

FUNCIONAMIENTO

En los días actuales, cada vez más, se exigen mayores potencias, bajas emisiones de contaminantes y dimensiones reducidas en los motores. Para analizar los motivos que llevan a las montadoras a utilizar motores turbocargados (principalmente diesel), debemos primero considerar la ecuación que determina la potencia que es posible extraer de un motor la combustión interna:

$P = Cil \cdot n \cdot Rv \cdot Da \cdot F/A \cdot Pci \cdot Rg$ siendo que: P = potencia. Cil = cilindrada. N = número de ciclos por minuto. Rv = rendimiento volumétrico. Da = densidad del aire en la entrada de los cilindros. F/A = relación de estequiometría (partes del aire en relación a una parte del combustible, en peso. Ej.: 15g de aire para 1g de combustible). Pci = contenido calorífico inferior del combustible. Rg = rendimiento global del motor.

Por tanto, para aumentar la potencia de un determinado motor, sea a alcohol, gasolina o diesel, tenemos que alterar uno o más parámetros de la fórmula. Algunos de estos parámetros pueden o no, ser mejorados, apenas marginalmente.

Por ejemplo, el Pci es dependiente del combustible utilizado y en el panorama de productos comercializados no está sujeto a mejoras. La relación de estequiometría (F/A) también, sólo puede ser alterada marginalmente; en los motores a ignición por centella (alcohol y gasolina) debe situarse aproximadamente de 9 por 1 en los motores a alcohol y 14,7 por 1 en los motores a gasolina; mezclas ricas (más combustible en relación al aire) pueden, hasta cierto punto (máximo 5%), aumentar la potencia, mientras el aumento del consumo y nivel de contaminantes claramente convierte esta opción impracticable.

En los motores a diesel no es necesario para el funcionamiento un control tan riguroso de la relación de estequiometría, debido a ello, no hay control de la cantidad de aire admitida como en los motores a gasolina en que normalmente es utilizada una "mariposa". De esta forma, motores a diesel funcionan siempre con exceso de aire y, aunque puedan funcionar teóricamente en una relación próxima a 15 por 1, en la práctica, para que puedan permanecer dentro de los límites establecidos por las normas de emisiones, trabajan alrededor de 25 a 30 por 1 (en plena carga). El rendimiento global (Rg), que sería el porcentaje de aprovechamiento de la energía térmica que es introducida en el motor por el combustible, en la etapa actual de desarrollo, ya no deja mucho espacio para mejorar. Los departamentos de ingeniería de las fábricas podrán introducir perfeccionamientos en este campo en los próximos años; pero al no ser que haya descubiertas revolucionarias, serán pequeños pasos.

El rendimiento volumétrico (Rv) indica la capacidad del motor de llenar el cilindro de aire; por ejemplo, un motor de dos litros de cilindrada con rendimiento de 80% llenará en un ciclo el equivalente a 1,6 litro. En los últimos años los fabricantes dieron pasos agigantados en

este sentido con la introducción de cabezas a tres, cuatro o cinco válvulas por cilindro; sistemas de distribución que alteran el encuadre, levante y permanencia de las válvulas en función de la carga y de la rotación del motor y sistemas de admisión y escape están cada vez más sofisticados. Existen, actualmente, motores de vehículos normalmente comercializados con rendimiento volumétrico encima de 100% (motores de competencia encima de 130%). Es probable que aquí también no haya mucho que mejorar.

AUMENTAR LA CILINDRADA

Obviamente el aumento de cilindrada permite mover una mayor cantidad de aire en la unidad del tiempo y por consecuencia, del combustible que puede ser quemado. Debemos considerar también que un motor de mayor cilindrada será mayor y más pesado, por ejemplo:

Mercedes OM 447 H, diesel, aspirado, 12 litros de cilindrada, 214 cv y 785 kg. Mercedes OM 366 LA, diesel, turbo *intercooler*, 6 litro, 211 cv y 445 kg.

