

## INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA GUÍA DE APRENDIZAJE

Nombre: \_\_\_\_\_ 3° mecánica Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**Aprendizaje esperado:** Realiza mantenimiento programado a motores diésel y gasolina respetando normas de seguridad y medioambiente, de acuerdo con especificaciones técnicas del fabricante.

**Objetivo:** “Conocer el funcionamiento y composición del sistema de calefacción, diagnosticando fallas y sus soluciones”

**Instrucciones:** Lea atentamente la guía, apóyese con el video visto en <https://www.youtube.com/watch?v=wXNX7YhAAP8> , luego realice lo que le pida el profesor, recuerde que esta información es necesaria para el desarrollo de lo que se verá durante todo el módulo,

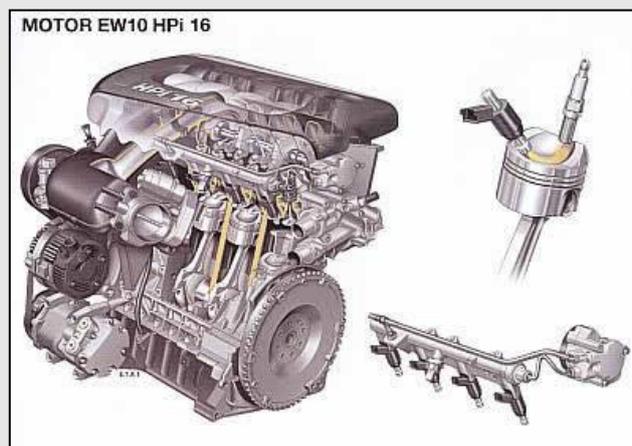
**(Fuente: material obtenido de varias páginas de Internet. Wikipedia, mecanicavirtual, entre otros)**

**Objetivos del sistema:** Las emisiones contaminantes de hidrocarburos, óxidos nítricos y monóxido de carbono se reducen hasta un 99% con la mediación de un catalizador de tres vías.

Por su parte, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que se produce con motivo de la combustión, siendo el causante del «efecto invernadero», sólo se puede reducir a base de disminuir el consumo de combustible.

Teniendo en cuenta estos factores vemos que los sistemas de inyección con formación externa de la mezcla (inyección en el colector de admisión MPI) no sirven para cumplir estos objetivos, por eso la necesidad de desarrollar un sistema capaz de cumplir con estos compromisos. Este sistema es el motor de inyección directa de gasolina. Con lo motores de inyección directa de gasolina se consiguen dos objetivos principales que están vigentes para hoy y con vistas al futuro, estos objetivos son: reducir el consumo de combustible y con este también las emisiones contaminantes de escape.

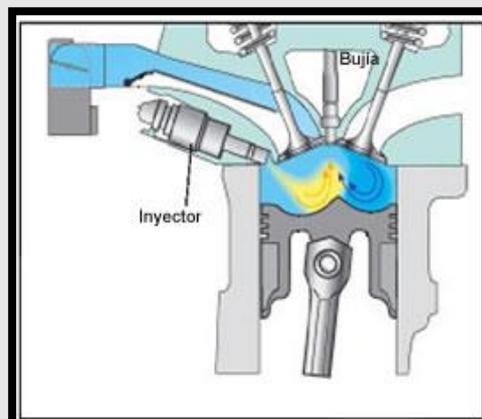
Las diferentes marcas de automóviles cada vez más se están decidiendo por equipar sus modelos de gasolina con motores de inyección directa. Primero fue la marca japonesa Mitsubishi con los motores GDi, ahora le siguen Renault con los motores IDE, el grupo PSA con los motores HPi, y Volkswagen con los motores FSi.



Si comparamos el sistema de inyección en los colectores (inyección indirecta también llamados MPI) con la inyección directa de gasolina, entendemos porqué esta última es superior a la primera. Los inyectores de un motor de gasolina (MPI) suelen estar ubicados en el colector de admisión, lo que explica la denominación de estos sistemas. El combustible es inyectado por delante de una válvula cerrada o bien encima de la válvula abierta y es mezclado de forma casi completa con el aire de admisión en cada una de las toberas del colector de admisión. Pero esta mezcla de aire y neblina de combustible inyectado no permite su perfecta explosión en el cilindro si no está preparada conforme a una exacta relación estequiométrica comprendida en unos límites muy específicos (1/14,7). En el caso de los motores dotados de un catalizador de tres vías es válida la ideal ecuación de lambda igual a uno.

