

# Sistema de control del motor

## Motronic

La electrónica moderna abre nuevas perspectivas al sector del automóvil. Muchos de los requisitos en parte contradictorios que se le exigen al motor de gasolina, como por ejemplo elevada potencia, consumo mínimo de combustible e ínfima emisión de elementos contaminantes, pueden ahora coordinarse entre sí de forma óptima. Los sistemas de preparación de la mezcla y de control del encendido resuelven problemas parciales: El sistema Jetronic manda la dosificación de combustible y la instalación electrónica de encendido optimiza el funcionamiento de éste. El Motronic en cambio reúne las dos cosas: Los sistemas de inyección y de encendido son supervisados y controlados conjuntamente mediante un ordenador. El procesamiento digital de los datos y la utilización de microprocesadores permite convertir un gran número de datos de servicio en datos de inyección y encendido gobernados por campo característico. Con la utilización de la sonda Lambda y la integración del regulador Lambda en la unidad de control, el Motronic cumple ya en estos momentos las futuras disposiciones sobre gases de escape. Todo esto se explica con detalle en las páginas siguientes.

### Combustión en el motor de gasolina

<u>Motor de gasolina</u>	2
<b>Formación de la mezcla</b>	
Magnitudes influyentes	4
Adaptación a los estados de servicio	5
Sistemas de preparación de la mezcla	6
<b>Encendido</b>	
Tarea, exigencias	10
<b>Sistema de control del motor Motronic</b>	
Sistema global Motronic	14
Sistema de combustible	16
Circuito de alta tensión del encendido	24
Registro de datos de servicio	28
Procesamiento de datos de servicio	38
Estado de servicio	42
Diagnóstico integrado	58
Unidad de control	62
Interfaces con otros sistemas	64

### Ejemplos de aplicación en vehículos

**Alfa-Romeo:** 33, 145, 155, Spider, 164, 936.

**Audi:** 80, 100, 100 Avant V8, 100 Quattro 20V, A4, A6, A8.

**BMW:** 316i, 318i, 325i, 518i, 525i, 530i, 540i, 730i, 740i, 750i, 754i, 840i, 850i, 854i, M3, M5.

**Ferrari:** 358, 456 GT, 512 TR.

**Fiat:** Tipo B Turbo, Cromo.

**Lancia:** k, Thema i.e. 16V/16V Turbo.

**Hyundai:** Scoupe.

**Mercedes-Benz:** C200/220/280, C36AMG, E200/220/280/300 4MATIC, E320/420/500/36AMG/60AMG, S280/320/420/500/600, SL280/320/500/600/60AMG.

**Nissan:** Miera, Serena, Primera.

**Opel:** Astra, Calibra, Vectra, Omega.

**Peugeot:** 106, 306, 405, 605.

**Citroen:** AX, ZX, XM.

**Porsche:** 968, 911, Carrera.

**Rolls Royce:** Silver Spirit, Silver Spur, Limousine, Corniche, Flying Spur.

**Bentley:** Mulsanne, Brooklands, Turbo, Continental.

**Saab:** 900, 9000.

**Toyota:** Carina.

**VW:** Golf III, Golf Cabrio, Corrado, Passat.

**Volvo:** 850GL/Turbo/GLT, 960GLT/GLE.

# Combustión en el motor de gasolina

## Motor de gasolina

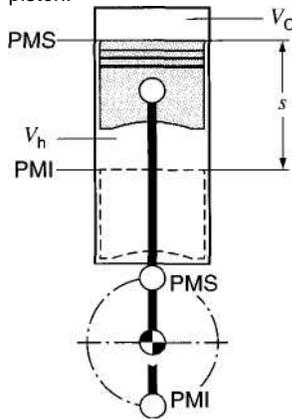
### Modo de actuación

El motor de gasolina de Otto<sup>1)</sup>, es un motor de combustión por encendido externo que transforma la energía contenida en el combustible en energía cinética. En el motor de Otto (de 4 tiempos y gasolina) los sistemas de preparación de la mezcla aire/combustible (sobre la base de gasolina o gas) forman ésta fuera de la cámara de combustión. La mezcla, aspirada por el pistón en su descenso, penetra en la cámara de combustión. Aquí es comprimida durante el movimiento ascendente del pistón. El sistema de encendido externo, temporizado, inflama la mezcla mediante la bujía. El calor liberado en la combustión aumenta la presión en el cilindro y el pistón se mueve otra vez hacia abajo entregando su esfuerzo al mecanismo cigüeñal. Después de cada combustión, los gases quemados son expulsados del cilindro y se aspira mezcla fresca de aire-combustible.

Fig. 1

#### Principio del motor de pistones de carrera.

PMS punto muerto superior, PMI punto muerto inferior,  $V_h$  volumen de carrera,  $V_c$  volumen de compresión,  $s$  carrera del pistón.



En los motores de automóvil, este intercambio gaseoso tiene lugar predominantemente según el principio de los 4 tiempos. Un ciclo de trabajo necesita para ello dos vueltas del cigüeñal.

### Procesos de 4 tiempos

En el motor de gasolina de 4 tiempos, el intercambio gaseoso es controlado por las correspondientes válvulas. Estas abren o cierran los conductos de admisión y de escape del cilindro:

1er tiempo: admisión, 2do tiempo: compresión y encendido, 3er tiempo: combustión y trabajo, 4to tiempo: escape.

#### Admisión

Válvula de admisión: abierta, Válvula de escape: cerrada, Movimiento del pistón: descendente, Combustión: ninguna.

Al descender el pistón aumenta el volumen del cilindro y se aspira mezcla de aire/combustible fresca por la válvula de admisión abierta.

#### Compresión

Válvula de admisión: cerrada, Válvula de escape: cerrada, Movimiento del pistón: ascendente, Combustión: fase de inflamación (encendido).

<sup>1)</sup> En memoria de Nicolás Augusto Otto (1832 hasta 1891), quien en 1878 presentó por primera vez en la Exposición Mundial de París un motor de gas a compresión según el principio de trabajo de los 4 tiempos.

Al subir, el pistón reduce el volumen en el cilindro y comprime la mezcla de aire/ combustible. Poco antes de alcanzar el punto muerto superior (PMS), la bujía de encendido inflama la mezcla comprimida de aire/ combustible e inicia así la combustión. A partir del volumen de carrera  $V_h$  y el volumen de compresión  $V_c$  resulta la relación de compresión  $e = (V_h + V_c) / V_c$ .

Según la ejecución del motor, la relación de compresión  $e$  es de 7...13. Con el aumento de la relación de compresión en un motor de combustión asciende su grado de rendimiento térmico y el combustible puede aprovecharse más eficazmente. Un aumento de la relación de compresión de 6 a 8, origina p. ej. un aumento del grado de rendimiento térmico de un 12%. El límite de detonación establece el grado de compresión. La detonación consiste en una combustión incontrolada de la mezcla con gran aumento de la presión. Una combustión con detonación conduce a daños en el motor. Mediante combustibles apropiados y la configuración de la cámara de combustión puede desplazarse el límite de detonación hacia valores de compresión más elevados.

### Explosión

Válvula de admisión: cerrada, Válvula de escape: cerrada, Movimiento del pistón: descendente, Combustión: fase de combustión.

Una vez que la chispa ha inflamado la mezcla de aire/combustible comprimida, la temperatura aumenta debido a la combustión de la mezcla. La presión en el cilindro aumenta y empuja hacia abajo el pistón. El pistón transmite el trabajo al cigüeñal a través de la biela, representando la potencia del motor disponible.

La potencia aumenta con el régimen y al crecer el par motor ( $P = M \cdot \omega$ ). La característica de potencia y de par del motor de combustión condicionan un cambio de marchas para la adaptación a las exigencias del servicio de marcha.

### Escape

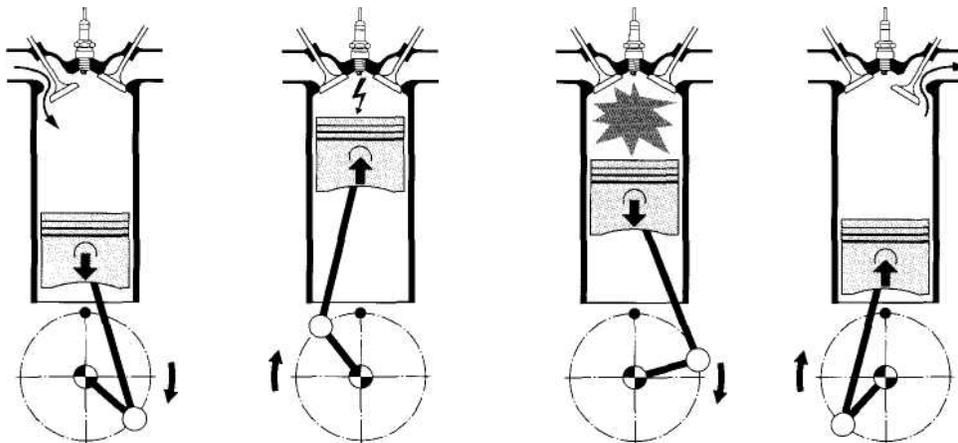
Válvula de admisión: cerrada, Válvula de escape: abierta, Movimiento del pistón: ascendente, Combustión: ninguna.

El pistón asciende y expulsa los gases de la combustión (gases de escape) a través de la válvula de escape abierta. Después de ello, se repite el ciclo. Los tiempos de apertura de las válvulas se superponen ligeramente con el fin de aprovechar la admisión y el escape para un mejor llenado y vaciado del cilindro.

Fig.2

### Movimientos de trabajo del motor de gasolina de 4 tiempos

1 er tiempo: admisión      2º tiempo: compresión      3er tiempo: combustión      4º tiempo: escape



# Formación de la mezcla

## Relación general

### Magnitudes influyentes

#### Mezcla de aire/combustible

Un motor de gasolina necesita para su servicio una determinada relación de aire/ combustible. La combustión completa ideal teórica se produce con una relación de 14,7:1. Esta relación se designa también con el nombre de relación estequio-métrica. Determinados estados de servicio del motor exigen una corrección de la mezcla. El consumo específico de combustible de un motor de gasolina depende esencialmente de la relación de mezcla de aire/combustible. Para la combustión completa real y, con ello, también para un consumo de combustible lo más reducido posible, se requiere un exceso de aire el cual está limitado sin embargo por la capacidad de inflamación de la mezcla y la duración de combustión disponible. En los motores disponibles actualmente, el menor consumo de combustible se tiene con una relación de aire/combustible de aprox. 15...18 kg de aire respecto a 1 kg de combustible. Representándolo de forma intuitiva significa esto que para la combustión de un litro de gasolina se necesitan unos 10000 litros de aire (fig. 1).

Ya que los motores de vehículos funcionan la mayor parte del tiempo en el margen de carga parcial, los motores están concebidos en su ejecución para un consumo reducido de combustible en este margen de carga. Para otros estados de servicio como ralentí y plena carga es más favorable una composición de la mezcla más rica en combustible. El sistema de preparación de la mezcla debe ser capaz de cumplir estas exigencias variables.

#### Coefficiente de aire

Para la identificación de la divergencia de la mezcla de aire/combustible existente realmente respecto a la mezcla teóricamente necesaria (14,7:1), se ha elegido el coeficiente de aire o relación de aire  $X$  (Lambda):

$X$  = Masa de aire aportada/aire necesario para la combustión estequio-métrica

$X = 1$ : La masa de aire aportada corresponde a la teóricamente necesaria.  $X < 1$ : Existe falta de

aire o la mezcla es demasiado rica. Una potencia aumentada resulta con  $X = 0,85...0,95$   $X > 1$ :

Existe exceso de aire o la mezcla es demasiado pobre en el margen de  $X = 1,05... 1,3$ . Con este

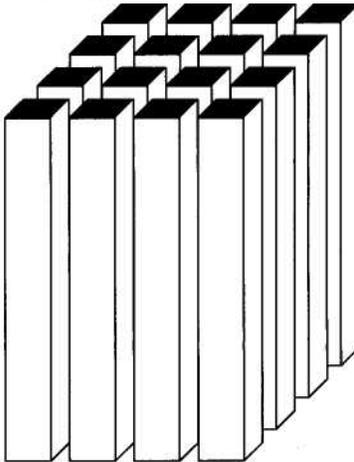
coeficiente de aire se manifiesta un consumo de combustible reducido y menor potencia.  $X >$

1,3: La mezcla ya no es capaz de inflamarse. Se producen fallos de combustión. Aumenta

intensamente la irregularidad de funcionamiento.

#### Fig. 1

Relación de aire/combustible para una combustión con el mínimo consumo de combustible específico.  
10 000 / aire



1 / gasolina



Los motores de gasolina alcanzan su máxima potencia con 5...15 % de falta de aire ( $X = 0,95...0,85$ ); consiguen el consumo de combustible mínimo con 10...20% de exceso de aire ( $X = 1,1... 1,2$ ); y giran con un ralentí perfecto con  $X = 1,0$ .

Las ilustraciones 2 y 3 muestran la dependencia de la potencia y del consumo específico de combustible así como del desarrollo de contaminantes, del coeficiente de aire  $X$ . Es posible deducir de aquí que no existe una relación de aire ideal en la que todos los factores adopten el valor más favorable. En la práctica han resultado convenientes coeficientes de aire con  $X = 0,9... 1,1$ . Para el tratamiento ulterior catalítico de los gases de escape mediante un catalizador de tres vías se requiere imprescindiblemente el cumplimiento exacto de  $X = 1$  con el motor caliente a la temperatura de servicio. Para conseguir este factor debe determinarse exactamente el caudal de aire aspirado y añadirse una cantidad de combustible exactamente dosificada. Junto al caudal de inyección exacto se requiere para el proceso de combustión también una mezcla homogénea. Para ello es necesaria una buena pulverización del combustible.

Si no se cumple este requisito, se depositan grandes gotas de combustible en el tubo de admisión, que conducen a emisiones de HC incrementadas.

### Adaptación a los estados de servicio

En algunos estados de servicio, las necesidades de combustible difieren considerablemente de las necesidades estacionarias del motor caliente a la temperatura de servicio, de forma tal que son necesarias intervenciones correctoras en la formación de la mezcla.

#### Arranque en frío

En el arranque en frío empobrece la mezcla aspirada de aire/combustible. Esto es debido a un mezclado insuficiente del aire aspirado con el combustible, a una evaporación insuficiente del combustible y a una fuerte humectación de pared como consecuencia de las bajas temperaturas. Para compensar este efecto y facilitar el arranque del motor frío, es necesario aportar adicionalmente combustible en el momento del arranque.

#### Fase posterior al arranque

Después del arranque a temperaturas muy bajas es necesario un breve enriquecimiento con combustible adicional, hasta que por la temperatura aumentada en la cámara de combustión, se produzca una preparación mejorada de la mezcla en el cilindro. Adicionalmente resulta por la mezcla rica un mejor par motor y, con ello, una transición mejorada al régimen de ralentí deseado.

Fig. 2

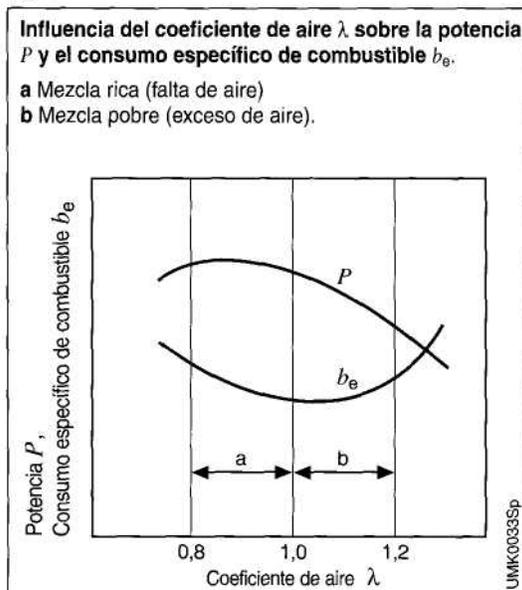
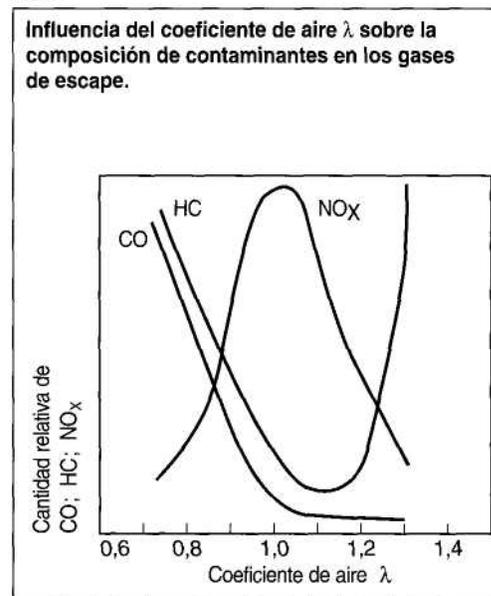


Fig. 3



### **Fase de calentamiento**

Después del arranque en frío y la fase posterior al arranque, sigue la fase de calentamiento del motor. El motor precisa en esta fase un enriquecimiento de calentamiento ya que parte del combustible se condensa en las paredes todavía frías de los cilindros. Como la preparación del combustible empeora a temperaturas decrecientes (p. ej. debido al menor mezclado de aire y combustible así como a grandes gotas de combustible), se produce en el tubo de admisión una precipitación de combustible que solamente se evapora a altas temperaturas. Estas influencias mencionadas condicionan un «enriquecimiento» al disminuir la temperatura.

### **Carga parcial**

En la carga parcial está en primer plano el ajuste de la adaptación de la mezcla a un consumo mínimo de combustible. Para cumplir los estrictos valores límite de gases de escape, en la aplicación del catalizador de tres vías, se impone crecientemente una adaptación a  $X = 1$ .

### **Plena carga**

Estando la mariposa totalmente abierta debe entregar el motor su par máximo y su potencia máxima. Como puede verse en la ilustración 2, es necesario para ello enriquecer la mezcla de aire/combustible a  $X = 0,85 \dots 0,90$ .

### **Aceleración**

En la apertura rápida de la mariposa se empobrece brevemente la mezcla de aire/ combustible como consecuencia de la tendencia a la evaporación restringida del combustible con depresión aumentada del tubo de admisión (mayor formación de la película de pared). Para conseguir un buen comportamiento de transición se requiere un enriquecimiento de la mezcla dependiente de la temperatura del motor. Con este enriquecimiento puede conseguirse un buen comportamiento de aceleración.

### **Servicio de retención**

Mediante la interrupción de la afluencia de combustible en el servicio de retención, es posible reducir el consumo de combustible en

las cuestas abajo y al frenar, es decir también en el tráfico urbano. Además, en estas fases de servicio no se producen gases de escape nocivos.

### **Adaptación de la mezcla a grandes altitudes**

Al aumentar la altura geográfica (p. ej. en viajes por montaña) disminuye la densidad del aire. Esto significa: a grandes altitudes, el volumen de aire aspirado por el motor presenta una masa menor que en las zonas bajas. Si no se consideran estas condiciones en la formación de la mezcla, se produce un enriquecimiento excesivo que conduce a un consumo adicional de combustible y a un aumento de la expulsión de contaminantes.

## **Sistemas de preparación de la mezcla**

El carburador o los sistemas de inyección tienen la misión de preparar una mezcla de aire/combustible adaptada lo mejor posible al correspondiente estado de servicio del motor. Desde hace algunos años se aplica para la preparación de la mezcla principalmente la inyección, favorecida por las ventajas que ofrece la inyección de combustible en relación con las exigencias respecto a economía, capacidad de rendimiento, comportamiento de marcha perfecto y un menor contenido de contaminantes en los gases de escape. La inyección permite una dosificación muy precisa del combustible en función del estado de servicio y de carga del motor, bajo consideración de las influencias del medio ambiente. La composición de la mezcla es controlada en la inyección de forma tal que se mantiene reducida la proporción de elementos contaminantes en los gases de escape.

### **Inyección individual**

La inyección individual ofrece condiciones previas ideales para el cumplimiento de estas tareas. En los equipos de inyección individual está asignada a cada cilindro una válvula de inyección que inyecta el combustible directamente delante de la válvula de admisión del cilindro. Pertenecen aquí, por ejemplo, los sistemas KE-Jetronic y L-Jetronic con sus correspondientes variantes (fig. 4).

Sistema de inyección mecánico Entre los sistemas de inyección mecánicos, el K-Jetronic es hoy en día el más extendido. Este sistema trabaja sin dispositivo de accionamiento e inyecta el combustible de forma continua.

Sistema de inyección combinado mecánico electrónico

El KE-Jetronic tiene su fundamento en el sistema básico mecánico del K-Jetronic. Mediante la recogida de un mayor número de datos de funcionamiento, este sistema permite utilizar funciones adicionales, electrónicamente controladas, para adaptar mejor el caudal de inyección al los diferentes estados operativos del motor.

Sistemas de inyección electrónicos Los sistemas de inyección bajo control electrónico inyectan el combustible, intermitentemente con válvulas de inyección accionadas electromagnéticamente. Ejemplo: L-Jetronic, LH-Jetronic y Motronic como sistema integrado de inyección y encendido.

**Inyección centralizada**

La inyección centralizada es un sistema de inyección controlado electrónicamente en el Fig.4

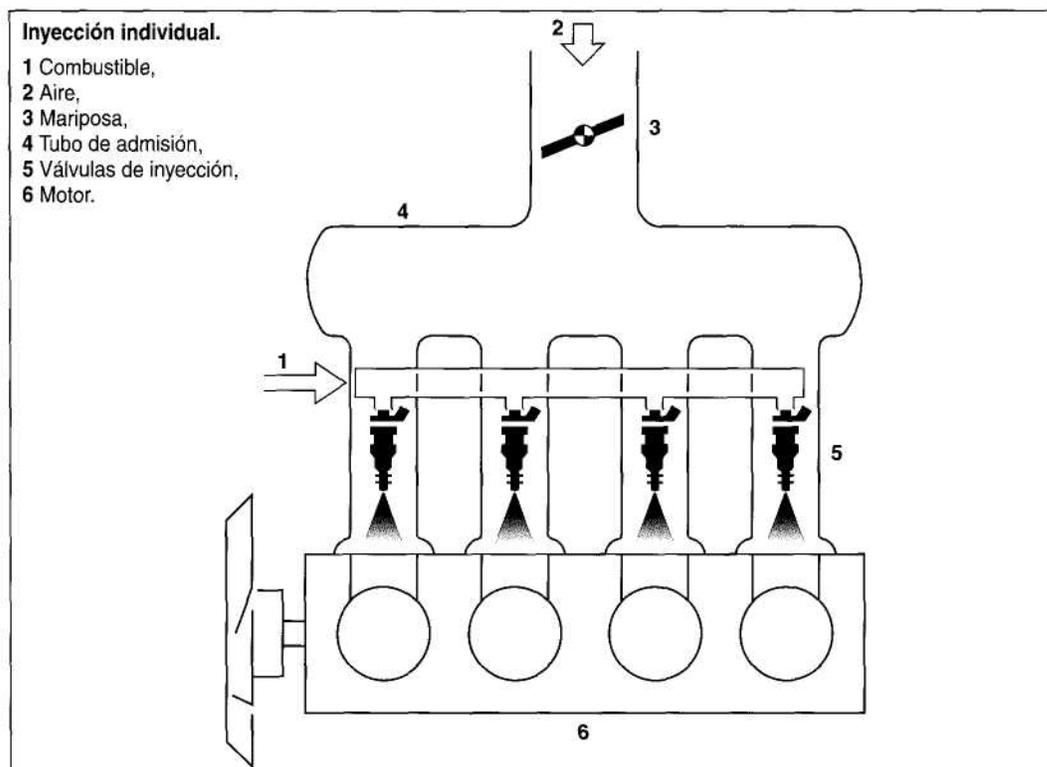
cual una válvula de inyección electromagnética dispuesta en un lugar central por encima de la mariposa, inyecta combustible intermitentemente en el tubo de admisión. Mono-Jetronic es la designación del sistema de inyección centralizada Bosch (fig. 5).

**Ventajas de la inyección**

Menor consumo de combustible El registro de todos los datos operativos necesarios para el servicio del motor (p. ej. número de revoluciones, carga, temperatura, posición de la mariposa) permite una adaptación exacta a estados operativos estacionarios y no estacionarios. Con ello se asegura que solamente se dosifique la cantidad de combustible que necesita el motor en cada momento bajo las correspondientes condiciones de servicio.

Mayor potencia

La aplicación de instalaciones K-Jetronic y L-Jetronic permite una configuración óptima de las vías de admisión, pudiendo conseguirse un par motor mayor debido al mejor llenado de los cilindros. El resultado es una mayor potencia específica y una evolución favorable de par motor. Mediante la separación



corriente en los sistemas de inyección entre medición de las necesidades de aire y dosificación de combustible, es posible también con el Mono-Jetronic conseguir una mayor potencia en comparación con el carburador, debido a las vías de admisión menos estranguladas.

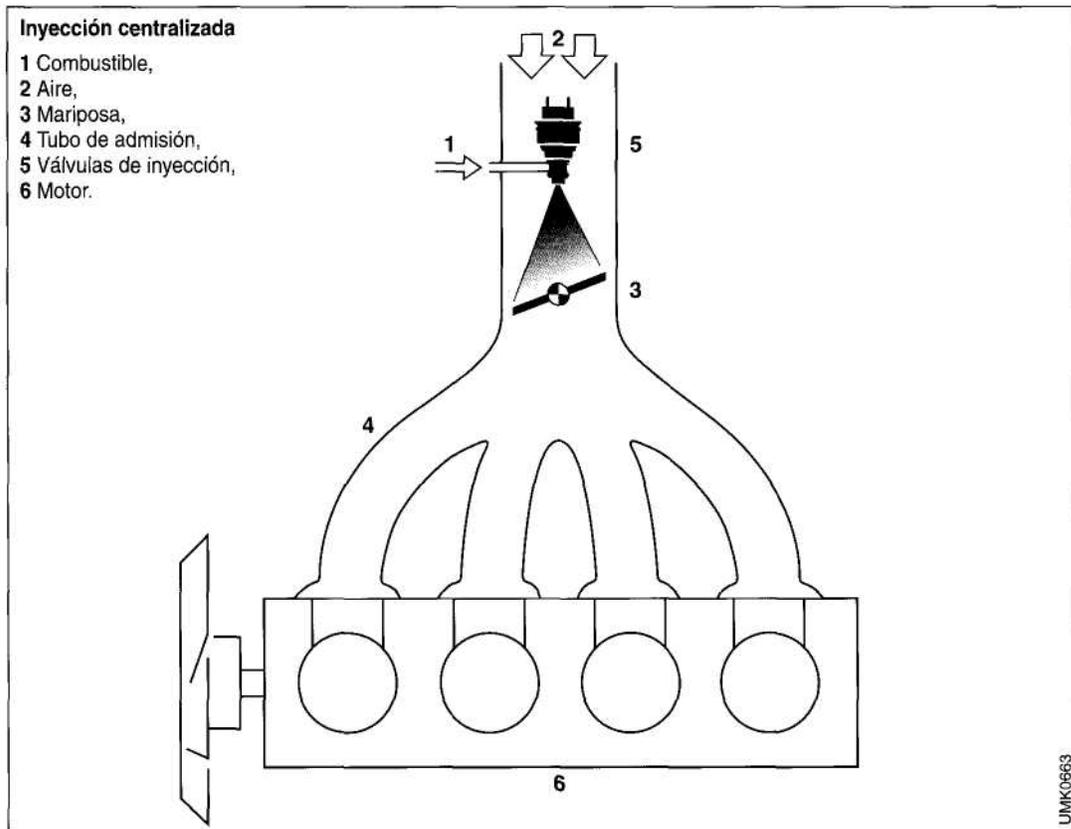
Aceleraciones sin retardo Los sistemas Jetronic se adaptan a las variables condiciones de funcionamiento casi sin demora. Esto rige tanto para los sistemas de inyección individual como también para los de inyección centralizada: en la inyección individual se inyecta el combustible directamente delante de las válvulas de admisión del motor, evitándose así ampliamente una humectación de pared. Debido al transporte de la mezcla por el tubo de admisión en la inyección centralizada, es necesario considerar la formación de la película de pared y su eliminación en los procesos no estacionarios. Esto se consigue mediante la correspondiente configuración de sistema y función en la dosificación de combustible y en la formación de la mezcla.

Fig. 5

#### Arranque en frío y fase de calentamiento mejorados

Mediante la exacta dosificación del combustible, en función de la temperatura del motor y del régimen de arranque, se consiguen tiempos de arranque más breves y una aceleración más rápida desde el ralentí. En la fase de calentamiento se realizan los ajustes necesarios para una marcha redonda del motor y una admisión de gas espontánea, con un consumo mínimo de combustible, lo cual se consigue mediante la adaptación exacta del caudal de éste.

Gases de escape menos contaminantes La concentración de los elementos contaminantes en los gases de escape depende directamente de la proporción aire/combustible. Para reducir la emisión de elementos contaminantes, es necesario preparar una mezcla capaz de mantener una determinada proporción de aire/combustible. Los sistemas Jetronic funcionan con tal precisión que se cumple la exactitud necesaria en la formación de la mezcla requerida aquí.



## Historia(s) de la inyección

La inyección de gasolina cuenta con un pasado muy largo de casi 100 años de duración. Ya en 1898 fabricó la Gas-motorenfabrik Deutz bombas de vástago en pequeñas cantidades para la inyección de gasolina.

Una vez se descubrió poco tiempo después el actual concepto del carburador, la inyección de gasolina en aquel estado de la técnica perdió su capacidad de competencia.

En 1912 se iniciaron en Bosch las primeras pruebas sobre bombas de inyección de gasolina. En 1937 se introdujo en la producción en serie el primer motor de aviación con 1200 CV de potencia y con inyección de gasolina Bosch. La inseguridad de la técnica de carburador debido a la congelación y al peligro de incendio, fomentó el desarrollo de la inyección de gasolina precisamente en este sector. Comenzó entonces la auténtica época de la inyección de gasolina Bosch, pero todavía quedaba un largo recorrido hasta la inyección de gasolina en un coche de turismo.

En 1951 se montó por primera vez en serie una inyección directa Bosch en un coche utilitario y algunos años después se realizó el montaje en el legendario 300 SL, un coche deportivo de serie de Daimler-Benz.

En los años siguientes se perfeccionaron cada vez más las bombas de inyección mecánicas, y ...

En 1967 realizó la inyección de gasolina un paso más hacia delante: el primer sistema de inyección electrónico, el D-Jetronic controlado por la presión del tubo de admisión.

En 1973 entró en el mercado el sistema L-Jetronic con medición del caudal de aire, simultáneamente con el K-Jetronic controlado de forma mecánica e hidráulica, asimismo un sistema con medición del caudal de aire.

