23

Eure!TechFLASH

LA MIRADA EN DETALLE MÁS ACTUALIZADA
A LAS INNOVACIONES DEL AUTOMÓVIL

EDICIÓN 23

Cylinder Disconnect technology

EN ESTE NÚMERO

INTRODUCCIÓN 2

ORIGEN Y DESARROLLO DE LA DESCONEXIÓN DE CILINDROS 3

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO 4

DESCONEXIÓN DE CILINDROS POR DESPLAZAMIENTO DE LEVAS 5

OTROS SISTEMAS DE DESCONEXIÓN DE CILINDROS 12

AVERÍAS COMUNES 14

EureTechFlash es una publicación de AD International (www.ad-europe.com)

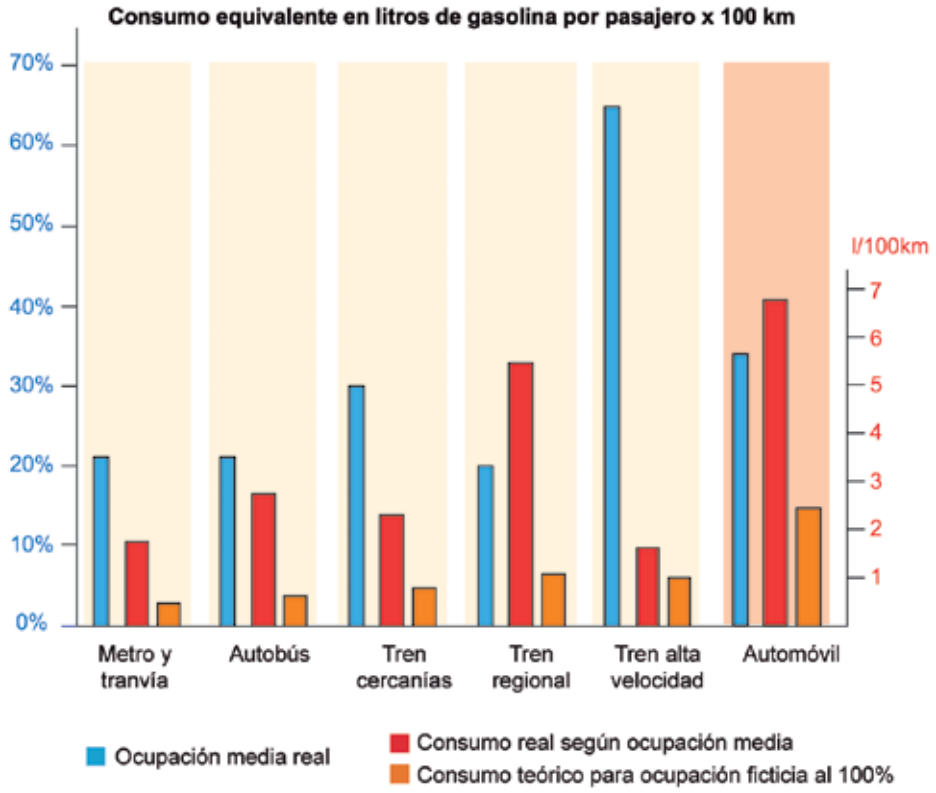
Descarga todas las ediciones EureTechFlash en

www.eurecar.org

INTRODUCCIÓN

En algún momento del año 2010 el número de automóviles en circulación superó el billón de unidades y se calcula que, con una producción cercana a los 100.000.000 de unidades anuales, en el año 2035 esta cifra será de 1.8 billones aproximadamente.

El automóvil es el medio de transporte terrestre de mayor consumo energético por persona y kilómetro para tasas de ocupación tanto reales como máximas. Resulta por ello el más ineficiente y de mayor coste económico, tanto para el usuario como para la sociedad, siendo también el que mayores emisiones contaminantes emite a la atmósfera.



En lo referente al efecto invernadero y el recalentamiento global, los vehículos de menor capacidad y propulsados por motores de combustión resultan los que mayores cantidades de CO_2 por pasajero producen, penalizando particularmente los automóviles de turismo por su elevada relación masa-prestaciones.

Las emisiones de sustancias contaminantes se han convertido en los últimos años en un problema de salud pública que las autoridades de los diferentes países intentan solucionar mediante normas de homologación cada vez más restrictivas, revisiones periódicas de los vehículos más exigentes y políticas de renovación del parque automovilístico.

La inclusión reciente de valores límite para las emisiones de CO_2 en las normas de homologación ha propiciado la evolución técnica de los motores térmicos y el desarrollo de nuevas tecnologías para la reducción del consumo de combustible y por ende de las emisiones. Innovaciones como el Start & Stop, los sistemas hidráulicos pilotados electrónicamente o los alternadores de carga inteligente, reducen el trabajo y las cargas subsidiarias del motor para aumentar su eficiencia.

La gestión térmica del motor y la reducción de las pérdidas de calor es uno de los aspectos más evolucionados en los últimos tiempos.

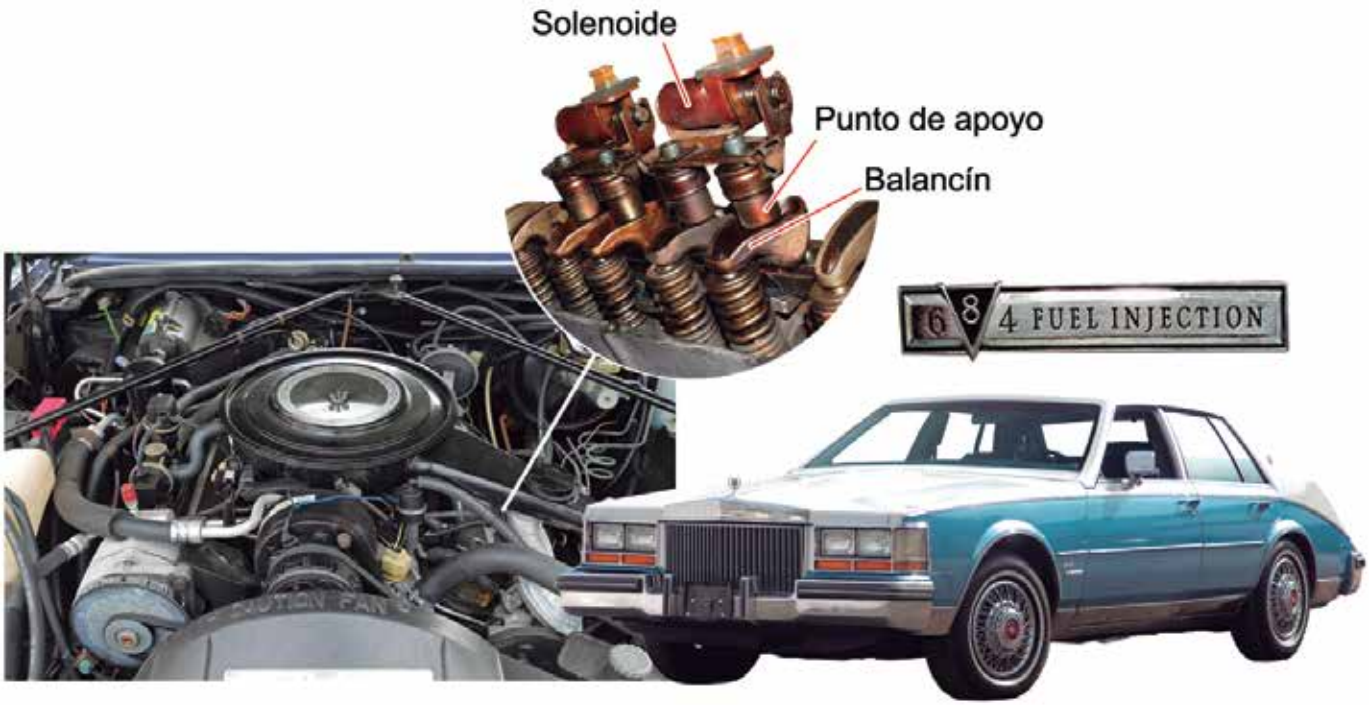
La desconexión selectiva de cilindros es una de las medidas adoptadas por los fabricantes para reducir todavía más las emisiones y el consumo de sus motores. Consiste en inhabilitar parte de los cilindros del motor en determinadas situaciones de funcionamiento e incrementar el trabajo de los restantes para lograr un mayor aprovechamiento de la energía del combustible. La desconexión de los cilindros reduce las pérdidas térmicas a la vez que mejora la transformación de la presión de combustión en par de giro cuando la potencia necesaria es baja, situación bastante habitual en recorridos urbanos y extraurbanos a velocidad moderada sostenida.