Esta precisa relación de aire/combustible tiene que ser ajustada durante cada uno de los ciclos del motor cuando la inyección tiene lugar en el colector de admisión. El problema de estos sistemas de inyección (indirecta) viene dado principalmente a cargas parciales del motor cuando el conductor solicite una potencia no muy elevada, por ejemplo, (acelerador a medio pisar). Los efectos se podrían comparar con una vela encendida dentro de un envase que se va tapando poco a poco por su apertura superior: la llama de la vela va desapareciendo conforme empeoran las condiciones de combustión. Esta especie de estrangulación supone un desfavorable comportamiento de consumo de un motor de ciclo Otto en los momentos de carga parcial.

Es aquí donde se declaran las grandes virtudes de la inyección directa de gasolina. Los inyectores de este sistema no están ubicados en las toberas de admisión, sino que están incorporados de forma estratégica con un determinado desplazamiento lateral por encima de las cámaras de combustión.



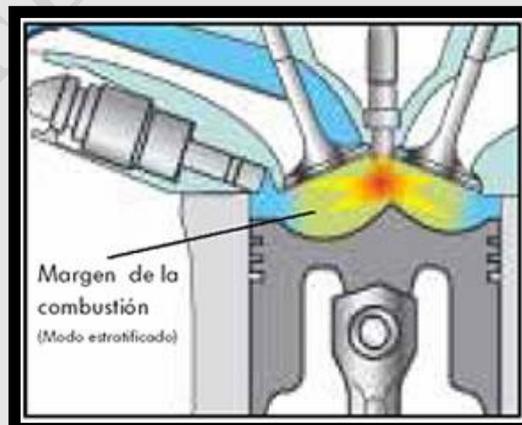
La inyección directa de la gasolina posibilita una definición exacta de los intervalos de alimentación del carburante en cada ciclo de trabajo de los pistones así como un preciso control del tiempo que se necesita para preparar la mezcla de aire y combustible. En unas condiciones de carga parcial del motor, el combustible es inyectado muy cerca de la bujía y con una determinada turbulencia cilíndrica (efecto tumble) al final de la fase de compresión mientras el pistón se está desplazando hacia su punto muerto superior. Esta concentrada carga de mezcla puede ser explosionada aunque el motor se encuentre en esos momentos en

una fase de trabajo con un determinado exceso de aire (1/12.4). Su grado de efectividad termodinámica es correspondientemente más alto. Comparado con un sistema de inyección

en el colector de admisión (MPI) se obtienen unas importantes ventajas de consumo de combustible merced a la eliminación de la citada estrangulación.

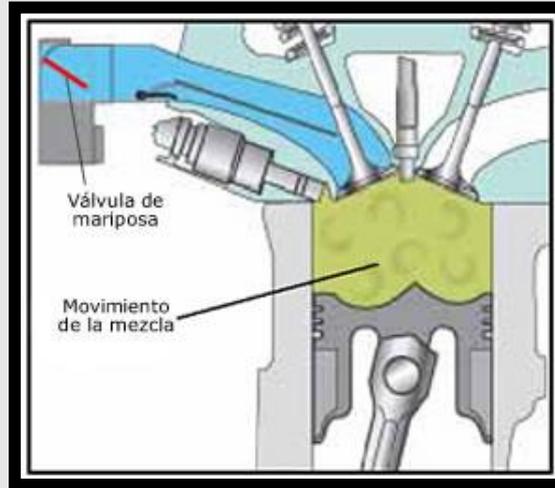
### Ventajas

- Desestrangulación en los modos operativos con mezcla "estratificada". En estos modos operativos se trabaja con un valor lambda comprendido entre 1,55 y 3. Esto permite abrir más la mariposa y aspirar mas aire, por que tiene que superar una menor resistencia que provocaba la válvula de mariposa al estar medio cerrada
- En el modo estratificado el motor trabaja con un valor lambda desde 1,6 hasta 3, consiguiendo una reducción de consumo de combustible considerable.
- Menores pérdidas de calor cedido a las paredes de los cilindros Esto es debido a que en el modo de mezcla "estratificada" la combustión únicamente tiene lugar en la zona próxima de la bujía, esto provoca menores pérdidas de calor cedido a la pared del cilindro, con lo cual aumenta el rendimiento térmico del motor.



