



Comunicación de prensa Audi

Dirección Comunicación y RR.EE. Audi

Tel: +34 91 348 86 20 / 11

E-mail: gonzalm2@vw-audi.es

E-mail: reyes.luque@vw-audi.es

<http://prensa.audi.es>

Julio de 2014

Audi TDI – Jornadas Técnicas 2014

La tecnología TDI cumple 25 años	2
Desarrollo TDI	4
El nuevo 1.4 TDI	6
El nuevo 2.0 TDI de montaje longitudinal	7
El nuevo 3.0 TDI	8
El Audi A7 Sportback 3.0 TDI competition	11
El 4.2 TDI	12
Los modelos Audi ultra	13
Motores de competición	14
Biturbo eléctrico e hibridación	16
Audi e-diesel	18
Los <i>showcars</i> de Audi con motores TDI	20
Hitos tecnológicos	21
Glosario TDI	24



La tecnología TDI cumple 25 años

Audi celebra en 2014 un aniversario muy especial: los 25 años de la tecnología TDI. En otoño de 1989 la empresa presentó en el Salón del Automóvil de Fráncfort el Audi 100 equipado con un 2.5 TDI, un motor turbodiésel con inyección directa y regulación completamente electrónica. Desde entonces, la marca de los cuatro aros ha ido ampliando sin cesar su ventaja en este ámbito tecnológico, estableciendo nuevos hitos a lo largo del camino.

“25 años de tecnología TDI implican un cuarto de siglo de avance y de eficiencia, de dinamismo y de potencia”, comenta Ulrich Hackenberg, responsable de Desarrollo Técnico de AUDI AG. “Nos gusta volver la vista atrás y recordar aquellos tiempos con mucho orgullo. No en vano, el TDI es hoy en día la tecnología de eficiencia con mayor éxito del mundo, y Audi fue el primer fabricante de automóviles que la lanzó al mercado. Contribuyó además de manera decisiva al ascenso de nuestra marca hasta el segmento Premium”.

Desde 1989, la tecnología TDI ha ayudado a que el motor diésel se convierta en un éxito rotundo. Su desarrollo se ha ido produciendo en varios pasos, con la sobrealimentación, la inyección y la depuración de los gases de escape como los ejes principales del mismo. A lo largo de estos 25 años, el TDI ha ganado más del 100% de potencia y de par motor, mientras que en el mismo periodo de tiempo las emisiones de gases contaminantes se han reducido en un 98%.

Hasta el día de hoy Audi ha fabricado unos 7,5 millones de automóviles con motores TDI, y sólo en 2013 la cifra ascendió a casi 600.000 unidades. Todos ellos han contribuido en gran medida a que la marca de los cuatro aros haya podido reducir en los últimos años las emisiones medias de CO₂ de su flota de vehículos nuevos para la UE en un 3% al año. De los 156 modelos TDI que se incluyen en la actualidad en la gama de Audi, más de 58 presentan unas emisiones de CO₂ de entre 85 y 120 gramos. El Audi A3 ultra con su TDI de 1,6 litros ofrece un consumo medio de sólo 3,2 litros de combustible a los 100 km. El término “ultra” es aquí sinónimo de sostenibilidad en todos los ámbitos; en la actualidad Audi está ampliando su oferta de modelos ultra de gran eficiencia a pasos agigantados.

Todos los motores TDI que Audi ofrece hoy en día son altamente eficientes, limpios, refinados, confortables y potentes. Con excepción del Audi R8, se pueden encontrar en todas las series de modelos, con cilindradas que van desde 1,6 hasta 4,2 litros y potencias entre los 90 CV (66 KW) del 1.6 TDI a los 385 CV (283 KW) del 4.2 TDI. Las estadísticas de ventas presentan al 2.0 TDI como el líder indiscutible. De él se han comercializado hasta el momento casi 3 millones de unidades, 370.000 de ellas sólo durante el año pasado.

La tecnología TDI de Audi tiene una historia extraordinariamente exitosa y un gran futuro. El 3.0 TDI clean diesel, de emisiones minimizadas y completamente rediseñado, marca una nueva pauta; en los modelos compactos se incorporará pronto un nuevo 1.4 TDI clean



diesel con tres cilindros. Los motores V6 TDI, por su parte, equiparán a corto plazo un compresor eléctrico adicional para conseguir un despliegue espontáneo de la potencia incluso con regímenes bajos, lo que convertirá la conducción en una experiencia aún más deportiva.

Con el biturbo eléctrico Audi se lanza ahora también a la electrificación del TDI. Los nuevos componentes de hibridación llegarán pronto al mercado, y en el futuro se ofrecerá una solución a medida para cada cliente y cada necesidad, incluso un TDI con tecnología híbrida enchufable. En lo que respecta al combustible, la marca apuesta por el Audi e-diesel, que además de producirse de manera sostenible permite circular con emisiones neutras de CO₂. En colaboración con la empresa de biotecnología Joule, Audi trabaja para la producción de combustible sintético utilizando microorganismos especiales.

Audi tiene la intención de reducir el consumo de sus modelos hasta una media de 95 gramos de CO₂ por kilómetro para el año 2020. Por ello, los ingenieros no sólo trabajan en la hibridación, sino también en los clásicos ámbitos técnicos. Entre ellos se cuentan, por ejemplo, la reducción de la fricción, la gestión térmica y el comportamiento de combustión, con la inyección y sobrealimentación. Audi opta por el rightsizing en lugar del downsizing, es decir, el tamaño de motor correcto para el correspondiente tamaño del vehículo. Así pues, los motores TDI con seis y ocho cilindros han demostrado ser en la práctica sumamente eficientes, ya que presentan una extraordinaria estabilidad de funcionamiento con regímenes extremadamente bajos.

AUDI AG también está expandiendo sus TDI a mercados como Asia y América del Norte. En 2008 la compañía se convirtió en el primer fabricante Premium en entrar en el mercado chino con esta tecnología, mientras que la iniciativa diésel puesta en marcha en 2009 ha transformado la imagen que tenía esta tecnología en el mercado americano, y las ventas han superado claramente todas las expectativas. Sólo en 2013, las ventas de modelos Audi TDI clean diesel en Norteamérica aumentaron un 40 por ciento, y Audi América cuenta hoy con la gama de versiones diésel más amplia en el segmento Premium, a la que en breve se añadirán los Audi A3 Sedan y A3 Sportback TDI.

Con su eficiencia, capacidad de respuesta desde bajo régimen y economía de consumo, los TDI son vehículos muy adecuados para clientes particulares o empresas que realizan muchos kilómetros al año. Esta tecnología es muy popular en los principales mercados europeos, con Alemania, el Reino Unido e Italia como los mayores mercados globales. Cerca del 90% de los clientes de Audi en el mercado español adquirieron un diésel en 2013. A nivel mundial, casi el 40 por ciento de todos los Audi fabricados el pasado año equipaban esta tecnología: de las líneas de montaje salieron en 2013 alrededor de 593.000 vehículos Audi con motores TDI.

El deporte del motor forma parte del ADN de Audi. El circuito es el laboratorio de ensayos más exigente para los nuevos desarrollos que se han de trasladar a la producción en serie. El motor TDI debutó en las 24 horas de Le Mans en el año 2006; desde entonces, la marca



de los cuatro aros ha participado nueve veces en esta competición y se ha alzado con ocho victorias generales. En la pista se aplican los mismos requisitos que en la fabricación en serie; el objetivo consiste en exprimir al máximo cada gota de combustible. Los éxitos en el deporte del motor corroboran de forma impresionante el potencial de la tecnología TDI de Audi. La última vez con una doble victoria en Le Mans, en la carrera de larga distancia más importante.

Desarrollo TDI

Turbosobrealimentación, inyección y depuración de los gases de escape son los tres ejes principales en el desarrollo de los motores TDI. Los ingenieros trabajan de forma continuada para reducir aún más el consumo, incrementar la potencia y el par motor y mejorar el refinamiento de marcha.

Otras especificaciones se derivan de la legislación y la economía, como las normas de gases de escape o los requisitos de calidad y composición del combustible diésel en los mercados de todo el mundo. En Europa ocupan un primer plano las mezclas con biodiésel y los futuros ciclos de ensayo RDE (Real Driving Emissions). Para la norma ULEV-II en algunos estados de los EE. UU., el nuevo 3.0 TDI equipa ya un sistema de recirculación de los gases de escape refrigerado en dos fases. Cuando China, un país en el que la calidad del combustible aún varía mucho, se convierta en un mercado diésel, los criterios “altura” y “aire fino” cobrarán un significado especial.

Sobrealimentación con Turbo

Las cifras que permiten describir a los actuales turbocompresores de Audi son impresionantes. El turbocompresor del nuevo 3.0 TDI genera una presión de sobrealimentación relativa de hasta 2,0 bares, y a plena carga puede comprimir, en teoría, 1.200 m³ de aire (1,2 toneladas) por hora. Su potencia motriz se sitúa alrededor de los 35 KW, y la velocidad de rotación supera las 200.000 rpm.

Durante el desarrollo de la tecnología de turbocompresores, que Audi promueve de forma constante, los ingenieros otorgan una gran importancia a temas como el rendimiento, la generación del par motor, el comportamiento de transición, la acústica y la construcción ligera. El progreso se va produciendo en innumerables pasos individuales y a una escala de milésimas de milímetro. Ejemplo de ello son las futuras ruedas del compresor. Han sido fresadas de un solo bloque de material, y son aún más precisas que las actuales piezas de fundición.

El turbocompresor del nuevo 3.0 TDI utiliza un sistema de actuadores eléctricos VTG que regulan los álabes de la rueda de la turbina en menos de 200 ms. Dicho sistema se ha alojado en una carcasa de nuevo desarrollo cuyas mitades están remachadas entre sí; los estrechos remaches afectan menos a la corriente que los puntos de unión fundidos del componente anterior. Las temperaturas de los gases de escape, con picos de hasta 830 °C,



suponen un reto en particular para las piezas móviles; cada incremento aquí requiere nuevos materiales.

Inyección

Con la inyección common rail, Audi alcanza en la mayoría de sus motores presiones máximas de 2.000 bares. El siguiente objetivo consiste en llegar a los 2.500 bares, y los ingenieros incluso están pensando ya en superar dicha marca. El motor TDI del bólido Audi R18 e-tron quattro es el modelo a seguir: el V6 de cuatro litros alcanza, con más de 2.800 bares de presión de inyección, unos 100 KW de potencia específica. Pistones de acero, otra de las opciones para la producción en serie, absorben las presiones de encendido, que con bastante más de 200 bares superan el nivel de los TDI de calle.

