



1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

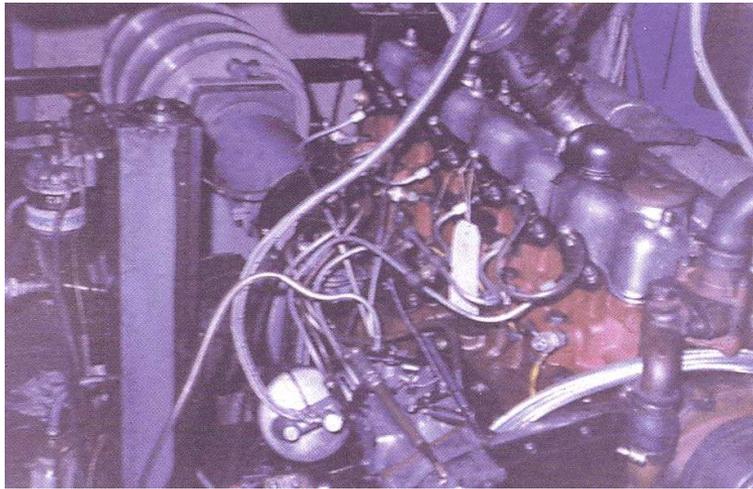
Limitación en la emisión de gases contaminantes

Luis Márquez
Dr. Ing. Agrónomo
Universidad Politécnica de Madrid

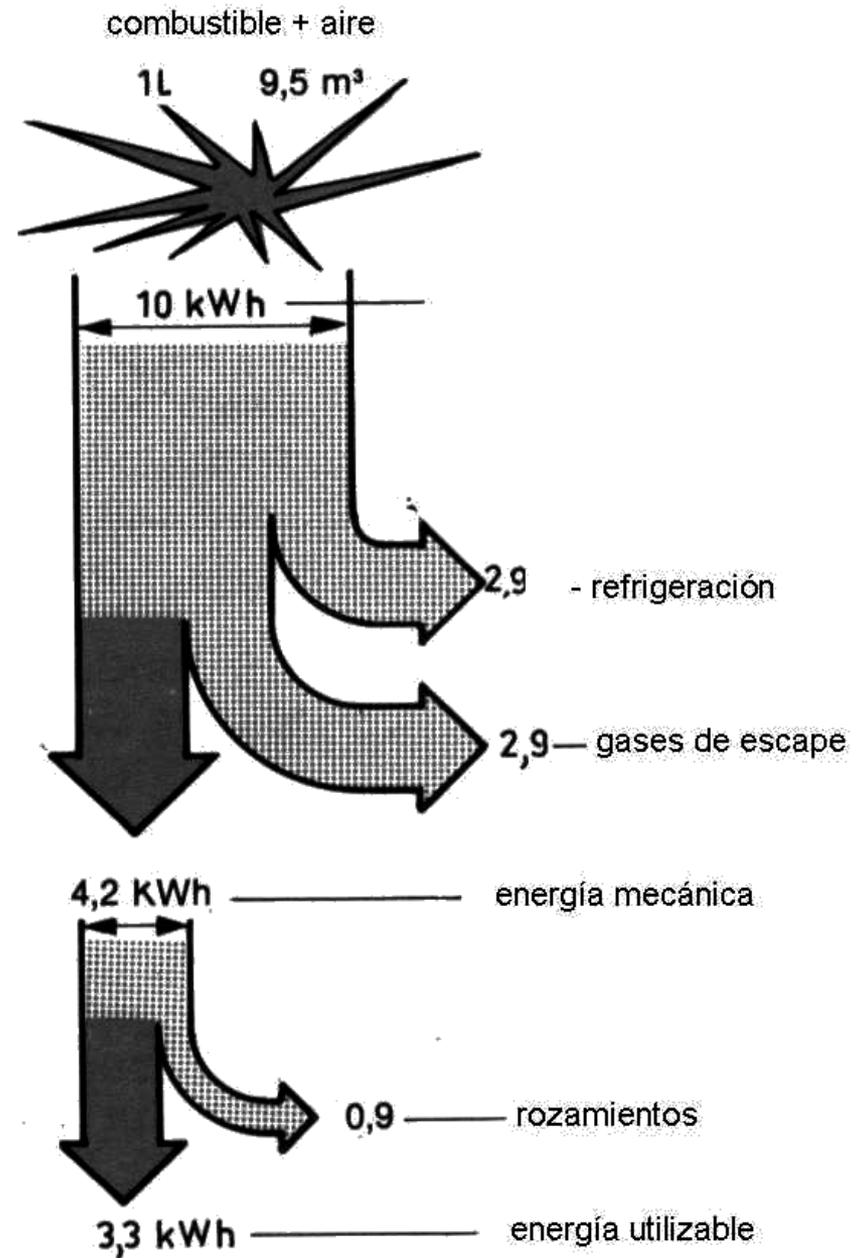


1855 - 2005
SESQUI-CENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

¿Qué es un motor?



**Máquina térmica que
convierte energía química
(combustible)
en energía mecánica**





Un poco de química

Combustión del metano:



↓
16 kg

↓
64 kg

↓

276.8 kg de aire

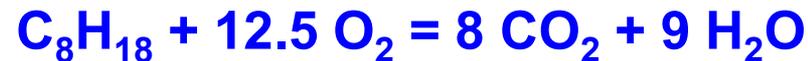
Relación: $276.8 / 16 = 17.3 / 1$

Combustión incompleta:



CO
HC
NO_x
PT

Combustión de la gasolina (octano):



Relación: 15.1 / 1

Gasóleo (cetano): $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$



1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

Limitaciones para motores entre 75 y 130 kW

TABLE 1: Current and future EU standards for 75-130kw engines

EU	Stage	Power (kW)	Date	HC	NOx	HC+NOx	PM
	EU II	75-130	2003	1.0	6.0	7.0	0.3
Off-highway	EU IIIA	75-130	2007			4.0	0.3
	EU IIIB	75-130	2011			4.0	0.025
On-highway	Euro V		2008	0.46	2.0	2.46	0.02

40% NOx
reduction
90% PM
reduction

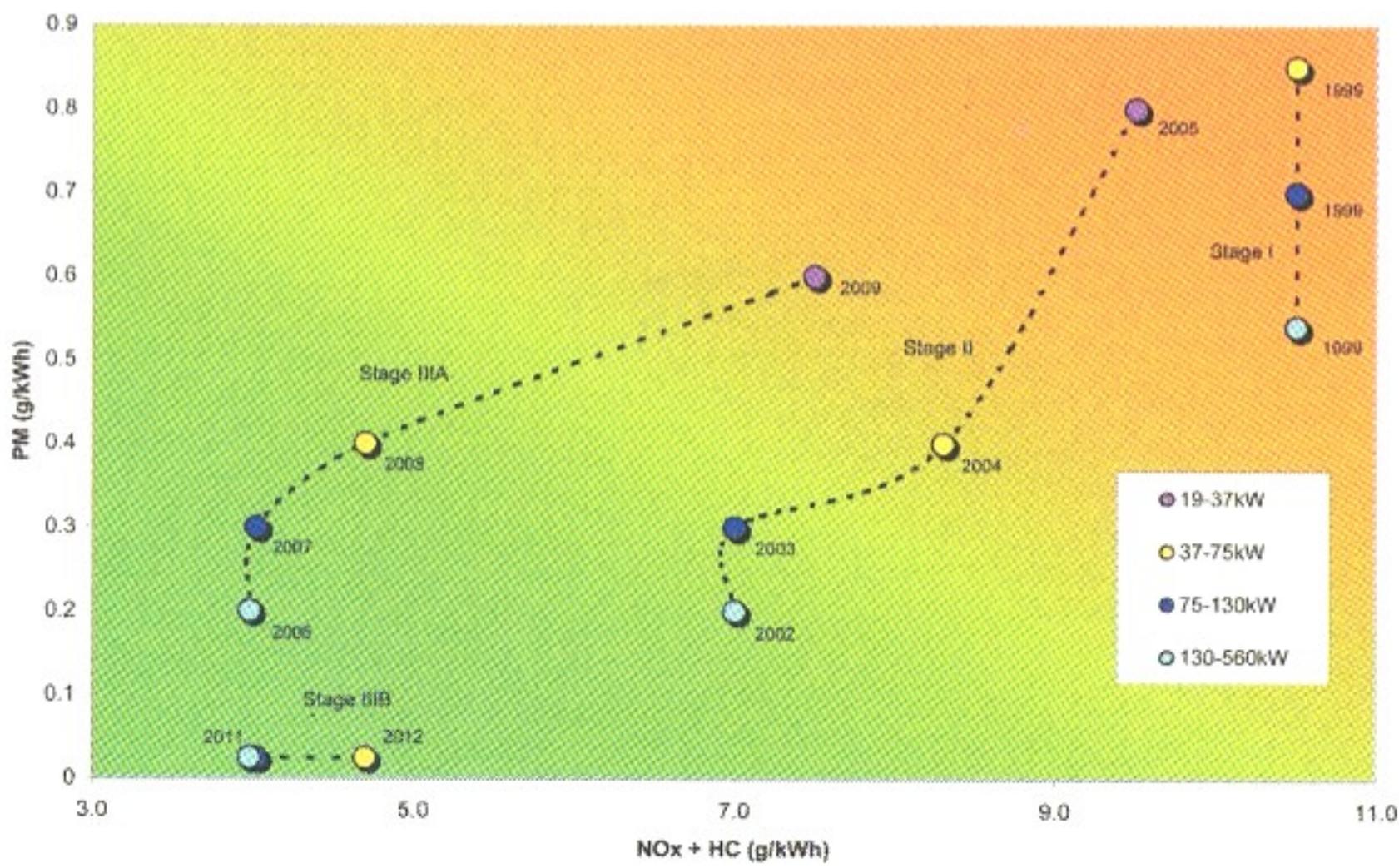
Current and future US standards for 75-130kw engines

US	Stage	Power (kW)	Date	NMHC	NOx	NMHC+NOx	PM
	EPA 2	75-130	2003			6.6	0.3
Off-highway	EPA 3	75-130	2007			4.0	0.3
	EPA 4	56-130	2012/4	0.19	0.40	0.59	0.02
On-highway	US 2007		2007	0.19	0.27	0.46	0.013

