

Capítulo 3

**Sistemas de  
sobrealimentación,  
turbocompresores  
y compresores**

## Contenido

1. Introducción
2. Principio de funcionamiento, características y tipos. Diferencias entre turbocompresor y compresor
3. Sistemas de regulación de la presión de soplado, geometría fija y variable
4. Principales comprobaciones del sistema y de sus componentes
5. Resumen

## 1. Introducción

En la actualidad, la inmensa mayoría de los motores diésel son sobrealimentados, ya que el ciclo diésel es muy adecuado para este procedimiento, debido a que solo se comprime aire aspirado en la fase de admisión.

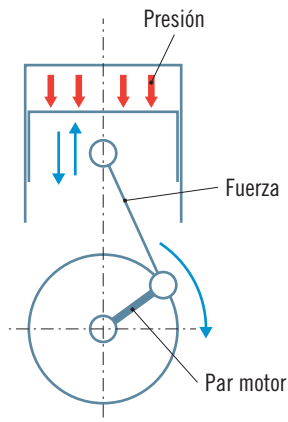
Si a todo esto se le suma el adelanto tan importante experimentado por los sistemas electrónicos de gestión del motor, que permiten el ajuste de la presión de soplado en función de otros parámetros constantemente, no debe extrañar el aumento espectacular del rendimiento volumétrico y, por tanto, de la potencia de los motores diésel actuales.

En este capítulo, se van a estudiar los tipos de sobrealimentación que es posible encontrar en los motores actuales, su evolución, sus características y su reparación en caso de avería.

## 2. Principio de funcionamiento, características y tipos. Diferencias entre turbocompresor y compresor

El par motor es la capacidad que tiene el motor para realizar el trabajo, es decir, la fuerza con la que el pistón empuja a la biela multiplicada por el radio del cigüeñal. Su unidad es el Newton x metro.

**Cálculo del par motor**



La potencia se define como el trabajo realizado dividido entre el tiempo:

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Trabajo}}{\text{Tiempo}}$$

Mediante la sobrealimentación, se mejora el llenado del cilindro y, por lo tanto, también mejorará el par motor y, en consecuencia, se obtendrá un aumento de la potencia.

$$\text{Potencia en Automoción} = \text{Par Motor} \times \text{Revoluciones}$$

### 2.1. Principio de funcionamiento y características

Sobrealimentar un motor es introducir a presión en los cilindros una masa de aire superior a la que el motor puede aspirar normalmente.

Mediante la sobrealimentación, se puede aumentar el par motor y, por consiguiente, la potencia del mismo, sin variar la cilindrada y el número de revoluciones, ya que se eleva el valor de la presión media efectiva del motor. También se puede obtener la misma potencia con una cilindrada menor y, por lo tanto, con un motor de dimensiones y peso inferiores.

El aumento de potencia es tanto más elevado cuanto más se fuerza la alimentación.

El límite lo establecen las propias características mecánicas del motor, por lo que, en general, es necesario reducir la relación de compresión.

El motor turboalimentado con turbocompresor adquiere un particular sonido en escape, con relación al motor atmosférico, debido a la expansión considera-

ble de los gases de escape al pasar por la turbina. Esto favorece la amortiguación de la energía sonora producida por las cámaras de resonancia del escape.

El efecto de sobrealimentación se obtiene comprimiendo el aire enviado al motor con un compresor.



### Nota

---

La sobrealimentación de motores es una tecnología que se aplica a los motores desde hace muchos años, pero la evolución tecnológica en cuanto a rodamientos, materiales y, sobre todo, electrónica ha hecho que los turbos y los motores mejoren su rendimiento.

---

## 2.2. Tipos

Los compresores se pueden clasificar, en general, en dos categorías:

- Compresores volumétricos.
- Compresores centrífugos.

La diferencia principal consiste en que los volumétricos realmente son los que comprimen el gas y los centrífugos lo que en realidad hacen es dar velocidad al aire, comprimiéndose este más adelante, al reducirse el espacio de las canalizaciones. Dentro de cada tipo, también es posible hacer nuevas clasificaciones.

### Volumétricos

Los compresores volumétricos pueden ser:

- De alabes.
- De paletas.
- De pistones.



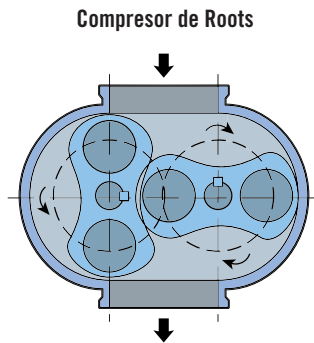
### Nota

En todos los volumétricos, el motor térmico es el que los mueve siempre de una forma mecánica y, por ello, pierde una parte de potencia útil.

### **Compresores de alabes**

Entre los diferentes tipos de compresores volumétricos, el más utilizado en los automóviles es de alabes, llamado también roots.

Está compuesto por dos rotores, cada uno de dos alabes, 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. La transmisión de movimiento del motor térmico al compresor se realiza a través de engranajes o una correa dentada.



