



# MASTER EN AUTOMOCIÓN

## ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

### TRABAJO FIN DE MÁSTER

#### Evolución de los sistemas de control en motores de combustión

Autor: D. Álvaro Diente castaño  
Tutor: D. Andrés Melgar Bachiller

Valladolid, julio de 2014

Escuela Ingenierías Industriales

Depto. Ing<sup>a</sup> Energética y Fluidomecánica

Paseo del Cauce s/n

47011 Valladolid  
(España)



Fundación Cidaut

Parque Tecnológico de Boecillo, 209

47151 Boecillo (Valladolid)

España





## RESUMEN

### RESUMEN

Este documento describe los sistemas de control esenciales de los motores de combustión utilizados en la industria de automoción a lo largo de la historia, con el objetivo de exponer la evolución de los diferentes sistemas utilizados para controlar el comportamiento del motor debido a los progresos técnicos y a las imposiciones de las normativas de emisiones.

### ENGLISH TITLE AND ABSTRACT

#### *The evolution of control systems in internal combustion engines*

This document describes the essentials control systems in combustion engines used in the automotive industry throughout the history, which aim is to show the evolution of the different systems employed to manage the behaviour of the engine due to the technical progress and the enforcement of harder emissions regulations.



## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado principalmente gracias al respaldo de mi familia, a la cual me gustaría agradecer su incondicional apoyo y motivación lo que me ha permitido realizar el esfuerzo necesario para llevar a cabo la redacción de este documento que me permitirá acabar mis estudios del Máster en Automoción tras varios años infructuosos, sin apenas avance, en los que por diferentes causas dicho texto no había sido desarrollado de la forma deseada, ni en los plazos previstos inicialmente, pero que finalmente ha llegado a su culminación.

Igualmente me gustaría agradecer su ayuda y colaboración a mi tutor Andrés Melgar, sin en el cual no hubiese podido sacar adelante este trabajo, gracias a su orientación, conocimientos y dedicación, de igual forma que al coordinador del Máster en Automoción Francisco V. Tinaut ya que sin su consejo y sus ánimos me hubiese resultado muy difícil poner en marcha este trabajo.

Así mismo, no quisiera olvidarme de mis compañeros de trabajo que ante esta situación de estrés y sobrecarga han sabido apoyarme tanto a nivel personal como profesional, habiendo hecho progresar mis conocimientos técnicos, en parte gracias a los cuales he podido desarrollar este trabajo, plasmando buena parte de la experiencia adquirida junto a ellos.

También quiero hacer mención a mis amigos, los cuales estaban pendientes de mis avances, con el fin de animarme a continuar y evitar caer en la desidia, ya que ellos también conocen la dedicación que implica el desarrollo de este tipo de trabajos, ya sea para finalizar los estudios universitarios o los estudios de postgrado.

Por ello, os agradezco todo ese apoyo y colaboración prestados y os invito a leer este proyecto, y que así podáis ver el resultado final de todo este trabajo durante el cual habéis estado a mi lado, esperando que resulte de vuestro interés.

Muchas gracias a todos por vuestra ayuda y vuestros ánimos.



## NOMENCLATURA

MCIA: motor de combustión interna alternativo.

MEP: motor de encendido provocado.

MEC: motor de encendido por compresión.

ECU/ECM: unidad de control de motor (calculador de inyección).

EGR: recirculación de gases de escape.

TGF: turbo de geometría fija.

TGV: turbo de geometría variable.

ABS: sistema antibloqueo de frenos

ESP: control de estabilidad

FAP/DPF: filtro antipartículas

SCR: reducción catalítica selectiva

NOx: óxidos de nitrógeno

S&S: sistema de parada y arranque automático



## ÍNDICE

1	Introducción.....	1
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Objetivo .....	1
1.3	Planteamiento del trabajo .....	1
1.4	Justificación .....	1
2	¿Qué es un sistema de control motor? .....	3
2.1	Descripción general.....	3
2.2	Funciones.....	3
2.3	Tipos.....	3
2.4	Componentes .....	3
2.4.1	Captadores.....	4
2.4.2	Actuadores .....	6
3	Evolución de los sistemas de control motor .....	7
3.1	Origen de su empleo (implantación) .....	7
3.2	Estado del arte .....	7
3.3	¿Por qué han evolucionado?.....	7
3.3.1	Evolución tecnología motores (inyección, sobrealimentación, etc) .....	8
3.3.2	Evolución electrónica (hardware y software).....	10
3.3.3	Evolución normas anticontaminación (normativa Euro I, II, ... VI).....	12
3.4	Interacción con otros sistemas de control vehículo .....	12
4	Sistemas de control.....	15
4.1	Sistemas de alimentación de carburante.....	15
4.1.1	MEC .....	15
4.1.1.1	Inyección indirecta.....	15
4.1.1.1.1	Bombas en línea .....	16
4.1.1.1.2	Bombas rotativas.....	18
4.1.1.2	Inyección directa.....	20
4.1.1.2.1	Bomba rotativa de émbolos radiales .....	20
4.1.1.2.2	Inyector-bomba .....	23
4.1.1.2.3	Sistemas common-rail.....	25
4.1.2	MEP .....	29
4.1.2.1	Carburador .....	29
4.1.2.2	Carburador electrónico .....	31
4.1.2.3	Inyección hidráulica .....	32
4.1.2.4	Inyección electrónica .....	33

4.1.2.4.1	Inyección indirecta.....	36
4.1.2.4.2	Inyección directa .....	38
4.2	Sistemas de llenado (MEC Y MEP) .....	39
4.2.1	Mariposa motorizada.....	40
4.2.2	Recirculación de gases de escape – EGR .....	41
4.2.3	Sobrealimentación.....	42
4.2.3.1	Turbocompresores .....	43
4.2.3.1.1	Turbos de geometría fija – TGF .....	45
4.2.3.1.2	Turbos de geometría variable – TGV .....	46
4.2.3.2	Compresor mecánico.....	48
4.3	Sistemas de encendido (MEP) .....	49
4.3.1	Encendido convencional por platinos .....	50
4.3.2	Encendido transistorizado .....	51
4.3.3	Encendido electrónico .....	52
4.4	Sistemas de postratamiento .....	54
4.4.1	Regeneración FAP - Filtro antipartículas.....	54
4.4.2	Sistema DeNOx-DeSOx.....	56
4.4.3	Purga Canister .....	57
4.5	Otros sistemas.....	58
4.5.1	Sistema de arranque .....	59
4.5.2	Sistemas de ayuda de arranque – MEC (Bujías de precalentamiento) .....	59
5	Sistemas de control para optimizar el rendimiento motor.....	61
5.1	Distribución variable .....	61
5.2	Bomba de aceite pilotada .....	62
5.3	Termostato pilotado.....	62
5.4	Relación de compresión variable.....	63
5.5	Desconexión de cilindros.....	64
5.6	Gestión accesorios .....	64
6	Conclusión .....	67
6.1	Resumen .....	67
6.2	Sugerencias para trabajos futuros.....	67
7	Referencias .....	69
8	Anexos .....	71

# 1 Introducción

## 1.1 *Antecedentes*

Existe una multitud de documentos que nos describen los diferentes sistemas de control de los motores de combustión interna alternativos (MCIA) utilizados en la automoción en los que se detalla de forma más o menos amplia cada uno de dichos sistemas, según la tipología de los mismos, o la función o según las diferentes épocas en las que se han utilizado, pero no establecen una relación entre cada uno de ellos ni los motivos por los que unos han ido sustituyendo a otros según aparecían sistemas más modernos y avanzados.

## 1.2 *Objetivo*

Así pues, con estos antecedentes el objetivo de este documento será agrupar dicha información haciendo mención a dichos sistemas de control (los más relevantes), y a su vez explicar su evolución y el porqué de su utilización y posterior caída en desuso para pasar a nuevos sistemas que permitían satisfacer los requerimientos cada vez más exigentes, tanto de las nuevas normativas anticontaminación como de las necesidades de la sociedad/clientes y sus expectativas, así como los argumentos de ventas de los diferentes constructores automovilistas, entre otras razones.

## 1.3 *Planteamiento del trabajo*

De este forma, la base de este trabajo es la de describir que es un sistema de control motor, su función y los componentes que lo forman, para luego pasar a enumerar los diferentes sistemas de control, de forma más o menos cronológica, y hacia dónde y cómo han evolucionado y el porqué de dicha evolución.

## 1.4 *Justificación*

Desde mi punto de vista, creo necesario este documento que sintetiza buena parte de los diferentes sistemas de control motor existentes hasta la fecha teniendo en cuenta su aplicación y evolución a lo largo de la histórica, ya que no conozco ningún documento que describa el conjunto de los sistemas de control aplicados en las diferentes épocas sin enlazarlos a nivel cronológico y explicando el porqué de las evoluciones y el paso en la utilización de unos y otros, sino que simplemente hacen una descripción de los mismos.



## 2 ¿Qué es un sistema de control motor?

### 2.1 Descripción general

Un sistema de control motor es un elemento o conjunto de elementos mecánico, electrónicos y/o electromecánicos, que permiten controlar y gestionar el funcionamiento del motor térmico con el objetivo de que este se comporte de la forma correcta para satisfacer determinadas exigencias de prestaciones, consumo, anti-polución, agrado de conducción, condiciones ambientales, etc.

### 2.2 Funciones

Como se ha mencionado anteriormente la función del sistema de control motor es la gestión del funcionamiento del motor, para lo cual existen sistemas sencillos que gestionan una sola función del motor (llenado, encendido, inyección, etc.) y en conjunto gestionan el comportamiento del motor, o también puede ser un sistema más complejo que engloba todas las funciones de esos sistemas más sencillos para controlar con un único sistema de control el comportamiento general del motor.

### 2.3 Tipos

Así pues, sin tener en cuenta su complejidad y la(s) función(es) que controlan, ni si son específicos de los motores diesel (MEC) o gasolina (MEP), estos sistemas los podemos subdividir en los siguientes tipos:

- ❖ Mecánicos o Electromecánicos:
  - Encendido convencional por platinos.
  - Encendido transistorizado.
  - Carburador.
  - Bomba de inyección mecánica.
  - ....
- ❖ Electrónicos:
  - Encendido electrónico.
  - Inyección electrónica.
  - ECU (engine control unit) - unidad de control de motor.
  - .....

### 2.4 Componentes

Estos sistemas están formados por diferentes componentes, entre ellos algunos nos permiten obtener ciertos parámetros "de entrada", que son los **captadores** y con los que conseguimos conocer el punto de funcionamiento del motor (ya sea: régimen, temperaturas de agua y aire, presión colector, etc.) con el objetivo de poder regular dicho sistema y adecuar a esas condiciones los parámetros, en este caso "de salida", para accionar los **actuadores** de forma que se apliquen las consignas adecuadas y el motor funcione correctamente en cada una de las condiciones que se puede encontrar.

A continuación se muestra un esquema más o menos sencillo de un motor de gasolina en el que se puede ver la unidad de control y alguno de los componentes que ésta gestiona para controlar el funcionamiento del motor, tanto los captadores (entradas del sistema de control) como los actuadores (salidas del sistema de control).

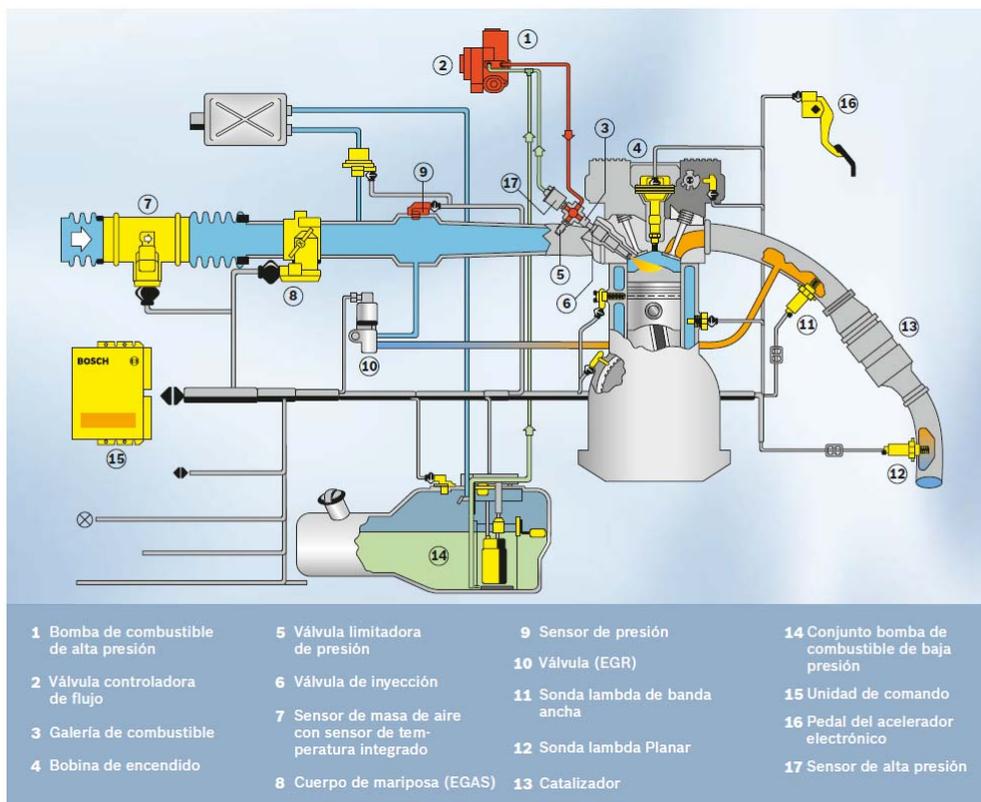
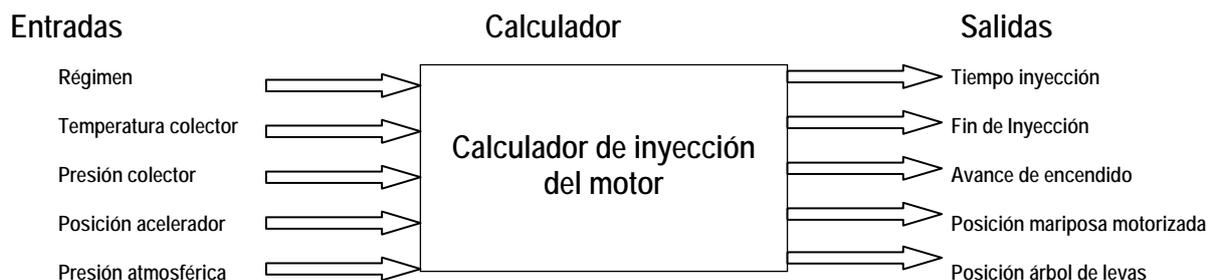


Fig. 1 - Esquema de componentes de un sistema de control motor -captadores y actuadores-

[\(http://www.xn--bosch-tecnologadelautomvil-roc1p.es/\)](http://www.xn--bosch-tecnologadelautomvil-roc1p.es/)

En el esquema previo podemos ver un ejemplo de la complejidad de un sistema de control electrónico, dada la cantidad de componentes que lo forman, la necesidad de comunicar dichos componentes con la ECU que los gestiona y la electrónica necesaria para controlarlos y además tener la posibilidad de parametrizar todo el campo de funcionamiento.

A continuación se puede ver un ejemplo básico de las entradas y salidas de un calculador en un MEP.



En los primeros sistemas antes de la aparición de los sistemas electrónicos actuales las entradas eran una unión mecánica directa entre el parámetro de regulación y el propio sistema de regulación y la regulación en lugar de estar programada en el calculador, estaba definida y era dependiente del diseño del propio sistema, que a su vez tenía uno parámetros de salida más limitados.

### 2.4.1 Captadores

Como se ha mencionado previamente dentro de los diferentes componentes que forman un sistema de control los primeros que se van mencionar son los captadores que son los sensores que nos permiten recoger la información necesaria del punto y las condiciones de funcionamiento para poder aplicar las salidas adecuadas según los parámetros definidos en el sistema de control.

Dentro de los captadores existen multitud de tipos en función de la magnitud física que se requiera medir, pero dentro de los sistemas de control para la gestión de los motores de combustión los más

utilizados son los que miden: temperatura, presión, intensidad eléctrica, tensión eléctrica, aceleración, posición angular y/o lineal, caudal, entre otros.

Así pues, ahora vamos a pasar a enumerar los principales captadores utilizados para controlar el funcionamiento del motor:

- ❖ Sensores de temperatura:
  - Temperatura de refrigerante.
  - Temperatura de aceite.
  - Temperatura de combustible.
  - Temperatura de aire de admisión.
  - Temperatura de gases de escape.
    - A la entrada del turbo.
    - A la entrada del catalizador.
    - A la salida del catalizador.
    - A la entrada del filtro de partículas.
    - A la salida del filtro de partículas.
- ❖ Sensores de presión.
  - Presión atmosférica.
  - Presión de sobrealimentación.
  - Presión de gases de escape.
    - A la entrada de la turbina.
    - A la entrada del filtro de partículas.
    - A la salida del filtro de partículas.
  - Presión de inyección.
  - Presión cilindro.
  - Presión de aceite.
  - Presión cárter de aceite.
  - Presión circuito aire acondicionado.
- ❖ Sensores de vibraciones y/o ruido.
  - Captador de picado.
- ❖ Sensores de aceleración
  - Sensores aceleración longitudinal y transversal.
- ❖ Sensores de posición, angulares (grados o porcentaje) y lineales.
  - Revoluciones árbol de levas.
  - Revoluciones del cigüeñal.
  - Revoluciones ruedas y velocidad vehículo.
  - Posición pedal acelerador.
  - Posición pedal embrague.

- Posición pedal freno.
- Apertura mariposa.
- Apertura EGR.
- ❖ Caudalímetro.
  - Caudal de aire de admisión.
- ❖ Concentración de oxígeno.
  - Sonda lambda.

Los sistemas de regulación mecánica no tenían captadores como tal, sino que se conocía el punto de funcionamiento ya que estos sistemas estaban ligados al motor de forma que existía una unión física que permitía establecer una relación directa entre el parámetro de entrada que define el punto de funcionamiento del que el parámetro de salida que se pretende regular es dependiente, como puede ser el giro del árbol de levas para el sistema de encendido, o la presión del colector en la regulación del turbo.

### 2.4.2 Actuadores

Los otros componentes de los sistemas de control motor son los actuadores, y son los que permiten ejecutar los comandos enviados por el sistema de control para aplicar las consignas o parámetros calibrados con el fin de obtener la respuesta deseada del motor en las condiciones de funcionamiento que nos indicaban los captadores.

Entre ellos podemos encontrar los siguientes:

- ❖ Bomba de combustible.
- ❖ Inyectores.
- ❖ Bobinas y bujías de encendido.
- ❖ Bujías de precalentamiento.
- ❖ Variador posición árbol de levas - Distribución variable.
- ❖ Mariposa.
- ❖ Válvula reguladora presión turbo - TGF.
- ❖ Posición aletas turbo - TGV.
- ❖ Válvula de recirculación gases de escape - EGR.
- ❖ Alternador.
- ❖ Compresor de climatización.
- ❖ Motor de arranque.
- ❖ Grupo moto-ventilador.

Como se ha mencionado, los primeros sistemas de regulación mecánica tenían integrada en parte su regulación, y esto limitaba las posibilidades de regulación de los mismos, ya que el diseño lo imponía, pero estas han ido desapareciendo con la llegada de la gestión electrónica, que mejoraba las posibilidades de regulación.

## 3 Evolución de los sistemas de control motor

### 3.1 *Origen de su empleo (implantación)*

Los primeros sistemas de control utilizados en los motores de combustión eran principalmente de tipo mecánico, no sólo en cuanto a su accionamiento sino al mecanismo que gestionaba los parámetros de regulación. Estos sistemas permitían una gestión del motor adecuada, pero limitada por la propia naturaleza de los mismos y en la mayoría de los casos no proporcionaba una completa optimización de los parámetros de gestión para adecuar el funcionamiento del motor en todo su rango de régimen y carga, además de para las diferentes condiciones ambientales (temperatura ambiente, presión atmosférica, etc.).

Además estos sistemas actuaban de forma independiente gestionando por separado cada uno de los diferentes parámetros de regulación que intervienen en el motor, como puede ser el llenado/admisión, la alimentación de carburante, el encendido, etc., por lo que existía un sistema por cada parámetro a gestionar, y en conjunto hacían funcionar el motor.

Cabe mencionar que en los primeros motores el comando y regulación era puramente manual por la acción del conductor, para luego pasar a integrar los sistemas de control mecánicos, en los que sigue siendo el conductor quien comanda el motor, pero estos sistemas mecánicos permiten cierta regulación para adaptarse a diferentes condiciones de funcionamiento y no sólo a la acción del conductor.

### 3.2 *Estado del arte*

Actualmente la tecnología está muy avanzada y estos primeros sistemas han evolucionado con la introducción de la electrónica que en un principio se aplicaba por separado en cada uno de los sistemas que engloba el motor, con centralitas específicas, para en la actualidad estar todos esos sistemas integrados en una única unidad de control. Dicha centralita única (ECU) gobierna el conjunto de los actuadores que permiten gestionar el motor, estando el funcionamiento de cada sistema fuertemente interrelacionado con el resto, recibiendo las mismas señales de entrada desde los captadores, además de que algunos de estos sistemas se retroalimentan para corregir sus salidas y ser más precisos.

### 3.3 *¿Por qué han evolucionado?*

En este apartado se va a exponer el porque de la evolución en los sistemas de control motor, ya sea debidos a los diferentes avances tecnológicos, independientemente de si estos han sido originados por la propia evolución y mejora de las tecnologías o por la necesidad de desarrollar sistemas más fiables, y con una mayor funcionalidad para satisfacer nuevas y mayores exigencias respecto a prestaciones, consumo, emisiones y sonoridad.

Uno de sus problemas era la poca versatilidad ya que los primeros sistemas de control mecánicos o electro-mecánicos, no tenían un ajuste tan preciso de los parámetros de control, siendo algo más burdo y restringido a algunos puntos concretos de funcionamiento, por lo que no estaban optimizados para todas las condiciones, con la consiguiente pérdida de rendimiento en el resto de puntos.

En la actualidad esa gestión electrónica hace posible optimizar prácticamente cada uno de los puntos de funcionamiento del motor, para cada uno de los sistemas de control y su/s actuador/es correspondiente/s y por lo tanto para cada parámetro de regulación, lo que hace más sencillo el poder conseguir cumplir los requerimientos exigidos hoy en día a los motores.

La electrónica no sólo permite una mejor gestión de estos sistemas, sino la incorporación de modelos matemáticos que posibilitan la supresión de ciertos elementos como son algunos captadores, por lo que determinados parámetros pasan a ser estimados en lugar de adquiridos (sin pérdida de representatividad) con el fin de satisfacer otra de las necesidades crecientes en la actualidad que es la reducción de costes.

Así pues, en la imagen siguiente podemos ver el ejemplo de un mapa de inyección (matriz de datos en función del régimen y la posición del acelerador), de una ECU actual, con la que gestionar el tiempo de inyección del sistema de alimentación de carburante, pero este sistema no se limita exclusivamente a regular el tiempo de apertura del inyector, sino que incluirá otras cartografías que definan, por ejemplo, el momento de apertura del mismo, al igual que la presión con la que se inyecta dicho combustible.

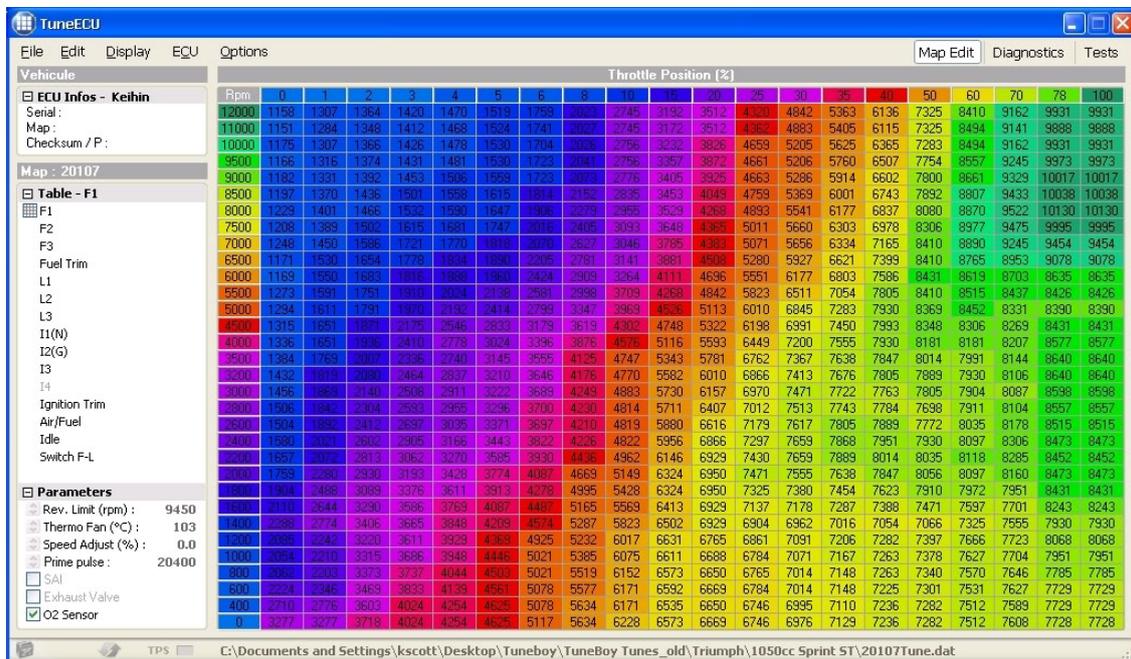


Fig. 2 - Cartografía de inyección de un sistema de control motor electrónico (Triumph)

De esta forma, como se comentaba anteriormente, esta gestión permite una mayor optimización de los parámetros de regulación para todo el rango de funcionamiento, en contra de las restricciones que tenían los primeros sistemas de control puramente mecánicos.

Uno de los inconvenientes que tenían los primeros sistemas era que no existía la posibilidad de retroalimentación, dependiendo exclusivamente de los parámetros de entrada, por lo que no existía la posibilidad de regular a su vez en función de la propia salida del sistema, para irse auto-ajustando y así conseguir una mejor regulación. Es decir, para un punto concreto, existía un parámetro de salida fijo, y si el sistema se había desviado y el parámetro de salida realmente aplicado no era el correcto, el sistema no era capaz de corregir este error.

Otras de las razones por las que han evolucionado estos primeros sistemas es la fiabilidad/durabilidad de los sistemas de control mecánicos ya que debido a su uso y el consiguiente desgaste estos pueden generar fallos en la regulación, teniendo que sustituir algunos de sus elementos o el sistema completo, como puede ser el ruptor en los sistemas de encendido convencional, mientras que eso no sucede en los sistemas electrónicos, siendo su funcionamiento constante a lo largo de la vida del motor.

En los siguientes subapartados vamos a detallar para los diferentes sistemas de control, en que han evolucionado, aludiendo a tres causas para dicho desarrollo, aunque en realidad están intrínsecamente relacionadas dado que dichos avances eran unos consecuencias de los otros. Por ejemplo, el hecho de tener un mayor número de actuadores requería una electrónica más avanzada y compleja para controlarlos, o viceversa, una mejor electrónica permitía desarrollar y aplicar actuadores más precisos, más rápidos, y potentes para satisfacer los nuevos requerimientos en cuanto a las prestaciones del motor.

### 3.3.1 Evolución tecnología motores (inyección, sobrealimentación, etc)

Como se ha mencionado previamente uno de los factores para la evolución de los sistemas de control ha sido el propio desarrollo de la tecnología, en cuanto a los procesos y maquinaria de fabricación, los

materiales, etc., lo que ha permitido ir evolucionando y por consiguiente mejorando los sistemas de control, desde los sensores, actuadores, y la propia gestión de los mismos.

Los requerimientos actuales, no sólo en materia de emisiones como veremos más adelante, sino de prestaciones, fiabilidad y consumo, hacen que los motores y por consiguiente también sus sistemas de control hayan mejorado en paralelo a la tecnología, para cumplir dichas demandas.

Por ejemplo, los sistemas de inyección y sobrealimentación han evolucionado extraordinariamente para realizar las demandas de prestaciones y consumo, al igual que para respetar las normativas de emisiones, que veremos más adelante.

En cuanto a la inyección, los requerimientos actuales han hecho evolucionar los sistemas, tanto a nivel de la electrónica como de los propios componentes (captadores y actuadores) como pueden ser las bombas de alta presión y los propios inyectores. La tecnología ha permitido entre otras cosas llegar a niveles de presión de inyección elevadísimos (entorno a 2000 bares en diesel), lo que ha hecho optimizar las bombas (para mantener la fiabilidad y durabilidad) y su sistema de regulación. Así mismo, los inyectores en sus inicios tenían un orificio de mayor tamaño, y en cambio en la actualidad pueden llegar hasta 10 y 12 orificios, casi microscópicos, lo que permite pulverizar mejor el combustible para tener una mejor combustión.

Si a las altísimas presiones alcanzadas en la inyección, y al número de orificios de los inyectores que ha aumentado, que son algunas de las mejoras de las tecnologías, le sumamos las mejoras en la electrónica, que permiten hacer no sólo una inyección, sino varias (multi-inyección), para un mismo ciclo, nos puede hacer ver cuanto han evolucionado en general los motores para cumplir las necesidades actuales.