90% NOx
reduction
90% PM
reduction

All values in g/kWh

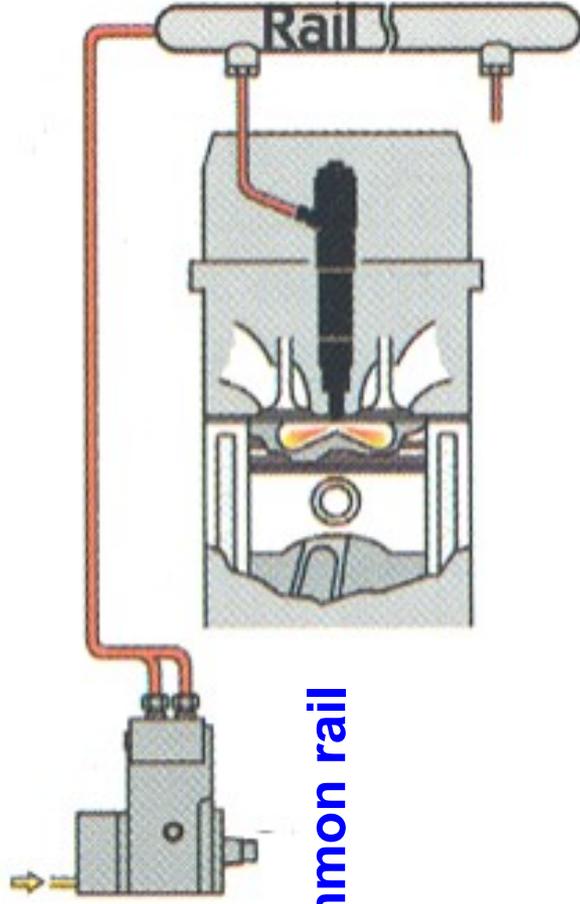
Evolución de los límites permitidos



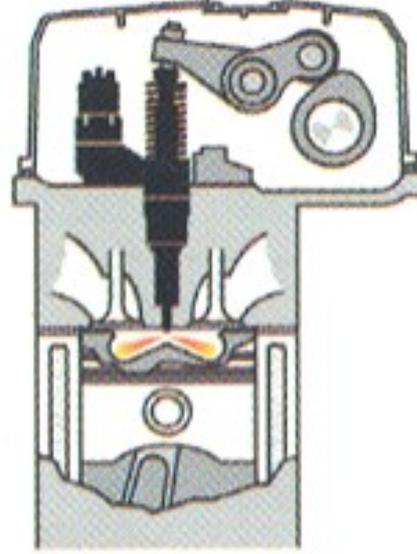


1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

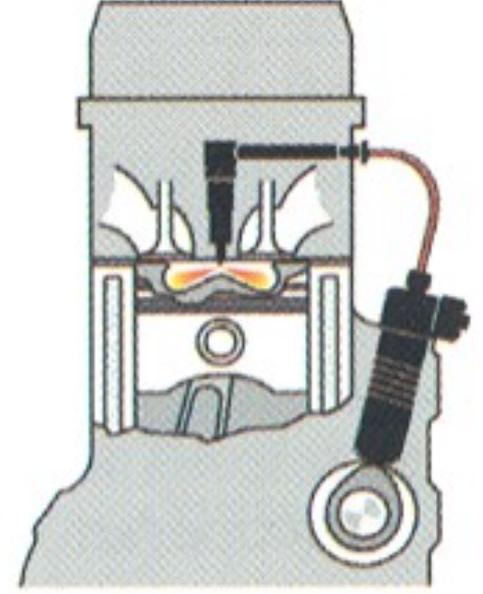
Alternativas para la inyección



common rail



bomba-inyector



bomba con
tubo corto



Combustión en el gasóleo

- Temperatura de vaporización del gasóleo mas elevada que la de la gasolina
- El encendido por compresión exige una mezcla muy rápida de aire y gasóleo, y esta es poco homogénea
- Si el exceso de aire no es suficiente aumentan las emisiones de hollín, monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC)
- La combustión se inicia en el momento de la inyección y afecta al rendimiento del motor
- La temperatura de combustión influye en la formación de óxidos de nitrógeno (NO_x)



Purificación de los gases de escape

- **Forma de la cámara de combustión:**
 - Motores con precámara expulsan menos NO_x que los motores de inyección directa (estos consumen menos combustible)
 - El movimiento del aire contra la inyección del combustible favorece la mezcla y una combustión completa. La inflamación precisa una temperatura alta
- **Inyección del combustible:**
 - La pulverización del combustible influye en la emisión de sustancias contaminantes
 - Una inyección retardada disminuye la emisión de óxidos de nitrógeno
 - Con mayor retardo aumenta la emisión de HC y el consumo de combustible
 - Variación de 1° en el ángulo del cigüeñal sobre el valor nominal de comienzo de la inyección puede elevar las emisiones de NO_x y HC entre el 5 y el 15%



Purificación de los gases de escape (cont.)

■ **Inyección del combustible:**

- La elevada sensibilidad obliga a una regulación muy precisa de los ciclos de inyección (preferentemente regulación electrónica y marca en el cigüeñal)
- Gran precisión si el inicio de la inyección se mide directamente en la válvula de inyección (sensor en la aguja del inyector)
- El combustible que llega a la cámara de combustión después de que finaliza la combustión, puede pasar al tubo de escape sin quemarse, aumentando la emisión de HC
- Necesidad de que las válvulas de inyección acumulen entre el asiento de estanqueidad y el extremo del orificio de inyección el menor volumen de combustible posible



Purificación de los gases de escape (cont.)

■ Inyección del combustible (cont.):

- El combustible finamente pulverizado favorece la mezcla de aire y combustible (muy alta presión y forma de los orificios)
- Esto contribuye a reducir la emisión de HC y partículas (hollín)
- Limitada cantidad de combustible en relación con la cantidad de aire aspirado (exceso de aire mínimo del 10 al 20%)

■ Temperatura del aire aspirado

- Si aumenta, se eleva la temperatura de combustión y la emisión de NO_x
- El enfriamiento del aire comprimido en los motores turbolalimentados es efectivo para reducir las emisiones de NO_x



1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

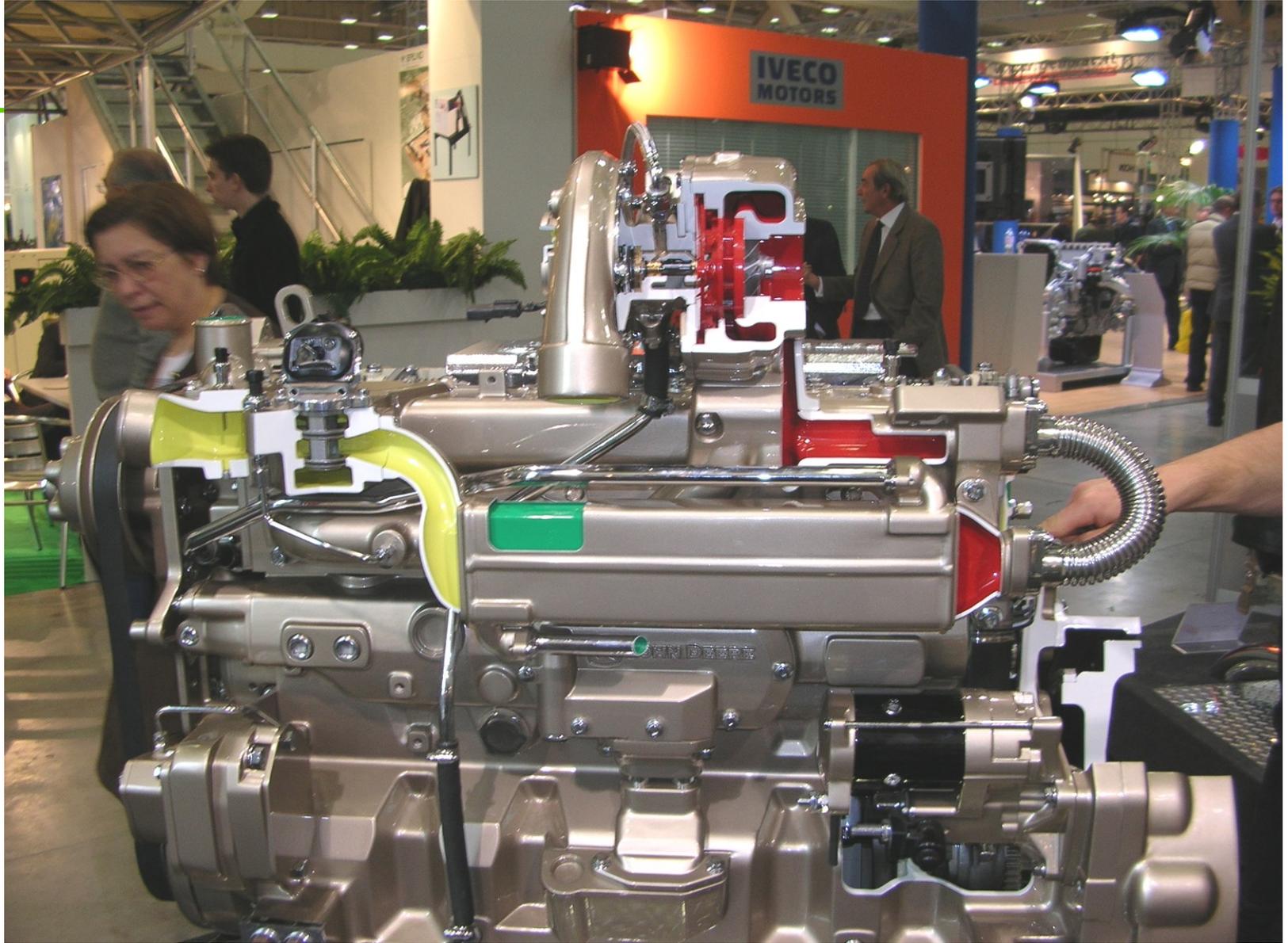
Purificación de los gases de escape (cont.)