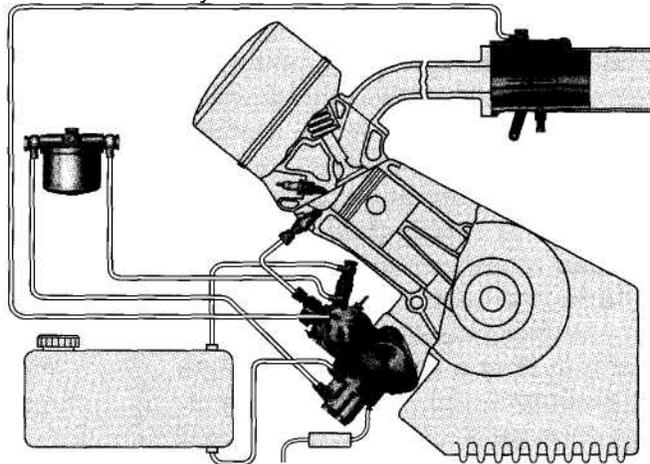
En 1979 se introdujo un nuevo sistema: el Motronic con el procesamiento digital de muchas funciones del motor. Este sistema reunió el L-Jetronic y un encendido electrónico por campo característico. ¡El primer microprocesador en un automóvil! En 1982 se ofreció como KE-Jetronic el sistema K-Jetronic ampliado con un circuito de regulación electrónico y la sonda Lambda.

A partir de 1987 se introdujo también el sistema Mono-Jetronic: un sistema de inyección central especialmente favorable en su precio, que hizo posible el equipamiento con Jetronic también en vehículos pequeños.

Desde 1967 (primera aplicación del D-Jetronic) hasta 1997 se montaron aproximadamente 64 millones de sistemas de control del motor Bosch en diversos vehículos.

Tan sólo en 1997 se tenían 4,2 millones, de los cuales un millón correspondía a sistemas de inyección central y 3,2 millones a sistemas de inyección individual.

**Inyección de gasolina  
Bosch del año 1954.**



# Encendido

## Tarea

La misión del encendido es inflamar en el momento de encendido correcto la mezcla comprimida de aire/combustible, iniciando así su combustión. En el motor de gasolina se produce esto mediante una chispa eléctrica, es decir mediante una breve descarga de arco voltaico entre los electrodos de la bujía de encendido.

Un encendido que trabaje de forma segura bajo cualquier circunstancia es requisito previo para el servicio perfecto del catalizador. Los fallos de encendido conducen al deterioro o destrucción del catalizador debido al sobrecalentamiento en la combustión ulterior de la mezcla que no se ha quemado.

## Exigencias

### Inflamación de la mezcla

Para la inflamación de una mezcla de aire/combustible por chispa eléctrica se requiere por cada encendido individual una energía de aprox. 0,2 mJ, siempre que la mezcla presente una composición estequiométrica. Las mezclas más ricas y más pobres requieren más de 3 mJ. Esta energía constituye únicamente una fracción de la energía total encerrada en la chispa de encendido, es decir, la energía de encendido. Si existe muy poca energía de encendido a disposición, no tiene lugar el encendido; la mezcla no puede inflamarse y se producen fallos de combustión. Por este motivo es necesario poner a disposición tanta energía de encendido que incluso bajo condiciones externas adversas, se inflame con seguridad la mezcla de aire/combustible. Para ello es suficiente que pase por la chispa una pequeña nube de mezcla inflamable. La nube de mezcla inflama y enciende el resto de la mezcla en el cilindro e inicia así la combustión del

combustible. La buena preparación y el paso sin dificultades de la mezcla a la chispa de encendido mejoran las propiedades de encendido, así como una duración prolongada de la chispa y una gran longitud de chispa, o una gran separación de electrodos. La posición y la longitud de la chispa quedan determinadas por las dimensiones de la bujía de encendido; la duración de la chispa, por el tipo y dimensionamiento del equipo de encendido, así como por las condiciones momentáneas de encendido.

### Formación de la chispa de encendido

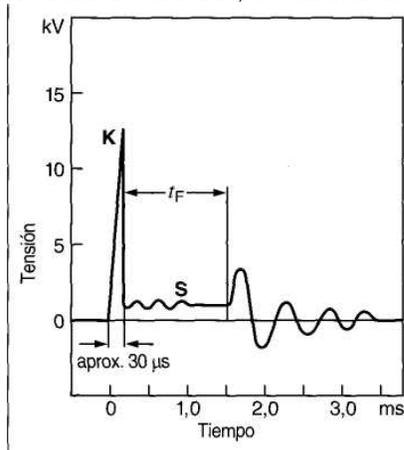
Una chispa solo puede saltar de un electrodo al otro, si actúa suficiente alta tensión. En el momento de encendido aumenta la tensión en los electrodos de la bujía de encendido, repentinamente desde cero hasta que se alcanza la tensión de salto de chispa (tensión de encendido).

En cuanto se ha encendido la chispa disminuye la tensión en la bujía de encendido

Fig. 1

**Desarrollo temporal de la tensión en la bujía de encendido con mezcla en reposo o poco movida.**

**K** Tensión de encendido, **S** Tensión de combustión, ***t<sub>F</sub>*** Duración de la chispa.

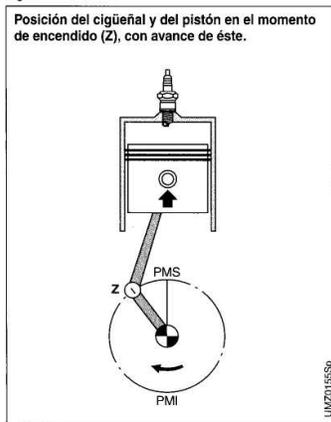


hasta la tensión de combustión. Durante la duración de la chispa de encendido (duración de chispa) tiene ocasión de inflamarse la mezcla de aire/combustible. Tras la interrupción de la chispa, la tensión disminuye amortiguadamente en forma de onda (fig. 1). La fuerte turbulencia de la mezcla deseable en sí misma, puede conducir a que se apague la chispa y con ello a una combustión incompleta. Por este motivo, la energía acumulada en la bobina de encendido debería ser suficiente para una o (según las necesidades) para varias chispas sucesivas.

### Generación de alta tensión y acumulación de energía

La alta tensión requerida para el encendido de la chispa se transforma en los equipos de encendido por batería casi siempre con ayuda de una bobina de encendido. Sin embargo, en el encendido por bobina tiene la función importante adicional de acumular energía de encendido. La bobina de encendido está dimensionada de tal forma que la alta tensión disponible está suficientemente por encima de la demanda de tensión de encendido máxima posible de la bujía de encendido; la oferta de alta tensión es de 25...30 kV con una energía acumulada en la bobina de 60...120 mJ.

Fig. 2



### Momento de encendido y su variación

Desde el instante de la inflamación de la mezcla hasta su combustión completa transcurren aproximadamente 2 milisegundos. En composiciones de mezcla iguales se mantiene constante este tiempo. La chispa de encendido debe saltar pues con la suficiente antelación para que la presión de combustión alcance su valor óptimo en cualquier estado de servicio del motor. En general, el momento de encendido se expresa relacionándolo con el «punto muerto superior» (PMS) y se indica como el valor en grados del ángulo del cigüeñal «antes del PMS». Este ángulo recibe el nombre de ángulo de encendido. Si se desplaza el momento del encendido en dirección al PMS, se habla de retardo y si el desplazamiento es en dirección contraria, de avance (fig. 2). El momento de encendido debe elegirse de tal forma que puedan cumplirse las siguientes exigencias:

- Potencia máxima del motor,
- Consumo reducido de combustible,
- Evitar detonaciones del motor y
- Obtener gases de escape «limpios».

Sin embargo, estas exigencias no pueden cumplirse simultáneamente; de caso en caso deben aceptarse compromisos. El momento de encendido más favorable en cada caso depende de muchos factores, especialmente del régimen del motor, de la carga del motor, de la ejecución del motor, del combustible y de condiciones de servicio especiales (p. ej. arranque, ralentí, plena carga, régimen de retención). La adaptación básica del momento de encendido al estado momentáneo de servicio del motor está a cargo de dispositivos de variación del encendido dependientes del régimen y de la carga. La elevada compresión de la mezcla que se alcanza hoy en día en los motores de gasolina, supone un riesgo de detonación considerablemente mayor que con los valores utilizados anteriormente. Las detonaciones del motor se originan por la brusca combustión de partes de mezcla que todavía no ha sido alcanzada por el frente de llamas que emana de la chispa de encendido. En este caso, el momento de encendido se encuentra demasiado desplazado hacia el «avance».

El funcionamiento detonante origina, en la cámara de combustión, un aumento de temperatura capaz de producir autoencendido, y además provoca un enorme aumento de la presión. Esta combustión brusca engendra ondas de presión que se superponen a la evolución normal de la presión (fig. 3). Se distinguen dos tipos de detonaciones:

- Las detonaciones que se producen al acelerar a bajo régimen y con carga elevada (perceptibles acústicamente como «picado»)

y

- las detonaciones a regímenes altos y a plena carga.

Las detonaciones a regímenes altos son muy críticas para el motor. Debido a los ruidos producidos por el motor no se oyen estas detonaciones. Por ello, las detonaciones audibles no facilitan una imagen completa del comportamiento detonante; éste puede, sin embargo, medirse exactamente por medios electrónicos. Las detonaciones continuadas causan graves daños al motor (destrucción de la junta de la culata, daños en los cojinetes, agujeros en los pistones) así como a las bujías.

La tendencia a detonar depende, entre otras cosas, del tipo de construcción del motor (p. ej. de la forma de la cámara de combustión, del grado de uniformidad de la mezcla aire/combustible, de que los canales de Fig. 3

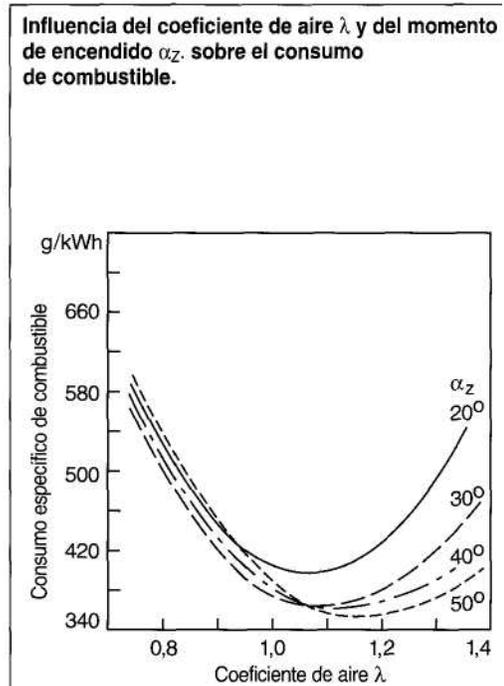
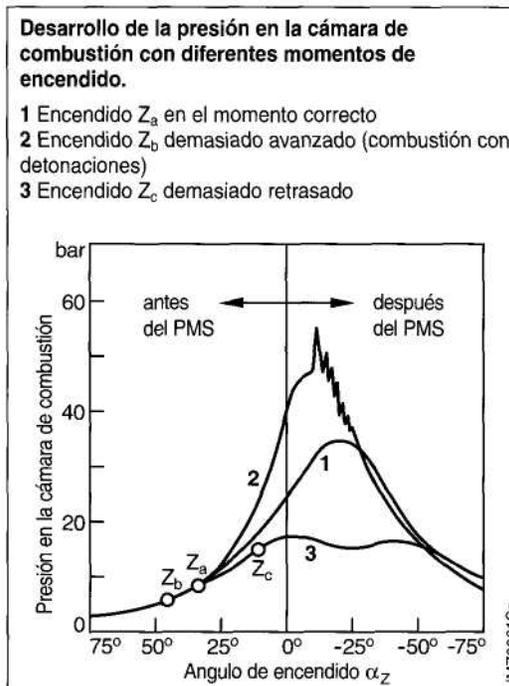
admisión favorezcan o no una buena circulación) y del combustible.

### Momento de encendido y gases de escape

Las figuras 4 y 5 ilustran la relación existente entre el consumo específico de combustible y la emisión de contaminantes, respecto al coeficiente de aire y al momento de encendido. El consumo específico de combustible disminuye al principio a medida que aumenta el coeficiente de aire, volviendo a subir de  $X = 1,1 \dots 1,2$ . El ángulo de avance óptimo con el que el consumo específico de combustible es mínimo, aumenta a medida que lo hace el coeficiente de aire. La relación entre el consumo específico y el coeficiente de aire se explica, en el momento de encendido óptimo respectivo, por el hecho de que la combustión es incompleta en el margen «rico» debido a la escasez de aire y que, en el margen «pobre», al ir aproximándose al límite de funcionamiento aparecen combustiones arrastradas y fallos de combustión, lo que provoca un mayor consumo específico de combustible. El aumento del ángulo de encendido óptimo al aumentar el coeficiente de aire se explica porque el retraso de inflamación aumenta cuando lo hace el coeficiente de aire; esto debe compensarse mediante un encendido

Fig. 3

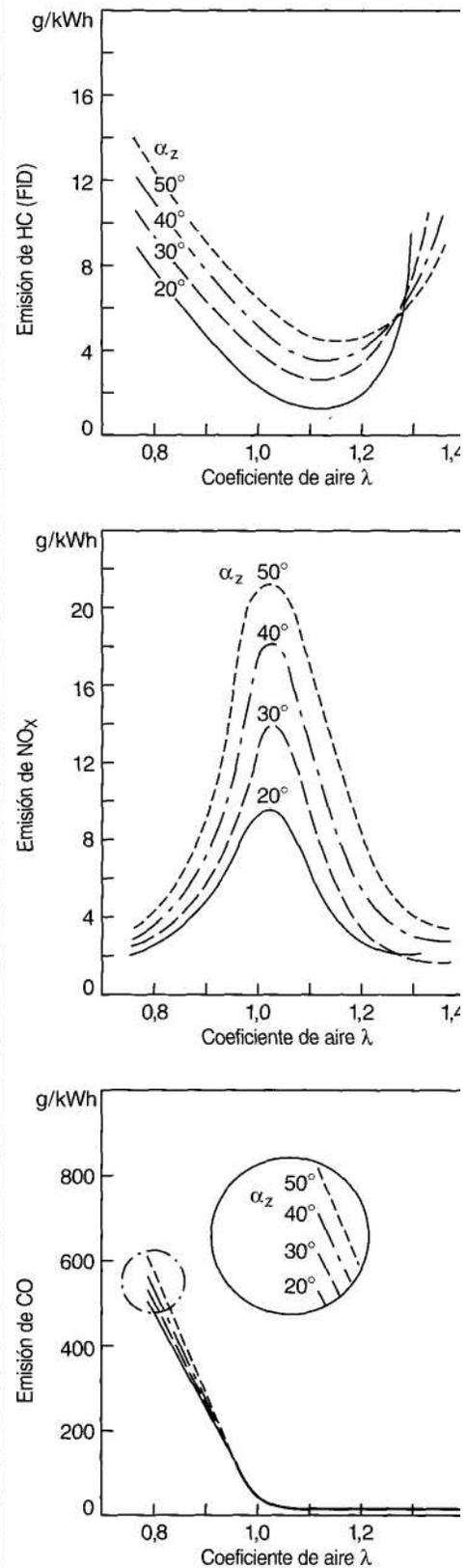
Fig. 4



cada vez más avanzado (encendido ascendente). De forma análoga se comporta la emisión de HC, cuyo valor mínimo se alcanza asimismo a  $X = 1,1$ . La subida en el margen «pobre» se produce al principio por el enfriamiento de la pared de la cámara de combustión. A causa de este enfriamiento de la pared se apaga la llama. En el margen extremadamente pobre se producen combustiones arrastradas y fallos de encendido, los cuales van haciéndose más frecuentes a medida que la proporción se va acercando al límite de funcionamiento. Un momento de encendido ajustado hacia el «avance» provoca, por debajo de  $X \sim 1,2$ , un aumento de las emisiones de HC, sin embargo, desplaza más el límite de funcionamiento hacia el margen pobre. A causa de ello, en el margen pobre y por encima de  $X \sim 1,25$  con momento de encendido avanzado, la emisión de HC es inferior. La emisión de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) se comporta de forma totalmente distinta. Esta aumenta con la concentración de oxígeno ( $\text{O}_2$ ) y con la máxima temperatura de combustión. De allí resulta la forma acampanada de la emisión de  $\text{NO}_x$ : Aumento hasta  $X \sim 1,05$  en razón del aumento de la concentración de  $\text{O}_2$  y de la temperatura máxima, luego caída rápida en el margen pobre debido al veloz descenso de la temperatura máxima que se produce al diluirse la mezcla. Esto justifica asimismo la gran influencia que ejerce el momento del encendido. La emisión de  $\text{NO}_x$  aumenta a medida que aumenta el avance del encendido. Si se satisfacen las prescripciones sobre gases de escape haciendo funcionar el motor en el margen de  $X = 1,2 \dots 1,4$ , entonces el sistema de avance de encendido se ve sometido a exigencias considerablemente mayores. Para conceptos de gases de escape con catalizador de 3 vías se hace necesaria la adaptación de la mezcla a  $X = 1$ , de forma tal que sólo puede recurrirse a la posición del ángulo de encendido como criterio de optimización.

Fig. 5

**Influencia del coeficiente de aire  $\lambda$  y del momento de encendido  $\alpha_z$  sobre la emisión de contaminantes.**



# Sistema de control del motor

## Motronic

### Sistema global Motronic

#### Relación general del sistema

El Motronic reúne en una sola unidad de control toda la electrónica del control del motor que realiza todas las intervenciones de ajuste deseadas en el motor de gasolina. Detectores de medición (sensores) en el motor registran los datos de servicio necesarios para ello, p. ej. entradas de conexión como

- Encendido (conectado/desconectado),
- Posición del árbol de levas,
- Velocidad de marcha,
- Nivel de marcha,
- Intervención del cambio,
- Acondicionador de aire, etc o entradas analógicas como:
- Tensión de la batería,
- Temperatura del motor,
- Temperatura del aire aspirado,
- Caudal de aire,
- Ángulo de la mariposa,
- Sonda Lambda,
- Sensor de detonación, etc. y el
- Número de revoluciones.

Los circuitos de entrada en la unidad de control preparan estos datos para el micro-procesador. Este procesa los datos de servicio, reconoce a partir de ellos el estado de servicio del motor y calcula en función de él las señales de ajuste. Las etapas finales amplifican estas señales y activan elementos actuadores que controlan el motor. De esta forma puede conseguirse una cooperación óptima de la inyección, la mejor preparación de combustible y el momento de encendido correcto en los diversos estados de servicio del motor de gasolina.

#### Ejecuciones Motronic

La descripción sucesiva con las correspondientes ilustraciones se refiere a una ejecución típica Motronic (fig. 1). Otras variantes de Motronic están adaptadas a las exigencias individuales que establecen las legislaciones de los diversos países y los fabricantes de automóviles a un sistema de control del motor.

#### Función básica

El control del encendido y de la inyección de gasolina constituye (independientemente de la ejecución) fundamentalmente el núcleo del sistema Motronic. Los capítulos de registro y procesamiento de datos de servicio describen el registro y el procesamiento de las informaciones medidas.

#### Funciones adicionales

Otras funciones de control y regulación que se han hecho necesarias por la legislación para la disminución de las emisiones de gases de escape y por la reducción del consumo de combustible, amplían la función básica del Motronic y permiten una supervisión de todas las influencias que intervienen en la composición de los gases de escape. Pertenecen aquí:

- Regulación del régimen de ralentí,
- Regulación Lambda,
- Control del sistema de retención de vapores de combustible,
- Regulación de detonación,
- Retroalimentación de gases de escape para la disminución de las emisiones de NO<sub>x</sub>

y

- Control del sistema de aire secundario para la disminución de las emisiones de HC. En caso de exigencias más estrictas de los fabricantes de automóviles, el sistema puede completarse adicionalmente con las siguientes funciones:

- Control del turbocompresor así como de la conmutación del tubo de admisión para aumentar la potencia del motor,
- Control del árbol de levas para disminuir las emisiones de gases de escape y del consumo de combustible así como para aumentar la potencia y
- Regulación de detonación así como limitación del número de revoluciones y de la velocidad, para la protección del motor y el vehículo.

### Sistema de control del vehículo

El Motronic apoya también las unidades de control de otros sistemas del vehículo. En combinación con la unidad de control del cambio automático, permite entre otras

Fig. 1.

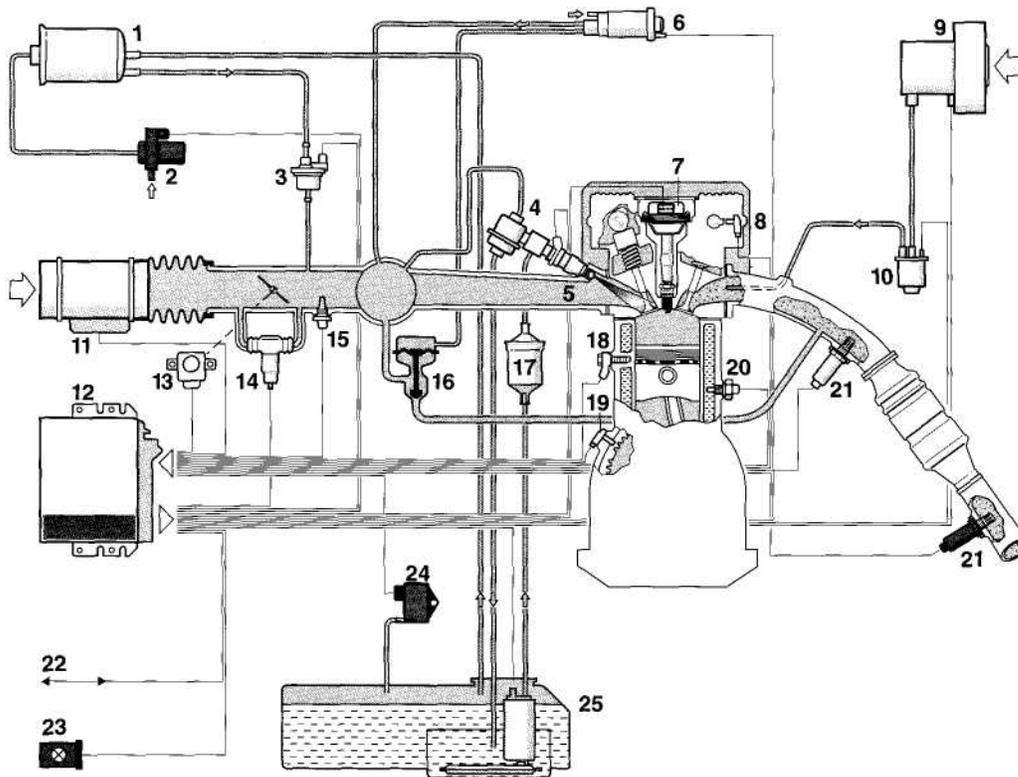
cosas, un acoplamiento de marchas que mediante la reducción del par durante el proceso de acoplamiento, protege al cambio, y que junto con la unidad de control ABS permite un sistema de tracción antideslizante (ASR) para aumentar la seguridad de marcha.

El diagrama inferior del sistema muestra la extensión máxima de un sistema Motronic. Puede aplicarse un sistema así para cumplir

- los estrictos valores límite de gases de escape y
- las exigencias al diagnóstico integrado para el estado federal US de California, desde 1993.

#### Diagrama del sistema Motronic M5 con diagnóstico integrado.

- |  |  |                                       |
|--|--|---------------------------------------|
| 1 Depósito de carbón activo              | 10 Válvula de aire secundario                  | 19 Sensor de revoluciones             |
| 2 Válvula de cierre                      | 11 Medidor de masa de aire                     | 20 Sensor de la temperatura del motor |
| 3 Válvula regeneradora                   | 12 Unidad de control                           | 21 Sonda Lambda                       |
| 4 Regulador de la presión de combustible | 13 Transmisor de la mariposa                   | 22 Interface de diagnóstico           |
| 5 Válvula de inyección                   | 14 Actuador de ralenti                         | 23 Lámpara de diagnóstico             |
| 6 Actuador de presión                    | 15 Sensor de temperatura del aire              | 24 Sensor de presión diferencial      |
| 7 Bobina de encendido                    | 16 Válvula de recirculación de gases de escape | 25 Electrobomba de combustible        |
| 8 Sensor de fase                         | 17 Filtro de combustible                       |                                       |
| 9 Bomba de aire secundario               | 18 Sensor de detonación                        |                                       |



# Sistema de combustible

## Alimentación de combustible

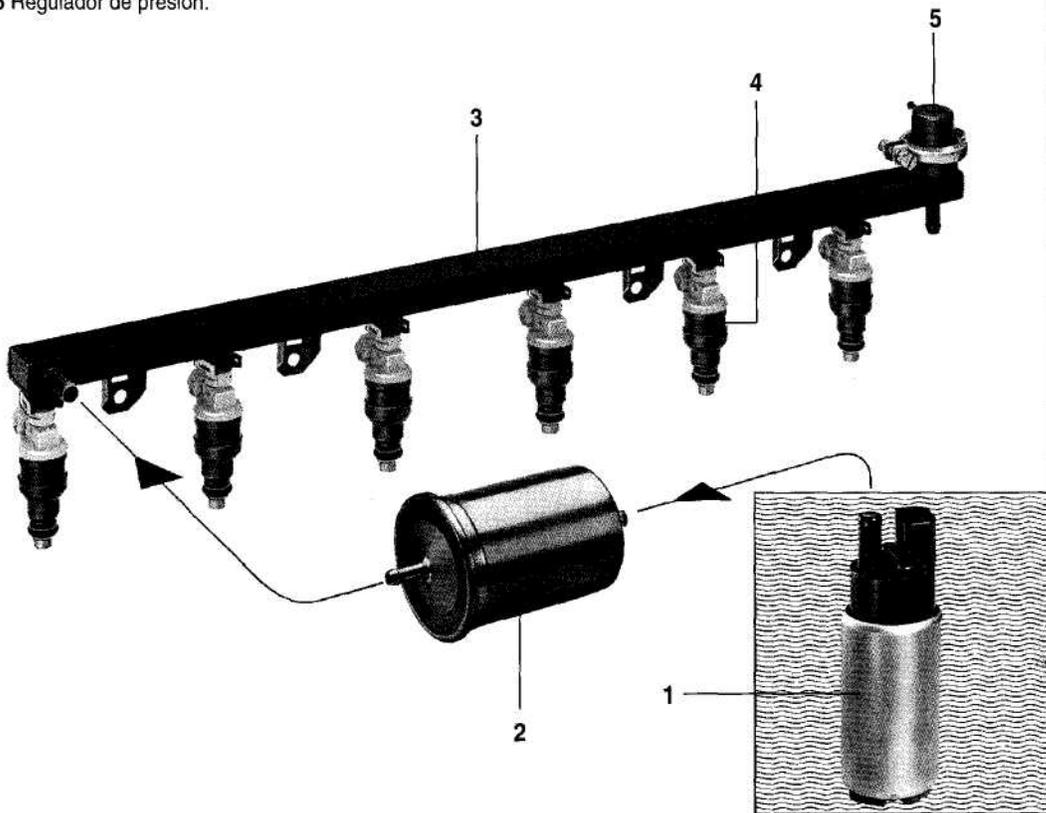
### Sistema de alimentación de combustible

El sistema de alimentación de combustible tiene la misión de poner siempre a disposición del motor el caudal de combustible necesario bajo todas las condiciones de servicio. Para ello, una bomba accionada eléctricamente transporta el combustible a través de un filtro de combustible, desde el depósito de combustible al distribuidor de combustible con las válvulas de inyección Fig. 1 electromagnéticas. Estas lo inyectan exactamente dosificado en el tubo de admisión del motor. El combustible no consumido retorna al depósito de combustible pasando por un regulador de presión (fig. 1).

En la mayoría de los casos, el regulador de presión utiliza como referencia la presión en el tubo de admisión. Con esta presión típica y el flujo a través del distribuidor de combustible (enfriamiento del combustible) no pueden producirse burbujas de vapor indeseadas en el combustible. De esta forma resulta una presión diferencial constante en la válvula de inyección de normalmente 300 kPa. Si es necesario pueden montarse en el sistema de alimentación de combustible

#### Sistema de alimentación de combustible.

- 1 Electrobomba de combustible (en el depósito),
- 2 Filtro de combustible,
- 3 Distribuidor de combustible,
- 4 Válvula de inyección,
- 5 Regulador de presión.



amortiguadores de presión para reducir las pulsaciones de combustible.

### Electrobomba de combustible

#### Tarea

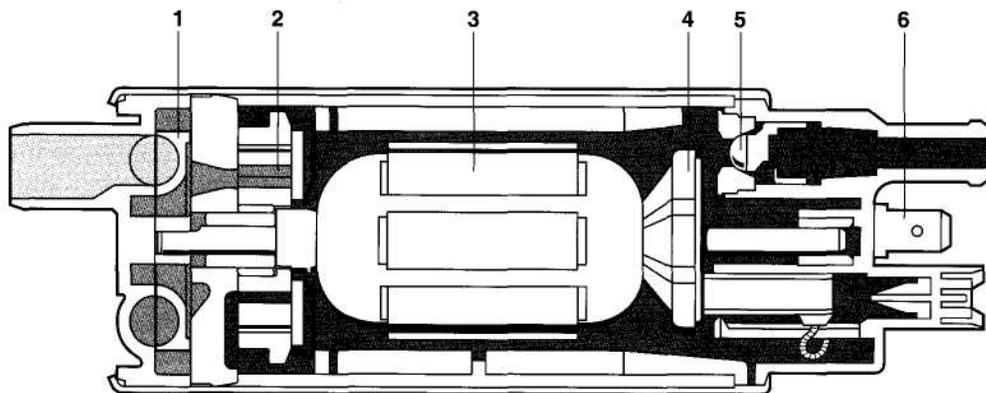
La electrobomba de combustible transporta continuamente el combustible desde el depósito de combustible. La bomba puede estar montada directamente dentro del depósito de combustible («en el depósito») o fuera de él, en la tubería de combustible («Inline»). Las bombas «en el depósito» empleadas hoy día por regla general (figuras 2 y 3) están integradas en unidades incorporadas en el depósito que contiene también el transmisor del nivel de llenado y un cuerpo de rotación

Fig. 2

para la separación de burbujas de vapor en el retorno del combustible. En las bombas Inline puede montarse, para evitar problemas de suministro en caliente, una bomba previa en el depósito de combustible, que impulsa el combustible a reducida presión hacia la bomba principal. Con el fin de mantener la presión de combustible necesaria bajo todas las condiciones de servicio, el caudal de suministro es superior a la demanda máxima de combustible del motor. El control del motor conecta la electrobomba de combustible. Un circuito de seguridad impide el suministro estando conectado el encendido y el motor parado.