La ventaja del motor turbocargado es evidente, sin considerar que el motor aspirado es homologado por las normas EURO 1, mientras el otro por las normas EURO 2, bien más restrictivas. Con el surgimiento de mercados cada vez más restrictivos en términos de emisiones de contaminantes, se puede afirmar que el futuro de los motores diesel será "turbocargado".

El concepto vale para los motores ciclo Otto (alcohol, gasolina, gas) también, aunque las ventajas no sean tan evidentes y los problemas a solucionar sean mayores. A veces, la utilización de un motor turbocargado en un vehículo es válida en determinadas contingencias fiscales; como en el caso de Brasil en que los vehículos de hasta un litro de cilindrada tienen una carga tributaria inferior. En este caso, un vehículo con motor de un litro turbinado tendría un desempeño parecido con otro de cilindrada mayor, con un costo menor. La opción del turbocargador es válida también cuando un fabricante desea equipar un vehículo con un motor más potente y no tiene disponibilidad de un motor mayor; es sin dudas más fácil y barato desarrollar una versión turbo de un motor que ya produce, que proyectar un motor nuevo.

AUMENTAR LA ROTACIÓN

Aumentar la rotación también lleva a un movimiento mayor del aire, consecuentemente, a una mayor potencia, sin embargo tiene límites insuperables de resistencia mecánica, determinados por la velocidad media de los pistones y que, en los motores actuales, se ubica entre 12 m/seg en los motores diesel y 18 m/seg en los motores ciclo Otto (motores de

competencia alcanzan hasta 24 m/seg). Otra desventaja es el aumento de las pérdidas mecánicas y neumáticas que se reflejan en la disminución del rendimiento global y, por lo tanto, un empeoramiento del consumo específico.

AUMENTAR LA DENSIDAD DEL AIRE

Esta es la función de la sobrealimentación que tiene como finalidad la introducción en los cilindros de una carga con densidad superior a aquella que tendría condiciones de presión y temperatura ambiente. A una mayor densidad corresponde un aumento de la cantidad de combustible (que puede ser quemado) y, por consecuencia, de la potencia disponible. La principal razón de la supercarga es la mejoría del desempeño de motor aumentando la potencia específica (relación entre potencia y cilindrada) y reduciendo la relación peso/potencia (como ya vimos en el ejemplo de los dos motores Mercedes). Esta supercarga es obtenida mediante un compresor.

Los principales parámetros que caracterizan un compresor son: la razón de compresión, el flujo de aire (en peso) y el rendimiento. La razón de compresión es definida con la relación entre presión de salida del compresor y la presión de entrada (normalmente la presión atmosférica). Desafortunadamente, este aumento de presión corresponde, por una ley de la Física, a una elevación de la temperatura de salida del aire (flujo de aire). Elevación que se vuelve mayor todavía debido a los cambios y disipaciones internas del calor. Esta relación entre el aumento de temperatura teórico (por una determinada presión) y el aumento de temperatura real es llamado de rendimiento del compresor. Mientras mayor sea el rendimiento, mejor será la eficiencia del compresor y, por lo tanto, menor el aumento de la temperatura en la salida.

Para garantizar la durabilidad del motor y mantener las solicitaciones de los componentes mecánicos entre valores seguros, se limita el valor de la presión máxima de combustión. En los motores ciclo Otto se alcanza ese resultado limitando el valor de la relación de compresión; en los motores a diesel se aumenta más fácilmente el exceso de aire (aumento de la relación F/A). Recordamos que mientras mayor sea el exceso de aire, mejor es la combustión reduciendo el humo y las emisiones. La supercarga también permite una pequeña mejoría del rendimiento volumétrico (Rv) y del rendimiento global (Rg). Por este motivo, el consumo específico en un motor supercargado es menor que en un motor atmosférico de igual potencia.

TIPOS DE COMPRESORES

Los sistemas que pueden ser utilizados para la supercarga son esencialmente dos:

En el primer caso, el compresor es accionado por el eje del motor sustrayendo de este la energía necesaria al funcionamiento. En el segundo caso, el compresor es accionado por una turbina que utiliza los desechos de energía del gas de escape que, de esta forma, es parcialmente recuperada.