■ Retroalimentación de gases de escape:

- Si el aire aspirado se mezcla con gases de escape se reduce la entrada de oxígeno de la sobrealimentación y se eleva su calor específico.
- Esto reduce la temperatura de combustión (menor formación de NO_x) y reduce la cantidad de gases de escape expulsados
- Si se recupera una cantidad excesiva de gases de escape se aumenta la emisión de partículas y CO por la insuficiencia de aire (oxígeno)
- Limitación de la cantidad de gases recuperados para disponer de aire suficiente en la cámara de combustión para el gasóleo inyectado.



1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS



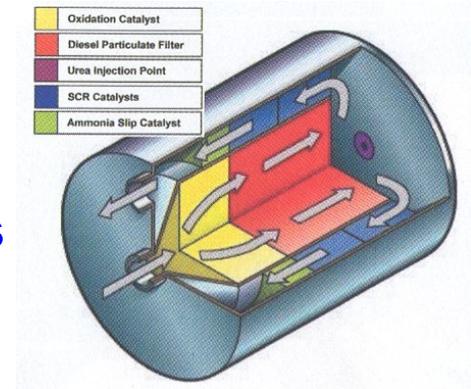
Luis Márquez



1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

Purificación de los gases de escape (cont.)

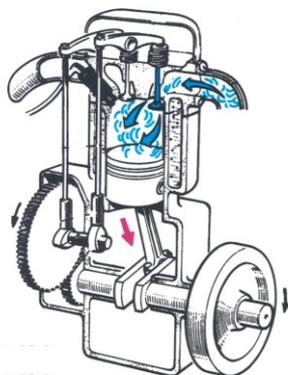
- **Tratamiento posterior de los gases de escape**
 - Empleo de catalizadores de metales nobles para reducir la emisión de HC
 - Los catalizadores que se utilizan en los motores de explosión trabajan solo con insuficiencia de oxígeno, o con una mezcla combustible+oxígeno muy precisa, por lo que no sirven para motores diesel.
 - Para limitar la emisión de sólidos (partículas) se están utilizando filtros que se colocan en el tubo de escape



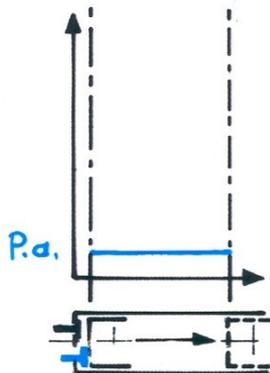


1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

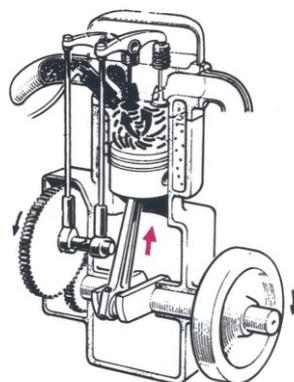
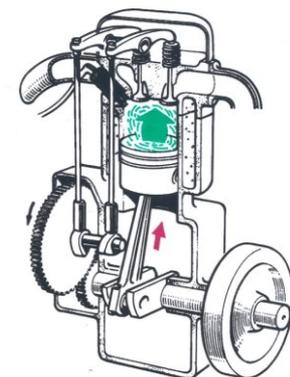
Ciclo termodinámico



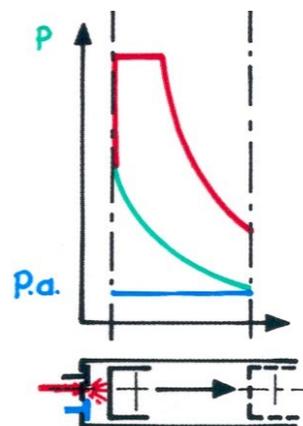
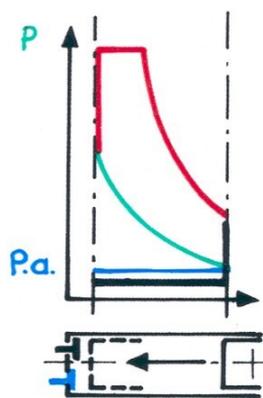
admisión



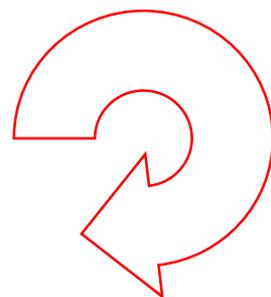
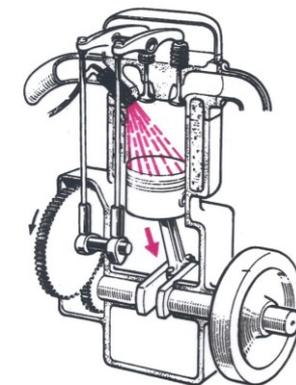
compresión



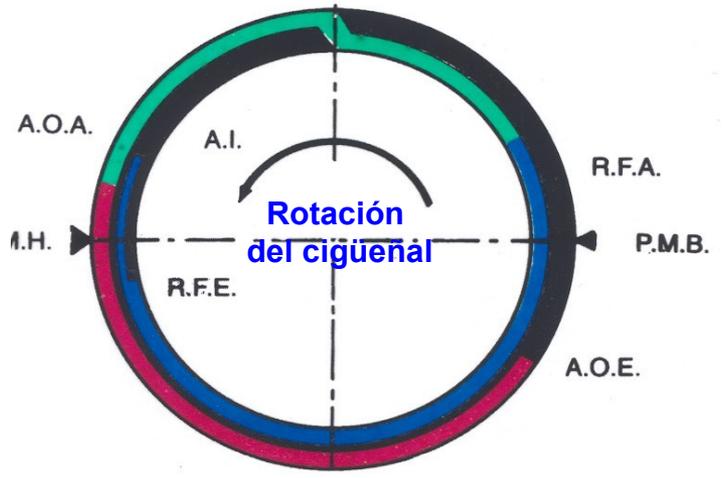
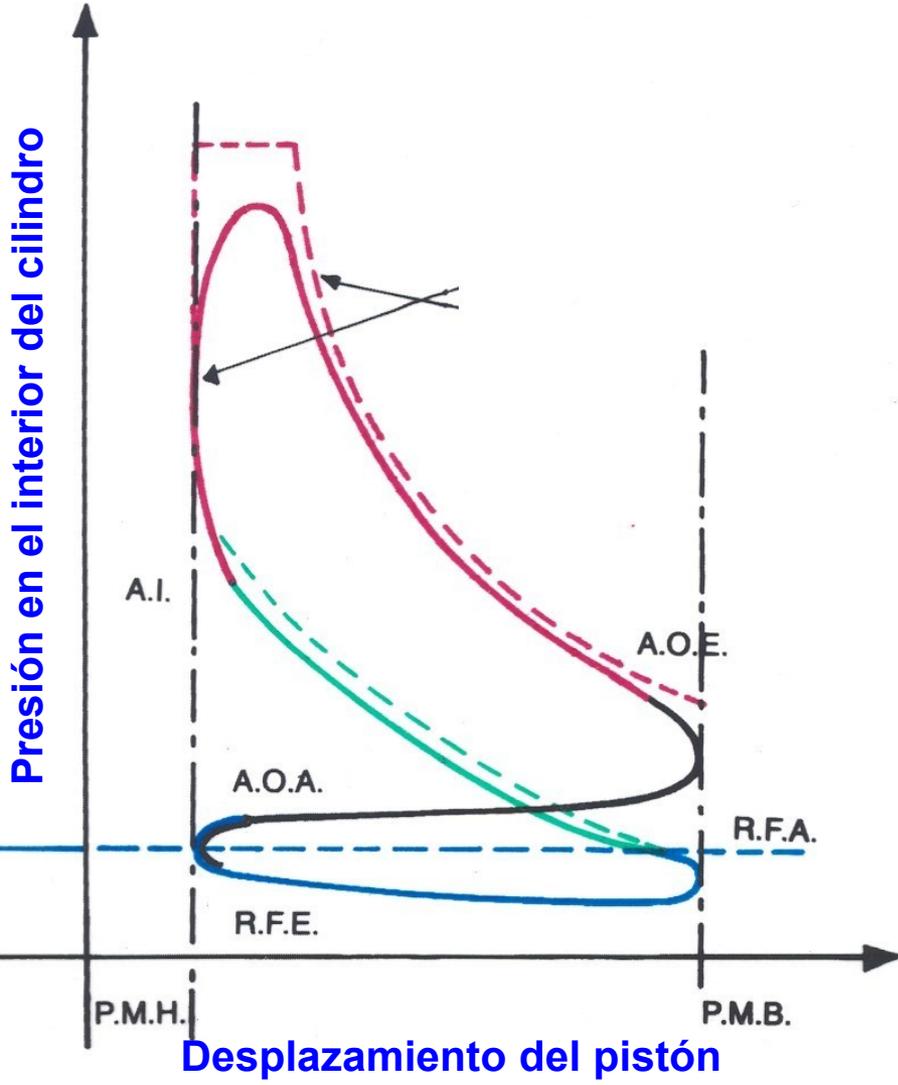
escape