#### Electrobomba de combustible de dos niveles (con bomba de canal lateral y bomba de rueda dentada interior).

1 Nivel previo (bomba de canal lateral), 2 Nivel principal (bomba de rueda dentada interior), 3 Inducido del motor, 4 Colector, 5 Válvula de retención, 6 Conexión eléctrica.

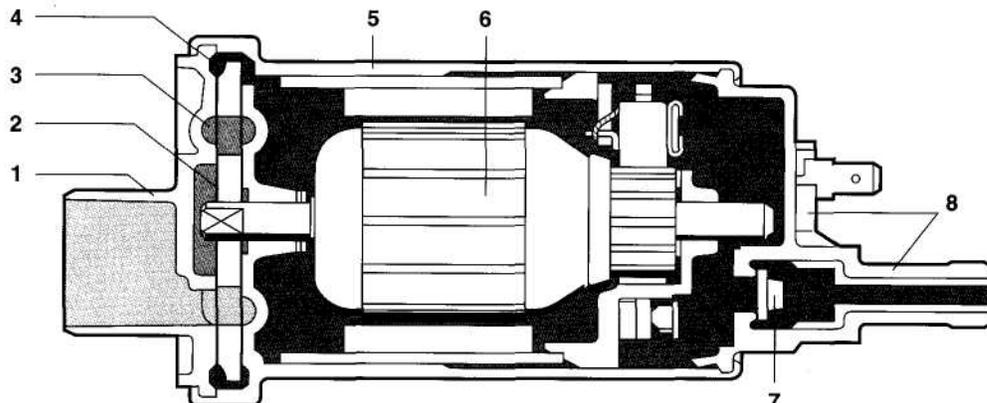


UMK1236Y

Fig. 3

#### Electrobomba de combustible de dos niveles (con bomba de canal lateral y bomba periférica).

1 Tapa de aspiración con empalme de succión, 2 Rodete, 3 Nivel previo (bomba de canal lateral), 4 Nivel principal (bomba periférica), 5 Cuerpo de la bomba, 6 Inducido del motor, 7 Válvula de retención, 8 Tapa de conexión con empalme de presión.



JK0666Y

### Estructura

Las electrobombas de combustible se componen de los siguientes elementos:

- Unidad de bomba,
- Motor eléctrico y tapa de conexión.

El motor eléctrico y la unidad de bomba de la electrobomba de combustible se encuentran dentro de una carcasa común y están rodeados de combustible continuamente. Esto origina una buena refrigeración del motor eléctrico. Por falta de oxígeno no puede formarse una mezcla inflamable dentro de la carcasa. Por lo tanto no existe peligro de explosión. La tapa de conexión presenta las conexiones eléctricas, la válvula de retención y el empalme hidráulico correspondiente al lado de presión. La válvula de retención mantiene la presión del sistema durante algún tiempo tras la desconexión de la electrobomba de combustible, con el fin de evitar formación de burbujas de vapor. Adicionalmente, en la tapa de conexión pueden estar integrados medios antiparasitarios para el desparasitaje de radiointerferencias.

### Tipos constructivos

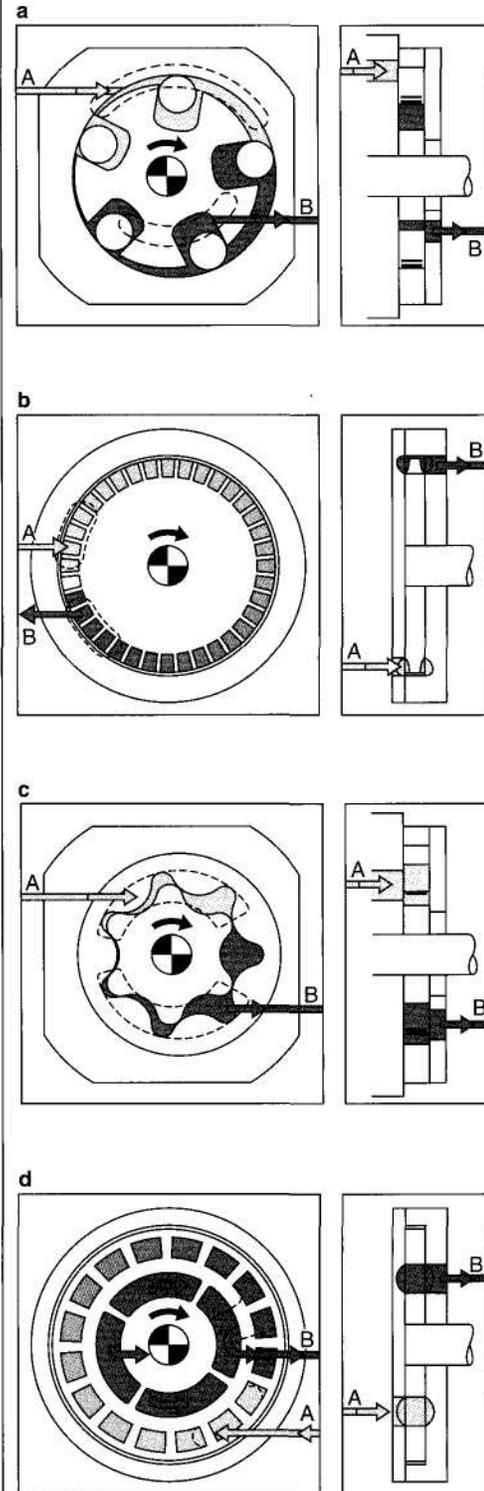
En función de las exigencias del sistema se aplican diversos principios de bomba (fig. 4).

Bombas de desalojamiento Las bombas celulares de rodillos (RZP) y las bombas de rueda dentada interior (IZP) pertenecen al grupo de las bombas de desalojamiento. El efecto de bombeo se basa en que unas cámaras rotativas de tamaño variable dejan libre una abertura de entrada y aspiran combustible al aumentar de tamaño. Cuando alcanzan el volumen máximo, se cierra la abertura de entrada y se libera la abertura de salida. Por la reducción de tamaño de la cámara se expulsa ahora el combustible. En el caso de las bombas celulares de rodillos, las cámaras están formadas por rodillos perimetrales conducidos dentro de un disco ranurado en rotación. Debido a la fuerza centrífuga y a la presión del combustible, los rodillos son presionados hacia fuera contra la pista de rodillos dispuesta excéntrica. La excentricidad entre el disco ranurado y la pista de rodillos origina el aumento y reducción constante de las cámaras.

Fig. 4

### **Principios de funcionamiento.**

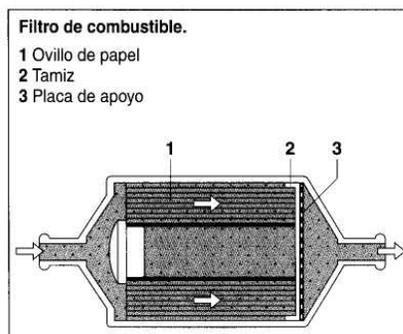
- a Bomba celular de rodillos (RZP)
- b Bomba periférica (PP)
- c Bomba de rueda dentada interior (IZP)
- d Bomba de canal lateral (SKP)



La bomba de rueda dentada interior se compone de una rueda propulsora interna que engrana en un rotor exterior dispuesto excéntricamente, que tiene un diente más que la rueda propulsora. Los flancos de dientes estanqueizados entre sí forman al girar cámaras variables en sus espacios intermedios. Las bombas celulares de rodillos pueden aplicarse hasta un margen de sobrepresión de combustible de 650 kPa, y las bombas de rueda dentada interior hasta 400 kPa, lo cual es suficiente prácticamente para todas las aplicaciones Motronic.

**Bombas hidrodinámicas** Al grupo de las bombas hidrodinámicas pertenecen las bombas periféricas (PP) y las bombas de canal lateral (SKP). En ellas, las partículas de combustible son aceleradas por el rodete y centrifugadas en un canal donde generan presión por intercambio de impulsos. Las bombas periféricas se diferencian de las bombas de canal lateral por el mayor número de aletas, por la forma de los rodetes y, contrariamente a las bombas de canal lateral, por los canales dispuestos en su contorno (periféricamente). Con las bombas periféricas sólo puede alcanzarse una sobrepresión máxima de combustible de 400 kPa, pero debido al flujo de combustible continuo prácticamente sin pulsaciones, son especialmente apropiadas para aplicaciones en vehículos sensibles a los ruidos. Con las bombas de canal lateral sólo se alcanzan sobrepresiones de hasta 30 kPa. Se aplican preferentemente como bombas previas en sistemas con bomba «Inline» y como nivel previo en bombas «en el depósito» de dos

Fig.5



niveles, para vehículos con problemas de arranque en caliente así como en sistemas con inyección central.

### **Filtro de combustible**

Las impurezas en el combustible pueden afectar el funcionamiento de las válvulas de inyección y del regulador de presión. Por este motivo, detrás de la electrobomba de combustible va dispuesto un filtro. El filtro de combustible lleva un elemento filtrante de papel de una porosidad media de 10  $\mu\text{m}$ . Está fijado con una placa soporte en el interior del cuerpo metálico. Los intervalos de cambio dependen del volumen del filtro y del ensuciamiento del combustible (fig. 5).

### **Distribuidor de combustible**

El combustible pasa a través del distribuidor de combustible donde se distribuye uniformemente a todas las válvulas de inyección. Junto a las válvulas de inyección está fijado casi siempre también el regulador de presión y, dado el caso, un amortiguador de presión al distribuidor de combustible. La adaptación conveniente de las dimensiones del distribuidor de combustible impide variaciones locales de la presión de combustible por resonancias al abrir y cerrar las válvulas de inyección. Se evitan así irregularidades de los caudales de inyección dependientes de la carga y del régimen. En función de las exigencias de los diversos modelos de vehículos, los distribuidores de combustible son de acero, aluminio o plástico. Para fines de comprobación y para la eliminación de la presión de combustible durante los trabajos de servicio, puede estar integrada una válvula de comprobación.

### **Regulador de la presión de combustible**

El caudal de inyección debe depender únicamente del tiempo de inyección. La diferencia entre la presión de combustible en el distribuidor de combustible y la presión del tubo de admisión, debe mantenerse por lo tanto constante. Es decir, la presión del tubo de admisión dependiente de la carga debe reproducirse en la presión del combustible. Por este motivo, el regulador de presión de combustible deja retroceder al depósito de combustible la cantidad justa de combustible necesaria para mantener constante el

gradiente de presión con las válvulas de inyección. Para el barrido completo del distribuidor de combustible, el regulador de la presión de combustible está montado normalmente en su extremo. Sin embargo, también puede estar en la tubería de combustible. El regulador de la presión de combustible está configurado como regulador de rebose mandado por membrana (fig. 6). Una membrana de tejido de goma divide el regulador de presión de combustible en una cámara de combustible y una cámara de muelle. El muelle presiona a través del soporte de válvula integrada en la membrana sobre una placa de válvula móvil contra un asiento de válvula. Cuando la fuerza ejercida por la presión de combustible sobre la membrana es superior a la fuerza del muelle, se abre la válvula y deja pasar hacia el depósito de combustible justamente la cantidad de combustible necesaria para que se establezca un equilibrio de fuerzas en la membrana. La cámara de muelle está unida neumáticamente con el colector de admisión detrás de la mariposa. La depresión del colector de admisión actúa así en la cámara de muelle. De esta forma, en la membrana existe la misma relación de presión que en las válvulas de inyección. La caída de presión a través de las válvulas de inyección depende por lo tanto únicamente de la fuerza elástica y de la superficie de la membrana manteniéndose pues constante.

#### Amortiguador de presión de combustible

La activación a intervalos de las válvulas de inyección y la impulsión periódica de combustible en las electrobombas de combustible según el principio de desalojamiento, conduce a oscilaciones en la presión de combustible. Bajo determinadas circunstancias, estas oscilaciones pueden transmitirse al depósito de combustible y a la carrocería del vehículo a través de los elementos de fijación de la electrobomba de combustible, las tuberías de combustible y el distribuidor de combustible. Los ruidos originados por ello pueden evitarse mediante la configuración adecuada de los elementos de fijación y mediante amortiguadores especiales de presión de combustible. El amortiguador de presión de combustible (fig. 7) presenta una estructura similar al regulador de presión de combustible. Al igual que en éste, una membrana sometida a fuerza elástica separa las cámaras de combustible y de aire. La fuerza elástica está dimensionada de tal forma que la membrana se levanta de su asiento en cuanto la presión de combustible alcanza su margen de trabajo. La cámara de combustible variable de esta forma puede asumir combustible al producirse puntas de presión y entregarlo de nuevo en los valores más bajos de presión. Para poder trabajar siempre en el margen de servicio óptimo en caso de fluctuación de la presión absoluta de combustible, debida a la presión del colector de admisión, la cámara de muelle puede estar provista de una conexión al colector de admisión. Igual que el regulador de presión de combustible, el amortiguador de presión de combustible puede estar instalado en el distribuidor de combustible o en la tubería de combustible.

Fig. 6

#### Regulador de la presión de combustible.

1 Conexión al conector de admisión, 2 Muelle, 3 Portaválvula, 4 Membrana, 5 Válvula, 6 Entrada de combustible, 7 Retorno de combustible.

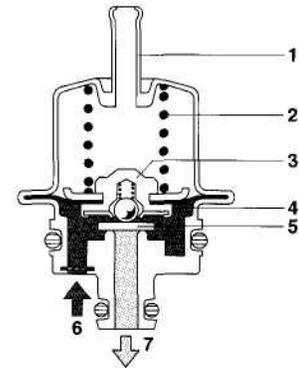
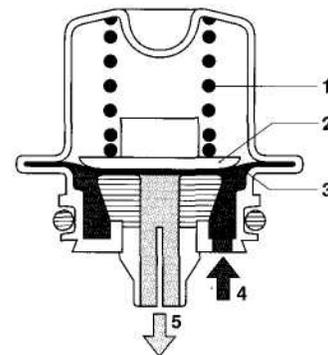


Fig. 7

#### Amortiguador de la presión de combustible.

1 Muelle, 2 Platillo de muelle, 3 Membrana, 4 Entrada de combustible, 5 Retorno de combustible.



## Inyección de combustible

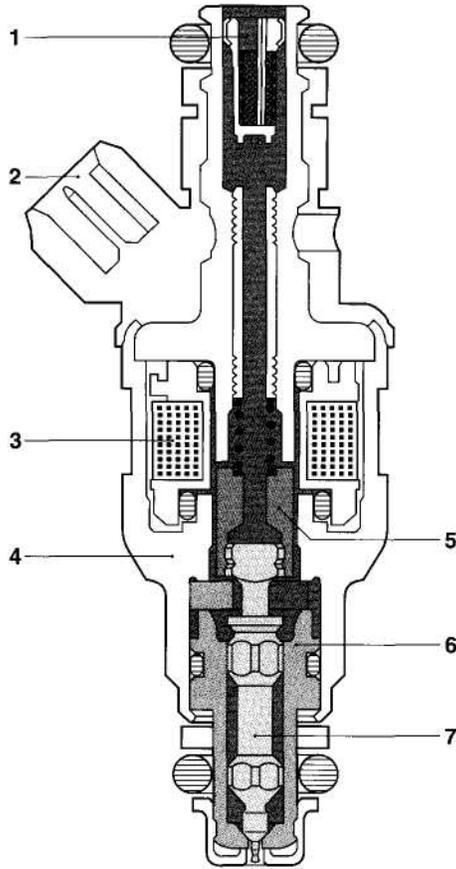
Las elevadas exigencias respecto a la suavidad de marcha y al comportamiento de gases de escape de un vehículo condicionan también altas exigencias a la composición de la mezcla en cada ciclo de trabajo. Junto a la dosificación exacta de la masa de combustible inyectada en correspondencia con el aire aspirado por el motor, tiene mucha importancia también la inyección en el momento exacto. Por este motivo, a cada cilindro del motor le corresponde una válvula de inyección electromagnética. La válvula inyecta el combustible exactamente dosificado en el momento determinado por la unidad de control, directamente delante de la(s) válvula(s) de admisión del cilindro. De esta forma se evita ampliamente la humectación de la pared

Fig. 8

fig. 9

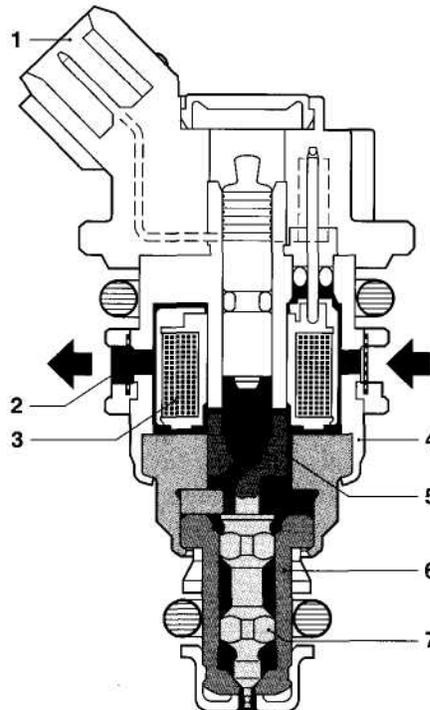
### Válvula de inyección («top-feed»).

1 Tamiz filtrante en la entrada de combustible,  
2 Conexión eléctrica, 3 Devanado magnético,  
4 Carcasa de la válvula, 5 Inducido, 6 Cuerpo de la válvula, 7 Aguja de válvula.



### Válvula de inyección («bottom-feed»).

1 Conexión eléctrica, 2 Tamiz filtrante en la entrada de combustible, 3 Devanado magnético, 4 Carcasa de la válvula, 5 Inducido, 6 Cuerpo de la válvula, 7 Aguja de válvula.



del colector de admisión, la cual, en caso de un funcionamiento del motor no estacionario, puede conducir a divergencias pasajeras del valor Lambda deseado. Los colectores de admisión del motor conducen por lo tanto únicamente aire de combustión y pueden adaptarse por lo tanto de forma óptima a los requerimientos dinámicos de gas del motor.

### Válvula de inyección electromagnética

La válvula de inyección electromagnética contiene una aguja de válvula con inducido magnético superpuesto (figuras 8 y 9). La aguja está conducida con gran precisión en el cuerpo de la válvula. En estado de reposo, un muelle helicoidal presiona la aguja de válvula sobre el asiento estanco del cuerpo de válvula y cierra así la abertura de salida de combustible hacia el tubo de admisión del motor.

En cuanto la unidad de control activa el devanado magnético, se levanta el inducido magnético con la aguja de válvula por valor de 60...100  $\mu\text{m}$ , pudiendo salir entonces el combustible a través de una abertura calibrada.

En función del tipo de inyección, régimen del motor y de la carga, el tiempo de activación es de 1,5... 18 ms y la frecuencia de activación es de 3... 125 Hz.

Para cada caso de aplicación existen distintos tipos de válvula de inyección:

**Válvula de inyección «Top-Feed»** La válvula de inyección «Top-Feed» es atravesada axialmente desde arriba («top-feed») por el combustible. La válvula se aplica con

Fig. 10

una junta anular superior en aberturas correspondientemente conformadas del distribuidor de combustible y se asegura con una grapa de sujeción para que no se salga por resbalamiento. Con la junta anular inferior queda introducida en el tubo de admisión del motor (fig. 8).

**Válvula de inyección «Bottom-Feed»** La válvula de inyección «Bottom-Feed» integrada en el distribuidor de combustible está rodeada de combustible. La entrada de combustible se encuentra lateralmente («bottom-feed»). El distribuidor de combustible está montado directamente sobre el tubo de admisión. La válvula de inyección está fijada en el distribuidor de combustible con una

**Válvulas de inyección («bottom-feed»), integradas en el distribuidor de combustible.**

- 1 Entrada de combustible,
- 2 Válvula de inyección,
- 3 Conexión eléctrica,
- 4 Barra de contacto,
- 5 Regulador de presión,
- 6 Retorno de combustible.

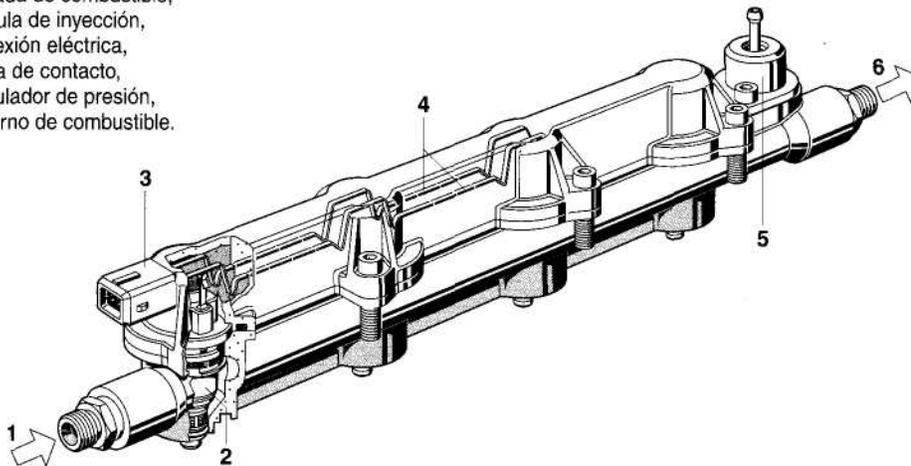
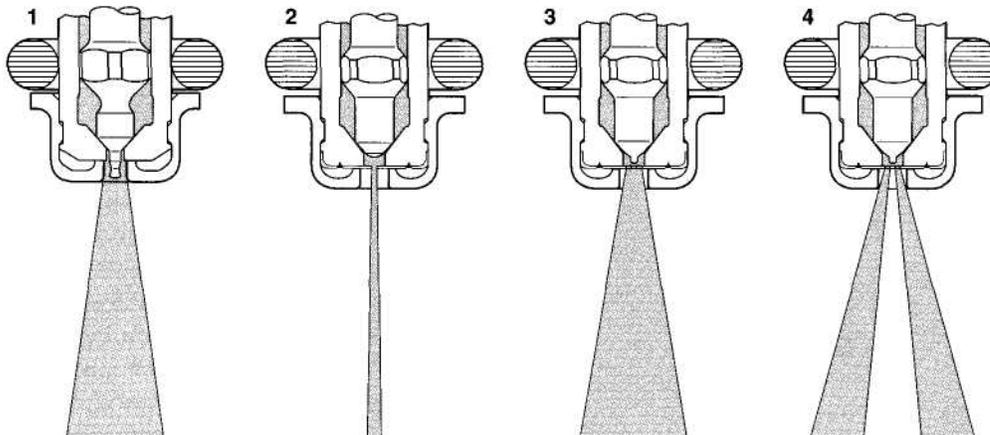


Fig. 11

**Formas de dosificación y preparación del combustible.**

- 1 Dosificación por ranura anular,
- 2 Dosificación por un orificio,
- 3 Dosificación por varios orificios,
- 4 Dosificación por varios orificios con válvula de dos chorros.



grapa de sujeción o una tapa del distribuidor de combustible que puede contener también las conexiones eléctricas. Dos juntas anulares impiden la salida de combustible. Además del buen comportamiento de arranque en caliente y de marcha en caliente por la refrigeración del combustible, este módulo compuesto por distribuidor de combustible y válvulas de inyección, se caracteriza por su reducida altura constructiva (figuras 9 y 10).

### Preparación de la mezcla

La exigencia relativa a una humectación reducida de la pared del tubo de admisión, con una buena homogeneidad de la mezcla de aire/combustible por pulverización del combustible, se cumple mediante distintas Fig. 12

formas de dosificación de combustible. La abertura de salida de combustible calibrada de la válvula de inyección puede estar configurada para ello en correspondencia con las exigencias (fig. 11). En la dosificación por ranura anular, una parte de la aguja de válvula (espiga pulverizadora) atraviesa el cuerpo de la válvula. La ranura anular que surge así constituye la abertura de salida de combustible calibrada.

La espiga pulverizadora presenta en su extremo inferior una arista de ruptura rectificada, en la que se pulveriza el combustible y se eyecta de forma cónica. Las válvulas de inyección con dosificación por un orificio presentan en lugar de la espiga pulverizadora una fina arandela con orificio pulverizador con un taladro calibrado. Resulta de aquí un chorro de combustible muy fino que apenas humedece la pared del tubo de admisión, pero que sólo pulveriza muy poco el combustible. Las válvulas de inyección con dosificación por varios orificios están provistas, como en la dosificación de un orificio, con una arandela de orificio pulverizador pero que en este caso contiene varios orificios calibrados. Estos están dispuestos de tal forma que resulta un chorro cónico similar al de la dosificación por ranura anular, con una pulverización comparable del combustible. Los orificios también pueden estar orientados de tal forma que resulten dos o más chorros de inyección. De esta forma, en motores con varias válvulas de admisión por cada cilindro, puede distribuirse el combustible óptimamente entre los distintos canales de aspiración. Las válvulas de inyección rodeadas de aire permiten una mejora adicional de la preparación (fig. 12).

Para ello, se aspira aire de combustión a partir del tubo de admisión delante de la mariposa, a la velocidad del sonido, a través de una ranura calibrada, directamente en la arandela de orificio pulverizador. Mediante el efecto alterno entre moléculas de combustible y de aire se produce una neblina muy fina de combustible. Para que el aire pueda ser aspirado a través de la ranura, se requiere una determinada depresión respecto a la presión atmosférica en el tubo de admisión. El efecto de la válvula rodeada de aire se manifiesta por lo tanto principalmente en el servicio de carga parcial del motor.

### Válvula de inyección rodeada de aire.

- 1 Entrada de aire,
- 2 Entrada de combustible.

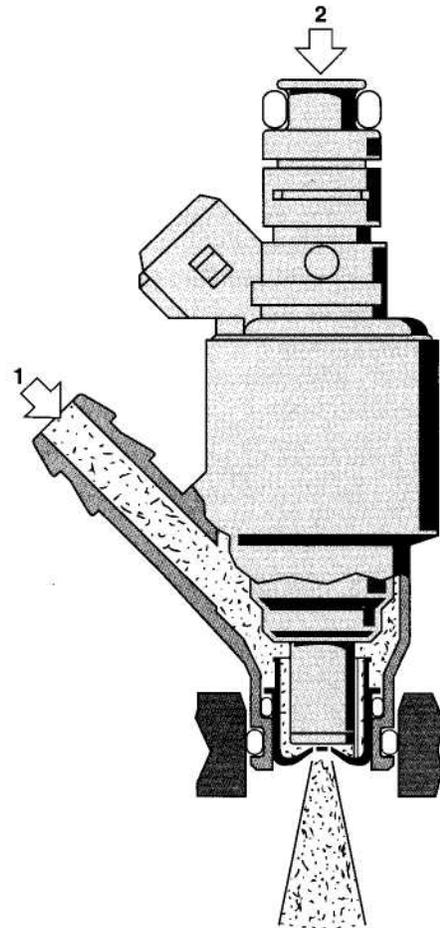


Fig. 12

# Circuito de alta tensión del encendido

En el circuito de alta tensión de un equipo de encendido se genera la alta tensión necesaria para el encendido y se distribuye «en el momento correcto» a la correspondiente bujía de encendido.

El circuito de alta tensión de un sistema Motronic puede presentar diferentes ejecuciones:

- Circuito de alta tensión con una bobina de encendido, una etapa final de encendido y un distribuidor de alta tensión (distribución rotativa de alta tensión, ROV).
- Circuito de alta tensión con una bobina de encendido de chispa simple y una etapa final de encendido por cada cilindro (distribución de tensión en reposo o electrónica, RUV).
- Circuito de alta tensión con una bobina de encendido de chispa doble y una etapa final de encendido para cada dos cilindros (distribución de tensión en reposo o electrónica, RUV).

## Bobina de encendido

### Tarea

La bobina de encendido acumula la energía de encendido necesaria y genera la alta tensión requerida para el paso de chispa en el momento de encendido.

### Estructura y función

La función de una bobina de encendido se basa en el principio de inducción. La bobina consta de dos devanados de cobre acoplados magnéticamente (el devanado primario y el secundario). La energía acumulada en el campo magnético del devanado primario se transfiere al lado secundario. La corriente y la tensión se transforman, en función de la relación de los números de espiras (relación de multiplicación), desde el lado primario al lado secundario (fig. 1).

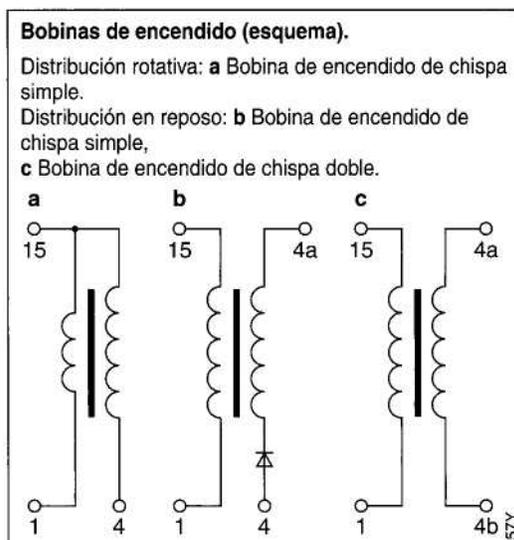
Las bobinas de encendido modernas constan de un circuito de hierro cerrado, compuesto por diversas chapas, y una carcasa de plástico. En la carcasa está el devanado primario sobre un cuerpo bobinado, directamente sobre el núcleo. Por encima está dispuesto el devanado secundario que está ejecutado como devanado de disco o devanado de cámara para aumentar la resistencia de aislamiento. Para el aislamiento de los devanados entre sí y respecto al núcleo, la carcasa está rellena de resina epóxi. La estructura y el dimensionamiento de la bobina de encendido están adaptadas al caso de aplicación concreto.

## Etapa final de encendido

### Tarea y función

La etapa final de encendido con transistores de potencia de varios niveles sirve para conectar y desconectar la corriente primaria a través de la bobina de encendido. Sustituye al convencional ruptor del equipo de encendido, aplicado anteriormente. Además, la etapa final de encendido tiene que limitar tanto la tensión primaria como también la corriente primaria. La limitación de la tensión primaria impide un aumento excesivo de la tensión secundaria ofrecida y con ello el deterioro de las piezas de alta tensión. La limitación de la corriente primaria restringe la energía del equipo de encendido a un valor preestablecido. Existen etapas finales de encendido internas (integradas en el Motronic) y externas (fuera del Motronic).

Fig. 1



## **Generación de alta tensión**

El sistema Motronic conecta la etapa final de encendido durante el tiempo de cierre calculado. Dentro de este intervalo aumenta la corriente primaria de la bobina de encendido hasta su valor teórico.

La magnitud de la corriente primaria y la magnitud de la inductividad primaria de la bobina de encendido, determinan la energía del equipo de encendido acumulada en el campo magnético. En el momento de encendido, la etapa final de encendido interrumpe el flujo de corriente. Mediante la modificación del campo magnético se induce la tensión secundaria en el devanado secundario de la bobina de encendido.