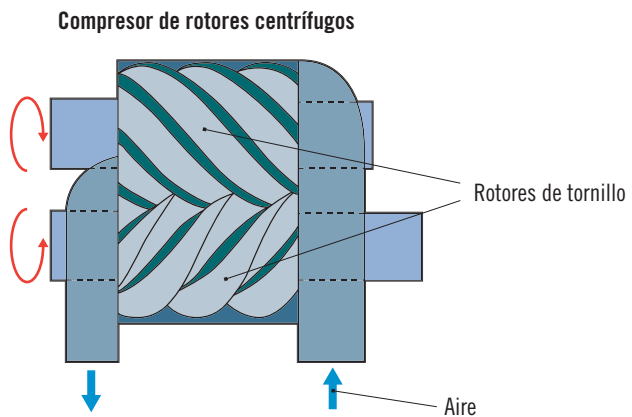
El compresor volumétrico roots no trabaja exactamente como un compresor, ya que desplaza simplemente la masa de aire que entra en el motor; la carga de aire sale del compresor casi con la misma presión de entrada, pero se comprime por la resistencia del aire impulsado anteriormente.

Respecto al turbocompresor de gases de escape, el compresor volumétrico no permite alcanzar determinados niveles de sobrealimentación, por causas debidas a perdidas de estanqueidad entre rotores con carcasa y entre los rotores mismos, por lo que el rendimiento es bastante modesto.

Al ser accionado mecánicamente, se pierde una potencia del orden del 10% de la potencia suministrada por el motor. Este hecho incide notablemente en los consumos específicos del motor en cada régimen y carga.

Por el contrario, con el compresor volumétrico se puede obtener una sobrealimentación muy constante dentro de un campo de funcionamiento. Esto asegura una buena curva de par del motor y, por consiguiente, una buena conducción del vehículo, también porque el mando directo elimina los retrasos de respuesta en aceleración.

La figura siguiente representa un compresor utilizado en algunos motores cuyo funcionamiento está basado en el principio roots. Una característica de este tipo de compresores es su capacidad para mantener el giro cuando se produce un cambio de marchas. El compresor es accionado mecánicamente por el cigüeñal del motor mediante una correa, que mueve además otros dispositivos.





### Nota

---

La conexión y desconexión de la transmisión de movimiento al compresor es encomendada a la UCE del motor.

---

## Centrífugos

Los compresores centrífugos están compuestos por un rotor centrífugo y un difusor que forma parte de un contenedor en forma de caracol. El compresor centrífugo es accionado por una turbina impulsada por los gases de escape, con la consiguiente recuperación de una parte de energía térmica.

El conjunto de la turbina y del compresor se llama turbocompresor de gases de escape o, más corrientemente, “turbo”.

### ***Turbocompresor de gases de escape***

El turbocompresor es un compresor centrífugo con una pequeña turbina. Los respectivos rotores se acoplan en los extremos de un único eje que gira normalmente en cojinetes de fricción, situados entre los rotores de los mismos, lubricados por el aceite del motor.

A este aceite, se le asigna la tarea de:

- 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.

Por estas razones, la bomba de aceite de lubricación del motor se sobredimensiona.

Las temperaturas de los gases de escape en contacto con la turbina alcanzan valores de 600 °C.

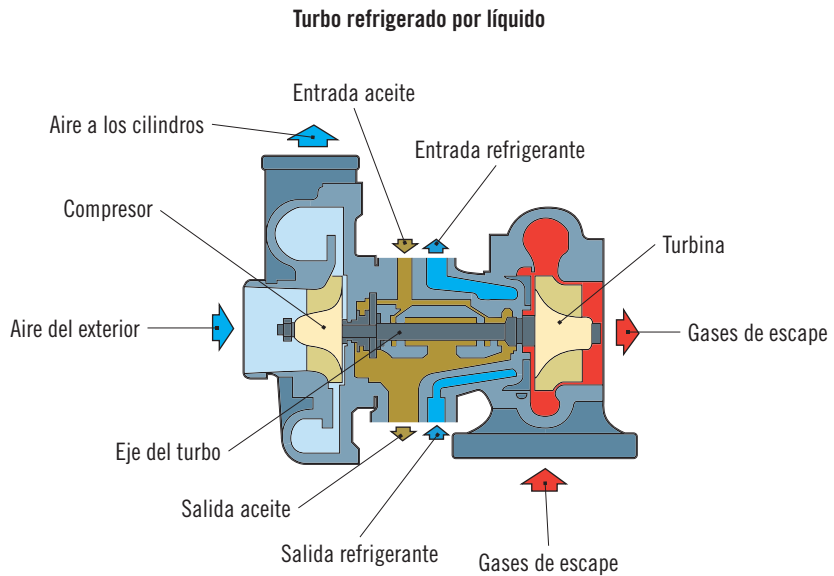
La refrigeración por líquido refrigerante del turbocompresor de gases de escape es muy ventajosa para conseguir una buena evacuación del calor.



### Sabía que...

El líquido refrigerante disminuye la temperatura de los componentes que estén en contacto con el aceite lubricante aproximadamente en 200 °C.

Para garantizar siempre la lubricación de los cojinetes, el motor no debe pararse inmediatamente después de haber efectuado recorridos a alta velocidad.



Los elementos principales que forman un turbo son el eje común, que tiene en sus extremos los rodets de la turbina y el compresor. Este conjunto gira sobre los cojinetes de apoyo, los cuales han de trabajar en condiciones extremas y dependen necesariamente de un circuito de engrase que los lubrica.