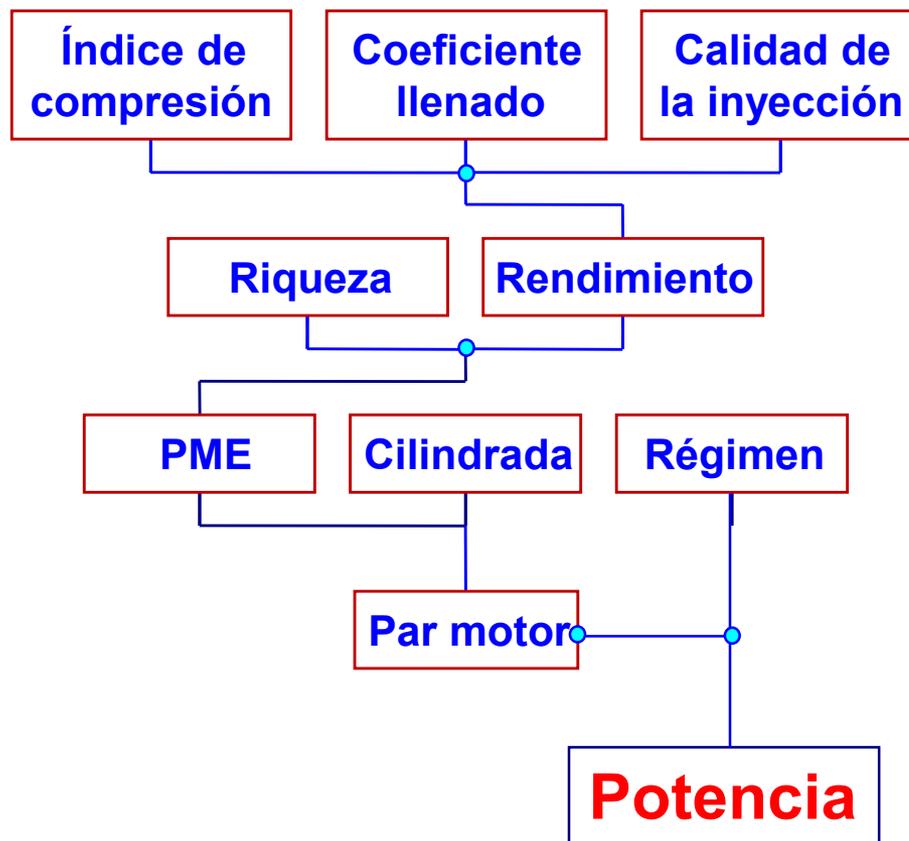
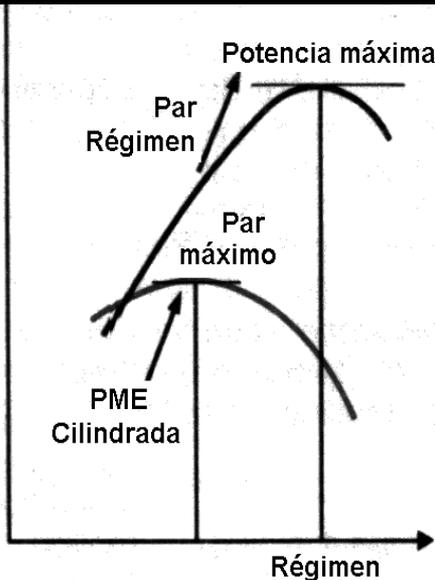
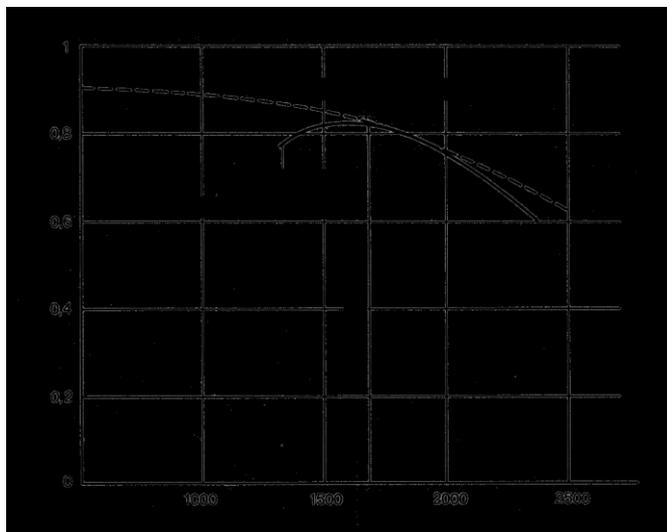
inyección



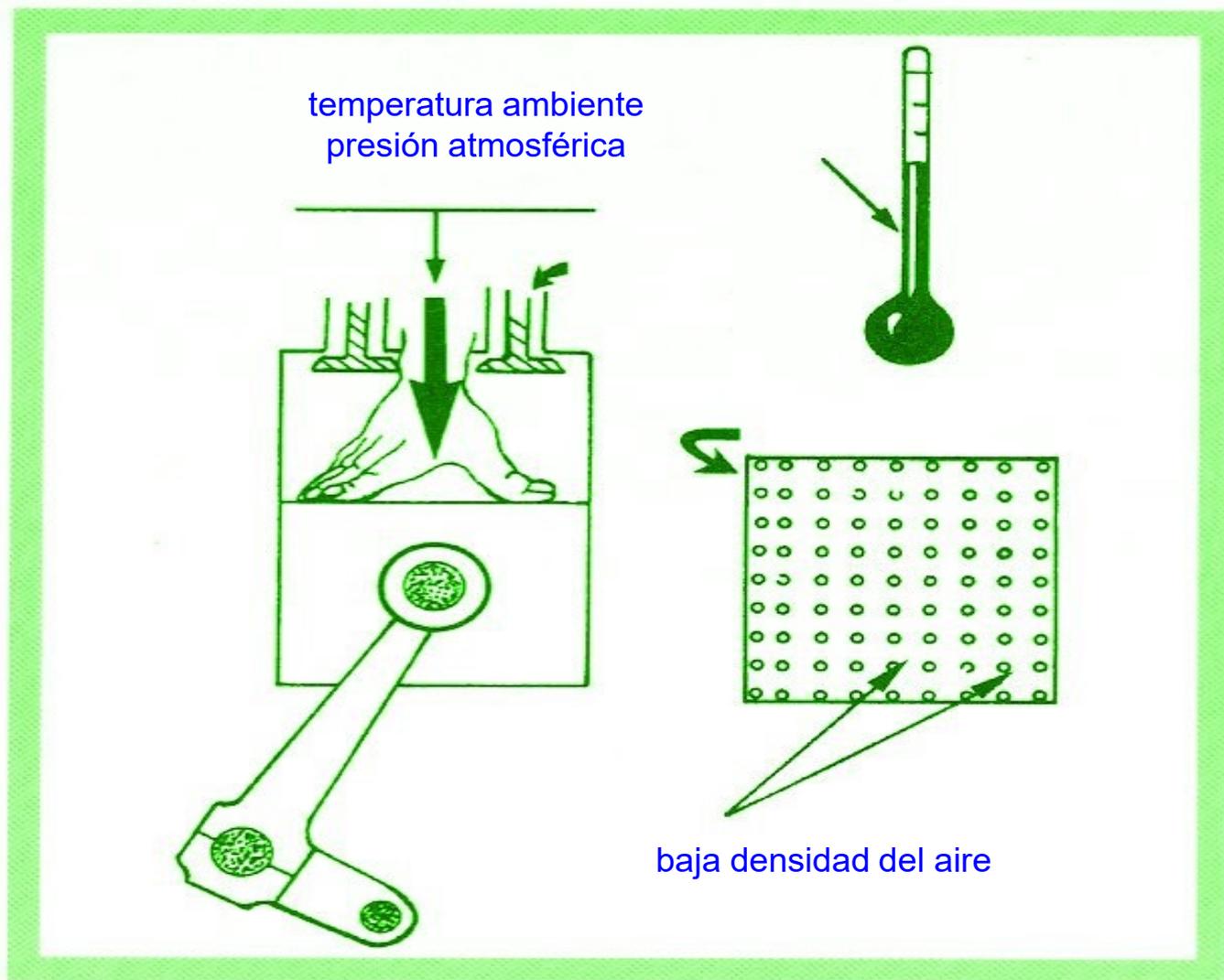
Ciclo teórico y real



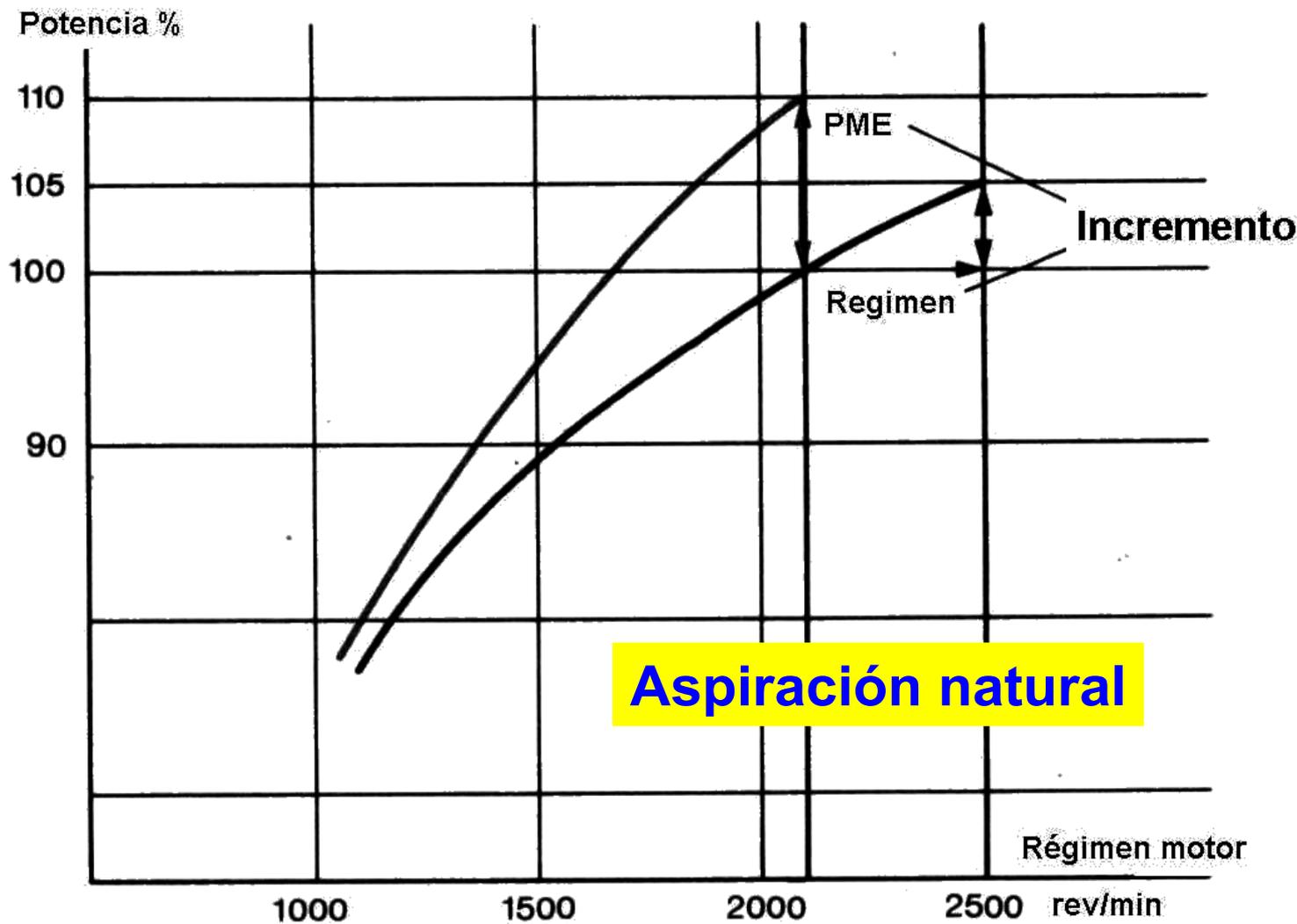
Parámetros que determinan la potencia a plena carga