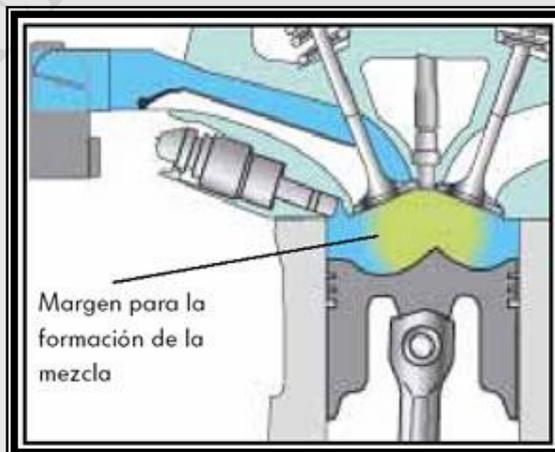
- Debido al movimiento intenso de la mezcla en el modo homogéneo, el motor posee una alta compatibilidad con la recirculación de gases de escape, equivalente hasta un 25%. Para aspirar la misma cantidad de aire fresco que cuando trabaja con bajos índices de recirculación de gases se procede a abrir la mariposa de gases un tanto más. De esa

forma se aspira el aire superando una baja resistencia y disminuyen las pérdidas debidas a efectos de estrangulamiento.



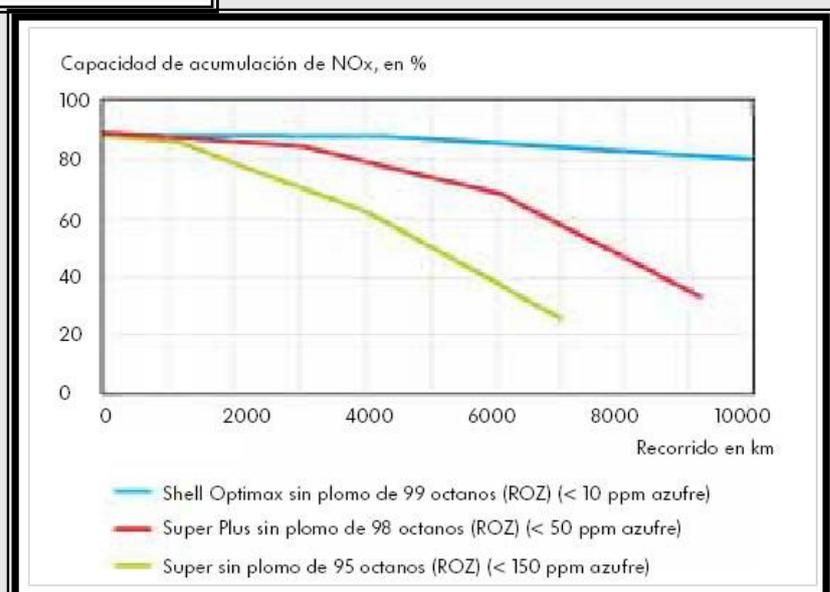
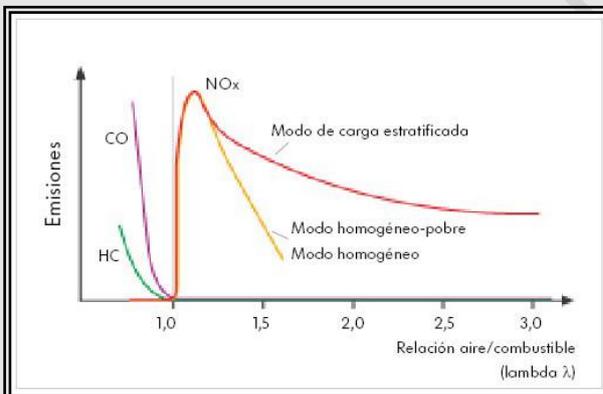
- Con la inyección directa del combustible en el cilindro se extrae calor del aire de admisión, produciéndose un efecto de refrigeración de éste. La tendencia al picado se reduce, lo que permite aumentar a su vez la compresión. Una mayor relación de compresión conduce a una presión final superior en la fase de compresión, con lo cual también aumenta el rendimiento térmico del motor.
- Es posible reducir el régimen de ralentí, y se facilita el arranque en frío debido a que al reanudar la inyección el combustible no se deposita en las paredes de la cámara de combustión.

La mayor parte del combustible inyectado puede ser transformada de inmediato en energía utilizable. El motor funciona de un modo muy estable, incluso al trabajar con regímenes de ralentí más bajos.