En los inyectores piezoeléctricos que Audi utiliza en sus motores en V, los orificios de las toberas tienen un diámetro de sólo 0,1 mm, a fin de poder pulverizar finamente el combustible incluso con cargas bajas. Cuanto mayor es la presión, más precisa será la formación de la mezcla; y de ello se benefician, además de la potencia y el par motor, el refinamiento de marcha y el comportamiento de emisiones.

El sistema common rail del nuevo 3.0 TDI es capaz de realizar nueve inyecciones individuales por carrera. Las inyecciones previas mejoran el refinamiento de marcha del motor, sobre todo a bajas velocidades, mientras que las inyecciones posteriores mejoran la regeneración del filtro de partículas diésel o la desulfatación del futuro catalizador acumulador de NO_x. Los sistemas de inyección de Audi han de demostrar su precisión, con un margen de error de apenas unos miligramos, a lo largo de muchos miles de kilómetros; las más pequeñas divergencias podrían empeorar el resultado en las mediciones.

Depuración de los gases de escape

En lo que respecta al tratamiento de los gases de escape, en los últimos años los ingenieros han tenido que adaptar los componentes a una respuesta temprana. Gracias a la mayor eficiencia de los motores TDI, las temperaturas de los gases de escape siguen bajando. Realizando la medición después del catalizador de oxidación, en el ciclo ECE, en la actualidad alcanzan 150 °C solo transcurridos dos minutos y medio; por debajo de este valor no se lleva a cabo transformación alguna. Por ello, en el nuevo 3.0 TDI, los dos catalizadores (el catalizador de oxidación de mayor tamaño y el filtro de partículas diésel con recubrimiento SCR) se encuentran extremadamente cerca del motor; en el corto tubo de unión doblado que hay entre ellos, la bomba SCR refrigerada por agua inyecta el aditivo AdBlue. En la versión de 218 CV (160 KW) del nuevo V6 diésel, en el nuevo V6 biturbo y en el 4.2 TDI, los catalizadores de oxidación se calientan además eléctricamente.

Audi dará el siguiente paso en el año 2015 con el 3.0 TDI: en lugar del catalizador de oxidación se empleará un nuevo catalizador acumulador de NO_x. El denominado NOC (NO_x-Oxidation Catalyst) acumula los óxidos de nitrógeno hasta llenarse por completo; la



depuración se lleva a cabo en el motor mediante el enriquecimiento de la mezcla. A fin de reducir al máximo el consumo de combustible, el NOC sólo se activa con temperaturas de los gases de escape bajas (tras el arranque y con carga reducida). En el resto de situaciones, el filtro de partículas diésel con recubrimiento SCR se encarga de la transformación del NO_x. Con el gran potencial que esta tecnología ofrece, Audi está extraordinariamente preparada para enfrentarse a las futuras normativas de gases de escape.

El nuevo 1.4 TDI

El nuevo motor 1.4 TDI es, junto al cuatro cilindros de dos litros, el segundo motor del sistema modular diésel (MDB) del Grupo Volkswagen. Este tres cilindros ha sido concebido para el montaje en posición transversal, y pronto se iniciará su fabricación en serie. Tiene una cilindrada de 1.422 cc; la carrera de 95,5 mm procede del 2.0 TDI, mientras que el diámetro de los cilindros se ha reducido de 81,0 a 79,5 mm. La distancia entre cilindros es de 88,0 mm. El 1.4 TDI rinde 90 CV (66 KW) de potencia y genera 230 Nm de par motor entre las 1.500 y las 2.500 rpm.

A diferencia de lo que sucedía con el anterior TDI de tres cilindros, montado hasta el año 2005 en el Audi A2, el nuevo 1.4 TDI posee un ligero cárter del cigüeñal realizado en una aleación de aluminio y silicio, lo que supone una gran excepción entre la competencia. El cárter se fabrica conforme al método de fundición en coquilla por gravedad, que le aporta una elevada resistencia mecánica, densidad y homogeneidad. Una serie de nervaduras específicas y medidas detalladas en la periferia del motor minimizan las emisiones sonoras.

El cárter del cigüeñal pesa sólo 17 kg, lo que supone 12 kg menos que el anterior bloque de fundición gris. El peso total del motor asciende a 132 kg. Las camisas de los cilindros, de paredes delgadas y realizadas en fundición gris, se han ensamblado térmicamente, y también se ha reducido el peso de los pistones y bielas. Los segmentos del pistón se han optimizado para reducir las pérdidas de potencia por efecto de la fricción.

En sentido contrario al cigüeñal gira un árbol de equilibrado; su accionamiento está integrado en la denominada bomba dúo, llamada así porque la bomba de aceite y de vacío comparten una carcasa común. La bomba de aceite funciona con tres niveles de presión en función de la demanda. Otra medida que mejora la eficiencia es la separación de los circuitos de líquido refrigerante para el bloque motor y la culata. El circuito del bloque puede desactivarse en la fase de calentamiento, con lo que sólo está activo el circuito de la culata, que también abastece al intercambiador de calor de la calefacción del habitáculo. Esta gestión térmica permite que el 1.4 TDI alcance rápidamente su temperatura de servicio tras el arranque en frío.

En el accionamiento de los árboles de levas se utiliza un sistema de cojinete de agujas. Los árboles van alojados en un bastidor independiente, en el que se ensamblan durante la



producción del motor; el nuevo módulo del mando de válvulas combina una elevada rigidez con un reducido peso. El sistema de inyección common rail genera una presión de 2.000 bares; para abrir y cerrar las agujas de los inyectores de siete orificios se emplean electroválvulas. La elevada presión permite una pulverización aún más fina del combustible en las cámaras de combustión, y con ello una combustión aún más eficiente y más baja en emisiones contaminantes.

El turbocompresor del motor 1.4 TDI dispone de un reglaje neumático para los álabes de la rueda de la turbina. El radiador del aire de sobrealimentación, que utiliza un circuito propio para su refrigeración por agua, está montado en la culata. Justo delante del turbocompresor desemboca el sistema de recirculación de los gases de escape (EGR) de baja presión, también refrigerado por agua. Éste reduce las emisiones de óxido de nitrógeno con el motor caliente y con cargas medias y elevadas, mientras que el sistema EGR de alta presión, que no requiere refrigeración, es responsable principalmente de la fase tras el arranque en frío. El nuevo motor satisface los límites de la normativa Euro 6; el sistema de depuración de gases de escape al completo, de construcción compacta, ha sido configurado para reducir al mínimo las pérdidas de flujo.

El nuevo 2.0 TDI de montaje longitudinal

En la gama de modelos de Audi, el 2.0 TDI se encarga de la propulsión de los más distintos modelos: desde el Audi A1 hasta el Audi A6. En el SUV del segmento medio Audi Q5, el 2.0 TDI ha sido configurado para el montaje longitudinal y satisface en su fase evolutiva más reciente la normativa de gases de escape EU 6.

En el caso del diésel de cuatro cilindros de 190 CV (140 KW), los datos clave son 8,4 segundos de aceleración de 0 a 100 km/h, 210 km/h de velocidad punta y 5,7 litros de combustible a los 100 km (149 gramos de CO₂ por kilómetro).

El 2.0 TDI, con una cilindrada de 1.968 cc (diámetro x carrera: 81,0 x 95,5 mm), ha sido configurado de manera consecuente para reducir las pérdidas de rendimiento. La correa dentada que acciona los árboles de levas y los grupos mecánicos auxiliares funciona de un modo suave y silencioso. Los dos árboles de equilibrado, trasladados desde el cárter del aceite hasta el cárter del cigüeñal, están alojados sobre rodamientos, y su lubricación se lleva a cabo a través de aceite nebulizado. En las ruedas de accionamiento de los árboles de levas se utiliza también un cojinete de agujas.

Los árboles de levas van encajados en un módulo portacojinetes independiente; el nuevo módulo del mando de válvulas es un claro ejemplo de rigidez elevada y peso reducido. La estrella de válvulas en la culata está decalada 90 grados; ambos árboles de levas accionan en cada cilindro una válvula de admisión y otra de escape. El árbol de levas de admisión se puede regular hidráulicamente en un ángulo de hasta 50 grados; los tiempos de mando variables mejoran el llenado de las cámaras de combustión, la turbulencia espiroidal, la compresión efectiva y la duración de la expansión.



El sistema de inyección common rail genera una presión de hasta 2.000 bares en el sistema; inyectores con electroválvulas pulverizan el combustible a través de toberas de ocho orificios. En el inyector existe un volumen de combustible adicional en forma de un "mini rail". Éste reduce al mínimo las ondas expansivas en las agujas de los inyectores y garantiza unas cantidades de inyección definidas. Un sensor en una de las bujías analiza las relaciones de presión durante la combustión; los datos de medición influyen en la gestión del motor.

La menor tensión de los segmentos de los pistones garantiza un movimiento suave; en la producción del motor se emplea un puente de bruñido que proporciona una elevada precisión en el acabado de las superficies de deslizamiento de los cilindros. La bomba de aceite regulada en dos fases ahorra energía motriz. La gestión térmica presenta un funcionamiento flexible; el circuito de líquido refrigerante en el bloque motor se puede desactivar durante la fase de calentamiento a través de una bomba conmutable con el fin de permitir que el aceite del motor se caliente rápidamente. El microcircuito de la culata es accionado a través de una bomba eléctrica y abastece a la calefacción del habitáculo y al sistema de recirculación de gases de escape de baja presión.

Con su sistema de depuración de gases de escape, que incorpora un catalizador de oxidación y un filtro de partículas diésel con recubrimiento SCR (SCR: selective catalytic reduction) cerca del motor, el nuevo 2.0 TDI satisface en el Audi Q5 los límites de la normativa Euro 6. El sistema de recirculación de gases de escape (EGR) de alta presión, que no requiere refrigeración y se activa tras el arranque en frío y con cargas muy bajas, transcurre en sentido transversal a la culata. El sistema EGR de baja presión, muy compacto, se encuentra justo en el motor y así se refrigera. Cubre la mayor parte de los modos operativos de conducción y ha sido configurado para reducir al mínimo las pérdidas de flujo.

La geometría variable de la turbina (VTG) del turbocompresor se acciona de forma neumática. El radiador del aire de sobrealimentación refrigerado por agua está integrado en el colector de admisión; esta construcción permite unos recorridos cortos de los gases, una elevada calidad de regulación y unos rendimientos extraordinarios.