Aunque la implantación generalizada de esta tecnología es relativamente reciente, la idea de la desconexión selectiva de cilindros cuenta ya con varios años de desarrollo y comercialización por parte de varias marcas bajo diferentes denominaciones. Podemos mencionar como ejemplos el sistema ACT (Active Cylinder Technology) de Volkswagen o el ZAS (Zylinderabschaltung - sistema de control activo de los cilindros) de Mercedes, equipados en motores V8 y V12 desde principios de siglo.

ORIGEN Y DESARROLLO DE LA DESCONEXIÓN DE CILINDROS

En verano de 1967 la expansión militar por la zona fronteriza con Israel de los países vecinos y el bloqueo del Estrecho de Tiránun por parte del ejercito Egipcio culminó con el ataque aéreo Israelí sobre las fuerzas de Siria y Egipto que dio inicio al conflicto bélico conocido como la "Guerra de los 6 días". Las consecuencias comerciales de esta guerra condujeron a la **crisis del petróleo de 1973**, cuando la Organización de Países Árabes Exportadores de Petróleo decidió no exportar más petróleo a los países que habían apoyado a Israel durante el conflicto. Esta medida incluía a EEUU y sus aliados de Europa Occidental.

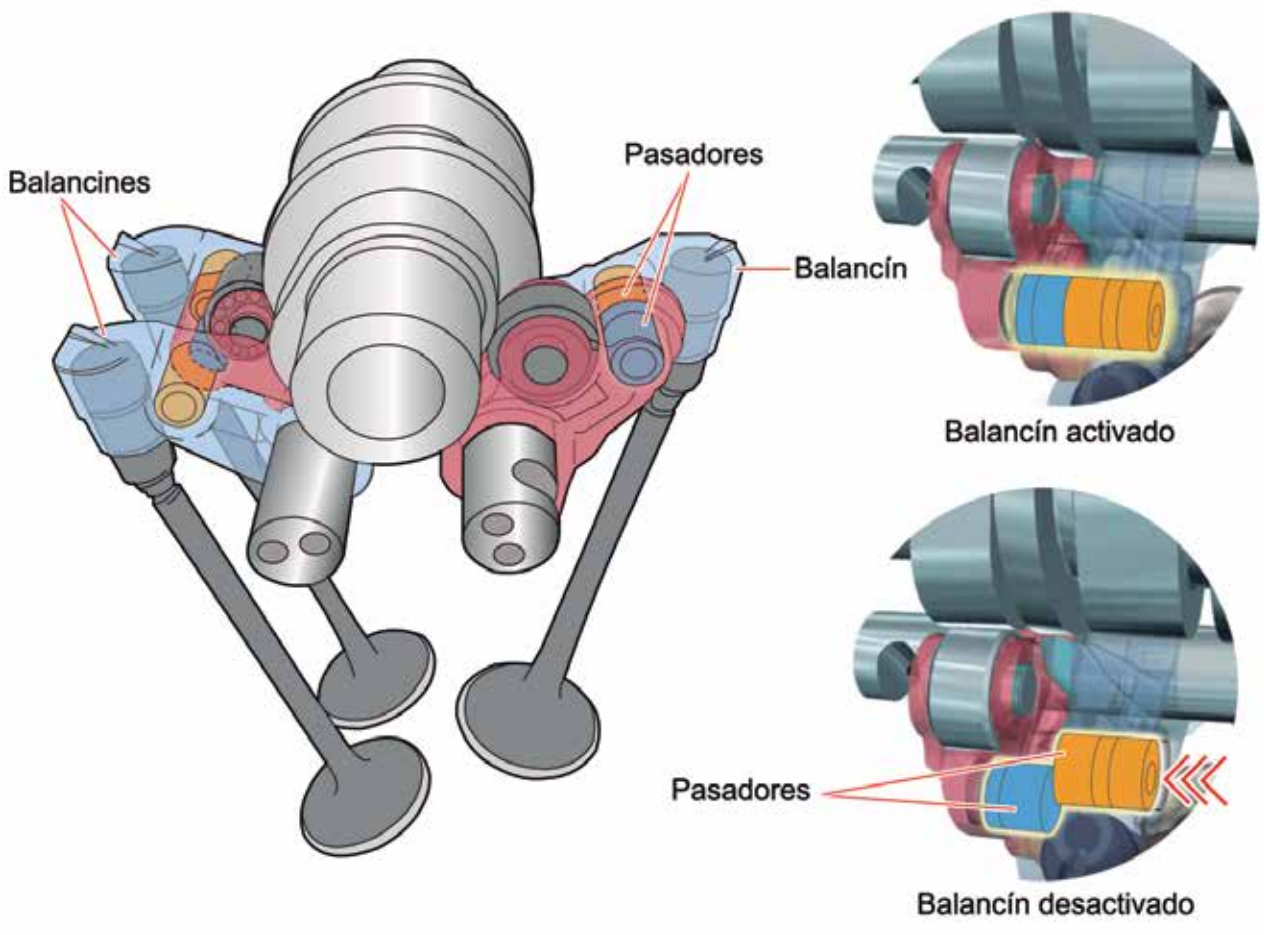
El aumento del precio de esta materia prima y la gran dependencia de la industria de la misma, produjo un fuerte impacto económico en estos países, obligando tanto a empresas como a particulares al ahorro energético. En 1975 Estados Unidos, como respuesta institucional en la misma línea dentro del programa CAFE (Corporate Average Fuel Economy) implementó en el sector de la automoción nuevos estándares de homologación que obligaban a la reducción del tamaño y los motores de los automóviles para lograr un consumo de combustible máximo de 9 litros por cada 100 km recorridos. Ante la necesidad de reducir el consumo de combustible, la empresa estadounidense **General Motors** en colaboración con la **Eaton Corporation** desarrolló, presentó y comercializó el primer vehículo con sistema de desconexión de cilindros en 1981.



El vehículo en cuestión fue un **Cadillac Eldorado** equipado con un motor **L62 evolucionado denominado V8-6-4**, que según la carga solicitada podía trabajar con 4, 6 u 8 cilindros, utilizando la totalidad de los mismos solo en los momentos de arranque o fuertes aceleraciones. En situación de ralentí y bajas rpm el motor trabaja con 4 cilindros, mientras que a medio régimen se suman dos cilindros al funcionamiento. Para lograrlo, una unidad de mando acopla o desacopla los balancines que transmiten el movimiento a las válvulas de sus respectivos puntos de pivote mediante unos solenoides. Sin punto de pivote, el balancín no bascula y no empuja la válvula, mientras que si se habilita el punto de apoyo el sistema vuelve a su funcionamiento habitual.

El sistema dejó de utilizarse tan solo un año después de su introducción en el mercado (120.000 unidades producidas) por la escasa precisión de la electrónica encargada de su activación y su escasa fiabilidad mecánica, que junto a las vibraciones que producía generaron numerosas reclamaciones en postventa y un rápido rechazo comercial. Pese al mal inicio, tras el desarrollo suficiente de los sistemas electrónicos para la gestión integral del motor, la desconexión de cilindros volvió a despertar el interés de algunos fabricantes casi dos décadas después.

En 1999 **Daimler Chrysler** fue el segundo fabricante en aplicar este concepto en serie sobre sus modelos CL600, S600 y CL500 con motores DOHC V12 de 6.0 litros o V8 de 5.0 litros. El V12 tenía dos modalidades de funcionamiento, trabajando con 12 cilindros o 6; mientras que el V8 podía funcionar con 8 o 4. El sistema empleado para desactivar las válvulas difería bastante del usado en el Cadillac. En vez de utilizar un sistema que inhabilita el punto de apoyo o pivote del balancín, Mercedes utilizó un balancín partido conectado mediante unos pasadores de unión controlados hidráulicamente mediante electroválvulas.