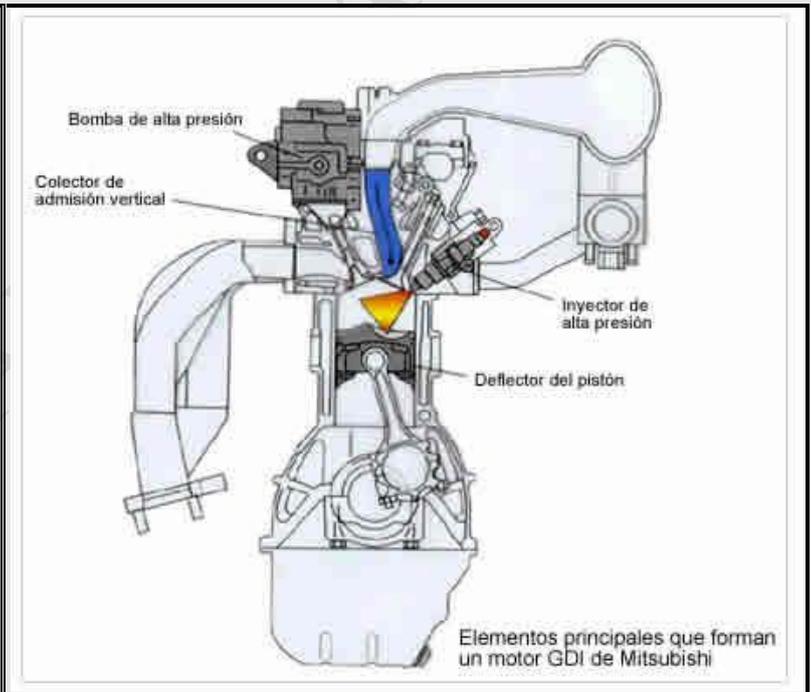
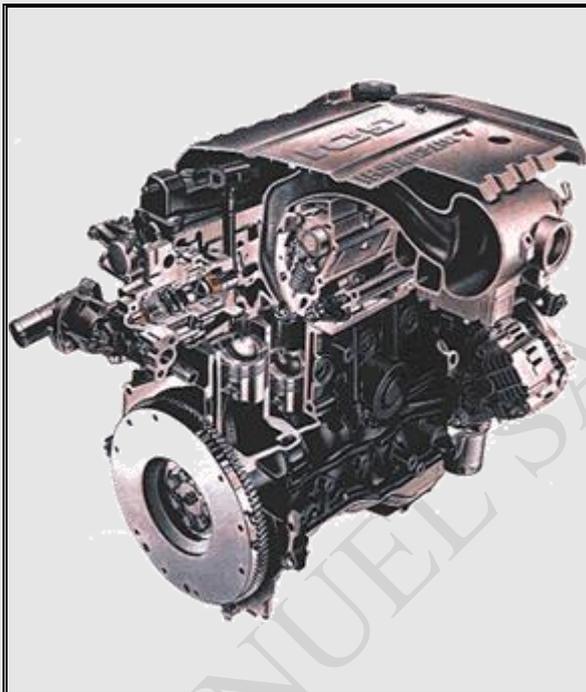
## Inconvenientes

- Uno de los problemas principales que plantea la inyección directa de gasolina es el tratamiento de los gases de escape para cumplir las normativas anticontaminación. Los óxidos nítricos que se producen con motivo de la combustión en el modo "estratificado" y en el modo "homogéneo-pobre" no pueden ser transformados suficientemente en nitrógeno por medio de un catalizador convencional de tres vías. Sólo desde que ha sido desarrollado el catalizador-acumulador de NO<sub>x</sub> también se cumple la norma de emisiones de escape EU4 en estos modos operativos. Los óxidos nítricos se acumulan internamente en ese catalizador y se transforman en nitrógeno mediante medidas específicas para ello.
- Otro inconveniente reside en los problemas que plantea el azufre en la gasolina. Debido a la similitud química que tiene con respecto a los óxidos nítricos, el azufre también se almacena en el catalizador-acumulador de NO<sub>x</sub> y ocupa los sitios destinados a los óxidos nítricos. Cuanto mayor es el contenido de azufre en el combustible, tanto más frecuentemente se tiene que regenerar el catalizador-acumulador, lo cual consume combustible adicional. En la gráfica inferior se compara distintas clases de gasolinas que hay en el mercado y se aprecia la influencia que tiene el contenido de azufre sobre la capacidad de acumulación del catalizador-acumulador de NO<sub>x</sub>.