**Fig. 3 - Imagen de la cámara de combustión durante la inyección y encendido de la mezcla**  
(<http://www.xn--bosch-tecnologadelaautomvil-roc1p.es/>)

Respecto a la sobrealimentación estamos en un caso semejante, ya que se implanta de forma generalizada en los motores diesel, y lleva algunos años introduciéndose cada vez más en los motores gasolina, con el fin de obtener mejores prestaciones, sobre motores cada vez más pequeños (downsizing), de forma que estos consumen poco cuando están poco solicitados pero gracias a la sobrealimentación obtienen mejores prestaciones que uno atmosférico de la misma cilindrada, y similares a las de motores atmosféricos mas grandes.

Es por ello que la tecnología también ha evolucionado para este sistema, en cuanto a componentes más resistentes a altas presiones y temperaturas y también en la gestión electrónica, ya que al

principio los turbos no tenían apenas regulación salvo para evitar sobrepresiones, y actualmente existen turbos gestionados electrónicamente, ya sean TGF o TGV, capaces de regular a una presión determinada en cada punto de funcionamiento.

Ya en los MEP, el sistema de gestión del encendido, siendo específico de estos motores, ha evolucionado con la tecnología, ya que al principio eran exclusivamente mecánicos y tenían ciertos inconvenientes y problemas de desajustes, pero luego se introdujo la electrónica, en un principio para satisfacer las necesidades de ruptura de la corriente (sustituyendo los platinos por transistores, más fiable y duradero) y luego para incorporar la electrónica en la parametrización y gestión del avance a aplicar, siendo más preciso.

Es decir, todos los sistemas de control han evolucionado tecnológicamente en concordancia a las cambiantes necesidades demandadas a los motores, para poder lograr respetar dichas solicitudes y además mantener y mejorar la fiabilidad.

### 3.3.2 Evolución electrónica (hardware y software)

En el apartado anterior ya se han comentado alguna de las evoluciones de la electrónica que junto con el desarrollo de las tecnologías de fabricación, nuevos materiales y demás, han conseguido mejorar los sistemas de control para gestionar los motores.

La introducción de la electrónica en los sistemas de gestión del motor permite un mayor control, y más preciso, de todos los parámetros que influyen en el funcionamiento del mismo, a la vez que una parametrización más exhaustiva de cada uno de los factores de regulación posible, respecto a los sistemas mecánicos que tenían una regulación más restringida.

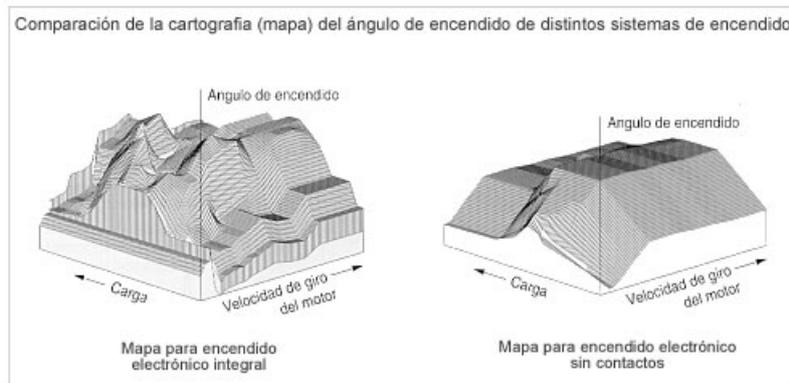
La electrónica ha evolucionado a su vez para de forma que al principio cada sistema era gestionado por una centralita, para en la actualidad ser una única centralita (la ECU) la que integra el control de todos los sistemas de gestión del motor. Para ello estas centralitas han mejorando en cuanto a su memoria y capacidad de cálculo con el fin de integrar todas esas funciones tan diferentes en un único calculador.

Esta mayor memoria y capacidad de cálculo viene en parte también por la mayor complejidad de las estrategias de control, que cada vez contemplan más parámetros de entrada para aplicar diferentes correcciones en función de las condiciones de funcionamiento, y porque los sistemas incluyen cada vez más captadores y actuadores para ser capaces de regular de forma tan precisa como se requiere actualmente.

En este sentido las estrategias no sólo es que sean más complejas por contemplar más entradas que puedan impactar al sistema, sino que han evolucionado en la capacidad de parametrización, ya que contemplan más constantes de calibración, vectores o matrices. Por ejemplo, cierto parámetro podía parametrizarse en un vector y ahora hacerlo en una matriz, y a su vez esta matriz haber aumentado su número de elementos (más columnas y filas) consiguiendo optimizar más puntos de funcionamiento.

Con los sistemas mecánicos, digamos que sólo se podían regular únicamente ciertos puntos concretos, los más representativos del campo motor, y en el resto de los puntos aplicaba el parámetro del punto de funcionamiento más cercano, sin embargo con la electrónica y esta parametrización en vectores o matrices, queda caracterizado cada punto de funcionamiento, ya que en los puntos intermedios se establecen interpolaciones entre los valores de cada elemento para obtener el valor de dicho punto de funcionamiento concreto, por lo que cada uno tiene su valor optimizado.

En el siguiente gráfico podemos ver como, incluso entre dos sistemas de control electrónicos existe una mayor capacidad de parametrización, y por lo tanto de optimización, gracias al empleo de electrónica más evolucionada y compleja, como se ha mencionado anteriormente.



**Fig. 4 - Comparación entre mapas de encendido con diferente electrónica de control**

[\(http://www.aficionadosalamecanica.net/\)](http://www.aficionadosalamecanica.net/)

Otra de las mejoras de los sistemas de control con la incorporación de la electrónica es que algunos de los sistemas de control actuales son sistemas en bucle/lazo cerrado, mientras que los primeros sistemas, principalmente los mecánicos, como el encendido por platinos, eran de bucle/lazo abierto. Es decir que en estos sistemas de lazo abierto, para una señal de entrada determinada, este daba una señal de salida que no era controlada, simplemente se aplicaba, pero en caso de que esta salida no fuese adecuada no existía una retroalimentación que tuviese en cuenta el efecto de dicha salida lo que permitiría corregirla para que el sistema sea más preciso.

Ejemplos claro de sistemas en bucle cerrado puede ser el arranque del motor, ya que el motor de arranque deja de accionarse cuando el motor alcanza cierto régimen y se considera que puede girar de manera autónoma, otro de ellos puede ser el sistema de inyección de un motor MEP, cuando está en la zona de regulación en bucle cerrado, tratando de mantener la riqueza a 1, para lo cual debe de tener una retroalimentación que le permite inyectar más o menos, e igualmente la presión de la bomba de inyección para ajustarse al valor de la consigna.

La electrónica ha evolucionado en paralelo a la ciencia, es por eso que aparte de todas las señales recibidas de los captadores, existen igualmente modelos matemáticos que permiten estimar ciertas variables de entrada, ya que por dificultad de implantación y coste no es factible utilizar ningún tipo de captador que nos permita medir dichas magnitudes implantándolo en los motores.

Evidentemente por muy fiables que sean dichos modelos, estos se verifican y parametrizan mediante ensayos especiales, con motores instrumentados específicamente para tal fin. Es decir que durante el proceso de puesta a punto se utilizan captadores externos al sistema de control, que nos permiten conocer las medidas reales de variables de las cuales posteriormente no tendremos medida física real, sino una estimación/simulación.

De esta manera durante los ensayos de calibración del modelo podemos comparar la medida real con la modelización, y así corregir el modelo con el fin de ajustarlo, asegurando la factibilidad de no emplear un captador para la medida de tal magnitud, por los problemas de implantación y coste que supondrían. Entre otras de estas estimaciones están las relacionadas con la cámara de combustión, como puede ser la medida de la presión cilindro, la temperatura de las bujías de precalentamiento en los MEC, u otras variables que la ECU necesita para conocer el punto de funcionamiento.

Igualmente la gestión electrónica basada en el par es uno de los avances de estas tecnologías, que permite obtener una mejor respuesta a la demanda del conductor, y todo ello, con los parámetros que hacen que la combustión sea óptima en términos de potencia, consumo, emisiones, etc.

Así pues, todas estas mejoras en la electrónica han permitido tener, si cabe, sistemas aún más precisos, rápidos, fiables, etc., consiguiendo dar satisfacción a las cada vez más elevadas exigencias.

### 3.3.3 Evolución normas anticontaminación (normativa Euro I, II, ... VI)

Como se ha dicho, todas las razones por las que han evolucionado los sistemas de control están relacionadas, pero una de las más influyentes y que ha forzado a avanzar en la parte tecnológica y mejorar los sistemas de control ha sido la implantación de las normativas anticontaminación, además de su continuo recrudescimiento.

A continuación vamos a ver un gráfico que muestra el progresivo aumento de las exigencias para la reducción de los contaminantes emitidos por los motores de combustión, relativos a la normativa promulgada por la Unión Europea, desde su establecimiento entre finales de los años ochenta y principio de los noventa hasta la próxima normativa que entrara en vigor a finales del año 2014.

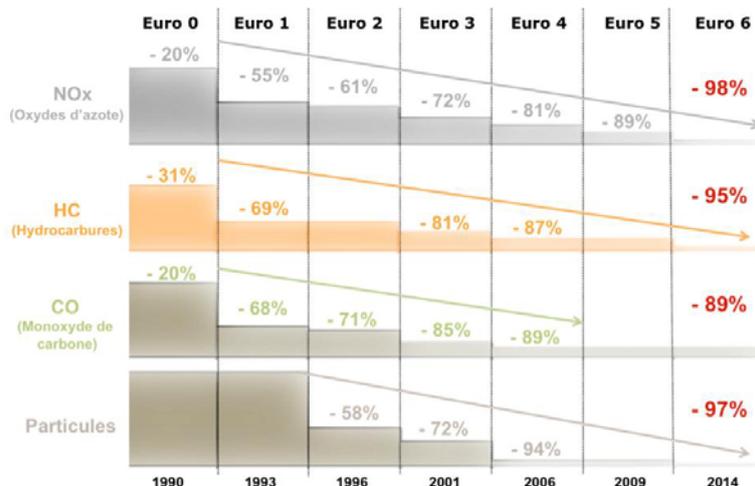


Fig. 5 - Evolución de los límites de la normativa Europea anticontaminación (<http://www.google.es/imghp>)

Como se puede ver en el esquema anterior, las restricciones en cuanto a los contaminantes han aumentado muchísimo de forma que han hecho necesaria una mejora del conjunto motor/vehículo para conseguir cumplir dichas normativas, volcándose en el desarrollo especialmente de los motores, ya sea a nivel mecánico, para reducir masa y para disminuir pérdidas térmicas, por rozamientos, por accesorios, etc., o a nivel de la gestión con sistemas de control más precisos y potentes.

Es por esto que se han desarrollado nuevas tecnologías que permiten gestionar de una manera más eficiente el proceso de combustión, y por consiguiente obtener mayor rendimiento de la misma, pero no sólo a nivel interno del motor sino de los procesos de postratamiento de los gases de escape para reducir las emisiones, que están estrechamente ligados al motor.

Al igual que las limitaciones de contaminantes, que podemos tratar con los sistemas de postratamiento, también existen limitaciones en el consumo, o más concretamente bonificaciones para los consumos más reducidos, ya que las emisiones de CO<sub>2</sub> están directamente relacionadas con éste, por lo que se pretenden reducir debido a su contribución al efecto invernadero y al calentamiento global del planeta.

De este modo, los requerimientos de consumo y anticontaminación han hecho evolucionar los sistemas indispensables para el funcionamiento del motor, como pueden ser los que gestionan el llenado, la alimentación de combustible, etc., perfeccionándolos, pero también ha provocado la inclusión de otros sistemas que impactan a estos sistemas esenciales, con el objetivo de tratar y reducir aún más las emisiones. Para ello también se ha necesitado no solo la evolución de los sistemas de control en sí, sino de los componentes que lo forman (captadores y actuadores).

### 3.4 Interacción con otros sistemas de control vehículo

Los sistemas de control del motor de combustión han evolucionado, gracias a la electrónica hasta el punto de estar comunicados e interactuar con otros sistemas de control del vehículo, es decir que transmiten información al resto de calculadores, además de recibirla, y en algunos casos esta se recibe

como si fuese enviada por los captadores del motor, siendo utilizada para la gestión del motor, estando ligada la acción a otros sistemas de control.

Un ejemplo de esta interacción podría ser la información recibida del calculador de ABS o el ESP (aceleración longitudinal y transversal, inclinación del vehículo, etc.) lo que permite actuar a la ECU en función de dicha información, para por ejemplo en ciertos casos limitar la potencia del motor, ayudando a dichos sistemas a controlar la tracción o la trazada según el tipo de maniobra no sólo actuando estos sistemas sobre los frenos, sino gracias a la acción de la ECU sobre el motor.

También existe esta interrelación con las cajas de cambio automáticas, siendo en este caso un intercambio bidireccional, ya que por ejemplo la caja envía información durante los cambios que permite cortar la inyección, o en caso de defecto de la misma puede limitar el par suministrado por el motor para no dañarla, y por consiguiente la caja de cambios también necesita información del motor (régimen, carga, etc.) para poder gestionar el momento óptimo del cambio en función del tipo de conducción, entre otros factores.

Esta interrelación se ha visto mejorada sobre todo desde la implantación de los sistemas de regulación del motor basados en demandas de par, ya que los diferentes sistemas realizan demandas de par al motor, lo cual hace más fácil la interacción entre ellos.



## 4 Sistemas de control

Cabe mencionar que a continuación se hará referencia básicamente a sistemas utilizados en motores con un ciclo de 4 tiempos, ya que son los más empleados en la industria de la automoción, puesto que los motores de 2 tiempos está cayendo en desuso porque su principio de funcionamiento implica mayores dificultades para respetar la normativa anticontaminación principalmente, aunque en algunos casos son sistemas similares los empleados en ambos tipos de motores.

Es cierto que existen más sistemas de control de los que a continuación se van a enumerar, y algunos de ellos son más complejos y están formados por más componentes de los mencionados o no tienen esa arquitectura, o no se aplican de forma generalizada por todas las marcas automovilísticas, pero en este resumen se han querido recoger los sistemas elementales, más comunes y que marcan claramente la evolución de los motores y sus sistemas de control.

### 4.1 *Sistemas de alimentación de carburante*

El sistema de alimentación de carburante en un MCI es uno de los fundamentales del motor ya que es el encargado de suministrar el combustible, que es la base del funcionamiento de este tipo de motores, junto con el sistema de llenado para realizar la admisión de aire, lo que permite aportar los elementos necesarios para la realización de la mezcla y que la combustión se lleve a cabo de forma controlada.

Así, el sistema de alimentación es uno de los que más ha evolucionado, y todo con el fin de mejorar y obtener las prestaciones necesarias acordes a las exigencias en términos de prestaciones, consumo, emisiones, durabilidad, coste, etc.

Dentro de la alimentación de carburante se van a tratar de forma separada los diferentes sistemas en función del tipo de motor, abordando por un lado los específicos de los MEC y por otro los de los MEP, ya que siempre han empleado tecnologías diferentes, dadas sus características y principios de funcionamiento.

#### 4.1.1 MEC

En primer lugar hablaremos de los motores diesel, que tan predominantes son actualmente en Europa, principalmente gracias a sus bajos consumos al igual que al menor precio de dicho combustible.

En estos motores el sistema de inyección ha evolucionado más que en los MEP, llegando a emplear tecnología mucho más avanzada y compleja debido a los requerimientos sobre todo de presión de combustible requeridos, ligado a su principio de funcionamiento.

Así pues, las principales evoluciones de estos sistemas han estado ligadas a la búsqueda de mayores presiones de inyección con los objetivos prioritarios de mejora de las prestaciones y la reducción del consumo y las emisiones contaminantes.

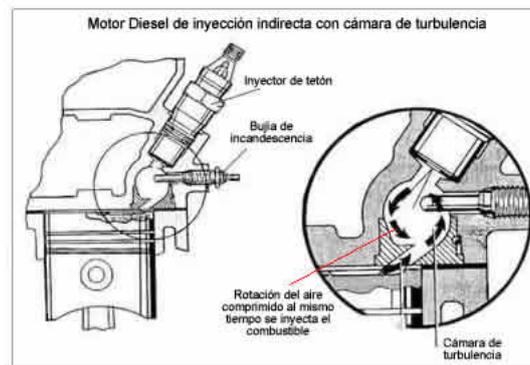
Es por esto que a continuación se van a detallar los diferentes sistemas de alimentación de combustible atendiendo a sus características, y mencionando el porque su evolución fue necesaria para satisfacer los objetivos cada vez más exigentes.

##### 4.1.1.1 **Inyección indirecta**

La inyección indirecta es un tipo tecnología, que va asociada a una arquitectura motor requiriendo un diseño específico de la culata (con precámara o cámara de turbulencia), la cual es gestionada por un sistema de control que controla la inyección de combustible en dicha precámara, en lugar de hacerlo en la cámara de combustión del cilindro, lo que requiere unas características y unos componentes específicos adaptados a las particularidades del sistema.

Este tipo de inyección fue el primero utilizado en los motores diesel de forma extendida, ya que las prestaciones en los primeros motores no eran muy elevadas y a pesar de la necesidad de que exista una alta presión y temperatura de la mezcla para su ignición en estos motores, este tipo de inyección

no requiere de presiones de inyección tan altas, ni de inyectores tan complejos ni delicados, al contrario de lo que sucede en los sistemas de inyección directa actuales.



**Fig. 6 – Inyección indirecta en precámara** (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

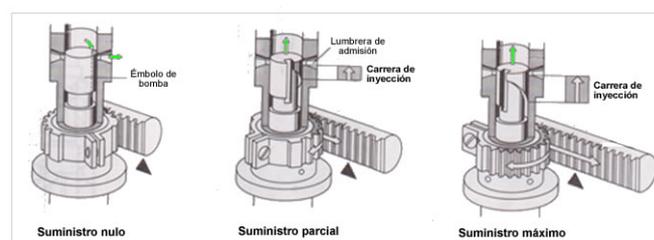
De esta forma, a continuación se van a desarrollar los diferentes sistemas de inyección directa que han existido, haciendo referencia a sus componentes, método de regulación y características principales.

#### 4.1.1.1 Bombas en línea

Este fue el primero de los sistemas de inyección indirecta utilizado en los motores de combustión diesel, en las que cada cilindro del motor posee un elemento de bombeo propio estando estos alineados, de ahí el nombre de este tipo de bombas, y estos están accionados por un árbol de levas comandado por el propio motor. Sus presiones de trabajo rondan entre los 500 y 800 bares, si bien en bombas más modernas se llegan a alcanzar los 1300 bares.

Su regulación es puramente mecánica, para ello monta dos reguladores, uno de velocidad que suele ser centrífugo, pudiendo ser también neumático o hidráulico (encargado de controlar la cantidad de combustible inyectado), e igualmente monta un regulador de avance de inyección (encargado de controlar el inicio de la inyección).

Este tipo de bomba no sólo incorpora estos sistemas de regulación, sino que también dispone de una cremallera accionada por el pedal del acelerador, lo que permite controlar la carrera útil de los pistones de la bomba, regulando así la cantidad de caudal inyectado, para ello, la cremallera hace girar los pistones mediante un engranaje al cual van unidos, y de esta forma se consigue la regulación del caudal específico para las diferentes condiciones de funcionamiento en función de la demanda del conductor. De hecho, esta cremallera no varía como tal la carrera del pistón, sino que la rotación del mismo libera una acanaladura de forma helicoidal que lo comunica con la lumbrera de admisión, lo que hace que la carrera útil del mismo sea función del ángulo de rotación comandado por la cremallera.



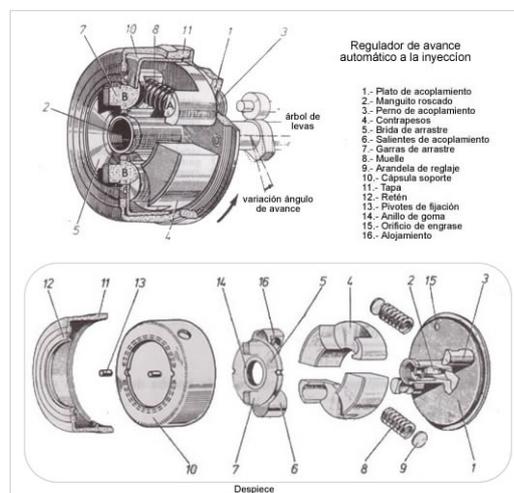
**Fig. 7 – Cremallera de regulación de la carrera del pistón** (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

Esta cremallera no sólo va comandada por el pedal del acelerador, sino que también actúa sobre ella el regulador de velocidad, cuyo cometido es el de desplazar la cremallera en función de la carga del motor para adecuar la cantidad de combustible a inyectar para las diferentes condiciones de funcionamiento. Como se ha mencionado esta regulación podía ser mecánica, de modo que por la fuerza centrífuga unas masas desplazaban la cremallera, existiendo la posibilidad de regular únicamente la velocidad máxima y mínima de giro del motor (para evitar que se embale o que se cale respectivamente), pero existe también otro tipo que permite regular el caudal para todo el rango motor,

de manera que se mantenga un régimen constante, el deseado por el conductor con el pedal, independientemente de la carga del motor.

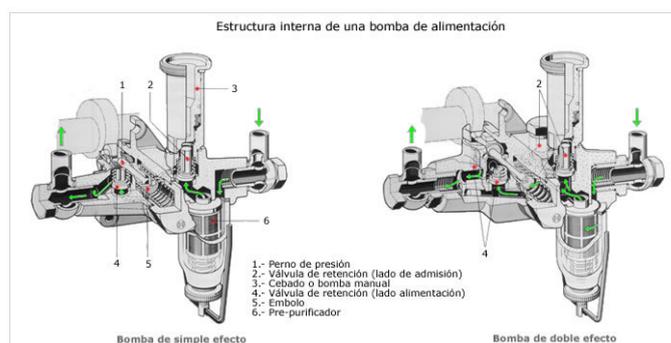
Al igual que este último, existe un regulador de velocidad en este caso neumático que permite regular el caudal para cualquier punto de funcionamiento, y existe también uno de regulación hidráulica pero es más voluminoso ya que requiere otra bomba puesto que el fluido líquido utilizado es el propio combustible, y además estos sistemas son de difícil puesta a punto.

El otro regulador que poseen estas bombas en línea es el de avance que permite regular el momento de la inyección, es un regulador mecánico de tipo centrífugo, para lo cual se varía el acoplamiento con el árbol de levas, de forma que podemos avanzar o retrasar el momento de la inyección en función del régimen de giro del motor y su grado de carga, todo ello con el objetivo de conseguir las condiciones óptimas para la formación de la mezcla y por consiguiente una mejor combustión para cada punto de funcionamiento.



**Fig. 8 – Regulador de avance a la inyección** (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

Aparte de estos elementos de regulación, estas bombas van provistas de una pequeña bomba de alimentación accionada por el árbol de levas de la bomba de inyección, cuya labor es succionar el combustible del depósito del vehículo para suministrárselo a baja presión a la bomba de inyección.



**Fig. 9 – Bombas de alimentación** (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

Estas pequeñas bombas poseen igualmente una regulación mecánica, lo que permite controlar la presión con la que abastecen a la bomba de inyección, sobre todo el fin es de no alcanzar presiones excesivas en el filtro, ni en la entrada de la bomba. Existían dos modos de regulación, de simple y doble efecto, en función del número de cámaras de la propia bomba.

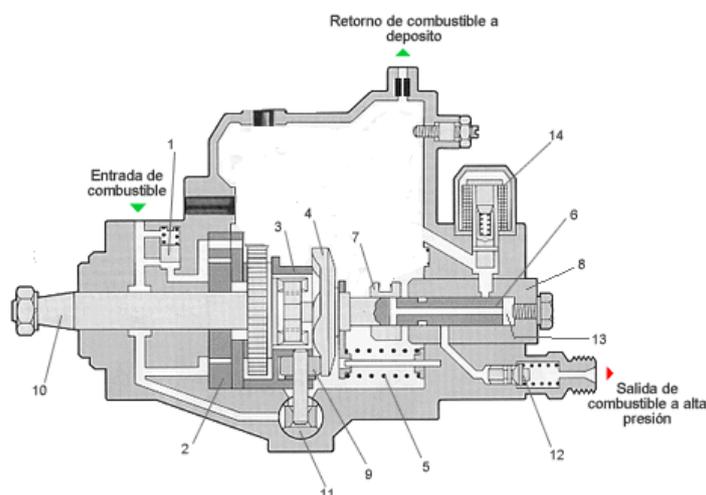
En este caso, los inyectores no poseían ningún tipo de regulación, excepto una válvula de apertura tarada de manera que la inyección se realizase a partir de una presión mínima superior a 100 bares, de forma que no existan fugas de combustible hacia el cilindro según se produce la compresión del combustible por parte de la bomba, y pudiendo así conseguir la presión de inyección necesaria.

Así pues, estas bombas, provistas de estos sistemas de regulación, al igual que de los elementos de bombeo, más la bomba de alimentación, eran de un tamaño considerable y pesadas, y además estaban limitadas en su rango de revoluciones de funcionamiento por su principio de funcionamiento, sin embargo no por ello dejaban de ser robustas y fiables.

Es por esto que eran utilizadas normalmente en vehículos pesados e industriales, pero también lo fueron en turismos hasta aproximadamente la década de los 60, cuando se vieron sustituidas por las bombas rotativas de menor tamaño y que admitían su utilización en motores de giro más rápido. La primera bomba en línea que se aplicó en serie fue en 1927 por parte de la empresa BOSCH.

#### 4.1.1.2 Bombas rotativas

Por los motivos mencionados anteriormente estas bombas sustituyeron a las bombas en línea ya que presentan un único elemento de alta presión para todos los cilindros, lo cual reduce su volumen y peso, lo que no impidió tampoco conseguir mayores presiones de inyección. Estas bombas también se empezaron a emplear por su mayor rango de funcionamiento, admitiendo su uso en motores de régimen de giro más alto (como los empleados en los turismos), al igual que por la homogeneidad de caudal y presión entre los cilindros y su menor coste.



**Fig. 10 – Bomba de inyección rotativa** (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

A pesar de que los primeros modelos seguían teniendo los reguladores de caudal y de avance de tipo mecánico/hidráulico, se consiguió esta reducción de tamaño y peso, pero su complejidad aumentó al incorporar diferentes elementos de regulación adicionales también mecánicos para controlar mejor la inyección (con el fin de tener en cuenta parámetros como la sobrealimentación, temperaturas del motor, del aire y del combustible, y otros factores), pero aun no tenían la precisión suficiente.

Por esta razón, la creciente necesidad de controlar de una manera muy precisa todos los parámetros que influyen en la combustión para obtener el mejor rendimiento, menor consumo y demás requerimientos, hizo que a principios de los años 80 estas bombas pasasen a incorporar elementos electrónicos para una gestión más precisa de los diferentes parámetros de la inyección, gestionado todo ello por la ECU.

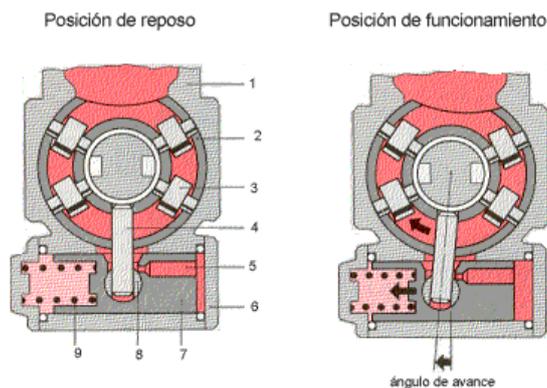
En cuanto a la tipología de estas bombas, existen dos tipos claramente diferenciados en base a la dirección de la acción de los émbolos que generan la presión, pudiendo ser de émbolo axial o de émbolos radiales, en ambos casos estos reciben su movimiento longitudinal por la rotación de un plato giratorio provisto de levas, que les permite llegar a presiones en torno a los 1000 bares en las primeras, y a unos 1600 bares a las de émbolos radiales.

El abastecimiento de esta bomba lo hace mediante una bomba de aletas integrada dentro de la misma que impulsa el combustible hacia el elemento de presión, que posteriormente es comprimido por el pistón accionado por el plato de levas al cual va unido, lo que le confiere el movimiento lineal

alternativo para generar la presión, además de una rotación, con lo que se consigue así la distribución del combustible a presión a cada uno de los cilindros, y esto gracias a que el número de levas es igual al de cilindros del motor. Además la geometría de estas define tanto la presión de inyección como la duración de la misma.

La cantidad total de inyección viene controlada por una corredera que va unida al pedal del acelerador, de forma que su posición determina cuando se libera la lumbrera de fin de inyección durante el recorrido del pistón. Esta corredera no solo es accionada por el pedal, sino que tiene un regulador centrífugo que permite regular el caudal en función de la carga de forma similar al regulador de velocidad de las bombas en línea, pero en este caso con un menor volumen, y alojado dentro de la propia bomba.