COMPRESORES A COMANDO MECÁNICO

Actualmente este tipo de compresor es muy poco utilizado principalmente por el hecho de que el turbocargador es superior en casi todos los tópicos de utilización. Este tipo de compresor es accionado por el eje del motor sustrayendo de este la energía necesaria al funcionamiento. Un ejemplo es el caso de *blower* – un tipo de compresor que, accionado por el cigüeñal a través de cinturones (trapezoidales o dentadas) o aún por engranajes, envía una cantidad adicional de mezcla aire/combustible para dentro de los cilindros, aumentando el torque y la potencia de cualquier motor de combustión interna, ya sea él, movido a gasolina, alcohol, gas o aceite diesel. Puede ser considerado un tipo de bomba volumétrica y es compuesto por dos rotores de perfil conjugados rectilíneos o helicoidales, que giran dentro de una caja cerrada en movimientos sincronizados, a través de un par de engranajes. Realiza el bombeo de un volumen constante, de forma tal que la compresión del aire ocurra por la acumulación en el interior del colector de admisión. Él es normalmente instalado después del carburador (o sea, comprime mezcla aire/combustible), por la dificultad de obtenerse una carburación adecuada en virtud de la variación de la densidad del aire. El sistema es utilizado con más frecuencia por los norteamericanos, en los motores con disposición en “V”, principalmente en los potentes modelos de arrancadas. En Brasil, llegó a ser utilizado en los motores GM Detroit Diesel, hoy obsoletos.

De manera general, los proyectos modernos adoptan el turbocargador en vez del *blower* en la supercarga por su rendimiento superior y menor consumo de potencia, una vez que este último no depende de accionamiento del cigüeñal.

TURBOCARGADOR

Es casi el sistema universalmente utilizado en motores de todos los tamaños. Permite grandes flujos de aire con bajo peso y volumen. Los gases provenientes del colector de escape entran en un turbocargador que así recibe la energía necesaria para accionar un

compresor centrífugo, montado en el mismo eje que comprime el aire que será enviado a los cilindros. Los rotores del compresor y de la turbina son envueltos por carcasa denominadas “carcasa del compresor” y “carcasa de la turbina”, cuya función es dirigir el flujo de gases a través de las palas de los rotores.

La carcasa central soporta el eje a través de bujes flotantes. Galerías en la carcasa central llevan el lubricante (derivados del sistema de lubricación del motor) a los bujes radiales y axial. Estos canales están alineados con los agujeros de los bujes, permitiendo que el lubricante alcance al eje, promoviendo su enfriamiento y lubricación.

El drenaje del aceite de la carcasa central es hecho por gravedad. Juntas son instaladas en cada lado del eje, entre el buje radial y el rotor adyacente para impedir la entrada de lubricante en el compresor y en la turbina y también la entrada de gases para el interior de la carcasa central. La junta de aceite para las carcasas del compresor y de la turbina es efectuada aprovechándose la rotación del eje. Se trata, por tanto, de un proceso dinámico de sello. En el lado de la turbina, el elemento responsable por el sello es el canal de aceite; su función es tirar el lubricante contra las paredes de la carcasa central por centrifugación.

En el lado del compresor, la misma función es ejecutada por el collar. El cierre de gases y de los desechos de aceite no eliminados por la centrifugación, en ambas extremidades del eje, es realizado por anillos denominados anillos de pistón (*pistón ring*). En algunos casos, principalmente cuando está presente una “mariposa” antes de la carcasa del compresor (motores con carburador antes del compresor), el cierre del eje del lado del compresor es efectuado por medio de un sello mecánico. Este sistema de cierre, aunque aumente la fricción del eje cuando gira, es más eficaz contra posibles fugas de aceite ocasionados por el vacío creado por la “mariposa”.

Cuando el aire es aspirado por el rotor del compresor, por la elevada rotación de este, es centrifugado y adquiere energía cinética por causa de la velocidad que puede llegar a 350 m/seg. Del rotor el aire entra en el difusor, donde la energía cinética es transformada en energía de presión.