Presión efectiva media

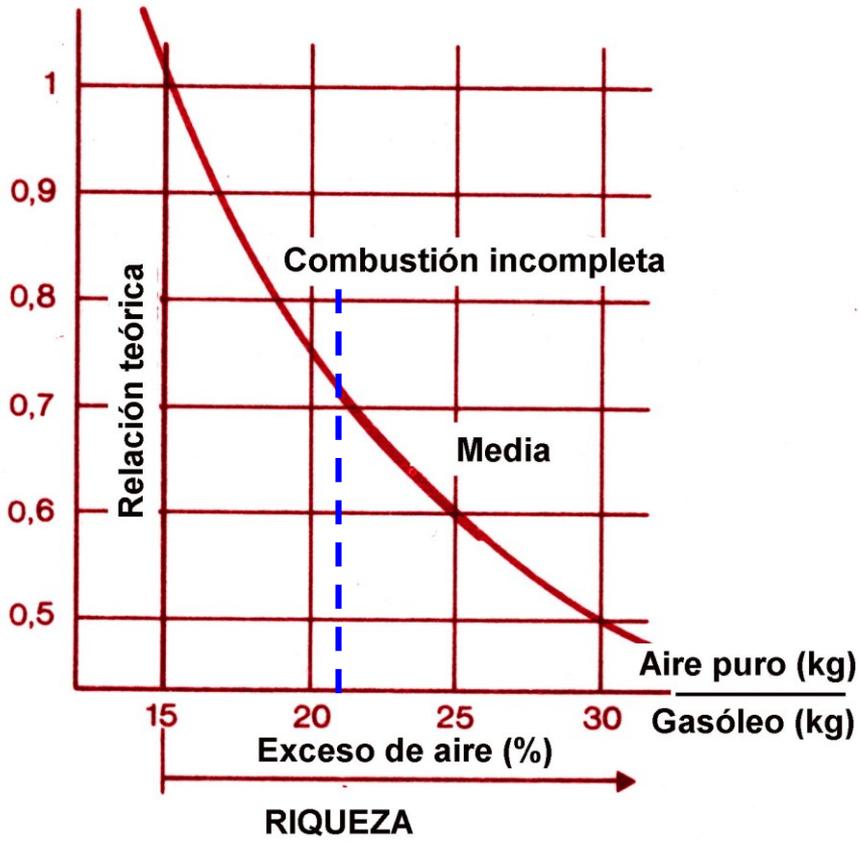


Aumentar la potencia: aire + combustible

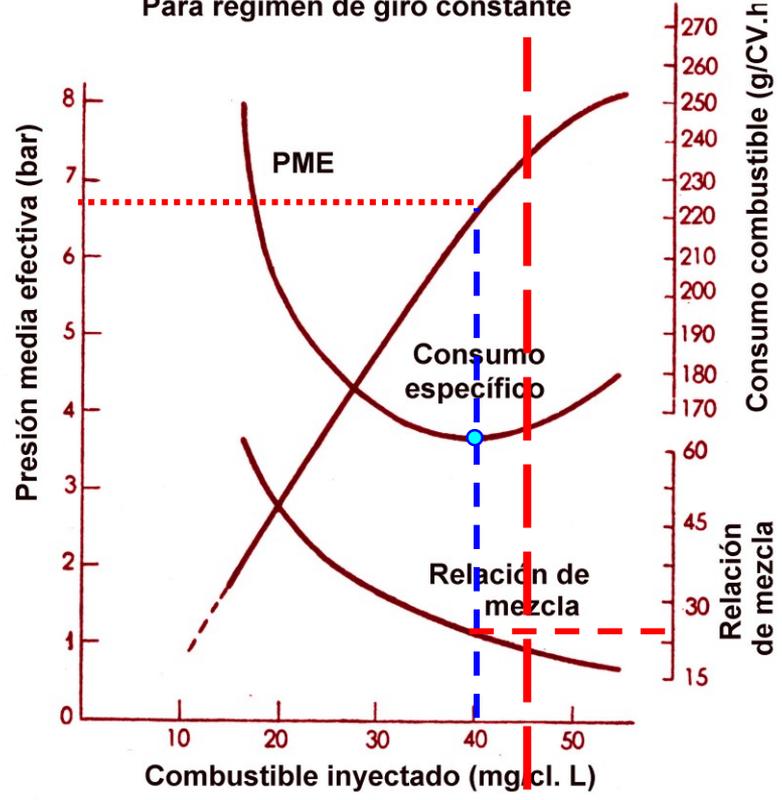


Relación aire - combustible

Riqueza = 15 / aire (kg)



Para régimen de giro constante





1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

Caudal de aire en el motor

Caudal: cilindrada x ciclos / tiempo

**Aplicación: motor de 4.086 litros de cilindrada
trabajando a 2200 rev/min**

Caudal = 4.086 [L] x 2200 [rev/min] / 2 = 4496.4 L/min = 26.97 m³/h

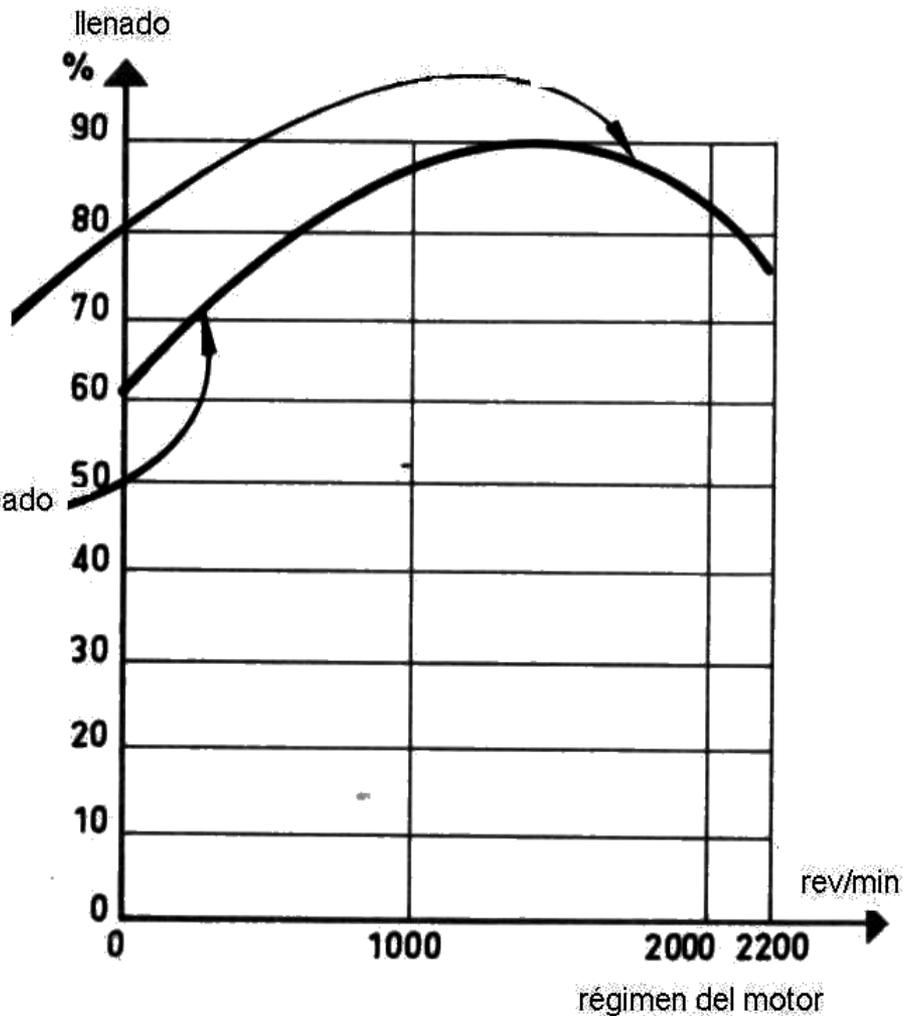
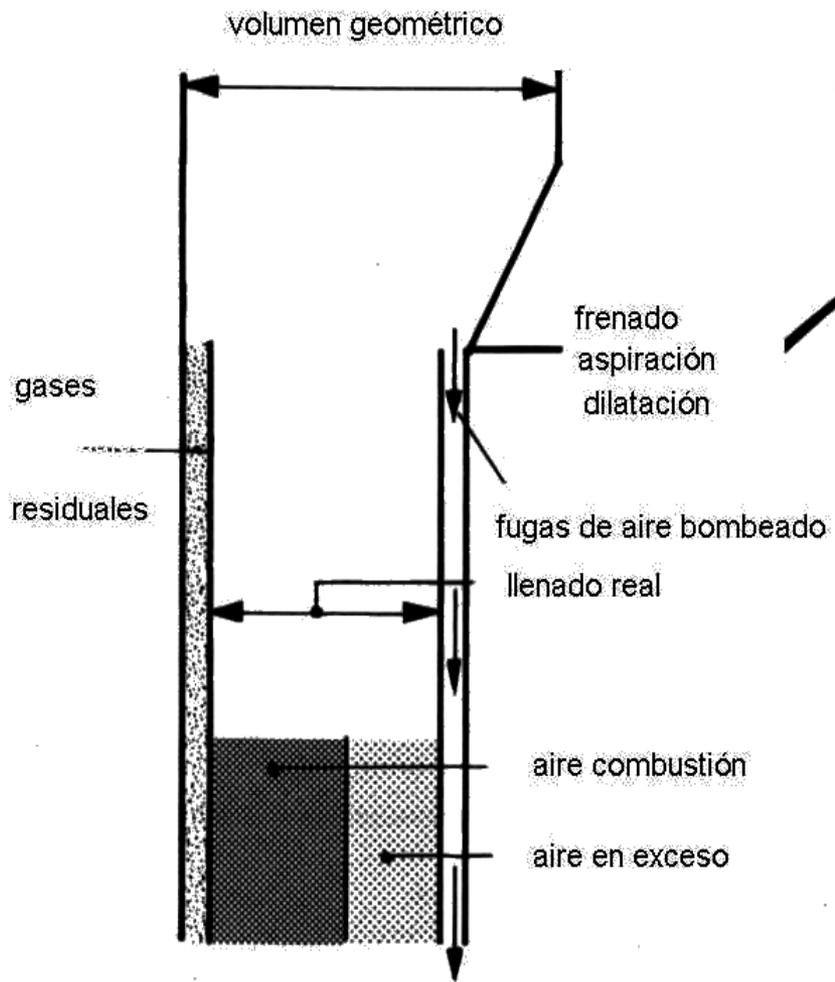
Potencia:

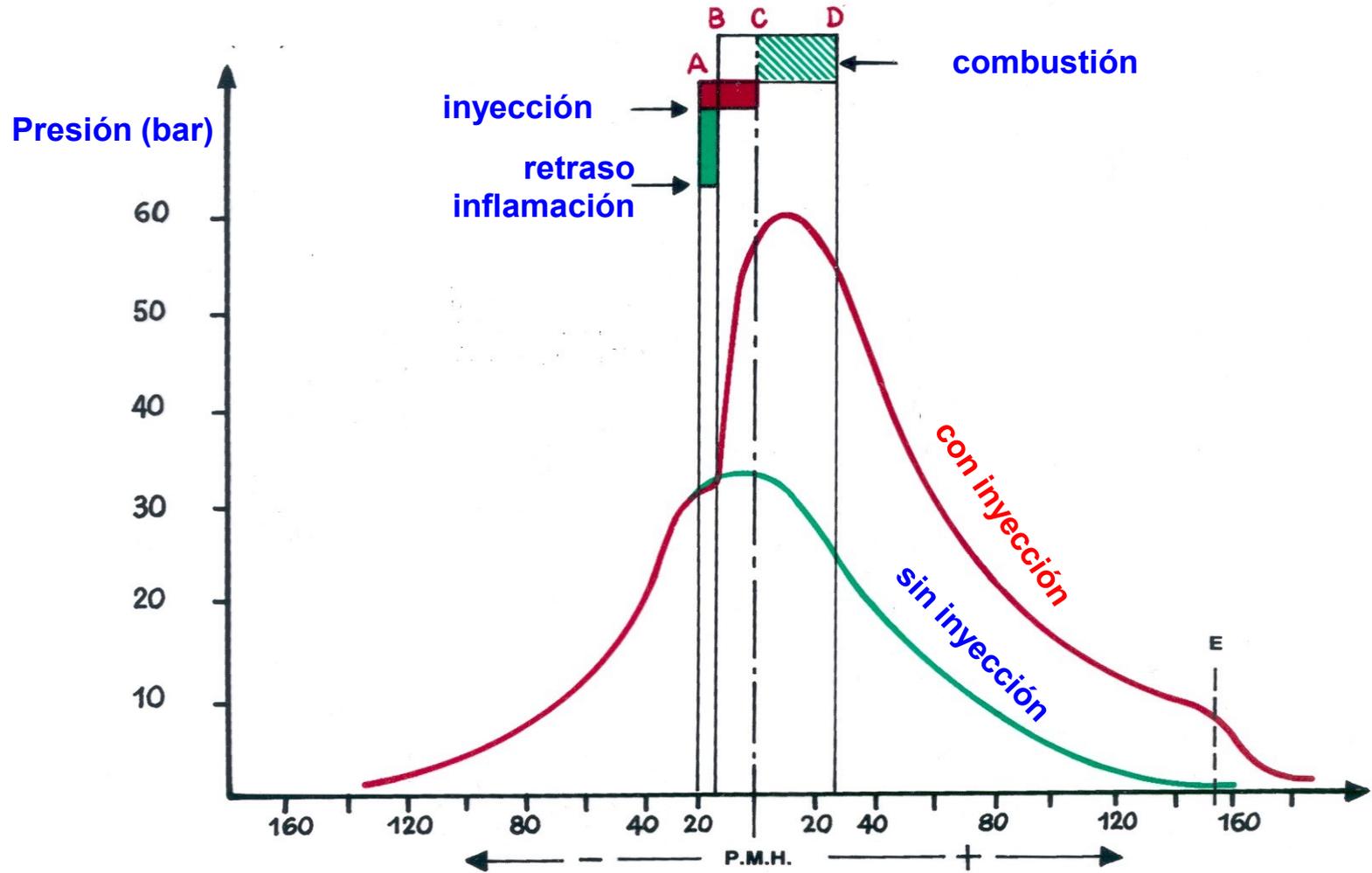
gasto de aire x dosado absoluto x poder calorífico x rendimiento



Limitado por la emisión de humos

Necesidad de contar con el oxígeno del aire

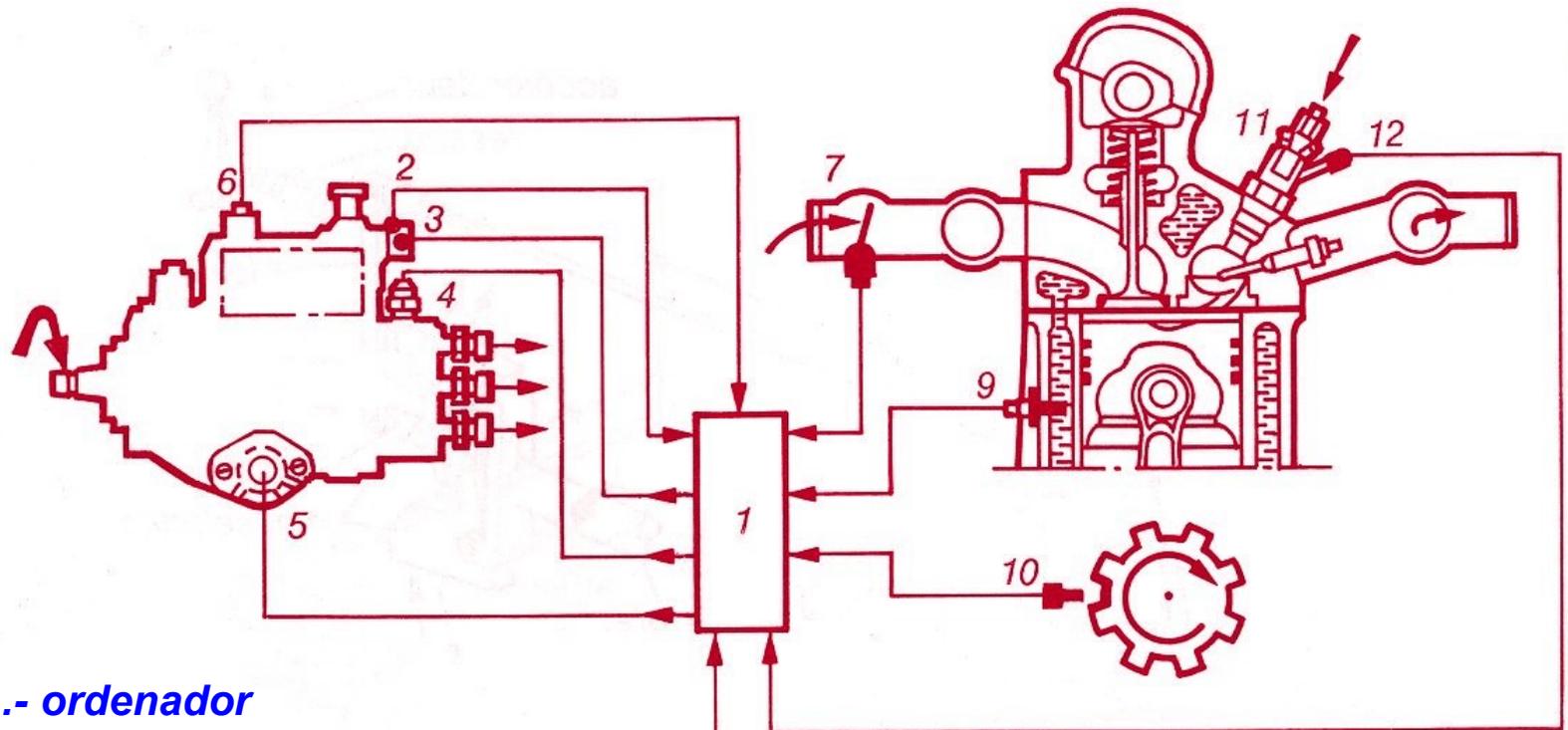






1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

Inyección con control electrónico



- 1.- ordenador
- 2.- captador de dosificación
- 3.- servomando de dosificación
- 4.- parada electrónica
- 5.- avance automático
- 6.- sonda temperatura gasóleo
- 7.- medida del caudal de aire
- 8.- posición del acelerador
- 9.- sonda temperatura agua