La tensión secundaria máxima posible (oferta de tensión secundaria) depende de la energía acumulada del equipo de encendido, de la capacidad del devanado y de la relación de multiplicación de la bobina de encendido, de la carga secundaria y de la limitación de tensión primaria de la etapa final de encendido. La oferta de tensión secundaria debe ser en cualquier caso superior a la tensión requerida para el paso de chispa en la bujía de encendido (demanda de tensión de encendido). La energía de la chispa debe ser suficientemente grande para inflamar la mezcla incluso al producirse chispas sucesivas.

Al conectar la corriente primaria se induce en el devanado secundario una tensión indeseable de aprox. 1...2 kV (tensión de conexión); ésta presenta una polaridad inversa a la alta tensión. Debe evitarse el salto de chispa en la bujía de encendido (chispa de conexión).

En los sistemas con distribución rotativa de tensión se impide eficazmente la chispa de conexión mediante el tramo de chispa del distribuidor conectado delante. En la distribución en reposo de tensión con bobinas de encendido de chispa simple, un diodo bloquea en el circuito de alta tensión la chispa de conexión.

Con distribución en reposo de tensión con bobinas de encendido de chispa doble, la chispa de conexión se impide sin medidas adicionales la chispa de conexión mediante la elevada tensión de paso de chispa en la conexión en serie de dos bujías de encendido.

## **Distribución de tensión**

### **Distribución rotativa de tensión (ROV)**

En un equipo de encendido convencional, la alta tensión de la bobina de encendido se distribuye mecánicamente a los diversos cilindros mediante un distribuidor de encendido. Ya que las anteriores funciones del distribuidor de encendido (variación mecánica del ángulo de encendido a través del régimen y de la carga) se realizan electrónicamente en el Motronic, pueden emplearse distribuidores de alta tensión simplificados. Las piezas componentes de un distribuidor de alta tensión son:

- Tapa aislante,
- Rotor distribuidor con resistencia antiparasitaria,
- Tapa del distribuidor con sus salidas y
- Tapa antiparasitaria.

El rotor distribuidor se encuentra directamente sobre el árbol de levas. La distribución segura de alta tensión sólo está garantizada dentro de un determinado margen de variación del ángulo de encendido, que disminuye al aumentar el número de cilindros. En las instalaciones de 6 cilindros el ajuste centrífugo del rotor distribuidor puede ampliar suficientemente el margen de variación; en las instalaciones de 8 cilindros es necesario para ello casi siempre una división en dos instalaciones de 4 cilindros.

### **Distribución en reposo de tensión (RUV)**

En la distribución de tensión sin distribuidor, electrónica o en reposo, existen dos alternativas:

#### Instalación con bobinas de encendido de chispa simple

A cada cilindro le corresponde una bobina de encendido y una etapa final de encendido, que es activada en correspondencia con el orden de encendido por parte de la unidad de control Motronic. Como no existen pérdidas de distribuidor, estas bobinas de encendido pueden ser de ejecución muy pequeña. Se encuentran preferentemente directamente sobre la bujía de encendido. La distribución en reposo de tensión con bobinas de encendido de chispa simple puede aplicarse de forma universal para cualquier número de cilindros. No existen restricciones en cuanto

al margen de variación del ángulo de encendido; sin embargo, la instalación debe sincronizarse adicionalmente con un sensor del árbol de levas (fig. 2).

#### Instalación con bobinas de encendido de chispa doble

A cada dos cilindros les corresponden una bobina de encendido y una etapa final de encendido. Los extremos del devanado secundario están conectados respectivamente a una bujía de encendido en distintos cilindros. Los cilindros están seleccionados de tal modo que en el tiempo de compresión de un cilindro se encuentre el otro justamente en el tiempo de expulsión.

En el momento de encendido se produce en ambas bujías de encendido un paso de chispa. Debe asegurarse que la chispa en el tiempo de expulsión (chispa de apoyo) no inflame gases residuales o gas fresco aspirado. Debido a esto resulta una pequeña restricción del posible margen de variación del ángulo de encendido. La instalación no tiene que estar sincronizada con el árbol de levas (fig. 3).

### **Medios de unión y antiparasitarios**

#### **Cables de alta tensión**

La alta tensión de la bobina de encendido debe llegar a la bujía de encendido. Para ello se emplean cables de cobre aislados con plástico y resistentes a la alta tensión, en cuyos extremos están aplicados los conectores apropiados para establecer el contacto de los componentes de alta tensión. Ya que cada cable de alta tensión representa una carga capacitiva para el equipo de encendido, reduciéndose así la oferta de tensión secundaria, los cables deben ser lo más cortos posible.

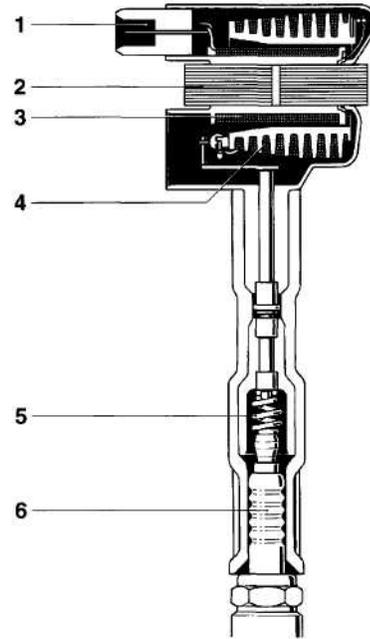
#### **Resistencias antiparasitarias, apantallado**

Cada paso de chispa en la bujía de encendido o distribuidor de encendido representa una fuente perturbadora debido a la descarga de gran intensidad en forma de impulsos. Mediante resistencias antiparasitarias en el circuito de alta tensión se limita la corriente punta de la descarga. Para reducir al mínimo la radiación perturbadora del circuito de alta tensión, las resistencias antiparasitarias deben estar lo más cerca posible de la fuente perturbadora. Una reducción adicional de la radiación puede conseguirse mediante el apantallado parcial o total del equipo de encendido. Normalmente, las resistencias antiparasitarias están integradas en los conectores de bujía de encendido, enchufes de conexión y, en el caso de la distribución rotativa de tensión, también en el rotor del distribuidor.

Fig. 2

#### **Bobina de encendido de chispa simple.**

1 Conexión exterior de baja tensión, 2 Núcleo de hierro laminar, 3 Devanado primario, 4 Devanado secundario, 5 Conexión interior de alta tensión mediante contacto elástico, 6 Bujía de encendido.

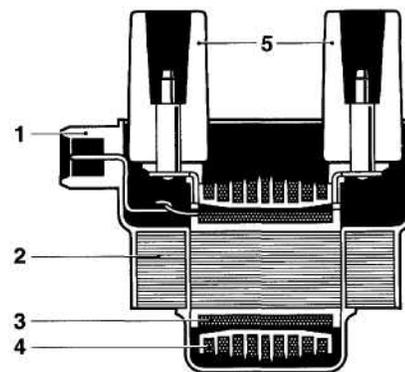


UNZ0271Y

Fig. 3

#### **Bobina de encendido de chispa doble.**

1 Conexión de baja tensión, 2 Núcleo de hierro, 3 Devanado primario, 4 Devanado secundario, 5 Conexiones de alta tensión.



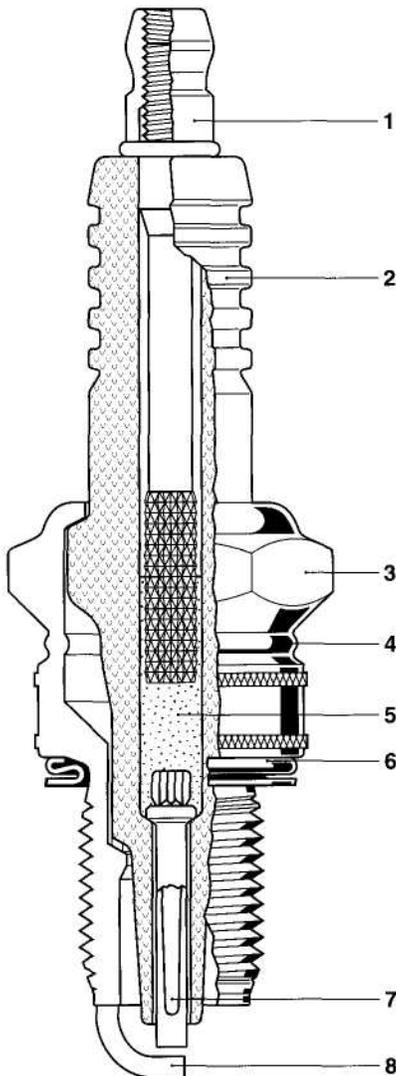
UNZ0250Y

Adicionalmente existen bujías de encendido con resistencia antiparasitaria integrada. Sin embargo, un aumento de la resistencia por el lado secundario conduce a pérdidas de energía adicionales en el circuito de encendido y, con ello, a una menor energía de chispa en la bujía de encendido.

Fig. 4

**Bujía de encendido.**

- 1 Perno de conexión con tuerca de conexión,
- 2 Aislador de cerámica  $Al_2O_3$ ,
- 3 Carcasa,
- 4 Zona de contracción en caliente,
- 5 Vidrio conductor,
- 6 Junta anular,
- 7 Electrodo compuesto central de Ni/Cu,
- 8 Electrodo de masa.



## Bujía de encendido

Con la bujía de encendido se genera una chispa de encendido para la inflamación de la mezcla de aire/combustible en la cámara de combustión.

La bujía de encendido es un elemento de paso de alta tensión hacia la cámara de combustión, que presenta un aislamiento cerámico y es estanco a los gases. El trayecto de chispa entre el electrodo central y el electrodo de masa se vuelve conductor al alcanzarse la tensión de encendido y transforma la energía restante de la bobina de encendido en una chispa.

La magnitud de la tensión de encendido depende de la separación de electrodos, de la geometría de electrodos, de la presión de la cámara de combustión y de la relación de aire/combustible, en el momento del encendido.

Durante el servicio del motor se desgastan los electrodos de la bujía de encendido. Por este motivo aumenta la demanda de tensión de encendido que debe cubrirse de forma segura por la oferta de tensión secundaria del equipo de encendido, hasta el final del intervalo de cambio previsto y bajo todos los estados de servicio.

# Registro de los datos de servicio

## Carga del motor

Una de la magnitudes principales para el cálculo del caudal de inyección y del ángulo de encendido, es la carga del motor (registro de la carga).

Para la determinación de la carga del motor se aplican en los sistemas Motronic los siguientes sensores de carga:

- Medidor del caudal de aire (LMM),
- Medidor de masa de aire de hilo caliente (HLM),
- Medidor de masa de aire de película caliente (HFM),
- Sensor de presión del tubo de admisión y
- Transmisor de la mariposa (DKG).

El transmisor de la mariposa se aplica en los sistemas Motronic casi siempre como sensor de carga secundaria adicionalmente a uno de los sensores de carga principal (LMM, HLM, etc.) mencionados anteriormente. Algunas veces se emplea también como sensor de carga principal.

### Medidor del caudal de aire

El medidor del caudal de aire se encuentra entre el filtro de aire y la mariposa y registra el flujo volumétrico de aire [ $\text{m}^3/\text{h}$ ] aspirado por el motor. El flujo de aire aspirado desvía una aleta-sonda contra la fuerza de recuperación constante de un muelle. La posición del

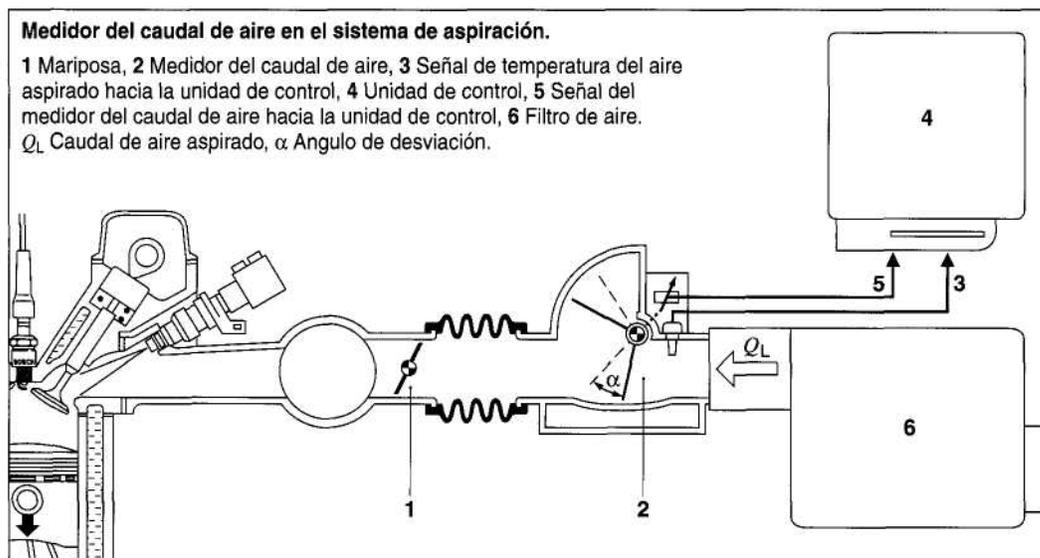
Fig. 1

ángulo de la aleta-sonda se registra mediante un potenciómetro. La tensión del potenciómetro es conducida a la unidad de control y es comparada allí con la tensión de alimentación del potenciómetro. Esta relación de tensión representa una medida para el flujo volumétrico de aire aspirado por el motor. La evaluación de las relaciones de resistencia en la unidad de control excluye la influencia del envejecimiento y de la temperatura del potenciómetro, respecto a la precisión (fig. 1). Para que las pulsaciones del aire aspirado no hagan oscilar la aleta-sonda, está amortiguada por una aleta antagonista y un «volumen de amortiguación». Para considerar las variaciones de la densidad del aire a temperaturas variables del aire aspirado, existe integrado un sensor de temperatura en el medidor del caudal de aire, con cuya resistencia dependiente de la temperatura determina la unidad de control un valor de corrección. El medidor del caudal de aire es todavía parte componente de numerosos sistemas Motronic y L-Jetronic que se encuentran actualmente en serie. Los sensores de carga descritos a continuación se aplican preferentemente y sustituyen en futuros sistemas al medidor del caudal de aire con aleta-sonda.

### Medidor de masa de aire

En el caso del medidor de masa de aire de hilo caliente y del medidor de masa de aire de película caliente, se trata de sensores de carga «térmicos». Están estos montados entre el filtro de aire y la mariposa y registran

fig. 1



el flujo de masa de aire [kg/h] aspirado por el motor. Ambos sensores trabajan según el mismo principio.

En el flujo de aire aspirado se encuentra un cuerpo calentado eléctricamente que es enfriado por el aire que pasa. Un circuito regulador reajusta la corriente calefactora de forma tal que este cuerpo adopta un exceso de temperatura constante respecto a la temperatura del aire aspirado. La corriente calefactora es entonces una medida del flujo de masa de aire.

En este principio de medición se considera también la densidad del aire, ya que ésta contribuye a determinar la magnitud de la entrega de calor, del cuerpo calentado al aire. Fig.2

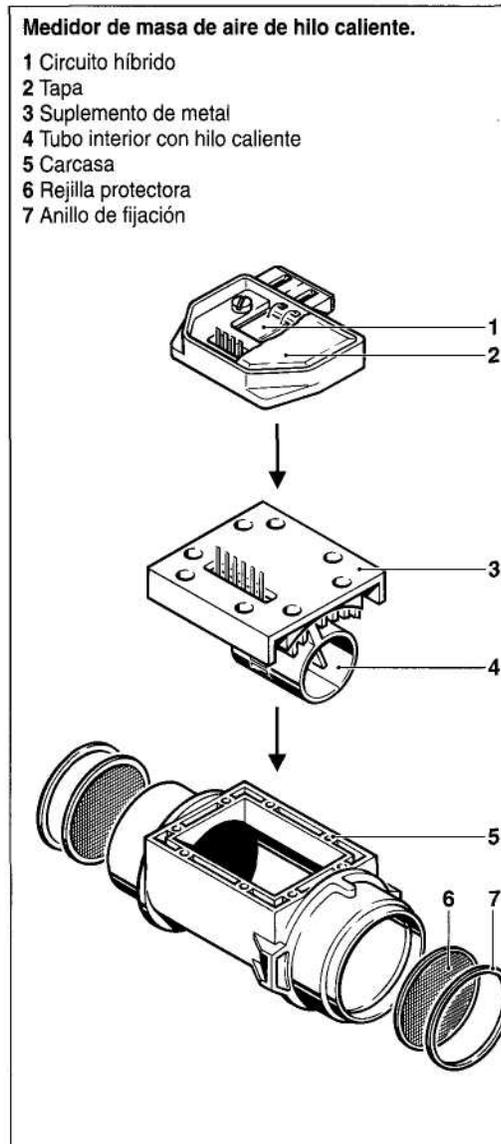
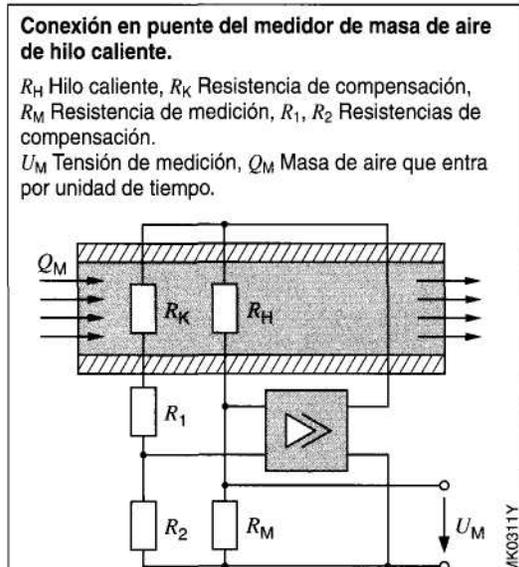
**Medidor de masa de aire de hilo caliente** En el medidor de masa de aire de hilo caliente, el cuerpo calentado es el hilo caliente, un hilo de platino fino de 70  $\mu\text{m}$  de espesor. Para la compensación de la temperatura del aire aspirado se registra ésta mediante un sensor de temperatura integrado en el medidor de masa de aire de hilo cliente. El circuito regulador consta esencialmente de una conexión en puente y de un amplificador. El hilo caliente y el sensor de temperatura del aire forman partes componentes del puente y funcionan allí como resistencias dependientes de la temperatura (figuras 2 hasta 4). La corriente calefactora genera en una resistencia de precisión una señal de tensión proporcional al flujo de masa de aire.

Fig. 2

fig. 4



Fig. 3



Esta señal de tensión es conducida a la unidad de control.

Par evitar «derivás» por sedimentaciones de suciedad sobre el hilo de platino, el hilo caliente se somete a una elevada temperatura de combustión libre durante un segundo después de parar el motor. De esta forma se evapora o se desconcha la suciedad depositada y se limpia el hilo.

**Medidor de masa de aire de película caliente** En el medidor de masa de aire de película caliente, el cuerpo calentado es una resistencia de película de platino (calentador). Esta se encuentra junto con otros elementos de la conexión en puente, sobre una plaquita cerámica.

La temperatura del calentador es registrada por una resistencia dependiente de la temperatura (sensor de flujo) que constituye parte componente del puente. La separación del calentador y el sensor de flujo es ventajosa para el dimensionamiento del circuito regulador. El elemento calefactor y el sensor de temperatura del aire están desacoplados térmicamente mediante cortes de sierra.

Fig.5

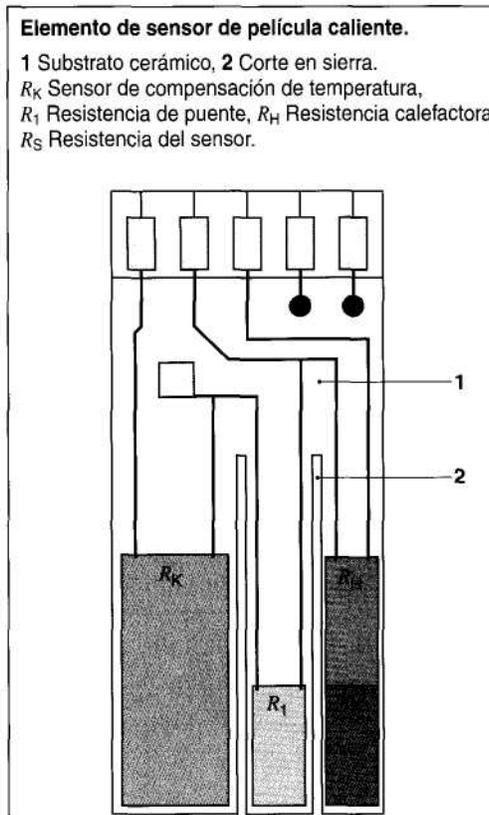
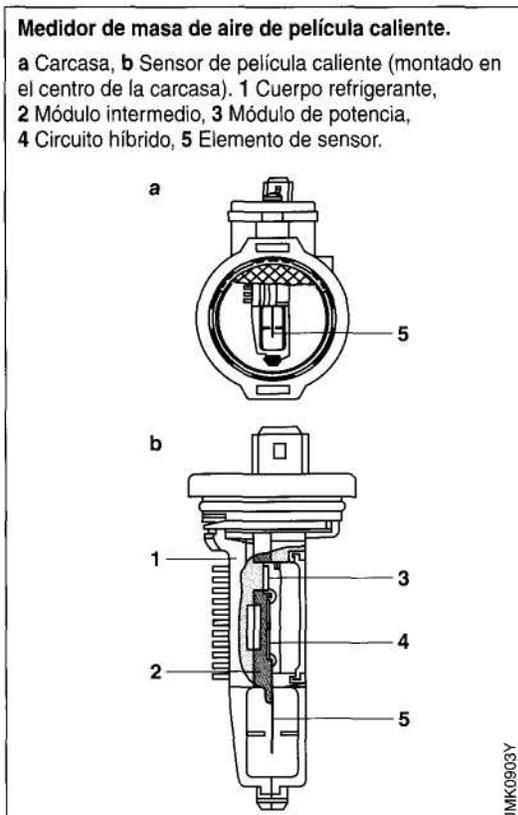
El circuito regulador completo se encuentra sobre un substrato. La tensión en el calentador es la medida del flujo de masa de aire. Esta tensión es transformada por parte de la electrónica del medidor de masa de aire de película caliente, en una tensión adaptada a la unidad de control (figuras 5 hasta 7). La precisión duradera de medición se conserva también sin necesidad de combustión libre. Ya que la suciedad se deposita principalmente en la arista delantera del elemento de sensor, los elementos decisivos para el paso de calor están dispuestos flujo abajo sobre el substrato cerámico. Adicional-mente, el elemento de sensor está configurado de tal forma que la acumulación de suciedad no influye sobre el flujo en torno al sensor.

#### Sensor de presión del tubo de admisión

El sensor de presión del tubo de admisión está unido neumáticamente al tubo de admisión y adopta así la presión absoluta del tubo de admisión [kPa]. Existe en forma de elemento incorporado para la unidad de control o como sensor de «montaje separado» que está fijado cerca del

Rg. 6

fig. 7



tubo de admisión o directamente en el tubo de admisión. Como elemento incorporado, su unión neumática hacia el tubo de admisión consiste en una tubería flexible. El sensor está dividido en una celda de presión con dos elementos sensores y un espacio para el circuito evaluador. Los elementos sensores y el circuito evaluador se encuentran sobre un sustrato cerámico común (fig. 8).

El elemento sensor consta de una membrana de capa gruesa en forma de campana que incluye una cámara de presión de referencia con una determinada presión interior. Según la magnitud de la presión del tubo de admisión, se desvía diferentemente la membrana. Sobre la membrana existen resistencias piezoresistivas cuya conductividad varía bajo tensión mecánica. Estas resistencias están conectadas en puente de tal modo que una desviación de la membrana conduce a una modificación de la compensación de puente. La tensión de puente es por lo tanto una medida de la presión del tubo de admisión (fig. 9).

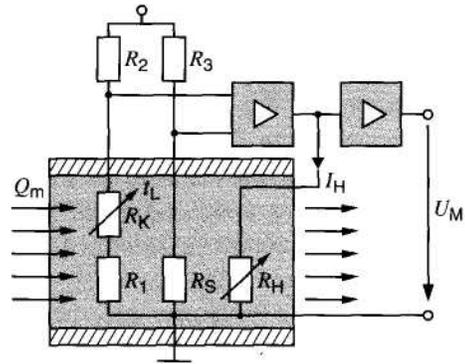
El circuito evaluador tiene la misión de amplificar la tensión de puente, compensar influencias de temperatura y linealizar la curva característica de presión. La señal de salida del circuito evaluador es conducida a la unidad de control.

#### Transmisor de la mariposa

El transmisor de la mariposa registra el ángulo de la mariposa para determinar una señal de carga secundaria. La señal de carga secundaria se emplea entre otras cosas, como información adicional para funciones dinámicas, para reconocimiento de margen (ralentí, carga parcial, plena carga) y como señal de emergencia en caso de fallar el sensor de carga principal. El transmisor de la mariposa está fijado a la tubuladura de la mariposa y se encuentra junto con la mariposa sobre un eje. Un potenciómetro evalúa la posición angular de la mariposa y transmite a la unidad de control una relación de tensión mediante un circuito de resistencia (figuras 10 y 11).

#### Circuito del medidor de masa de aire de película caliente.

$R_K$  Sensor de compensación de temperatura,  $R_H$  Resistencia calefactora,  $R_1, R_2, R_3$  Resistencias de puente,  $U_M$  Tensión de medición,  $I_H$  Corriente calefactora,  $i_L$  Temperatura del aire,  $Q_M$  Masa de aire entrante por unidad de tiempo.



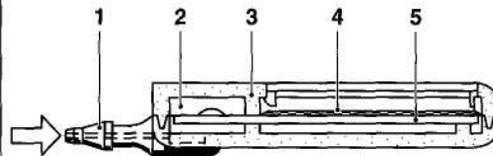
UMK1304Y

Fig. 8

Fig. 7

#### Sensor de presión (para montaje incorporado en la unidad de control).

1 Empalme de presión, 2 Celda de presión con elementos sensores, 3 Nervio estanqueizante, 4 Circuito evaluador, 5 Híbrido de capa gruesa.

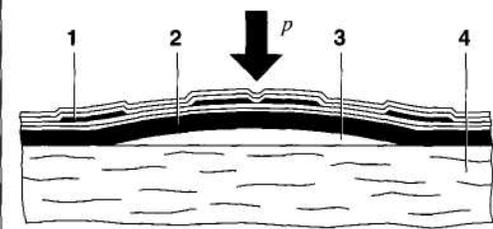


UMK1305Y

Fig. 9

#### Membrana de capa gruesa en el sensor de presión.

1 Resistencias piezoresistivas, 2 Membrana básica, 3 Cámara de presión de referencia, 4 Substrato cerámico.  
 $p$  Presión.



En caso de aplicación del transmisor de la mariposa como sensor de carga principal aumentan las exigencias de precisión. La mayor precisión se consigue mediante un transmisor de la mariposa con dos potenciómetros (dos márgenes de ángulo) y un alojamiento mejorado.

La masa de aire aspirada se determina en la unidad de control, en función de la posición de la mariposa y del número de revoluciones correspondiente. Las modificaciones de masa de aire dependientes de la temperatura son consideradas a través de la evaluación de señales de los sensores de temperatura.

## Número de revoluciones, regulación del cigüeñal y del árbol de levas

### Número de revoluciones y regulación del cigüeñal

La posición del pistón de un cilindro se emplea como magnitud de medición para establecer el momento de encendido. Los émbolos de todos los cilindros están unidos al cigüeñal mediante vastagos de biela. Un sensor en el cigüeñal suministra por lo tanto la información sobre la posición de pistón de todos los cilindros.

Fig. 10

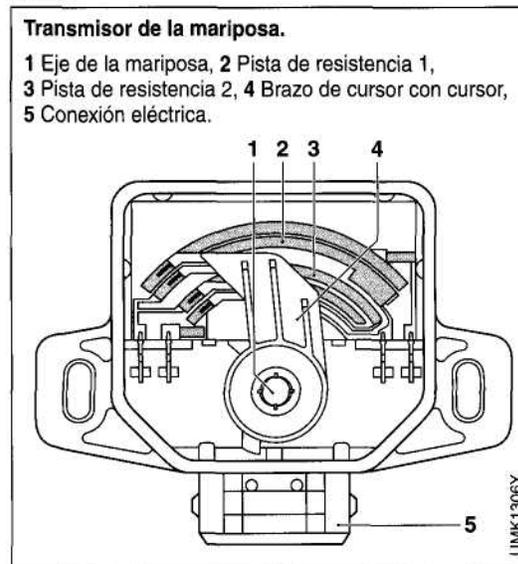
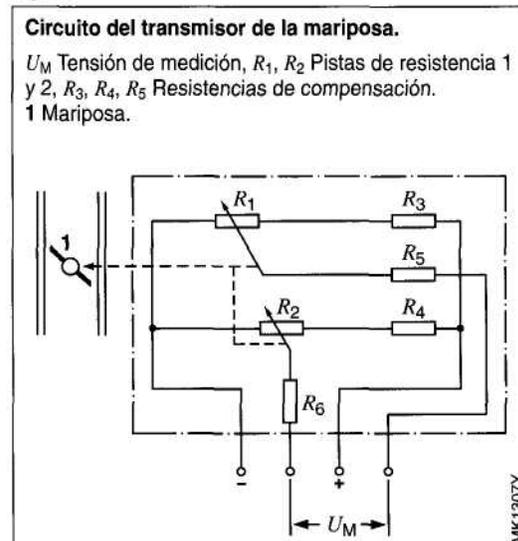


Fig. 11



La velocidad con que varía la posición del cigüeñal se denomina régimen e indica el número de revoluciones por minuto del cigüeñal. Esta magnitud de entrada importante para el sistema Motronic se calcula asimismo a partir de la señal de la posición del cigüeñal. Aunque el sensor del cigüeñal suministra primariamente una señal sobre la posición del cigüeñal, a partir de la cual se deduce en la unidad de control una señal de régimen, se ha implantado la designación de sensor de revoluciones.

### Generación de señal sobre la posición del cigüeñal

Sobre el cigüeñal se encuentra una rueda transmisora ferromagnética con espacio para 60 dientes, de los cuales se han suprimido dos dientes (huevo entre dientes). Un sensor de revoluciones inductivo detecta esta sucesión de 58 dientes. El sensor se compone de un imán permanente y de un núcleo de hierro dulce con un devanado de cobre (fig. 12). Al pasar los dientes de la rueda transmisora por el sensor, varía en él el flujo magnético. Se induce una tensión alterna (fig. 13).