Además, en este motor se utiliza un sistema de inyección de combustible secuencial que corta el suministro de combustible a los cilindros que están mecánicamente "desactivados". Esta solución corrige otro de los defectos del sistema empleado por Cadillac, que era la condensación y acumulación del combustible en los conductos de admisión de los cilindros desactivados que se producía en el motor V8-6-4 alimentado por carburador.

En los años siguientes otros fabricantes desarrollaron sus sistemas de desconexión de cilindros, basados en todos los casos en mantener todas las válvulas del cilindro cerradas, condición indispensable para evitar interferencias perjudiciales en los flujos de escape y de admisión del motor.

Inicialmente fueron aplicados en motores atmosféricos de gran cilindrada y muchos cilindros por su intrínseca facilidad para mantener una secuencia de encendido regular y giro sin vibraciones. Utilizando pasadores en los balancines, taqués hidráulicos de longitud variable, o levas desplazables axialmente sobre el árbol de levas, la desconexión de varios cilindros reducía instantáneamente la cilindrada efectiva de los motores y por ende, su consumo.

En la actualidad podemos encontrar esta tecnología en motores de baja cilindrada y menor número de cilindros como el motor 1.4 TSI ACT de VW. Su aplicación permite reducir las emisiones de CO_2 en los ciclos de homologación urbano e interurbano, lo cual posibilita el desarrollo de motores de mayores prestaciones. No obstante, para su correcta integración y funcionamiento requieren un buen número de medidas adicionales y estrategias de funcionamiento específicas para reducir la vibración.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

La desconexión de cilindros tiene el objetivo de reducir las emisiones del motor durante su funcionamiento a baja carga, situación de trabajo que resulta cada vez más habitual en la utilización cotidiana de los vehículos de turismo.

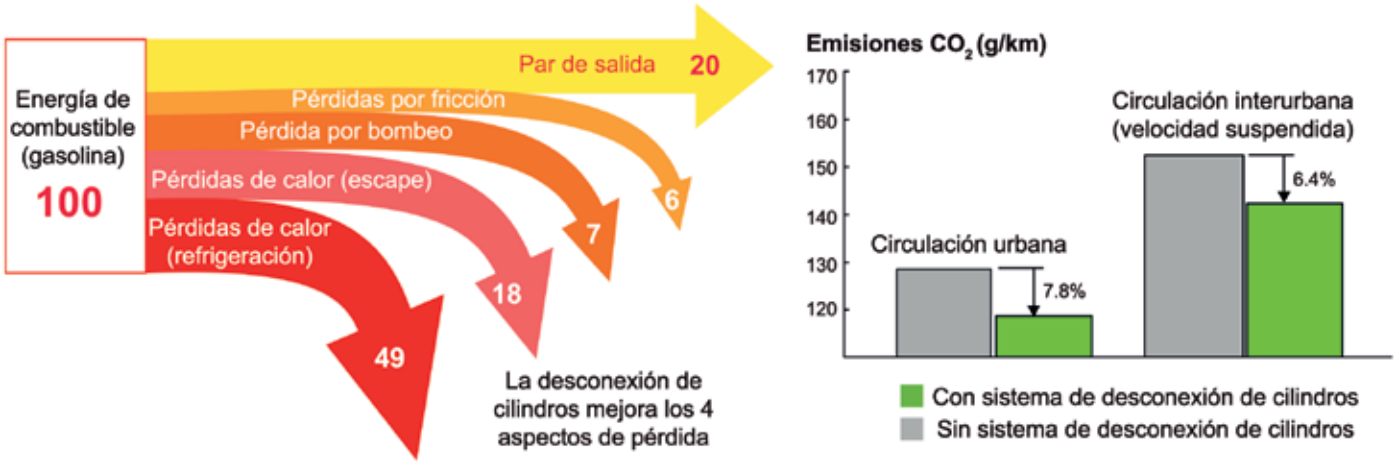
La limitación en la velocidad de las vías y el aumento en las prestaciones de los vehículos provocan que la potencia necesaria durante la circulación, particularmente en entornos urbanos o con elevada densidad de tráfico, no supere el 30% de la disponible buena parte del tiempo de servicio.

En este contexto de trabajo, el elevado par motor disponible permite circular a bajo régimen, de tal modo que la mariposa de admisión está casi cerrada limitando el caudal de aire que succionan los cilindros. Esto provoca una ineficiencia energética conocida como pérdida de bombeo, consecuencia de la energía necesaria para lograr el desplazamiento del aire a gran velocidad a través de una apertura de reducidas dimensiones.

La velocidad de desplazamiento del pistón es extremadamente variable durante el tiempo de admisión, partiendo de cero y acelerando hasta media carrera descendente y decelerando hasta cero nuevamente al alcanzar el PMI, lo cual provoca un flujo pulsatorio de velocidad variable y determinados fenómenos de resonancia en el volumen del colector de admisión que dificultan el llenado de los cilindros particularmente a bajo régimen.

El llenado parcial de los cilindros implica una presión final de compresión reducida y una cantidad de materia reactiva reducida también, que combustiona en una fracción de tiempo mínima con escasa posibilidad de transformar la presión en par de giro por el reducido ángulo existente entre la biela y el codo del cigüeñal.

La superficie de contacto de la combustión con la cámara de combustión es mayormente la cabeza del pistón y la culata, el primero refrigerado por el aceite y la segunda por el líquido de refrigeración. A bajo régimen el tiempo entre combustiones sucesivas en un mismo cilindro es mayor que a alto régimen con lo cual la refrigeración de ambos elementos es máxima, su temperatura al inicio de la combustión comparativamente más baja y la absorción de calor que realizan mayor. Las pérdidas de calor reducen la presión en el interior de los cilindros y la transformación de la energía del combustible en par motor.



Los sistemas de desconexión de cilindros fueron diseñados para reducir en lo posible estas pérdidas energéticas desactivando parte de los cilindros y haciendo que los restantes trabajen con más carga, aumentando la apertura de la martiposa de gases para conseguir así el mismo rendimiento mecánico. Reduciendo las pérdidas por bombeo y concentrando la combustión de la mezcla en un menor número de cilindros se reducen las pérdidas energéticas y aumenta el rendimiento de la transformación de presión de los gases en par de giro, con lo cual, se obtiene la misma fuerza quemando menos combustible.

En combinación con sistemas de inyección directa, la concentración del combustible inyectado en menor número de cilindros permite además trabajar con presiones de inyección más elevadas logrando una homogeneización de la mezcla mayor y una combustión más completa.

La desactivación de los cilindros implica mantener las válvulas de admisión y escape cerradas. En esta situación la hermeticidad del cilindro produce un efecto de resorte neumático que reduce la pérdida de velocidad que provoca el espaciamiento de las combustiones.

Sin llenado ni carga adicional, la compresión y descompresión de los gases atrapados tiene un efecto energético igualador. La no renovación de los gases en los cilindros desconectados y su contacto durante largo tiempo con las paredes del cilindro y la culata mantiene una temperatura suficiente de los mismos que facilita la reactivación en condiciones de combustión completa y con gran suavidad, logrando un cambio de modo de funcionamiento casi inapreciable por el conductor.

Para desconectar los cilindros, varios fabricantes como Mercedes, Porsche, SEAT, Audi y Volkswagen, utilizan unos actuadores ubicados sobre los árboles de levas que desplazan lateralmente las levas e impiden su incidencia sobre las válvulas.

A continuación se explicará en detalle este sistema, cuya principal ventaja reside en la activación electro-mecánica que evita los defectos de los sistemas de control electrohidráulico.