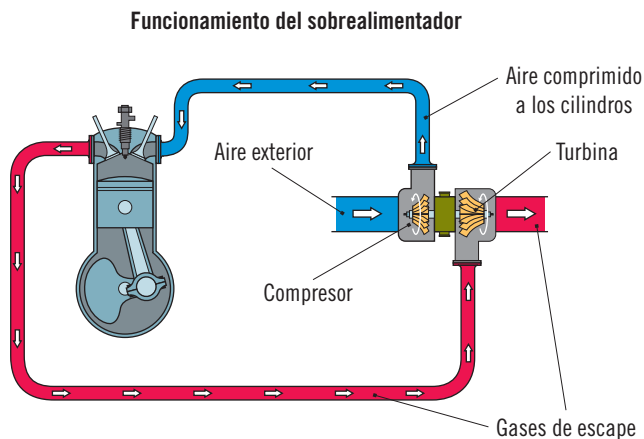


### Sabía que...

El turbo impulsado por los gases de escape alcanza velocidades por encima de las 100.000 rpm.

Los gases de escape entran en la turbina y se expanden, actuando en las paletas del rotor y haciéndolo girar.

Con el movimiento rotatorio del mismo, la energía térmica de los gases con alta temperatura se transforma en energía mecánica y se transmite al rotor del compresor que, al girar, comprime el aire aspirado y lo envía a los cilindros.



### Limitación de la presión de sobrealimentación

Para evitar que la presión producida por el turbocompresor sobrepase unos valores de presión de alimentación que comprometan la mecánica del motor, se monta en el turbo una válvula reguladora de la presión de alimentación (waste-gate) controlada bien por la presión de los gases de escape o bien por la presión de alimentación que genera el turbo.

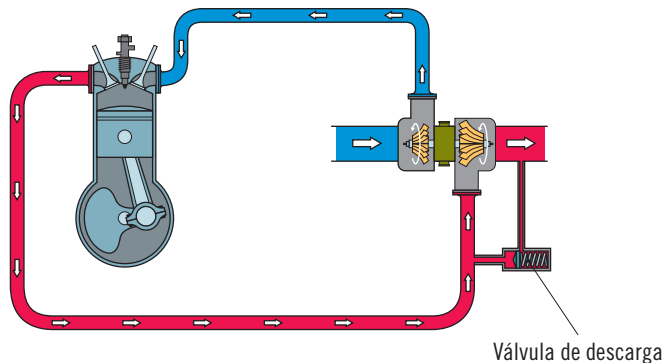


#### Nota

La válvula está controlada automáticamente por una membrana que detecta, según el sistema de funcionamiento, la presión en el colector de escape o la presión en el conducto de admisión.

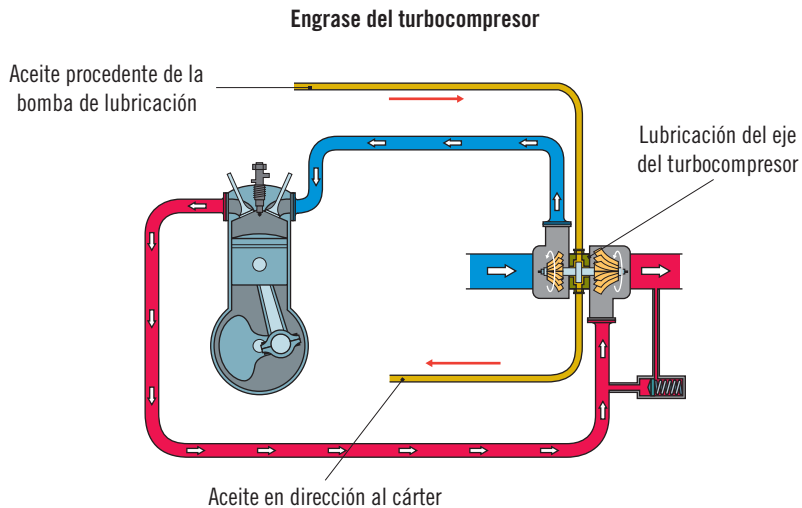
Cuando la válvula limitadora se abre, deja pasar los gases del escape por un conducto hacia el escape, permitiendo que la carga sobre la turbina se reduzca y, como consecuencia, el compresor estabilice la velocidad de rotación.

Válvula limitadora de presión



## Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo diésel

Los rodamientos del turbo deben recibir lubricación a presión y, por lo tanto, una línea del circuito de lubricación se hace llegar al turbo, retornando al cárter por la parte inferior (figura siguiente).



## Intercooler

La sobrealimentación, al tener que comprimir el aire, eleva su temperatura y, al aumentar la temperatura del aire, ocupa más espacio, por lo que entra menos cantidad de aire en los cilindros, lo que ocasiona pérdida de potencia del motor. Esta pérdida de potencia se evita enfriando el aire aspirado en el radiador de aire de sobrealimentación (intercooler).

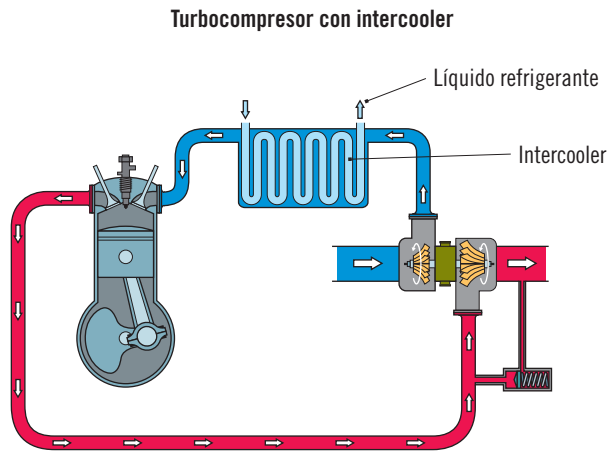
La densidad del aire aumenta al disminuir su temperatura. Los cilindros se llenan con aire más frío, más denso y más rico en oxígeno, lo que hace aumentar más la potencia del motor.