Del lado de la turbina, los gases desde el motor pueden alcanzar temperaturas de 750°C en los motores diesel y 950°C en los motores ciclo Otto. El rotor y la carcasa de la turbina, para que resistan a la temperatura, deben ser fabricados con aleaciones basadas en níquel (Inconel para el rotor); en los motores a diesel, donde las temperaturas en algunos casos pueden ser más bajas, la carcasa puede ser de hierro fundido y el rotor en acero refractario (GMR).

El turbocargador gira normalmente a una rotación máxima de 80.000 hasta 120.000 *rpm*, aunque en algunas aplicaciones para motores de pequeña cilindrada (motores de moto de 600 hasta 750 cm³), el turbocargador utilizado puede llegar a 180.000 *rpm*. Por las altas temperaturas y rotaciones alcanzadas, el turbocargador – aunque pueda ser considerado

mecánicamente sencillo – es un componente de difícil fabricación por los cuidados que exige en nivel de proyecto y manufactura.

En los últimos años viene aumentando en los motores turbocargados la práctica de colocarse un resfriador entre la salida del compresor y la entrada en el motor, conocido como *intercooler*. La función de él es disminuir la temperatura del aire admitido por el motor, recuperando en parte la pérdida de densidad causada por el aumento de la temperatura del aire en la salida del compresor. Este aumento de densidad permite quemar una mayor cantidad de combustible generando más potencia.

ACOPLAMIENTO MOTOR/TURBOCARGADOR

Cuando se efectúa la elección del turbocargador debemos hacerlo de manera que este opere en condiciones ideales de rendimiento para la aplicación deseada. En caso contrario tendremos – para un cierto grado de sobrealimentación – una temperatura del aire más elevada en la salida del compresor y una excesiva contrapresión en el escape.

Las dimensiones del turbocargador son determinadas por el flujo de aire exigido, por el grado de sobrecarga (presión) y por la rotación del motor en el que deseamos que el turbocargador empiece a actuar (hasta cierto punto). Saber escoger el turbocargador para una determinada aplicación no es una tarea fácil; en verdad, turbocargadores y motores funcionan, aceleran y desaceleran según las diferentes leyes. Un motor funciona (en términos de flujo de aire) según las leyes de progreso lineal; un turbocargador, de acuerdo con las leyes de progresión geométrica.

Ello explica porque si escogemos el turbocargador para alcanzar una determinada presión en baja rotación del motor, él tendrá una presión demasiado elevada al final del giro; y viceversa, si escogemos el turbocargador para alcanzar la presión cierta al final del giro del motor, tendremos presión baja y un motor débil de baja rotación.

Otro punto delicado es debido al hecho que los compresores centrífugos, contrario a los volumétricos, sólo pueden trabajar entre un valor mínimo y uno máximo de flujo de aire; abajo del valor mínimo entran en régimen de “surge” con funcionamiento inestable y, permaneciendo en esta condición, pueden llegar a la destrucción. Encima del flujo máximo, el compresor pierde rápidamente la eficiencia y puede alcanzar niveles de rotación peligrosos por la integridad del turbocargador. Es conocido como *overspeed*.

Una ayuda fundamental para el acoplamiento ideal entre motor y turbocargador es dada por la válvula *waste-gate* (válvula de alivio) que permite, al llegar a la presión de la sobregarga deseada, desviar el exceso de presión del colector de escape sin pasar por el turbocargador, permitiendo el control de la presión de alimentación. Sin dudas, sin la ayuda de la válvula *waste-gate*, el problema de realizar un motor turbocargado adecuado para el uso

vehicular sería prácticamente insoluble. Aquí se trata de motores ciclo Otto, pues para los motores a diesel el problema es un poco diferente, visto que ellos disponen de más un grado de libertad, representado por la amplia posibilidad de variar la relación aire/combustible. Sin embargo, actualmente motores a diesel rápidos (que llegan a alcanzar más de 4.000 rpm) utilizan alguno dispositivo de control de presión.