La amplitud de la tensión alterna disminuye al aumentar la distancia entre el sensor y la rueda transmisora y aumenta fuertemente con un régimen creciente. Existe una amplitud suficiente a partir de un régimen mínimo ( $20 \text{ min}^{-1}$ ).

Las geometrías de diente y de polo deben estar adaptadas entre sí. El circuito evaluador en la unidad de control transforma la tensión sinusoidal de amplitud muy diferente en una tensión rectangular de amplitud constante.

Cálculo de la posición del cigüeñal Los flancos de la tensión rectangular se transmiten al ordenador mediante una entrada «Interrupt». Si la separación de flancos actual es más del doble que la anterior y que la siguiente, se reconoce un hueco entre dientes. El hueco entre dientes está asignado a una posición de cigüeñal definida del cilindro 1. El ordenador sincroniza en este momento la posición del cigüeñal. Con cada flanco de diente sucesivo positivo o negativo cuenta el ordenador la posición del cigüeñal 3 grados más. Sin embargo, la salida de encendido debe producirse en pasos más pequeños. Por este motivo, la duración temporal medida entre dos flancos de dientes se divide por cuatro. A Fig. 12

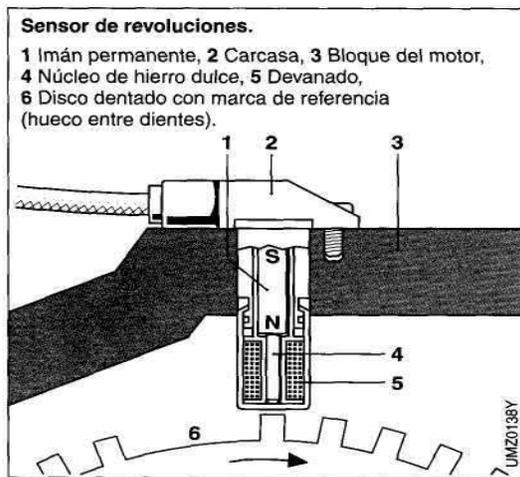
un flanco de diente puede asignarse una, dos o tres veces esta unidad de tiempo así recibida, para la salida del ángulo de encendido (de esta forma es posible en pasos de 0,75 grados).

Cálculo del tiempo de segmento y de número de revoluciones a partir de la señal del sensor de revoluciones

Los cilindros de un motor de cuatro tiempos están desfasados entre sí de tal forma que después de dos vueltas del cigüeñal (720grados), el cilindro 1 puede comenzar otra vez el ciclo de trabajo.

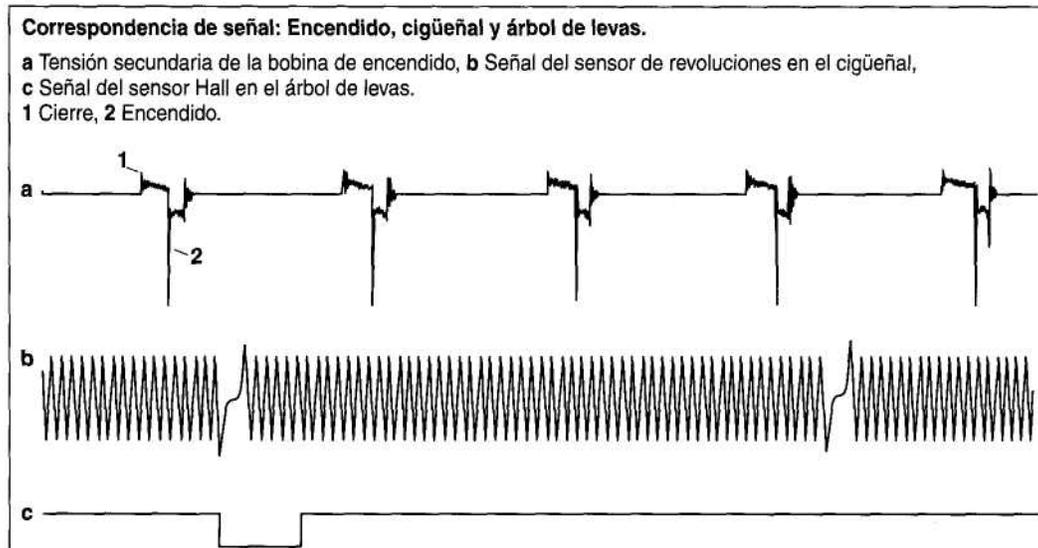
Este desfase representa la separación media de encendido y la duración intermedia se denomina tiempo de segmento  $T_s$ .

Con una distribución uniforme del desfase, significa esto:



Desfase	Grados	Dientes
2 cilindros	360	60
3 cilindros	240	40
4 cilindros	180	30
5 cilindros	144	24
6 cilindros	120	20
8 cilindros	90	15
12 cilindros	60	10

Fig. 13



Con la cadencia del tiempo de segmento y con el régimen derivado de aquí, se calculan de nuevo el encendido y la inyección. El régimen indica el número de revoluciones medio del cigüeñal en el tiempo de segmento y es proporcional a su valor inverso.

### **Posición del árbol de levas**

El árbol de levas controla las válvulas de admisión y de escape del motor. El árbol de levas gira a media velocidad del cigüeñal. Cuando un pistón se mueve hacia el punto muerto superior, el árbol de levas determina por la posición de las válvulas de admisión y de escape, si el pistón se encuentra en la fase de compresión con el subsiguiente encendido o en la fase de expulsión de gases de escape. Esta información no puede obtenerse a partir de la posición del cigüeñal. Si el encendido tiene un distribuidor de alta tensión acoplado mecánicamente al árbol de levas, el dedo del distribuidor señala hacia el cilindro correcto y la unidad de control no necesita para la entrega del encendido ninguna información sobre la posición del árbol de levas.

Pero contrariamente a esta distribución rotativa de tensión (ROV), los sistemas Motronic con distribución en reposo de tensión (RUV) y bobinas de encendido de chispa simple, requieren informaciones adicionales. Pues la unidad de control tiene que decidir que bobina de encendido con bujía de encendido asignada, debe ser activada. Para ello necesita la información sobre la posición del árbol de levas. Pero aunque el momento de la inyección para cada cilindro esté adaptado individualmente como en la inyección secuencial, es necesaria la información de la posición del árbol de levas.

### **Señal del sensor Hall**

La posición del árbol de levas se determina casi siempre con un sensor Hall. El dispositivo de registro de la posición del árbol de levas se compone de un elemento Hall, cuyas plaquitas semiconductoras están atravesadas por corriente. Este elemento es controlado por un diafragma que gira junto con el árbol de levas. El diafragma consta de un material ferromagnético y genera a su

paso una tensión en el elemento Hall, perpendicular a la dirección de la corriente (fig. 13).

Cálculo de la posición del árbol de levas Ya que la tensión Hall se encuentra en el margen de milivoltios, se prepara la señal en el sensor y se conduce como señal de conexión a la unidad de control. En el caso más sencillo, el ordenador comprueba durante el paso del hueco entre dientes de la rueda transmisora, si esta presente la tensión Hall y si el cilindro 1 se encuentra o no se encuentra en el ciclo de trabajo. Configuraciones especiales del diafragma permiten ejercer a partir de la señal del árbol de levas un servicio de emergencia en caso de fallar el sensor de revoluciones. Sin embargo, la resolución de la señal del árbol de levas es demasiado imprecisa para sustituir también en servicio normal al sensor de revoluciones en el cigüeñal.

## **Composición de la mezcla**

### **Coefficiente de aire $X$**

La sonda Lambda mide la proporción de aire Lambda  $\{\lambda\}$ . Lambda es la medida de la relación aire/combustible en la mezcla. Con  $X = 1$  trabaja óptimamente el catalizador.

### **Sonda Lambda**

El lado exterior de electrodo de la sonda Lambda penetra en la corriente de los gases de escape; el lado interior de electrodo está en contacto con el aire exterior (fig. 14). La sonda consta esencialmente de un cuerpo cerámico especial cuyas superficies van equipadas con electrodos de platino permeables a los gases. La efectividad de la sonda se basa en que el material cerámico es poroso y permite la difusión del oxígeno del aire (electrolito sólido). La cerámica se hace conductora a altas temperaturas. Si el contenido de oxígeno no es igual a ambos lados de los electrodos se establece entre éstos una tensión eléctrica. Con una composición estequiométrica de la mezcla aire/combustible de  $X = 1$  se origina una función de salto (fig. 15).

La tensión y la resistencia interna de la sonda dependen de la temperatura. Se consigue una regulación fiable a temperaturas superiores a 350 °C (sonda sin calefacción) o 200 °C (sonda con calefacción).

### Sonda Lambda con calefacción

El principio constructivo de la sonda calentada (fig. 16) es, en muchos aspectos, idéntico al de la sonda sin calefacción. El cuerpo cerámico activo es calentado desde el interior con un elemento calefactor cerámico, de modo que, independientemente de la temperatura de los gases de escape, la del cuerpo cerámico de la sonda es suficientemente alta para el funcionamiento.

Fig. 14

La sonda calentada lleva un tubo protector con orificio de paso reducido; así se impide, entre otras cosas, el enfriamiento del cuerpo cerámico de la sonda por los gases de escape fríos.

La calefacción de la sonda acorta el tiempo desde el arranque del motor hasta la conexión de la regulación y asegura el servicio de regulación incluso con gases de escape fríos (por ejemplo al ralentí). Las sondas con calefacción presentan tiempos de reacción más cortos, lo cual favorece a la velocidad de regulación. Las posibilidades de montaje de estas sondas son más variadas.

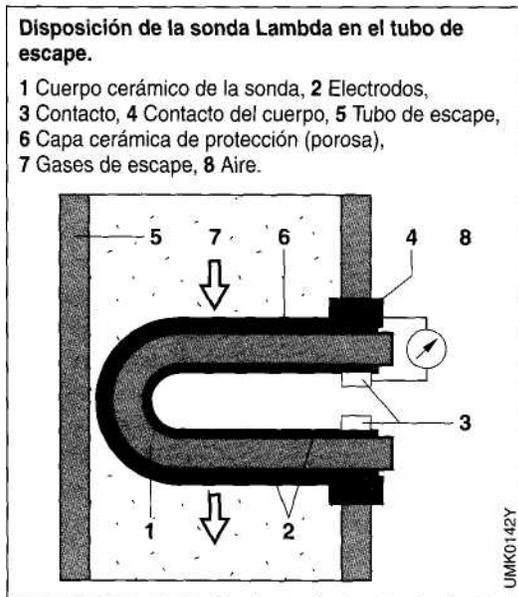


Fig. 15

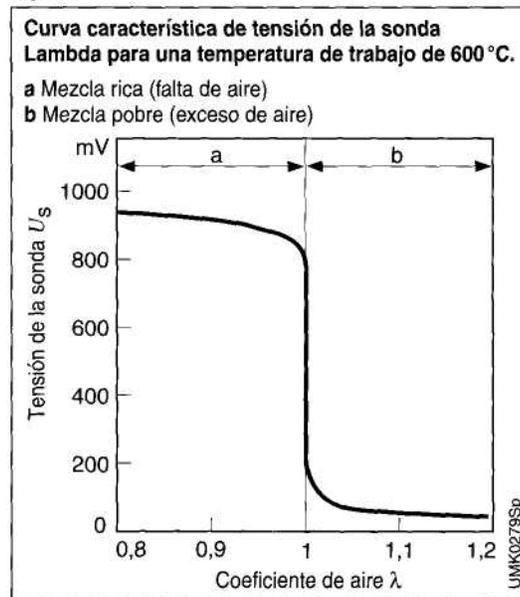
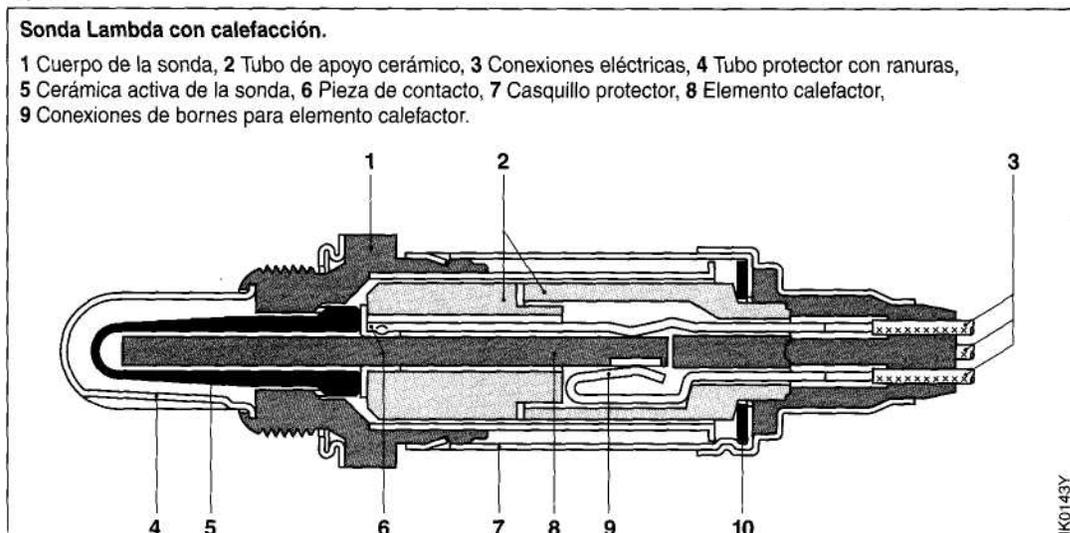


Fig. 16



## Combustión con detonación

En los motores de gasolina pueden producirse, bajo determinadas condiciones, procesos de combustión anormales típicos con ruidos de «picado», que limitan el aumento de la potencia y el grado de rendimiento. Este proceso de combustión indeseable se designa como detonación y es la consecuencia del autoencendido de mezcla fresca todavía no alcanzada por el frente de llamas. La combustión iniciada normalmente y la compresión por parte del pistón, producen aumentos de presión y de temperatura que conducen al autoencendido del gas final (mezcla todavía no quemada). Pueden surgir Fig. 17

aquí velocidades de llama de más de 2000 m/s, mientras que las combustiones normales presentan velocidades de unos 30 m/s.

En esta combustión brusca se produce localmente en el gas final un gran aumento de presión. La onda de presión así generada se extiende e incide sobre las paredes que delimitan la cámara de combustión. En caso de una detonación prolongada, las ondas de presión y la incrementada sollicitación térmica, pueden causar daños mecánicos en la junta de la culata, en el pistón y en el área de válvulas de la culata.

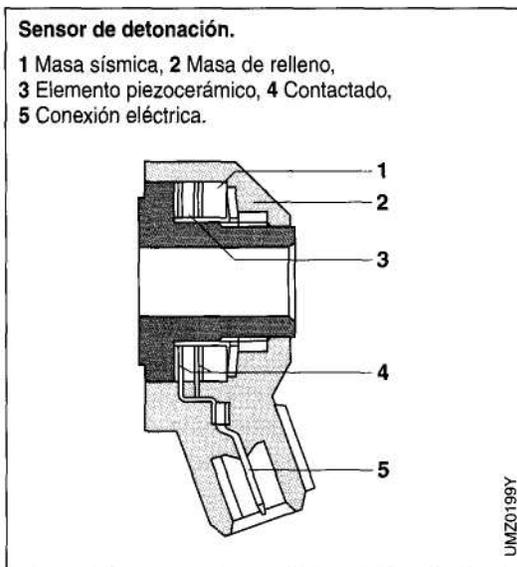


Fig. 19

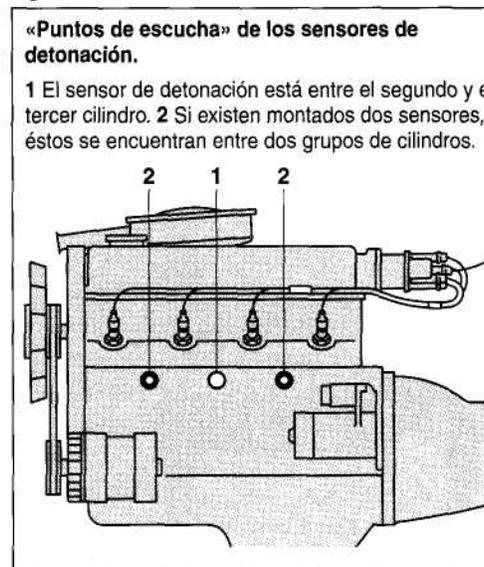
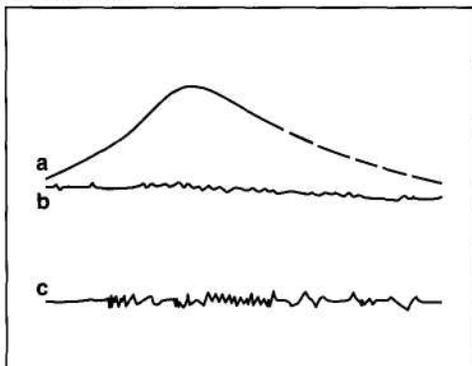


Fig. 18

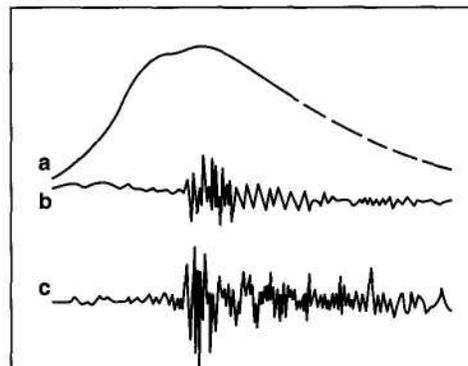
### Señales del sensor de detonación.

El sensor de detonación suministra una señal (c) que corresponde a la distribución de presión (a) en el cilindro. La señal de presión filtrada se representa en (b).

*sin detonación*



*con detonación*



Las oscilaciones características de las combustiones con detonación son registradas por sensores de detonación, transformadas en señales eléctricas y conducidas al sistema Motronic (fig. 17 y 18). Deben determinarse con gran esmero el número y la posición de montaje de los sensores de detonación necesarios. Para todos los cilindros y todos los puntos de servicio del motor, especialmente a elevados números de revoluciones y cargas, debe estar garantizado un reconocimiento seguro de la detonación. Por regla general se equipan con un sensor de detonación los motores de 4 cilindros en línea con 2 sensores los motores de 5 y 6 cilindros, y con 2 o más sensores los motores de 8 y 12 cilindros (fig. 19). **Fig. 20**

## Temperatura del motor y del aire aspirado

El sensor de la temperatura del motor tiene una resistencia dependiente de la temperatura que penetra en el circuito de agua refrigerante del motor y que adopta su temperatura (fig. 20). Según este mismo principio, un sensor en el canal de aspiración, registra la temperatura del aire aspirado.

La resistencia tiene un coeficiente de temperatura negativo (NTC, véase la fig. 21) y forma parte de un circuito divisor de tensión abastecido con una tensión de 5 V. La tensión que disminuye a través de la resistencia es registrada por el convertidor analógico-digital y constituye una medida de la temperatura. En el ordenador está almacenada en memoria una tabla que indica para cada valor de tensión la temperatura correspondiente y compensa con ello la relación no lineal entre la tensión y la temperatura.

## Tensión de la batería

El tiempo de activación y desactivación de la válvula de inyección electromagnética depende de la tensión de la batería. Si durante el servicio se producen fluctuaciones en la tensión de la red del vehículo, la unidad de control electrónica corrige el retardo de respuesta originado por ello en la válvula de inyección, mediante modificación del tiempo de inyección.

Con una tensión de la batería baja, debe prolongarse el tiempo de cierre del circuito de encendido, para que la bobina de encendido pueda acumular suficiente energía para la chispa de encendido.

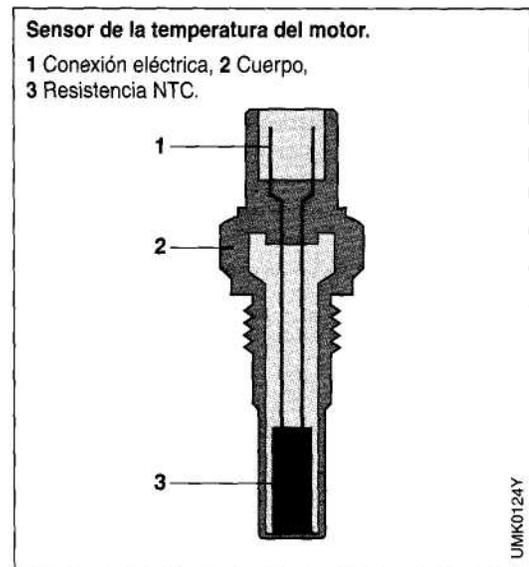
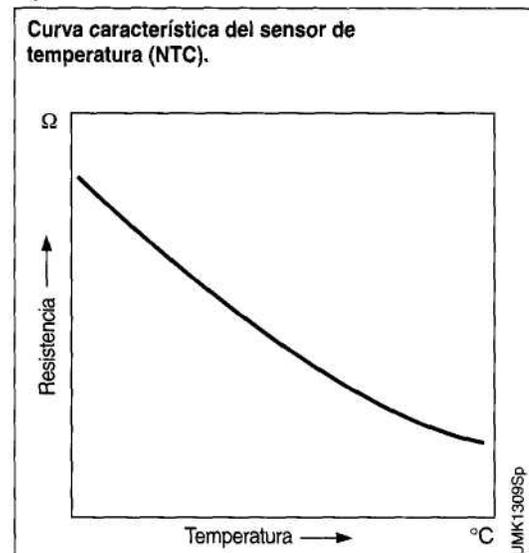


Fig. 21



# Procesamiento de los datos de servicio

## Cálculo de la señal de carga

### Magnitudes de medición

En la unidad de control se calcula a partir de las señales de carga y de régimen, una señal de carga que corresponde a la masa de aire por carrera aspirada por el motor. Esta señal de carga es la base para el cálculo del tiempo de inyección y para el direccionamiento de los campos característicos del ángulo de encendido (fig. 1).

### Medición de la masa de aire

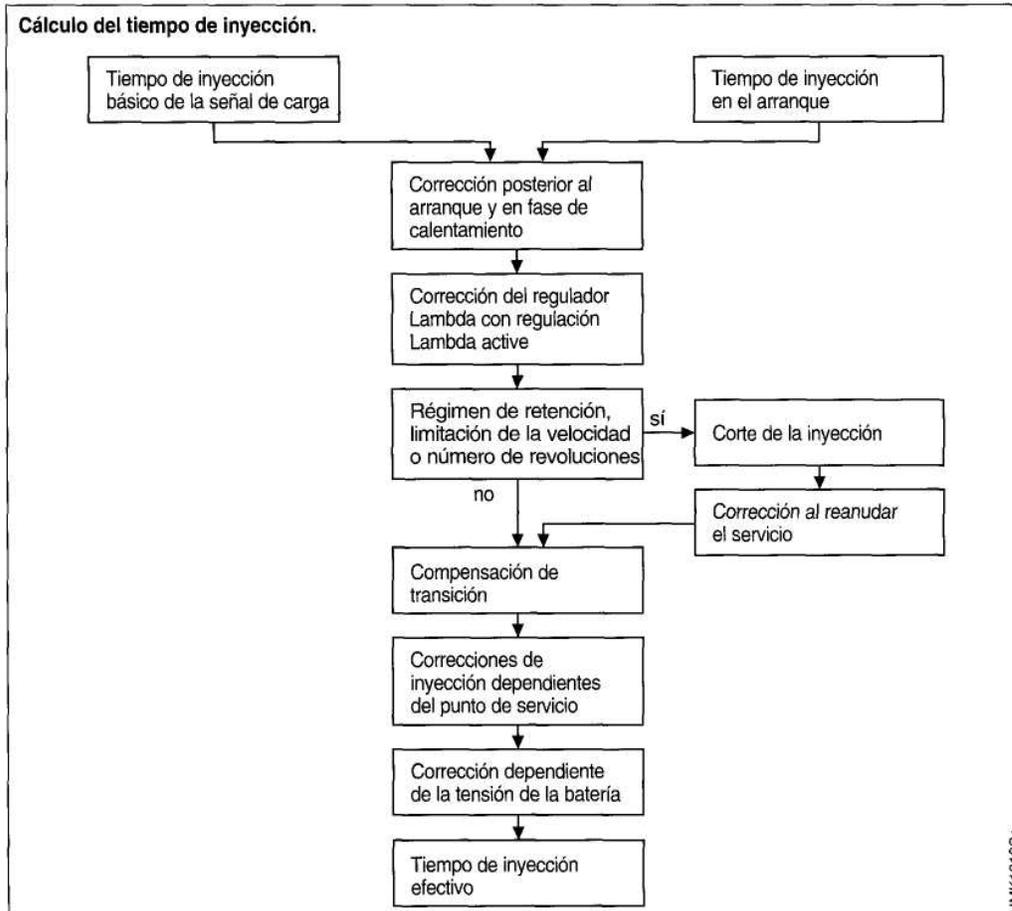
En caso de aplicación de un medidor de masa de aire de hilo caliente o de un medidor de masa de aire de película caliente, se mide directamente la masa de aire y se emplea para el cálculo de la señal de carga.

Fig. 1

En el medidor del caudal de aire se requiere adicionalmente una corrección de la densidad para la determinación de la masa de aire y de la señal de carga. En casos aislados se compensan mediante una corrección de pulsación los errores de medición que aparecen debido a fuertes pulsaciones del aire en el tubo de admisión.

### Medición de presión

En el sistema con medición de presión (con un sensor de presión como sensor de carga), la diferencia respecto a los sistemas con medición de masa de aire no existe una relación directa establecida mediante fórmulas, entre la magnitud de medición de presión del tubo de admisión y la masa de aire aspirada. Aquí se emplea en la unidad de control un campo característico de adaptación para el cálculo de la señal de carga. A continuación se compensan las modificaciones de temperatura y parte de gas residual respecto al estado inicial.



## Medición del ángulo de la mariposa

Con la utilización de un transmisor de la mariposa, la señal de carga se forma en la unidad de control en función del número de revoluciones y del ángulo de la mariposa. Se consideran las variaciones de la densidad del aire, corrigiendo la señal de carga con ayuda de las temperaturas medidas y de las presiones del entorno.

## Cálculo del tiempo de inyección

### Tiempo de inyección básico

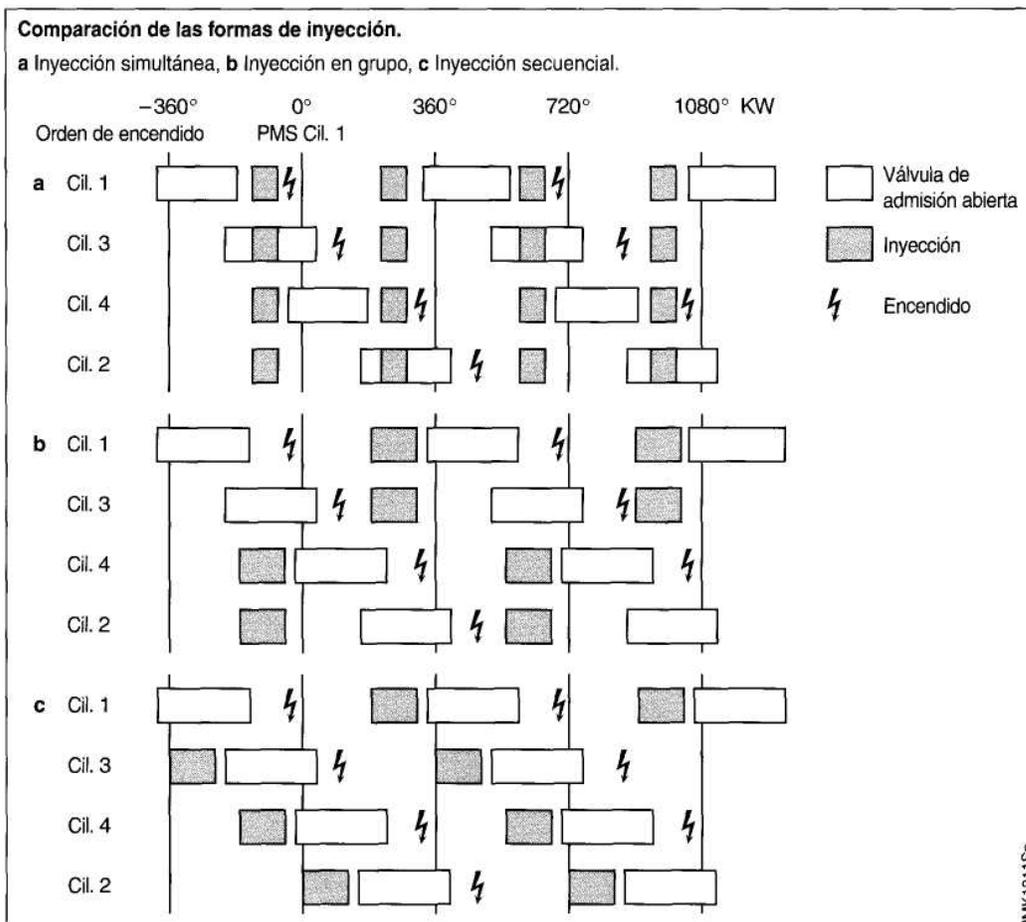
El tiempo de inyección básico se calcula directamente a partir de la señal de carga y de las constantes de válvula de inyección. Esta constante de válvula de inyección define la relación existente entre el tiempo de activación de las válvulas de inyección respecto al caudal de paso y depende de la configuración de las válvulas de inyección. La multiplicación del tiempo de inyección con

la constante de válvula da como resultado la masa de combustible por carrera correspondiente a la masa de aire. El dimensionamiento básico se realiza aquí adaptado a un coeficiente de aire  $X = 1$ . Esto rige mientras sea constante la presión diferencial entre la presión de combustible y la presión del tubo de admisión. En otros casos se compensa mediante un campo característico de corrección Lambda, esta influencia sobre el tiempo de inyección. La influencia de distintas tensiones de la batería sobre los tiempos de activación y desactivación de las válvulas de inyección, se compensa mediante una corrección de la tensión de batería.

### Tiempo de inyección efectivo

El tiempo de inyección efectivo resulta por la introducción adicional en el cálculo de magnitudes de corrección. Estas se calculan en las correspondientes funciones especiales y tienen en cuenta los distintos márgenes y

Fig. 2



condiciones de servicio del motor. Las correcciones actúan entonces tanto individualmente como también en combinación y en función de parámetros aplicables.

El proceso de cálculo del tiempo de inyección se representa en la fig. 1. En los capítulos siguientes se tratan con más detalle los diversos márgenes y estados de servicio. Por debajo de un llenado mínimo del cilindro no se prepara una mezcla capaz de realizar la combustión. La limitación a un tiempo de inyección mínimo impide así que aparezcan hidrocarburos sin quemar en los gases de escape.

Durante el arranque se produce un cálculo separado del tiempo de inyección que es independiente de la señal de carga calculada.