### Nota

Existen varias disposiciones de **intercooler** según las características del motor y el vehículo, pero todas ellas realizan la misma función.

En la siguiente figura, puede observarse un esquema de sobrealimentación, equipado con intercooler, cuya misión será enfriar el aire que entra a la admisión.



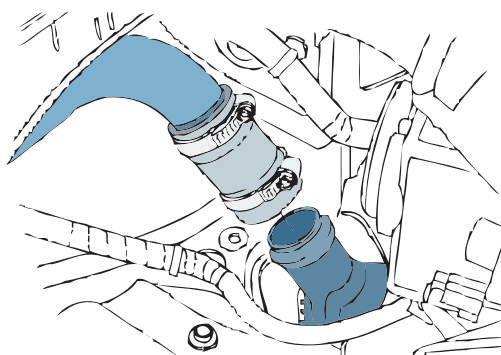
### Aplicación práctica

Al taller llega un vehículo diésel al que tiene que desmontar un intercooler. ¿Cuál sería el proceso a seguir?

#### **Solución**

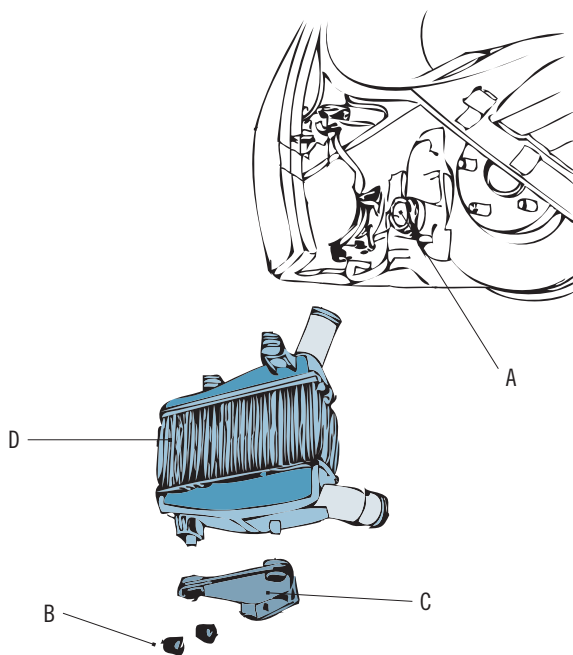
1. Desmontar la manguera de entrada de aire al intercooler.

### Manguito de entrada de aire al intercooler



2. Disponer el vehículo para facilitar el trabajo en su parte baja.
3. Desmontar la rueda delantera izquierda.
4. Desmontar el paso de ruedas de plástico.
5. Desmontar el manguito de salida del intercooler (A). A continuación, desmontar las dos tuercas (B) que sujetan el soporte del intercooler (C).

### Desmontaje del intercooler



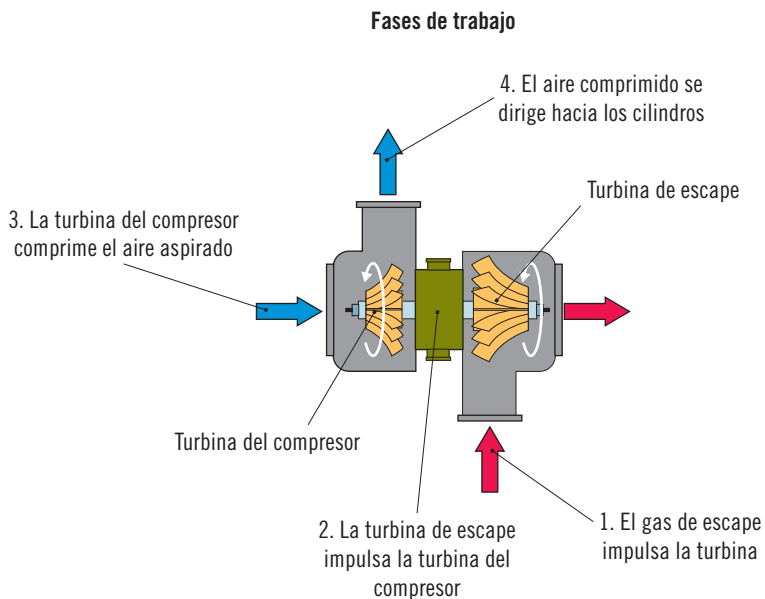
6. Desmontar el radiador (intercooler) (D) del soporte.

### **3. Sistemas de regulación de la presión de soplado, geometría fija y variable**

En la actualidad, existen varios sistemas referidos a la regulación y el funcionamiento de los sistemas de sobrealimentación. En los siguientes apartados, se van a estudiar los distintos sistemas.

#### **3.1. El turbo**

Como se ha podido observar, con ayuda del turbocompresor es posible aprovechar una gran parte de la energía térmica y cinética que se pierde con los gases de escape, mejorando el llenado de los cilindros. Con una bomba correspondientemente ajustada, se aumenta la potencia y se mejora el par motor en el margen de revoluciones inferior.