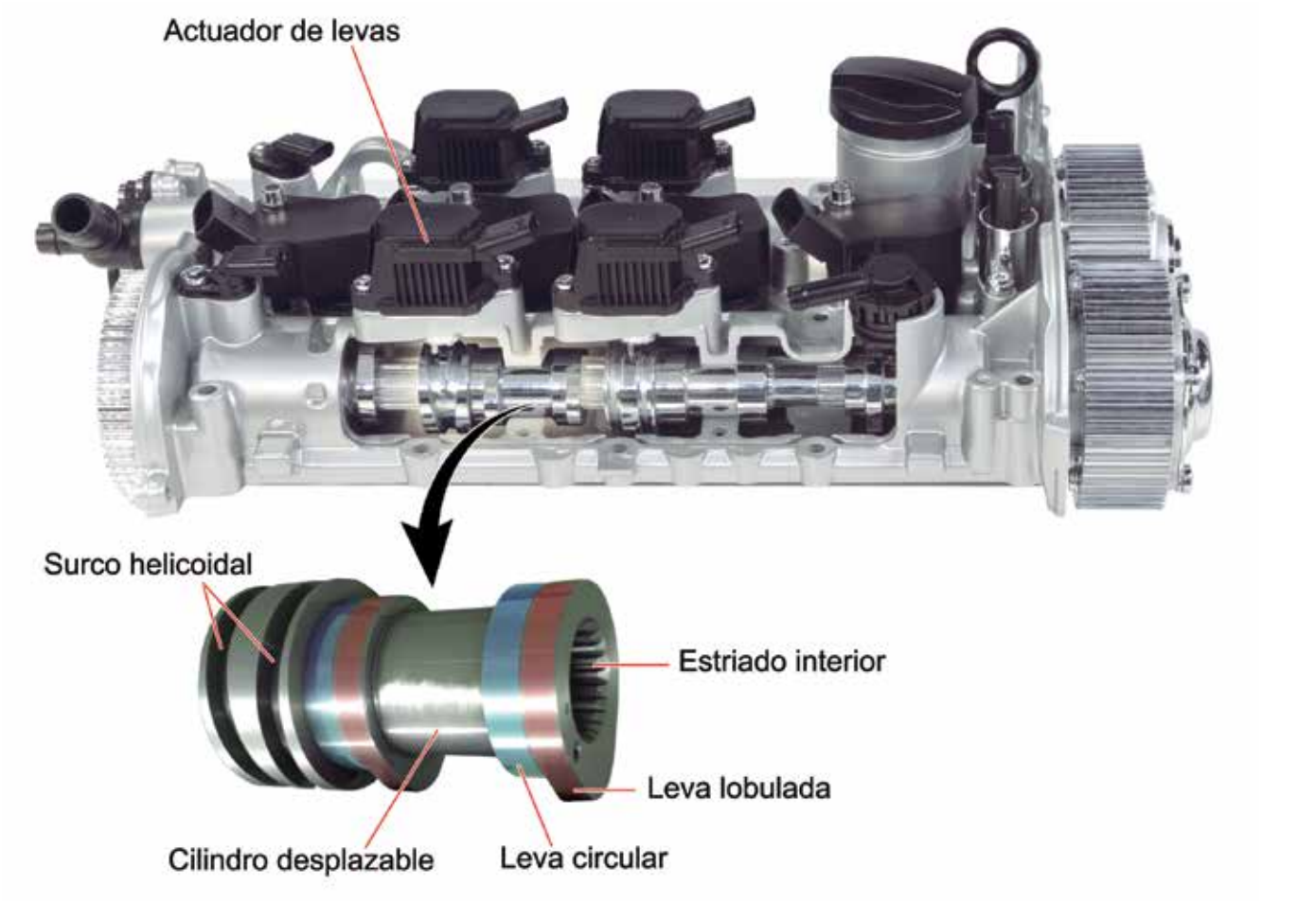
DESCONEXIÓN DE CILINDROS POR DESPLAZAMIENTO DE LEVAS

Descripción del sistema

La versatilidad de aplicación de este sistema es una de sus principales bazas, puesto que se puede adaptar a un buen número de motores existentes con modificaciones únicamente en la culata y la gestión del motor. Por este motivo es uno de los sistemas más utilizados en la actualidad. Se puede encontrar tanto en motores de gran cilindrada (Mercedes AMG M177 V8 de 4.0 litros) como de capacidad reducida (motor 1.4 ACT de VW).

Este último, de 4 cilindros, puede funcionar con tan solo 2 cilindros en los momentos de baja carga, concretamente los cilindros 1 y 4. Tanto las válvulas de admisión como las de escape de los cilindros 2 y 3 se mantienen cerradas a la vez que la unidad de control del motor mantiene el sistema de inyección y el sistema de encendido de estos cilindros inactivo.

Para conectar o desconectar las válvulas y sus respectivos cilindros se utilizan dos levas diferentes por válvula, una de ellas lobulada y la otra circular, que alternan su posición. Ambas levas están mecanizadas sobre un cilindro de estriado interior, que puede desplazarse axialmente sobre el estriado complementario realizado en el eje del árbol de levas. El perfil continuo de la leva circular coincide con el perfil mínimo de la leva lobulada para mantener invariable la posición de trabajo de los empujadores de válvulas y los taqués hidráulicos en todo momento.

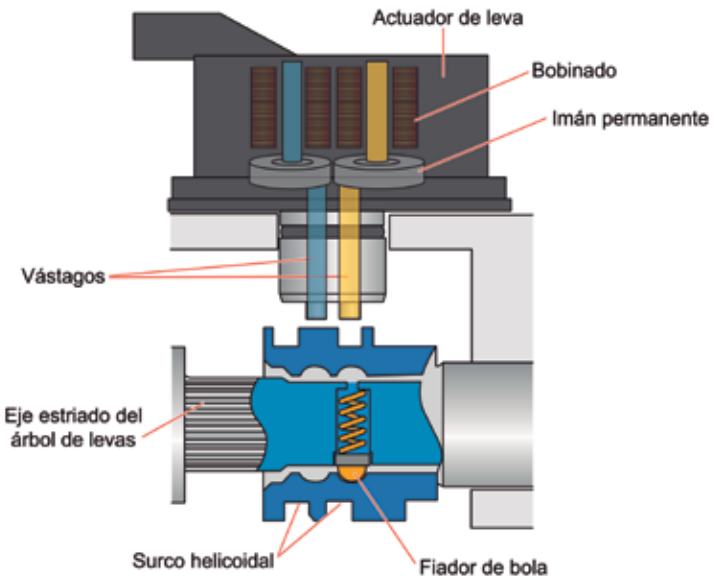


La fijación del cilindro de levas en una posición concreta se realiza mediante un fiador de muelle y bola y su desplazamiento axial se logra por la acción de uno de los dos vástagos del actuador de desconexión (actuador de levas) sobre un surco helicoidal mecanizado en el propio cilindro de levas.

De este modo el actuador solo trabaja en los momentos de cambio de posición y en ningún momento contra las fuerzas de los muelles de válvulas, logrando la desactivación/activación de la válvula en tan solo media vuelta del árbol de levas, sincronizada con las carreras de compresión-explosión del cilindro afectado (1 vuelta de cigüeñal), proporcionando otra de las ventajas de este sistema. La desconexión y conexión real de los cilindros se gestiona electromagnéticamente mediante elementos independientes y se materializa de forma totalmente mecánica, sincronizando de forma inequívoca e invariable los momentos de cambio de estado de las válvulas con la posición del pistón.

En todos los casos es necesario un actuador doble para la válvula de admisión y otro para la de escape de cada cilindro, siendo posible utilizar el mismo en motores de 4 válvulas por cilindro disponiendo un cilindro desplazable con levas gemelas.

En los motores de 4 cilindros se utilizan un total de 4 actuadores y 8 electroválvulas para la desconexión de las levas de admisión y escape de los cilindros 2 y 3, alternos en el orden de encendido del motor.



Modo dos cilindros

Para lograr el cambio de posición del cilindro desplazable la unidad de control del motor alimenta con polaridad definida la bobina electromagnética correspondiente. La repulsión entre el campo magnético creado por la corriente suministrada y el del imán permanente del pasador provoca el desplazamiento de este y la introducción de su índice en la ranura mecanizada del cilindro desplazable. La rotación del árbol de levas junto al perfil helicoidal de la ranura obliga al cilindro de levas a desplazarse axialmente, alineando la leva circular con el empujador de la válvula. El perfil continuo y diámetro invariable de la leva anula el movimiento normalmente alternativo de la válvula. Tras una vuelta completa de cigüeñal, la unidad de control corta la alimentación eléctrica del bobinado y el vástago regresa a su posición original por el diámetro creciente del canal mecanizado en los 180º siguientes de rotación del árbol de levas.

La atracción magnética entre el imán permanente del pasador y la carcasa metálica de la bobina mantiene el mismo en su posición de reposo sin necesidad de elementos adicionales, mientras que el fiador de bola fija el cilindro de levas en su posición hasta la activación.