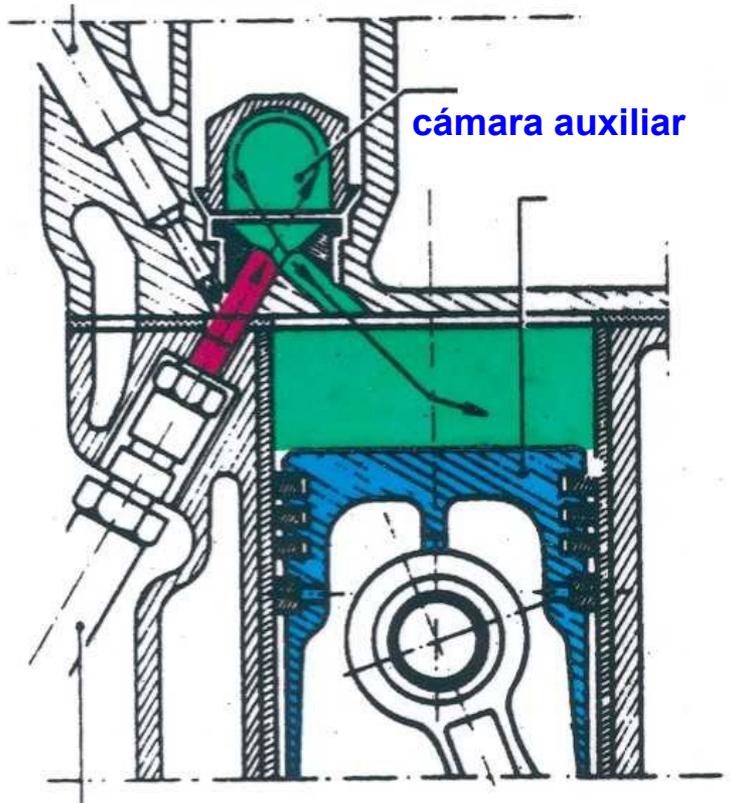
- 10.- captador de velocidad
- 11.- inyector
- 12.- captador de comienzo de inyección



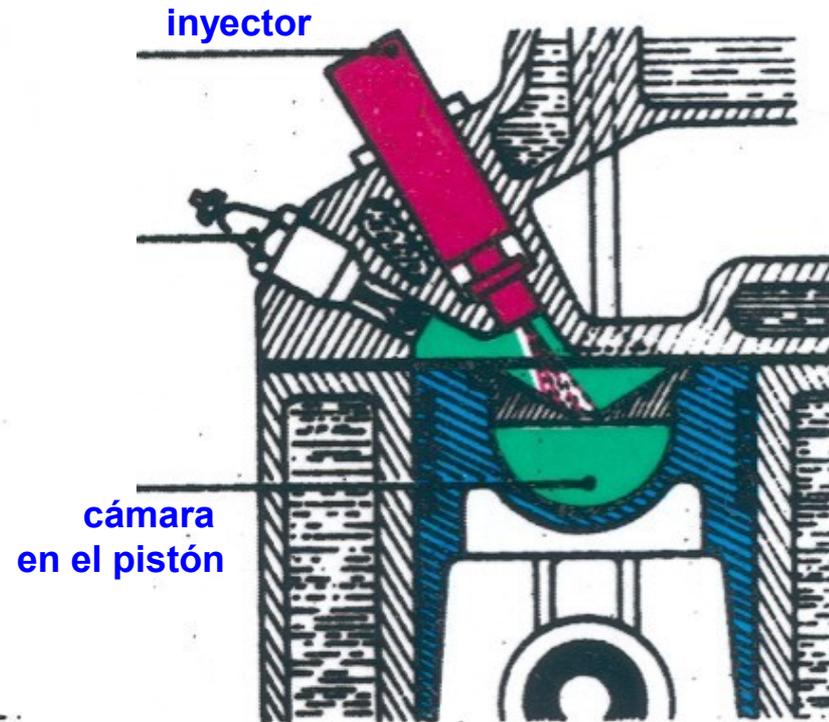
1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

Cámara de combustión

Inyección en precámara



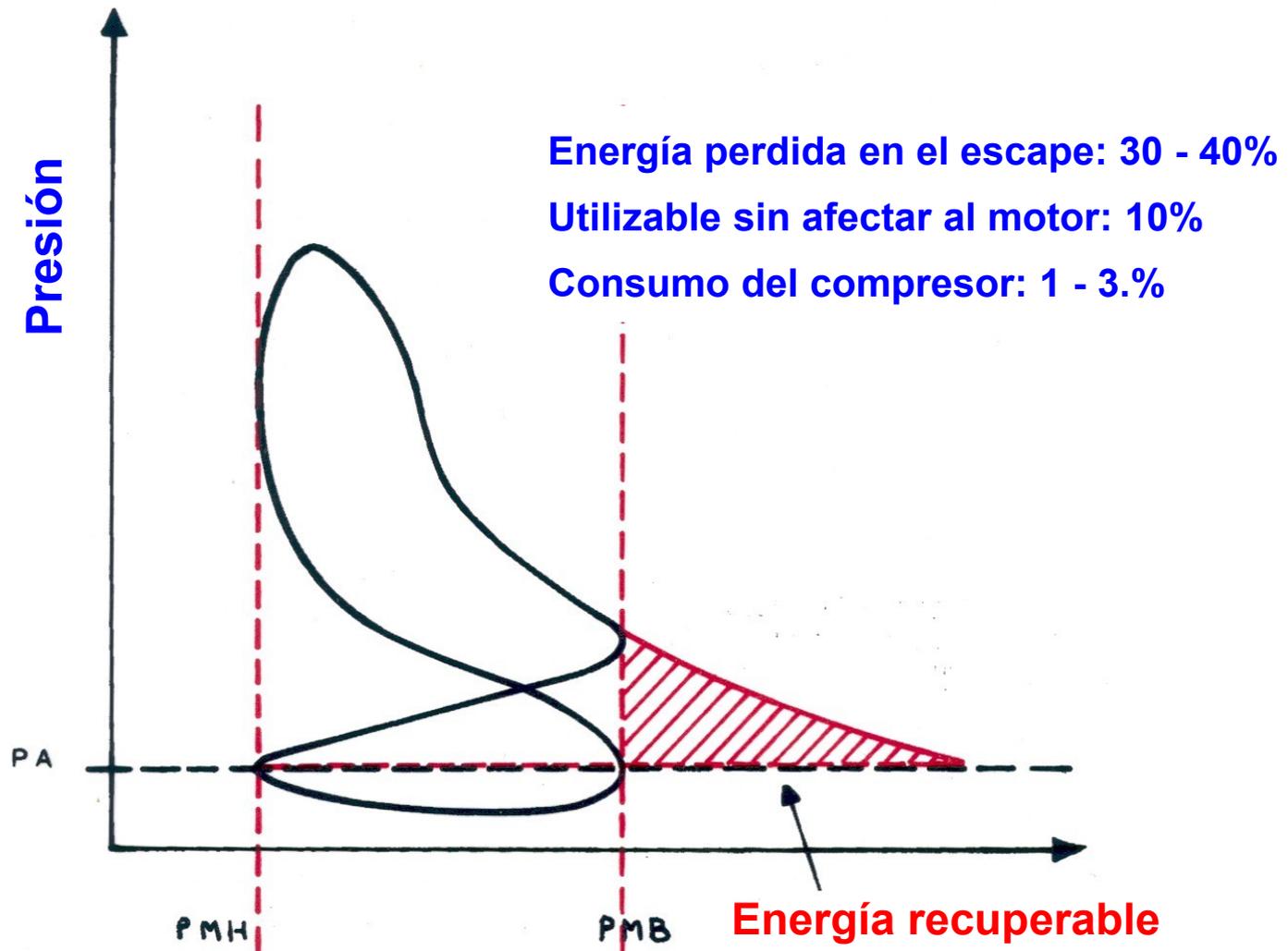
Inyección directa





1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

Recuperación de la energía residual en los gases de escape



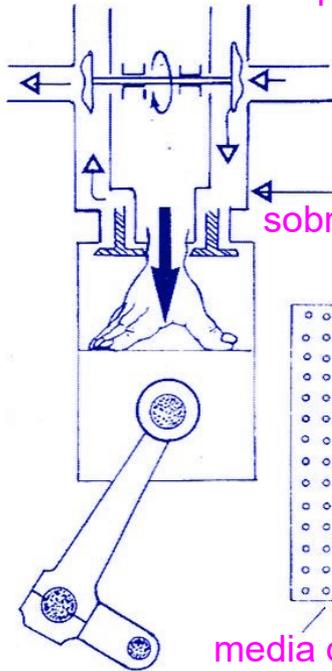
Aumento de la cantidad de aire en el cilindro