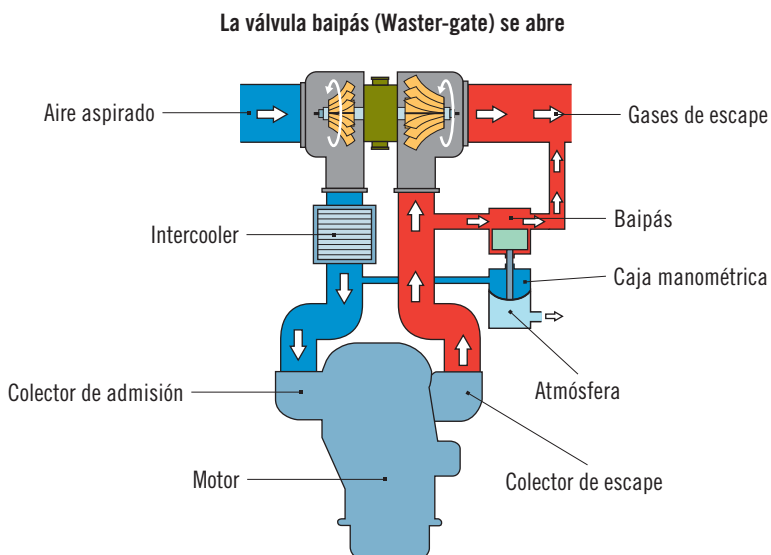
Hay dos gamas de regímenes que plantean problemas para un turbocompresor:

- En la gama de regímenes superiores, se produce una mayor velocidad de la turbina, debido a lo cual el aire se comprime más de lo necesario.
- En la gama de regímenes inferiores, la turbina de escape no alcanza el régimen necesario. El aire no se comprime lo suficiente y el motor no alcanza la potencia deseada (bache turbo).

En el turbocompresor de geometría fija con válvula de descarga se soluciona en parte este problema, como se va a ver a continuación.

### 3.2. El turbocompresor de geometría fija

En la gama de regímenes superiores, una parte del caudal de los gases de escape no pasa por la turbina del turbocompresor (baipás), de modo que no se sobrepase la presión óptima del aire y el motor consiga su plena potencia.



El baipás se abre con ayuda de una caja manométrica, utilizando la sobrepresión generada en el tubo de admisión a regímenes superiores. El baipás se cierra en cuanto la presión desciende.



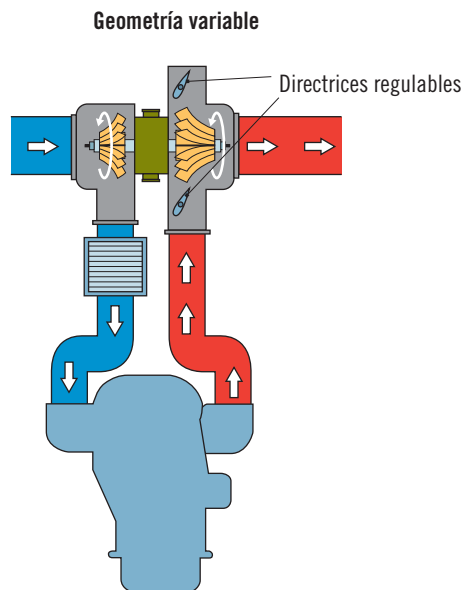
### Nota

El mando puede ser controlado mediante una electroválvula que comanda la UCE.

### 3.3. El turbocompresor de geometría variable

En lugar de válvula waste-gate, este turbocompresor trabaja con directrices de posición regulable en torno a la turbina de escape.

Por medio de las directrices regulables, se influye sobre el caudal de los gases de escape aplicado a la turbina (figura siguiente).





### Nota

---

Las directrices variables se mueven con ayuda de un depresor.

---

### Ventajas

En la gama de regímenes inferiores, está disponible una alta potencia del motor, por estar influyendo sobre la velocidad de los gases de escape a través de las directrices variables.

Debido a la menor contrapresión que ejercen los gases de escape sobre la turbina en la gama de regímenes superiores y debido a la mayor potencia disponible en baja, se obtiene un menor consumo de combustible.

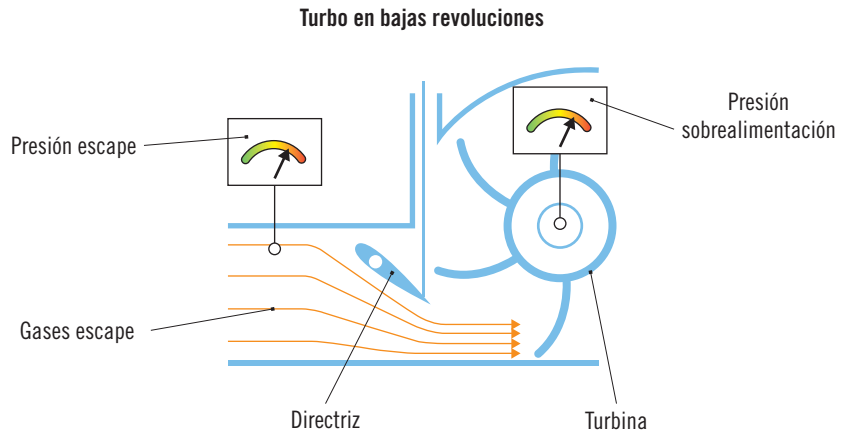
Las emisiones de escape experimentan una reducción, debido a que en toda la gama de regímenes se consigue una presión de sobrealimentación óptima y, por tanto, una combustión de mayor calidad.

#### ***Régimen bajo del motor***

La sección del caudal de escape se estrecha ante la turbina por medio de directrices.

La turbina se impulsa a una mayor velocidad, por forzarse el gas de escape a fluir más rápidamente a través de la menor sección de paso (menor sección equivale a mayor velocidad).