**La marca Mitsubishi** fue la primera en construir motores de inyección directa de gasolina. En este motor la gasolina es inyectada directamente en el cilindro, con lo que se eliminan perdidas y se mejora el rendimiento. La cantidad exacta de gasolina se introduce con una temporización muy precisa, consiguiendo una combustión completa. Las innovaciones tecnológicas que presentan estos motores son:

- Colectores de admisión verticales.
- Pistones con una forma especial (deflector).
- Bomba de combustible de alta presión.
- Inyectores de alta presión.



## Esquema general de funcionamiento

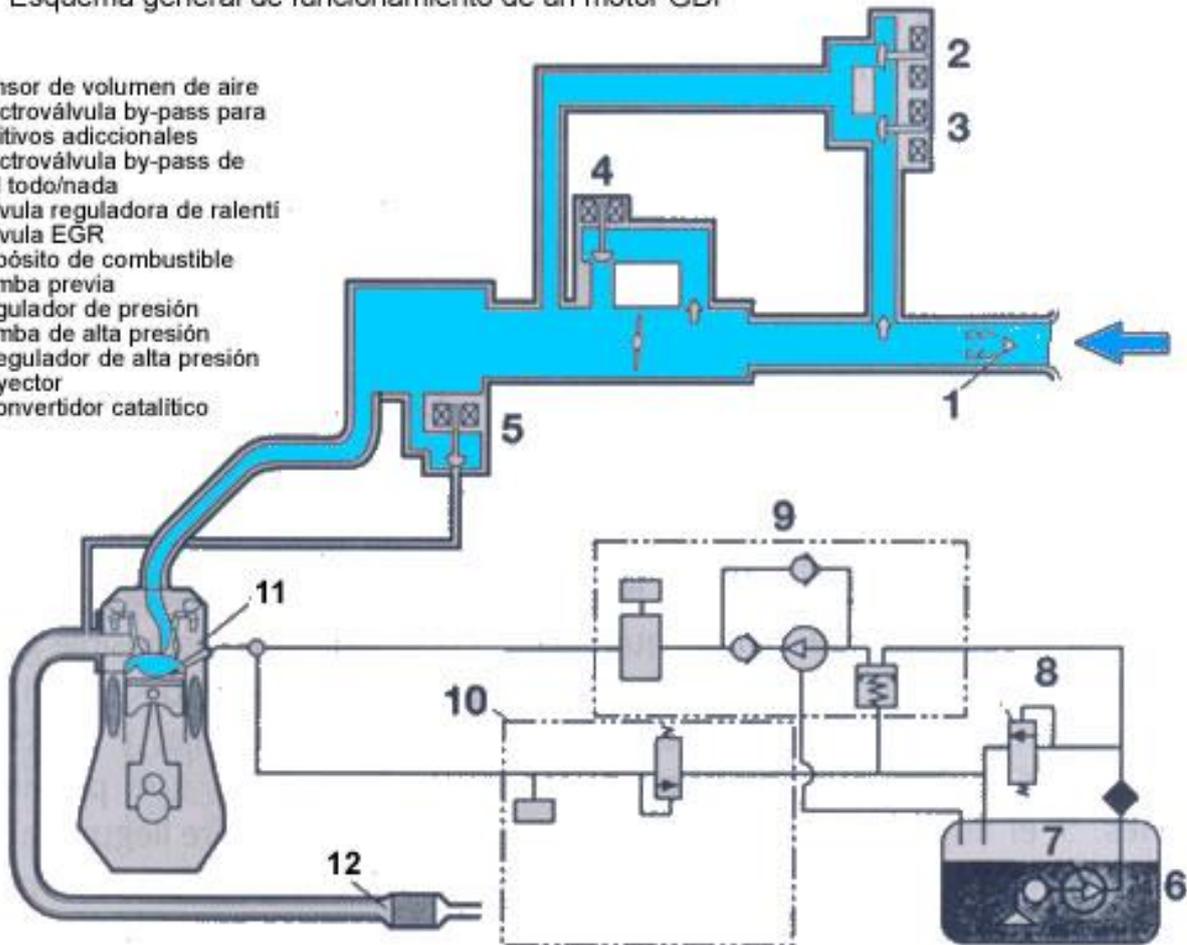
En la figura inferior tenemos el esquema general de los diferentes elementos que forman el sistema de inyección directa de gasolina. En el se ve el circuito de admisión de aire y el circuito de suministro de combustible.