El nuevo 3.0 TDI

El 3.0 TDI hace gala de los más recientes avances tecnológicos. El *bestseller* de Audi en las grandes series de modelos es ahora, además, más limpio, y cumple las especificaciones de la normativa de gases de escape Euro 6. Sus prestaciones también se han visto incrementadas: la potencia es de 272 CV (200 KW), y el par motor máximo de 580 Nm está disponible entre las 1.250 y las 3.250 rpm.

El Audi A7 Sportback reeditado, en el que se utiliza por primera vez el nuevo diésel V6, acelera de los 0 a los 100 km/h, equipado con tracción quattro, en 5,7 segundos, y alcanza



una velocidad máxima, regulada electrónicamente, de 250 km/h. De promedio consume 5,2 litros de combustible a los 100 km, equivalentes a unas emisiones de CO₂ de 136 g/km. Con ello, el nuevo 3.0 TDI mejora su balance en un 13% en comparación con el modelo anterior. En el caso del modelo ultra, el nuevo diésel V6 es aún más eficiente y bate récords: con 218 CV (160 KW) y 400 Nm de par motor, acelera en 7,3 segundos desde los 0 a los 100 km/h y alcanza una velocidad punta de 239 km/h. Su consumo medio a los 100 km es de sólo 4,7 litros de combustible (122 gramos de CO₂ por kilómetro).

De las dos generaciones anteriores, el nuevo 3.0 TDI, que funciona con una presión de encendido de hasta 180 bares, ha heredado las dimensiones importantes: el cilindro de 83,0 mm de diámetro y la carrera de 91,4 mm, que dan como resultado una cilindrada de 2.967 cc. Las bancadas de cilindros se encuentran formando un ángulo de 90 grados entre sí, y en el bloque motor rota un árbol de equilibrado. El bloque motor se ha realizado en fundición de grafito vermicular, caracterizada por su alta resistencia y su reducido peso; gracias al minucioso trabajo, el bloque motor ha perdido algo de peso, con lo que el motor completo asciende a 192 kg.

En el caso del cigüeñal forjado, también de peso optimizado, el principio del *split-pin* garantiza un funcionamiento refinado: los muñones de biela de los pistones opuestos están acodados en un ángulo de 30 grados, con lo que los intervalos de encendido son homogéneos. Los canales integrados en la fundición abastecen a los pistones de aluminio con aceite proyectado de efecto refrigerante. Con el objetivo de reducir la fricción, los bulones se han dotado de un recubrimiento de carbono similar al diamante; el primer segmento del pistón también incorpora un recubrimiento de material duro de alta tecnología.

El paquete de segmentos ha sido desarrollado desde cero, y la tensión tangencial se ha visto reducida en más de un 25%; los segmentos se deslizan ahora con más suavidad por las camisas de los cilindros. La compresión es de 16,0:1.

En la producción del 3.0 TDI se utiliza el complejo proceso de bruñido con puente tensor. Una placa que se atornilla al cárter del cigüeñal antes de proceder al bruñido mecánico de las superficies de deslizamiento de los cilindros, simula las tensiones mecánicas que la culata provocará más tarde durante el funcionamiento y que conllevan desviaciones con respecto a la redondez perfecta de apenas unas milésimas de milímetro.

El diésel V6 hace uso de una gestión térmica altamente desarrollada. Tanto el grupo motor como las culatas disponen de su propio circuito de líquido refrigerante, ambos conectados entre sí a través de una válvula. En la fase de calentamiento, el líquido refrigerante no recircula en el bloque, con lo que el aceite del motor se calienta rápidamente. A fin de ahorrar energía, el líquido también permanece estático con cargas bajas. El líquido refrigerante del circuito de la culata calienta el habitáculo y abastece al radiador del sistema de recirculación de los gases de escape. Con el objetivo de reducir las



pérdidas de presión, las camisas de agua de las culatas se han dividido en una zona superior y otra inferior.

En el sistema common rail, el nivel de presión llega a alcanzar los 2.000 bares. Los inyectores piezoeléctricos de accionamiento ultrarrápido con sus toberas de ocho orificios pueden realizar hasta ocho inyecciones por carrera. La válvula de turbulencia central, situada en la entrada del colector de admisión, reduce las pérdidas de presión; en regímenes bajos se cierra el canal de llenado, lo que provoca una mayor turbulencia espiroidal que a su vez favorece el establecimiento del par motor. En regímenes altos, por el contrario, el canal abierto garantiza un elevado índice de llenado de las cámaras de combustión.

En lo que respecta al turbocompresor refrigerado por agua, se utiliza aquí una nueva generación. El mecanismo de reglaje de accionamiento eléctrico situado en el lado de la turbina (VTG) favorece el flujo y presenta una ejecución más precisa; el motor reacciona con mayor rapidez a la posición del pedal acelerador. La presión de sobrealimentación relativa máxima se ha incrementado de 1,6 a 2,0 bares. El colector de escape también presenta mejoras. La bomba de aceite de nuevo desarrollo funciona de un modo completamente variable en un amplio intervalo de su mapa de características en función de la carga y del régimen; el radiador de aceite está conectado al circuito con un *bypass* de regulación termostática.

Gracias a la depuración de gases de escape conforme a la normativa Euro 6, el 3.0 TDI se denomina en todas sus variantes “clean diesel”. En el nuevo motor, los componentes se han desplazado todo lo posible a la parte trasera, lo que permite una rápida respuesta. El catalizador de oxidación de mayor tamaño en el V6 de 218 CV (160 KW) se encuentra dispuesto coaxialmente detrás de la salida de la turbina del turbocompresor. Inmediatamente detrás de él se sitúa el filtro de partículas diésel; sus paredes incorporan un recubrimiento que se utiliza también para la transformación de los óxidos de nitrógeno contenidos en los gases de escape conforme al procedimiento SCR (selective catalytic reduction). Un módulo de dosificación inyecta el aditivo AdBlue.

El nuevo *packaging* de los componentes del sistema de depuración de los gases de escape ha requerido modificaciones en la distribución de cadena. La bomba de aceite/vacío y la bomba de alta presión del sistema common rail disponen ahora de sus propios accionamientos.

En el accionamiento de los árboles de levas, los piñones de cadena grandes han sido reemplazados por piñones intermedios con cojinetes de agujas y por etapas de engranajes. Dado que se trata de árboles huecos, los árboles de levas son especialmente ligeros, y accionan las válvulas a través de balancines flotantes de rodillo extremadamente rígidos. El menor diámetro de los cojinetes de los árboles de levas reduce la fricción.



El Audi A7 Sportback 3.0 BiTDI competition

El Audi A7 Sportback 3.0 BiTDI competition equipa el motor 3.0 TDI biturbo con una cilindrada de 2.967 cc, al que se han realizado una serie de modificaciones en el sistema de sobrealimentación y en los árboles de levas para incrementar su potencia en 7 CV (5 kW) en comparación con el modelo de fabricación en serie, para alcanzar una potencia máxima de 326 CV (240 kW). Cuando el conductor pisa el acelerador a fondo, se obtienen brevemente otros 20 CV (15 kW) adicionales a través de la función boost de máxima aceleración. El par motor máximo es de 650 Nm, disponible entre las 1.400 y las 2.800 rpm. Las emisiones de escape cumplen la norma Euro 6.

A juego con su dinámico carácter, el Audi A7 Sportback 3.0 BiTDI competition incorpora el paquete deportivo S line, que incluye también una reducción de la altura de la carrocería en 20 mm. Las ruedas en diseño de cinco radios en W tienen los flancos pintados en negro. Con un diámetro de 20 pulgadas, resultan imponentes, y montan neumáticos de dimensiones 265/35. Las pinzas de freno rojas y los discos en formato de 17 pulgadas en los ejes delantero y trasero realzan la deportividad de esta edición especial.

El paquete exterior S line y el paquete de brillo en negro aportan a la carrocería una elegancia dinámica; como complemento se incluyen los emblemas V6 T en las aletas, carcasas de los retrovisores exteriores en color negro y embellecedores de las salidas de escape también en negro brillante. El modelo de edición especial está disponible en color Gris Daytona, Rojo Misano, Gris Nardo y Azul Sepang.

Siguiendo el estilo del paquete deportivo S line, el interior del Audi A7 Sportback 3.0 BiTDI competition también se ha realizado en color negro. Los asientos deportivos están tapizados en elegante cuero Valcona negro o plata luna, decorados con inscripciones S line estampadas. De forma opcional, Audi ofrece los asientos deportivos S con costuras en color de contraste rojo Misano o gris ágata; en este caso también están tapizados y decorados con costuras en color de contraste los reposabrazos. Las inserciones decorativas se han realizado en aluminio y madera Beaufort de color negro; una combinación metal/madera de una calidad especialmente elevada y espectacular aspecto. Las molduras de acceso portan inscripciones "quattro". Las levas de cambio situadas detrás del volante deportivo multifuncional permiten controlar manualmente el tiptronic de ocho velocidades.

El modelo de edición especial equipa todos los elementos ya incorporados en el nuevo Audi A7 Sportback. Entre ellos destacan los faros LED de serie y el intermitente con indicación dinámica. A petición del cliente, Audi ofrece los faros matrix LED, el sistema MMI navigation plus, ahora aún más eficiente, y sistemas de asistencia al conductor perfeccionados, como el asistente de visión nocturna.

Los pedidos del Audi A7 Sportback 3.0 TDI competition pueden realizarse a partir de primeros de septiembre, y las entregas comenzarán en otoño.



El 4.2 TDI

En la gama de motores de Audi, el 4.2 TDI es el propulsor con el par más potente: en su más reciente nivel evolutivo, montado en el Audi A8, proporciona 850 Nm entre las 2.000 y las 2.750 rpm; sus 385 CV (283 KW) de potencia se liberan ya a 3.750 rpm. La inmensa potencia garantiza unas prestaciones deportivas y soberanas. El diésel V8 acelera la berlina de lujo equipada con tiptronic de ocho velocidades y tracción quattro en 4,7 segundos de los 0 a los 100 km/h, y la velocidad máxima se limita electrónicamente al alcanzar los 250 km/h.

El TDI de máxima potencia de Audi tiene una cilindrada de 4.134 cc (diámetro x carrera: 83,0 mm x 95,5 mm). Su cárter del cigüeñal realizado en fundición de grafito vermicular contribuye de manera decisiva a conseguir un reducido peso total del motor, que asciende a unos 250 kg. Cuatro árboles de levas accionados mediante cadenas mueven un total de 32 válvulas mediante balancines flotantes de rodillo.