Estas bombas también disponen de un regulador de avance, de tipo hidráulico, que permite variar el momento de la alimentación de combustible haciendo rotar un determinado ángulo el plato de rodillos que es el encargado de empujar las levas de accionamiento del pistón, pudiendo así atacarlas con una antelación igual al ángulo que haya girado dicho plato, de forma que modificamos el inicio de la inyección. En este caso la regulación es básicamente función del régimen del motor, y de la propia presión en el cuerpo de la bomba, que también es función del régimen, para así conseguir que el tiempo de formación de la mezcla sea el adecuado para una buena combustión.



**Fig. 11 – Regulador de avance a la inyección** (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

Con todos estos elementos, se puede ver que la regulación de estas bombas es puramente mecánica y además viene definida por el diseño y geometría de las diferentes partes que la conforman, y por ello cada régimen del motor permite establecer una presión de la bomba.

Para los primeros modelos de estas bombas los inyectores apenas variaron respecto a los de las bombas lineales, y su única regulación era el tarado en presión para la apertura del mismo, de forma que no se inyectase combustible antes de obtener determinada presión en el mismo.

En cuanto a sus periodos históricos de aplicación, podemos decir que en 1962 la marca BOSCH emplea la primera bomba rotativa de inyección de pistón axial, para en 1986 incorporar a este tipo de bombas la regulación electrónica.

Estas bombas en sus orígenes se aplicaban a sistemas de inyección indirecta, pero luego, con la incorporación de la electrónica para su control, sustituyendo los reguladores mecánicos, además del uso de inyectores más sofisticados, pasaron a emplearse igualmente en motores de inyección directa a partir de finales de la década de los 80, manteniendo su principio de funcionamiento.

A pesar de estos avances y evoluciones, la aparición de las bombas rotativas de émbolos radiales, mencionadas más arriba, que permitían mayores presiones de inyección, junto con la gestión electrónica, hizo que, ya entrados en los años 90, se implantasen rápidamente los sistemas de inyección directa con este nuevo tipo de bombas, si bien, en algún caso los sistemas de inyección directa siguieron utilizando bombas rotativas de embolo axial comandadas por una centralita electrónica que conseguía satisfacer las necesidades de regulación.

### 4.1.1.2 Inyección directa

Este es el sistema más reciente, pero que ha sufrido innumerables evoluciones desde su aparición, si bien, las primeras aplicaciones con este tipo de inyección eran una evolución de aquellas de inyección indirecta en las que uno de los elementos que más cambiaba era el inyector (siendo en este caso inyectores de orificios), no sólo en cuanto a su diseño y funcionamiento, sino a su ubicación, lo que provocó un completo rediseño de la culata al suprimir las precámaras o cámaras de turbulencia. Esto también requirió una evolución de las bombas de inyección, ya que se requerían mayores presiones de inyección.

Es por esto que desde su origen este tipo de inyección se aplicaba en sistemas electrónicos, mucho más rápidos y precisos, con el fin de satisfacer las necesidades de una regulación de la presión controlada para cada punto de funcionamiento y para todas las condiciones de uso.

En cierto modo los sistemas de inyección directa son los que más han evolucionado, o quizás los que más alternativas han tenido, ya que de los primeros sistemas a los actuales, quizás hay ciertos elementos que se han mantenido aplicando ciertas mejoras, pero también es cierto que ha existido mayor variedad de sistemas que han ido reemplazando a los anteriores, pudiendo encontrar conceptos tan diferentes como pueden ser los inyectores bomba o el sistema common rail actual, sin olvidar las primeras bombas rotativas de embolo radial.

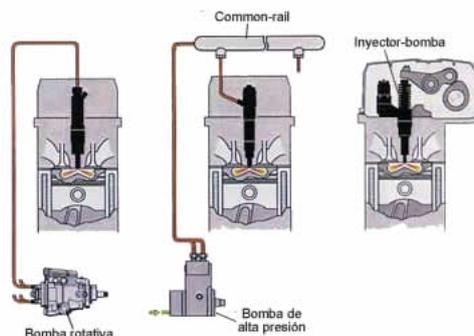


Fig. 12 – Sistemas de inyección directa (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

Así pues, si bien el concepto de inyección directa es algo concreto, vamos a pasar a desarrollar todos estos sistemas de regulación, detallando su funcionamiento, ventajas e inconvenientes y el porque de su evolución hasta llegar a los sistemas empleados hoy en día.

El primero de estos sistemas de inyección directa se empleó en el Fiat Croma en 1986, que además incorporaba sobrealimentación, fue el primero de los motores TDi.

#### 4.1.1.2.1 Bomba rotativa de émbolos radiales

En el paso a los sistemas de inyección directa se emplearon bombas rotativas de embolo axial, similares a las de la inyección indirecta, con la salvedad de los elementos electrónicos añadidos para una mejor regulación, aunque posteriormente se pasó a utilizar estas bombas de émbolos radiales que permitían una mayor presión de inyección, al igual que una mayor capacidad de regulación tanto del caudal de inyección como del momento de la inyección.

De hecho, la empresa BOSCH aplica por primera vez en 1996 su primera bomba de inyección rotativa de embolo radial, mientras que había sido en 1986 cuando había incorporado la gestión electrónica a las bombas rotativas de embolo axial, empleadas tanto en sistemas de inyección indirecta como directa.

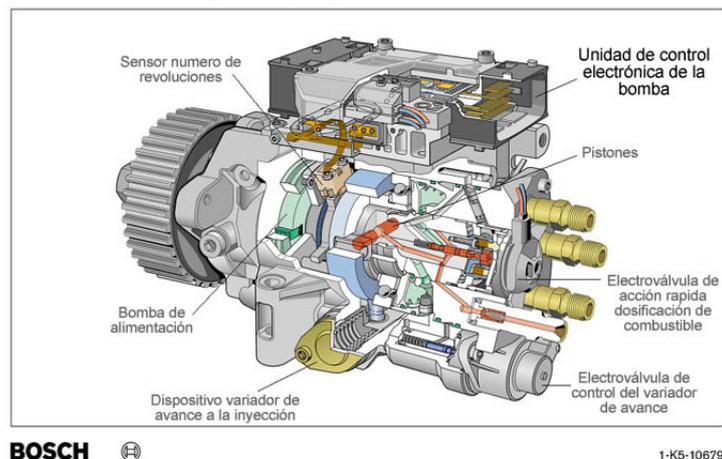


Fig. 13 – Bomba de inyección de émbolos radiales (<http://www.xn--bosch-tecnologadelaautomvil-roc1p.es/>)

Con estas bombas de émbolos radiales comienza la explosión de la regulación electrónica en los motores diesel, aunque se empleaba ya con anterioridad, hasta tal punto que en motores equipados con estas bombas existen dos unidades electrónicas de control, la unidad de control del motor y una unidad propia de la bomba, encargada de gestionar la dosificación del combustible (presión, caudal e instante), teniendo en cuenta los parámetros internos y externos de funcionamiento del motor (como algunos de los mencionados en el apartado 2.4.1). Estos parámetros eran transmitidos por el CAN desde la ECU motor a la de la bomba, consiguiendo así una regulación de la inyección optimizada para las diferentes necesidades del motor, y con el objetivo de satisfacer los diferentes criterios que rigen el funcionamiento del motor (prestaciones, consumo, contaminación, etc.).

Frente a las bombas de embolo axial estas bombas radiales se diferencian, aparte de en la sustitución de los sistemas mecánicos de regulación por sistemas electrónicos, en que por sus necesidades, la bomba de aletas para la alimentación de combustible consigue mayor presión que en las otras bombas rotativa. A mayores, el cambio más importante que además da nombre a estas bombas es la disposición de los pistones que generan la alta presión, de forma que en este caso estos están situados de formar radial respecto al eje de accionamiento de la bomba, y accionados directamente por unos rodillos a los que transmite el movimiento un disco de levas, por lo que para conseguir la presión se genera un movimiento perpendicular al eje de accionamiento en lugar de paralelo como era en las bombas de embolo axial.

Otro elemento diferenciador es que en lugar de un único embolo, estas bombas pueden tener 2 o 4 para un motor de 4 cilindros, en cambio, el número de levas es igual al de cilindros del motor al igual que en las bombas de pistón axial.

La distribución de combustible hacia cada cilindro se hace igualmente por el eje distribuidor, en cambio la regulación de la presión es realizada por la electroválvula de alta presión que además es la encargada de gestionar la dosificación del combustible, cerrándose el tiempo necesario para conseguir el caudal deseado.

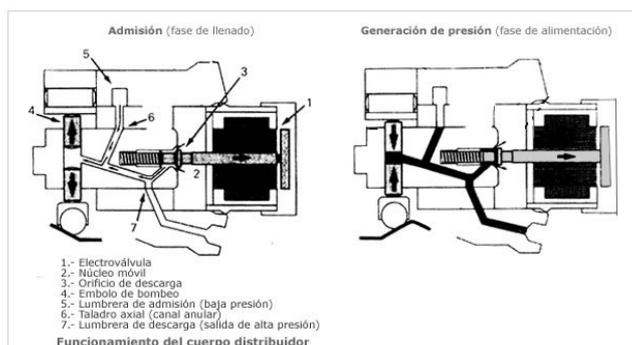


Fig. 14 – Fases funcionamiento electroválvula de alta presión (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

La electroválvula de alta presión permite a su vez el corte en la alimentación de combustible para conseguir la parada del motor, haciendo innecesario el empleo de la válvula de parada que existía en las bombas rotativas de embolo axial.

Para conseguir el momento óptimo de inicio de la inyección, estas bombas disponen también de un variador de avance similar al de las bombas de embolo radial, siendo su comando hidráulico pero su gestión es electrónica, existiendo una electroválvula que regula la presión del embolo de dicho variador, modificando así su posición (transversal al eje de accionamiento), lo que hace girar el anillo de levas y por consiguiente variar el momento de ataque de los émbolos por parte de estas. Esta regulación se hace en bucle cerrado, ya que se compara el valor teórico para cada punto de funcionamiento con el aplicado realmente al tener en cuenta el momento de levantamiento de la aguja del inyector, y se comanda la electroválvula para variar la posición del anillo de levas el ángulo necesario, ya que puede tanto quitar como añadir avance en función del régimen y la carga.

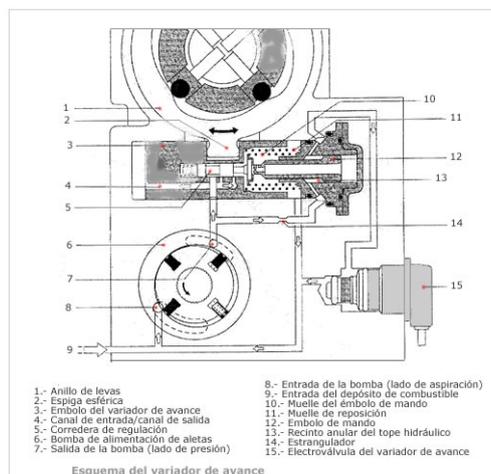


Fig. 15 – Regulador de avance a la inyección con electroválvula (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

De esta forma se han eliminado los elementos mecánicos de regulación, lo que permite una mayor precisión y rapidez, al igual que una reducción del volumen y peso de la propia bomba, aportando a su vez una mayor fiabilidad. Además la electrónica aporta mayor versatilidad, ya que los parámetros de regulación no dependen tanto de la geometría de la propia bomba, sino que son gestionados por las electroválvulas, pudiendo así establecer los parámetros ideales para cada punto de funcionamiento teniendo en cuenta los diferentes factores que influyen en el comportamiento del motor.

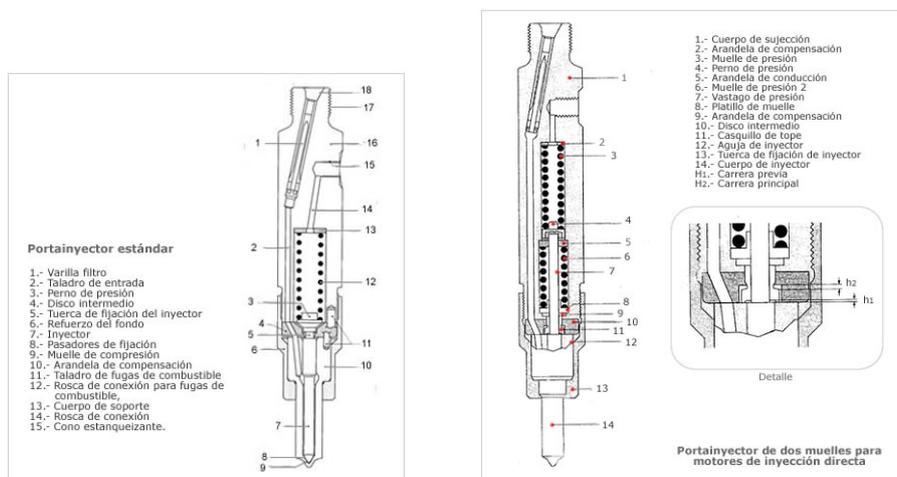


Fig. 16 – Inyectores de simple y doble muelle (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

Uno de los elementos relacionados con estas bombas que había variado para los sistemas de inyección directa son los inyectores, por su ubicación y construcción, que requerían mayor robustez, agujeros más finos, etc., en cambio la regulación de su apertura seguía siendo puramente

mecánica/hidráulica, ya que esta se conseguía cuando la presión de inyección sobrepasaba el tarado del muelle del inyector, como los que se pueden ver más arriba. Cabe notar que había inyectores de simple o doble muelle, estos últimos permitían una inyección en dos etapas consiguiendo un comienzo más suave y progresivo de la combustión, reduciendo entre otras cosas el ruido de la misma. Algunos de estos inyectores estaban dotados de un sensor de desplazamiento de la aguja que permitía determinar el comienzo de la inyección y así retroalimentar tanto a la ECU, como a la unidad de control de la bomba de forma que pudiese establecer el avance de la inyección adecuado.

#### 4.1.1.2 Inyector-bomba

Siguiendo la evolución de los sistemas de inyección directa, las necesidades de un control muy preciso de la inyección, además de mayores presiones de inyección hicieron aparecer un sistema totalmente diferente a los anteriores, en el que cada uno de los cilindros del motor disponía de su propia bomba de inyección, las cuales son capaces de alcanzar en algunos modelos hasta 2200 bares de presión. Este sistema se empleó predominantemente en motores del Grupo Volkswagen.

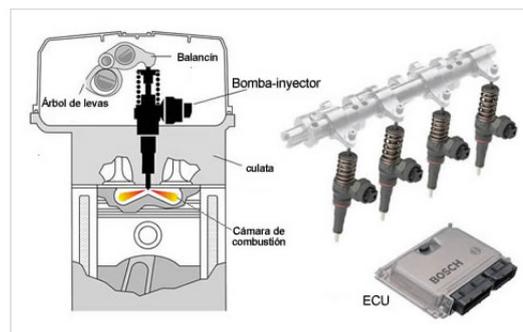


Fig. 17 – Sistema bomba-inyector (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

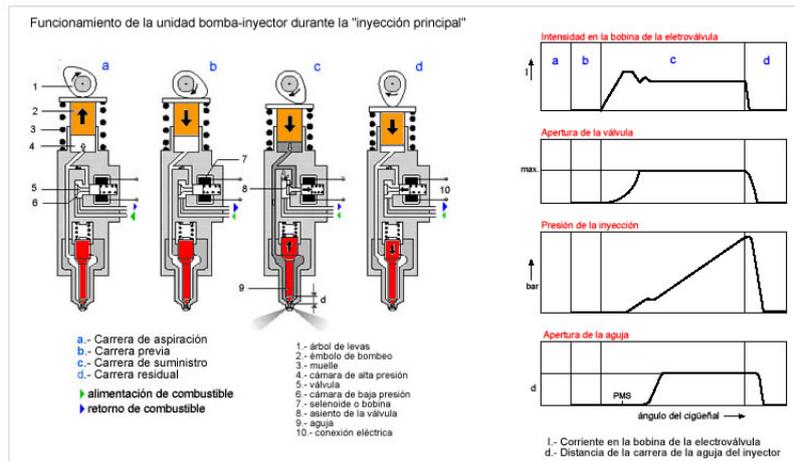
Este fue un gran avance para los motores de inyección directa, introducido a mediados de los años 90, aportando gran versatilidad al control de la inyección, acompañado de las presiones de inyección mucho más elevadas, con la consiguiente mejora de las prestaciones, y la consecución de una reducción de consumo y contaminantes, si bien, cabe notar que esto hacía que fuesen sistemas más ruidosos, por las presiones de combustión, siendo su sonido bastante característico.

Estas bombas son accionadas por un árbol de levas (diferente de los de distribución encargados de la apertura de las válvulas) lo que le permite generar la presión, a la vez que determinar el momento exacto de la inyección para cada uno de los cilindros, consiguiendo si cabe aún mayor capacidad para gestionar el caudal a inyectar al igual que el momento de la inyección, pudiendo además realizar una pre-inyección, con el objetivo de reducir el ruido y los contaminantes.

En este sistema, el movimiento del embolo de la bomba es generado por el giro del árbol de levas, siendo estas las encargadas de mover unos balancines, que transforman el movimiento rotacional en lineal, y así los balancines transmiten este movimiento lineal empujando al embolo del inyector-bomba para generar la presión. Existe otro tipo de accionamiento, sin balancines, en el que las levas atacan directamente al embolo mediante un empujador. En cualquiera de los casos, este accionamiento no interviene en la distribución del combustible a cada uno de los cilindros como pasa en las bombas rotativas.

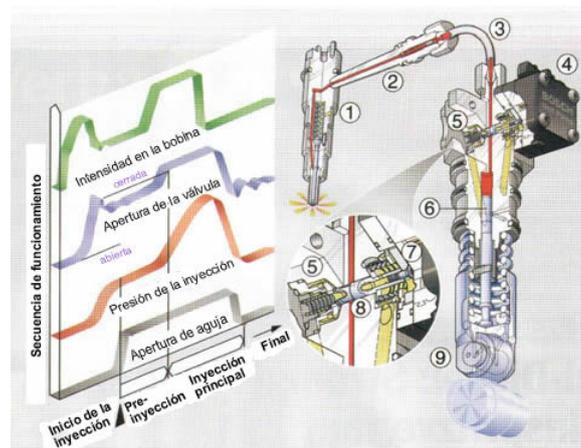
Como es lógico, este sistema es uno más de los que son controlados electrónicamente, sistema EDC, siendo su regulación hecha mediante electroválvulas (actuadores) y que disponen de múltiples sensores para conocer los parámetros exactos del punto de funcionamiento y así establecer para cada uno de ellos sus parámetros de salida óptimos (presión, caudal, avance,...).

Este tipo de sistema de inyección requiere una bomba de baja presión que alimente a las unidades de bomba inyección, al igual que el resto de sistemas, pero debido a las elevadas presiones del sistema de alta presión, se necesita un refrigerador para enfriar el combustible que retorna al depósito de combustible.



**Fig. 18 – Fases de funcionamiento del sistema bomba-inyector** (<http://www.aficionadosalamecnica.net/>)

Si bien la electroválvula del inyector es la encargada de gestionar el comienzo de la inyección, esta no comienza realmente hasta que la presión alcanza aproximadamente 300 bares, momento en el cual es capaz de levantar la aguja del inyector y así realizar realmente el comienzo de la inyección, así mismo, la electroválvula es la que nos permite realizar una pre-inyección diferenciada de la inyección principal.



**Fig. 19 – Parámetros del inyector durante su accionamiento** (<http://www.aficionadosalamecnica.net/>)

Debido a la implantación de estas bombas en la culata, la temperatura alcanzada es elevada, y para mantener la durabilidad de estas, se refrigeran con el propio combustible que retorna a la parte de baja presión. De igual forma que las bombas mencionadas, el tipo de diseño y de accionamiento de esta bomba, hace que la presión que pueden alcanzar es función del régimen.

Así pues, teniendo en cuenta todas estas características, dentro de este sistema podemos encontrar dos tipos claramente diferenciados:

❖ Unidad bomba-inyector (UIS)

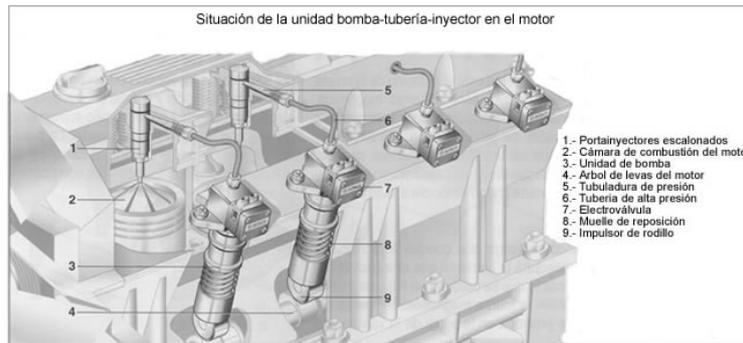
La bomba de inyección y el inyector constituyen un único elemento, en el que no existen tuberías de conexión de la bomba con el inyector, de forma que se consigue evitar pérdidas de presión, a la vez que conseguir las elevadas presiones que alcanza este sistema, lo cual es una de las ventajas que favorecieron su desarrollo.

En 1994 BOSCH utiliza por primera vez este sistema en vehículos utilitarios, para pasar en 1998 a emplearlo en los vehículos particulares.

❖ Unidad bomba-tubería-inyector UPS

Este sistema es semejante al anterior, pero la bomba y el inyector son elementos diferentes unidos por una corta tubería a alta presión. La modularidad de este sistema, con la bomba independiente

del inyector, permite que no requiera modificaciones sustanciales la culata, al igual que un accionamiento directo por el árbol de levas, suprimiendo los balancines.



**Fig. 20 – Sistema bomba-tubería-inyector** (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

Este sistema fue empleado por primera vez en 1995 por la marca BOSCH, predominantemente en vehículos industriales.

#### 4.1.1.2.3 *Sistemas common-rail*

Este es el sistema más reciente y de mayor implantación en la actualidad, pudiendo llegar a decir, que es prácticamente el único empleado en motores para turismos, y a pesar de sus particularidades y su clara diferencia con los sistemas precedentes, se puede entender como una evolución de los mismos, compartiendo ciertos elementos similares, concebido con el fin de agrupar las ventajas de cada uno de ellos y tratando de disminuir los inconvenientes que podían tener estos otros sistemas, de forma que se consigan satisfacer las necesidades actuales, en términos de prestaciones, consumo, contaminación, ruido, etc., ya mencionadas previamente.

Sobra decir que este sistema es totalmente electrónico, gestionado por una ECU que controla todos los elementos encargados de regular el funcionamiento del motor, y no solo la inyección, dada la interrelación de todos y cada uno de los sistemas que componen la gestión del motor para controlar su funcionamiento.



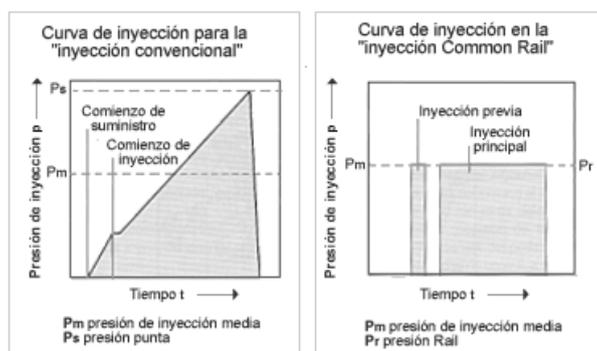
**Fig. 21 – Sistema common rail** (<http://es.bosch-automotive.com/>)

Este tipo de sistema comenzó su desarrollo por parte de MAGNETI MARELLI del grupo FIAT a principios de los años 90 y se cedió a BOSCH para su desarrollo final, empleándose por primera vez en 1997 en el ALFA ROMEO 156 JTD, si bien su implantación en otras marcas se ha extendido a principios del siglo XXI.

Su nombre, common-rail, tiene como origen en el elemento que lo caracteriza y diferencia de los sistemas anteriores, denominado conducto común, encargado de acumular la presión, la cual es generada por una bomba rotativa (pero distinta a las utilizadas en sistema anteriores) que le suministra el combustible a alta presión, y es a este elemento al que está unido el inyector de cada cilindro y del que se abastecen para realizar la inyección. Este sistema es utilizado por los motores DCI de Renault de nueva generación, los HDI del Grupo PSA, los JTD del Grupo Fiat, así como los más recientes TDI del Grupo Volkswagen entre otros constructores automóbiles.

En este caso la bomba simplemente se encarga de suministrar la presión requerida en cada punto de funcionamiento (pudiendo llegar a 1600-1800 bares), y son los inyectores los propios encargados de gestionar de forma independiente su tiempo de apertura y por ende el caudal inyectado, al igual que el momento de la inyección, mediante la incorporación de una electroválvula. En este sistema, la bomba no se encarga de la distribución del combustible hacia cada uno de los cilindros, y son los inyectores los responsables de la inyección a partir del combustible disponible a alta presión en el rail.

En cuanto a los componentes de este sistema, si bien hemos dicho que este emplea una bomba de inyección rotativa, esta es muy diferente a las descritas anteriormente, ya que en este caso, al contrario que en los precedentes la presión de inyección disponible en el rail es independiente del régimen del motor y del caudal de inyección, y constante durante toda la inyección para un punto de funcionamiento dado como podemos ver en el esquema siguiente.



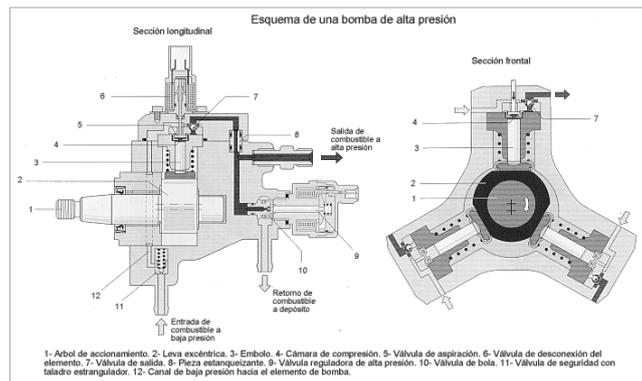
**Fig. 22 – Comparativa presión de inyección según el sistema** (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

Todas estas características permiten una mejor adaptación de la regulación del sistema de control a cada punto de funcionamiento, pudiendo establecer los diferentes parámetros de forma óptima para cada uno de ellos, sin estos ser dependientes de una regulación en parte mecánica, que restringía las posibilidades de regulación en función de parámetros de diseño, pudiendo optimizar la calibración a las necesidades del motor en cada momento.

Este sistema permite la realización de una o varias inyecciones pilotos, previas a la inyección principal, lo que permite quemar la misma cantidad de combustible pero de forma más gradual, aumentando progresivamente tanto la temperatura como la presión de la cámara de combustión, favoreciendo esto unos menores gradientes de presión y por ende una reducción del ruido de combustión.

De forma similar a los otros sistemas, estas bombas requieren una bomba que suministre combustible a baja presión a la bomba de inyección, siendo esta de tipo eléctrico situada en el interior del depósito de combustible o de tipo mecánico, de engranajes, estando integrada en la propia bomba de inyección y es accionada al igual que ella normalmente por la correa/cadena de distribución.

Respecto a la bomba, ya se ha dicho que a pesar de ser una bomba rotativa, su arquitectura es diferente a las descritas anteriormente, disponiendo normalmente tres émbolos radiales, accionados por una leva excéntrica, que son los encargados de suministrar el combustible a alta presión hacia el rail, pudiendo desconectar alguno de estos émbolos para reducir la potencia consumida por la bomba, sobre todo a bajos regímenes y bajas cargas, ya que la bomba está dimensionada para presiones y caudales elevados.



**Fig. 23 – Esquema de una bomba de alta presión** (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

Además, para regular la presión en el rail, la bomba o el propio rail disponen de una electroválvula que permite el paso del combustible a presión hacía el rail desde la parte de alta presión de la bomba, o en caso de una presión excesiva en el rail, esta se abre para que parte de ese combustible retorne al depósito disminuyendo la presión en el rail.

En cuanto al rail, elemento encargado de acumular el combustible a presión, este posee la capacidad de amortiguar las variaciones de presión al recibir el combustible a alta presión, con el objetivo de que la presión permanezca constante para un determinado punto de funcionamiento, incluso cuando se extraen del rail cantidades importantes de combustible durante la apertura de los inyectores.

Este sistema también es diferente a otros sistemas por el hecho de poder regular la presión independientemente del régimen, pudiendo parametrizar cada punto de funcionamiento, siendo un sistema en bucle cerrado, por lo que en este caso el rail lleva implantado un captador de presión rail que permita dar un retorno al sistema de control para así poder regular la presión al valor requerido en cada momento.

Respecto a los inyectores, estos son diferentes a los empleados en los otros sistemas de bombas rotativas de apertura mecánica/hidráulica, siendo en este caso su apertura realizada eléctricamente mediante una electroválvula (de tipo solenoide o piezoeléctrico), al igual que en el sistema bomba inyector. Y al igual que en este sistema, son inyectores de orificios, pudiendo ser su numero entre 5 y 8 agujeros, cuya apertura real se hace tras el levantamiento de la aguja por la presión ejercida por el combustible, existiendo un retraso entre la apertura eléctrica (electroválvula) y la inyección real al levantarse la aguja.