### **Posición de inyección**

Junto al tiempo de inyección correcto, la posición de inyección es otro parámetro para la optimización de los valores de consumo y de gases de escape.

Las posibilidades de variación dependen aquí de la forma de inyección empleada (fig. 2):

- Inyección simultánea,
- Inyección en grupo o
- Inyección secuencial.

#### Inyección simultánea

En la inyección simultánea, la inyección se produce en todas las válvulas de inyección en el mismo momento, dos veces por cada ciclo; es decir, dos veces por cada vuelta del árbol de levas, o una vez por cada vuelta del cigüeñal. La posición de inyección está preestablecida de forma fija.

#### Inyección en grupo

En la inyección en grupo se reúnen dos grupos de válvulas de inyección, que inyectan por cada grupo una vez en cada ciclo. La separación temporal de ambos grupos es de una vuelta del cigüeñal. Esta disposición permite ya una selección de la posición de inyección dependiente del punto de servicio y evita en amplios sectores de campo característico la inyección no deseada a la válvula de admisión abierta.

#### Inyección secuencial

Esta inyección ofrece el máximo grado de libertad. En ella, las inyecciones individuales se producen independientemente entre sí con la misma posición de inyección, referida al correspondiente cilindro. La posición de inyección es libremente programable y puede adaptarse a los criterios de optimización en cuestión.

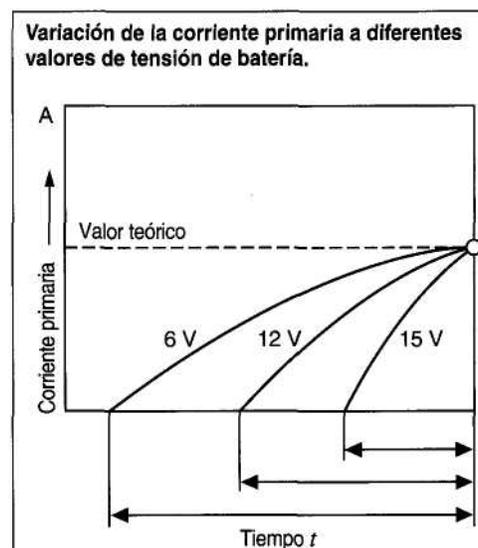
#### Comparación

En el caso de la inyección en grupo y de la inyección secuencial se requiere, en comparación con la inyección simultánea, un mayor margen de variación de las válvulas de inyección (margen desde el caudal mínimo al ralentí hasta el caudal máximo a plena carga).

### **Control del ángulo de cierre**

Con el campo característico de ángulo de cierre se controla el tiempo de flujo de corriente de la bobina de encendido en función del número de revoluciones y de la tensión de la batería, de forma tal que durante el servicio se consigue la corriente primaria teórica deseada, al final del tiempo de flujo de corriente, en los márgenes amplios. Partiendo del tiempo de carga de una bobina de encendido el cuál depende de la tensión de batería, resulta el tiempo de cierre (fig. 3). Una reserva dinámica adicional permite disponer de la corriente necesaria incluso con saltos rápidos de revoluciones a un régimen mayor.

Fig. 3



Una limitación del tiempo de carga en el margen de revoluciones superior asegura la duración de chispa necesaria.

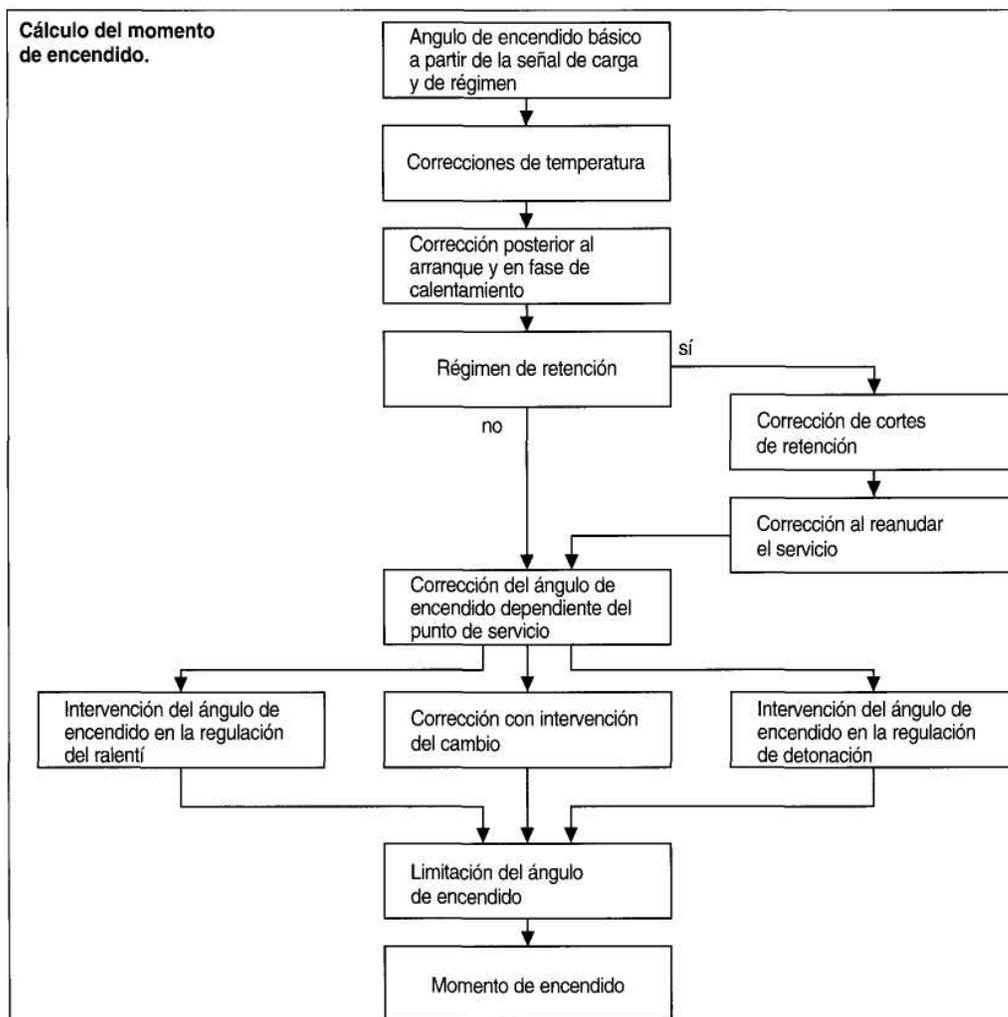
## Control del ángulo de encendido

En la unidad de control del sistema Motronic está almacenado en memoria un campo característico con un ángulo de encendido básico en función de la carga del motor y del número de revoluciones. Este ángulo de encendido se optimiza en lo referente al consumo de combustible y emisiones de gases de escape.

Con la evaluación de la temperatura del motor y de la temperatura del aire aspirado (registradas mediante sensores de temperatura del motor y de temperatura del aire), se consideran también las variaciones de temperatura.

Otras correcciones eficaces o conmutaciones a otros campos característicos permiten la adaptación a cualquier estado de servicio. De esta forma pueden establecerse vinculaciones de actuación entre el par motor, los gases de escape, el consumo de combustible, la tendencia a la detonación y el comportamiento de marcha. Correcciones especiales del ángulo de encendido actúan por ejemplo en servicio con aire secundario insuflado o retroalimentación de gases de escape así como en el servicio de marcha dinámica (p. ej. aceleración). Adicionalmente se consideran los diversos márgenes de servicio como ralentí, carga parcial y plena carga, así como arranque y fase de calentamiento. La fig. 4 muestra el proceso de cálculo del ángulo de encendido o momento de encendido.

Fig. 4



mente, para el calentamiento más rápido del catalizador.

Una vez conseguida la disposición de servicio del catalizador se regula la inyección a un coeficiente de aire  $X = 1$  y se adapta correspondientemente el ángulo de encendido.

## Compensación de transición

### Acelerar/desacelerar

Una parte del combustible inyectado al tubo de admisión no llega inmediatamente al cilindro en el siguiente proceso de aspiración, sino que se precipita como película líquida sobre la pared del tubo de admisión. La cantidad de combustible acumulado estacionariamente en la película de pared, aumenta considerablemente con la carga creciente y un tiempo de inyección más prolongado.

Al abrir la mariposa se requiere por lo tanto una parte del combustible inyectado, para la formación de la película de pared. Para impedir un empobrecimiento durante el proceso de aceleración, debe inyectarse adicionalmente este caudal de combustible. Al disminuir la carga queda libre otra vez la cantidad de combustible ligada a la película de pared. Por lo tanto, en el proceso de desaceleración, debe reducirse el tiempo de inyección por valor de esta misma cantidad de combustible.

La fig. 2 muestra la variación resultante del tiempo de inyección.

Fig. 2

### Corte en deceleración/reactivación

En el régimen de retención se desconecta la inyección reduciéndose así el consumo de combustible y la emisión de gases de escape. Antes de interrumpir los impulsos de inyección se retrasa primero el momento de encendido, para reducir así el salto del par motor al pasar al régimen de retención. Tras sobrepasar un régimen de reanudación que es superior al régimen de ralentí, se reinicia la inyección. El régimen de reanudación está almacenado en la memoria de la unidad de control en función de diversos parámetros, como p. ej. temperatura del motor y dinámica de régimen, para evitar en todos los márgenes de servicio una insuficiencia del régimen del motor. Con los primeros impulsos de inyección en la reactivación se considera mediante un caudal de combustible adicional, la formación necesaria de la película de pared. El control del ángulo de encendido favorece en la reactivación una formación sin tirones del par motor.

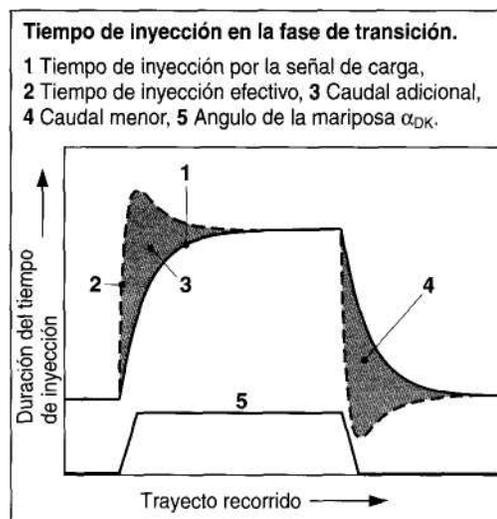
## Regulación del ralentí

### Ralentí

Durante el ralentí del motor, el consumo de combustible está determinado principalmente por el grado de rendimiento y el régimen de ralentí. Una parte considerable del consumo de combustible de los vehículos que circulan en tráfico urbano denso es atribuible a este estado de servicio. Por ello es ventajoso un régimen de ralentí lo más bajo posible. Sin embargo, el ralentí debe estar ajustado de tal forma que el régimen no descienda demasiado, con la consiguiente marcha irregular o incluso la parada del motor bajo cualquier condición de funcionamiento, como p. ej. instalación del vehículo recargada, acondicionador de aire conectado, selector de marchas accionado en cambios automáticos, servodirección actuando, etc.

### Regulación del régimen de ralentí

La regulación del régimen del ralentí debe establecer un equilibrio entre el par motor entregado y la carga del motor, procurando así un número de revoluciones constante.



La carga del motor al ralentí se compone de diversos momentos de carga, de los momentos de fricción que se producen en el motor debidos al mecanismo cigüeñal al accionamiento de válvulas y a los grupos adicionales (p. ej. bomba de agua de refrigeración).

Estos momentos de fricción internos que son compensados por la regulación del ralentí, experimentan una modificación lenta durante la vida útil del motor. Además dependen mucho de la temperatura. Adicionalmente a estos momentos de fricción internos, intervienen también la carga externa por los motivos ya mencionados como acondicionador de aire etc. Estas cargas externas están sometidas a grandes fluctuaciones, porque los grupos se conectan y se desconectan otra vez. Especialmente los motores modernos con pequeña masa de inercia y un tubo de admisión de gran volumen, reaccionan sensiblemente frente a estas variaciones de carga.

#### **Magnitudes de entrada**

Junto a la señal del sensor de revoluciones, la regulación del régimen de ralentí precisa también una información sobre el ángulo de la mariposa, para poder reconocer la condición de ralentí (pedal acelerador sin pisar). Para poder precontrolar la dependencia de la temperatura, se registra la temperatura del motor. En función de la temperatura del motor y del régimen teórico deseado se preestablece una masa de aire, que todavía es sometida a corrección en el servicio regulado. Siempre que existan, las señales de entrada del acondicionador de aire o del cambio automático, sirven para mejorar el control previo y favorecen así la regulación del régimen de ralentí.

Fig. 3

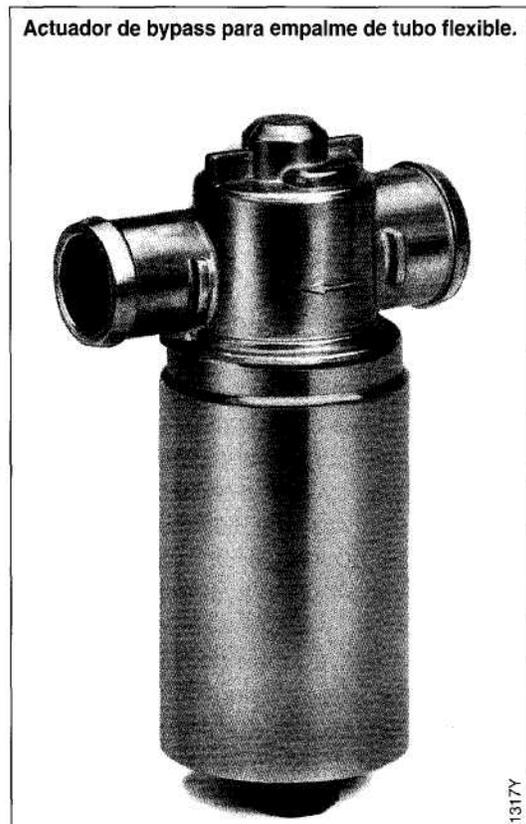
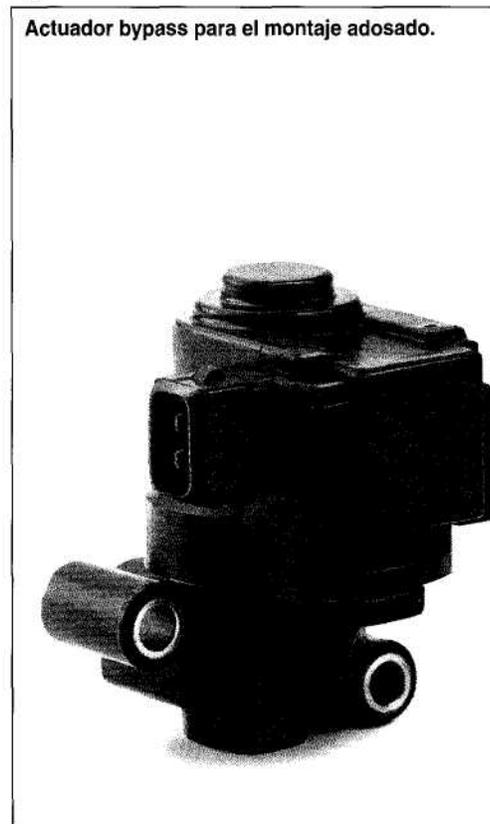


Fig. 4



## Intervenciones de regulación

La regulación del ralentí presenta tres posibilidades físicas de intervención:

### Control del aire

La intervención acreditada es el control del aire a través de un conducto en bypass con la mariposa, o una regulación de la mariposa misma mediante un tope variable o un accionamiento directo como en el «control electrónico de la potencia del motor». En el actuador bypass para empalme de tubo flexible, el bypass de la mariposa está formado por tubos flexibles de aire y actuadores (fig. 3). Más modernos son los actuadores bypass para montaje adosado que están abridados directamente a la pieza de la mariposa y que regulan el paso de aire bypass. Fig. 4: Ejemplo de un actuador giratorio de devanado único (bypass) para montaje adosado.

Los actuadores bypass presentan el inconveniente de que originan aire infiltrado indebidamente adicional al de la mariposa. Si un motor ya bien rodado requiere menos aire al ralentí que el aire infiltrado indebidamente

causado por la mariposa y el actuador bypass, ya no es posible ajustar el régimen de ralentí. El control del aire mediante la regulación de la mariposa no presenta este inconveniente. En el dispositivo estrangulador de ralentí, un electromotor regula a través de un engranaje el tope de ralentí de la mariposa (fig. 5). Con un tubo de admisión de gran volumen, la intervención a través del caudal de aire actúa retardadamente sobre el régimen de ralentí.

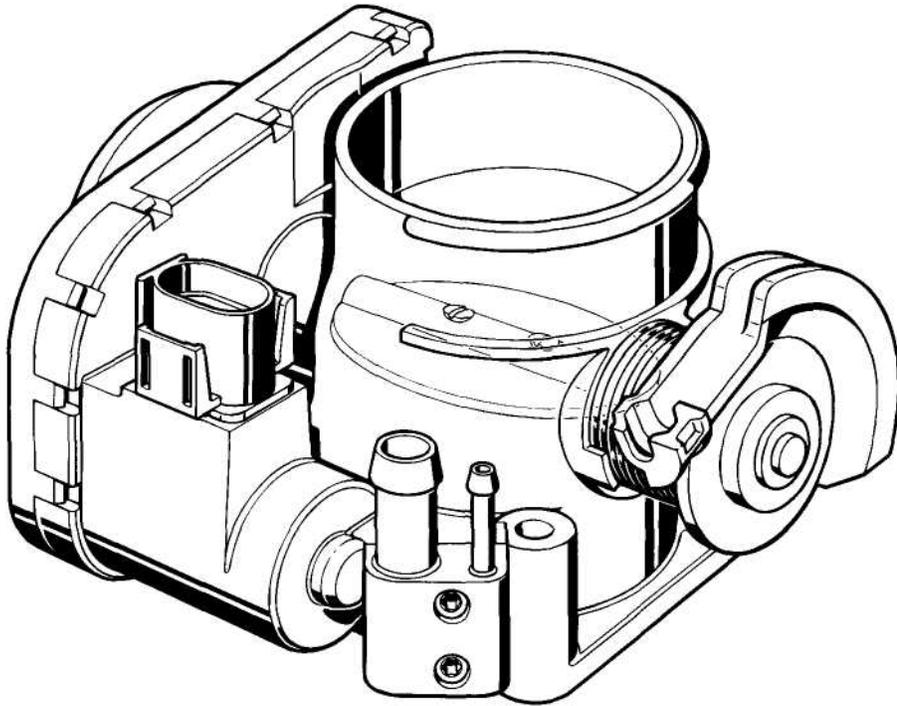
Control del ángulo de encendido La segunda posibilidad (de efecto esencialmente más rápido), es la intervención sobre el ángulo de encendido. Mediante ángulos de encendido dependientes del número de revoluciones puede conseguirse que al disminuir el régimen del motor, se avance el ángulo de encendido y aumente el par motor.

### Composición de la mezcla

La intervención sobre la composición de la mezcla carece prácticamente de importancia debido a las estrictas prescripciones sobregases de escape y a las posibilidades restringidas.

Fig. 5

Dispositivo estrangulador con actuador de ralentí integrado.



## Regulación Lambda

Una medida eficaz para reducir las emisiones nocivas de gases de escape, es un tratamiento ulterior de los gases de escape en el catalizador de tres vías. El catalizador transforma los tres componentes nocivos de los gases de escape CO, HC y NO<sub>x</sub>, en H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>.

### Margen de regulación

La transformación de todos los tres componentes mencionados de los gases de escape sólo es posible dentro de un margen muy estrecho: La así llamada «ventana Lambda» ( $X = 0,99... 1$ ). Esto sólo puede conseguirse con la regulación Lambda. La sonda Lambda que se encuentra situada dentro del flujo de gases de escape delante del catalizador, mide el contenido de oxígeno de los gases de escape. Con mezclas pobres ( $X > 1$ ) resulta una tensión de sonda de aprox. 100 mV, y con mezclas ricas ( $X < 1$ ) una tensión de aprox. 800 mV. Con  $X = 1$  la tensión de sonda salta de un nivel de tensiones al otro (fig. 6). La unidad de control genera una señal de inyección a partir de la señal del medidor de masa de aire y del régimen del motor registrado. Para la regulación Lambda, la unidad de control calcula a partir de la señal de sonda Lambda, adicionalmente un factor con cuya ayuda puede corregirse el tiempo de inyección. La fig. 7 muestra el esquema de funcionamiento.

### Funcionamiento

La regulación Lambda sólo es eficaz con una sonda Lambda en disposición de servicio. Un circuito evaluador de la sonda registra continuamente estas relaciones. Con la sonda fría, con interrupciones o cortocircuitos en el cable eléctrico, se generan valores de tensión no plausibles que no son evaluados. En la mayoría de los casos, las sondas Lambda presentan calefacción; con ella están ya a disposición de servicio después de 30 seg. Los motores fríos necesitan para un giro redondo uniforme, una mezcla más rica ( $X < 1$ ). La regulación Lambda sólo puede habilitarse por lo tanto a partir de un determinado umbral de temperatura del motor.

Con la regulación Lambda activa, la señal de sonda Lambda se transforma en la unidad de control con un comparador, en una señal de dos puntos.

La señal transmitida ( $X > 1$ , mezcla demasiado pobre o  $X < 1$ , mezcla demasiado rica) induce al regulador conectado a continuación, a modificar sus magnitudes de ajuste (con un salto y subsiguiente «desarrollo en rampa»).

Se modifica el tiempo de inyección (es decir, se aumenta o se reduce) y con el intercambio constante de datos se establece así una oscilación permanente del factor regulador.

Fig. 6

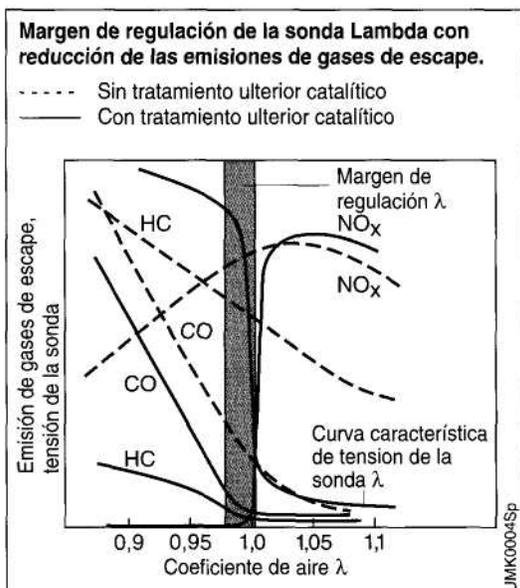
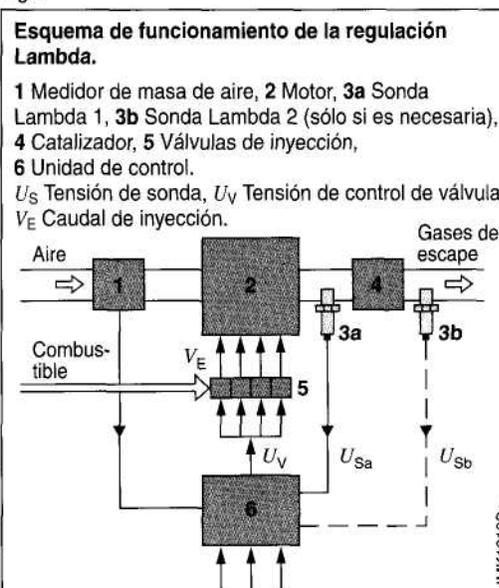


Fig. 7



La duración de periodo de esta oscilación está determinada por el tiempo de paso de gas, y la amplitud está establecida por la «inclinación de rampa», de forma tal que se mantiene bastante constante en el margen de régimen de carga, a pesar de diferentes tiempos de paso de gas.

#### **Desplazamiento Lambda**

El margen de conversión óptimo y el salto de tensión en la sonda no coinciden exactamente. Mediante una oscilación asimétrica del regulador, puede desplazarse la mezcla al margen óptimo ( $X = 1$ ). La asimetría se consigue mediante una conmutación retardada del factor regulador después del salto de tensión (de pobre a rico) en la sonda, o bien mediante un salto asimétrico. Este caso se produce cuando el salto de tensión en la sonda, de pobre a rico, presenta una altura de salto diferente a la del salto de tensión de rico a pobre.

#### **Adaptación del control previo a la regulación Lambda**

La regulación Lambda corrige la inyección temporalmente sucesiva en base a la medición precedente en la sonda Lambda. Este desfase temporal queda determinado por los tiempos de paso de gas y no es posible evitarlo. Por este motivo, al «acceder» a un nuevo punto de servicio con control previo mal adaptado, se producen inicial-mente divergencias de  $X = 1$ , hasta que la regulación las compensa de nuevo. Para el cumplimiento de los valores límite de gases de escape se requiere por lo tanto un control previo. El control previo se establece en la adaptación al motor y el campo característico Lambda se almacena en memoria ROM (memoria de lectura). Sin embargo, a lo largo de la vida útil del vehículo pueden producirse «derivadas» que requieran un control previo distinto. Estas derivadas son p. ej. variaciones de densidad y calidad del combustible. La adaptación del control previo reconoce que el regulador Lambda debe realizar reiteradamente la misma corrección a determinados márgenes de revoluciones bajo carga. La adaptación corrige entonces el

control previo en este margen e inscribe la corrección en una memoria (RAM permanente), que está abastecida con corriente también estando parado el motor. En el siguiente arranque puede comenzarse por lo tanto con el control previo corregido, antes de que actúe la regulación Lambda. Se reconoce una interrupción de la alimentación de tensión a la memoria permanente. La adaptación comienza entonces con valores neutrales.

#### **Regulación Lambda con dos sondas**

Una sonda montada detrás del catalizador está mejor protegida contra el ensuciamiento debido a los gases de escape. Con ayuda de esta sonda se superpone a la regulación con la sonda delante del catalizador, una segunda regulación que asegura una composición de la mezcla estable durante largo tiempo (fig. 7).

La regulación superpuesta modifica la asimetría de la oscilación permanente de la regulación con la sonda delante del catalizador y compensa así el desplazamiento Lambda.

La regulación Lambda con tan sólo una sonda detrás del catalizador, sería demasiado lenta debido a los prolongados tiempos de paso de gas.

## Sistema de retención de vapores de combustible

### Formación de los vapores de combustible

El combustible en el depósito se calienta:

- debido a la radiación de calor desde el exterior, o bien
- debido al combustible excedente que retorna del circuito de combustible y que se ha calentado en el recinto del motor.

Se producen por ello emisiones de HC que se evaporan principalmente en el depósito de combustible.

### Limitación de la emisión de HC

Las determinaciones legales establecen valores límite para las emisiones por evaporación.

Los sistemas de retención de combustible limitan estas emisiones de HC. Están equipados con un depósito de carbón activo en el que termina la tubería de ventilación procedente del depósito de combustible. El carbón activo retiene el vapor de combustible y sólo deja salir aire a la atmósfera.

Adicionalmente se consigue así una compensación de

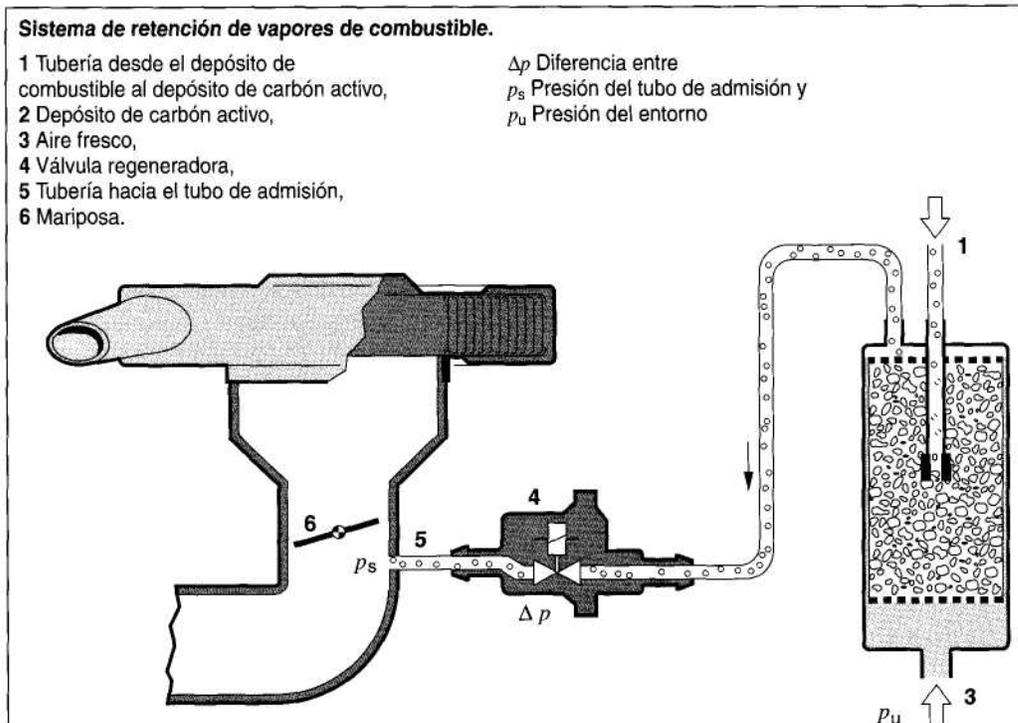
la presión. Para regenerar continuamente el carbón activo, existe una tubería adicional que conduce desde el depósito de carbón activo al tubo de admisión.

Durante el servicio del motor se produce una depresión en el tubo de admisión. Esta depresión da lugar a que el aire del entorno pase a través del carbón activo al tubo de admisión. El aire arrastra los vapores de gasolina acumulados entretanto y los conduce a la combustión. Una válvula regeneradora situada en la tubería hacia el tubo de admisión, dosifica este flujo de regeneración o «flujo de barrido» (fig. 8).

### Flujo de regeneración

El flujo de regeneración es una mezcla de aire/combustible cuya composición es desconocida. La razón es que puede estar compuesta tanto por aire fresco, como también por aire muy enriquecido con vapores de gasolina del filtro de carbón activo. Para la regulación Lambda es por lo tanto el flujo de regeneración una magnitud perturbadora considerable. Cuando el flujo de regeneración es de un 1 % del aire aspirado y consta sólo de aire fresco, la mezcla se

Fig.8



empobrece por valor de un 1 %. Por el contrario, el aire muy saturado de gasolina, enriquece la mezcla por valor de aprox. un 30%, ya que el vapor de gasolina actúa con el factor estequiométrico 14,7 sobre la relación de aire/combustible X. Además, la densidad específica del vapor de combustible es el doble de grande que la del aire.

### Válvula regeneradora

La válvula regeneradora es activada de tal forma que el depósito de carbón activo se barre suficientemente y las divergencias Lambda son mínimas (fig. 9).