Los ingenieros de Audi han perfeccionado el 4.2 TDI para su montaje en el Audi A8. Los pistones de aluminio se han dotado de bordes reforzados, que, al igual que las nuevas válvulas de escape, incrementan aún más la resistencia a la temperatura. El sistema common rail genera hasta 2.000 bares de presión, inyectores piezoeléctricos con toberas de ocho orificios de nuevo desarrollo inyectan el combustible en las cámaras de combustión.

También han sufrido modificaciones los dos turbocompresores VTG, sobre todo en lo que respecta al alojamiento de las ruedas del compresor. Cada turbo, que en conjunto generan una presión de sobrealimentación relativa de hasta 1,7 bares, abastece a una fila de cilindros a través de un radiador del aire de sobrealimentación secundario. Con la geometría de turbina variable, la fuerza comienza a establecerse justo por encima del régimen de ralentí. Con ello, y gracias al extraordinario refinamiento de marcha, el motor diésel puede circular a regímenes de sólo 800 rpm en cuanto se activa en el sistema Audi drive select el modo *efficiency*. En la práctica, esto reduce el consumo de forma considerable. En el ciclo ECE, el Audi A8 4.2 TDI clean diesel se da por satisfecho con 7,4 litros de combustible a los 100 km (194 gramos de CO₂/km).

El 4.2 TDI clean diesel que se monta en el Audi A8 satisface las especificaciones de la normativa de gases de escape Euro 6. Cerca del motor se sitúan dos catalizadores de oxidación calefactables, y en la zaga se han montado los dos filtros de partículas diésel con recubrimiento SCR. Una bomba de dosificación inyecta el aditivo AdBlue, que descompone los óxidos de nitrógeno. Dicha solución procede de dos depósitos con un volumen conjunto de 27 litros.



Los modelos Audi ultra

El término “Audi ultra” está reservado para el modelo más eficiente de cada serie, y es sinónimo de una movilidad completamente funcional y al mismo tiempo sostenible. En la actualidad Audi ofrece en las series A3, A4, A5, A6 y A7 un total de 19 modelos ultra, 13 de ellos equipados con motores TDI. Con un consumo medio de entre 3,2 y 4,9 litros a los 100 km y unas emisiones de CO₂ de entre 85 y 122 gramos por kilómetro, los modelos ultra de Audi se cuentan entre los automóviles más eficientes de sus respectivas categorías, sin limitación alguna en la dinámica de conducción ni en el confort.

Con un consumo de 3,2 litros de combustible a los 100 km, equivalentes a 85 gramos de CO₂ por kilómetro, el Audi A3 ultra es el modelo más eficiente de toda la gama de modelos de Audi. Como motor utiliza un 1.6 TDI de 110 CV (81 KW) y 250 Nm de par motor especialmente diseñado para reducir la fricción al mínimo. El Audi A3 Sportback ultra de cinco puertas, así como el A3 Sedan ultra, se dan por satisfechos con 3,3 litros de combustible a los 100 km (88 gramos de CO₂ por kilómetro). El Audi A3 Cabrio ultra consume 4,9 litros de combustible a los 100 km (114 gramos de CO₂ por kilómetro).

En los nuevos modelos A4 y A5 ultra se emplea el 2.0 TDI, que ha sido sometido a profundas mejoras. Rinde 163 CV (120 KW), así como un par motor de 400 Nm. La berlina A4 y el A5 Coupé rinden 163 CV (120 KW). El A5 Sportback de igual potencia presenta un consumo de 4,3 litros (111 gramos de CO₂ por kilómetro), el A4 Avant, también con 163 CV (120 KW), se sitúa en 4,4 litros a los 100 kilómetros (114 gramos de CO₂ por kilómetro).

Los modelos ultra de la serie A6 montan el 2.0 TDI en su versión más potente con 190 CV (140 KW) y 400 Nm. Su datos de consumo son los siguientes: berlina A6 con S tronic 4,4 litros a los 100 km (114 gramos de CO₂ por kilómetro), berlina A6 con cambio manual 4,5 litros a los 100 kilómetros (117 gramos de CO₂ por kilómetro), A6 Avant con S tronic o cambio manual 4,6 litros a los 100 kilómetros (119 gramos de CO₂ por kilómetro).

Los modelos ultra están equipados de serie con una caja de cambios manual con una relación de transmisión de las marchas superiores algo más larga. El S tronic opcional en la serie A6 presenta un desarrollo completamente nuevo. El sistema de información al conductor con programa de eficiencia y el sistema de arranque y parada también contribuyen a mejorar la eficiencia. En los modelos de la familia A3 y A4, las modificaciones en la aerodinámica y una carrocería más baja completan el paquete. Todos los modelos ultra se dan a conocer visualmente por su discreta inscripción en la zaga.



Motores de competición

Para Audi, el deporte del motor es un perfecto campo de experimentación para tecnologías que se aplican posteriormente en sus vehículos de serie, y el banco de pruebas más exigente es la carrera de las 24 Horas de Le Mans, aunque hay ocasiones en que la transferencia tecnológica también se produce a la inversa. Aunque el motor TDI de Audi cumple este año su 25 aniversario, no fue hasta 2006 cuando la marca de los cuatro aros compitió por primera vez en Le Mans con un prototipo dotado de un motor diésel. Tras el triunfo del pasado 15 de junio, ocho de las 13 victorias de Audi en Le Mans han sido con un motor TDI.

Para los prototipos deportivos de Le Mans y del Campeonato Mundial de Resistencia de la FIA (WEC) se aplican los mismos requisitos que para los automóviles de fabricación en serie: exprimir al máximo cada gota de combustible, incrementar la eficiencia y al mismo tiempo reducir el consumo de forma continua. A lo largo de los años, el reglamento de Le Mans ha ido imponiendo restricciones cada vez más estrictas a los motores TDI. Así, por ejemplo, el diámetro obligatorio del limitador del caudal de aire se ha reducido desde 2006 en un 34%, y la cilindrada en casi un 33%. Con ello ha disminuido también la potencia absoluta alrededor de un 25%: de más de 650 CV (478 KW) en el año 2006 a unos 490 CV (360 KW) en el año 2013.

Durante este tiempo Audi ha apostado por una estrategia downsizing de reducción de cilindrada, mejorando al mismo tiempo de forma notable la potencia específica. De los 118 CV (87 KW) por litro de cilindrada del año 2006 se pasó a 146 CV (107 KW) en el año 2011, una mejora de casi el 24%. El rendimiento por unidad de superficie de los pistones, es decir, la potencia que se obtiene en cada uno de los cilindros, incluso se vio incrementada en el mismo periodo de tiempo, pasando de 54 CV (40 KW) a 90 CV (66 KW), lo que supone una mejora del 65%. Al tiempo que la velocidad de los vehículos de Le Mans ha ido aumentando, Audi ha ido reduciendo el consumo en mayor medida.

2006 – 2008: el V12 TDI en el Audi R10 TDI

Con el R10 TDI y su motor TDI de doce cilindros, Audi abrió un nuevo capítulo en el deporte del motor; desde su debut, el bolido diésel fue el protagonista de una arrolladora marcha triunfal. Con su par motor de más de 1.100 Nm, el TDI de 5,5 litros de cilindrada aventajó con creces a todos los motores de gasolina. En cuanto al régimen nominal, el silencioso V12 biturbo rendía más de 650 CV (unos 480 KW); los pilotos cambiaban a una marcha superior ya a 5.000 rpm. Dos filtros de partículas diésel se hacían cargo de la depuración de los gases de escape, mientras que un cambio secuencial de cinco marchas enviaba la fuerza del motor al eje trasero.

El consumo, comparativamente bajo, y la elevada autonomía del R10 TDI fueron la clave para obtener la victoria en la carrera de 24 horas de Le Mans de 2006: Frank Biela, Emanuele Pirro y Marco Werner sólo tuvieron que parar en boxes 27 veces. El mismo



equipo ganó también con el Audi R10 TDI en 2007, pese a las difíciles condiciones meteorológicas y a que los organizadores redujeron el volumen permitido del depósito de combustible en un 10%. En el año 2008 llegó el triplete del Audi R10 TDI de la mano de Rinaldo Capello, Allan McNish y Tom Kristensen.

2009 – 2010: el V10 TDI en el Audi R15 TDI

Los 5,5 litros de cilindrada del R15 TDI se distribuyeron entre dos cilindros menos. El V10 TDI rendía unos 600 CV (440 KW) y más de 1.050 Nm de par motor. Era más corto y ligero que el doce cilindros, lo que benefició en gran medida a la agilidad del prototipo deportivo de nuevo desarrollo. En 2010 Audi celebró con este prototipo deportivo abierto una increíble victoria triple. Timo Bernhard, Romain Dumas y Mike Rockenfeller mejoraron el récord de distancia, establecido por Porsche 39 años antes, en cinco vueltas –75,4 km–, estableciéndolo en 5.410,713 km.

Pese a que el reglamento de Le Mans volvió a hacer recortes en la presión de sobrealimentación y en el caudal de aire, la potencia del TDI de diez cilindros permaneció prácticamente inalterada. Audi utilizó por primera vez en competición en el V10 TDI turbocompresores con geometría de turbina variable (VTG), que mejoraron notablemente la respuesta. La temperaturas de los gases de escape, de hasta 1.050° C en la turbina, supusieron un gran reto para el material. Además, en el V10 TDI se utilizaron pistones de acero, previamente probados en el V12. Estos permiten circular con mayores presiones, obteniendo así una eficiencia aún mejor.

2011 – 2013: el V6 TDI en el Audi R18 TDI, R18 ultra y R18 e-tron quattro

Audi participó en las 24 horas de Le Mans del año 2011 con el R18 TDI, el primer prototipo deportivo cerrado de la marca desde el R8C de 1999. En el ámbito del motor, el nuevo reglamento obligó a realizar un drástico downsizing hasta los 3,7 litros de cilindrada. Con un desarrollo completamente nuevo, el ligero y compacto V6 TDI rendía, con sus 120 grados de ángulo entre bancadas de cilindros, más de 540 CV (397 KW) y más de 900 Nm de par motor, que se transmitían a un cambio de seis marchas también nuevo. El sistema de inyección common rail establecía una presión de hasta 2.600 bares.