El circuito de admisión de aire empieza con el sensor (1) encargado de medir la cantidad de aire que, en función de la carga, entra en el motor. También dispone de unas electroválvulas colocadas en by-pass en dicho circuito y que actúan; la (2) en compensación de la necesidad de aire adicional debido al accionamiento de elementos auxiliares del motor y la (3) en caso de un control de todo o nada. La válvula reguladora de ralentí (4) es la encargada de mantener el régimen de giro del motor constante y actúa controlando el paso del flujo de aire después de la mariposa. Finalmente, la válvula EGR (5) realiza la función de recircular los gases de escape cuando las altas temperaturas y presiones de combustión provocan la aparición de los peligrosos óxidos de nitrógeno en los gases de escape. Podemos ver también la posición vertical de los colectores de admisión que permiten, gracias a la longitud y su cuidado pulimentado, aumentar el rendimiento volumétrico.

En el circuito de suministro de combustible al motor la gasolina parte del depósito (6) gracias a una bomba previa (7) de baja presión que pasa por un filtro y un regulador de presión (8) y se conduce a un conjunto hidráulico (9) que incorpora una bomba de alta presión. Un conjunto regulador de alta presión (10) mantiene la presión de inyección en su último tramo hacia el inyector (11). La bomba inyecta carburante a una presión de 50 bar y utiliza un sensor de presión de combustible para el control preciso de la alimentación. En el escape del motor se incorpora un convertidor catalítico (12) para eliminar los restos de NOx cuando el motor trabaje con mezcla pobre o estratificada.

Esquema general de funcionamiento de un motor GDI

- 1.- Sensor de volumen de aire
- 2.- Electroválvula by-pass para dispositivos adicionales
- 3.- Electroválvula by-pass de control todo/nada
- 4.- Válvula reguladora de ralenti
- 5.- Válvula EGR
- 6.- Depósito de combustible
- 7.- Bomba previa
- 8.- Regulador de presión
- 9.- Bomba de alta presión
- 10.- Regulador de alta presión
- 11.- Inyector
- 12.- Convertidor catalítico



## El colector de admisión vertical

Con este tipo de colector se consigue crear un flujo de aire en la admisión del tipo giratorio en sentido de las agujas del reloj, con el que se consigue un mayor rendimiento. La ventaja de este sistema de flujo giratorio respecto al turbulento utilizado en la manera clásica (inyección indirecta), es que en este último tiende a concentrarse el combustible en la periferia del cilindro y por tanto alejado de la bujía, en cambio el giratorio permite concentrarlo en el lugar que más interesa para una mejor combustión: alrededor de la bujía. El hecho de que se realice siguiendo el sentido horario obedece a la necesidad de evitar que por medio de la inyección directa de gasolina choque con la bujía, ya que esto crea una acumulación de hollín que provoca falsas explosiones. Si el flujo girara hacia la izquierda no daría el tiempo suficiente para conseguir que el chorro de gasolina inyectado directamente se vaporizase. El ángulo relativamente grande del inyector ayuda a asegurar que también tendrá tiempo suficiente para que el chorro pulverizado de combustible se vaporice, incluso cuando se inyecta durante la carrera de compresión. El deflector del pistón ayuda a concentrar la mezcla de aire/gasolina rica alrededor de la bujía.

Esta mezcla estratificada de forma ideal, rica alrededor de la bujía, pobre en la periferia, permite que el motor GDI de Mitsubishi funcione suavemente en el modo de combustión ultra-pobre, con la asombrosa relación de aire 40/1, con lo cual se consigue una importante economía de combustible.

Los motores de inyección directa gasolina funcionan con dos tipos de mezcla según sea la carga del motor: mezcla estratificada y mezcla homogénea.