### Función de control de la unidad de control

Para que la adaptación de la mezcla pueda trabajar independientemente de las influencias de ventilación del depósito, la válvula regeneradora se cierra a intervalos regulares. La válvula regeneradora se abre «en forma de rampa». Las divergencias que surgen del regulador Lambda, las «aprende» la unidad de control como corrección de mezcla de la regeneración de combustible. La función está preparada de tal forma que puede proceder

Fig. 9

hasta un 40% de combustible del flujo de regeneración.

Con la regulación Lambda inactiva sólo se admiten pequeños caudales de regeneración, porque ya no pueden regularse los errores de mezcla.

En el «corte por deceleración» en régimen de retención, se cierra bruscamente la válvula regeneradora, para que no puedan llegar al catalizador vapores de gasolina no quemados.

### Regulación de detonación

El control electrónico del momento de encendido ofrece la posibilidad de gobernar con mucha exactitud el ángulo de encendido en función del régimen, la carga y la temperatura.

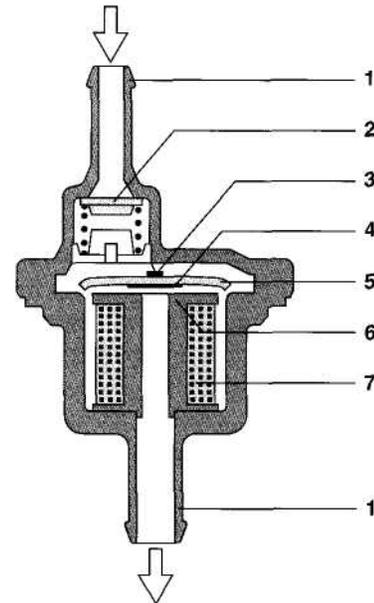
Sin embargo es necesaria una clara distancia de seguridad respecto al límite de detonación. Esta distancia es necesaria para que también en los casos más sensibles a la detonación, en cuanto a las tolerancias del motor, envejecimiento del motor, condiciones del entorno y calidad del combustible, ningún cilindro alcance o sobrepase el límite de detonación. El dimensionamiento constructivo del motor resultante de aquí, conduce a una compresión menor con un momento de encendido retardado y, por lo tanto, a peores características en cuanto al consumo de combustible y al par motor. Estos inconvenientes

pueden evitarse mediante la aplicación de una regulación de detonación. Por experiencia se sabe que es posible así aumentar la compresión del motor y mejorar claramente el consumo de combustible y el par motor. Sin embargo, el ángulo de encendido de control previo ya no debe determinarse para las condiciones más sensibles a la detonación, sino para las menos sensibles (p. ej. compresión del motor en el límite inferior de tolerancia, máxima calidad de combustible, cilindro menos sensible a la detonación). Cada uno de los cilindros del motor puede ahora funcionar durante toda su vida útil y en casi todos los márgenes de servicio, junto a su límite de detonación y, por lo tanto con un grado de rendimiento óptimo.

La condición previa para este concepto de ángulo de encendido es un reconocimiento seguro de la detonación a partir de una

### Válvula regeneradora.

- 1 Empalme de tubo flexible,
- 2 Válvula de retención,
- 3 Resorte de lámina,
- 4 Elemento estanqueizante,
- 5 Inducido magnético,
- 6 Asiento estanco,
- 7 Devanado magnético.



determinada intensidad de detonación de cada uno de los cilindros en todo el margen de servicio del motor.

Para el reconocimiento de la detonación, las oscilaciones características de la detonación son transformadas en señales eléctricas por uno o varios receptores del sonido corporal, los llamados sensores de detonación, aplicados en uno o varios puntos apropiados del motor; los sensores conducen estas señales al Motronic para su evaluación. Allí se realiza para cada cilindro y para cada combustión el reconocimiento de la detonación en el correspondiente algoritmo de evaluación. Las combustiones detonantes reconocidas conducen en el cilindro afectado a un retraso del momento de encendido por valor de una magnitud programada. Cuando desaparece la detonación se produce de nuevo un avance escalonado del momento de encendido hasta el valor de control previo. Los algoritmos de reconocimiento y regulación de la detonación se adaptan de tal forma que no se produce ninguna detonación audible y nociva para el motor (fig. 10).

### Adaptación

En el servicio real del motor resultan para los diversos cilindros límites de detonación diferentes y, por lo tanto también, momentos de encendido distintos. Para la adaptación de los valores de control previo del momento de encendido al correspondiente límite de detonación, se almacenan en memoria los retrasos del momento de encendido individuales para cada cilindro y dependientes del punto de servicio.

Este almacenamiento se produce en campos característicos no volátiles de la memoria RAM permanente, a través de la carga y del régimen. De esta forma puede funcionar el motor, también en caso de rápidas variaciones de la carga y del régimen, en cada punto de servicio con un grado de rendimiento óptimo, así como bajo supresión de combustiones detonantes audibles. El motor puede habilitarse incluso para combustibles con baja resistencia de detonación. Lo normal es una adaptación del motor para gasolina súper. También es admisible el servicio con gasolina normal.

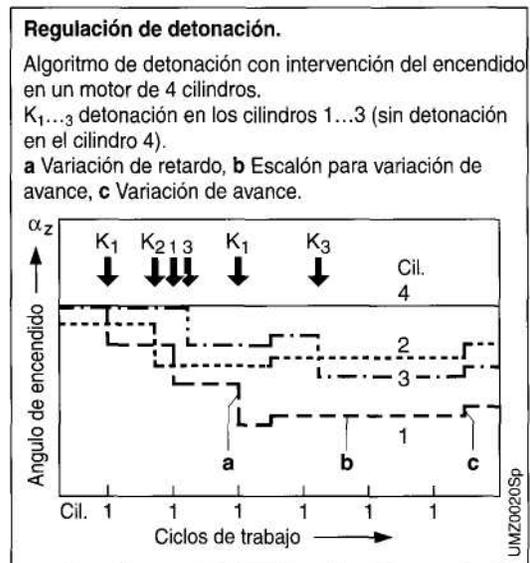
### Regulación de detonación en motores turbo

En motores con turbocompresión por gases de escape es especialmente ventajosa una combinación entre regulación de la presión de sobrealimentación y regulación de detonación. Al aparecer la detonación se retrasa inicialmente el momento de encendido. Solamente al sobrepasar los umbrales de variación de retardo, que están determinados por la temperatura de los gases de escape, se reduce la presión de sobrealimentación como siguiente medida reductora de la detonación. El motor turbo puede funcionar así junto al límite de detonación con un grado de rendimiento óptimo, bajo cumplimiento de la temperatura admisible de los gases de escape.

### Regulación de la presión de sobrealimentación

#### Turbocompresión por gases de escape

Entre todos los procedimientos de sobrealimentación en el motor de gasolina se ha impuesto claramente la turbocompresión por gases de escape frente a la sobrealimentación mecánica y por ondas de presión. Los turbocompresores de gases de escape permiten ya en motores de pequeña cilindrada, elevados pares motor y potencias con buenos grados de rendimiento del motor. En comparación con un motor de aspiración natural de la misma potencia, un motor turbo requiere un espacio constructivo menor y pre-



senta por lo tanto una mejor relación de potencia/peso.

La investigación realizada por la industria del automóvil han dado como resultado que bajo las mismas prestaciones de marcha, un motor turbo con pequeña cilindrada y regulación electrónica de la presión de sobrealimentación, puede presentar en comparación con un motor de aspiración natural, un ahorro de consumo de combustible similar al de un motor diesel de cámara secundaria. El turbocompresor de gases de escape consta en sus componentes principales, de un compresor y de una turbina de gases de escape, cuyas ruedas están dispuestas sobre un eje común. La turbina de gases de escape transforma una parte de la energía de los gases de escape, en energía de rotación y propulsa así al compresor. Este aspira aire fresco y transporta el aire comprimido previamente, a través del refrigerador de aire de sobreali-

Fig. 11

mentación, la mariposa y el tubo de admisión, hacia el motor.

### Actuador para turbocompresión por gases de escape

Los motores de turismos deben alcanzar un elevado par motor incluso a un régimen bajo. Por este motivo, el cuerpo de la turbina se dimensiona para un pequeño flujo de masa de gases de escape, p. ej. plena carga a  $\approx 2000 \text{ min}^{-1}$ .

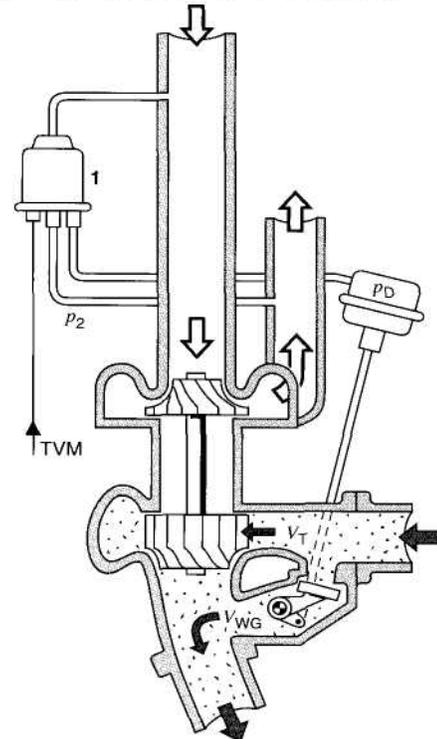
Para que con mayores flujos de masa de gases de escape no sobrecargue el turbocompresor de gases de escape al motor, debe conducirse en este margen un flujo parcial a la instalación de gases de escape, a través de una válvula de bypass («Waste-Gate») eludiendo la turbina. Normalmente esta válvula de bypass está integrada en ejecución de chapaleta dentro del cuerpo de la turbina. Menos frecuente es la aplicación de una válvula de plato en un cuerpo separado, paralelamente a la turbina. La geometría variable de la turbina todavía no se ha aplicado en el motor de gasolina, pero es combinable también con la regulación de la presión de sobrealimentación.

### Regulación electrónica de la presión de sobrealimentación

En la regulación neumático-mecánica, el actuador del turbocompresor es sometido directamente a la presión de sobrealimentación de la salida del compresor. Aquí, la variación del par motor mediante el número de revoluciones del motor sólo puede elegirse dentro de límites muy estrechos. A través de la carga sólo hay una limitación de plena carga. No es posible regular las tolerancias en la rueda de sobrealimentación de plena carga. En la carga parcial, la válvula bypass cerrada empeora el grado de rendimiento. Las aceleraciones desde un régimen bajo del motor pueden conducir a una respuesta retardada del turbocompresor de gases de escape (marcado «bache turbo»). Estos inconvenientes pueden evitarse mediante una regulación electrónica de la presión de sobrealimentación (fig. 11). En determinados márgenes de carga parcial puede reducirse el consumo de combustible específico. Esto se consigue mediante apertura de la válvula bypass que se manifiesta del modo siguiente:

### Actuador de la regulación electrónica de la presión de sobrealimentación.

- 1 Válvula de impulsos
- $p_2$  Presión de sobrealimentación
- $p_D$  Presión en la cápsula de membrana
- TVM Señal de activación para válvula de impulsos, procedente de la unidad de control
- $V_T$  Flujo volumétrico a través de la turbina
- $V_{WG}$  Flujo volumétrico a través del Waste-Gate



11MK130PY

- disminuyen el trabajo de empuje del motor y la potencia de la turbina,
- se reducen la presión y la temperatura en la salida del compresor y
- disminuye la caída de presión en la mariposa.

Asimismo resulta una variación linealizada del par motor a través del ángulo de la mariposa con una solicitud de potencia mejor dosificable por parte del pedal acelerador. Para permitir las mejoras mencionadas anteriormente, el turbocompresor de gases de escape con actuador debe estar óptimamente adaptado al motor. En cuanto al actuador, afecta esto a:

- la válvula de impulsos electroneumática,
- la superficie eficaz de membrana, la carrera y el muelle de la cápsula de membrana y
- la sección del plato de válvula o de la chapaleta en el «Waste-Gate».

En el sistema Motronic con regulación electrónica de la presión de sobrealimentación están presentes los valores teóricos, por cada sensor de carga aplicado, en presión, caudal de aire o masa de aire. Estos valores teóricos están almacenados en un campo característico en dependencia del régimen del motor y del ángulo de la mariposa.

Elementos de circuito regulador compensan la diferencia entre el valor teórico dependiente del punto de servicio y el valor real medido. El valor calculado en la salida del regulador se entrega como señal (modulada en amplitud de impulsos) a la válvula de impulsos. En el elemento actuador conduce esta señal a una modificación de la sección en la válvula bypass, a través de una modificación de la presión de mando y de la carrera. En el motor turbo, la temperatura de los gases de escape entre el motor y la turbina no debe sobrepasar determinados valores umbrales. Por este motivo, Bosch aplica la regulación de la presión de sobrealimentación sólo en combinación con la regulación de detonación. Pues sólo la regulación de detonación permite durante toda la vida útil del motor un servicio con momentos de encendido lo más avanzados posible. Este ángulo de encendido óptimo para el correspondiente punto de servicio del motor, está acompañado de una temperatura muy baja de los gases de escape.

Para reducir todavía más la temperatura de los gases de escape son posibles intervenciones en la presión de sobrealimentación y/o en la mezcla.

### Limitación del número de revoluciones y de la velocidad

Los números de revoluciones extremadamente altos pueden conducir a la destrucción del motor (accionamiento de válvulas, pistones). Mediante la limitación del número de revoluciones se impide que se sobrepase un régimen del motor máximo admisible. El sistema Motronic ofrece la posibilidad de una limitación del número de revoluciones y de la velocidad, a través de una supresión de la inyección.

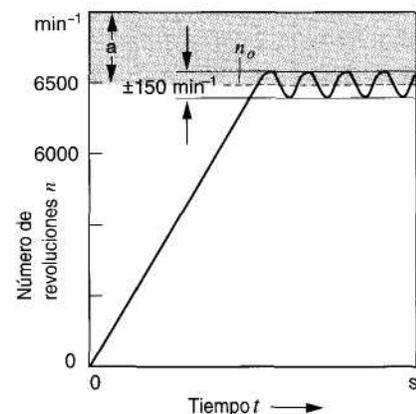
Al sobrepasarse el régimen máximo o la velocidad máxima, se suprimen los impulsos de inyección.

De esta forma se limitan los números de revoluciones y la velocidad. La inyección se reanuda al llegar por debajo de un pequeño valor umbral. Esto se produce en rápido cambio dentro de una banda de tolerancia de régimen, en torno al régimen del motor máximo admisible preestablecido.

El conductor reconoce la limitación del número de revoluciones por una pérdida de confort de marcha y es inducido así a reaccionar correspondientemente. La fig. 12 muestra un ejemplo de la variación del régimen con una limitación activa del número de revoluciones. Fig. 12

Limitación del número de revoluciones máximo  $n_0$  mediante supresión de los impulsos de inyección.

a Sector de corte de combustible.



## Retroalimentación de los gases de escape

Durante la intersección de las fases de las válvulas se empuja una determinada cantidad de gas residual, desde la cámara de combustión al tubo de admisión. En el proceso de aspiración subsiguiente se aspira una determinada proporción de gas residual adicionalmente a la mezcla fresca. La magnitud de la parte de gas residual está establecida de forma fija para un motor debidamente diseñado, en función del punto de servicio, por la intersección de las válvulas. La variación de la parte de gas residual es posible mediante una retroalimentación de gases de escape «externa» (AGR) con una válvula de retroalimentación de gases de escape activada por el Motronic (fig. 13) o bien mediante una regulación del árbol de levas. Hasta un cierto punto, el aumento de la parte de gas residual puede repercutir positivamente en la transformación de energía y, con ello, en el consumo de combustible. Además, un aumento de la parte de gas residual conduce a una reducción de la temperatura máxima de combustión y, en consecuencia, a una reducción de la formación de óxido de nitrógeno. Simultáneamente, un aumento de la parte de gas residual conduce sin embargo a partir de una determinada medida, a una combustión incompleta y, en consecuencia, a un aumento de las emisiones de hidrocarburos, del consumo de combustible y de la irregularidad de marcha (fig. 14).

Fig. 13

### Influencia de la parte de gas residual sobre el consumo de combustible y las emisiones.

- 1 Coeficiente de aire  $\lambda$  (parte de gas residual RG = constante),
- 2 Parte de gas residual RG ( $\lambda =$  constante).

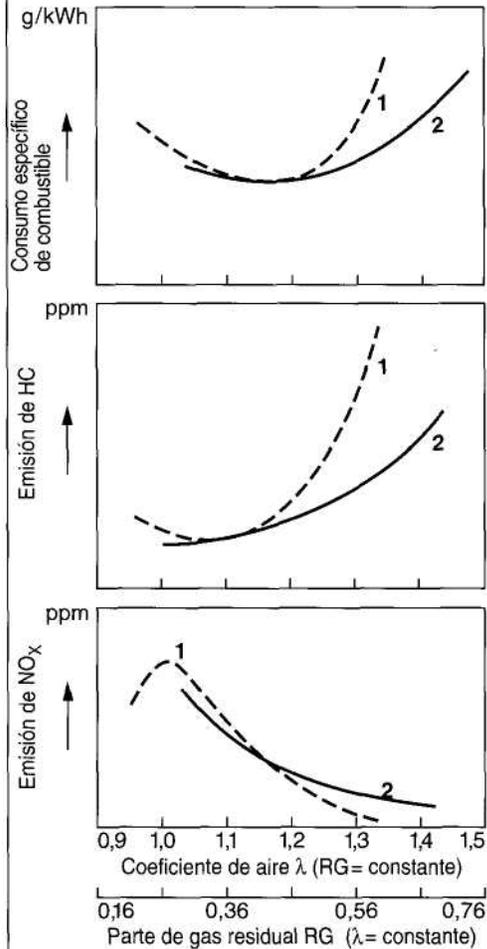
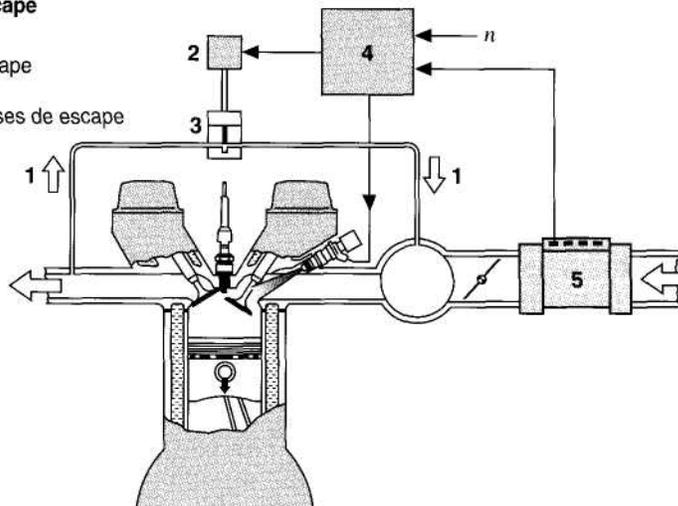


fig. 14

Fig. 14

### Retroalimentación de gases de escape (ejemplo).

- 1 Retroalimentación de gases de escape
- 2 Convertidor electropneumático
- 3 Válvula de retroalimentación de gases de escape
- 4 Unidad de control
- 5 Medidor de masa de aire
- $n$  Número de revoluciones



## Control del árbol de levas

El control del árbol de levas puede influir de muy distintas formas en el motor de gasolina:

- Aumento del par motor y de la potencia, Reducción de los gases de escape y del consumo,
- Control en la composición de carga y
- Regulación escalonada o continua de admisión y escape.

El tiempo de control «admisión cierra» es determinante para el llenado máximo del cilindro en función del número de revoluciones. En el cierre avanzado de la válvula de admisión, el gasto máximo de aire se encuentra en el margen de bajas revoluciones, mientras que en el cierre retardado se desplaza hacia el margen de mayores revoluciones.

La fase en que los controles de válvula presentan una intersección temporal (se solapan los tiempos de distribución «admisión abre» y «escape cierra»), está establecida por la retroalimentación interna de gases residuales.

Una duración prolongada de apertura de válvula mediante una duración de apertura de admisión desplazada hacia el avance, conduce a un aumento de la parte de gas residual, ya que aumenta la masa de gas residual introducida en el tubo de admisión y aspirada de nuevo a continuación. Con ello se reduce la masa de mezcla fresca aspirada, bajo una misma posición de la mariposa; la mariposa debe abrirse más como compensación para un mismo punto de carga.

La reducción del bucle de cambio de carga originada por la «desestrangulación» (disminución del efecto estrangulador), mejora el grado de rendimiento y disminuye el consumo de combustible.

Un desplazamiento de la duración de apertura de admisión en sentido de retardo, reduce la parte de gas residual. Aquí se consiguen especialmente al ralentí mejoras en cuanto a los valores de consumo, las emisiones de los gases de escape y la suavidad de marcha.

### Giro del árbol de levas

Actuadores hidráulicos o eléctricos giran, en función del régimen del motor o del punto de servicio, el correspondiente árbol de levas (para el proceso de giro del árbol de levas tienen que estar dispuestos en la culata un árbol de levas de admisión y un árbol de levas de escape) y modifican así los tiempos de distribución «admisión/escape, abre» o «admisión/escape, cierra» (fig. 15).

Si los actuadores giran p. ej. el árbol de levas de admisión, al ralentí o a regímenes mayores, a un tiempo retrasado de «admisión abre/cierra», resultan así al ralentí una parte

Fig. 15

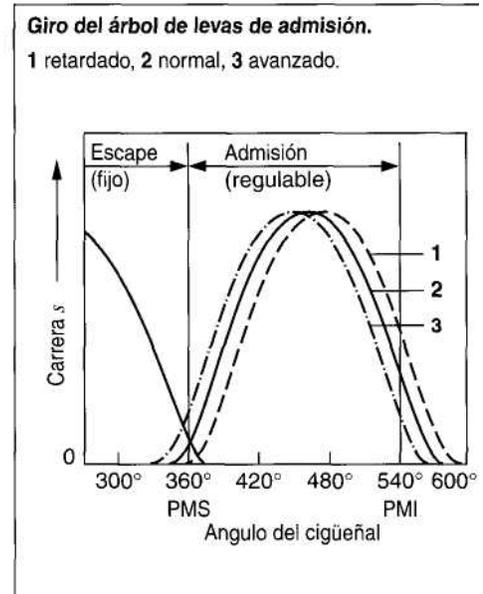


Fig. 16

### Comutación del árbol de levas.

1 Leva estándar, 2 Leva adicional.

menor de gas residual, y a revoluciones mayores un mayor gasto de aire.

En regímenes bajos hasta medios o en determinados márgenes de carga parcial, un giro del árbol de levas de admisión en dirección de avance de «admisión abre/ cierra», conduce a un mayor gasto de aire máximo.

Simultáneamente, en el margen de carga parcial, conduce a un aumento de la parte de gas residual con las influencias consiguientes sobre el consumo de combustible y las emisiones de gases de escape.

### Conmutación del árbol de levas

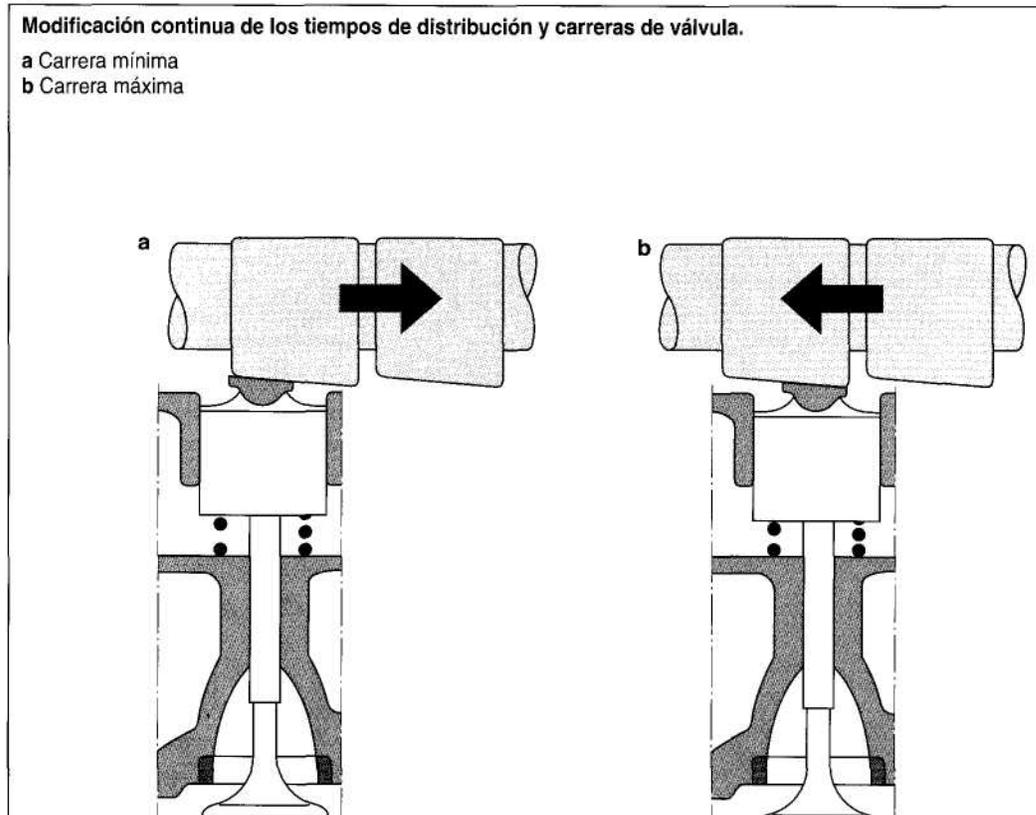
En el caso de la conmutación del árbol de levas, se modifican los tiempos de distribución de válvula, mediante la conmutación de dos formas de levas diferentes.

Una primera leva establece los tiempos de distribución óptimos y carreras de válvula de las válvulas de admisión y de escape, para el régimen de revoluciones inferior y medio. Una segunda leva controla los valores altos de carrera de válvula y los tiempos más prolongados de apertura de válvula. La leva es activada en función del régimen de revoluciones mediante el acoplamiento de una palanca de arrastre que oscilaba libre anteriormente, a los balancines estándar (fig.16).

Un procedimiento óptimo pero bastante complejo es la modificación continua del tiempo de distribución y de la carrera de válvula:

En este control del árbol de levas permiten unos perfiles de levas espaciales y un árbol de levas desplazable longitudinalmente, los mayores grados de libertad en la optimización del motor (fig. 17).

Fig. 17



## Conmutación del tubo de admisión

El objetivo de la concepción del motor es conseguir tanto un par motor máximo a bajos números de revoluciones, como también una elevada potencia nominal al régimen de revoluciones máximo. La distribución del par motor de un motor es proporcional a la masa de aire aspirada en función del régimen del motor. Un medio auxiliar para influir sobre el par motor es la ejecución geométrica del tubo de aspiración. La forma más sencilla de sobrealimentación consiste en el aprovechamiento de la dinámica del aire aspirado. Los tubos de admisión para sistemas de carburador o de inyección central (Mono-Jetronic) requieren para la distribución uniforme de la mezcla de aire/combustible, tubos individuales cortos y a ser posible de la misma longitud.

Los tubos de admisión para sistemas de inyección individuales transportan únicamente aire; el combustible se inyecta delante de las válvulas de admisión. Esto ofrece más posi-

Fig. 18

bilidades en la configuración de los tubos de admisión.

Los tubos de admisión estándar para sistemas de inyección individuales constan de tubos oscilantes individuales y colectores con mariposa.

Rige aquí:

- Los tubos oscilantes cortos permiten una elevada potencia nominal con reducción simultánea del par motor a bajos números de revoluciones, mientras que los tubos oscilantes largos muestran un comportamiento opuesto.
- Grandes volúmenes de colector originan parcialmente efectos de resonancia a determinados márgenes de revoluciones, que conducen a un mejor llenado. Sin embargo, tienen como consecuencia posibles fallos dinámicos (se trata aquí de divergencias de mezcla en cambios rápidos de carga).

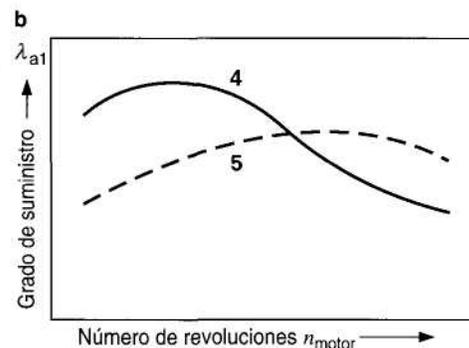
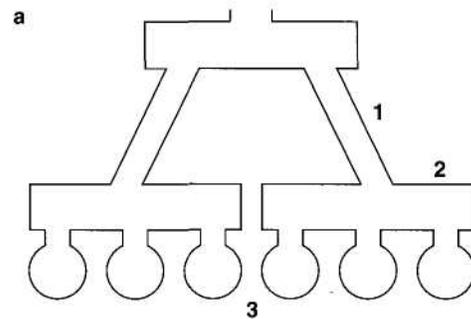
Una distribución casi ideal del par motor es posible con una conmutación del tubo de admisión, en la que son posibles diversas regulaciones, por ejemplo, en dependencia

Fig. 18

fig. 19

### Sobrealimentación por resonancia.

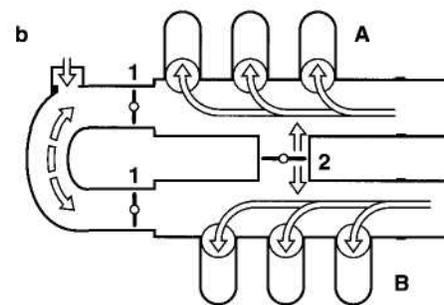
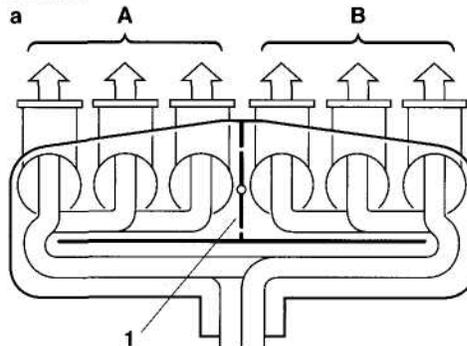
a Disposición, b Variación del gasto de aire  
 1 Tubo de resonancia, 2 Acumulador de resonancia,  
 3 Cilindro, 4 con sobrealimentación por resonancia,  
 5 con tubo de admisión normal.



JMM0453Sp

### Sistemas de aspiración conmutables.

Conmutable: a de dos niveles, b de tres niveles.  
 A, B grupos de cilindros;  
 1, 2 Chapaletas que abren en función del número de revoluciones.



de la carga del motor, del régimen y de la posición de la mariposa:

- Regulación de la longitud del tubo oscilante,
- Conmutación entre diversas longitudes de tubo oscilante o distintos diámetros de tubos oscilantes,
- Desconexión opcional de un tubo individual por cada cilindro, con tubos oscilantes múltiples,
- Conmutación a volúmenes de colector diferentes.