Los inyectores más utilizados son los de taladro en asiento para disminuir el combustible residual entre la arista del apoyo de la aguja del inyector y los orificios, con el fin de evitar las emisiones contaminantes de hidrocarburos primordialmente.



**Fig. 24 – Inyector de orificios** (<http://es.bosch-automotive.com/>)

Todas estas mejoras y evoluciones respecto a los sistemas precedentes han permitido obtener unas características para este sistema de inyección que le aportan una mayor versatilidad y capacidad de optimización, en base a los cambios de sus diferentes elementos constructivos y a su vez a la mejora e implementación de nuevas estrategias en el software de control electrónico, ligadas intrínsecamente a la evolución de los elementos a controlar (bomba e inyectores principalmente).

Así pues, la bomba con regulación de presión independiente del régimen motor, más los inyectores con electroválvula y la electrónica que permite toda esta gestión, hace posible una capacidad de regulación muy superior a la de cualquier sistema anterior, pudiendo optimizar cada parámetro en cada punto de funcionamiento para múltiples condiciones de funcionamiento (carga, temperatura, etc.)

Uno de los ejemplos más claros de estas mejoras es la posibilidad de la multi-inyección, si bien con el inyector bomba y sistemas precedentes ya se podía hacer una pre-inyección, el sistema common rail permite hacer múltiples inyecciones, como se puede ver en el siguiente esquema.

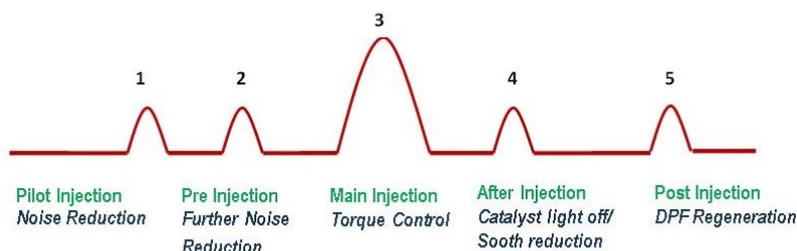


Fig. 25 - Esquema de inyección múltiple en diesel

(<http://www.techlineinfo.com/fiet-multijet-ii-the-next-generation-green-diesel-engine-technology/>)

Todas estas inyecciones se realizan a la misma presión, pudiendo regular para cada una de ellas tanto el instante de comienzo de la inyección, como el caudal inyectado, con lo que se consigue una combustión más progresiva que en los sistemas precedentes, lo que permite disminuir el ruido, mejorar el consumo y reducir los contaminantes.

Pero esta versatilidad no es solo útil para conseguir estos objetivos en un funcionamiento normal de motor, sino que debido a la evolución del resto de sistemas y componentes del motor, permite establecer modos de funcionamiento específicos desarrollados para satisfacer otras necesidades que han ido surgiendo con las nuevas normativas, y no solo con el objetivo de satisfacer al cliente.

A continuación podemos ver un esquema de inyección de un sistema diesel más evolucionado que el mostrado anteriormente, en el que se muestran las diferentes inyecciones que se pueden llegar a ejecutar, teniendo en cuenta que su número realmente está limitado y no todas se llegan a realizar en un mismo ciclo sino que se emplean según diferentes esquemas, que combinan algunas de estas inyecciones en función del modo de combustión requerido con finalidades muy precisas, permitiendo así adaptarse a diferentes requerimientos.

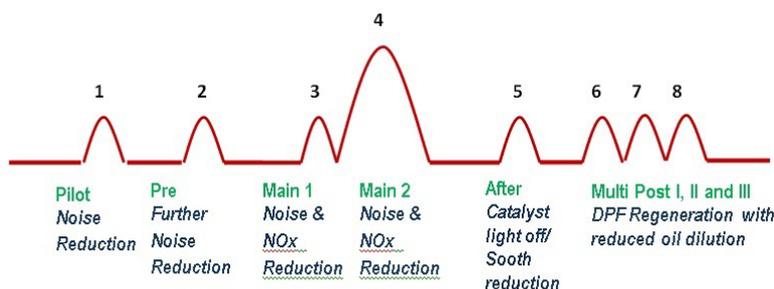


Fig. 26 - Esquema de inyección múltiple en diesel

(<http://www.techlineinfo.com/fiet-multijet-ii-the-next-generation-green-diesel-engine-technology/>)

Así pues, como podemos ver en la imagen precedente, el sistema common rail ha permitido una perfecta adaptación a nuevas necesidades como son los sistemas de postratamiento mencionados en el apartado 4.4 (regeneración FAP y purga DeNOx y DeSOx) que requieren esquemas de inyección específicos con el fin de realizar una combustión diferente que permita en el primer caso obtener

mayores temperaturas de escape para regenerar el FAP, y en el segundo para trabajar en riqueza 1 y así poder reducir los óxidos de nitrógeno retenidos en el catalizador con trampa de NOx.

Actualmente este sistema permite satisfacer las necesidades actuales de los motores, siendo el sistema más evolucionado y que aún puede llegar más lejos con mejoras electrónicas del lado de la gestión, y para responder a nuevas y mayores necesidades quizás requiera la incorporación de nuevos sistemas que trabajen simultáneamente como puede ser la inyección de Urea para el tratamiento de los NOx, siendo este uno de esos posibles sistemas anexos necesarios en un futuro muy próximo, a implantar de forma extendida en todos los motores diesel.

#### 4.1.2 MEP

Los motores de gasolina quizás hayan tenido una menor evolución, en cuanto a la sofisticación se refiere, de su sistema de alimentación de combustible respecto a los motores diesel, ya que sus particularidades en cuanto a la formación de la mezcla y el propio proceso de combustión son muy diferentes lo que no ha hecho necesaria la implantación de tecnologías tan precisas y delicadas si atendemos a criterios como pueden ser la presión de inyección, el nivel de pulverización del combustible, etc.

Cabe resaltar que al igual que en los motores diesel, e igual que el resto de los sistemas de control del motor, los primeros fueron totalmente mecánicos, pasando posteriormente a incorporar ciertos elementos electrónicos, para finalmente ser sistemas de control totalmente electrónicos, capaces de satisfacer las necesidades actuales de potencia, consumo, contaminación, etc.

Así, a continuación se van a mencionar los diferentes sistemas de alimentación de combustible en los motores MEP, haciendo referencia a sus características, ventajas e inconvenientes tratando de establecer el porque de la evolución existente, con el fin de satisfacer las necesidades cambiantes y cada vez más exigentes, hasta llegar a los sistemas actuales.

##### 4.1.2.1 Carburador

El carburador fue el primero de los sistemas de alimentación de combustible empleado en los motores de gasolina, siendo su regulación de tipo mecánico, el cual es capaz de aprovechar la depresión creada por la succión de los pistones durante la admisión de aire para conseguir así abastecer el combustible necesario para la realización de la mezcla que será quemada en el interior de los cilindros.

Su funcionamiento es relativamente sencillo, y no requiere mecanismo alguno para aumentar la presión del combustible aportado para la mezcla, sino que la depresión generada en la admisión facilita la pulverización del combustible y su mezcla con el aire que entra hacia el/los cilindros.

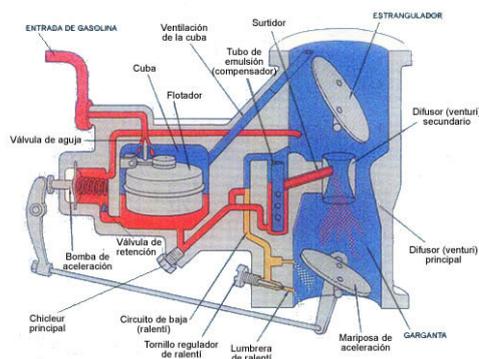
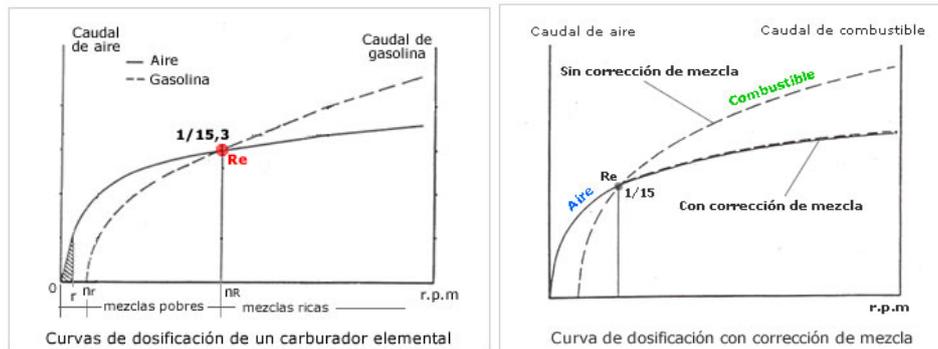


Fig. 27 – Esquema de un carburador (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

En su cuerpo, el carburador dispone de una cuba donde llega el combustible del depósito, ya sea impulsado por una bomba mecánica –anexa al cuerpo del carburador y accionada por el árbol de levas- o eléctrica –inmersa en el depósito de combustible-, en el caso de automóviles, o por la gravedad en el caso más frecuente de las motocicletas. Su cometido es mantener un nivel de combustible acumulado en el carburador para poder abastecer al surtidor encargado de la dosificación del combustible.

En su forma más básica, el carburador dispone al menos de elementos como el surtidor, que está situado en el difusor (estrechamiento del conducto de admisión previo a la mariposa y al colector de admisión), y dispone de un chicle que es un calibre que permite la dosificación del combustible necesario para realizar una mezcla correcta, adecuada al grado de carga del motor, la cual se gestiona mediante la mariposa, siendo esta de accionamiento mecánico.

Así pues, la perfecta dosificación del combustible requiere un diseño y un estudio muy cuidado del carburador y sus elementos básicos, como son el difusor y el surtidor, al igual que la elección del chicle, ya que sus geometrías son las que permiten la correcta realización del proceso de suministro de combustible, mediante succión, y en la cantidad adecuada del mismo para la formación de la mezcla, y que así la combustión sea posible para el buen funcionamiento del motor.



**Fig. 28 – Curvas de dosificación de un carburador** (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

De igual forma, para que este sistema aporte el combustible necesario en cada una de las diferentes condiciones de funcionamiento del motor, el carburador dispone de otros elementos que permiten adaptarse a cada punto de funcionamiento regulando la cantidad de combustible, como son el regulador de ralenti, el sistema compensador de mezcla para mantener el dosado estequiométrico en todo el rango de funcionamiento del motor, el sistema de enriquecimiento de la mezcla a plena carga y el sistema de arranque en frío.

El objetivo de estos reguladores es obtener la mezcla adecuada en función de las necesidades del motor, para ello las marcas emplean variantes en estos sistemas, con construcciones y principios de funcionamiento diferentes, pero tratando de conseguir los mismos objetivos en cuanto a la dosificación de la mezcla para las diferentes condiciones de funcionamiento, ya que los principios físicos son los mismos.

Todos estos sistemas son de regulación mecánica, y si bien son capaces de permitir un funcionamiento del motor aceptable en todo el rango de utilización del motor, no permiten optimizar la combustión para cada punto de funcionamiento, ni para todas las posibles condiciones ambiente de uso (temperatura ambiente y altitud principalmente), lo que genera, entre otras cosas, un sobre consumo y una sobre contaminación, por lo que este tipo de carburador es un sistema que requería mejoras que permitiesen adaptarse a las nuevas necesidades y reglamentaciones.

A pesar de todo ello, el carburador implica, en función del emplazamiento geográfico de utilización del vehículo, por parámetros como la altitud y la temperatura ambiente, una puesta a punto específica, como se puede extraer de párrafos anteriores, que además hay que revisar de vez en cuando para mantener su correcto funcionamiento, y que en caso de desplazamiento a una zona con condiciones muy diferentes, puede provocar una pérdida de rendimiento del motor, así como un disfuncionamiento que origine un comportamiento errático del motor en determinados momentos.

Por ello, los carburadores sufrieron evoluciones en cada uno de sus componentes para mejorar estas carencias, en cambio, no fueron suficientes para satisfacer sobre todo las nuevas normativas anticontaminación lo cual obligó al desarrollo de nuevos sistemas como los que se abordaran en apartados siguientes.

Así pues, atendiendo a las características del carburador y haciendo referencia a su uso y su vigencia, podemos decir que los nuevos requerimientos de los motores le han permitido perdurar hasta prácticamente finales de la década de los 80, habiendo comenzado a emplearse con los primeros motores gasolina ya en el siglo XIX, si bien desde principios de esta década su retroceso fue significativo. Esto es así si nos ceñimos a los turismos, en cambio en las motocicletas su utilización se alargó unos años más en el caso de los modelos de carretera, pero cabe reseñar que actualmente existen motocicletas principalmente orientadas al uso campestre dotadas de carburador, especialmente si se trata de motores de 2 tiempos.

Aún no siendo el tema de este documento el desarrollo de todos y cada uno de los tipos de carburadores, como pueden ser los establecidos en las diferentes clasificaciones según su disposición, sus elementos constructivos, su número, etc., como información adicional sólo mencionar que existen carburadores simples, dobles, de doble cuerpo o escalonados, cuádruples, individuales por cilindro, etc., y su elección se hace en función sobre todo de requerimientos de potencia de los motores, así como por el número de cilindros del motor y su disposición (motor en línea, en V, etc.).

### 4.1.2.2 Carburador electrónico

Debido a las carencias o desventajas del carburador mecánico, se desarrolló el carburador electrónico, que trataba de paliar algunas de esas carencias aportando una gestión electrónica (centralita o ECU), que entre otras cosas, con la implantación de diferentes sensores, permitía conocer las condiciones de funcionamiento del motor, y con ello se podía regular el sistema de manera que se adaptase la formación de la mezcla a dichas condiciones, además de que dicha gestión permitía parametrizar el campo de funcionamiento del motor de forma más precisa que los sistemas mecánicos, que si bien tenían sistemas correctores para adaptarse a los diferentes puntos de funcionamiento, no eran capaces de establecer una regulación tan precisa por cuestiones físicas, intrínsecas al diseño del sistema mecánico.

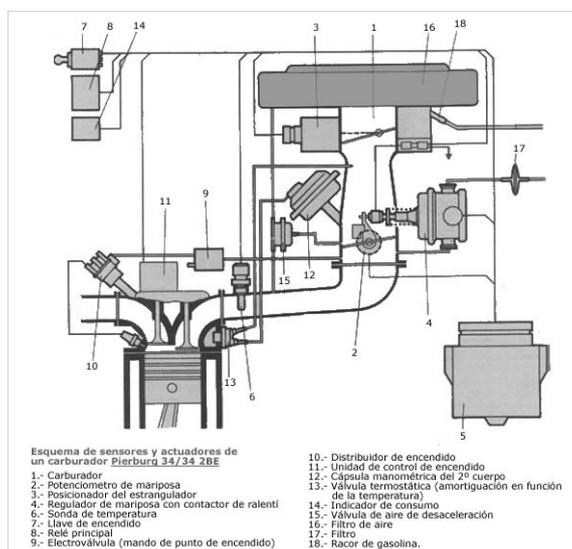


Fig. 29 – Esquema de un carburador electrónico (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

El principio de funcionamiento de este carburador es semejante al mecánico, lo que le diferencia principalmente es que ahora la aportación de combustible está comandada por electroválvulas en lugar de por válvulas neumáticas, ya sea para la gestión del arranque en frío, el ralentí, la marcha normal, los enriquecimientos a plena carga, el corte de combustible en deceleración, etc. Esto permitió una ganancia en consumo, al igual que una reducción de las emisiones contaminantes, sobre todo en situaciones como puede ser las deceleraciones o el ralentí.

Así pues, este sistema mejora las características del carburador mecánico, reduciendo sus carencias, aunque aún no era capaz de satisfacer las necesidades que iban surgiendo. Igualmente fue el sistema precursor de los sistemas de inyección electrónica.

### 4.1.2.3 Inyección hidráulica

Sin dejar de lado que los carburadores han sido probablemente el sistema más extendido para la alimentación de combustible hasta los años 80, durante los años 70 surgieron los primeros sistemas de inyección, siendo estos de tipo mecánico/hidráulico, por su tipo de comando y regulación, los cuales establecieron un paso intermedio entre los carburadores y la inyección electrónica.

En este caso, el combustible en lugar de aportarse por succión/aspiración de forma natural al paso del aire de admisión, gracias al diseño de los componentes del carburador como son el surtidor y el difusor, en la inyección se hace de forma mecánica mediante el empleo de una bomba eléctrica e inyectores mecánicos, que entre otras cosas permiten pulverizar el combustible a una presión más elevada, dosificándolo de una forma más precisa y controlada en todo el campo de funcionamiento y ante diferentes condiciones de funcionamiento. La inyección en estos sistemas mecánicos suele ser de tipo indirecta, aunque también existió algún sistema de inyección directa.

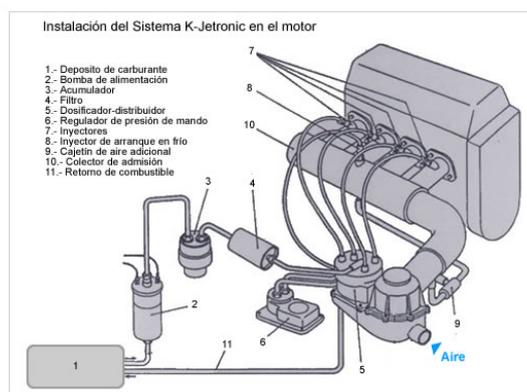
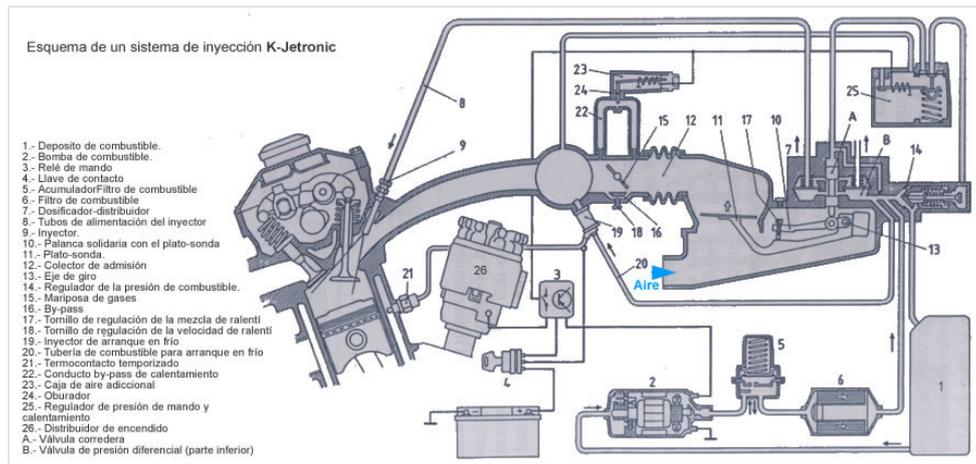


Fig. 30 – Sistema de inyección hidráulica (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

La bomba eléctrica se encarga de aumentar la presión del combustible y enviarlo a un acumulador, y de este pasa al distribuidor-dosificador, donde se mantiene una presión constante de 5 bares, el cual es el encargado de repartir el combustible uniformemente entre todos los inyectores, en la cantidad adecuada para realizar la mezcla en función del aire que entra al motor.

La regulación de la cantidad de combustible inyectado se hace de forma mecánica, para lo cual este sistema posee un mecanismo que permite medir la cantidad de aire de admisión, gracias al movimiento de un plato-sonda al paso del aire hacia la mariposa (accionada mecánicamente con el pedal del acelerador), estando este plato unido al embolo del dosificador de combustible lo que permite aportar la cantidad necesaria para ese determinado caudal de aire. Es decir, no existe un sensor de medida directa del caudal de aire, sino que en función del desplazamiento del plato varía el desplazamiento del embolo del dosificador, según el tarado/calibrado del sistema, y por consiguiente varía la cantidad de combustible que puede pasar hacia las válvulas de presión del dosificador y de ahí a los inyectores con el fin de obtener la mezcla adecuada para las diferentes condiciones de funcionamiento.

A mayores, este sistema mecánico dispone de un regulador adicional que permite añadir más combustible durante la fase de calentamiento del motor, y esta cantidad se va reduciendo hasta que se consigue la temperatura de funcionamiento normal, todo para compensar el combustible que se adhiere a las válvulas, a las paredes del colector y de los cilindros, etc., por estar fríos, ya que no consigue mezclarse bien. Aparte, también existe una válvula adicional de aire, que permite aumentar el caudal de mezcla a ralenti, durante esta fase de calentamiento, para compensar los mayores rozamientos dado que el motor está frío.



**Fig. 31 – Elementos de un sistema de inyección hidráulica** (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

Estos sistemas de inyección son del tipo inyección indirecta normalmente, ya que los inyectores realizan la pulverización del combustible dentro del colector de admisión. Estos no tienen regulación alguna, sino que su apertura se realiza al sobrepasar determinada presión el circuito de combustible, en torno a 3 bares, según el tarado de la válvula de aguja que posee el inyector. Se pueden encuadrar igualmente dentro de los sistemas de inyección continua ya que los inyectores no tienen ningún tipo de comando, y permanecen abiertos siempre que la presión sobrepase el umbral mencionado anteriormente.

Previo al paso a los sistemas de inyección electrónica puramente dichos, existieron algunos de estos sistemas mecánicos que incorporaban una gestión electrónica, siendo en los primeros casos a base de relés, pero sin llegar a emplear una centralita, ni los sensores que emplean los sistemas electrónicos actuales para conocer las condiciones de funcionamiento. Posteriormente a estos sistemas se les incorpora una centralita electrónica sencilla que permite sustituir el regulador mecánico que se encarga de aumentar la cantidad de mezcla durante el calentamiento del motor y por otras correcciones como la altitud, aunque su principio de funcionamiento mecánico e hidráulico es el mismo, y es el encargado de hacer la dosificación. En este caso ya se incorporan sensores eléctricos.

Si bien estos sistemas permiten obtener un funcionamiento adecuado del motor, con una mejor dosificación del combustible y adaptación a diferentes condiciones de funcionamiento, aun tienen ciertas carencias en cuanto a la capacidad de regulación en todas esas condiciones, lo que además supone un sobre-consumo y una sobre-contaminación, requisitos que van haciéndose cada vez más importantes con el paso del tiempo, que es la base por la cual ha evolucionado este sistema hasta llegar a la inyección electrónica.

La utilización de estos sistemas, ya sean de regulación puramente mecánica-hidráulica, o los que incorporan una parte electrónica se emplearon especialmente en las décadas de los 70 y los 80, aunque ya hubo algunos modelos desde los años 60. De hecho, con anterioridad, en los años 30 y 40, ya existieron en aviación sistemas de inyección desarrollados por la marca BOSCH, y el primer sistema para automóviles se presentó en el salón de Frankfurt de 1951. En 1954, se empleó por primera vez en serie un sistema de inyección en el deportivo 300-SL del constructor Mercedes-Benz (de inyección directa). Posteriormente en 1973 la misma empresa BOSCH presenta el sistema K-Jetronic aún de regulación exclusivamente mecánica.

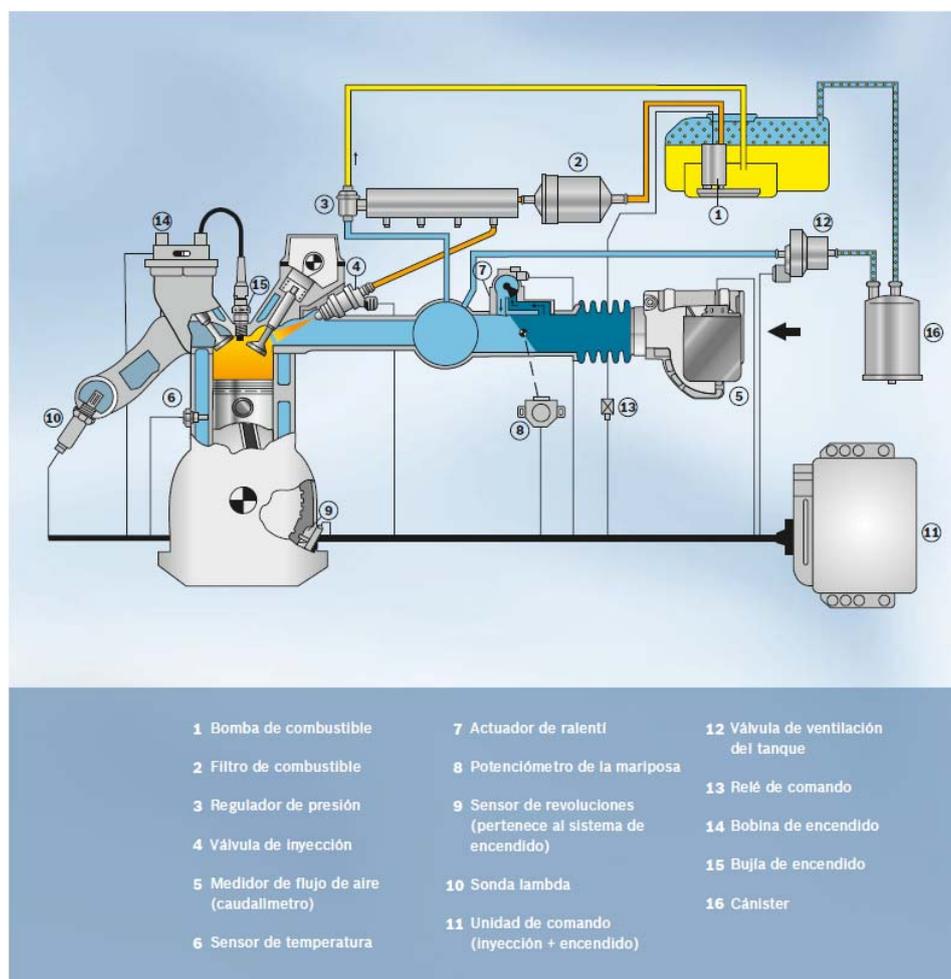
#### **4.1.2.4 Inyección electrónica**

Los sistemas de inyección electrónica son la evolución lógica de los sistemas de inyección hidráulica, ya que la regulación deja de ser mecánica y la dosificación de combustible pasa a gestionarse de forma totalmente electrónica, permitiendo que esta sea más precisa y controlada en todo el campo de funcionamiento del motor y ante diferentes condiciones de funcionamiento, lo que aporta ventajas como son una mejor respuesta, una reducción del consumo, una disminución de los contaminantes, un mejor

arranque en frío y un mejor desempeño ante diferentes condiciones de uso entre otros (motor frío, a diferentes altitudes, a diferentes temperaturas exteriores, etc.).

Aparte de la gestión electrónica estos sistemas presentan otras ventajas tras la eliminación del carburador o del dosificador-distribuidor del sistema de inyección hidráulica para mejorar las prestaciones de los motores, ya que esto permite un diseño diferente y específico de los conductos de admisión, lo que puede redundar en una mejora del llenado ya que su diseño podrá buscar un mayor aprovechamiento de los efectos aerodinámicos (ondas pulsantes) para favorecer el llenado natural gracias a las nuevas geometrías, lo que conlleva un aumento del combustible a inyectar, y así una mayor cantidad de mezcla mejora las prestaciones del motor (par y potencia).

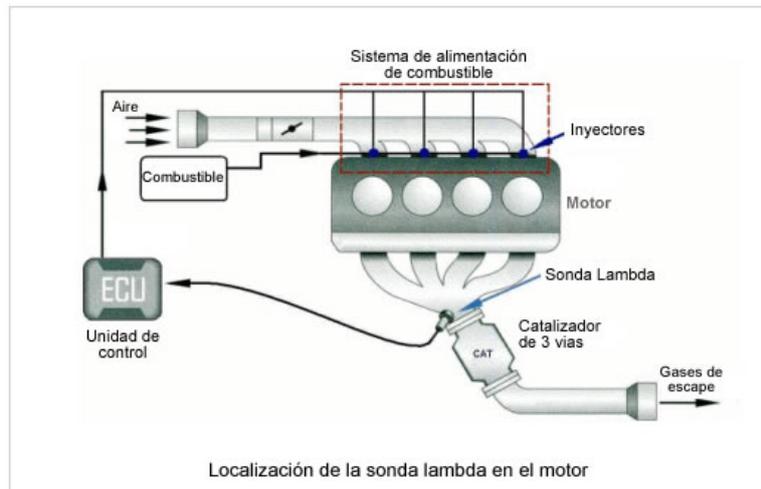
Una de las mejoras de este sistema para establecer la cantidad de combustible necesaria para la mezcla es la medida del aire que entra al motor mediante sensores, para lo que se emplean dos soluciones técnicas diferentes que permiten conocer la masa de aire que entra en el motor, una es el caudalímetro, similar a los motores diesel (resistencia de hilo caliente normalmente) y la otra es el captador de presión colector (normalmente presión absoluta), acompañado igualmente de un captador de la temperatura del aire en el colector, por lo que, en ambas soluciones, a partir de estas medidas se obtiene la masa de aire y se calcula el combustible a inyectar.