MOTORES TURBOCARGADOS

Cuando un fabricante coloca un turbocargador en un motor, normalmente ese motor pasa por una restructuración. El enfoque del problema es sin dudas diferente, tratándose de motores a diesel o de motores ciclo Otto. En los motores a diesel, la parte de carga recibe otra bomba de inyección con un dispositivo incorporado para corregir el débito en función de la presión de alimentación (LDA). Los pistones y el eje comando de válvulas generalmente son específicos para la versión supercargada (generalmente la relación de compresión es ligeramente reducida) y, muchas veces, es incorporado en el bloque un dispositivo de pulverización de aceite en la parte inferior de los pistones para el enfriamiento de estos. Con estas alteraciones normalmente la mejoría con relación al motor atmosférico, se ubica alrededor de:

Potencia hasta 50-60% (hasta 100% para determinadas aplicaciones); Torque hasta 60-70% (hasta 120% para determinadas aplicaciones); Consumo de 5 hasta 15% menor.

Considerando la mejoría en nivel de emisiones de contaminantes y partículas, queda clara la tendencia al desaparimiento de los motores atmosféricos. Es posible "turbocargar" un motor apenas externamente (sin cambios de componentes internos), como en el caso de los *kits* para turbinar motores. Realizado con cuidado, es una práctica técnica y económicamente válida para beneficiarse de las ventajas del turbocargador en motores atmosféricos. Obviamente, la mejoría en términos de potencias será un poco menor (20-30%), a pesar de eso la ventaja en relación al motor atmosférico permanece elevada y permite, por el costo operacional inferior (debido a la reducción de consumo), un rápido retorno de inversión. Los motores ciclo Otto también sufren un cambio de componentes, en una versión turbocargada, para adecuar el motor al nivel de sollicitación exigido, mientras tanto por el hecho de las ventajas en relación al motor aspirado sean de menor entidad (comparado al diesel) y eventualmente por el mayor costo y complejidad mecánica, la difusión de motores ciclo Otto turbocargados es pequeña. En la práctica, se limitan a las aplicaciones en que exista una ventaja a nivel fiscal o cuando el objetivo es apenas el desempeño.

Para motores ciclo Otto también existen *kits* de turbinar a pesar de la complejidad y, por consecuencia del costo más elevado en este caso. El problema es que, como explicado anteriormente, es prácticamente obligatorio en un motor ciclo Otto adecuar la relación de

compresión y el suministro de combustible al grado de supercarga. Si no se hace, el motor no durará mucho (casi nada). Eso nos lleva, en un universo de motores a inyección electrónica, al “remapeo” de las curvas características del motor acompañado muchas veces del cambio de los inyectores (o inyector), o a la utilización de un dispositivo electrónico suplementar para “gestionar” el funcionamiento en régimen de supercarga. Sin contar con la necesidad de abrir el motor para la reducción de la relación de compresión. Se trata, realmente, de alteraciones delicadas, que exigen conocimiento, responsabilidad y equipamiento por parte de quien las efectúa. Para motores ciclo Otto es indispensable el uso de la válvula *waste-gate* que puede ser acoplada al colector de escape o incorporada al propio turbocargador, como en la mayoría de las aplicaciones de fábrica. Es digno de mención que para motores ciclo Otto la práctica correcta es el uso de un turbocargador específicamente fabricado para este tipo de aplicación.