Modo cuatro cilindros

Cuando se requiere el funcionamiento de los cuatro cilindros, la unidad alimenta el bobinado contrario del actuador de válvulas. La repulsión magnética desplaza el pasador de activación que provoca el movimiento del cilindro de levas en dirección opuesta a la anterior, justo en el tiempo en que los perfiles circular y lobulado coinciden. En la siguiente media vuelta del árbol de levas la válvula será accionada por la leva de perfil variable, produciendo el desplazamiento alternativo de la misma.

Condiciones de activación

En los motores 1.4 TSI ACT de VW para poder iniciar el funcionamiento del sistema se deben cumplir los siguientes requisitos:

- Las vueltas del motor deben mantenerse constantes y encontrarse, aproximadamente, entre 1250 y 4000 rpm.
- El par de trabajo actual y objetivo deben ser inferiores a 85 Nm.
- La temperatura del aceite del motor debe ser superior 10 °C.
- La regulación lambda de la mezcla debe estar en orden y activa, para un control de correcto y suave durante los cambios.

Por otro lado, el sistema no puede funcionar si se da una de las condiciones siguientes.

- Conducción deportiva con cambios continuos de la relación de marcha.
- Solicitud de aceleración que implique un par solicitado superior a los 85 Nm.
- Cuando el vehículo requiere freno motor, (par motor solicitado negativo), por ejemplo en una pendiente descendiente o deceleración.
- La demanda de calor del climatizador es alta y no se alcanza la temperatura de regulación del aire mínima.

Ventajas y desventajas

Ventajas del sistema:

- Reducción del consumo dependiendo de la motorización entre un 10 y un 20 %, dependiendo también del tipo de conducción.
- Mayor eficiencia térmica del motor y combustión más completa. Menor producción de contaminantes y de emisiones de CO_2 a la atmósfera.

Desventajas del sistema:

- Confort de la marcha, al desactivar y activar el sistema se aprecia un pequeño cambio en el comportamiento/sonido del motor.
- Desgaste irregular entre los componentes en contacto directo con la combustión, tales como cilindros, válvulas y sus asientos, bujías, etc.
- Actuadores y guías de selección de funcionamiento. Mayor número de elementos a diagnosticar en cuanto a electrónica y mecánica.

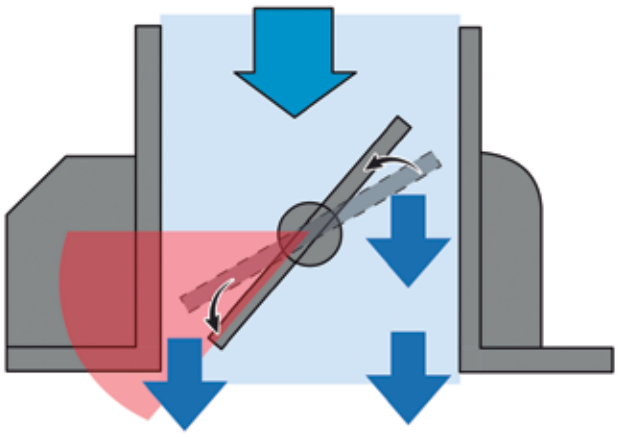
Proceso de desconexión

La desactivación de los cilindros 2 y 3 se logra en tan solo una vuelta completa del árbol de levas (2 del cigüeñal), en unos pocos milisegundos, sin variaciones de fuerza ni saltos, de tal forma que el conductor no percibe prácticamente el cambio de modo de trabajo del motor. Para ello el sistema sigue un orden de operación diseñado para mantener el par motor y el valor lambda 1 de regulación.

Las fases del proceso de desactivación son las siguientes:

1. **Regulación de apertura de la mariposa de gases - funcionamiento 4 cilindros:** Previamente a la desconexión de cilindros, es necesario asegurar que los cilindros que se mantendrán trabajando reciban la cantidad necesaria de aire necesaria para mantener el par motor actual.

   Para lograrlo la unidad de control gestiona la apertura de la válvula de mariposa de modo que los cilindros 1 y 4 recibirán aproximadamente el doble de aire. Estando conectados y trabajando todavía los cuatro cilindros, se produciría un aumento del par de giro considerable y la aceleración del motor. Para evitarlo, la unidad electrónica retrasa momentáneamente el momento de encendido para reducir la presión en las cámaras de combustión. Se consigue de este modo mantener el par de giro estable trabajando con mayor entrada de aire.



2. **Desconexión de las válvulas de escape - funcionamiento 2 cilindros:** Tras la expulsión de los gases de escape, 360º de rotación del cigüeñal después del momento de encendido (atrasado), la unidad de control del motor excita las electroválvulas de desconexión correspondientes para desplazar sus cilindros de levas a la posición de trabajo nulo. Las levas circulares de cada conjunto se posicionan encima de los balancines de rodillo correspondientes, anulando el movimiento alternativo de las válvulas de escape, que se mantienen cerradas por acción de sus muelles.

3. **Desconexión de inyección y encendido - funcionamiento 2 cilindros:** en el mismo instante la gestión electrónica interrumpe el encendido y la inyección de los cilindros regulados, impidiendo de este modo cualquier posibilidad de combustión en su interior.

4. **Desconexión de las válvulas de admisión - funcionamiento 2 cilindros:** La unidad de control realiza la alimentación de los actuadores de desconexión de las válvulas de admisión 180º de rotación del cigüeñal después que las de escape. El desfase en la excitación eléctrica y el sincronismo mecánico entre el árbol de levas y el cigüeñal garantizan de este modo el llenado del cilindro y aseguran la desconexión de las válvulas de admisión en el tiempo de compresión del cilindro. El aire atrapado en los cilindros produce el efecto resorte que mantiene en parte la frecuencia de la variación de velocidad angular del cigüeñal.

5. **Reglaje del encendido – funcionamiento 2 cilindros:** Durante la desconexión de los cilindros 2 y 3 la unidad de control del motor regula el momento de encendido de los cilindros 1 y 4 en avance para conseguir el máximo rendimiento de los mismos y obtener el mismo par motor existente antes de la desconexión.

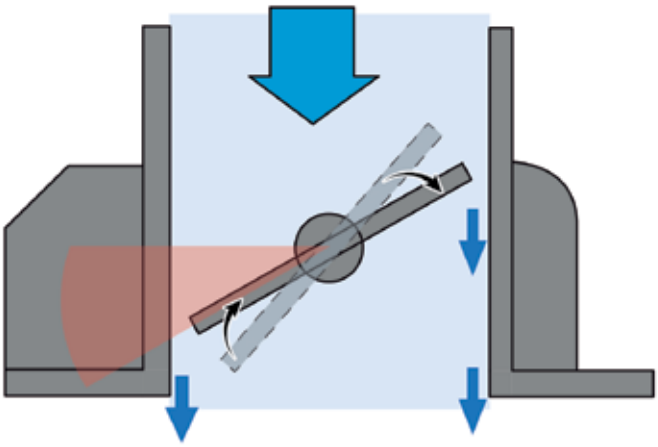
   La desconexión completa de cada cilindro se produce en tan solo dos vueltas de cigüeñal, por tanto en un único ciclo de trabajo de cada uno de los cilindros desconectados, garantizando que el cilindro queda lleno con una cantidad más que suficiente de aire (último ciclo de llenado con apertura de mariposa “doble”) para lograr el efecto muelle suficiente especialmente durante y justo después de la desconexión, que reduce la intensidad del cambio de frecuencia de las combustiones y la variación de velocidad angular del cigüeñal.

Proceso de conexión

Cuando la conducción, la necesidad de par motor o el estado del vehículo impiden mantener el modo de trabajo en dos cilindros, la unidad de mando del motor inicia el proceso de conexión de los cilindros 2 y 3, siguiendo para ello una secuencia específica diseñada para conseguir la mayor suavidad en el cambio de modo de trabajo del motor.