**Fig. 32 – Sistema de inyección electrónica** (<http://www.xn--bosch-tecnologadelautomvil-roc1p.es/>)

Aunque ya habían sido empleadas anteriormente en los sistemas de inyección hidráulica con centralita electrónica, pero solo en determinados modelos y no de forma tan extendida, otra de las mejoras de este tipo de sistemas fue el empleo de la sonda lambda, de forma que trabajando en bucle cerrado se controla la gasolina a inyectar con el fin de obtener una mezcla estequiométrica, es decir con riqueza 1. Esta sonda a través de la media de la concentración de los gases de escape permite detectar la

composición de la mezcla, con lo que retroalimenta al sistema de control de forma que se consiga permanecer con el dosado estequiométrico mencionado.



**Fig. 33 – Sistema de inyección con catalizador y sonda lambda** (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

El objetivo es la reducción del consumo al igual que el buen funcionamiento del catalizador de tres vías que incorporan los motores de gasolina debido a las exigencias de la normativa anticontaminación, para conseguir una disminución de los gases nocivos emitidos por el escape, reduciendo los NOx y oxidando los HC y CO. Así pues, la acción del catalizador junto con el funcionamiento del motor en riqueza 1 permiten realizar el postratamiento de los gases de escape para reducir las emisiones contaminantes, y esto, como se ha mencionado, está a su vez ligado a la sonda lambda y la gestión electrónica de la mezcla en bucle cerrado para mantener dicha proporción de la mezcla que además consigue una reducción del consumo de carburante.

Otra de las mejoras de estos sistemas es la apertura de los inyectores por una electroválvula comandada por la centralita, de manera que su apertura no se realiza cuando su circuito de alimentación llega a una determinada presión, sino que se hace de forma controlada cuando es el momento oportuno con el fin de que el aire de admisión arrastre todo el combustible hacia el cilindro con la apertura de la válvula de admisión, y con el tiempo necesario para que se realice la mezcla de forma correcta.

Estos sistemas, al contrario que los anteriores incorporan una gestión totalmente electrónica, en las que todos los actuadores se gobiernan desde la centralita, y para ello incorporan muchos más sensores que les permiten conocer la multitud de parámetros que permiten a su vez establecer el reglaje específico para cada una de esas posibles condiciones de funcionamiento, teniendo en cuenta la temperatura del motor, del aire de admisión, la altitud y otras múltiples correcciones. Así mismo, estas centralitas integran igualmente el control de otros sistemas como puede ser el encendido, lo que confiere una mayor precisión al conjunto de la regulación dada la relación entre los diferentes parámetros.

Aunque existían con anterioridad, los sistemas de inyección electrónica se empezaron a implantar de forma generalizada durante la década de los 80 gracias a estas mejoras, reemplazando de forma paulatina a los carburadores y los sistemas de inyección hidráulica, para en la década de los 90 pasar a ser el sistema predominante, siendo utilizados extensamente ya que la inyección acompañada de la gestión electrónica permitía satisfacer las necesidades que iban surgiendo, evitando las desventajas de los sistemas precedentes.

Así pues, teniendo en cuenta todas estas características mencionadas, más o menos comunes que comparten todos los sistemas de inyección electrónica gasolina, en los subapartados siguientes vamos a centrarnos en establecer las diferencias básicas existentes entre los sistemas de inyección indirecta y directa, lo que aporta cada uno de ellos y el porque se ha evolucionado de unos a otros.

#### 4.1.2.4.1 Inyección indirecta

El origen del nombre de este tipo de sistemas es el lugar en el que se realiza la inyección, ya que esta, en lugar de hacerse directamente en el cilindro, se hace en el colector de admisión donde se encuentra el o los inyectores, de ahí lo de inyección indirecta.

Como reseña histórica mencionar que el primero de estos sistemas se empleó en 1967 por BOSCH, se trataba del sistema D-Jetronic, que fue seguido por el sistema L-Jetronic en 1973, posteriormente apareció el sistema Motronic en 1979 que era básicamente el sistema L-Jetronic que además incorporaba la gestión del encendido. Más tarde, en 1981 aparecía el sistema LH-Jetronic que cambia el sistema mecánico de medida del caudal de aire por un sensor de hilo caliente. Poco después, en 1982, se presentó el sistema KE-Jetronic, que era un sistema mecánico al que se le incorporaba una gestión electrónica unido al empleo de la sonda lambda.

Ya en 1987 se implantó el sistema Mono-Jetronic, con inyección monopunto, más económico que los anteriores sistemas que eran de tipo multipunto. Un año después en 1988 sale a escena el Mono-Motronic, que era una evolución del sistema anterior que a su vez gestionaba el encendido. Este sistema pasó a incorporar en 1989 el sistema EGAS, con acelerador electrónico y mariposa accionada mediante un motor eléctrico.

Durante esos años, finales de los 80 y principios de los 90, otras marcas desarrollaron sus propios sistemas, como pueden ser el MULTEC de OPEL, EL G6 de MAGNETI-MARELLI, el EEC-IV de FORD, aún de tipo monopunto. Casi simultáneamente, la tendencia se invertía en otros constructores, que apostaban por sistemas multipunto, como MITSUBISHI con su sistema MPI, VOLKSWAGEN con su DIGIFANT y RENAULT con su RENIX.

Dentro de estos sistemas de inyección indirecta vamos a mencionar las dos variantes existentes atendiendo al número de inyectores y la distribución del combustible hacia los cilindros.

##### ❖ Inyección monopunto

En este caso existe un único inyector, encargado de dosificar el combustible para todos los cilindros en el colector de admisión, y este está situado antes de la mariposa de admisión.

Una de las ventajas de este sistema era el coste, ya que solo requería el empleo de un inyector, lo que abarataba el coste, y aunque tenía ventajas respecto al carburador y la inyección hidráulica en cuanto a la dosificación de la mezcla, y el consumo de combustible y emisiones contaminantes, aún tenía alguna desventaja, ya que la repartición de la mezcla entre los diferentes cilindros no era lo suficientemente homogénea, y además, por este motivo existía cierto sobre-consumo, y las emisiones eran mejorables por esta falta de homogeneidad entre cilindros.

El empleo de este tipo de sistemas se realizó principalmente entre mediados de la década de los 80 y mediados de la década de los 90, para abaratar los primeros sistemas multipunto y hacerlo accesible a vehículos más económicos.

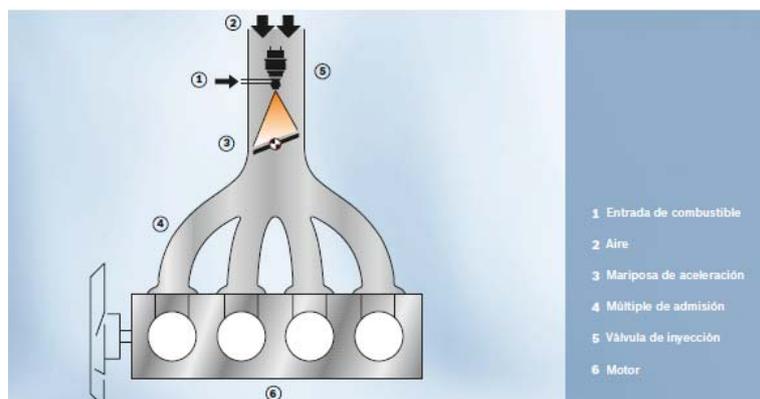


Fig. 34 – Sistema de inyección monopunto (BOSCH)

El abastecimiento de estos sistemas se hace normalmente mediante una bomba eléctrica, sumergida en el depósito de combustible del vehículo, que suministra una presión continua y constante no muy elevada del orden de 1 a 2 bares.

### ❖ Inyección multipunto

En este caso existen varios inyectores, uno por cilindro, y estos inyectan igualmente el combustible en el colector de admisión, pero ya en el conducto específico de cada cilindro, llegando en algún caso a realizar la inyección sobre la cabeza de la válvula. Esto permite que la mezcla sea más homogénea entre los diferentes cilindros y el hecho de estar los inyectores más cerca del cilindro, hace que existan menos pérdidas por rozamientos, ya que el combustible tiene menos posibilidad de quedarse adherido a las paredes de la admisión, por lo que se mejora el consumo y además la homogeneidad entre los cilindros hace que las emisiones se vean reducidas.

Para estos sistemas, la bomba eléctrica sumergida en el depósito abastece el combustible a una presión entre 3 y 5 bares.

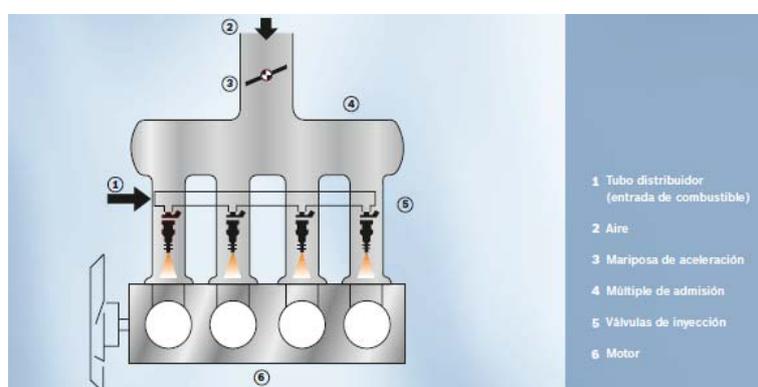


Fig. 35 – Sistema de inyección multipunto (BOSCH)

Al contrario que los sistemas hidráulicos en los que la inyección era continua, en los sistemas electrónicos y sobre todo en los sistemas multipunto, la inyección es intermitente, y se pueden diferenciar tres variantes en función del momento en el que se produce la inyección, como se puede ver en la figura siguiente.

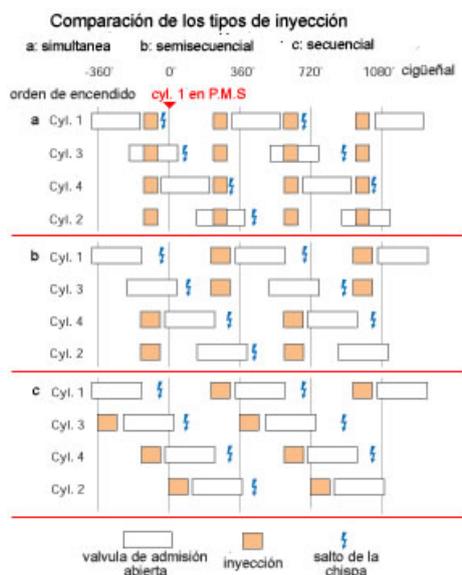


Fig. 36 – Diferentes variantes de inyección multipunto (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

Estas variantes de la inyección intermitente se describen a continuación:

- Inyección simultánea: todos los inyectores se activan simultáneamente, es decir, que abren y cierran todos al mismo tiempo.

- Inyección semi-secuencial: los inyectores se activan simultáneamente pero de dos en dos en vez de todos a la vez.
- Inyección secuencial: los inyectores se abren de forma independiente, de manera sincronizada con la fase de admisión de cada cilindro.

Como es lógico, existe una ganancia de consumo y reducción de contaminantes según se consigue establecer regular de manera independiente la inyección para cada cilindro, de manera que se reducen las pérdidas de combustible quemado innecesariamente, al haberlo inyectado en un momento que no era el adecuado, es por eso que la inyección secuencial es la más precisa, efectiva, con menor consumo y mejores emisiones dentro de los sistemas de inyección multipunto.

Aunque estos sistemas eran bastante eficientes a la hora de reducir los contaminantes, sobre todo teniendo en cuenta que van acompañados de la sonda lambda y el catalizador que permite reducir las emisiones, tenían problemas para satisfacer las nuevas exigencias para la reducción del CO<sub>2</sub>, lo cual se consigue únicamente a través de la reducción del consumo, por lo cual apareció el sistema de inyección directa.

Estos sistemas multipunto han sido los más utilizados durante los años 90 y parte de los 2000 hasta la actualidad, aunque en realidad fueron los primeros en desarrollarse y emplearse en los sistemas de inyección indirecta durante los años 70, pero se sustituyeron a mediados de los 80 por sistemas monopunto por razones de coste. Estos sistemas multipunto están aún vigentes, sin embargo su uso se ha reducido para dejar paso a los sistemas de inyección directa.

#### 4.1.2.4.2 *Inyección directa*

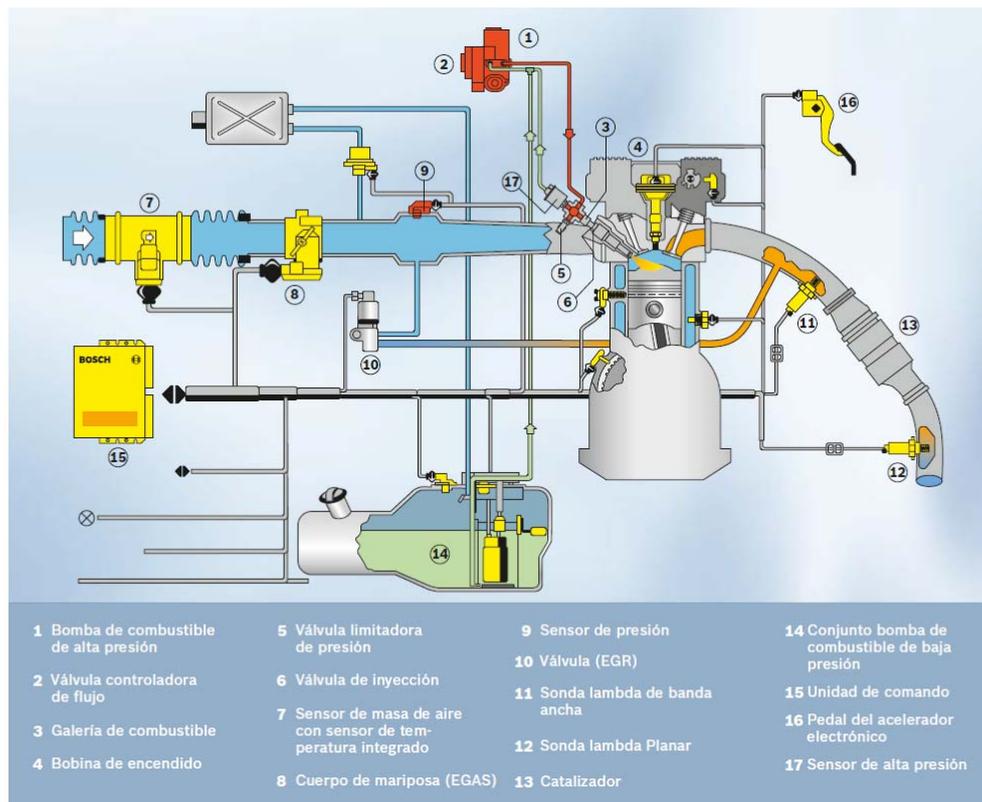
Los sistemas de inyección directa de los motores de gasolina son los más recientes y todos están gestionados electrónicamente, estando basado su nombre en que la inyección se realiza directamente dentro de la cámara de combustión del cilindro, ya que cada cilindro como es lógico posee su propio inyector.



**Fig. 37 – Sistema de inyección directa (AUDI)**

Unas de las ventajas de este sistema es que la formación de la mezcla se hace dentro del cilindro, al inyectarse directamente dentro del mismo, por lo que esta es más homogénea, lo cual además es favorecido porque este sistema posee una mayor presión de inyección, pulverizando mejor el combustible. Esta presión de inyección además es regulable según el punto de funcionamiento, ya que estos sistemas, de forma similar al common rail diesel poseen una bomba de alta presión, aunque en este caso no alcanza presiones tan altas sino que rondan los 100-120 bares, acumulándose este en una rampa de la cual se abastecen los inyectores y que posee un captador para poder realizar la regulación de dicha presión por parte de la bomba de alta.

Así, la inyección directa, con esta alta presión, la tipología de sus inyectores y la gestión electrónica, permite el empleo de la multi-inyección como en los diesel, lo que conlleva a una mejor mezcla y una combustión más progresiva, lo que mejora el confort de marcha del motor, y no sólo permite obtener una ganancia en consumo y emisiones.



**Fig. 38 – Sistema de inyección directa** (<http://www.xn--bosch-tecnologadelautomvil-roc1p.es/>)

Este sistema permite igualmente trabajar con diferentes tipos de mezcla, y no solo hacerlo con mezcla estequiométrica, sino que se pueden realizar mezclas pobres, con exceso de aire, lo que permite un mayor ahorro de combustible y esto se emplea predominantemente a bajas cargas y bajos regímenes.

Es por esto que este sistema es el más adecuado para cumplir la normativa EuroVI que entrara en vigor próximamente, si bien es cierto, que en este caso hay que tener en cuenta que implica una mayor complejidad de los sistemas de postratamiento ya que puede hacer necesario una trampa de NOx, al igual que un filtro de partículas.

Su empleo comenzó a finales de la década de los 90, primeros de los años 2000, cuando empezaron a surgir los primeros motores en equiparlos de forma prácticamente anecdótica ya que eran modelos innovadores muy concretos, que apenas tuvieron éxito comercial, pero era la base para el trabajo que años después los constructores se han visto obligados a realizar para cumplir las normativas, por lo que actualmente, pasado el año 2010, su implantación es cada vez mayor llegando a ser superior a la de motores con inyección indirecta.

Cabe mencionar que el primer sistema surgió en 1999, y en el año 2000 BOSCH presenta su sistema MOTRONIC MED 7, con el que se equipan los motores FSI de VOLKSWAGEN, RENAULT utiliza su motor IDE y en 2002 ALFA saca a la luz su motor JTS.

#### 4.2 *Sistemas de llenado (MEC Y MEP)*

El sistema de llenado es aquel que nos permite hacer llegar el aire a los cilindros controlando y midiendo la cantidad de aire que entra para que la combustión se realice de forma correcta.

Estos sistemas que vamos a mencionar no funcionan de manera aislada si nos ceñimos a la alimentación de aire del motor, sino que a veces pueden actuar de manera conjunta ya que pese a complicar el conjunto y su regulación, esto permite obtener diferentes ventajas y conseguir diferentes objetivos gracias a la características propias de cada uno de los sistemas de forma aislada, como puede ser prestaciones, mejora de consumo, emisiones, etc.

Así mismo, si bien existen diferencias entre los sistemas de llenado de los motores diesel y gasolina, vamos a exponerlos de forma conjunta, estableciendo las particularidades para cada uno de ellos en caso de que sea un sistema utilizado en ambos motores, al igual que detallaremos algún sistema específico que solo se emplee en una de las motorizaciones.

#### 4.2.1 Mariposa motorizada

La mariposa motorizada se emplea exclusivamente en los motores de encendido provocado para regular la carga del motor, siendo en su origen de accionamiento mecánico, en el que estaba unida físicamente al pedal del acelerador mediante un cable o mecanismo similar, de forma que la apertura era proporcional a la posición del acelerador.

Así, esta ha evolucionado para actualmente estar comandada por un motor eléctrico gestionado por el calculador de inyección, el cual recibe la lectura de la posición del acelerador (que también es electrónico) al cual está estrechamente ligado, y en función de esta posición decide cual es la apertura necesaria de la mariposa.

En este sentido, los sistemas de control o el tipo de regulación de las mariposas motorizadas han cambiado, de forma que en los primeros modelos se regulaba la apertura de la mariposa de manera proporcional a la posición del acelerador. Posteriormente se paso a una regulación en presión colector, de forma que la apertura de la mariposa es la necesaria para conseguir una determinada presión, que junto con el control de la inyección, también por parte de la ECU, nos permitirá obtener el par/potencia deseados, en función de la posición pedal ya que el sistema posee un potenciómetro en el acelerador.



Fig. 39 - Mariposa motorizada (<http://www.google.es/imghp>)

De esta forma, podemos decir que este sistema ha evolucionado, siendo los primeros sistemas de regulación en bucle abierto, tanto el mecánico, como los primeros electrónicos, que no se retroalimentaban para controlar la dicha posición, sino que esta era proporcional a la posición del acelerador. Y finalmente se paso a sistemas en bucle cerrado, en el que existe una retroalimentación que permite ajustar la posición de la misma para obtener una regulación precisa.

Este último tipo de regulación, en bucle cerrado, regulando la posición de la mariposa para obtener una determinada presión colector, ha permitido la integración de sistemas auxiliares del vehículo, como son el control de estabilidad (ESP), el de tracción (ASR), etc., así como el regulador de velocidad o control de crucero (CC), ya que estos realizan demandas de par, que se interponen/prevalecen frente a la demanda del conductor sobre el pedal, lo cual solo se puede gestionar electrónicamente con el pedal electrónico y la mariposa motorizada.

Su implantación ha sido mayoritaria a partir de los años 2000, si bien en 1989 BOSCH implanto su primer sistema con acelerador electrónico, y han ido introduciéndose progresivamente durante los 90 con el mayor desarrollo de la gestión electrónica. Esta mariposa existe tanto en los motores de admisión natural, como en los sobrealimentados.

En los motores diesel también existe una mariposa en la admisión, motorizada igualmente, pero su utilización para regular la carga del motor no está muy extendida, estando siempre abierta, y su uso se restringe a ciertos modos de funcionamiento específico como puede ser la regeneración o similares en

condiciones muy concretas, o por ejemplo a las maniobras de parada motor, para controlar el basculamiento motor tratando de suavizar y disminuir el balanceo.

#### 4.2.2 Recirculación de gases de escape – EGR

Si bien el principal cometido de este sistema es la disminución de las emisiones (NOx principalmente), no llega a encuadrarse directamente dentro de los sistemas de postratamiento, es por eso que vamos a abordar su descripción y funcionamiento dentro de este apartado relacionado con el llenado, ya que es sobre el cual influye de manera directa al tratarse de gases de escape recirculados hacia la admisión para mezclarse con el aire fresco del exterior.



Fig. 40 - Válvula EGR (<http://delphi.com/>)

Este tipo de tecnología es utilizado independientemente sobre motores de admisión natural o sobrealimentados, y se compone básicamente de una válvula que permite o no la recirculación de gases de escape hacia la admisión, y se empezó a implantar en los motores o su uso fue ampliamente extendido a partir de finales de los años 80, principios de los 90 con motivo del aumento de las restricciones de la normativa anticontaminación.

Aunque es un sistema utilizado en ambos tipos de motores, tanto gasolina como diesel, su implantación es prácticamente total sobre los motores tipo MEC, mientras que en los MEP su empleo es mucho menor, aunque las nuevas normativas puede que hagan necesaria una mayor aplicación sobre este tipo de motor, para satisfacer las nuevas restricciones anticontaminación.

Su empleo hizo necesaria la introducción de otros elementos para poder regular este sistema, compaginado por parte del calculador de inyección junto al control del resto de sistemas que intervienen en el motor para su correcto funcionamiento. Así pues, dentro de estos elementos, aparte de la propia válvula para el control del paso de los gases de escape recirculados hacia la admisión, se utiliza el medidor de caudal que mide la cantidad de aire fresco, y también se ha de controlar la apertura de la válvula mediante un sensor.

A mayores, algunos modelos, para una mayor eficacia, disponen de un intercambiador (aire-agua normalmente) que permite refrigerar los gases recirculados, ya que estos pasan directos al colector de admisión desde el escape. Estas válvulas en las que existe esta refrigeración a veces van provistas de un by-pass para evitar esta refrigeración en determinadas condiciones, por ejemplo para calentar el motor más rápido, estando este by-pass también controlado por la ECU, con el objeto de obtener los resultados deseados para cada una de las condiciones de funcionamiento del motor.

Igualmente este sistema ha evolucionado en cuanto a su comando, pudiendo ser neumático o eléctrico, estando ambos tipos aún presentes, pero su gestión se realiza siempre desde el calculador de inyección. No obstante hay que recalcar que la gestión eléctrica está más extendida ya que permite

tener una regulación más precisa, teniendo en cuenta más parámetros y sin dependencia de la depresión creada en la bomba de vacío.

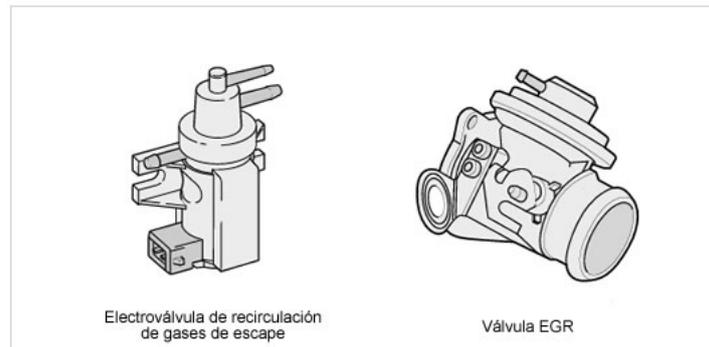


Fig. 41 - Válvula EGR y electroválvula neumática de comando (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

### 4.2.3 Sobrealimentación

Esta parte corresponde a las máquinas que se acoplan al motor térmico, con el fin de mejorar el llenado del mismo, las cuales también necesitan un control y regulación, siendo actualmente su gestión realizada por el calculador de inyección, si bien, en sus orígenes su regulación era escasa y tenían una presión de soplado constante para un punto de funcionamiento dado, en vez de ser función de la carga o de otros condicionantes.

El objetivo de la sobrealimentación es el de obtener más potencia, sin necesidad de aumentar la cilindrada del motor, introduciendo más aire en el cilindro del que entraría por admisión natural, de forma que podamos quemar más combustible y así obtener esa mayor potencia. Así mismo, la sobrealimentación permite mantener las prestaciones cuando estamos en altitud, donde los motores de aspiración natural tienen una pérdida de las mismas, debido al menor llenado consecuencia de la menor presión atmosférica.

El hecho de comprimir el aire hace que este se caliente, por lo que es necesario refrigerarlo para lo cual estos motores van provistos de un radiador o intercooler para que el aire de admisión se enfríe, y para el correcto control de este proceso el calculador de inyección tiene más captadores que permiten conocer la presión y temperatura del aire, si bien la temperatura no podemos regularla y depende de las condiciones de circulación del vehículo, la presión será la de regulación establecida por el sobrealimentador.

Evidentemente los primeros motores tanto diesel como gasolina eran de admisión natural, pero las exigencias de prestaciones, así como de consumo y anticontaminación han ido haciendo necesaria una mayor implantación, siendo aplicado casi en la totalidad de los motores diesel, y siendo cada vez mayor su utilización en motores de gasolina, estando este hecho muy ligado a la tendencia de downsizing de los motores que vienen aplicando los diferentes constructores, que consiste en reducir la cilindrada de los motores tratando de mantener las prestaciones y reduciendo el consumo, frente a otros atmosféricos de mayor cilindrada, gracias al empleo de la sobrealimentación.

Su cada vez mayor introducción ha hecho evolucionar los propios sistemas de sobrealimentación, obteniendo mayores prestaciones y rendimiento, lo cual ha ido acompañado de una evolución de los sistemas de control de estos elementos, lo que da una mayor capacidad de regulación, a la vez que la integración de su control dentro de la ECU que gestiona todo el funcionamiento del motor actualmente.



Fig. 42 - Conjunto de 2 turbos en serie (<http://www.borgwarner.com/>)

Independientemente del tipo de control utilizado, existen diferentes tipos de sobrealimentación en función de la máquina utilizada para comprimir el aire y con una gestión y control diferentes, en parte originado por el tipo de accionamiento y son los que se van a detallar en los apartados siguientes.

#### 4.2.3.1 Turbocompresores

Los turbocompresores o turbos, son las máquinas térmicas más utilizadas para comprimir el aire de admisión en los motores de automoción ya que son los que mejores resultados han dado a nivel de rendimiento y facilidad de integración en el motor.

Estas máquinas aprovechan el flujo de gases de escape para accionar la turbina, colocada a la salida del colector de escape, y a la cual, mediante el eje, va unido el compresor que recibe el aire de admisión a presión atmosférica (en los diesel o en los gasolina a plena carga) o inferior a esta (en los gasolina a bajas y medias cargas) y lo comprime e impulsa hacia el colector de admisión a mayor presión. En la siguiente figura podemos ver un corte longitudinal del mismo, en el que se aprecian sus componentes.

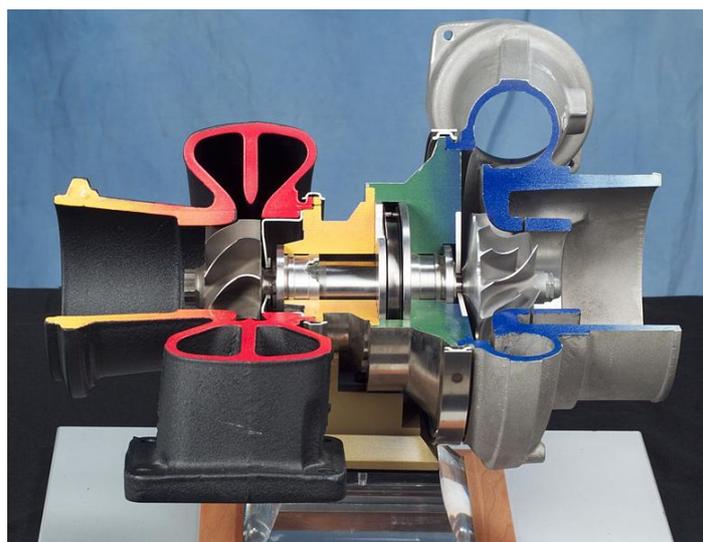


Fig. 43 - Corte longitudinal de un turbo (<http://es.wikipedia.org/>)

Así pues, el sistema de regulación debe controlar los gases de escape que pasan por la turbina para comprimir el aire de admisión y obtener la presión deseada, para lo cual se requiere captadores de presión colector de admisión, así como de presión de escape de forma que podamos controlar el nivel de sobrealimentación deseado en cada punto de funcionamiento.