Con la alta velocidad de la turbina, también a bajos regímenes del motor se consigue la presión de admisión de valor adecuado.



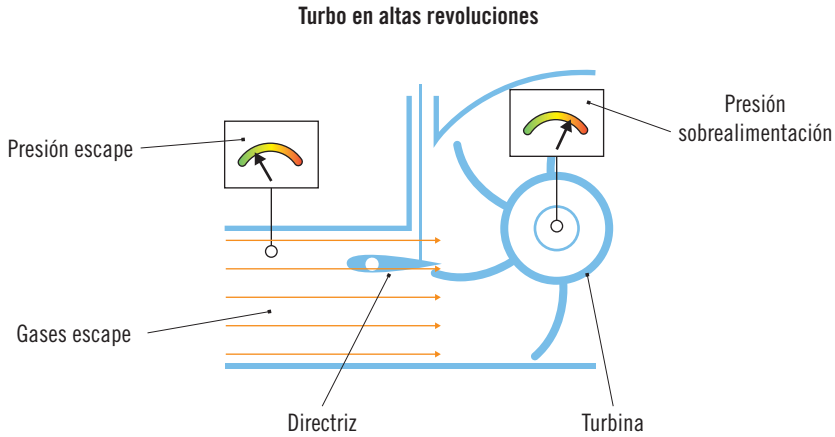
### Nota

El efecto negativo es que existirá una alta contrapresión en el escape.

### ***Régimen alto del motor***

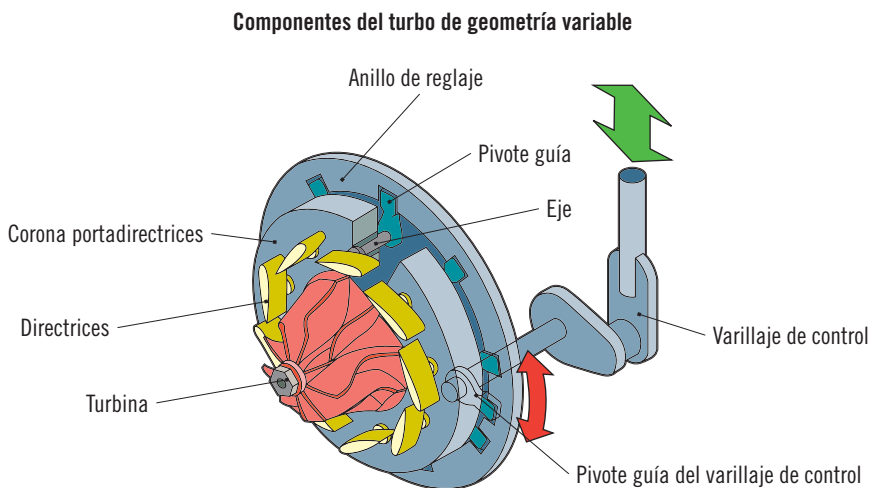
En este caso, las directrices se posicionan de manera que el caudal de escape tenga una gran sección de paso.

Las directrices abren una mayor sección de entrada, para que no sobrepase la presión de sobrealimentación requerida. La contrapresión de los gases de escape desciende.



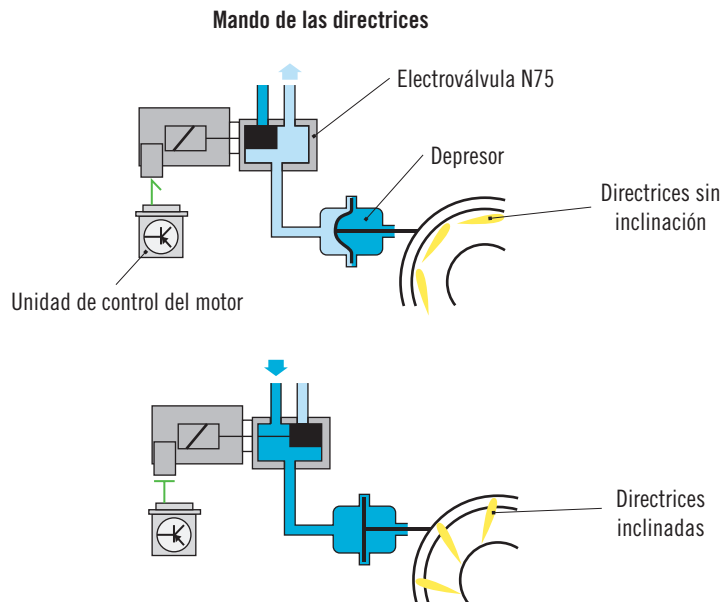
Las directrices están insertadas con sus ejes en una corona portadirectrices. Los ejes de las directrices tienen un perno guía en la parte posterior de la corona, el cual ataca contra un anillo de reglaje. De esa forma, es posible orientar todas las directrices uniforme y simultáneamente por medio del anillo de reglaje.

El anillo de reglaje suele ser accionado por medio del pivote guía del varillaje de control, el cual está impulsado por una cápsula de vacío, regulada por una electroválvula.



El mando de la válvula que controla las directrices de la geometría variable es regulado bien por vacío o por un motor eléctrico, gestionado en ambos casos por la unidad electrónica del sistema de gestión motor.

En la siguiente figura, pueden observarse las dos fases de regulación de las directrices. En los dos casos, la unidad de control del motor envía señales eléctricas al bobinado de la electroválvula, para que, al desplazar el eje de su inducido, varíe también el vacío que le llega al depresor, elemento este que finalmente mueve las directrices de la geometría variable del turbo.