En lo referente a la configuración y la refrigeración de las culatas, Audi también siguió otro camino; el lado de aspiración se situó a partir de ese momento en la parte exterior, y las salidas de escape en el interior. El único turbocompresor se colocó en el interior de la V, y obtenía el aire del exterior a través de una toma de canalización en el techo. El gran turbocompresor VTG de geometría variable, que establecía una presión de sobrealimentación relativa de hasta 2,0 bares (2011: 2,96 bares absolutos; 2012 – 2013: 2,8 bares absolutos), se construyó conforme a un innovador principio de doble flujo y poseía dos entradas opuestas para los caudales de los gases de escape, así como dos salidas en el lado del compresor; el aire comprimido fluía a través de radiadores del aire de sobrealimentación independientes hasta dos colectores de admisión. La carrera de Le



Mans fue realmente emocionante: Marcel Fässler, André Lotterer y Benoît Tréluyer vencieron en el único Audi R18 TDI que quedó sobre la pista con apenas 13,854 segundos de ventaja sobre cuatro Peugeot.

Con la unidad motor-generador (MGU) en el eje delantero, capaz de proporcionar brevemente hasta 170 KW de potencia en función de la cantidad de energía, el Audi R18 e-tron quattro disponía de tracción a las cuatro ruedas temporal. Con la triple victoria de Audi en 2012, Fässler, Lotterer y Tréluyer celebraron el primer éxito de un bólido híbrido en Le Mans. Al año siguiente se impusieron Tom Kristensen, Loïc Duval y Allan McNish.

2014: el nuevo V6 TDI en el Audi R18 e-tron quattro

El nuevo R18 e-tron quattro con el que Audi se presentó en Le Mans en junio de 2014 monta un V6 TDI de concepto completamente nuevo con una cilindrada de 4,0 litros. Sus datos clave son los siguientes: 537 CV (395 KW) de potencia y más de 800 Nm de par motor, la presión de inyección supera los 2.800 bares. Gracias al minucioso trabajo realizado, el motor es, con diferencia, el diésel de competición más ligero y más eficiente de Audi. El consumo se ha reducido en más del 25% en comparación con el motor de 3,7 litros. El sistema híbrido (la unidad de motor-generador en el frontal del vehículo y la batería inercial junto al conductor) rinde más de 170 KW. Con esta configuración Audi participó en las 24 horas de Le Mans en la clase de energía de hasta 2 megajulios de recuperación energética; el nuevo reglamento limitó la energía disponible por vuelta, pero dejó otros muchos parámetros al libre criterio.

En una carrera muy emocionante, marcada por los muchos cambios de liderato, el Audi R18 e-tron quattro número 2, pilotado por Marcel Fässler, André Lotterer y Benoît Tréluyer, se alzó con la victoria general tras 379 vueltas. El Audi número 1, pilotado por Tom Kristensen, Luca di Grassi y Marc Gené, cruzó la meta en segundo lugar, completando así el triunfo de Audi. El automóvil ganador tuvo un consumo de combustible un 22% menor que su antecesor del año 2013. Desde el comienzo de la era TDI (2006), Audi ha reducido el consumo en las 24 horas de Le Mans en un 38%.

Biturbo eléctrico e hibridación

El motor TDI obtiene su fuerza de la presión de sobrealimentación generada por el turbocompresor, presión que depende de la energía de los gases de escape. El biturbo eléctrico elimina dicha dependencia, ya que su compresor eléctrico adicional permite establecer rápidamente la presión de sobrealimentación y alcanzar un elevado par motor incluso en regímenes bajos.

Además del clásico turbocompresor de gases de escape, el biturbo eléctrico dispone de un segundo turbocompresor dispuesto en serie. En lugar de la rueda de la turbina, integra un pequeño motor eléctrico que acelera la rueda del compresor con una potencia de accionamiento máxima de 7 KW hasta el régimen máximo de giro en un tiempo de apenas



250 ms. El compresor eléctrico se encuentra detrás del radiador del aire de sobrealimentación. A regímenes muy bajos y por lo tanto con una energía de los gases de escape baja en el turbocompresor principal, la válvula de bypass se cierra, con lo que el aire es desviado hasta el compresor eléctrico. Éste se puede integrar de forma flexible y compacta en diferentes conceptos de sobrealimentación.

Audi ha construido dos prototipos técnicos con esta tecnología: en el Audi A6 TDI concept el motor de partida es el nuevo 3.0 TDI con sobrealimentación mediante un único turbocompresor movido por los gases de escape, mientras que en el Audi RS 5 TDI concept es la unidad del V6 TDI con doble turbocompresor. En los dos casos se añade el compresor eléctrico adicional para mejorar aun más el rendimiento.

El 3.0 V6 rinde en el Audi A6 TDI concept una potencia máxima de 326 CV (240 KW) y un par máximo de 650 Nm, disponibles entre las 1.500 y las 3.500 rpm. El compresor eléctrico adicional completa el desarrollo de la curva de par por debajo del citado margen, y garantiza una respuesta rápida y una excelente elasticidad: de este modo, la recuperación de 60 a 120 km/h en sexta marcha se reduce de 13,7 segundos a 8,3 segundos.

Aún más impactante resulta el biturbo V6 que se utiliza en el Audi RS 5 TDI concept; rinde 385 CV (283 KW), y su par motor máximo asciende a 750 Nm entre las 1.250 y las 2.000 rpm. Al iniciar la marcha, el compresor eléctrico complementa al sistema de sobrealimentación con doble turbocompresor, y proporciona un par inmenso. Si el conductor sigue pisando el acelerador, alcanza los 100 km/h en unos 4 segundos. La presión de sobrealimentación vuelve a estar disponible inmediatamente después de cada cambio de marcha, y ello gracias a la inteligente acción combinada de los dos turbocompresores.

Pero lo que más impresiona de los dos prototipos técnicos es, sin embargo, el rápido despliegue de potencia, casi inmediato, incluso con regímenes bajos. La aplicación del turbocompresor eléctrico hace gala de sus virtudes justo donde más sentido tiene en el día a día. Ahorra muchos cambios a una marcha menor y mantiene así bajo el nivel de revoluciones. Los conductores más deportivos sabrán apreciar de manera especial el ímpetu al adelantar y el espontáneo despliegue de potencia al acelerar a la salida de las curvas. El biturbo eléctrico es apto para su uso en muchas series de modelos de Audi, y en principio también para motores de gasolina. Su aplicación a los motores TDI se lanzará a la producción en serie en un futuro cercano.

La energía que el compresor eléctrico necesita para su accionamiento, se consigue en gran medida sin consumir combustible gracias a la recuperación en las fases de deceleración. El suministro eléctrico lo obtiene de una red eléctrica independiente de 48 V con su propia batería de iones de litio compacta situada en el maletero, y un módulo electrónico de potencia. Un transformador CC/CC establece la conexión con la red de a bordo de 12 V.



La nueva red secundaria de 48 V trae consigo grandes ventajas. Es capaz de suministrar más energía que la red de 12 V a los potentes consumidores eléctricos del futuro, como calefactores termoeléctricos, frenos traseros electromecánicos o grupos auxiliares del motor como bombas de aceite y agua. La mayor tensión implica a su vez corrientes más bajas; con ello pueden realizarse secciones de cable más pequeñas, con lo que se reduce el peso. Audi pretende introducir pronto la red de a bordo secundaria de 48 V en varias series de modelos.

Al mismo tiempo, los ingenieros de Audi trabajan en la electrificación del grupo motopropulsor. Para cada cliente se ofrecerá una solución a medida. El sistema modular híbrido está compuesto por numerosas soluciones, desde el biturbo eléctrico hasta el TDI con tecnología híbrida enchufable.

Como en los híbridos enchufables con motor de combustión de gasolina, la acción combinada del motor TDI con el sistema de propulsión utilizando un motor eléctrico abre nuevas posibilidades, de lo que se beneficia tanto el consumo como el comportamiento de emisiones. Al circular por ciudad, el motor eléctrico ofrece una propulsión que no produce emisiones locales.

Audi e-diesel

En lo referente al combustible diésel del futuro, Audi apuesta por un planteamiento completamente nuevo en colaboración con la empresa estadounidense Joule. Esta empresa de biotecnología fundada en 2007 y con sede en Bedford (Massachusetts) trabaja en la producción de combustibles sintéticos con ayuda de microorganismos especiales: Audi e-diesel y Audi e-etanol. Dichos combustibles tienen un impacto prácticamente neutro sobre el clima, ya que la combustión sólo libera la cantidad de CO₂ que previamente se fijó durante la producción de los mismos. Un automóvil que circule con Audi e-diesel obtiene, según los pronósticos actuales, un balance de CO₂ igual de satisfactorio que un automóvil eléctrico a batería que utilice corriente procedente de fuentes renovables.

Para la generación de Audi e-diesel y Audi e-etanol se requiere agua, CO₂, energía solar y microorganismos especiales, organismos unicelulares de tan solo unas tres milésimas de milímetro. Al igual que las plantas, estos organismos realizan la denominada fotosíntesis oxigénica; utilizan la luz del sol y el CO₂, procedente por ejemplo de gases de combustión, para sintetizar hidrocarburos y para multiplicarse. Como medio no requieren ni tan siquiera agua potable limpia, sólo agua salada o agua de uso industrial. La fotosíntesis oxigénica, como su propio nombre indica, libera oxígeno como subproducto.

Los expertos de Joule han modificado este proceso de fotosíntesis de tal modo que los microorganismos sintetizan directamente alcanos (importantes componentes del combustible diésel) o también etanol a partir del dióxido de carbono. Los combustibles se separan del agua y se limpian.



Audi e-diesel ofrece la ventaja de una elevada pureza; no contiene azufre ni compuestos aromáticos, muy al contrario que el diésel derivado del petróleo, que es una mezcla de diferentes compuestos de hidrocarburos. Dado su alto índice de cetano, el nuevo combustible presenta una extraordinaria facilidad de encendido, y su naturaleza química permite mezclarlo ilimitadamente con el diésel fósil. En los motores clean diesel de Audi puede emplearse el Audi e-diesel sin necesidad de realizar grandes modificaciones.

Audi y Joule construyeron en 2012 una planta de demostración en el estado de Nuevo México (Estados Unidos), en una árida región, no apta para el cultivo, y con un número muy elevado de horas de sol al año. La colaboración entre ambas empresas está en marcha desde 2011. La empresa estadounidense ha asegurado su tecnología con patentes, mientras que la marca de los cuatro aros trabaja en exclusiva con Joule en el sector automovilístico. En particular con su *know-how* en el ámbito de las pruebas de combustibles y de motores y con la elaboración de balances LCA (Life Cycle Assessment), los especialistas de Joule ayudan a los ingenieros de Audi a desarrollar combustibles aptos para el mercado, cuya producción podría dar comienzo en los próximos años.