La secuencia de activación comprende las regulaciones siguientes:

- **Conexión de las válvulas de escape – funcionamiento a 4 cilindros:** la unidad de control envía las señales de activación a las electroválvulas de los cilindros 2 y 3, 180º antes del PMS del tiempo de trabajo de cada cilindro para el desplazamiento de los cilindros de levas de escape a la posición de trabajo. Las levas con perfil variable de cada conjunto se posicionan encima de sus balancines correspondientes, activando así el movimiento alternativo de las válvulas de escape. Una vuelta de cigüeñal después de la excitación se produce la primera carrera de escape efectivo en el cilindro en proceso de conexión, que expulsa el aire contenido en el cilindro al escape del motor.
- **Regulación lambda – funcionamiento en 2 cilindros:** El aire desalojado por los cilindros en proceso desconexión modificaría momentáneamente el factor lambda de los gases de escape a mezcla pobre valor **λ>1**. La efectividad del catalizador de 3 vías, particularmente en la reducción de NOx, depende directamente de la estequiometria de los gases de escape, motivo por el cual la unidad de control del motor aumenta en el momento de la conexión la cantidad de combustible inyectado en los cilindros activos para impedir el empobrecimiento de los gases de escape. Los hidrocarburos y el CO resultantes de la combustión de una mezcla rica en los cilindros 1 y 4 consumen el oxígeno expulsado por los cilindros 2 y 3.



- **Control de válvulas de admisión – funcionamiento a 4 cilindros:** 180º de rotación de cigüeñal después de la excitación de los actuadores de escape, la unidad alimenta en orden de trabajo las bobinas de conexión de los actuadores de admisión. Los cilindros de levas se desplazan axialmente situando la leva de trabajo sobre su balancín correspondiente para recuperar el movimiento alternativo de las válvulas de admisión. La apertura de las válvulas permite el llenado de los cilindros en el tiempo de admisión, con la mariposa de admisión todavía en posición de apertura aumentada.
- **Regulación de encendido – funcionamiento a 4 cilindros:** La unidad gestiona la inyección en proporción **λ**=1 sobre todos los cilindros y retrasa el punto de encendido para evitar un aumento repentino del par motor, consiguiendo así la progresividad en el cambio de modo de trabajo del motor.
- **Regulación de apertura de la mariposa de gases - funcionamiento a 4 cilindros:** Se gestiona el cierre progresivo de la mariposa de admisión a la vez que se avanza el encendido para lograr el par motor prescrito. El par motor objetivo que motiva la "reconexión" de los cilindros suele ser creciente y siempre mayor al existente al iniciar la regulación. El avance del encendido permite obtener el rendimiento necesario de forma casi instantánea, lo cual facilita el cierre "progresivo" de la mariposa para un cambio de modo de trabajo progresivo manteniendo la regulación estequiométrica de la mezcla.

Principales sensores y actuadores del sistema

Sensores de los árboles de levas: Sensor Hall que informa de la fase de trabajo y posición exacta de los árboles de levas juntamente con la señal del sensor de posición del cigüeñal. Permite el accionamiento de los actuadores de levas cuando las válvulas se encuentran cerradas y con margen de giro suficiente para el cambio de leva sin fuerzas contrarias por parte de los muelles de válvulas.

Sensor de presión y temperatura del colector de admisión: La presión en el colector de admisión resulta muy variable durante la regulación de conexión y desconexión de los cilindros. Este sensor permite regular la posición de la mariposa de admisión y calcular el llenado efectivo de los cilindros.

Actuadores de levas: Son los encargados de desplazar los cilindros de levas axialmente y solo trabajan durante los momentos de cambio de estado. La unidad de control reconoce el trabajo efectivo de los pasadores de accionamiento por la señal inductiva de retorno que produce el desplazamiento del imán permanente a su posición de reposo gracias al perfil creciente de la rampa de retorno mecanizado en el cilindro portalevas.

La existencia de la señal autoinducida indica que se ha producido el desplazamiento de retroceso y por ende que se produjo con anterioridad el de avance en el momento de la activación.

Sensor de posición y régimen del cigüeñal. De tipo Hall también realiza la lectura del régimen y posición angular del cigüeñal del motor para poder realizar la activación del sistema de desconexión de cilindros y la gestión tanto del momento de encendido como de la inyección.

Mariposa de gases y mando electrónico del acelerador: La posición del pedal acelerador se utiliza para calcular el par motor demandado por el conductor, que se compara constantemente con el par motor instantáneo, para obtener el par motor objetivo. Si las condiciones lo permiten y el par motor objetivo puede conseguirse trabajando con solo dos cilindros la unidad determina la desconexión de los dos restantes, regulando la apertura de la mariposa para realizar el cambio de modo de trabajo de forma progresiva.

Nota: En caso de ausencia o error reconocido de las señales descritas anteriormente, el motor funcionará en modo cuatro cilindros, indicando, a través de un testigo en el cuadro de instrumentos, la avería en el sistema.

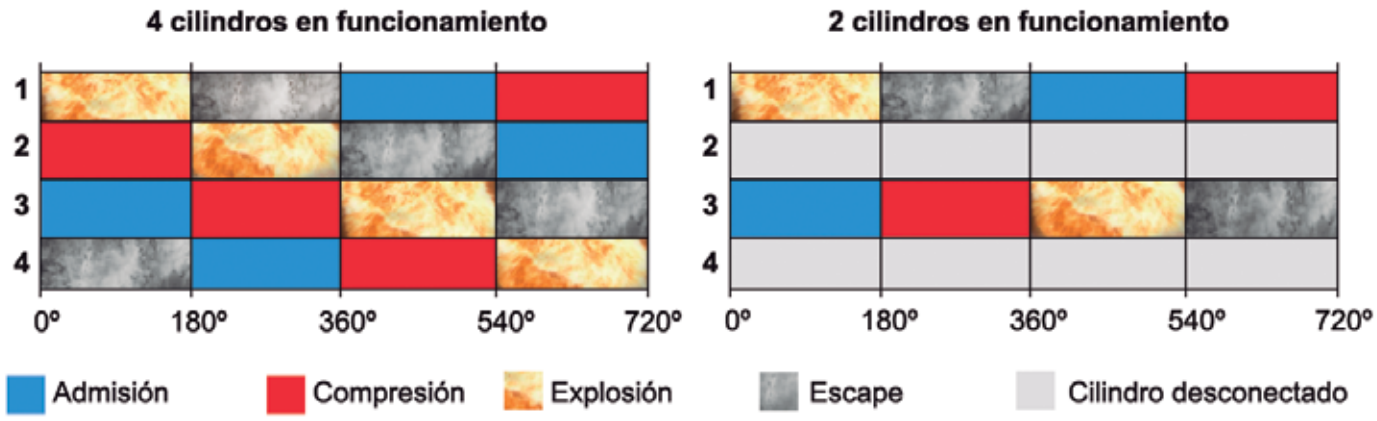
Modos degradados:
Si la unidad no recibe la señal de retorno de alguno de los actuadores de levas, interrumpe el ciclo de regulación del cilindro afectado. Cuando el actuador afectado es el de admisión, además invierte el estado de la válvula de escape para sincronizarlo de nuevo con la válvula de admisión para impedir el funcionamiento del motor con un cilindro con admisión "activa" pero sin escape (gases de escape e hidrocarburos a la admisión) o con escape activo pero sin admisión (combustible directo al escape). Por lo tanto el motor funcionará en 3 cilindros si el fallo se produce en la regulación de desconexión (un cilindro no desconecta) y en 3 cilindros si se produce en la regulación de conexión (un cilindro no conecta), registrando la avería correspondiente e inhabilitando el sistema hasta el siguiente ciclo de marcha.

El arranque del motor, se efectúa siempre en modo cuatro cilindros activos. Si el fallo del actuador persiste será en 3 cilindros y si fuesen los actuadores de 2 cilindros, en modo 2 cilindros.

Características constructivas del motor

Uno de los inconvenientes más destacados de la desconexión de cilindros sobre motores de 4 cilindros en línea son las vibraciones y cambio de frecuencias que surgen cuando se desconectan o reaniman los cilindros. Cuando el motor funciona con los cuatro cilindros, tiene lugar dos encendidos por vuelta de cigüeñal, mientras que en el trabajo en desconexión solo se produce un encendido por vuelta, y en este caso en los extremos del cigüeñal.

Las resonancias acústicas tanto en admisión como en escape se producen a la mitad de la frecuencia habitual, siendo también más intensas por el trabajo con llenado aumentado de los cilindros activos.



Para lograr el confort de marcha necesario se aligera el tren alternativo del motor a la vez que se trabaja su rigidez estructural y perfecciona la estructura del montaje transversal al sentido de la marcha.

Se rediseñan los **soportes del motor** para minimizar las oscilaciones y evitar la resonancia de las vibraciones de baja frecuencia, que son las más perceptibles, impidiendo su transmisión a la carrocería y los ocupantes del vehículo.