COMPRESOR

Normalmente, el compresor de un turbocargador tiene tres partes: rueda compresora, difusor y la voluta. La rueda del compresor, normalmente, gira en altas rotaciones, que varían en 60.000 y 180.000 *rpm*. Él acelera el aire haciéndolo pasar a través de sus aspas por fuerza centrífuga. El difusor tiene la función de bajar la turbulencia y la velocidad del aire generada por el giro del rotor aumentando su presión; las medidas y el formato del difusor dependen del tipo de aplicación y características del motor. Existen carcasas con aberturas en el difusor que tienen la finalidad de dirigir mejor el flujo de aire desde el rotor. Este tipo de carcasa suele tener una mejor eficiencia, aunque el intervalo útil del flujo de aire sea más restricto y, por lo tanto, sea más adecuado a los turbocargadores que trabajan en motores con poca variación de carga y rotación. Finalmente, la voluta recopila y dirige el aire para el motor, *intercooler*, o en algunos casos para otro compresor. Hace ya, algún tiempo se están difundiendo carcasas con boquilla de entrada doble, llamadas de ‘MWE’ del inglés *map width enhancer*, cuya función es ampliar el intervalo útil del flujo de aire del compresor, a cambio de una pequeña pérdida de eficiencia. La presión puede variar de 0.6 bar hasta 2.0 bar, en aplicaciones comerciales. Los compresores también pueden tener varias áreas de la voluta, bien como conexión, tanto en la admisión de los mismos, como en el lado de la presión, dependiendo de las exigencias de los fabricantes de los motores. La variación del área y del tamaño de los compresores atiende a la teoría de que mayor área es igual a mayor volumen, y menor presión y menor área es igual a menor volumen y mayor presión. Normalmente, las carcasas compresoras son fijadas a los conjuntos centrales, a través de los anillos de *Seeger*, cinta “V”, o tornillos con trabas.

TURBINA

Es compuesta por una carcasa, que puede tener una o dos volutas; y un rotor, que transforma la energía del flujo de los gases en rotación del eje. La turbina de un turbocargador normalmente obedece al mismo principio de otras turbinas de flujo radial, quiere decir, dirige el flujo a través de una boquilla, provocando que este flujo entre en el mejor ángulo posible en contacto con las palas del rotor de la turbina, promoviendo la mejor utilización de la presión, temperatura y velocidad de los gases para hacer girar el motor, creando el mayor número de rotaciones posibles, bien como la menor restricción posible de los gases que vienen del motor.

TIPOS DE CARCASA DE TURBINA

La carcasa de la turbina puede ser fabricada en diferentes versiones, esto quiere decir, flujo constante con válvula, flujo dividido o pulsátil y dividido con válvula. También puede ser fabricada en diferentes versiones para un mismo modelo de turbocargadores, o sea, con varias áreas de conducto de gases, que cambian la velocidad con que el eje gira, como también la restricción generada por los gases de escape. Para cada aplicación puede ser determinada el área y el modelo del turbocargador, incluso en un mismo motor, dependiendo de la aplicación de este, puede ser modificada el área, para atender aquella aplicación específica, régimen de potencia, rotaciones, uso continuo vehicular etc. Existen dos formas básicas de medirse el área de un turbocargador: una que es determinada por el A/R, quiere decir, el área sobre el rayo y la otra que es solamente el tamaño del área, que es medida en la altura del inicio de la voluta y dependiendo del fabricante puede ser medido en cm^2 , pol^2 , o pes^2 . En cualquier caso, independiente del criterio de medición de la carcasa, el concepto es el mismo: A/R o área menor es igual a más energía disponible por la turbina y, por lo tanto, más presión; viceversa en el caso de A/R o área mayor. No debemos olvidar, sin embargo, que la paridad de todos los otros parámetros que caracterizan una turbina, proporcionar más energía equivale a aumentar la contrapresión en el colector de escape con todos los inconvenientes relacionados. Otra forma de obtener más giro de un turbocargador, está en la disminución de la medida de "exducer" (diámetro del rotor de la turbina), bien como la altura del "trim" en el rotor de la turbina, lo que provoca una menor salida de gases por giro del eje. Como el volumen de gases se mantiene, el giro tiende a aumentar. Todas estas medidas también tienden a hacer que haya mayor restricción de los gases de escape, que también tienen que ser llevados en consideración a cada aplicación.