### Sobrealimentación por tubo oscilante de admisión

En la sobrealimentación por tubo oscilante de admisión tiene cada cilindro un tubo de admisión separado, de una determinada longitud, que está acoplado casi siempre a un depósito colector. El balance energético se caracteriza por el hecho de que el trabajo de aspiración del émbolo se transforma en energía cinética de la columna de gas delante de la válvula de admisión y esta en trabajo de compresión de la carga fresca.

### Sobrealimentación por resonancia

En la sobrealimentación por resonancia se Fig. 20 conectan grupos de cilindros con los mismos intervalos de encendido, mediante tubos cortos a acumuladores de resonancia, que unidos mediante tubos de resonancia con la atmósfera o con un depósito colector, actúan como resonadores Helmholtz (fig. 18).

### Sistemas de aspiración conmutables

Ambos sistemas de sobrealimentación dinámica aumentan el consumo de aire obtenible, sobre todo en el margen de revoluciones bajo.

Para la conmutación de los sistemas de aspiración sirven por ejemplo chapaletas que separan o unen entre sí, en función del régimen de revoluciones, sectores del sistema reunidos en grupos de cilindros (fig. 19). La longitud regulable del tubo de aspiración trabaja con una primera cámara de resonancia a bajos números de revoluciones. La longitud del tubo de aspiración varía hasta elevados números de revoluciones en los que abre adicionalmente una segunda cámara de resonancia (fig. 20).

La fig. 21 muestra la influencia de la geometría variable del tubo de admisión sobre la presión media efectiva, en función del número de revoluciones, como medida del consumo de aire.

Fig. 20

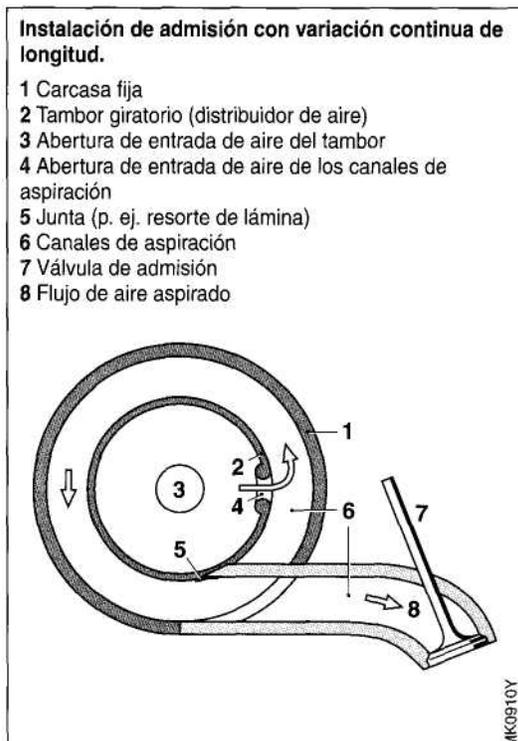
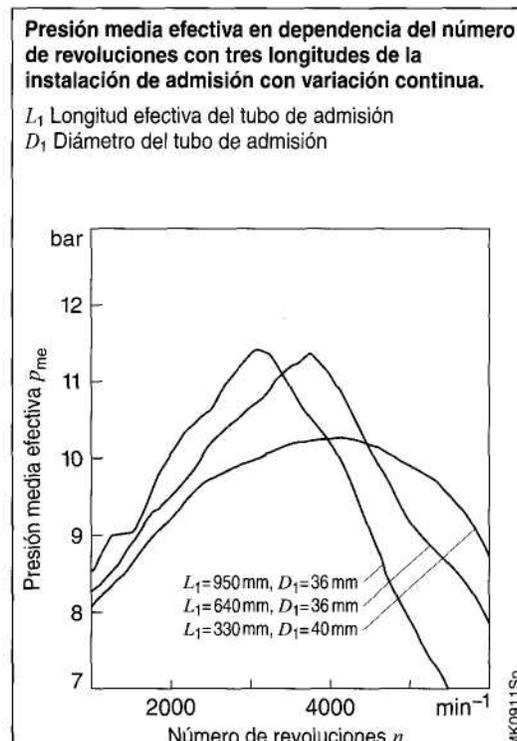


fig. 21



# Diagnóstico integrado

## Método de diagnóstico

En los sistemas Motronic pertenece al volumen básico un «diagnóstico On Board». Este diagnóstico integrado compara las reacciones del sistema con las órdenes de la unidad de control y las señales de los diversos sensores entre sí respecto a plausibilidad. Esta comprobación se realiza continuamente durante el servicio normal. La averías reconocidas las almacena en memoria la unidad de control junto con las condiciones de servicio que reinaban al producirse la avería. Cuando el vehículo se lleva a la revisión, pueden leerse y visualizarse las averías almacenadas en memoria, con un comprobador y a través de un interfaz normalizado de diagnóstico. Estas indicaciones facilitan al personal de servicio la localización de averías. En base a las exigencias del organismo californiano del medio ambiente se desarrollaron métodos de diagnóstico que superan mucho el volumen conocido hasta entonces. Deben supervisarse todos los componentes cuyo fallo pueda conducir a un aumento notable de las emisiones de elementos contaminantes.

## Márgenes de diagnóstico

### Medidor de masa de aire

Un ejemplo del autodiagnóstico de sistemas Motronic es la supervisión del medidor de masa de aire. Paralelamente al cálculo del tiempo de inyección a partir de la masa de aire aspirada, se forma un tiempo de inyección comparativo a partir del ángulo de la mariposa y del número de revoluciones. Si estos dos tiempos de inyección difieren entre sí un valor inadmisiblemente alto, se almacena primero en memoria esta irregularidad. Durante la marcha sucesiva se determina mediante comprobaciones de plausibilidad, cual de los dos sensores es el defectuoso. Únicamente cuando se ha podido establecer ésto de forma indudable, se almacena en memoria en la unidad de control el correspondiente código de avería.

### Fallos de combustión

Al producirse fallos de combustión, p. ej. debidos a bujías de encendido desgastadas o uniones eléctricas defectuosas, llega mezcla sin quemar al catalizador. Esta mezcla puede destruir el catalizador, pero en cualquier caso, puede contaminar el medio ambiente. Ya que los más mínimos índices de fallos empeoran las emisiones, deben reconocerse incluso fallos de combustión aislados. La fig. 1 muestra la influencia de los fallos de combustión sobre la emisión de los hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).

Entre muchos métodos analizados para la determinación de fallos de combustión, el más apropiado ha resultado ser la supervisión de la irregularidad de funcionamiento del cigüeñal. Al producirse un fallo de combustión, le falta al motor el par motor generado normalmente por la combustión. Esto conduce a un retardo del movimiento de giro. A elevados números de revoluciones y baja carga, la prolongación del tiempo entre encendido y encendido (duración de período) es de tan sólo un 0,2%. Esto requiere pues una supervisión de alta precisión del movimiento de giro y un complejo procedimiento de cálculo, para poder distinguir entre fallos de combustión y magnitudes perturbadoras.

### Catalizador

Una función de diagnóstico adicional supervisa el grado de rendimiento del catalizador. Para este fin se monta una sonda Lambda detrás del catalizador, adicionalmente a la sonda Lambda convencional delante del catalizador. Un catalizador que funcione presenta un efecto de acumulación de oxígeno, con el cual se amortiguan las oscilaciones de la regulación Lambda. En un catalizador envejecido disminuye esta propiedad, hasta que finalmente se igualan las variaciones de señal detrás del catalizador con las variaciones de señal delante del catalizador. Mediante comparación de las señales de sonda Lambda puede deducirse el estado del catalizador y, en caso de avería, notificarlo al conductor a través de la lámpara de diagnóstico.

Fig. 1

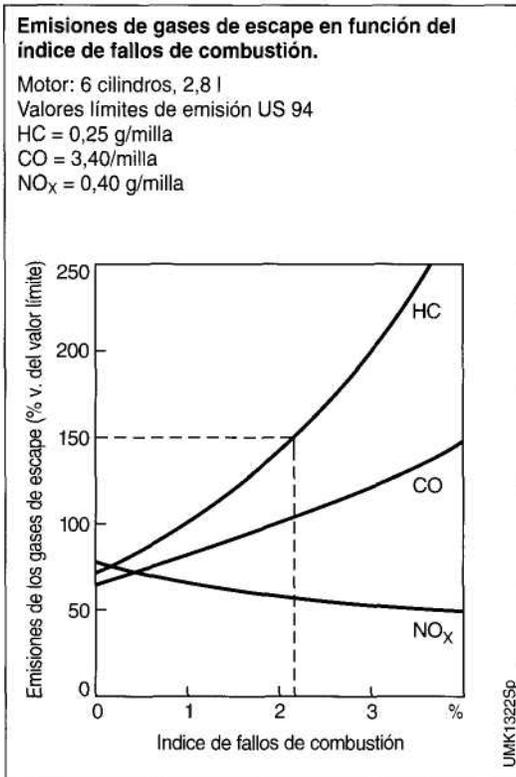
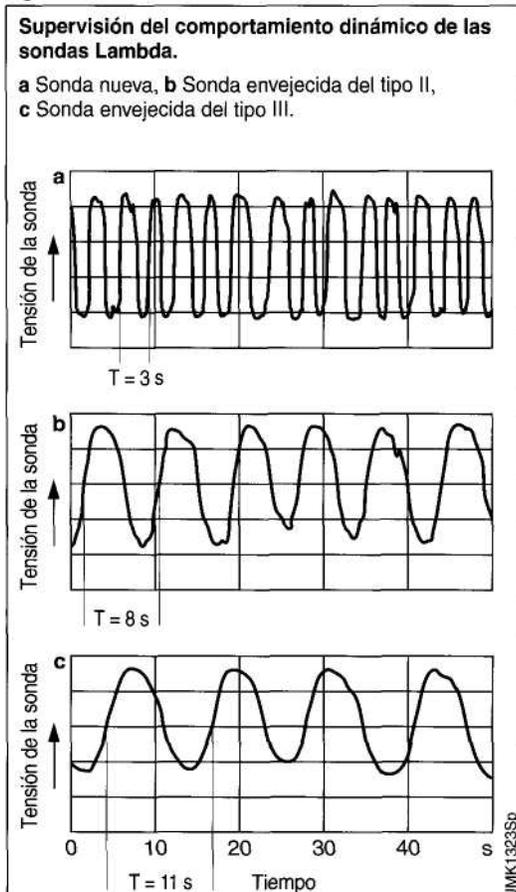


Fig. 2



**Sonda Lambda**

Con el fin de aprovechar óptimamente el funcionamiento del catalizador, la mezcla de combustible/aire debe estar muy exactamente en el punto estequiométrico. De ello se encarga la regulación Lambda a través de las señales de las sondas Lambda. Por el hecho de que existen dos sondas Lambda por cada ramal de gases de escape, puede comprobarse mediante la sonda situada detrás del catalizador, la sonda delante del catalizador, respecto a un desfase de la posición de regulación. Una sonda Lambda que ha sido sometida durante largo tiempo a temperaturas excesivas, reacciona bajo determinadas circunstancias, más lentamente a las variaciones de la mezcla de combustible/aire. Aumenta así la duración de período del regulador de dos puntos de la regulación Lambda (fig. 2).

Una función de diagnóstico supervisa esta frecuencia de regulación y notifica al conductor un comportamiento demasiado lento de la sonda, mediante la activación de la lámpara de averías.

La resistencia calefactora de la sonda Lambda se comprueba por medición de corriente y tensión. Para hacer posible la medición, el Motronic controla directamente la resistencia calefactora, es decir no a través de un relé. La señal que sale de la sonda se supervisa continuamente respecto a plausibilidad. Si aparecen señales no plausibles, se bloquean otras funciones dependientes de la regulación Lambda y se registra en la memoria de averías el correspondiente código de avería.

**Alimentación de combustible**

Las divergencias prolongadas de la mezcla de combustible/aire respecto a la relación estequiométrica, se tienen en cuenta en combinación con la adaptación de la mezcla. Si estas divergencias sobrepasan límites definidos previamente, significa que algún componente de la alimentación de combustible o dosificación, se encuentra fuera de su margen de especificación. Un ejemplo de ello puede ser un regulador de presión defectuoso, un sensor de carga o también una fuga en el tubo de admisión o en el sistema de gases de escape.

### Insuflación de aire secundario

La insuflación de aire secundario que actúa después de un arranque en frío debe supervisarse también, ya que en caso de un posible fallo, quedan influidas las emisiones. Con la insuflación de aire secundario activa puede comprobarse la señal de las sondas Lambda, o con una función de test activa al ralentí, puede conectarse y observarse el regulador Lambda.

### Retroalimentación de gases de escape

Para el diagnóstico de la retroalimentación de gases de escape existen varias posibilidades. Esencialmente se han impuesto dos variantes. En la primera posibilidad se mide con un sensor en el lugar en el que retorna al tubo de admisión el gas de escape caliente, el aumento de temperatura estando activa la retroalimentación de gases de escape. Como segunda posibilidad se abre totalmente la válvula de retroalimentación de gases de escape en régimen de retención (con corte de combustible). Los gases de escape que entran en el tubo de admisión conducen allí a un aumento de la presión.

Fig. 3

Mediante un sensor de presión se mide y se evalúa el aumento de la presión en el tubo de admisión.

### Sistema de depósito

No sólo las emisiones del sistema de escape afectan al medio ambiente, sino también los valores de combustible que escapan del sistema de depósito.

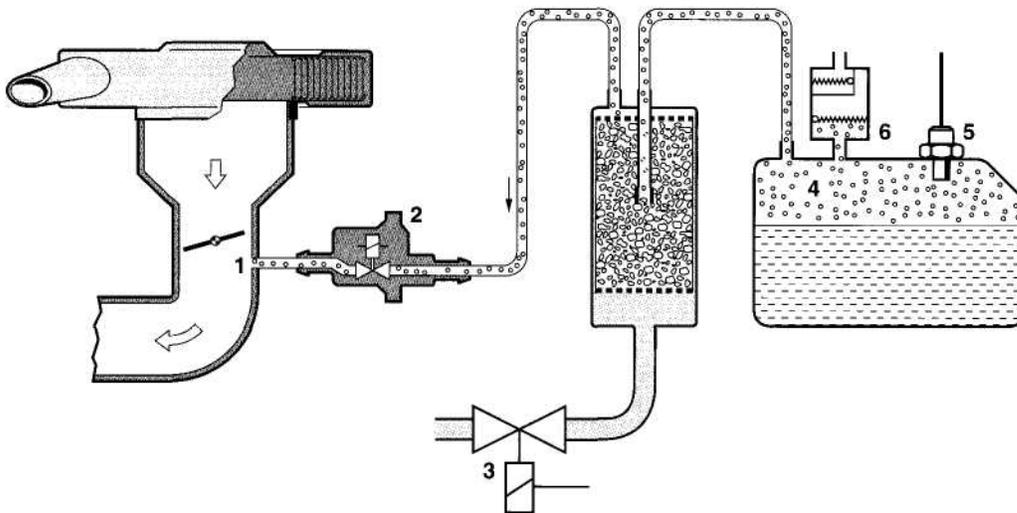
La legislación se limita inicialmente a una comprobación relativamente sencilla de la función de la válvula regeneradora. Ulteriormente se exige que se reconozcan las fugas en el sistema de retención de vapores de combustible.

En la fig. 3 se representa el principio básico del diagnóstico. Con una válvula de cierre se cierra el sistema de retención. Entonces se abre preferentemente al ralentí del motor la válvula de regeneración, con lo cual se propaga en todo el sistema la presión del tubo de admisión.

Mediante un sensor de presión en el depósito se observa la variación de la presión y se detectan así las fugas.

#### Comprobación de depresión para reconocer fugas en la ventilación del depósito.

- 1 Tubo de admisión,
- 2 Válvula regeneradora,
- 3 Válvula de cierre,
- 4 Depósito de combustible,
- 5 Sensor de presión diferencial,
- 6 Válvula de protección.



### Otras supervisiones

Junto al control del motor, afectado principalmente por esta nueva legislación, se incluyen también otros sistemas (p. ej. cambio automático) en la supervisión. Estos notifican la presencia de averías al control del motor y este activa entonces en su representación la lámpara de diagnóstico. Debido a la creciente complejidad de los sistemas y a las estrictas leyes ecológicas adquiere el diagnóstico una importancia cada vez mayor.

### Marcha de emergencia

En la fase desde la aparición de una avería hasta la visita al taller se mantiene la preparación de la mezcla de aire/combustible y del encendido, mediante magnitudes sustitutivas y funciones de emergencia, de forma tal que se puede continuar circulando con un confort restringido. Al reconocerse una avería de una vía de entrada, la unidad de control sustituye la información faltante o establece un valor sustitutivo. Al fallar un grupo por el lado de salida, se toman medidas de emergencia individuales en función de la imagen de la avería. Así, p. ej. en caso de un defecto en el circuito de encendido, se desconecta la inyección de gasolina del cilindro afectado, con el fin de evitar un deterioro del catalizador. En el taller pueden leerse e indicarse mediante el motortester Bosch las anomalías detectadas durante la marcha (fig. 4).

Fig. 4:

Tester Bosch para motores.



# Unidad de control

## Tarea

La unidad de control electrónica es el «centro de cálculo y de mando» del sistema de control del motor.

La unidad calcula a partir de las señales de entrada suministradas por los sensores, con ayuda de las funciones almacenadas en memoria y algoritmos (métodos de cálculo), las señales de activación para los elementos actuadores (p. ej. bobina de encendido, válvula de inyección, etc.) y los controla directamente mediante etapas finales de potencia (fig. 1).

## Estructura mecánica

La unidad de control se encuentra dentro de un cuerpo metálico que contiene una placa de circuito impreso con los componentes electrónicos.

Los sensores, los elementos actuadores y la alimentación de corriente están conectados a la unidad de control mediante una unión por enchufe de varios polos. Esta unión por enchufe está ejecutada, según el tipo de aparato, con 35, 55 u 88 polos, en correspondencia con el volumen funcional diferente. Los componentes de potencia para la activación directa de los elementos actuadores están montados sobre cuerpos refrigerantes en la unidad de control. Debido al calor generado y a disipar por estos componentes electrónicos, es necesaria una buena conducción térmica a la carrocería.

## Condiciones del entorno

La unidad de control está sometida a grandes exigencias en relación con la temperatura del entorno, la humedad y las sollicitaciones mecánicas. Asimismo son muy altas las exigencias respecto a la insensibilidad de perturbación electromagnética y a la limitación de la irradiación de señales perturbadoras de alta frecuencia.

En servicio de marcha normal con temperaturas del entorno entre  $-30^{\circ}\text{C}$  hasta  $+60^{\circ}\text{C}$  y tensiones de la batería desde 6 V (al arrancar) hasta 15 V, la unidad de control debe poder procesar sin ningún fallo las señales.

## Alimentación de tensión

Un regulador de tensión pone a disposición la tensión de alimentación constante de 5 V para los circuitos digitales.

## Entrada de señales

Las señales de entrada son conducidas de distintas formas a la unidad de control. Las señales son transmitidas a través de circuitos de protección y, dado el caso, a través de convertidores de señal y amplificadores. El microprocesador elabora directamente estas señales de mando.

Las señales analógicas (p. ej. informaciones sobre el caudal de aire aspirado, posición de la mariposa, temperatura del motor y del aire aspirado, tensión de la batería, sonda Lambda, etc.) son transformadas en valores digitales por un convertidor analógico/digital (convertidor A/D) en el microprocesador.

La señal de un sensor inductivo con informaciones sobre el número de revoluciones y la marca de referencia, es procesada en una unidad de conexión para suprimir los impulsos perturbadores.

## Procesamiento de señales

El microprocesador en la unidad de control procesa las señales de entrada. Este microprocesador necesita un programa para el procesamiento de señales, que está almacenado en una memoria de valor fijo (ROM o EPROM). Adicionalmente están almacenadas en la memoria las curvas características específicas del motor y los campos característicos para el control del motor.

Debido a la gran variedad de variantes de motor y de equipamiento de los vehículos, algunas unidades de control están equipadas con una codificación de variantes. Mediante esta codificación se programa adicionalmente en el fabricante del vehículo o en un taller, una selección de los campos característicos almacenados en la memoria EPROM para poder cumplir las funciones deseadas de la variante.

Otros modelos de aparato están concebidos de tal forma que pueden programarse en la memoria EPROM registros completos de datos al final de la producción del vehículo.

De esta forma se reduce el número de tipos de unidades de control necesarios en el fabricante del vehículo. Una memoria de escritura-lectura (RAM) es necesaria para almacenar valores de cálculo, valores de adaptación y posibles averías que surgen en el sistema global (diagnóstico). La RAM precisa para su función una alimentación constante de corriente. Al desembornar la batería del vehículo pierde esta memoria todas las existencias de datos. En este caso, la unidad de control tiene que determinar de nuevo los datos de adaptación tras la conexión de la batería. Para evitar este inconveniente, en algunos modelos de aparatos se almacenan los valores variables necesarios, en una memoria EPROM en lugar de una RAM.

### Salida de señales

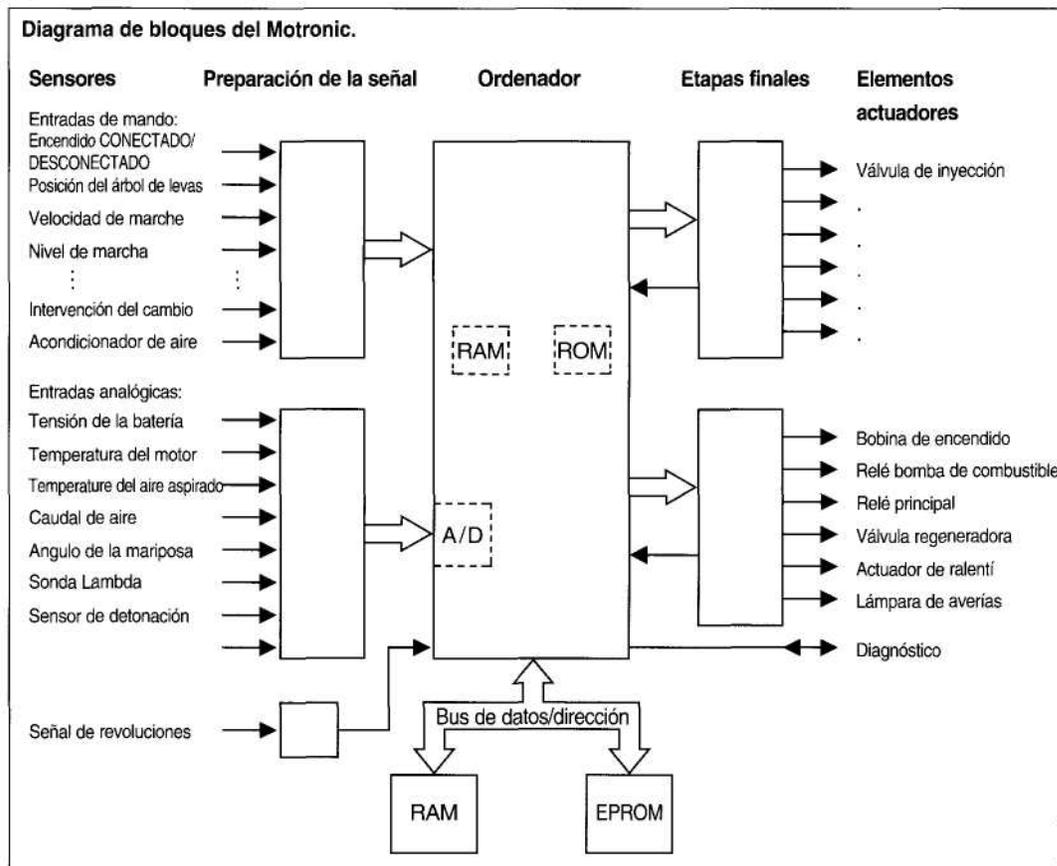
El microprocesador activa etapas finales que suministran suficiente potencia para la conexión directa de los elementos actuadores.

Estas etapas finales están protegidas contra cortocircuitos a masa o a la tensión de la batería, así como contra la destrucción por sobrecarga eléctrica.

La función de diagnóstico reconoce la avería aparecida en algunas etapas finales y desconecta (si es necesario) la salida defectuosa. En la memoria RAM se almacena el registro de avería. Este registro de avería puede interrogarse en el taller con un comprobador a través del interfaz en serie. Otro circuito de protección desconecta la electrobomba de combustible independientemente de la unidad de control, en cuanto la señal de régimen es menor que un límite inferior.

En algunas unidades de control, al desconectar el borne 15 en la cerradura de encendido («encendido desconectado») se retiene mediante el correspondiente circuito el relé principal, hasta que haya concluido el procesamiento del programa.

Fig. 1



# Interfaces hacia otros sistemas

## Relación general del sistema

La aplicación intensificada de controles electrónicos en el vehículo, como p. ej.

- Control del cambio,
- Control electrónico de la potencia del motor (EMS o acelerador-E),
- Control electrónico del motor (Motronic),
- Sistema antibloqueo (ABS),
- Sistema de tracción antideslizante (ASR),
- Ordenador de a bordo, etc.

hace necesaria una vinculación en red de estos controles individuales. El intercambio de informaciones entre los sistemas de control reduce la cantidad de sensores y mejora el aprovechamiento de los sistemas individuales.

Los interfaces pueden subdividirse en dos categorías:

- Interfáce convencional, p. ej.
- Señales binarias (entradas de mando), relaciones de impulsos (señales moduladas de amplitud de impulso),
- Transmisión de datos en serie, p. ej. Controller Área Network (CAN)

## Interfaces convencionales

La comunicación convencional en el vehículo está caracterizada por el hecho de que a cada señal le corresponde una conducción individual. Las señales binarias sólo pueden transmitirse mediante los dos estados «1» ó «0» (código binario), p. ej. compresor de aire acondicionado «conectado» o «desconectado».

Mediante relaciones de impulsos (potenciómetro) pueden transmitirse varios estados, como p. ej. la posición de la mariposa. El incremento del intercambio de datos entre los componentes electrónicos en el vehículo ya no puede realizarse con interfaces convencionales. La «complejidad» de los mazos de cables ya sólo puede dominarse hoy día con gran esfuerzo, y las exigencias al intercambio de datos entre las unidades de control es cada vez mayor (fig. 1).

Estos problemas pueden solucionarse mediante la aplicación del sistema CAN, un sistema bus (vía colectora de datos) concebido especialmente para vehículos. Siempre que las unidades de control electrónicas dispongan de un interfáce en serie CAN, pueden transmitirse por CAN las señales mencionadas anteriormente.

## Transmisión de datos en serie (CAN)

Existen tres campos de aplicación esenciales para CAN en el vehículo:

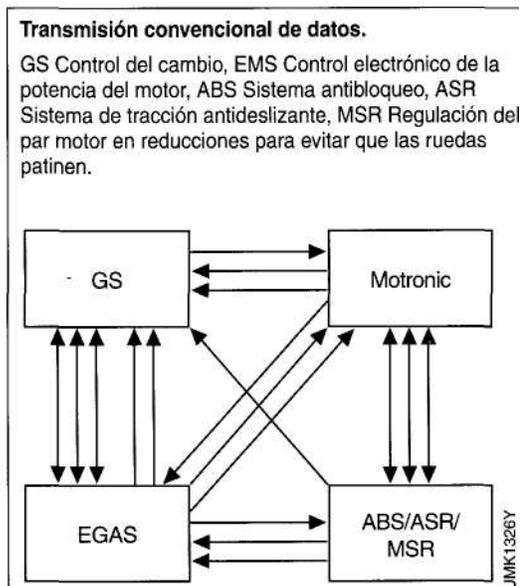
- Acoplamiento de unidades de control,
- Electrónica de la carrocería y de confort (Multiplex),
- Comunicación móvil.

La siguiente descripción se refiere al acoplamiento de unidades de control.

### Acoplamiento de unidades de control

En el acoplamiento de unidades de control se acoplan entre sí sistemas electrónicos como Motronic, control electrónico del cambio, etc. Las velocidades de transmisión típicas están entre aprox. 125 kbit/s y 1 Mbit/s. Las velocidades deben ser tan altas para poder garantizar el comportamiento de tiempo real exigido. Una ventaja del medio de transmisión de datos en serie, en comparación con los interfaces convencionales (p. ej. relación de impulsos, señal de mando y señal analógica) es también la velocidad mayor, sin gran

Fig. 1



carga para las unidades centrales de control (CPU).

### **Configuración bus**

El sistema CAN trabaja según el principio «Multi-Master». En este principio, varias unidades de control equivalentes están unidas entre sí mediante una estructura bus lineal (fig. 2).

Esta estructura presenta la ventaja de que cuando falla una unidad, el sistema bus continua estando plenamente a disposición de las otras unidades. En comparación con otras disposiciones lógicas (como estructuras anulares o en estrella) se reduce considerablemente la probabilidad de una fallo total.

En las estructuras anulares o en estrella, el fallo de una unidad, o de la unidad central, conduce a un fallo total.

### **Direccionamiento referido al contenido**

El sistema bus CAN direcciona las informaciones en lo referente a su contenido. Para ello se asigna a cada «mensaje» un «identificador» fijo de 11 bits. El identificador representa el contenido del mensaje (p. ej. revoluciones del motor). Una estación elabora exclusivamente aquellos datos cuyos identificadores están almacenados en la lista de mensajes a recibir (comprobación de aceptación).

De esta forma, el sistema CAN no requiere direcciones de estación para la transmisión de datos, y los nodos no necesitan administrar la configuración del sistema.

### **Asignación de bus**

Cuando está libre el bus, puede comenzar cualquier estación a transmitir su mensaje más importante.

Si varias estaciones comienzan a emitir al mismo tiempo se emplea un esquema de arbitraje «Wired-And» para resolver los conflictos resultantes de acceso al bus. En este esquema se implanta el mensaje de máxima prioridad sin que se produzca una pérdida de tiempo o de bits. Cualquier estación emisora que pierda el arbitraje se convierte automáticamente en receptor y repite su intento de emisión en cuanto está libre el bus.

### **Formato de mensajes**

Para la transmisión en el bus se crea un marco de datos (Data Frame), cuya longitud es inferior a 130 bits. Con ello queda asegurado que se mantenga siempre corto el tiempo de espera hasta la siguiente transmisión, posiblemente muy urgente. El «Data Frame» se compone de siete campos sucesivos.

### **Estandarización**

El sistema CAN está previsto en la organización normativa internacional ISO como estándar para la aplicación en el vehículo, para series de datos superiores a 125 kbit/s y, junto con dos protocolos adicionales, para velocidades de datos de hasta 125 kbit/s.

Fig. 2