Se utiliza también un **volante motor bimasa** para regularizar la transmisión del par motor a bajo régimen. Una masa inercial conectada mediante unos muelles al giro del cigüeñal acumula energía cinética durante los momentos de mayor par motor y la devuelve en los momentos de menor entrega de fuerza, suavizando la fuerza de giro que recibe el cambio de velocidades y el resto de los elementos del sistema de transmisión.

La alternancia de funcionamiento de una modalidad a otra, también obliga a reducir las pulsaciones de los gases quemados en la **línea de escape**. Para ello se modifica la sección y longitud de los tubos de escape, intercalando un silenciador intermedio, para evitar las frecuencias sonoras más bajas.

OTROS SISTEMAS DE DESCONEXIÓN DE CILINDROS

Sistema de desconexión por taqués hidráulicos

Se trata de un sistema bastante común que se utiliza por ejemplo en motores Mazda, como el empleado por el **CX-5 Skyactiv-G de 194 CV.** El principio de funcionamiento es el mismo que el explicado hasta ahora salvo el mecanismo de "anulación" de válvulas.

El accionamiento del árbol de levas a las válvulas se realiza a través de unos balancines de rodillos y unos taqués hidráulicos de longitud regulable. En uno de los extremos del balancín se ubica la válvula y en el otro el taqué hidráulico (el cual mantiene una holgura de 0 mm).

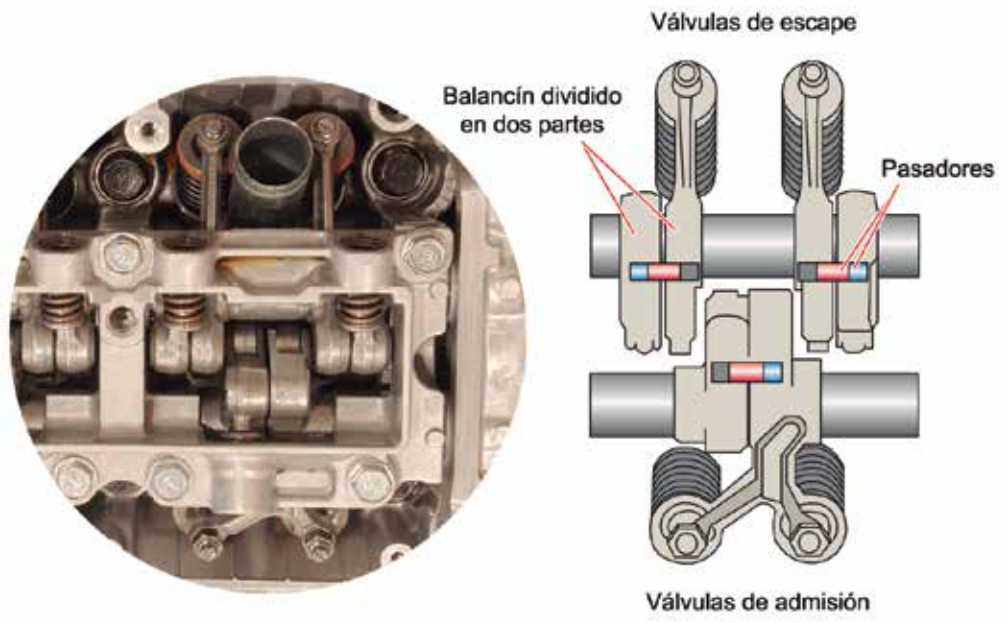
Cuando se dan las condiciones de trabajo para la desconexión, la unidad de control del motor desconecta dos de los cuatro cilindros. Para ello, envía una señal PWM a una electroválvula de control de aceite (OCV) para que libere la presión de los taqués hidráulicos pertinentes. Sin la rigidez de la presión hidráulica el taque absorbe el recorrido de las levas y el movimiento del balancín anulando así el desplazamiento alternativo de la válvula que se mantiene cerrada.

Para activar los 4 cilindros nuevamente, la unidad de mando del motor envía otra señal PWM a la electroválvula OCV para que los taqués hidráulicos vuelvan a recibir su presión hidráulica de trabajo. Con la presión interna necesaria los taques recuperan su función de punto de apoyo de forma que los balancines empujan a las válvulas correctamente.

A diferencia de los otros sistemas, la desconexión por taqués hidráulicos en Mazda se realiza en los cilindros 1 y 4, concentrando el trabajo en los cilindros centrales del bloque motor para reducir las vibraciones.

Sistema de desconexión por balancines

Es un sistema de desconexión utilizado por Honda con un principio de funcionamiento muy similar al sistema de alzado de válvulas i-VTEC, salvo que en este se desactivan los cilindros de forma selectiva según las condiciones de conducción. Un ejemplo de este sistema lo podemos encontrar en el modelo **Accord** con motor **J35A VCM**, que permite, pasar de 6 cilindros a 4 e incluso a 3, cuando las condiciones de trabajo lo permiten, maximizando el ahorro de combustible.



El sistema se basa en el empleo de balancines compuestos (dividido en dos partes) que se conectan o desconectan a través de unos pasadores controlados hidráulicamente. Una parte de los balancines trabaja sobre las válvulas, mientras que la otra recibe el movimiento del árbol de levas a través de un rodillo. En reposo, los pasadores ubicados en el interior de los balancines, mantienen ambas partes conectadas, de tal modo que los balancines basculan sobre su eje transmitiendo la variación de perfil de las levas a las válvulas.

Cuando se requiere la desconexión de los cilindros, la unidad de mando del motor envía una señal de activación a las electroválvulas para incrementar la presión de aceite en el interior de los balancines a través de las canalizaciones existentes en los ejes de balancines. La presión en el interior de los balancines provoca el desplazamiento de los pasadores cuando estos no realizan fuerza, es decir, con las válvulas en reposo, logrando la desconexión de las dos mitades del balancín que anula el alzado de las válvulas. Para la conexión de los cilindros, se reduce la presión hidráulica permitiendo el retorno de los pasadores a su posición original por la fuerza de los muelles de recuperación.

Cuando se trabaja con poca carga el motor funciona con solo 3 cilindros, anulando el trabajo de una bancada completa para ahorrar combustible. Para ello, la unidad de mando del motor tiene en cuenta informaciones principales como la posición del acelerador y revoluciones del motor. La desconexión de una bancada completa afecta a un solo catalizador del motor, manteniendo el restante la proporción correcta de los gases de escape.

Para carga moderada el sistema activa un cilindro más para satisfacer las necesidades de potencia del momento. Con 1 solo cilindro activo la temperatura del catalizador de la bancada correspondiente es comparativamente baja, pero la capacidad del mismo resulta suficiente para el volumen y de gases que debe procesar.

Una demanda de potencia superior implica volver a poner en funcionamiento a los 6 cilindros. Para asegurar el arranque del motor este se hace en todos los casos con todos los cilindros en funcionamiento, puesto que no hay presión de aceite para la regulación de desconexión.

En el momento de desconexión de cilindros, las bujías reciben tensión de encendido para minimizar la perdida de temperatura y evitar las incrustaciones provocadas por las combustiones incompletas en el cilindro.

La rigidez de los soportes en este motor se regula activamente para reducir vibraciones y ruidos derivados de los cambios de modalidad de cilindros.

AVERÍAS COMUNES

Las averías comunes en los motores equipados con desconexión de cilindros dependerán del tipo de sistema utilizado. En general, los elementos que sufren un esfuerzo mecánico se desgastan por fatiga y cambio de temperatura como son los taqués, los balancines, levas, vástagos de empuje, etc. En el peor de los casos estos mismos podrían llegar a romperse. En cuanto a los elementos de control como son las electroválvulas, sus fallos suelen ser de carácter eléctrico (fallos de alimentación, problemas de comunicación con la unidad de control del motor, etc).