**Nota**

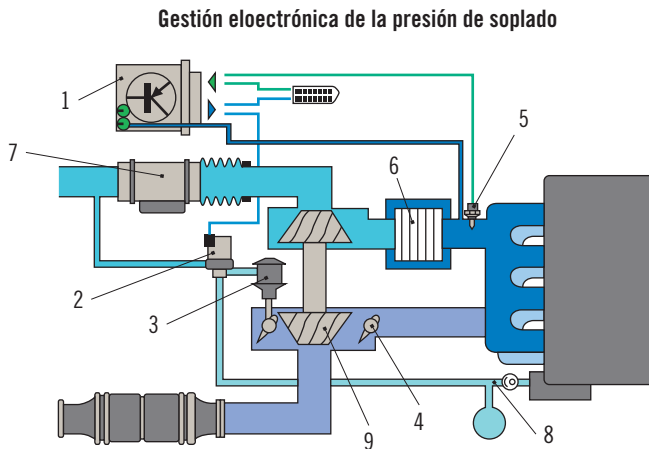


*Control eléctrico del turbo*

En algunos sistemas, se está implantando un motor eléctrico para el accionamiento de las directrices del turbocompresor.

### 3.4. Gestión electrónica de la presión del turbo

En los sistemas actuales, el control de la presión de sobrealimentación se encomienda al sistema electrónico de gestión motor. La unidad de control (1), recibe constantemente información de la presión a la que el aire entra en el colector de admisión por medio del sensor (5) y del caudalímetro (7), ambos situados en el colector de admisión. Por otro lado, el vacío que genera la bomba (8) se aplica a una de las entradas de la electroválvula (2), la cual es comandada por las señales emitidas por la unidad de control (1). El vacío se hace llegar al actuador (3) del turbo, que gobernará, según la posición que ocupe, las directrices (4) de sección de turbocompresor (9).



#### Nota

La unidad de control motor puede posicionar las directrices de la turbina de escape en función de la presión que exista en cada momento en admisión, de forma que la presión de admisión será siempre la adecuada.



## Aplicación práctica

---

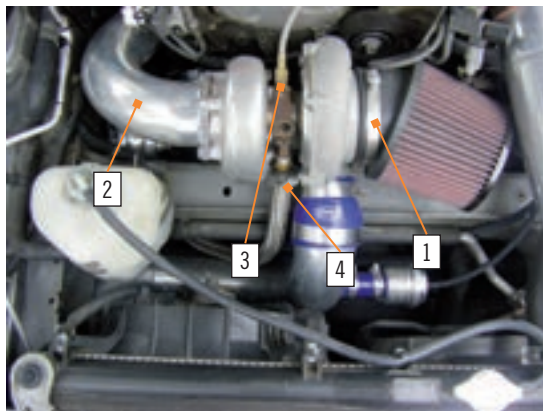
Se diagnostica en el taller que un turbo de geometría variable de un coche se encuentra deteriorado, por lo que se procede a su desmontaje.

### SOLUCIÓN

Se ha de proceder de la siguiente manera:

- Desconectar la batería.
- Desmontar: la cubierta del motor, el conducto de aire de la caja del filtro de aire y la tapa de culata al turbocompresor (1).
- El conducto de aire (2).
- La caja de absorción de resonancia del turbocompresor.

#### Ubicación del turbo



- Desmontar el catalizador.
- Desmontar el racor de alimentación de aceite del turbocompresor (3).
- El racor de sobrante de aceite del turbo (4).
- Quitar las cuatro tuercas de fijación del turbo.
- A continuación, extraer el turbocompresor.

## 4. Principales comprobaciones del sistema y de sus componentes

El turbocompresor es un componente del motor sometido a unas condiciones de funcionamiento muy duras, debido a las altas temperaturas que tiene que soportar en su contacto con los gases de escape y a su alto régimen de giro. A pesar de todo lo expuesto, el turbo es un elemento fiable, superando en muchos casos la vida útil del propio motor, si bien es cierto que se debe cuidar todo lo posible que los intervalos de mantenimiento sean los adecuados, así como que la viscosidad y la calidad del aceite sean las especificadas por el fabricante. También es conveniente controlar, mediante un manómetro, la presión de trabajo del circuito de engrase.

La avería que se produce en el turbo con más frecuencia es la rotura de rodamientos del eje de la turbina, comunicándose el aceite de engrase con la admisión y el escape, pudiéndose quedar el motor sin aceite y griparse. Cuando se produce esta avería, aparte de realizar la reparación, hay que averiguar la causa por la que se produjo la avería.



### Recuerde

---

Para garantizar la vida útil, tanto del motor como del turbocompresor, se deben de seguir las instrucciones de mantenimiento del fabricante.

---

### 4.1. Comprobaciones en compresores de geometría fija

Una prueba que aportará unos resultados inequívocos sobre el funcionamiento del sistema sobrealimentación es comprobar la presión de sobrealimentación, para lo cual se utiliza un manómetro conexasiónado al tubo de soplado del colector de admisión, arrancando el motor y verificando que la presión se encuentra sobre los 0,8 bar (consultar dato técnico en manual de taller). De no encontrarse dentro de los márgenes correspondientes, en los turbos de geome-

tría fija es posible regular la apertura de la válvula waste-gate actuando sobre la bieleta regulable.