Además de la citada colaboración con Joule, Audi participa activamente en el desarrollo de futuros combustibles con emisiones neutras de CO₂. La instalación Audi e-gas en Werlte (Baja Sajonia, Alemania), la primera planta industrial *power-to-gas* del mundo, produce metano sintético y permite así el almacenamiento de grandes cantidades de energía eólica y solar; para ello, además de electricidad ecológica, lo único que necesita es agua y CO₂. Junto con la empresa francesa Global Bioenergies, Audi investiga además la producción sintética de “e-gasolina”.

Los showcars de Audi con motores TDI

En los últimos diez años, la tecnología TDI de Audi ha sido protagonista en los showcars o prototipos de Audi. Durante este tiempo, la marca de los cuatro aros ha presentado vehículos experimentales con motores TDI de cuatro, seis, ocho, diez y doce cilindros, muchos de los cuales anticipaban futuros modelos de producción y tecnologías que han acabado pasando a los modelos de calle.

2007: el Audi Q7 coastline

Potencia máxima de 500 CV (368 KW), y un par máximo de 1.000 Nm: el showcar Q7 V12 TDI presentado por Audi en el Salón del Automóvil de Detroit en enero de 2007 fue el precursor del modelo que comenzó a fabricarse en serie en el año 2008. Con sus prestaciones, el prototipo se catapultó hasta la liga de los SUV deportivos: la aceleración estándar requería 5,5 segundos, y la velocidad máxima se limitaba electrónicamente al alcanzar los 250 km/h.



La tecnología del V12 TDI de seis litros se correspondía con el estándar de los vehículos de serie. El sistema common rail, con sus inyectores piezoeléctricos, generaba una presión de inyección de hasta 2.000 bares. Los dos turbocompresores VTG generaban una presión de sobrealimentación relativa de hasta 1,6 bares. El cárter del cigüeñal se había realizado en fundición de grafito vermicular, y las bancadas de cilindros se encontraban dispuestas en un ángulo ideal de 60 grados entre sí; el V12 diésel de Audi también fascinó por su inigualable suavidad de funcionamiento.

2008: el Audi R8 V12 concept y el R8 TDI Le Mans

A comienzos del año 2008 Audi presentó el Audi R8 V12 TDI concept en Detroit, y pocas semanas más tarde el R8 TDI Le Mans, en el Salón del Automóvil de Ginebra. Con estos dos prototipos la marca hacía referencia a las victorias obtenidas por el Audi R10 TDI en 2006 y 2007 en las 24 horas de Le Mans.

Al igual que el vehículo de competición, el showcar también montaba un V12 TDI con 6 litros de cilindrada. El motor en posición central se encontraba justo detrás del conductor y del acompañante. Con una potencia de 500 CV (368 KW) y 1.000 Nm de par motor, disponibles estos últimos a 1.750 rpm, el biplaza deportivo con motor TDI aceleraba en 4,2 segundos de los 0 a los 100 km/h, con una velocidad punta de más de 300 km/h. El consumo se situaba por debajo de los 10 litros a los 100 kilómetros.

2008: Audi A3 TDI clubsport quattro

El Audi A3 TDI clubsport quattro se presentó en mayo de 2008. Con una potencia de 224 CV (165 KW), rendía 450 Nm de par motor a 1.750 rpm. El prototipo aceleraba de 0 a 100 km/h en 6,6 segundos y alcanzaba una velocidad máxima de 240 km/h. Los valores específicos del diésel de dos litros se situaban en 113,8 CV (83,8 KW) y 228,7 Nm por litro de cilindrada. Un turbocompresor VTG de mayor tamaño que en el motor de serie utilizado como base de partida empujaba el aire hasta las cámaras de combustión, y el sistema common rail inyectaba el combustible a una presión de 1.800 bares. Las cámaras de resonancia conmutables en el sistema de escape proporcionaban al 2.0 TDI un sonido deportivo.

2010: Audi e-tron Spyder

El Audi e-tron Spyder, uno de los protagonistas del Salón del Automóvil de París del año 2010, era un biplaza descapotable de más de cuatro metros de longitud. Poseía una estructura de aluminio en construcción Audi Space Frame, una capa exterior realizada en material plástico reforzado con fibra de carbono (CFRP) y un sistema de propulsión híbrido enchufable.

El V6 TDI de tres litros con sobrealimentación biturbo impulsaba a las ruedas traseras con una potencia de 300 CV (221 KW) y un par motor de 650 Nm. Dos motores eléctricos, con un rendimiento de 64 KW y 352 Nm, actuaban sobre las ruedas delanteras; podían



accionarse por separado y permitían de este modo repartir el par de forma selectiva. El suministro eléctrico se llevaba a cabo a través de una batería de iones de litio con una capacidad de 9,1 kWh. La autonomía en modo eléctrico era de 50 kilómetros; el consumo medio del Audi e-tron Spyder a los 100 km se situaba en 2,2 litros de combustible (59 gramos de CO₂ por kilómetro). Los datos clave en términos de dinamismo: de 0 a 100 km/h en 4,4 segundos, y velocidad máxima limitada electrónicamente a 250 km/h.

2013: Audi nanuk quattro concept

En el Salón del Automóvil de Frankfurt celebrado en el año 2013 Audi presentó su prototipo técnico Audi nanuk quattro concept. El concepto crossover de un coupé biplaza combinaba el dinamismo de un deportivo de alto rendimiento con la competencia quattro de Audi en carretera, en circuitos de competición y en terrenos sin asfaltar. Como propulsor se utilizó un V10 TDI montado longitudinalmente delante del eje trasero. El potente diésel, con una cilindrada de 5,0 litros, rendía más de 544 CV (400 KW) de potencia y desarrollaba 1.000 Nm de par motor ya a 1.500 rpm. Utilizaba una sobrealimentación biturbo y el sistema de distribución variable Audi valvelift system (AVS), tecnologías ambas que Audi ha ido perfeccionando hasta la actualidad. El sistema common rail generaba una presión de hasta 2.500 bares. El Audi nanuk quattro concept aceleraba hasta los 100 km/h, con salida parada, en 3,8 segundos, y su velocidad máxima alcanzaba los 305 km/h. De media consumía sólo 7,8 litros de combustible a los 100 km.

Otros showcars con motores TDI

Además de los ya mencionados showcars, Audi ha presentado al público otros prototipos con sistema de propulsión TDI. El Audi allroad quattro concept que llevó al Salón del Automóvil de Detroit en el año 2005 fue el precursor del nuevo V8 diésel que poco más tarde pasaría a la producción en serie. En 2008 Audi presentó en el Salón de Shanghai el Cross Coupé quattro, y en Los Ángeles el Cross Cabriolet quattro. El coupé de dos puertas montaba un 2.0 TDI, mientras que el descapotable disponía de un V6 diésel de tres litros. Y a comienzos de 2009 se presentó en el stand de Audi en Detroit el Sportback concept, el precursor del Audi A7 Sportback, que albergaba bajo su capó el 3.0 TDI clean diesel con catalizador SCR.

Hitos tecnológicos

Desde su debut en el año 1989, el motor TDI de Audi ha evolucionado sin cesar. En estos 25 años, la marca de los cuatro aros ha ido afianzando su posición vanguardista, dejando numeroso hitos por el camino.

La década de los 70: presión por la crisis del petróleo

Audi inició el desarrollo del TDI a mediados de la década de los 70: con la crisis del petróleo como telón de fondo surgió la necesidad de un nuevo motor de menor consumo.



Durante la fase preliminar, el equipo de desarrollo, compuesto por 10 ingenieros de Audi, se decidió por la bomba de inyección de émbolos axiales regulada electrónicamente capaz de generar hasta 900 bares de presión, fabricada por Bosch. Los portainyectores de muelles abrían las agujas de las toberas en dos fases con diferente alzada; permitían así la inyección previa de pequeñas cantidades de combustible, lo que hacía la combustión más suave y la acústica más agradable.

1989: 2.5 TDI

Audi presentó en el Salón del Automóvil de Frankfurt del año 1989 un hito tecnológico: el 2.5 TDI montado en un Audi 100. El motor de cinco cilindros en línea, con una cilindrada de 2.461 cc, era un turbodiésel de inyección directa con gestión completamente electrónica; el primer TDI. Por aquel entonces nadie podía imaginar que ayudaría al motor diésel a convertirse en todo un éxito en la producción en serie automovilística de Europa y que supondría el inicio de una nueva era. Con una potencia de 120 CV (88 KW) y un par motor de 265 Nm a 2.250 rpm, el despliegue de potencia instauró una pauta completamente nueva entre la competencia. El Audi 100 2.5 TDI alcanzaba una velocidad punta de casi 200 km/h, pero su consumo medio era de sólo 5,7 litros de combustible a los 100 km. A partir de 1994, el cinco cilindros, con una nueva bomba de émbolos radiales, catalizador de oxidación y recirculación de los gases de escape, rendía en el Audi A6 140 CV (103 KW).

1991: 1.9 TDI con turbocompresor VTG

Los motores TDI de Audi también iniciaron su marcha triunfal en el segmento medio. En 1991 se montó el 1.9 TDI de cuatro cilindros en el Audi 80, con una potencia de 90 CV (66 KW) y 182 Nm de par. Cuatro años más tarde se presentó en el Audi A4 una versión de mayor potencia, con 110 CV (81 KW). El incremento de potencia se debió en particular a un nuevo turbocompresor con álabes variables en el lado de los gases de escape; el turbocompresor VTG permitió un establecimiento del par armonioso y temprano ya desde las 1.700 rpm.

1997: El primer V6 TDI del mundo

En el año 1997 Audi volvió a demostrar su espíritu pionero. Presentó otra innovación en el sector diésel de turismos: la combinación de un V6 TDI con una culata de cuatro cilindros. El motor de 2,5 litros rendía 150 CV (110 KW) y 310 Nm de par motor, y se estrenaron soluciones como los canales de turbulencia y tangenciales en la admisión, así como una bomba de inyección de émbolos radiales capaz de generar una presión de hasta 1.850 bares. El 2.5 TDI se montó en el A4, el A6 y A8, en su versión más potente con 180 CV (132 KW).