CARCASA DEL FLUJO CONSTANTE (MONO FLUJO)

Es una carcasa que tiene una única entrada de gases. Conceptualmente esta carcasa debería trabajar con los ductos del colector de escape uniéndose en un volumen con área suficiente para eliminar virtualmente la influencia de pulsaciones de los gases. En estas condiciones la turbina trabaja con rendimiento superior en relación a una turbina pulsátil, por otro lado no hay buena respuesta en las variaciones de carga y de rotación del motor, razón por la cual es más indicada en motores de tipo generador o marítimos. La definición de “flujo constante” para turbinas con entrada única y “pulsátil” para turbinas con entrada dividida está constituyéndose una generalización que no siempre es racional. Como explicado anteriormente, la turbina para ser considerada flujo constante, además de la entrada única, debe ser acoplada a un recolector que reduzca al máximo posible los picos de presión en la entrada de la turbina y esto puede ser obtenido o aumentado el volumen en el recolector o teniendo una cantidad mayor de cilindros convergiendo en la boca de la turbina (ej.: utilizando un turbocargador en vez de dos en un motor de 6 cilindros) o ambos procedimientos. En un motor de seis cilindros, dos turbocargadores con carcasa de entrada única (flujo constante) son tan pulsátiles como un turbocargador con carcasa dividida (pulsátil). Podemos concluir que lo que define la separación entre el flujo constante y el flujo pulsátil es mucho más una cuestión de tipo de motor y proyecto de colector que propiamente una caracterización determinada sencillamente por la carcasa de la turbina; al igual que entre los dos tipos de sistemas (pulsátil y constante) podemos encuadrar configuraciones que mezclan las características de ambos. Por lo tanto, para evitar controversias, vamos a dividir las carcasas como mono flujo o doble flujo con o sin válvula de alivio.

CARCASA MONO FLUJO CON VÁLVULA DE ALIVIO

Funciona como la anterior, sin embargo tiene el área más restringida (apretada), lo que provoca buena presión hacia abajo *rpm* . Existe en esta una válvula para prevenir el exceso de presión en alta rotación, que funciona aliviando el flujo de los gases de escape, enviándolo directamente para el escape, sin pasar por el rotor de la turbina. Esta es una solución muy utilizada en turbocargadores para motores de alta rotación (ciclo Otto o Diesel), donde el objetivo principal es la reducción del llamado *turbo lag* (retraso en la respuesta) del turbocargador en bajas rotaciones.

CARCASA DOBLE FLUJO

Normalmente utilizada en motores Diesel con cilindrada superior a 4 litros, con recolector proyectado para el uso eficaz de los pulsos. Funciona utilizando, además de la presión de los gases de escape, también sus pulsos, evitando interferencias entre los cilindros, obteniendo así una buena respuesta a las diferentes condiciones de carga y de rotación del motor. Es muy utilizada en motores vehiculares.

CARCASA DOBLE FLUJO CON VÁLVULA DE ALIVIO

Es utilizada en aplicaciones vehiculares como la versión sin válvula. La válvula permite que sean utilizadas áreas de turbinas más cerradas con mejores respuestas en bajas rotaciones, sin correr riesgos de presiones demasiado elevadas en altas rotaciones.

VÁLVULA DE ALIVIO O WASTE GATE

Como fue explicado anteriormente, la válvula de alivio es una necesidad para determinadas aplicaciones. Sin ella, la utilización del turbocargador en motores rápidos (principalmente ciclo Otto) sería impracticable. Si por un lado es fuente de disipación de energía, ya que se desvían parte de los gases sin que sean aprovechados, por otro lado esto ocurre cuando ya alcanzamos la presión prevista y el desvío de los gases representa apenas una pérdida en términos de eficiencia de la turbina. Obviamente si fuese posible, por arte de magia, cambiar el área de la turbina al alcanzar la presión deseada, se evitaría esa pequeña pérdida; sin embargo, ejecutándose la geometría variable, la válvula de alivio continúa siendo el mayor control de presión más eficiente y con mejor relación costo-beneficio.