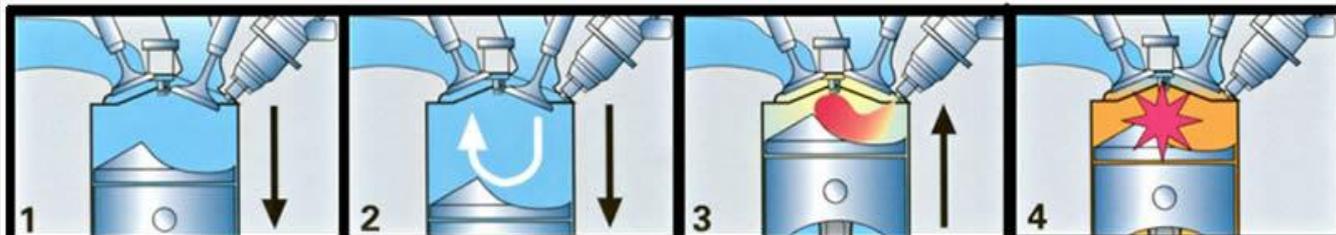
**Mezcla estratificada:** el motor es alimentado con una mezcla poco enriquecida cuando el vehículo se desplaza en unas condiciones de carga parcial (pedal del acelerador a medio pisar). Para poder conseguir una mezcla pobre para alimentar el motor, éste debe ser alimentado de forma estratificada.

La mezcla de aire y combustible se concentra en torno a la bujía ubicada en una estratégica posición central en las cámaras de combustión, en cuyas zonas periféricas se acumula prácticamente sólo una capa de aire. Con esta medida se consigue la eliminación de la mencionada estrangulación para proporcionar un importante ahorro de combustible. La positiva característica de economía de consumo es también una consecuencia de la disminuida dispersión de calor. El aire concentrado de la manera comentada en la periferia del espacio de combustión mientras se produce la explosión de la mezcla en la zona central de la cámara proporciona una especie de aislamiento térmico. Con esta estratificación específica de la carga, el valor Lambda en el área de combustión oscila entre 1,5 y 3. De este modo, la inyección directa de gasolina alcanza en el campo de carga parcial el mayor ahorro de combustible frente a los inyecciones convencionales: en marcha de ralentí incluso un 40%.

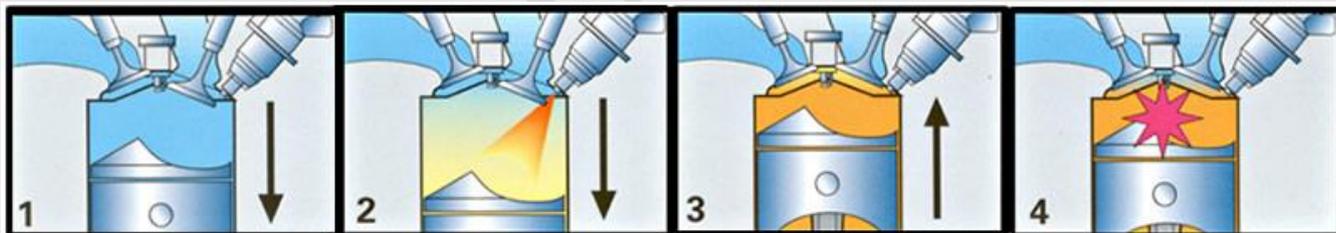
Durante la fase de admisión (1) figura inferior, el volumen de aire procedente de los colectores de admisión verticales recorre la superficie curvada del pistón (2) y refluye hacia arriba creando un potente flujo giratorio en el sentido de la agujas del reloj. El control del flujo es posible gracias a sensores de flujo de aire de tipo Karman, que controlan la contrapresión baja, y a dos solenoides de la válvula by-pass que permiten que grandes cantidades de aire lleguen al cilindro con suavidad, lo que es importantísimo cuando se trata de funcionar con relaciones de aire/combustible extremadamente pobres de hasta 40/1.

En la carrera de compresión del pistón la forma giratoria se descompone en pequeños y numerosos torbellinos. A continuación, en la última fase de la carrera de compresión, el inyector de turbulencia de alta presión pulveriza el combustible (3) siguiendo una espiral muy cerrada. Este movimiento de turbulencia junto con la elevada densidad del aire comprimido y los pequeños torbellinos, mantienen compacto el chorro pulverizado de combustible. El combustible se concentra alrededor de la bujía. La estratificación es muy buena: la mezcla aire/combustible es rica en el centro y pobre en la periferia.

Finalmente salta la chispa en la bujía (4) y el potente producto de la combustión es controlado por la cavidad esférica del pistón que se va extendiendo mediante una reacción en cadena. El resultado de todo este proceso es una mejora del 20% en el ahorro de combustible.