1999: V8 TDI

3.328 cc de cilindrada, cuatro árboles de levas en cabeza, 32 válvulas, dos turbocompresor VTG: el V8 TDI, montado de serie en el Audi A8 a partir de octubre de 1999, supuso toda una declaración de intenciones tecnológica. El cárter del cigüeñal se había realizado en fundición de grafito vermicular, ligero y extremadamente resistente; el aire de sobrealimentación y los gases de escape en recirculación se refrigeraban con agua. El sistema common rail, por aquel entonces una novedad en Audi, inyectaba el combustible a una presión de 1.350 bares. Con una potencia de 225 CV (165 KW) y un par motor de 480 Nm, el V8 TDI era un propulsor potente y refinado; en cuanto a su velocidad punta, marcó una nueva pauta con sus 242 km/h.

2001: 1.2 TDI

En el año 2001 Audi marcó un nuevo hito en lo que respecta a la sostenibilidad: el Audi A2 1.2 TDI consiguió un consumo medio de 2,99 litros de combustible a los 100 km (81 gramos de CO2 por kilómetro). El propulsor elegido para este cinco puertas compacto con carrocería de aluminio especialmente aerodinámica fue un tres cilindros con 1,2 litros de cilindrada y una potencia de 61 CV (45 KW) y 140 Nm. El motor de dos válvulas por cilindro empleaba un turbocompresor VTG e inyección por inyector-bomba con una presión de 2.050 bares; una tecnología del Grupo Volkswagen que Audi lanzó un año antes. El A2 1.2 TDI sigue siendo hasta hoy el único automóvil de cinco puertas del mundo con un consumo de 3 l/100 km.

2004: 3.0 TDI

El 3.0 TDI, que debutó en el año 2004, fue el primer miembro de la nueva familia de motores en V de Audi, caracterizados por un ángulo entre bancadas de 90 grados, 90 mm de distancia entre los cilindros y accionamiento de cadena en la parte trasera. Como todos los grandes motores diésel de Audi, se dotó de un bloque ligero y altamente resistente realizado en fundición de grafito vermicular. Un filtro de partículas diésel, nuevo en la marca, se encargaba de limpiar los gases de escape. Otra novedad fueron los inyectores piezoeléctricos en línea, capaces de inyectar cantidades minúsculas de combustible y de realizar varias inyecciones escalonadas abriéndose y cerrándose de forma extremadamente rápida. Conseguían de este modo un incremento de la presión muy bien modulado hasta un máximo de 1.600 bares y un desarrollo de la combustión que garantizaba una suave acústica del motor. El V6 TDI se lanzó en tres versiones con 204 CV (150 KW), 224 CV (165 KW) y 233 CV (171 KW). Fue muy utilizado en la gama de modelos, y en 2009 Audi presentó su segunda generación.



2008: V12 TDI

El doce cilindros, que debutó a finales de 2008 en el Q7, supuso la coronación de la tecnología TDI de Audi como diésel de fabricación en serie para turismos más potente del mundo. Entre sus características destacaban el sistema common rail, capaz de generar una presión de 2.000 bares, y los dos turbocompresores VTG. El ángulo entre cilindros de 60 grados proporcionó un excelente equilibrio de las masas y con ello una inigualable suavidad de marcha. Con una cilindrada de 6,0 litros, el V12 TDI rendía 500 CV (368 KW) de potencia y 1.000 Nm de par motor disponibles entre las 1.750 y las 3.250 rpm. Con él, el gran SUV aceleraba como un deportivo en apenas 5,5 segundos de los 0 a los 100 km/h, y alcanzaba una velocidad punta, limitada electrónicamente, de 250 km/h.

2009: 3.0 TDI clean diesel

Como respuesta a las cada vez más restrictivas directrices de las normativas de gases de escape, Audi lanzó al mercado en el año 2009 la tecnología clean diesel. El 3.0 TDI clean diesel incorporaba un sistema common rail con una presión de 2.000 bares y novedosos sensores en la cámara de combustión. La fina pulverización y la precisa combustión del combustible lograron reducir las emisiones brutas. En el sistema de escape, un catalizador SCR reducía los óxidos de nitrógeno. El aditivo acuoso que se le inyectaba, denominado AdBlue, se convertía en amoníaco al contacto con los gases de escape calientes y reaccionaba con los óxidos de nitrógeno dando lugar a agua y nitrógeno. En el año 2013 se introdujo un nuevo componente que agrupaba a dos componentes anteriores: el filtro de partículas diésel con recubrimiento SCR. Los substratos cerámicos (titanato de aluminio o carburo de silicio) en las paredes del filtro se hacen cargo aquí de la transformación del NOx. Un catalizador de reducción selectiva secundario (Ammonia Slip Catalyst, ASC) se encarga de transformar las moléculas de amoníaco restantes que pueden generarse con cargas elevadas.

Glosario TDI

De la A de Audi e-diesel a la T de turbocompresor de gases de escape, Audi domina a la perfección la terminología de la tecnología diésel.

Audi 100 TDI (1989)

Audi presentó en el Salón del Automóvil de Frankfurt de 1989 todo un hito tecnológico. El cinco litros del Audi 100, con una cilindrada de 2.461 cc, fue el primer turbodiésel de inyección directa con gestión completamente electrónica; el primer TDI. Con una potencia de 120 CV (88 KW) y un par motor de 265 Nm disponible a 2.250 rpm, el motor de dos válvulas por cilindro proporcionaba una intensa fuerza con un consumo ejemplarmente bajo.



Se emplearon conductos de turbulencia espiroidal en la admisión para generar una turbulencia en el aire. La bomba de inyección distribuidora generaba una presión de hasta 900 bares, y las toberas de cinco orificios en los inyectores garantizaban una pulverización precisa. El portainyector de dos muelles, uno de los grandes éxitos en el desarrollo del TDI, permitía realizar una inyección previa que reducía la dureza de la combustión, así como el nivel de ruido. Finalmente, el radiador del aire de sobrealimentación reducía la temperatura del aire de aspiración comprimido.

Audi e-diesel

Audi e-diesel es un combustible sintético neutro en emisiones de CO₂ para la movilidad del futuro. Se crea a partir de microorganismos especiales que viven en el agua y que mediante fotosíntesis producen alcanos de cadena larga (componentes importantes del combustible diésel). Para ello lo único que necesitan es luz solar y CO₂. El nuevo combustible sorprende por su pureza química y el elevado índice de cetano. Audi ha construido una planta de demostración en Nuevo México en colaboración con la empresa de biotecnología estadounidense Joule, en la que además del Audi e-diesel también se produce Audi e-etanol. Los automóviles que circulan con estos combustibles son tan ecológicos como los vehículos eléctricos propulsados exclusivamente por electricidad ecológica.

Biturbo

El 3.0 TDI biturbo es el V6 diésel más potente de Audi. Una válvula de conmutación conecta sus dos turbocompresores dispuestos en línea. A bajas revoluciones, la válvula permanece cerrada; el turbocompresor pequeño, con su geometría de turbina variable, realiza gran parte del trabajo, mientras que el turbocompresor de mayor tamaño se hace cargo de la compresión previa. A partir de las 2.500 rpm aproximadamente, la válvula comienza a abrirse y el turbocompresor pequeño va cediendo progresivamente el trabajo principal al turbocompresor grande. Entre las 3.500 y las 4.000 rpm la válvula se abre por completo, y entonces sólo funciona el turbocompresor grande.

Dado su concepto de alto rendimiento, Audi ha mejorado muchos detalles del motor y de su entorno. Un actuador de sonido en el sistema de escape confiere al motor diésel un sonido regio y rotundo, que recuerda al de un ocho cilindros. El 3.0 TDI biturbo se monta, por ejemplo, en el Audi SQ5 TDI, el primer modelo S de Audi con un motor diésel.

Biturbo eléctrico

El biturbo eléctrico es una tecnología completamente nueva de Audi. El turbocompresor de gases de escape colabora aquí con un compresor adicional de accionamiento eléctrico. En lugar de equipar una rueda de turbina posee un pequeño motor eléctrico que acelera la rueda del compresor en un tiempo muy reducido hasta una velocidad muy elevada. El turbocompresor eléctrico está conectado detrás del radiador del aire de



sobrealimentación, y en la mayoría de los casos no interviene gracias a un *bypass*. Si con regímenes muy bajos la energía de los gases de escape es reducida, la válvula de *bypass* se cierra y el nuevo componente se activa. La nueva tecnología proporciona un espontáneo despliegue de potencia hasta ahora inédito al iniciar la marcha y en regímenes bajos.

Catalizador SCR

Las siglas SCR responden al término inglés “selective catalytic reduction”, que no es otra cosa que la transformación de los óxidos de nitrógeno contenidos en los gases de escape. Desde un depósito de reserva se inyecta un aditivo, denominado AdBlue, en el catalizador SCR. En la corriente caliente de los gases de escape, el aditivo acuoso se transforma en amoníaco, que descompone los óxidos de nitrógeno en dos sustancias inocuas: nitrógeno y agua. En el nuevo 3.0 TDI, Audi agrupa el catalizador SCR con el filtro de partículas diésel.

clean diesel

Audi está adaptando sus motores TDI a la tecnología clean diesel con el objetivo de cumplir los límites de la nueva normativa de gases de escape Euro 6 y reducir drásticamente las emisiones de óxido de nitrógeno. En la mayoría de los casos requiere adoptar medidas en el motor y en el sistema de escape; en los motores y modelos compactos basta con equipar un catalizador DeNo_x.

Más compleja es la tecnología, sin embargo, para los modelos y motores grandes. El nuevo 3.0 TDI, por ejemplo, se ha dotado de un catalizador de oxidación de mayor tamaño, que en la versión con 218 CV (160 KW) se calienta eléctricamente. El catalizador de oxidación de mayor tamaño se encuentra dispuesto coaxialmente detrás de la salida de la turbina del turbocompresor. Es la primera vez en la industria automovilística que se combina un catalizador acumulador de NO_x con un filtro de partículas diésel con recubrimiento SCR (selective catalytic reduction) en un grupo constructivo. Un módulo de dosificación inyecta el aditivo AdBlue.