En estos la regulación no viene determinada exclusivamente por las necesidades del motor a nivel de prestaciones y consumo, sino que a veces esta condicionada por motivos de fiabilidad, como pueden ser temperaturas y presiones máximas de funcionamiento, así como régimen de rotación máximo del turbo.

En la imagen siguiente podemos ver un ejemplo de cartografía de rendimiento de un turbo, el cual nos sirve para identificar el turbo que debemos elegir para un motor, en función del tipo y las necesidades de sobrealimentación que deseemos si queremos obtener un determinado nivel de prestaciones, teniendo en cuenta no sólo el rendimiento del mismo, sino la capacidad de compresión, régimen de giro, y límites físicos, para evitar problemas de fiabilidad.

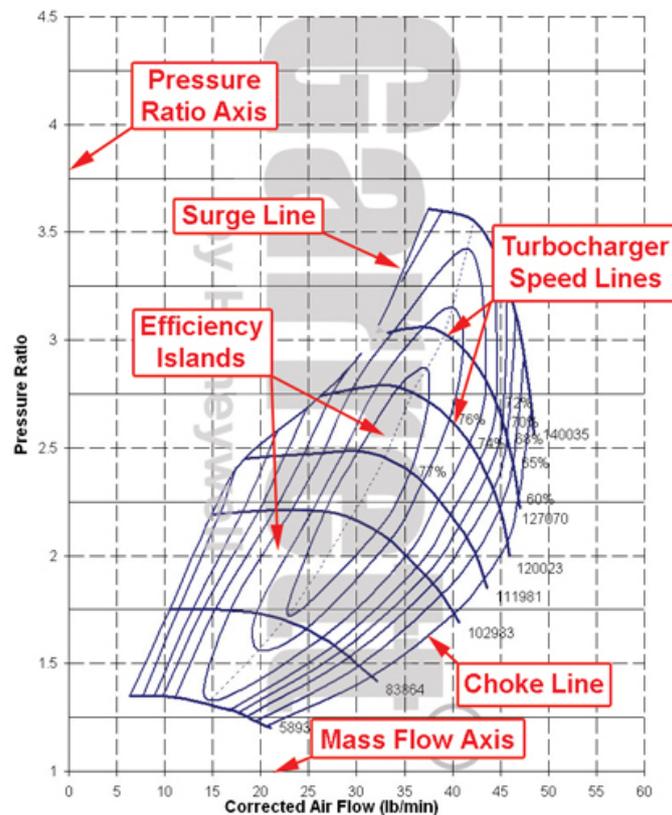


Fig. 44 – Cartografía de rendimiento de un turbo (<http://www.turbobygarrett.com/>)

Independientemente del tipo de turbo utilizado actualmente existen aplicaciones mas evolucionadas que requieren mayores prestaciones en todo el rango de régimen motor para lo que se disponen dos turbos dispuestos en serie (sobrealimentación en 2 etapas), uno mayor que el otro.

De esta forma se utiliza el turbo pequeño para bajas cargas, y el grande para altas cargas, y en cuanto a la regulación de presión no varia, siendo la única particularidad el hecho de seleccionar cual de los turbo debe entrar en acción en función del régimen y carga del motor con el fin de adaptar las características de cada uno de los turbos a los rangos de funcionamiento en los que se van a utilizar, de forma que se mejora respecto a un único turbo, que normalmente privilegia la zona de altas cargas para mejorar las prestaciones, en detrimento de las bajas cargas, en las que el funcionamiento es prácticamente el de un motor atmosférico.

**2-stufige geregelte Aufladung (R2S™)**  
Regulated 2-stage Turbocharging (R2S™)

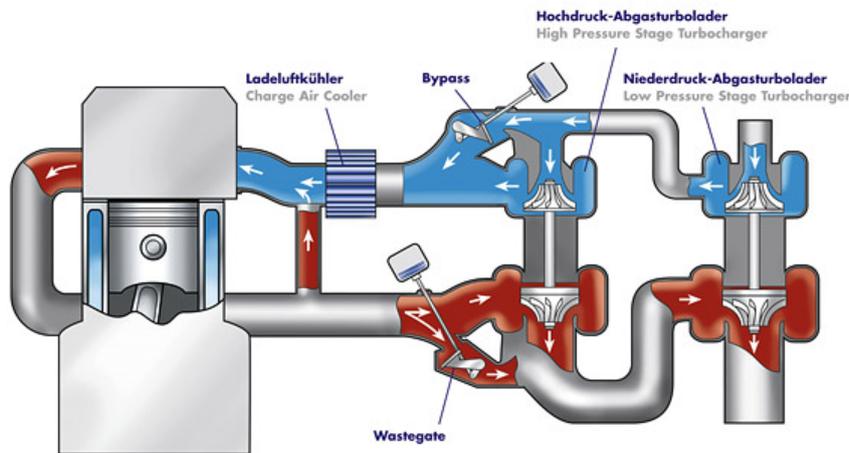


Fig. 45 – Esquema de sobrealimentación en 2 etapas (<http://www.borgwarner.com/>)

A mayores, podemos decir que existen dos tipos de turbo en función del tipo de regulación, y son los que se van a explicar a continuación.

**4.2.3.1.1 Turbos de geometría fija – TGF**

Los turbos de geometría fija fueron los primeros en aparecer, y son los más sencillos a nivel de componentes y por lo tanto de mayor fiabilidad, en estos su regulación se realiza mediante la incorporación de una válvula de descarga denominada wastegate, de forma que si el flujo de escape hace aumentar el giro de la turbina, al igual que el del compresor, y por lo tanto la presión aumenta, dicha válvula se abre, dando paso a una parte de los gases de escape por el by-pass desviándose al exterior sin pasar por la turbina, de forma que esta reduce su régimen y así la presión de admisión.

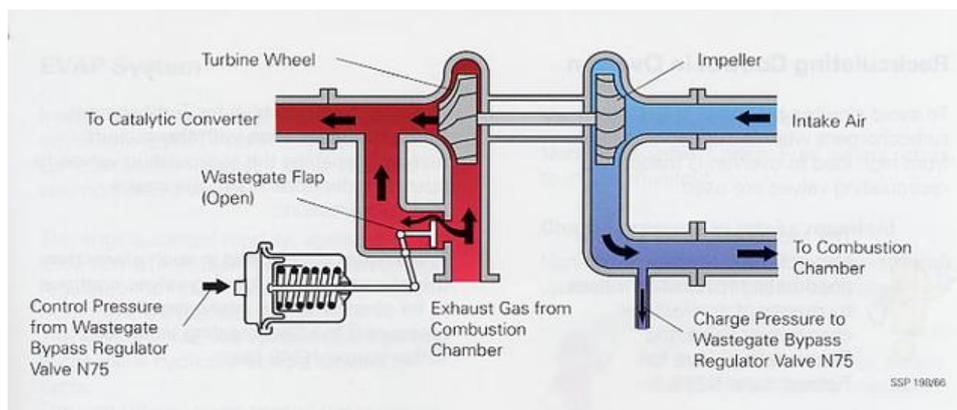


Fig. 46 – Esquema de un TGF y wastegate (<http://s4wiki.com>)

Esta válvula se puede regular de diferentes maneras, habiendo evolucionado desde su aparición, en la que su regulación era puramente mecánica o neumática para ser más preciso, ya que su apertura está originada por una diferencia de presiones en la admisión, y posteriormente se ha implementado una regulación electrónica, que a su vez tiene una variante que conserva parte de control neumático, y otra en la que este control es completamente eléctrico, ya que es un solenoide el encargado de accionar la válvula.

Existen igualmente ciertos sistemas de regulación manuales, en los que podemos regular el tarado del muelle de apertura de la válvula para fijar diferentes presiones de apertura de la wastegate en función

de las condiciones atmosféricas, de forma que podamos elegir una presión máxima de sobrealimentación.

También existe otro tipo de regulación en este tipo de turbos, mediante la utilización de una válvula de descarga o alivio, denominada blow off o dump valve, que actúa directamente en la admisión abriéndose para reducir la presión cuando esta se eleva en demasía principalmente por motivos de fiabilidad para el turbo, sobre todo cuando la mariposa de admisión está cerrada. Esta válvula es más bien utilizada en motores gasolina y sobre todo de competición. Su regulación normalmente es puramente neumática, de forma que se abre cuando la presión de sobrealimentación supera a la del tarado de esta válvula.

Debido a sus características, se emplean tanto en gasolina como en diesel, ya que permiten resistir altas temperaturas.

#### 4.2.3.1.2 Turbos de geometría variable – TGV

Los turbos de geometría variable son una evolución de los turbos de geometría fija, en el que se puede variar la sección de paso de los gases en la turbina con el fin de variar su velocidad, y por consiguiente la del rodete, pudiendo así mejorar el rendimiento del turbo (conjunto turbina-compresor), y por tanto el del motor, al poder buscar la velocidad óptima del turbo, en la que su rendimiento es mayor aprovechando al máximo el caudal de gases de escape.

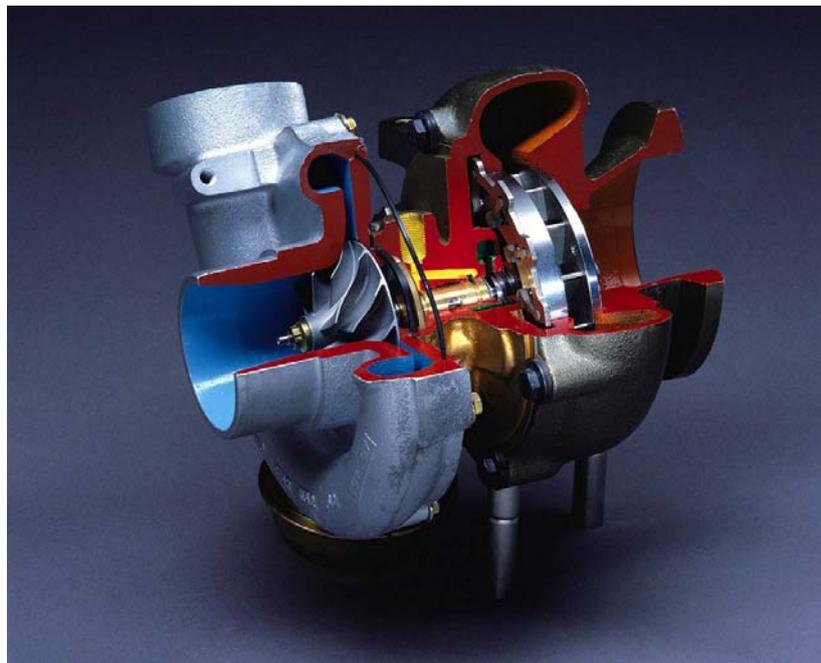


Fig. 47 – Turbo de geometría variable (<http://www.arpem.com/>)

Así, un turbo de geometría variable es aquel que dispone de unas aletas móviles en la sección de entrada a la voluta de la turbina lo que permite variar el área de paso de los gases de escape, lo que conlleva un cambio de la velocidad de los mismos, pudiendo así controlar la velocidad de giro del rodete, sin necesidad de emplear una válvula de descarga y a pesar de que todos los gases de escape pasen por la turbina.

De esta forma se puede variar la velocidad de los gases de escape en todo el campo de régimen del motor, tratando de conseguir el mayor rendimiento posible de los mismos, por ejemplo cuando el caudal de gases y su energía son muy bajos, a bajo régimen y bajas cargas, con el fin de obtener ganancia en consumo y prestaciones, al igual que en velocidad de respuesta, adaptando la posición de las aletas en función del punto de funcionamiento del motor.

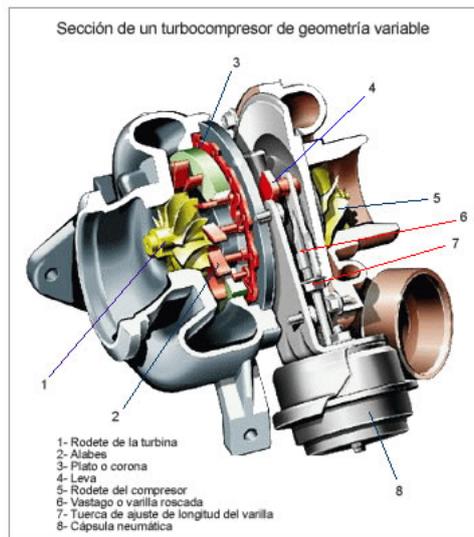


Fig. 48 – Componentes turbo de geometría variable (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

Las ventajas de este tipo de turbo que han hecho evolucionar los motores, de forma que la mayoría de automóviles diesel los monten frente a los turbos de geometría fija, son que permite obtener menores consumos, mayores prestaciones, una mayor linealidad en la aceleración, etc., ya que como se ha comentado se varía la sección de paso para variar la velocidad de flujo de los gases de escape, y por ende la del rodete, tratando de optimizar el rendimiento en cada punto de funcionamiento.

Mientras, en un turbo de geometría fija el rendimiento óptimo está definido para un punto de funcionamiento más concreto, y en el resto su comportamiento no es tan bueno, ya que en su elección se habrá privilegiado una determinada zona como puede ser el alto régimen para obtener mayores prestaciones de forma que, en bajas vueltas, este turbo de geometría fija apenas actuara comprimiendo el aire y el llenado será similar al de un motor atmosférico.

Para dar un ejemplo clarificador, el hecho de variar la posición de las aletas y conseguir así diferentes velocidades de los gases para cada punto de funcionamiento, sería como tener un turbo de geometría fija optimizado para cada uno de esos puntos de funcionamiento, por lo que la versatilidad de estos TGV es mayor.

En estos turbos, la regulación de la presión de sobrealimentación se hace variando la posición de los alabes, los cuales van comandados por un sistema mecánico de accionamiento neumático, y cuya regulación electrónica va integrada en la ECU con el resto de funciones y sistemas que completan la regulación del motor.

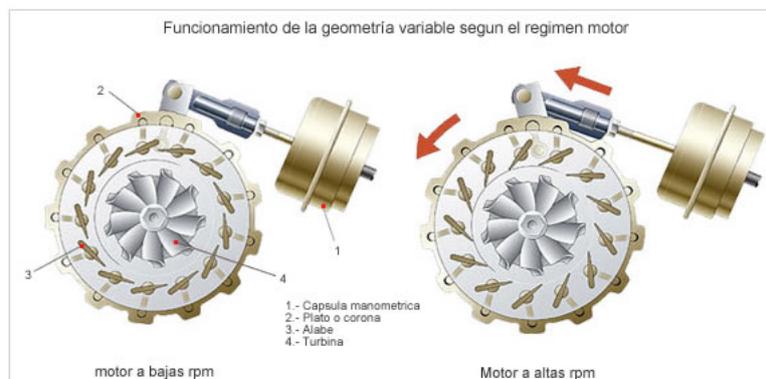


Fig. 49 – Accionamiento aletas turbo de geometría variable (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

Este sistema ha evolucionado, ya que en sus orígenes, esta regulación era puramente neumática, en función de la diferencia de presiones que existía con respecto a la presión del colector de admisión, pero actualmente la implementación de un sistema electrónico, que gobierna todos y cada uno de los

sistemas de control del motor, permite tener una mayor capacidad de regulación, pudiendo optimizar el funcionamiento del mismo para diferentes condiciones (temperatura de admisión, presión atmosférica, requerimientos del conductor, etc.). Este tipo de accionamiento neumático es muy similar al de la válvula wastegate de los turbos de geometría fija.

En cuanto a su uso, debido al mecanismo que permite variar la sección de paso, estos turbos son más sensibles a las altas temperaturas por lo que actualmente se usan casi exclusivamente en motores diesel, con unas temperaturas de escape en torno a los 700°C, mientras que en los motores gasolina estos gases pueden alcanzar los 1.000°C por lo que hasta la fecha el coste de los materiales para que el sistema sea fiable no ha permitido una mayor implantación en este tipo de motores. Actualmente, el Porsche 911 Turbo de altas prestaciones es uno de los vehículos con motor gasolina que monta este tipo de turbo con geometría variable.

### 4.2.3.2 Compresor mecánico

Los compresores mecánicos, volumétricos o de desplazamiento positivo, aunque datan de inicios del siglo XX, se emplean en automoción especialmente a partir de finales de los años 80, si bien tienen ciertas ventajas frente a los turbocompresores, su introducción ha sido escasa, debido a que por sus características también presentan importantes desventajas.

Entre las ventajas más importantes que tiene este tipo de sobrealimentador es que ofrece mayor par a bajas vueltas, no tiene retraso en la respuesta y la entrega de potencia es más lineal, en cambio su principal desventaja es que la potencia empleada para su accionamiento es suministrada por el propio motor, restándole pues prestaciones, y este hecho es más acusado cuanto mayor es el régimen, lo que disminuye el rendimiento del motor. Otra de las desventajas que presenta es una mayor dificultad de implantación en el vano motor debido a su mayor volumen y mayor peso.

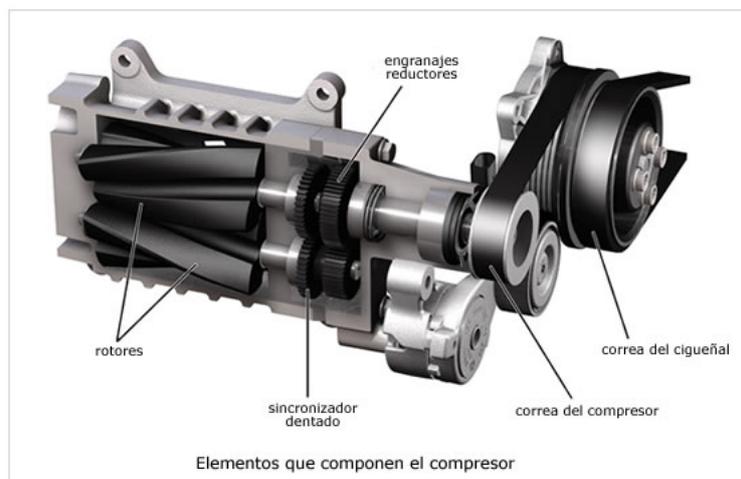


Fig. 50 – Compresor mecánico roots (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

En cuanto a su regulación, podemos decir que es escasa, ya que su propio diseño fija la capacidad de compresión, y su medio de accionamiento mecánico por el cigüeñal, a través de una correa, cadena o engranajes, establece un régimen de giro proporcional al régimen de giro del mismo que determina la presión de sobrealimentación en función del caudal de aire de admisión, sin existir ninguna válvula para dicha regulación. Así, la única regulación que disponen estos compresores es el embrague magnético, comandado por la ECU, que permite acoplar y desacoplar el eje a la polea que es accionada por el cigüeñal mediante una correa, tratando así de controlar las pérdidas de potencia.

Son empleados casi exclusivamente en motores de encendido provocado y su implantación es meramente testimonial, sólo algunas marcas como Mercedes y Mazda lo emplean en alguno de sus motores, y Volkswagen lo hizo en los primeros años de la década de los 90.

### 4.3 Sistemas de encendido (MEP)

El sistema de encendido es utilizado en los motores de gasolina, de ahí el origen de su nombre MEP (motor de encendido provocado), y es el encargado de hacer saltar una chispa en el interior del cilindro mediante una bujía, a partir de la energía eléctrica almacenada en la batería, de forma que se produzca el inicio la combustión de la mezcla aire-gasolina.

A continuación vemos una imagen de un sistema de encendido convencional (regulado mecánicamente), con sus diferentes componentes, de los cuales se explicará su función.

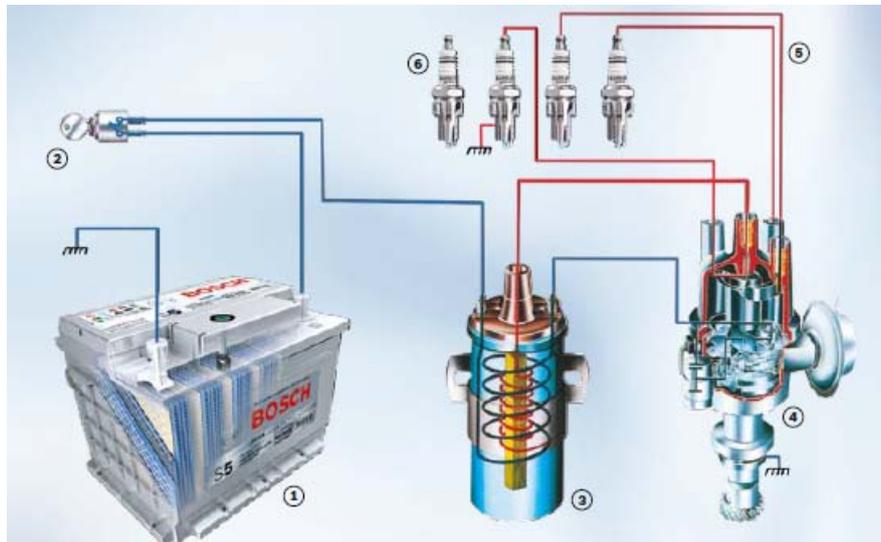


Fig. 51 - Esquema y componentes de un sistema de encendido convencional

[\(http://www.xn--bosch-tecnologadelautomvil-roc1p.es/\)](http://www.xn--bosch-tecnologadelautomvil-roc1p.es/)

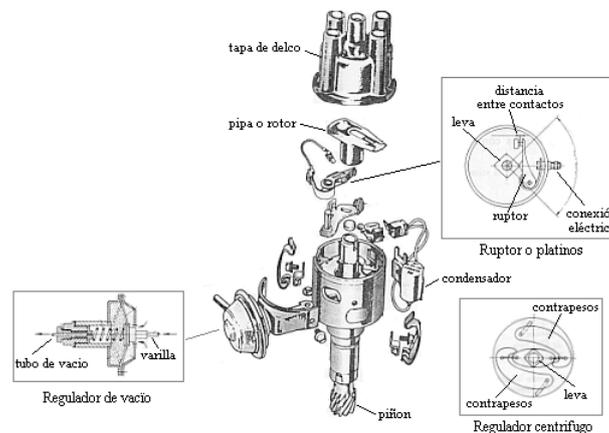
1. Batería: es la encargada de almacenar y suministrar la energía eléctrica necesaria para hacer saltar la chispa.
2. Llave de contacto y arranque: es el interruptor que nos permite cerrar el circuito para alimentar las bobinas, además de accionar el motor de arranque.
3. Bobina: es un transformador que permite convertir la baja tensión suministrada por la batería (12-14V), en alta tensión (del orden de 10.000 a 20.000V) para conseguir hacer que salte la chispa.
4. Distribuidor: es el encargado de distribuir la alta tensión de encendido a cada una de las bujías en un orden predeterminado (1-3-4-2 en un motor de 4 cilindros en línea), para que la chispa salte en cada cilindro durante la carrera adecuada del ciclo (compresión).
5. Cable de encendido: son los responsables de conectar el distribuidor con cada una de las bujías para proporcionarles la alta tensión.
6. Bujías de encendido: son los elementos metálicos formados por una parte cerámica aislante dentro de la cual tenemos el electrodo central por el que circula la corriente, y en la parte externa está el cuerpo metálico que en su extremo posee uno o varios electrodos, hacía los cuales salta la chispa (con el fin de iniciar la combustión) desde el electrodo central gracias a la diferencia de potencial, dado que se cierra el circuito al ir dicho cuerpo roscado en la culata.

Estos elementos son los básicos de un sistema de encendido convencional, de los cuales algunos son sustituidos por otros diferentes que realizan la misma función o eliminados en los sistemas más evolucionados, al incorporar la electrónica. De ellos vamos a tratar en los siguientes subapartados con el fin de presentarlos (sin detallar todos sus elementos y su principio de funcionamiento) y explicar el porque de su evolución.

### 4.3.1 Encendido convencional por platinos

El primero de los sistemas es el de encendido convencional por platinos, que es un sistema puramente mecánico en lo que se refiere a la distribución de la corriente hacia cada una de las bujías (en un orden determinado para cada cilindro), por medio del distribuidor o delco, además de su gestión ya que la regulación también es mecánica y el instante de encendido se controla con este elemento por la combinación de un regulador centrífugo y un regulador de vacío. Su uso se ha extendido desde la aparición de los motores hasta la década de los 80 cuando comenzó el dominio de los sistemas electrónicos, y desde 1960-70 había coexistido con otros sistemas que lo mejoraban, como el encendido transistorizado.

En la imagen siguiente vemos una descomposición de los diferentes elementos que forman el distribuidor, que es el componente más complejo y con más funciones dentro de este sistema de encendido (capaz de generar hasta 20.000 chispas por minuto).



**Fig. 52 - Esquema de los elementos de un distribuidor** (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

Así pues, teniendo en cuenta las múltiples funcionalidades del distribuidor, sus elementos y funciones son:

- ❖ Regulador centrífugo: elemento mecánico que permite variar automáticamente el avance de encendido en función de las revoluciones del motor.
- ❖ Regulador de vacío: elemento mecánico que permite variar automáticamente el avance de encendido en función de la carga del motor.
- ❖ Ruptor o platinos: es el mecanismo que abre y cierra el circuito primario de la bobina de encendido, lo que permite generar la corriente de alta tensión y que además salte la chispa en el momento adecuado, según esté definido por los reguladores anteriores, ya que la leva de accionamiento de este es solidaria al eje del distribuidor.

De esta forma, el sistema de accionamiento y la regulación son puramente mecánicos, estando reglado un avance de base que permite mantener un ralenti estable, y luego podemos regular en función del régimen, estando definido el punto de funcionamiento por el giro del árbol de levas, al cual va unido el eje del distribuidor girando al mismo régimen de este (es decir, la mitad que el cigüeñal), y también podemos regular en función de la carga, estando definido el punto de funcionamiento por la depresión generada en el colector de admisión.

Teniendo en cuenta estas características, se puede decir que este sistema ofrece un buen funcionamiento y satisface las necesidades de la mayoría de motores (no tanto en los de altas prestaciones), y tiene ciertas limitaciones en cuanto a su aplicación dado su principio de funcionamiento ya que el raptor pierde eficacia a alto régimen (rebota y no cumple bien su cometido), y cuanto mayor es el número de cilindros menor es el régimen efectivo del mismo, además de que se desgasta por la chispa – no deseada – que se genera entre sus contactos al cortar la corriente (efecto que se minimizaba añadiéndole un condensador), y también presenta limitaciones en cuanto a la

capacidad de optimización que permiten estos dos reguladores, ya que sus componentes mecánicos (geometría, rigidez de muelles, etc.) definen la posible variación del punto de encendido respecto al prefijado para el ralenti.

A estas limitaciones debemos sumar otras desventajas, como puede ser el desgaste de todos los elementos mecánicos, ya que al girar estos elementos rozan unos con otros, y con el uso del motor este desgaste provoca desajustes del sistema, lo que hace que no se aplique el avance adecuado, o que incluso existan fallos de encendido, lo que hace necesario el paso por el taller con relativa frecuencia para volver a regularlo, o sustituir alguno de sus elementos.

Existe un sistema convencional mejorado al que se le añade un transistor, pero manteniendo el ruptor, esto permite tener una mayor tensión en el primario de la bobina y por lo tanto en el secundario de la bobina, y a su vez en las bujías para obtener una mejor chispa, pero sigue existiendo la posibilidad de rebote en los contactos del ruptor (puede generar hasta 24.000 chispas por minuto), con el consiguiente fallo de encendido a alto régimen. El hecho de implantar un transistor permite eliminar el condensador y aún existiendo una mayor tensión en el primario de la bobina, no hay chispa entre los contactos del ruptor y estos apenas se desgastan reduciendo el mantenimiento del sistema.

En las imágenes siguientes podemos ver los esquemas de un sistema de encendido convencional con ruptor por contactos y otro con ayuda electrónica por transistor y ruptor con rebote reducido.

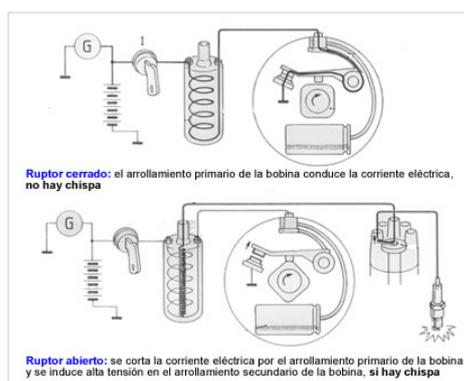


Fig. 53 - Sistema convencional con ruptor

<http://www.aficionadosalamecanica.net/>

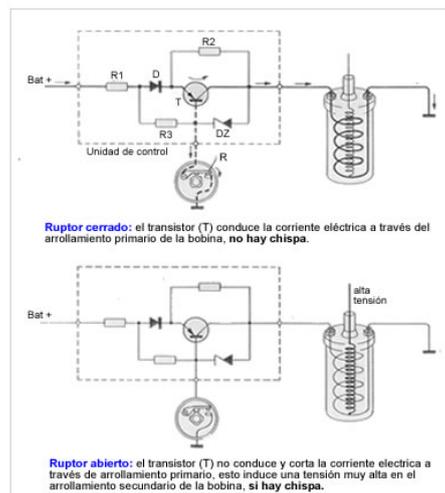


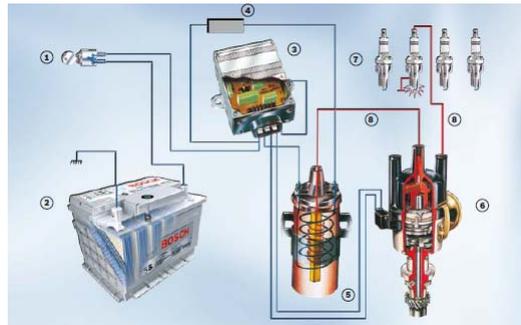
Fig. 54 - Sistema convencional con transistor

<http://www.aficionadosalamecanica.net/>

### 4.3.2 Encendido transistorizado

Debido a las limitaciones del sistema convencional fue necesario el desarrollo de un sistema de encendido que mejorase estos inconvenientes, por lo que apareció el sistema de encendido transistorizado.