**Reglaje de la válvula de descarga**



**Consejo**

También es recomendable comprobar la inexistencia de fugas en el circuito de admisión de aire utilizando los medios tradicionales.

En cuanto a la inspección individual del turbo, se comprobarán las holguras axial y radial en su eje, con la ayuda de un reloj comparador y base magnética, no debiendo superar en ningún caso más de 0,1 mm de juego.



*Verificación de holgura axial*

## 4.2. Comprobaciones en compresores de geometría variable

Se suman a las comprobaciones que se realizan a los turbos (del circuito de vacío y de las electroválvulas de geometría fija), las propias que se derivan de las nuevas tecnologías:

- Verificación del correcto funcionamiento de las directrices propias de la geometría variable, comprobando que los alabes se desplazan con suavidad y el pulmón neumático de mando.
- Comprobación del accionamiento de la geometría variable.
- Verificación de la presión de soplado por parámetros de autodiagnos mediante el equipo adecuado.
- Lectura y borrado de averías relacionadas con la sobrealimentación.

## 4.3. Averías imputables al turbocompresor

Las averías imputables al turbocompresor son:

- Falta de potencia del motor por:
  - Turbocompresor deteriorado.
  - Válvula waste-gate de sobrepresión defectuosa.
  - Rotura en los conductos de admisión con el turbocompresor.
  - Tubo de comunicación de la presión de la presión de alimentación waste-gate de presión de alimentación defectuoso o válvula que no abre.
- Consumo excesivo de aceite por turbocompresor defectuoso.
- Pérdida de aceite por:
  - Turbocompresor deteriorado.
  - Mangueras de unión del turbocompresor con los conductos de aceite rotos.



## Aplicación práctica

---

**Un cliente del taller en el que trabaja se queja de que su vehículo, un Citroën XSARA 2.0 HDI, ocasionalmente y en subidas prolongadas, tiene una pérdida de potencia considerable, acompañada de humo negro en el escape. ¿Qué pruebas realizaría?**

### SOLUCIÓN

Se trata de un vehículo equipado con un turbo de geometría fija, con válvula mecánica de seguridad (waste-gate) y sin intercooler.

Habría que realizar las siguientes pruebas:

- ▮ Realizar una inspección visual de todos los manguitos que guían al aire desde el filtro de aire hasta el colector de admisión, por si existen grietas o algún punto que sea susceptible de posibilitar la fuga de aire.
- ▮ Acoplar un manómetro de aire en el tubo que va desde el colector de admisión hasta la válvula de descarga, cuyos manguitos tengan la suficiente longitud para poder tener el manómetro en el interior del vehículo.
- ▮ Salir a carretera conduciendo el vehículo de manera que se simulen las condiciones de la avería.



*Comprobación de presión de soplado*

- ▮ En todo momento, la presión de soplado del turbo debe mantenerse dentro de los valores establecidos por el fabricante (de 0,6 a 0,8 bar).
- ▮ Lo más probable es que algún manguito tenga una rotura, de ahí el humo negro por la falta de aire.

## 5. Resumen

Los sistemas de sobrealimentación mejoran el rendimiento volumétrico de los motores diésel y, por lo tanto, su potencia específica.

Existen varios sistemas de sobrealimentación, unos basados en compresores volumétricos y otros en centrífugos. El más empleado en automoción es el turbocompresor impulsado por los mismos gases de escape del motor.

Los turbocompresores pueden clasificarse de manera general como de geometría fija o variable y, dependiendo del tipo que sean, tendrán unos sistemas de control de presión u otros.

En los turbocompresores de geometría fija, se dispondrá de una válvula de descarga mecánica para mantener las presiones de admisión en valores tolerables.

Los turbos de geometría variable disponen de una gestión electrónica para comandar las directrices de la turbina y, a su vez, la presión de admisión.

Es destacable la utilización del intercooler para la refrigeración del aire de admisión una vez comprimido.

Es conveniente conocer los métodos de diagnóstico y reparación en los sistemas sobrealimentados, tanto en turbocompresores de geometría fija como variable.



## Ejercicios de repaso y autoevaluación

---

1. ¿Qué es el par motor?

---

---

2. ¿En qué se diferencia un compresor volumétrico de uno centrífugo?

---

---

---

3. ¿Cuál es la avería que se produce con mayor frecuencia en el turbocompresor?

---

---

4. Si un vehículo pierde potencia y suelta gran cantidad de humo negro, ¿cuál puede ser su avería?

---

---

5. ¿Cuál es la misión de la válvula *waste-gate*?

---

---

**6. De las siguientes afirmaciones, diga cuál es verdadera o falsa.**

a. La función del *intercooler* es calentar el aire de admisión.

- Verdadero
- Falso

b. Los turbos de geometría fija disponen de válvula *waste-gate*.

- Verdadero
- Falso

**7. Complete las siguientes oraciones.**

a. En un turbo de geometría variable, cuando el motor gira a altas revoluciones, las \_\_\_\_\_ abren una mayor \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

b. Los elementos principales que forman un turbo son el \_\_\_\_\_, que tiene en sus extremos los \_\_\_\_\_, y el \_\_\_\_\_.

**8. En una gestión electrónica del turbocompresor, ¿qué elemento informa a la UCE de la presión existente en el colector de admisión?**

---

---

**9. ¿Cuáles son las recomendaciones más importantes que se deben tener en cuenta para alargar la vida útil del turbocompresor?**

---

---

---

---

**10. ¿Cómo puede conocer el mecánico si un turbo funciona correctamente?**

---

---

---

---