Common rail

Un sistema de inyección common rail es un acumulador de alta presión en forma de tubo que mantiene el combustible a una presión elevada de forma constante (en los motores de serie de Audi, a una presión de hasta 2.000 bares). Se llena mediante una bomba accionada por el motor. Una serie de conductos cortos de acero unen los inyectores con el rail; su apertura y cierre se llevan a cabo mediante impulsos eléctricos. La tecnología common rail separa la generación de presión de la inyección, con lo que los ingenieros pueden configurar libremente todos los inyectores en el mapa de características. Esto les proporciona una gran libertad; en cada carrera se pueden llevar a cabo hasta nueve inyecciones individuales.



Filtro de partículas

Durante la combustión del combustible diésel en el motor se generan partículas de hollín en algunas zonas de las cámaras de combustión. Para eliminarlas, Audi utiliza filtros de partículas diésel, cuyo rendimiento supera el 95%. Las partículas entrantes se quedan adheridas a la pared porosa del filtro. Éstas se queman periódicamente; el momento exacto depende del perfil de conducción individual. Como desencadenante actúan inyecciones posteriores tardías que se encargan de que la temperatura de los gases de escape suba bruscamente durante un breve periodo de tiempo.

Fricción interna

Audi ha reducido drásticamente la fricción interna en muchos motores TDI. Entre los medios para ello se cuentan las tecnologías punta de mecanizado en la producción, como el mecanizado mediante láser y el bruñido con puente tensor de las paredes de los cilindros. Las superficies de deslizamiento son ahora más duraderas y precisas, lo que permite reducir al mínimo las fuerzas de tensado de los segmentos del pistón; los pistones se deslizan con mayor suavidad. Los cojinetes más pequeños en el cigüeñal, las bielas y los árboles de levas contribuyen también de forma considerable a reducir la fricción.

Otro campo en el que se ha innovado es el de los materiales utilizados en los motores. En el nuevo 3.0 TDI, por ejemplo, el primer segmento del pistón presenta un recubrimiento que se ha elaborado con un procedimiento muy novedoso. Los bulones se han dotado de un recubrimiento de carbono de características similares a las del diamante denominado DLC (*diamond-like carbon*).

Fundición de grafito vermicular

En los motores V6 TDI de Audi y en el ocho cilindros, el cárter del cigüeñal se realiza en fundición de grafito vermicular (GJV-450). Este material, fabricado conforme a un proceso de fundición de alta tecnología, se caracteriza por su extremada resistencia mecánica, incluso a altas temperaturas. En comparación con la fundición gris (GJL), permite unos grosores de pared más pequeños, lo que reduce el peso.

Geometría variable de la turbina

La geometría variable de la turbina (VTG) es un estándar en los motores TDI de Audi. Permite establecer el par del motor de un modo espontáneo y armonioso incluso en regímenes bajos. Cuando el conductor pisa el acelerador a fondo, los álabes de la turbina se colocan de plano. De este modo se reduce la sección transversal de entrada en la carcasa de la turbina. Esto obliga a los gases de escape a fluir a una mayor velocidad. La rueda de la turbina gira más rápido, aumenta el caudal de aire transportado y la presión de sobrealimentación se establece de manera espontánea.



A medida que aumenta la cantidad de gases de escape o disminuye la demanda de presión de sobrealimentación, los álabes se van elevando. La sección transversal de entrada se amplía y los gases de escape fluyen a menor velocidad. La rueda de la turbina se mueve por consiguiente más lenta, mientras que la presión de sobrealimentación y la potencia de la turbina permanecen casi constantes. En los grandes motores TDI Audi utiliza actuadores VTG eléctricos, y neumáticos en los motores diésel de cuatro cilindros.

Gestión térmica

La gestión térmica reduce el consumo de combustible de los motores TDI en varios puntos porcentuales. Los detalles dependen de cada motor. En el nuevo 3.0 TDI, por ejemplo, el bloque motor y las culatas disponen de circuitos de refrigeración independientes; con el objetivo de reducir las pérdidas de presión, las camisas de agua de las culatas se han dividido en dos zonas. En la fase de calentamiento, el líquido refrigerante no recircula, y se evita el paso por el radiador de aceite a través de un *bypass*. De este modo, el aceite del motor alcanza rápidamente su temperatura de funcionamiento, y se acorta en gran medida la fase de las elevadas pérdidas por fricción provocadas por el aceite frío y denso en el mecanismo del cigüeñal y el accionamiento de las válvulas. El circuito de la culata abastece a la calefacción del habitáculo y al sistema de recirculación de los gases de escape. El líquido también puede permanecer estático en el cárter del cigüeñal cuando el motor está caliente y la carga es baja; de este modo, se ahorra energía motriz para la bomba de agua.

Grupos auxiliares

Audi también incrementa sin cesar la eficiencia de los grupos auxiliares de los motores. Las nuevas bombas de aceite, por ejemplo, se regulan hidráulicamente a través del caudal volumétrico y consumen sólo la cantidad de energía que necesitan en cada momento. Audi trabaja a medio plazo en grupos auxiliares electrificados.

Hibridación

Audi ya dispone de varios modelos híbridos en el mercado, y este año llegará a los concesionarios el compacto Audi A3 Sportback e-tron con su tecnología híbrida enchufable. En breve se dará el siguiente paso: los nuevos modelos con motores montados longitudinalmente.

La plataforma modular longitudinal de segunda generación ha sido especialmente adaptada para la interacción de los motores eléctricos con los motores de combustión (también con los motores TDI). En función del modelo, dicha adaptación se lleva a cabo a medida. Audi ha desarrollado una matriz técnica cuyas fases de electrificación abarcan hasta el sistema de propulsión híbrido enchufable.



Inyectores multiorificio

Los sistemas common rail de Audi son componentes de máxima precisión. Inyectan cantidades de combustible mínimas en las cámaras de combustión; el combustible sale de los inyectores a una presión de hasta 2.000 bares con una velocidad que supera varias veces la velocidad del sonido. En algunos motores Audi emplea inyectores piezoeléctricos con toberas de ocho orificios; cada orificio tiene un diámetro de alrededor de 0,1 mm. Gracias a la pulverización extremadamente fina se genera un efecto de *spray* en la cámara de combustión que permite que el encendido y la combustión se lleven a cabo de un modo rápido, homogéneo, acústicamente confortable y sobre todo muy eficiente.

Principio piezoeléctrico

El principio piezoeléctrico es el complemento ideal de la inyección common rail. Al aplicar una tensión eléctrica, los cristales piezoeléctricos modifican su estructura en cuestión de milisegundos, dilatándose ligeramente. En el inyector hay varios cientos de plaquitas piezoeléctricas apiladas unas sobre otras; la dilatación del paquete se transfiere directamente (*inline*) a la agujas de la tobera de inyección sin necesidad de activar para ello ningún dispositivo mecánico. Transcurridas unas pocas milésimas de segundo, los inyectores vuelven a cerrarse. De este modo es posible inyectar cantidades mínimas de combustible de sólo 0,8 mg de peso, es decir, menos de una milésima de gramo.

Radiador del aire de sobrealimentación

Cuando el turbocompresor comprime el aire de aspiración, llega a alcanzar una temperatura de hasta 200 °C. El aire caliente, sin embargo, tiene una densidad inferior, es decir, contiene menos oxígeno para la combustión. Por ello se ha conectado un radiador del aire de sobrealimentación detrás del turbocompresor que vuelve a enfriar bruscamente el aire comprimido antes de que entre en la cámara de combustión.

Los radiadores del aire de sobrealimentación son un estándar en Audi. Como medio refrigerante emplean, en función de la construcción, aire y/o agua procedente del circuito de refrigeración. Los ingenieros de Audi también buscan la máxima eficiencia a la hora de desarrollar el radiador del aire de sobrealimentación; en el peso, en el rendimiento y en la reducción de las resistencias de flujo.

Recirculación de los gases de escape (EGR)

Cuando la cámara de combustión alcanza temperaturas elevadas, en un motor de combustión se forman óxidos nítricos. Una gran parte de ellos se puede evitar con ayuda del sistema de recirculación de los gases de escape. En los motores TDI de Audi, el sistema EGR realimenta una gran parte de los gases de escape a las cámaras de combustión; de este modo se reduce el porcentaje de aire del exterior rico en oxígeno, y las temperaturas de la combustión bajan.



Audi introdujo el EGR ya en su primer TDI: el cinco cilindros de 2,5 litros lo incorporó en su versión del año 1994. Con el objetivo de incrementar el efecto, casi todos los motores actuales incorporan un sistema refrigerado. Los gases de escape fluyen en su camino de regreso hacia el motor a través de un radiador de agua. El nuevo 2.0 TDI y el futuro 1.4 TDI combinan un sistema EGR refrigerado con otro sin refrigerar.

Técnica de cuatro válvulas

Los motores con cuatro válvulas tienen un funcionamiento más eficiente que los motores con dos válvulas, ya que el intercambio de gases se lleva a cabo más rápido y su índice de llenado es superior. Quemán mejor el combustible, y con ello obtienen una mayor potencia y par motor con un consumo y unas emisiones reducidos.

Audi presentó la técnica de cuatro válvulas con dos árboles de levas en cabeza en un diésel en el año 1997, con el V6 TDI de 2,5 litros. Esta técnica permitió colocar la tobera de inyección en el lugar ideal, justo en el centro de la cámara de combustión. Otra gran ventaja fueron los dos canales de admisión. En el canal de turbulencia, el aire aspirado forma un remolino con carga y regímenes bajos, lo que incrementa el par motor. El canal tangencial proporciona un gran dinamismo al reducir las resistencias con regímenes elevados.

Turbocompresor de gases de escape

Un turbocompresor se compone de una turbina, accionada por el caudal de los gases de escape, y de un compresor para el aire de aspiración. Ambos componentes están situados uno frente al otro en un eje conjunto, y su velocidad de giro máxima puede alcanzar más de 200.000 rpm. Los turbocompresores de Audi generan una presión de sobrealimentación relativa de hasta 2,2 bares; en teoría, el 3.0 TDI biturbo comprime a plena carga 1.200 m³ de aire a la hora.

A los monoturbo y al biturbo que conforman la oferta de Audi se unirá próximamente el biturbo eléctrico. Audi sigue perfeccionando a toda marcha la tecnología turbo en todos los ámbitos con el objetivo de mejorar la respuesta, el rendimiento, el peso y la acústica. Las inyecciones previas se encargan de incrementar suavemente la presión, con lo que se consigue una combustión silenciosa; las inyecciones posteriores reducen las emisiones de gases contaminantes y sirven también para la regeneración del filtro de partículas.

- Fin -

Información y fotos en las websites de prensa de Audi <http://prensa.audi.es> o en www.audi-mediaservices.com/en