**Mezcla homogénea:** El control inteligente de la inyección permite disponer asimismo de una mezcla homogénea en los regímenes más elevados (cuando se exige potencia al motor). La inyección es adaptada de forma automática y el combustible no es inyectado en las fases de compresión sino en las de admisión. Unas determinadas leyes de la termodinámica imponen, no obstante, un aumento del llenado de los cilindros y una disminución de la temperatura de compresión en estas condiciones. Estos ajustes tienen unos efectos secundarios también muy positivos que se manifiestan en forma de unos elevados valores de potencia y par motor. Con una relación de compresión alta por encima de 11 (11,5:1) ofrece un valor significativamente más alto que un motor dotado de un sistema de inyección MPI (indirecta). Con mezcla homogénea el combustible se inyecta durante al carrera de admisión para crear un efecto de refrigeración, el inyector de alta presión cambia la forma de funcionar en este modo para alimentar el combustible mediante un chorro largo en forma de cono, con objeto de conseguir una dispersión en el cilindro. El efecto de refrigeración evita las detonaciones o combustión espontánea en el cilindro que pueden producirse cuando el motor tiene una relación de compresión alta y con un elevado calentamiento.



### Reducción en las emisiones de gases contaminantes

Uno de los aspectos más importantes del motor GDI es la menor emisión de gases contaminantes (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e hidrocarburos).

Si se quema gasolina se genera CO<sub>2</sub>; por lo tanto, si se reduce la cantidad de gasolina quemada se reducirá también la cantidad de CO<sub>2</sub>. De este modo, disminuyendo el consumo de combustible en un 20%, en el motor GDI descienden también las emisiones de CO<sub>2</sub> en ese mismo porcentaje.

Los catalizadores de tres vías no son eficaces en el motor GDI cuando funciona en el modo ultra-pobre de combustión. MITSUBISHI ha desarrollado un nuevo tipo de catalizador, denominado de reducción selectiva, para ayudar a disminuir las emisiones de monóxido de nitrógeno (NOx).

**El fabricante Bosch** lleva tiempo aplicando sus sistemas de inyección a los motores de inyección directa. Hace más de 60 años en los motores de aviación y también en el renombrado Mercedes 300 SL del año 1954, con las puertas abatibles en forma de alas de mariposa. Este sistema de inyección funcionaba igual que el utilizado por los motores Diesel, es decir, estaba dotado de una bomba de inyección en línea que tiene tantos elementos de bombeo como cilindros tiene el motor y accionados por un árbol de levas sincronizado con el cigüeñal. La presión de inyección con la que trabajaba este sistema es de 15 a 20 kg/cm<sup>2</sup>, la cual si la comparamos frente a un Diesel (150 a 400) es muy baja, lo que hace que la precisión del equipo de bombeo no sea muy grande. Pero tenía el enorme inconveniente de la lubricación, ya que la gasolina no es lubricante, implica la necesidad de lubricar la bomba lo que encarece su fabricación. También los inyectores deben lubricarse, lo cual lo complica en extremo. Los inyectores que están en contacto con las altas presiones y la temperatura que se alcanza en la cámara de combustión del motor hacen que se deterioren rápidamente y requieren un gran mantenimiento por ello esta inyección directa solo se usaba en vehículos muy exclusivos o deportivos. Por las razones expuestas anteriormente Bosch aparcó el desarrollo de esta tecnología, hasta que la utilización masiva de la electrónica hizo más fácil desarrollar un sistema lo suficientemente fiable y a un precio ajustado.



El sistema de inyección directa de gasolina Bosch denominado MED trabaja según el principio de funcionamiento del Common Rail utilizado para la inyección diesel. Es decir, un conducto o regleta distribuidora común, de alta presión, alimenta con carburante todas las válvulas de inyección; la presión regulada en el conducto distribuidor de combustible la origina una bomba

de alta presión que puede alcanzar presiones de hasta 120 bar. Con las válvulas de inyección accionadas de forma electromagnética, el inicio y la duración del proceso de inyección es variable dentro de amplios límites. El caudal de inyección se mide exactamente, mientras que la geometría del chorro está sincronizada con las exigencias del motor. La forma y el ángulo el chorro, así como el tamaño de las gotitas pulverizadas, constituyen también parámetros

importantes para la formación de la mezcla y determinar valores de emisión bajas y consumos favorables.



**Fuente:** material e imágenes recopilados de Internet.

.- Marcián Martínez, V. (2002) mantenimiento de motores diésel. Valencia: universidad politécnica de Valencia