TGV (TURBOCARGADOR CON GEOMETRÍA VARIABLE)

Para explicar el funcionamiento del TGV (*VNT – VARIABLE NOZZLE TURBINE*, como es mundialmente conocido), primero es necesario rever algunas alteraciones en los turbocargadores durante estos últimos años: En los turbocargadores convencionales, o sea, aquellos en que no hay ninguna salida extra de gases de combustión (*Bypass*), es el tamaño de la carcasa, lo que determina la presión máxima obtenida por el equipamiento. Con la necesidad de aplicación de turbocargadores en vehículos menores, como las camionetas y los vehículos de paseo, el tamaño de la carcasa de la turbina también tuvo que sufrir alteraciones. Pero el problema era ¿cómo disminuir el espacio interno de las carcasas sin

tener exceso de presión en altas rotaciones? La solución surgió con las turbinas equipadas con válvulas de alivio, que después que alcanzan el máximo de presión especificado por la montadora del vehículo, dejan escapar parte de los gases evitando un aumento descontrolado de la presión. Con esa innovación, el índice de emisión de contaminantes también fue disminuyendo, haciendo que el vehículo atendiese fácilmente las determinaciones de la norma Euro II. Incluso con el cambio, lo que todavía determina la presión obtenida por la turbina es el volumen de la carcasa y, en el caso de una geometría fija, el equipamiento responde insatisfactoriamente en algún momento o situación. El TGV surgió para remediar exactamente la insatisfacción con la falta de adecuación de la fuerza empleada a los motores por los turbocargadores, demasiado en algunos momentos, e insuficientes en otros. Eso porque, dentro de la carcasa además de los rotores, existen también palas móviles, que abren y cierran haciendo del espacio por donde el gas circula mayor o menor, dependiendo de la necesidad de la fuerza exigida por el motor. Así, es como si el vehículo contase con varias turbinas. Esta es una turbina adecuada para todas las bandas de rotación del motor. Sus palas se mueven creando ángulos que dirigen o desvían los gases del rotor, aumentando o disminuyendo la presión de acuerdo con las necesidades. En bajas rotaciones, las palas están más dirigidas para el rotor, que es cuando el motor necesita de más fuerza. Ya en altas rotaciones las palas se abren, desviando los gases del rotor. El movimiento de las palas es comandado por un actuador que es accionado por presión, vacío o motor eléctrico del propio turbocargador.

La versatilidad es la mejor ventaja de este nuevo turbocargador, que responde de acuerdo con la variación de las rotaciones, proporcionando una respuesta rápida en bajas rotaciones y eficiencia en altos giros. Además, el tamaño de la turbina puede ser seleccionado sin comprometer su desempeño en altas rotaciones. Otras ventajas proporcionadas por el TGV son curva de torque más plana, potencias más altas, mejores índices de emisiones de gases, y la posibilidad de monitoreo electrónico (así como también en los sistemas con *waste-gate*). La desventaja del TGV es, sin dudas, la mayor complejidad que se refleja en costos más elevados y confiabilidad menor, que puede ser comprobada por la ausencia de TGV para aplicativos en motores ciclo Otto que serían los más beneficiados por esta tecnología.

INTERCOOLERS/AFTERCOOLERS O TURBOCOOLERS

Como ya fue explicado en el capítulo que se refiere al rendimiento del compresor, está claro que el aumento de temperatura del aire está directamente relacionado al aumento de presión ocasionado por el compresor del turbocargador. Podemos decir que los *coolers*, en general, son proyectados y fabricados para corregir este indeseado aumento de temperatura. Indeseado porque, como ya fue visto, disminuye la densidad del aire y, por consecuencia, la cantidad del combustible y también porque aproximadamente a cada 10°C de aumento de temperatura del aire que entra en el motor tendremos un aumento de cerca de 30°C en

la cámara de combustión, sobrecargando varios componentes del motor como: pistones, válvulas, junta de la cabeza, la cabeza y el propio turbocargador. Por lo tanto, la función del *intercooler* es servir como un enfriador para el aire que va a ser admitido: su eficiencia se ubica entre 50% y 70% que representa para un motor con presión de turbocargador de 1bar bajar la temperatura del aire de 130°C para aproximadamente de 60°C a 80°C. Debido a este hecho es que existe hoy una grande aplicación de *intercoolers* en el mercado, que además de devolver la eficiencia al turbocargador debido a la baja temperatura del aire y a la recuperación del volumen del oxígeno inyectado en la cámara dando mayor durabilidad al motor y/o permitiendo un incremento de la mezcla en la cámara, por consecuencia, mayor rendimiento.