor aprovechamiento de los gases de escape
problemática de los transitorios	falta de par	mejora de estrategias en el transitorio
	humos	reducción de la inercia en el turbogrupo
entrada en bombeo del compresor	pérdida de potencia del motor por falta de aire	corrector de humos (boost-control)
		reducción del tamaño del compresor
entrada en condiciones sónicas del compresor	pérdida de potencia del motor por falta de aire	compresor de geometría variable
		aumento del tamaño del compresor
empleo de recirculación de gases de escape (EGR)	falta de energía disponible en la turbina	reducción del tamaño del turbocompresor
	entrada en bombeo del compresor	
alta sobrealimentación	imposibilidad de obtener presiones suficientes con un solo compresor	empleo de compresores en serie
		empleo de compresores en paralelo

## 12. Bibliografía

- Dante Giacosa. Motores Endotérmicos. Ed. Omega. 2000
- Charles Fayette Taylor. The Internal Combustion Engine in Theory and Practice. Ed. M.I.T.