Este sistema es en realidad muy semejante al sistema convencional "mejorado" (con ayuda electrónica por transistor y ruptor de rebote reducido), pero se sustituye uno de sus elementos más problemáticos como es el ruptor del distribuidor, por un generador de impulsos lo que elimina los contactos y los problemas de desgaste (sin mantenimiento). La función de corte corriente en el primario de la bobina realizada anteriormente por el ruptor y el transistor se realiza ahora únicamente por el transistor, el cual está comandado por una electrónica algo más evolucionada que gestiona la señal del generador de impulsos para definir el momento de apertura del transistor.



**Fig. 55 – Sistema de encendido transistorizado sin contactos** (<http://www.xn--bosch-tecnologadelautomvil-roc1p.es/>)

Sin entrar en detalles diremos que existen dos tipos de encendido por transistor en función del tipo de generador de impulsos empleado para comandar la apertura y cierre del transistor, y son:

- ❖ Encendido con generador de impulsos de inducción.
- ❖ Encendido con generador Hall.

La electrónica aplicada en este sistema sólo se utiliza para cortar la corriente en el circuito primario de la bobina e inducir una corriente en el secundario de la misma y así hacer saltar la chispa, pero aún no se aplica para gestionar la regulación del punto de encendido, por lo cual este sistema aún sigue teniendo ciertas carencias en cuanto a la parametrización, ya que el distribuidor mantiene el regulador centrífugo y el de vacío.

Otra de las mejoras de este sistema es el empleo de bobinas de menor impedancia que permiten una subida más rápida de la alta tensión, y existe menos riesgo de pérdida de la chispa por derivaciones eléctricas, además es capaz de proporcionar hasta 30.000 chispas por minuto.

Este sistema apareció durante los años 70, desarrollado por la marca BOSCH, el cual se denominó TSZ-I, años más tarde se aplicó el generador de efecto Hall, ya en 1991 con el sistema TZ-H.

### 4.3.3 Encendido electrónico

Como se ha visto precedentemente el encendido transistorizado era un sistema de encendido convencional mejorado al eliminar el ruptor por contactos y añadir el transistor y la electrónica para gobernarlo, pero aún seguía teniendo algún inconveniente por lo que era necesario desarrollar algún nuevo sistema, por lo que apareció el sistema de encendido electrónico, en el que la parametrización del momento de encendido es electrónica y por ende más precisa.

En este sistema ya no existen elementos mecánicos, y la gestión electrónica no sólo se aplica en la parametrización, sino en la adquisición de las señales adecuadas para conocer el punto de funcionamiento, siendo electrónico todo el proceso de control (adquisición, regulación y comando), para lo que se añaden un captador de revoluciones del motor y otro de presión colector para conocer la carga del motor.

El origen de estos sistemas se encuentra en la década de los 60, cuando los sistemas de encendido empiezan a integrar la electrónica para su control, si bien, no es hasta 1983 cuando BOSCH desarrolla su sistema EZ, el primero en tener una regulación completamente electrónica, aunque no así la distribución.

Así pues, dentro de los sistemas de encendido electrónico existen dos tipos:

- ❖ Encendido electrónico integral: este sistema mantiene el distribuidor del que se eliminan los sistemas mecánicos de regulación centrífuga y por vacío, ya que su única función es alimentar a cada una de las bujías.

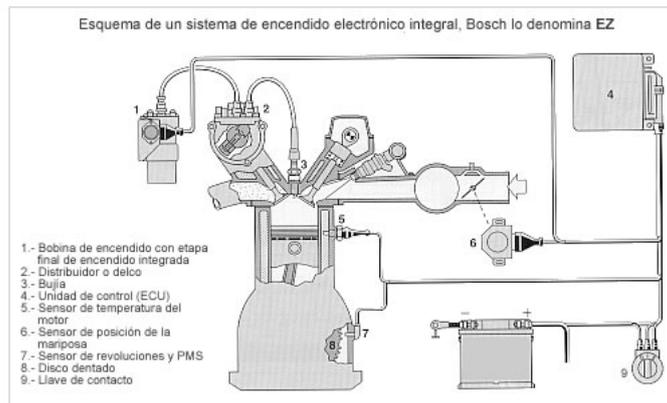


Fig. 56 – Esquema de un sistema de encendido electrónico integral (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

- ❖ Encendido electrónico estático (DIS): este sistema elimina el distribuidor por una o varias bobinas.

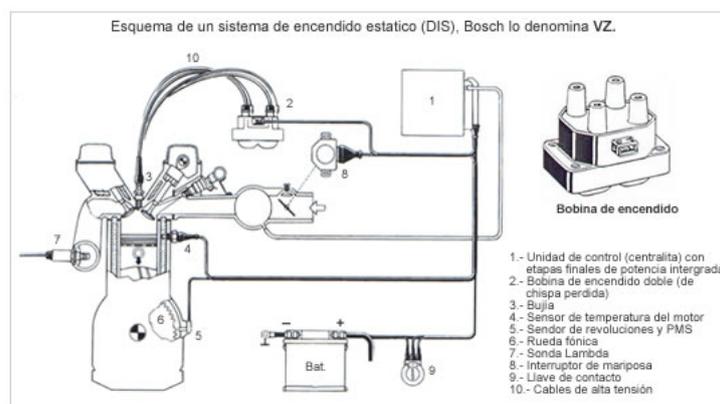


Fig. 57 – Esquema de un sistema de encendido electrónico estático (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

Estos dos sistemas de encendido son los más avanzados, siendo mayoritariamente utilizado el sistema estático por la supresión del distribuidor, aún así ambos tienen las mismas ventajas en cuanto a la capacidad de regulación al estar gestionada electrónicamente en función de las señales adquiridas por los sensores incorporados en lugar de los sistemas mecánicos, además de poder aplicarle correcciones suplementarias (en función de la temperatura de agua, de la tensión de batería, o por detección de picado, etc.), con lo que se obtiene una mayor precisión y el avance aplicado está optimizado para cada cualquier punto de funcionamiento, lo que facilita la consecución de las demandas a nivel de prestaciones, consumo, emisiones, etc.

Aún así, algunos elementos del sistema han seguido evolucionado para obtener mayor rendimiento, como pueden ser las bobinas pasando a montar una por cilindro, con el fin de que no se produzca chispa en varios cilindros a la vez, ya que sólo se aprovechará para la combustión en uno de los cilindros.

Las principales ventajas del encendido electrónico frente al sistema convencional son:

- ❖ La eliminación de elementos mecánicos de regulación que evita desgastes y por consiguiente desajustes, además de apenas requerir mantenimiento.
- ❖ El punto de encendido es parametrizable en función de múltiples parámetros, además de ser más rápido y también preciso.
- ❖ Garantiza el salto de la chispa incluso a altas revoluciones manteniendo constante la tensión de encendido.

## 4.4 Sistemas de postratamiento

Ante el desarrollo de diferentes normativas y leyes cada vez más restrictivas en materia de emisiones, la evolución de los sistemas de control y sus elementos no ha sido suficiente para satisfacerlas, lo que ha hecho necesario la implantación de algunos componentes que son igualmente gestionados por la ECU, ya que la interrelación de estos con los sistemas básicos es más directa impactando en su regulación, ya que requieren parametrizaciones específicas.

Así pues, salvo el canister, específico de los motores gasolina, vamos a describir otros dos de estos sistemas, aplicados casi exclusivamente en motores diesel, a partir de mediados de los años 2000, pero que se pueden hacer necesarios también en los motores gasolina próximamente por las nuevas tecnologías empleadas y las normativas de emisiones.

### 4.4.1 Regeneración FAP - Filtro antipartículas

Por el combustible utilizado y su principio de funcionamiento los motores diesel desprenden un buen número de partículas sólidas, producidas durante la combustión ya que parte del combustible pulverizado se expulsa en forma de hollín, al no haberse podido quemar correctamente. Estas partículas son microscópicas, aunque pueden ser de diferentes tamaños, y sin embargo son las que, hace unos años, hacían ver grandes humaredas negras tras los vehículos diesel en fuertes aceleraciones.

Estas partículas son perjudiciales para la salud, por lo que el endurecimiento de la normativa para reducir la cantidad de estas que se emiten ha hecho introducir un filtro en la línea de escape para su tratamiento y reducción/eliminación, ya que a pesar de las mejoras de los sistemas de inyección comentadas anteriormente, estas se siguen produciendo.

Estos sistemas no se han empezado a integrar hasta la implantación de la normativa EURO4, y en cuanto al FAP en sí, no se detallará, puesto que su función principal es acumular las partículas, lo cual no requiere ninguna gestión. Ahora bien, ese cúmulo de partículas hay que controlarlo para no llegar a colmatar el filtro, y una vez más todo esto lo ha permitido el desarrollo de la electrónica y su incorporación a la gestión de los motores.

Así pues, para el control de la masa acumulada y el posterior proceso de eliminación se requieren añadir multitud de captadores que permitan conocer entre otros, las temperaturas de escape a la entrada y salida del catalizador, del FAP, de la turbina, al igual que las presiones en los mismos puntos, como se puede ver en la imagen siguiente.



Fig. 58 - Esquema de un motor con FAP (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

Durante el funcionamiento normal del motor, este genera partículas que se van acumulando en el filtro, y la ECU va controlando la masa acumulada en función de las temperaturas y presiones antes y después del filtro (le electrónica mejorada y el empleo de modelos matemáticos permite a veces suprimir el captador de presión post-FAP), y cuando la masa ha superado cierto umbral la ECU indica que es necesario regenerar, y este es un proceso que sí que tiene impacto en el funcionamiento del motor.

La regeneración consiste en quemar las partículas almacenadas en el FAP, para vaciarlo y que este pueda seguir acumulando partículas, sin llegar nunca a colmarse, lo que podría llegar a destruir el

propio filtro, incluso el motor. Para la regeneración, el FAP necesita altas temperaturas (entorno a 600-650°C) y para ello este sistema hace que el motor entre en un modo de funcionamiento específico, que degrada la combustión.

Este sistema, como todos los que descritos, ha evolucionado por las exigencias en cuanto a emisiones en este caso, si bien no todos los constructores utilizan la misma tipología/arquitectura, ni por consiguiente modo de regeneración.

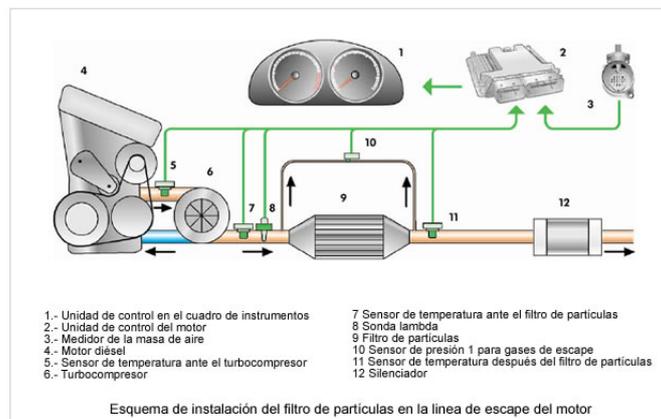


Fig. 59 - Esquema de un motor con FAP y su sistema de regeneración (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

En su origen, estos sistemas necesitaban de un sistema auxiliar para dosificar un aditivo al combustible que bajaba la temperatura de ignición de las partículas, no siendo necesario conseguir temperaturas de escape tan altas mediante la degradación de la combustión, si bien su parametrización es específica. También han existido otros sistemas que incorporaban un "inyector" de combustible posicionado después del turbo, que tampoco necesitaba temperaturas de escape tan altas, ya que este combustible se inyectaba y quemaba directamente en el escape lo que hacía aumentar la temperatura del FAP para conseguir quemar las partículas. Aún así, igualmente utiliza una parametrización específica que degrada la combustión normal para conseguir temperaturas de escape más elevadas.

Actualmente por motivos de fiabilidad, coste y simplicidad, los sistemas de regeneración se basan principalmente en un modo de combustión específico que degrada la combustión de forma que parte del combustible se inyecta para que salga hacia el escape sin haberse quemado en el cilindro, además de restringir el aire de admisión favoreciendo temperaturas de combustión más altas en la cámara, entre otras cosas. Y esto ha sido gracias al empleo de electrónica más avanzada e inyectores más rápidos y precisos, que por ejemplo permiten hacer varias inyecciones tardías.

A continuación podemos ver un esquema general de inyección de un sistema diésel, en el que se muestran las inyecciones utilizadas en el modo de combustión específico para regenerar el FAP.

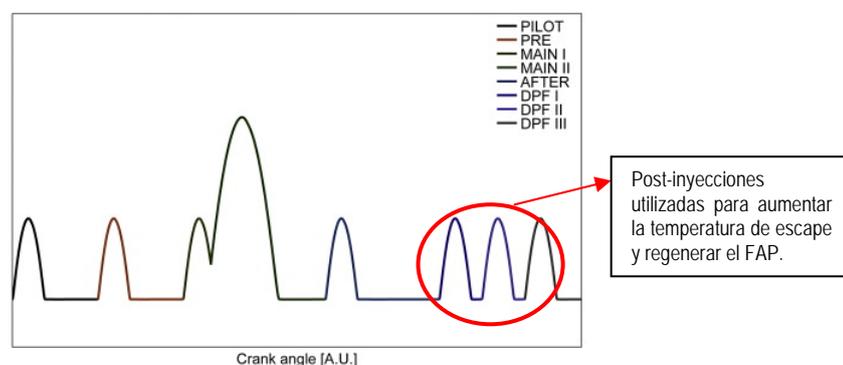


Fig. 60 - Esquema de inyección múltiple en diésel (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

De momento este sistema se utiliza exclusivamente en los MEC, pero debido al crecimiento del uso de la inyección directa en los MEP y la necesidad de cumplir la nueva normativa EURO6, en la que se

reducen drásticamente los niveles de las partículas que se pueden emitir, puede hacer necesario su implantación en este tipo de motores.

#### 4.4.2 Sistema DeNOx-DeSOx

Estos sistemas apenas están extendidos en motores de vehículos utilitarios, sino que más bien se han venido utilizando en motores de vehículos industriales, debido a que este tipo de motores, por sus características de funcionamiento encuentran más dificultades para respetar la normativa vigente, a pesar de incorporar la EGR que es el sistema más extendido para reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno.

En cambio, a partir de la entrada en vigor de la normativa EURO6, en las que las emisiones de estos compuestos de nitrógeno se reducen aún más, estos sistemas DeNOx se van a implantar también en los vehículos particulares para poder cumplir dicha normativa.

Buena parte de la acción de estos sistemas se lleva a cabo en la línea de escape, principalmente en el catalizador con el fin de reducir los óxidos de nitrógeno para que por el escape acabe saliendo nitrógeno en su lugar, y para ello se utilizan diferentes sistemas que implican en algunos casos un modo de funcionamiento específico del motor.

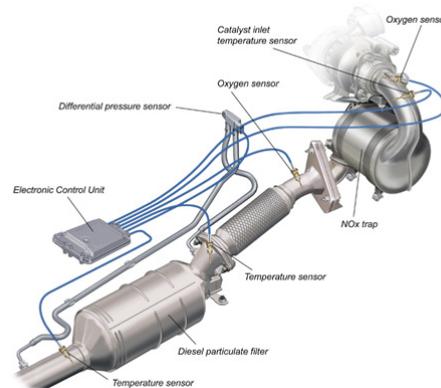


Fig. 61 - Esquema de un sistema de DeNOx (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

De nuevo, al igual que el resto de los sistemas de los que se habla en este documento, ha sido posible su integración gracias a las mejoras tecnológicas, e inducido por las exigencias anticontaminantes, y requiere la incorporación de nuevos sistemas que permitan su control, y estos a su vez necesitan información para gestionar el proceso, por lo que se han añadido nuevos captadores como son sondas de temperatura y sensores de NOx.

Uno de los sistemas utilizados es la inyección de urea (contiene amoníaco -NH<sub>3</sub>-) en el escape con el fin de reducir los óxidos de nitrógeno, para lo cual se necesita un catalizador de reducción específico donde se realizan los procesos SCR (reducción catalítica selectiva). Este no requiere un modo de combustión específico, por lo que en principio no afecta al funcionamiento del motor normal. La urea se almacena en un depósito adicional, diferente al de combustible, con el que no se mezcla.

Otro de los sistemas son las trampas de NOx (NOx trap), básicamente se trata de un catalizador al que se le añade otra impregnación que le permite retener los óxidos de nitrógeno, que luego deben ser reducidos. Para llevar a cabo esta reducción este sistema sí que impacta el funcionamiento del motor ya que requiere un modo de combustión específico, en el que el motor diesel debe trabajar con dosado estequiométrico (riqueza a uno) al contrario que en su funcionamiento normal ya que trabaja en mezcla pobre con exceso de oxígeno, siendo la riqueza no superior a valores de 0'6-0'7, y esto no permitiría la reducción de los NOx capturados.

El riesgo de estas trampas de NOx es que la impregnación del catalizador también atrae los SOx, reteniéndolos, lo que es perjudicial para el sistema, ya que ocupan el lugar de los NOx no pudiendo realizar la reducción de los mismos. Es por eso que aparece otro modo de combustión específico para la eliminación de los SOx retenidos en el catalizador, ya que se requieren altas temperaturas además

de una mezcla estequiométrica, lo que permite reducir los SOx, dejando el espacio en el catalizador para la absorción de los NOx.

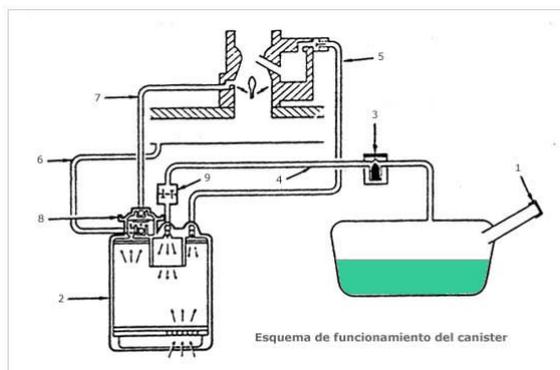
Estas tecnologías están aún en desarrollo y son de uso predominante en los motores diesel, aunque pueden tener que llegar a emplearse en los motores gasolina. Además son susceptibles de que mejoren en un breve periodo de tiempo, o de que aparezcan nuevos sistemas que realicen esta función.

#### 4.4.3 Purga Canister

El Canister es un filtro de carbón activo, siendo este sistema exclusivo de los MEP, dadas las características de volatilidad e inflamabilidad de la gasolina, que puede evaporarse a temperatura ambiente con relativa facilidad. Esta evaporación de hidrocarburos es otra de las formas de contaminación de este tipo de motor, y para eliminarla se introdujo el Canister que evita que estos gases evaporados salgan a la atmósfera, reteniéndolos para después enviarlos al motor y quemarlos durante la combustión en los cilindros.

Este sistema es por lo tanto otro de los introducidos por razones anticontaminantes, de ahí que el hecho de englobarlo en este apartado, y si bien su principio de funcionamiento no ha cambiado, su sistema de control sí lo ha hecho, siendo en sus inicios puramente mecánico para en la actualidad estar gestionado electrónicamente por el ECM, permitiendo una mejor gestión.

Aquí vemos un esquema de un sistema Canister con regulación mecánica, en el que el trasvase de gases desde el depósito hacia éste se realiza por diferencia de presiones, al igual que su descarga/purga hacia el colector de escape.



**Fig. 62 - Esquema de un Canister con regulación mecánica** (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

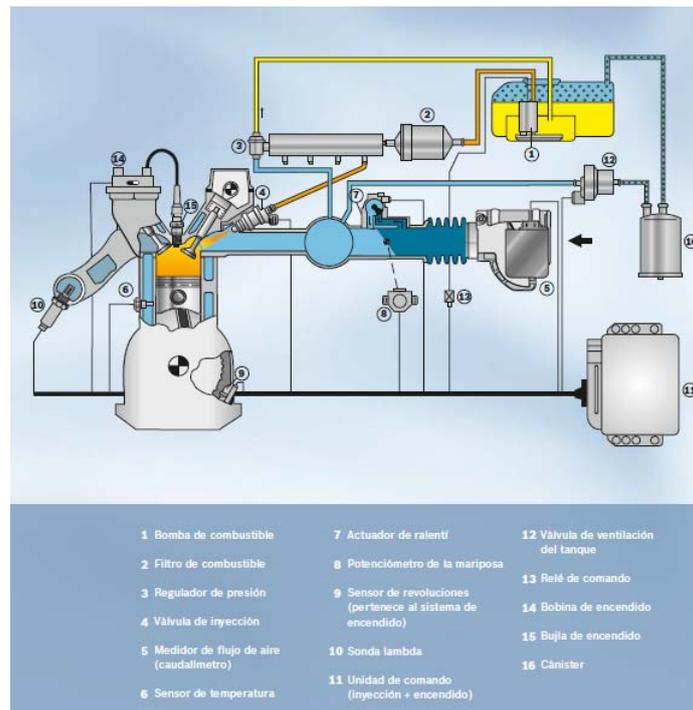
Desde su implantación, aún siendo un sistema cuyo fin es evitar las emisiones de hidrocarburos evaporados del depósito de combustible, este no ha evolucionado tanto como el resto debido al aumento de las exigencias normativas en lo que atañe a los contaminantes que trata de reducir, sino que su evolución ha sido más bien originada por la implantación de otros sistemas como la inyección electrónica, con la cual esta estrechamente ligada.

Así los primeros sistemas con regulación mecánica, mediante válvulas que abrían y cerraban por diferencias de presión (elementos 3, 8 y 9 de la figura precedente), no permitían más que el corte de la purga durante el ralentí, evitando enriquecer la mezcla, pero sin controlar su dosificación. En cambio, la incorporación de la inyección electrónica, ligada al uso de los catalizadores como se ha descrito anteriormente, hace necesario que la purga del Canister se controle igualmente electrónicamente.

Siendo así, este sistema es controlado por la ECU que gestiona igualmente la inyección de combustible, a la cual está estrechamente ligado, permitiendo regular la purga en función de muchas más condiciones que las que permitían las válvulas del sistema mecánico, aprovechando la multitud de información disponible de los diferentes parámetros en cada punto de funcionamiento del motor gracias a los sensores que envían estos parámetros al calculador.

De esta forma la purga se regula principalmente en función de la temperatura del motor, el régimen y la carga, inhibiéndola en determinadas condiciones y controlando la dosificación de estos gases retenidos en el filtro de carbón activo hacia el colector de admisión para mantener la riqueza a 1, ya que la purga haría aumentar la proporción de combustible en la mezcla.

Dado este caso las sondas lambda del escape, que nos sirven para gestionar la inyección con el fin de mantener en el dosado estequiométrico para el buen funcionamiento del catalizador, nos envían información de que la mezcla es rica (exceso de combustible) de forma que se corta la purga hasta que de nuevo se recibe una señal de que la mezcla tiene riqueza 1, manteniendo la eficiencia de la combustión. De ahí la estrecha relación de este sistema con el sistema de inyección electrónica y que estén ambos gestionados por la ECU.



**Fig. 63 - Esquema de un Canister con regulación electrónica** (<http://www.xn--bosch-tecnologadelautomvil-roc1p.es/>)

Por consiguiente, este sistema permite obtener un mayor rendimiento del combustible, al no perderlo por evaporación y aprovechándolo en la combustión, además de conseguir evitar la contaminación que esto supondría.

#### 4.5 Otros sistemas

Los motores disponen de otros sistemas auxiliares o complementarios, cuya función se puede decir que es imprescindible para hacer funcionar el motor, si bien solo están activos en momentos puntuales para realizar unas funciones muy concretas.

Estos sistemas han existido prácticamente desde el origen de los motores, y al igual que el resto han ido evolucionando gracias al avance de las tecnologías, de forma que han pasado de no tener apenas regulación y ser de tipo mecánica, a ser electrónica con múltiples parámetros de regulación, lo que permite otorgarles nuevas funciones con el fin de ayudar a satisfacer las nuevas necesidades de los motores (incluso las de emisiones).

En su mayor parte algunos de estos sistemas son relativamente independientes entre ellos y también con respecto al resto de sistemas, y aunque están relacionados con los sistemas básicos de un MCIA de 4T de automoción que se han descrito anteriormente (encendido, inyección y llenado), estos otros sistemas apenas tienen efecto en las funciones realizadas por los sistemas indispensables que actúan en el motor de forma continuada. Es por ello que desde la introducción de la ECU, está única unidad electrónica gestiona todos estos sistemas del motor, como son los de los apartados siguientes.

#### 4.5.1 Sistema de arranque

Este sistema por sencillo que parezca, puesto que sólo se emplea para hacer girar el motor térmico y posibilitar que éste arranque, ha sufrido también una gran evolución teniendo más funciones de la inicial para la que fue concebido.

Así pues, para la función de arranque como tal no hay grandes cambios, y no existe regulación alguna por parte del control motor, ya que el régimen de giro está condicionado por las características del propio motor y su corriente de alimentación, pero la regulación electrónica que se le aplica permite gestionar el motor de arranque en cuanto a su activación y desactivación.

Es decir, la incorporación de la gestión electrónica a este sistema ha permitido entre otras cosas controlar por ejemplo el tiempo de activación del mismo, cortándole la alimentación cuando el motor térmico supera cierto umbral de régimen (cuando es capaz de girar de forma autónoma), o por el contrario si no supera ese umbral de arranque tras cierto tiempo, para evitar descargar la batería o sobrecalentar dicho mecanismo. Esta temporización se aplica ya para sistemas de arranque por llave o por botón, siendo el arranque por botón otra de las mejoras electrónicas introducidas.

Otra de las evoluciones de este sistema gracias a la gestión electrónica es la incorporación del sistema de parada y arranque automática, S&S, de forma que si se cumplen ciertas condiciones de temperatura de aire y agua, velocidad nula, detección de punto muerto y embrague sin accionar, etc., el sistema provoca una parada automática del motor, lo que permite obtener una ganancia en consumo y reducción de contaminantes (en paradas prolongadas como pueden ser semáforos, atascos,...). En caso de accionar el embrague para reemprender la marcha, el motor se arranca igualmente de manera automática.

#### 4.5.2 Sistemas de ayuda de arranque – MEC (Bujías de precalentamiento)

Este es un sistema propio de los motores diesel, debido a las características de dicho combustible (tendencia elevada a la inflamación) y al principio de funcionamiento de este tipo de motor (encendido por compresión) para facilitar el arranque, ya que se requieren ciertas condiciones de temperatura y presión en la cámara de combustión.

Es un sistema complementario que se emplea tanto en motores de inyección directa como indirecta, siendo estrictamente necesario en los motores de inyección indirecta para calentar la precámara de combustión, y en los de inyección directa siempre y cuando requieran arrancar a temperaturas inferiores de 0°C, para poder alcanzar la temperatura de inflamación que permita el inicio de la combustión y por consiguiente que el motor arranque.



Fig. 64 - Esquema de un sistema de precalentamiento (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

El sistema gestiona una bujía de incandescencia que permite calentar el aire de admisión, ya sea en la precámara o en la cámara de combustión de cada cilindro, pero en sus primeras aplicaciones estos sistemas apenas tenían posibilidades de regulación, siendo sistemas "todo o nada", alimentando las bujías siempre con el mismo voltaje cuando su intervención era requerida. Estos sistemas además eran muy lentos, llegando a necesitar hasta 30 segundos para el arranque.

En cambio en sistemas recientes, una electrónica evolucionada, al igual que unas bujías de precalentamiento más rápidas y eficaces permite conseguir un tiempo de arranque muy corto incluso a muy bajas temperaturas, del orden de 2-3 segundos, y no sólo eso, sino que estos sistemas tienen mayor capacidad de regulación y más funciones que las del arranque que fue el origen de su implantación.

Para saber cuando se puede activar el motor de arranque ya que la bujía ha alcanzado su temperatura y por consiguiente las condiciones de arranque son buenas, existe un testigo en el tablero de bordo que se apaga en ese momento.

Actualmente, la capacidad de regulación de este sistema permite adaptar la temperatura final de calentamiento de la bujía en función de la temperatura inicial de arranque, al igual que el tiempo de incandescencia necesario, lo que da a su vez mayor vida a las bujías, y optimiza el consumo eléctrico, no alimentándolas en exceso a temperaturas menos críticas. Esta regulación es posible gracias a una alimentación de las bujías mediante una señal PWM, que permite reducir la tensión de trabajo de las mismas, no aplicando los 12-14V de la batería por riesgo de destrucción de las mismas.