Códigos de avería y comprobaciones del actuador de levas

DTC del sistema de desconexión del cilindro número 2

ADMISIÓN		ESCAPE	
P11A500	Ajuste de la leva A del cilindro 2 (in-terrupción o avería eléctrica).	**P11C100**	Ajuste de la leva de escape A del cilindro 2 (interrupción o avería eléctrica).
P11A600	Ajuste de la leva A del cilindro 2 (in-terrupción o avería eléctrica).	**P11C200**	Ajuste de la leva de escape B del cilindro 2 (interrupción o avería eléctrica).
P11A700	Ajuste de la leva B del cilindro 2 (in-terrupción o avería eléctrica).	**P11D500**	Ajuste de leva de escape A del cilindro 2 (señal no plausible).
P11A800	Ajuste de la leva B del cilindro 2 (in-terrupción o avería eléctrica).	**P11D600**	Ajuste de leva de escape B del cilindro 2 (señal no plausible).
P12A900	Ajuste de la leva A del cilindro 2 (funcionamiento defectuoso).	**P12B900**	Ajuste de la leva de escape A del cilindro 2 (funcionamiento defectuoso).
P12B100	Ajuste de la leva B del cilindro 2 (funcionamiento defectuoso).	**P12C100**	Ajuste de la leva de escape B del cilindro 2 (funcionamiento defectuoso).
P12CA00	Ajuste de la leva B del cilindro 2.	**P12D200**	Ajuste de leva de escape B del cilindro 2.
P12DA00	Conmutación no plausible de la leva A del cilindro 2.	**P12E200**	Ajuste de la leva de escape A del cilindro 2 (funcionamiento defectuoso).
P31A200	Ajuste de la leva B del cilindro 2 (conexión a masa).	**P31AA00**	Ajuste de la leva de escape B del cilindro 2 (conexión a masa).
P31B200	Ajuste de la leva A del cilindro 2 (conexión a masa).	**P31BA00**	Ajuste de la leva de escape A del cilindro 2 (conexión a masa).

DTC del sistema de desconexión del cilindro número 3

ADMISIÓN		ESCAPE	
P11A900	Ajuste de la leva A del cilindro 3 (in-terrupción o avería eléctrica).	**P11C400**	Ajuste de la leva de escape B del cilindro 3 (interrupción o avería eléctrica).
P11AA00	Ajuste de la leva A del cilindro 3 (in-terrupción o avería eléctrica).	**P11D700**	Ajuste de la leva de escape A del cilindro 3 (señal no plausible).
P11AB00	Ajuste de la leva B del cilindro 3 (in-terrupción o avería eléctrica).	**P11D800**	Ajuste de la leva de escape B del cilindro 3 (señal no plausible).
P11AC00	Ajuste de la leva B del cilindro 3 (in-terrupción o avería eléctrica).	**P12BA00**	Ajuste de la leva de escape A del cilindro 3 (funcionamiento defectuoso).
P12AA00	Ajuste de la leva A del cilindro 3 (funcionamiento defectuoso).	**P12C200**	Ajuste de la leva de escape B del cilindro 3 (funcionamiento defectuoso).
P12B200	Ajuste de la leva B del cilindro 3 (funcionamiento defectuoso).	**P12D300**	Ajuste de la leva de escape B del cilindro 3.
P12CB00	Ajuste de la leva B del cilindro 3.	**P12E300**	Ajuste de la leva de escape A del cilindro 3.
P12DB00	Ajuste de la leva A del cilindro 3 (conmutación no plausible).	**P31AB00**	Ajuste de la leva de escape B del cilindro 3 (conexión a masa).
P31A300	Ajuste de la leva B del cilindro 3 (conexión a masa).	**P31BB00**	Ajuste de la leva de escape A del cilindro 3 (conexión a masa).
P31B300	Ajuste de la leva A del cilindro 3 (conexión a masa).		

Las comprobaciones eléctricas a realizar sobre el actuador de levas suelen ser las siguientes:

Comprobación correcta de la alimentación

- Encendido conectado.
- Conector del componente desenchufado.
- Borne 2 positivo respecto a masa.
- Valor nominal 11 V a 13,5 V

Comprobación del lado del componente

- Borne 1 del lado del componente respecto al borne 2.
- Encendido desconectado.
- Valor nominal entre 7 a 13 ohmios.

- Borne 3 del lado del componente respecto al borne 2.
- Encendido desconectado.
- Valor nominal entre 0 a 5 ohmios.

- Borne 1 del lado del componente respecto al borne 3.
- Encendido desconectado.
- Valor nominal entre 15 a 21 ohmios.

Otras comprobaciones

- Derivación a positivo, masa o interrupción.
- Elemento actuador defectuoso, a pesar de la comprobación.
- Unidad de mando de motor.
- Alimentación de tensión del sistema tras relé.

Tecnología al día en automoción

El boletín de noticias Eure!TechFlash es complementario al programa de formación de ADI Eure!Car y tiene una misión clara:

Proporcionar una visión técnica actualizada sobre las innovaciones en el mundo de la automoción.

Con la asistencia técnica de AD Technical Centre (España) y con la ayuda de los principales fabricantes de piezas de repuesto, Eure!TechFlash intenta desmitificar las nuevas tecnologías y hacerlas transparentes para estimular a los técnicos profesionales para que sigan el ritmo de la tecnología y motivarlos a invertir en educación técnica de manera continua.

Eure!TechFlash se publicará 3 o 4 veces al año.

Eure!Car®
CERTIFIED MASTERCLASSES

El nivel de competencia técnica de los mecánicos es vital y en el futuro puede ser decisiva para la existencia continuada del técnico profesional.

Eure!Car es una iniciativa de Autodistribution International, con sede en Kortenberg, Bélgica (www.ad-europe.com).

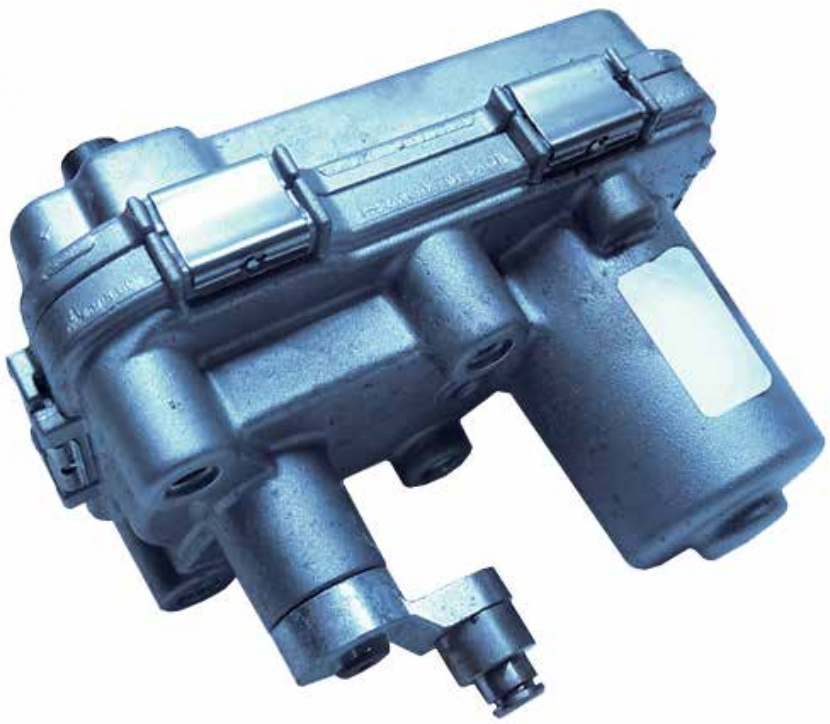
El programa Eure!Car contiene una exhaustiva serie de cursos de formación técnicos de alto nivel para técnicos profesionales, que están impartidos por las organizaciones nacionales de AD y sus distribuidores en 39 países.

Visite www.eurecar.org si desea más información o desea ver los cursos de formación.

Los socios industriales apoyando a Eure!Car

bilsteingroup® febi SWAG BLF BOSCH brembo Continental DENSO EXIDE TECHNOLOGIES FEDERAL-MOGUL MOTORPARTS Gates HELLA KYB Our Precision, Your Advantage MAHLE MANN FILTER metelligroup AUTOMOTIVE PASSION MONROE WALKER NGK SPARK PLUGS NTK TECHNICAL CERAMICS NGK SPARK PLUG EUROPE GmbH Nissens DELIVERING THE DIFFERENCE PHILIPS SCHAEFFLER SKF SNR Brand of NTN corporation TRW Valeo VARTA ZF

State of the art Sensors and Actuators



Nota limitativa: Las informaciones contenidas en esta guía no son exhaustivas y se facilitan únicamente a título informativo.
No comportan responsbilidad alguna por parte del autor.