Como se ha mencionado, actualmente este sistema tiene más funciones que la de facilitar el arranque en frío, aplicándose en la fase posterior al arranque, durante una parte del calentamiento del motor, para calentar la cámara permitiendo tener una mejor combustión, aumentando la estabilidad del motor, con la reducción de emisiones y ruido que ello conlleva, además de calentar más rápidamente el motor.

Este sistema emplea los diferentes captadores de la ECU para conocer el punto de funcionamiento del motor y regular la tensión de alimentación necesaria en función de la temperatura de refrigerante, la del aire de admisión, la presión atmosférica, el régimen, la carga, etc., y la temperatura de la propia bujía, que sin embargo normalmente no se mide, sino que se estima con un modelo matemático, para lo cual durante el proceso de puesta a punto de este sistema es necesario emplear bujías especiales instrumentadas para medir su temperatura y ajustar así el modelo de forma que evitemos implantar bujías equipadas de termopares, lo que encarecería el motor.

## 5 Sistemas de control para optimizar el rendimiento motor

Debido a las crecientes y exigentes necesidades que se demandan a los motores, existen otros sistemas de control que se han introducido sobre todo para mejorar el rendimiento de los mismos, de forma que algunos de los componentes del motor (incluso elementos constructivos) que anteriormente tenían un rendimiento limitado, según el punto de funcionamiento, por los criterios de definición fijados durante su diseño, han pasado a tener una regulación que no tenían originalmente lo que permite una mayor capacidad de optimización de cada punto de funcionamiento en aras de una mejora del rendimiento.

Así pues, estos sistemas hacen que exista un mayor número de parámetros de los que depender y en base a los cuales se puede optimizar, adaptando los ajustes de los sistemas básicos de regulación (admisión del aire y la dosificación del combustible principalmente) para esos nuevos parámetros variables, que anteriormente eran fijos.

Algunos de estos sistemas no requieren una parametrización específica de lo que podemos decir que es el control de la combustión, sino que son ellos mismos los que disponen de una mayor capacidad de regulación tratando de que su rendimiento se adapte al de propio motor, con el fin de obtener el máximo rendimiento de ambos.

Actualmente estos sistemas no están implantados de forma muy extendida, aunque cada vez están más presentes debiéndose su introducción a necesidades relacionadas con la reducción de emisiones y el consumo primordialmente, e igualmente a la mejora de las prestaciones (mayor par y potencia).

A continuación se van a enumerar algunos de estos sistemas, sin entrar en grandes detalles de su evolución a lo largo de la historia, ni de los diferentes tipos existentes dentro de cada uno de ellos, sino que se trata de un simple esbozo para mostrar su existencia ya que, como se ha mencionado, su implantación es creciente para mejorar el rendimiento de los motores y originada en parte al empleo de la gestión electrónica, aunque también existieron variantes de regulación mecánica.

### 5.1 Distribución variable

Uno de los elementos constructivos de diseño prefijado que influyen en rendimiento del motor es la distribución, por lo cual su rendimiento es óptimo en un rango de revoluciones muy concreto dentro de todo el campo de funcionamiento motor, ya que su geometría define una alzada y unos ángulos de apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape fijos, puesto que no existe ningún tipo de regulación, como se puede ver en el diagrama siguiente.

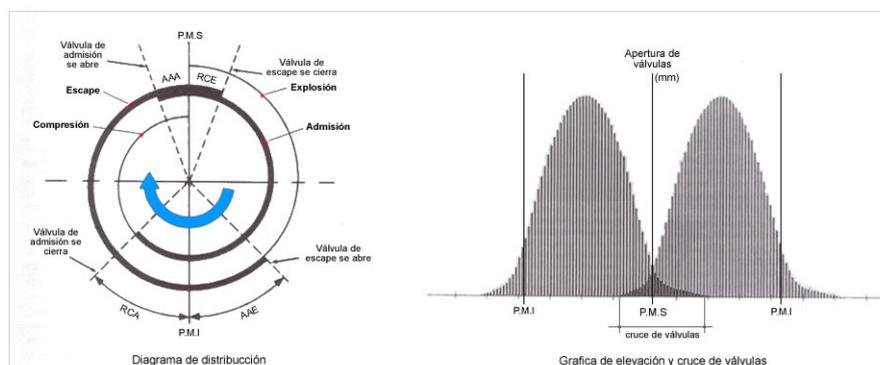


Fig. 65 – Diagrama de distribución de un sistema fijo (<http://www.aficionadosalamecnica.net/>)

Así pues, con el objetivo de mejorar su rendimiento, algunos motores emplean una distribución variable lo que permite establecer un diagrama de distribución diferente en función del punto de funcionamiento, para ello, aunque existen diferentes soluciones técnicas lo que se hace normalmente es variar la posición del árbol de levas respecto a su engranaje de accionamiento, pudiendo ser sistemas de tipo continuo (el ángulo que se gira el árbol de levas puede tomar cualquier valor dentro de un rango) o de tipo discreto (el ángulo de giro del árbol de levas solo puede tomar unos valores concretos). De esta

forma, la distribución variable permite optimizar el diagrama de distribución en función de la carga y el régimen del motor con el fin de obtener diferentes ángulos de apertura y cierre de las válvulas que permitan mejorar tanto el llenado del cilindro como la evacuación de los gases de escape, con una mayor o menor cruce de válvulas en función de los requerimientos de cada punto.

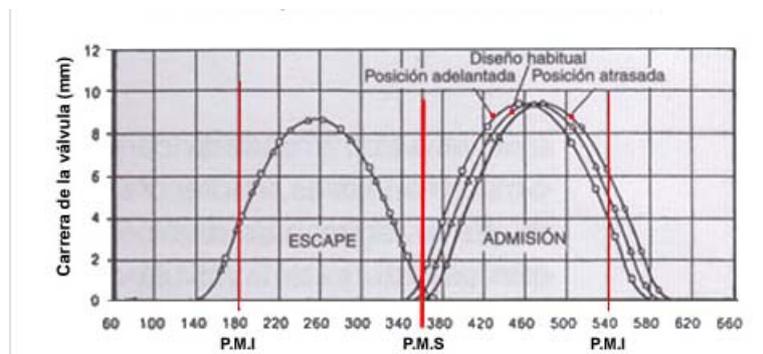


Fig. 66 – Diagrama de distribución variable en admisión (<http://www.aficionadosalamecanica.net/>)

Igualmente existen otros sistemas que permiten además variar el levantamiento de las válvulas, ya sea por el empleo de unas levas secundarias con otro perfil diferente que no solo varía la alzada, sino la apertura y cierre de las válvulas, o en cambio se utilizan unas levas cónicas buscando el mismo efecto, pero permitiendo una mayor capacidad de regulación al tener múltiples diagramas de distribución según el perfil cónico de la leva, mientras que los sistemas de leva secundaria solo disponen de dos diagramas de distribución, normalmente uno para bajas cargas y regímenes, y el otro para altas cargas y regímenes.

De esta forma, la distribución variable, que permite disponer de diferentes diagramas de distribución, consigue mejorar el rendimiento del motor de por sí eligiendo el diagrama más adecuado según el punto de funcionamiento, y a su vez permite la optimización del resto de sistemas en función de estos nuevos parámetros, ya que la posición del árbol de levas siempre será una de las entradas necesarias para definir el punto de funcionamiento, con lo que se puede conseguir una mejor combustión en todo momento, pudiendo establecer diferentes criterios de priorización como puede ser mejorar el consumo y emisiones a bajos regímenes, y las prestaciones a altos regímenes, sin olvidar mantener un compromiso entre ambas.

## 5.2 Bomba de aceite pilotada

Los motores normalmente en su parte inferior, bajo el bloque de cilindros, disponen de un carter donde se recoge el aceite utilizado para lubricar las partes móviles del motor, a la vez que refrigerarlas, este carter puede ser húmedo si se encarga de acumularlo o seco si se envía a un depósito auxiliar para su acumulación. Independientemente de esto, este aceite acumulado ha de ser enviado por una bomba hacia los elementos móviles del motor para asegurar su lubricación, siendo normalmente estas bombas de tipo fijo.

Esta bomba suele estar accionada por el cigüeñal o los árboles de levas, por lo que implica una pérdida de prestaciones del motor o un sobre consumo en determinadas situaciones en las que por su diseño su rendimiento es bajo, es por esto que para reducir el consumo, las emisiones, y no minorar las prestaciones del motor existen bombas de aceite pilotadas o de regulación variable, lo que permite establecer una presión y caudal de aceite adecuados al punto de funcionamiento, que asegure la lubricación correcta manteniendo un rendimiento óptimo del conjunto tratando de reducir las pérdidas que dicha bomba genera al ser accionada.

## 5.3 Termostato pilotado

Otro de los sistemas que ha evolucionado es el sistema de refrigeración del motor (hablando de sistemas de refrigeración líquida), con el objetivo de aumentar el rendimiento motor, para ello el

termostato incorpora un pilotado electrónico, en lugar de la regulación mecánica que normalmente gestiona su apertura.

El fin de este sistema es controlar de forma más precisa el momento de la apertura del circuito de refrigeración mediante este termostato regulado, para que se abra en el instante adecuado pudiendo de esta forma regular mejor la temperatura del motor en función de las necesidades, y así mantenerla en los valores óptimos (en torno a 80-85°C), que permitan que la formación de la mezcla, la combustión, la lubricación, etc., se realicen en las mejores condiciones posibles, lo que acarrea una mejora del rendimiento del motor y por ende, que las prestaciones sean las predefinidas para dicho motor, al igual que no se degraden las emisiones, ni aumente el consumo de carburante.

#### 5.4 *Relación de compresión variable*

La relación de compresión es uno de los criterios fijados durante la etapa de diseño del motor, de forma que esta predefine ciertas características del funcionamiento del motor (temperaturas, presiones, etc.), al igual que establece por consiguiente otros criterios de diseño para la refrigeración y lubricación, teniendo esta relación de compresión mucha importancia en el rendimiento del motor.

Normalmente los motores tienen una tasa de compresión fija y en función del tipo de motor sus valores oscilan entre los 9:1 y 11:1 en los motores de tipo MEP, y entre 15:1 y 20:1 en los motores de tipo MEC, siendo las más bajas en los motores sin sobrealimentar, pudiendo existir motores con mayor tasa de compresión en motores de alto rendimiento.

De esta forma con la llegada sobre todo de los motores gasolina sobrealimentados relaciones de compresión elevadas eran contraproducentes, ya que no se puede aprovechar al máximo el rendimiento de la sobrealimentación, y al reducir la tasa de compresión se penalizaría el funcionamiento del motor en condiciones de baja carga, cuando la sobrealimentación no tiene mucho efecto, por lo que se han desarrollado motores con una relación de compresión variable para adaptar la misma en función de las necesidades de cada punto de funcionamiento, mejorando el rendimiento de todo el campo motor, pudiendo aprovechar al máximo los diferentes sistemas de regulación.

Así pues, uno de los motores que emplean este sistema ha sido desarrollado por SAAB y su relación de compresión puede variar entre 8:1 a 14:1, haciendo pivotar la culata (que integra los cilindros) un ángulo de 4°.

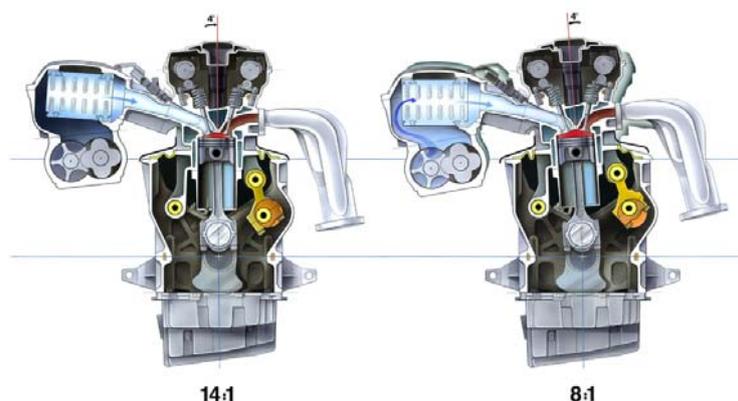


Fig. 67 – Ejemplo de un motor con relación de compresión variable (<http://www.km77.com>)

Así pues, como se ha mencionado anteriormente, cuando se requieran altas potencias y el mayor aprovechamiento de la sobrealimentación se utilizara la relación de compresión más baja para evitar riesgos de auto-detonación, y cuando la potencia requerida sea menor, se utilizara la relación de

compresión más alta, acompañada de un menor empleo de la sobrealimentación, lo que evitará riesgos de auto-detonación, pero a su vez aprovechara una tasa de compresión más elevada de la que emplean los motores atmosféricos, por lo que se mejora el rendimiento a bajas cargas y regímenes, obteniendo mayor potencia y menos consumo y emisiones en todo el campo de funcionamiento del motor.

### 5.5 *Desconexión de cilindros*

Uno de los sistemas empleados principalmente en los motores con un gran número de cilindros y alta cilindrada (V8, V10, etc.), aunque también se ha utilizado en algún pequeño motor de 4 cilindros en línea, es la desconexión de cilindros, nuevamente con el objetivo de disminuir las emisiones contaminantes y reducir el consumo.

Para esto, la distribución dispone de un sistema que evita la apertura de las válvulas, por lo que en dichos cilindros se elimina el proceso de admisión y la posterior compresión que generaría pérdidas de rendimiento, e igualmente en esos cilindros se corta la inyección, con lo que se mejora la eficiencia del motor en determinadas condiciones de funcionamiento.

Esto se produce cuando el vehículo rueda normalmente a una velocidad estable en marchas largas como podría ser en carreteras o autovías llanas, en la que la demanda de par, ni el régimen son muy elevados, que es cuando este sistema resulta efectivo para conseguir su objetivo de reducción de consumo. En caso de existir una demanda del conductor que requiera una mayor aceleración o simplemente mayor demanda de par para mantener la velocidad como podría ser el caso de una pendiente ascendente, el sistema pasa a funcionar normalmente con todos sus cilindros activos.

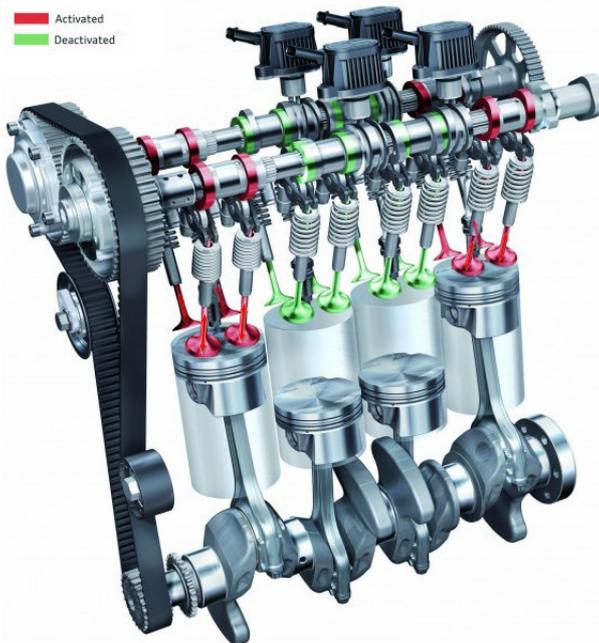


Fig. 68 – Ejemplo de un motor con desconexión de cilindros (<http://www.km77.com>)

Este sistema está muy poco extendido y a pesar de la complejidad del sistema este apenas se nota a nivel de vibraciones y ruido y tanto el paso de funcionar con la totalidad de los cilindros a hacerlo solo con la mitad y viceversa es prácticamente imperceptible, habiendo además mejorado los sistemas actuales la fiabilidad, que si bien existen desde hace tiempo, su implantación se está haciendo más común recientemente, a partir del 2010.

### 5.6 *Gestión accesorios*

Los accesorios son elementos anexos al motor, que se sirven de su energía mecánica para ser accionados y convertir dicha energía en otro tipo de energía, con el fin de utilizar esta energía para

otros fines, no necesariamente relacionados con funciones del motor, pero sí con funciones del vehículo, aún así tienen cierto impacto sobre el motor, ya que consumen parte de la energía generada por este.

Entre estos podemos nombrar los que más influyen en el comportamiento del motor, como son el alternador y el compresor de climatización, siendo su regulación comandada por sistemas electrónicos propios, externos a la ECU, aunque el control motor tiene cierta capacidad de acción sobre ellos, como puede ser para activarlos y desactivarlos, con el fin de cumplir las exigencias crecientes que ya hemos comentado a nivel de prestaciones del motor, consumo, etc.

No se van a mencionar las evoluciones propias de los compresores, ni de los alternadores, ni de sus sistemas de control, sino que se van a mencionar las acciones de control que se ejecutan sobre ellos por parte de la ECU, la cual se vale de sus múltiples parámetros de entrada desde los diferentes sensores, además del intercambio de información entre los diferentes calculadores, teniendo en cuenta que este control no era posible anteriormente cuando no existía una única centralita para el motor, sino una por sistema, no estando necesariamente comunicadas.

De este modo, una electrónica avanzada, implementada sobre un único elemento de control permite conocer todos los parámetros que influyen en el motor, y actuar sobre ellos, aunque sean elementos "anexos" al motor, y todo para conseguir cierto nivel de prestaciones del motor, o para reducir el consumo de combustible, entre otros fines.

Por ejemplo, el control motor puede hacer demandas de desactivación tanto del compresor -ya sea de cilindrada fija con embrague, o cilindrada variable con o sin embrague- como del alternador con el fin de tener algo más de potencia disponible (al no robarle estos accesorios la energía mecánica necesaria para su accionamiento), cuando existe alguna demanda de prestaciones como puede ser en ralentí si existe riesgo de calado en caso de entrar en sub-régimen, o en el momento del inicio de la marcha desde parado, o cuando se hace una demanda de plena carga buscando una mayor aceleración.

Además de esta función, y más centrado en la ganancia de consumo, el control motor puede interaccionar en la gestión del alternador, denominado gestión inteligente, haciendo demandas al regulador del alternador para que este cargue o no y lo haga con cierto nivel de tensión, buscando aprovechar no penalizar el rendimiento del motor y así reducir el consumo. Algunas de estas situaciones son las deceleraciones, en las que se trata de que el alternador cargue al máximo ya que no penaliza el consumo al no estar inyectando combustible, y gracias a que estos sistemas incorporan un captador que permite estimar el porcentaje de carga de la batería, si este está por encima de cierto umbral el alternador no cargará en las fases transitorias de aceleración, y cargará lo mínimo necesario para que no descienda dicha carga cuando se rueda de forma constante.



## 6 Conclusión

En este caso la conclusión que puedo extraer es que con la redacción de este documento consigo el objetivo buscado inicialmente de dar una pincelada de los sistemas de control básicos de los motores y su evolución, englobado todo en un único documento, sin necesidad de pormenorizar en la multitud de avances que han sufrido los motores, no sólo a nivel de su control, sino de su arquitectura y componentes.

### 6.1 *Resumen*

Como resumen de este documento se puede decir que sintetiza de forma más o menos sencilla y simplificada los diferentes sistemas de control de los motores, sin entrar en detalles específicos del funcionamiento de cada uno de ellos, ni siquiera del motor y sus principios de funcionamiento, sino que los describe con el fin de establecer las principales características de cada uno de ellos, y las carencias por las cuales dejaron de ser utilizados para pasar a sistemas más desarrollados capaces de satisfacer las necesidades que iban surgiendo.

### 6.2 *Sugerencias para trabajos futuros*

Este documento podría seguir su desarrollo detallando de formas más precisa algunos otros sistemas, que sin ser los elementales, imprescindibles para el funcionamiento de un motor básico también han evolucionado o se han ido incorporando aportando innovaciones que permiten mejorar el rendimiento de los motores, completando así el apartado número 5.

Así mismo, se podría desarrollar algún apartado que haga referencia a futuras tecnologías, que si bien son conocidas, por su complejidad apenas han sido llevadas a la práctica en vehículos de serie, pero quien sabe si en un futuro más o menos próximo pueden ser los sistemas que se empleen en los motores como pueden ser los sistemas híbridos.

También se podrían incluir otras variaciones de estos sistemas que existen actualmente, como son los sistemas de Flex-fuel y similares que permiten utilizar diferentes combustibles, si nos referimos al motor. Si extendemos estas posibilidades a otros sistemas del vehículo, dada su estrecha relación con el motor, también se podría desarrollar un documento en relación a las cajas de cambios y su evolución, ya que han mejorado sustancialmente, en búsqueda de un objetivo común, la mejora de las prestaciones, y ganancia en consumo principalmente.



## 7 Referencias

1. MANUAL DE AUTOMÓVILES - Manuel Arias Paz
2. Apuntes asignatura MOTORES TÉRMICOS – Andrés Melgar
3. <http://delphi.com/manufacturers/auto/powertrain/>
4. [http://www.conti-online.com/www/automotive\\_de\\_en/themes/passenger\\_cars/powertrain/engine\\_systems/engine\\_systems\\_en.html](http://www.conti-online.com/www/automotive_de_en/themes/passenger_cars/powertrain/engine_systems/engine_systems_en.html)
5. [http://www.xn--bosch-tecnologadelautomvil-roc1p.es/es/es/powertrain\\_8/powertrain\\_systems\\_for\\_passenger\\_cars\\_9/powertrain\\_systems\\_for\\_passenger\\_cars\\_1.html](http://www.xn--bosch-tecnologadelautomvil-roc1p.es/es/es/powertrain_8/powertrain_systems_for_passenger_cars_9/powertrain_systems_for_passenger_cars_1.html)
6. <http://globaldensoproducts.com/engine-management/diesel-engine-management/common-rail-system/>
7. <http://www.ngk.de/es/tecnologia-en-detalle/calentadores/principios-de-los-calentadores/el-precalentamiento/>
8. [http://www.turbobygarrett.com/turbobygarrett/turbo\\_tech\\_advanced](http://www.turbobygarrett.com/turbobygarrett/turbo_tech_advanced)
9. <http://www.3k-warner.de/products/turbochargerPassengerCars.aspx>
10. <http://www.aficionadosalamecanica.net/cursos-de-mecanica-2/>
11. <http://www.aficionadosalamecanica.net/cursos-de-electricidad/>
12. <http://www.mecanicavirtual.com.ar/>
13. [www.km77.com](http://www.km77.com)
14. [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)



## 8 Anexos

Como pequeño complemento a este documento, haré una breve mención al software de calibración y post-procesado ya que la parte electrónica no sólo ha evolucionado a nivel de la gestión del motor, sino de las herramientas necesarias (software de calibración, adquisición de señales y análisis de las mismas) para poder parametrizar el funcionamiento del motor, al igual que para el estudio de los diferentes registros realizados durante los ensayos de calibración, llevados a cabo tratando de optimizar el rendimiento del motor adaptándolo a las diferentes condiciones de funcionamiento.

De esta manera, estas herramientas nos permiten aprovechar el máximo potencial de todas las funcionalidades que ha ido aportando la gestión electrónica en los motores, con sistemas de regulación cada vez más complejos que engloban multitud de estrategias interrelacionadas, no solo dentro de la centralita de gestión del motor, sino con el resto de las que incorporan los vehículos (ESP, caja de cambios, gestión del habitáculo, etc.).

Así pues en la siguiente figura podemos ver un ejemplo de software de calibración y adquisición que permite modificar en directo los parámetros del motor (ya sean, constantes, vectores o cartografías) y ver la respuesta del motor ante dicha variación con diferentes representaciones graficas, que a su vez se pueden registrar para el análisis de dicho comportamiento ante los cambios en la calibración.

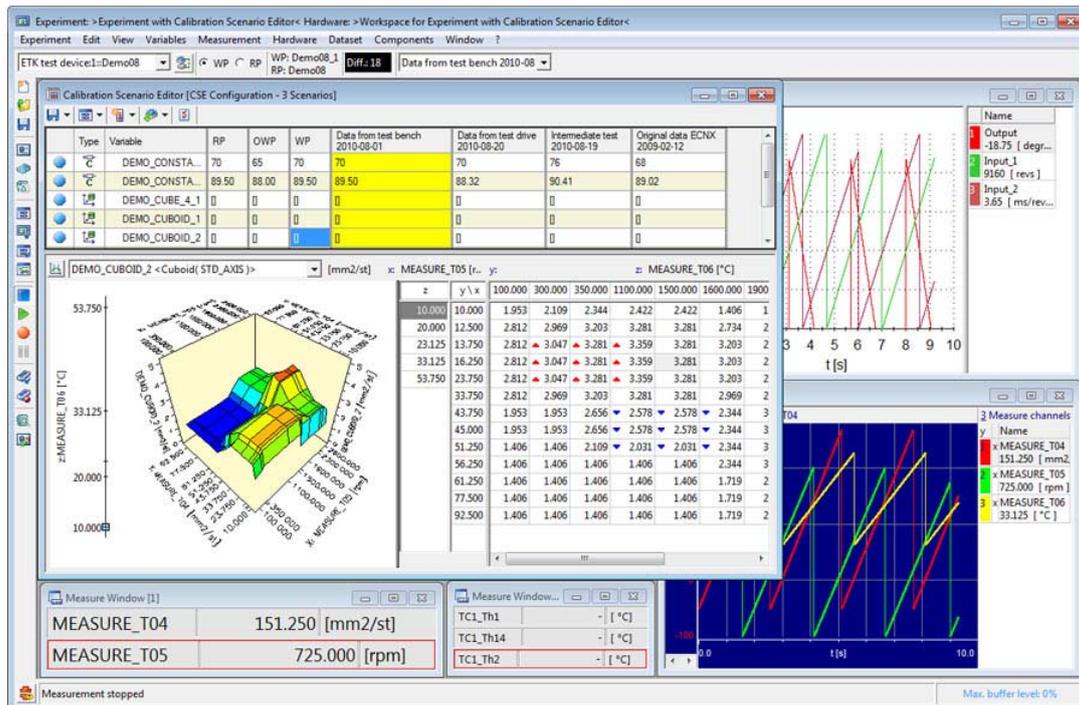


Fig. 69 – Imagen de software de parametrización y adquisición (<http://www.etas.com/>)

Este software va acompañado de un hardware específico que permite la comunicación con las centralitas, a la vez que existen otros elementos para adquirir otras señales externas de instrumentación adicional que se haya incorporado al motor (temperaturas, presiones y otras señales analógicas o digitales), para tratar de correlacionar dichas medidas con las variables adquiridas por el control motor a través de sus propios sensores.

De esta forma una vez realizados los ensayos, con los cambios de parámetros necesarios, se puede estudiar mediante otro software las señales registradas durante los diferentes tests pudiendo representarlas de forma grafica, o mediante tablas, o estudios estadísticos, lo que permite analizar si los cambios de parámetros realizados durante los ensayos han surtido el efecto deseado.

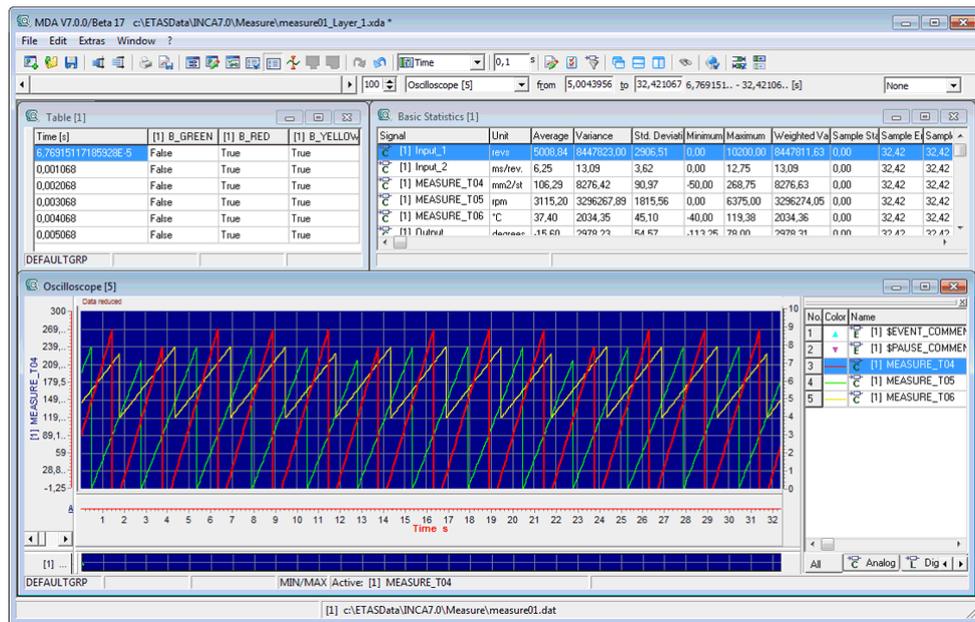


Fig. 70 – Imagen de software de post-procesado (<http://www.etas.com>)

A mayores, y no menos importante debido al predominante uso de elementos electrónicos, también es necesario destacar el desarrollo e implantación de herramientas de diagnóstico que permitan conocer las posibles causas de disfuncionamiento de estos sistemas electrónicos, haciendo un chequeo de cada uno de sus elementos.