temperatura ambiente
presión atmosférica



baja densidad

temperatura alta

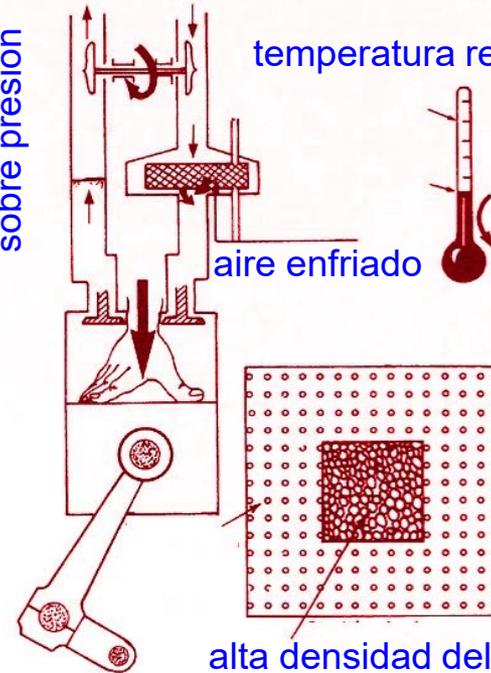


sobre presión

media dens

sobre presión

temperatura reducida



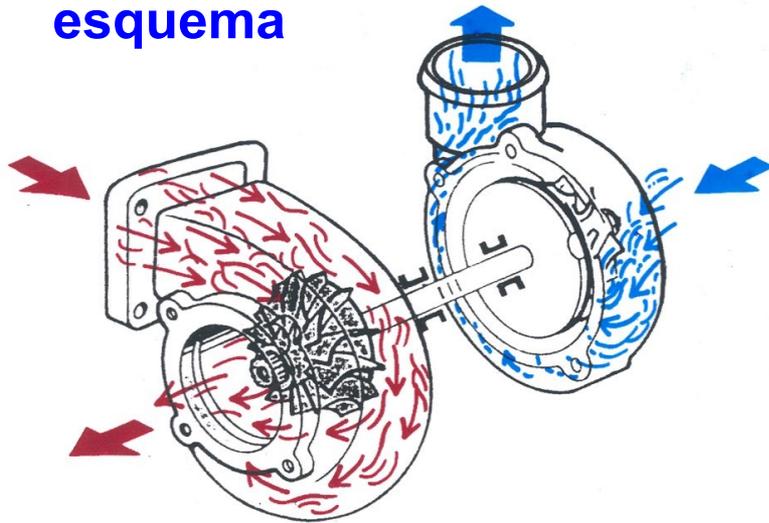
alta densidad del aire



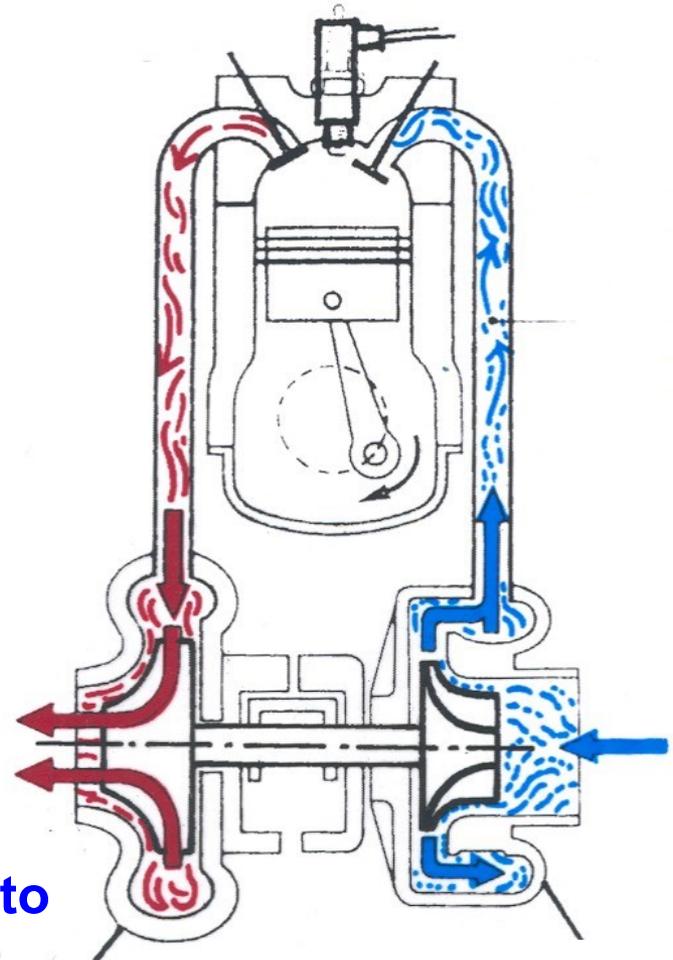
1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

El turbocompresor

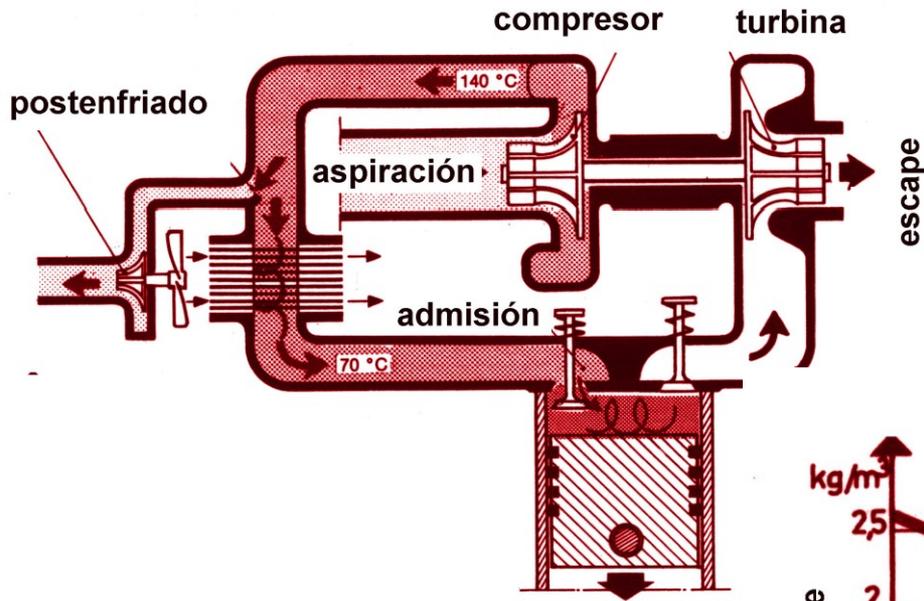
esquema



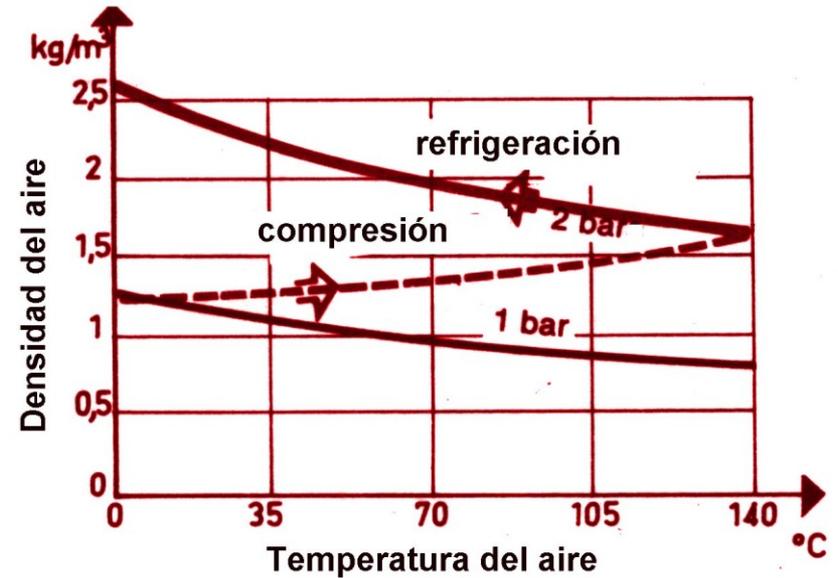
principio de funcionamiento



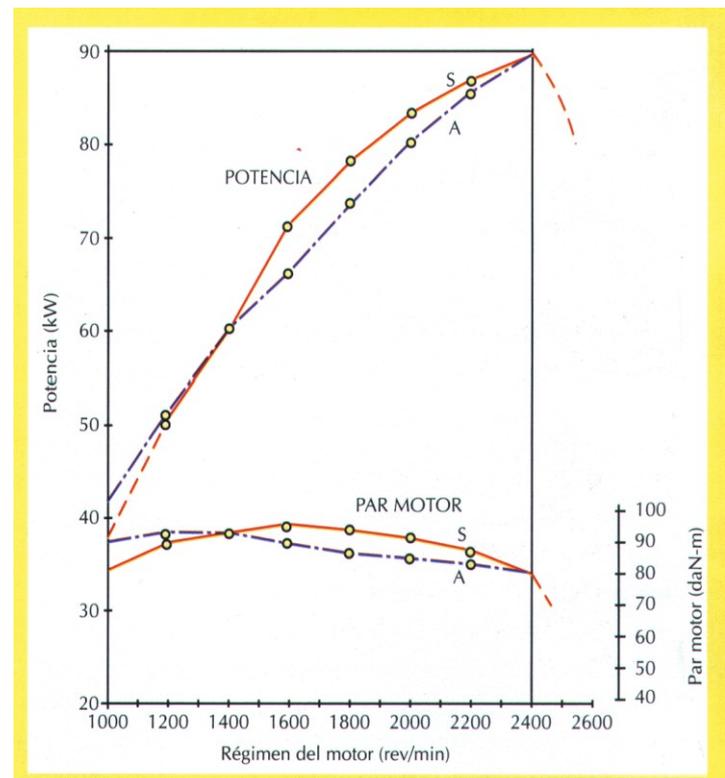
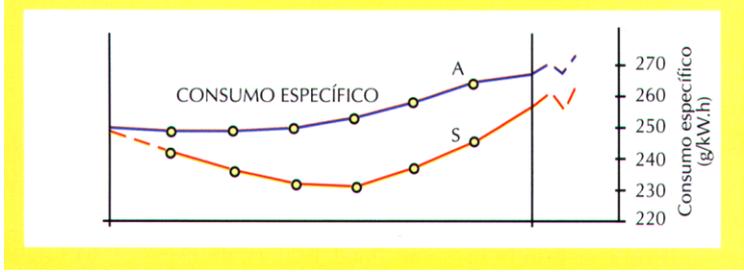
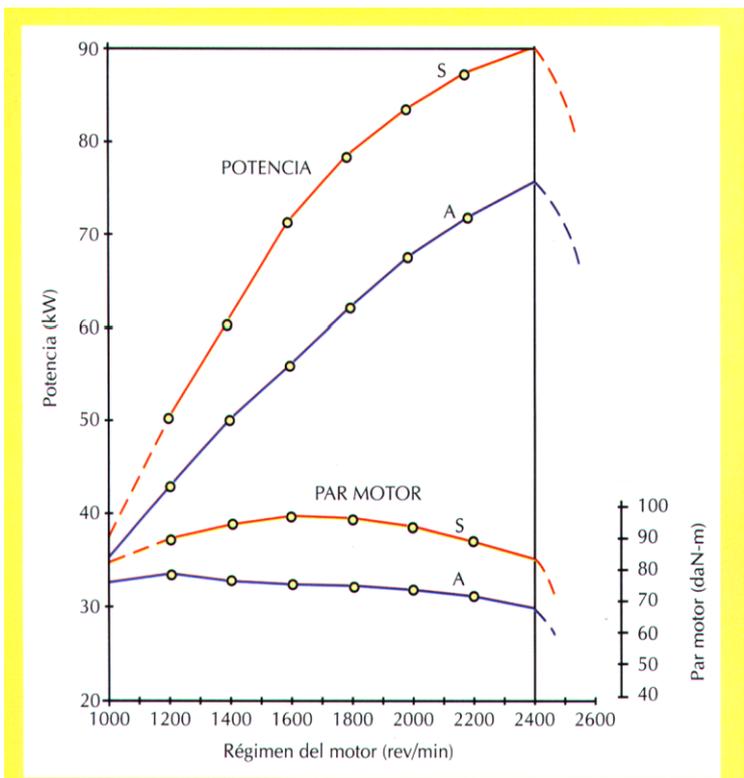
Aumentar la potencia: aire + combustible



Turboalimentado

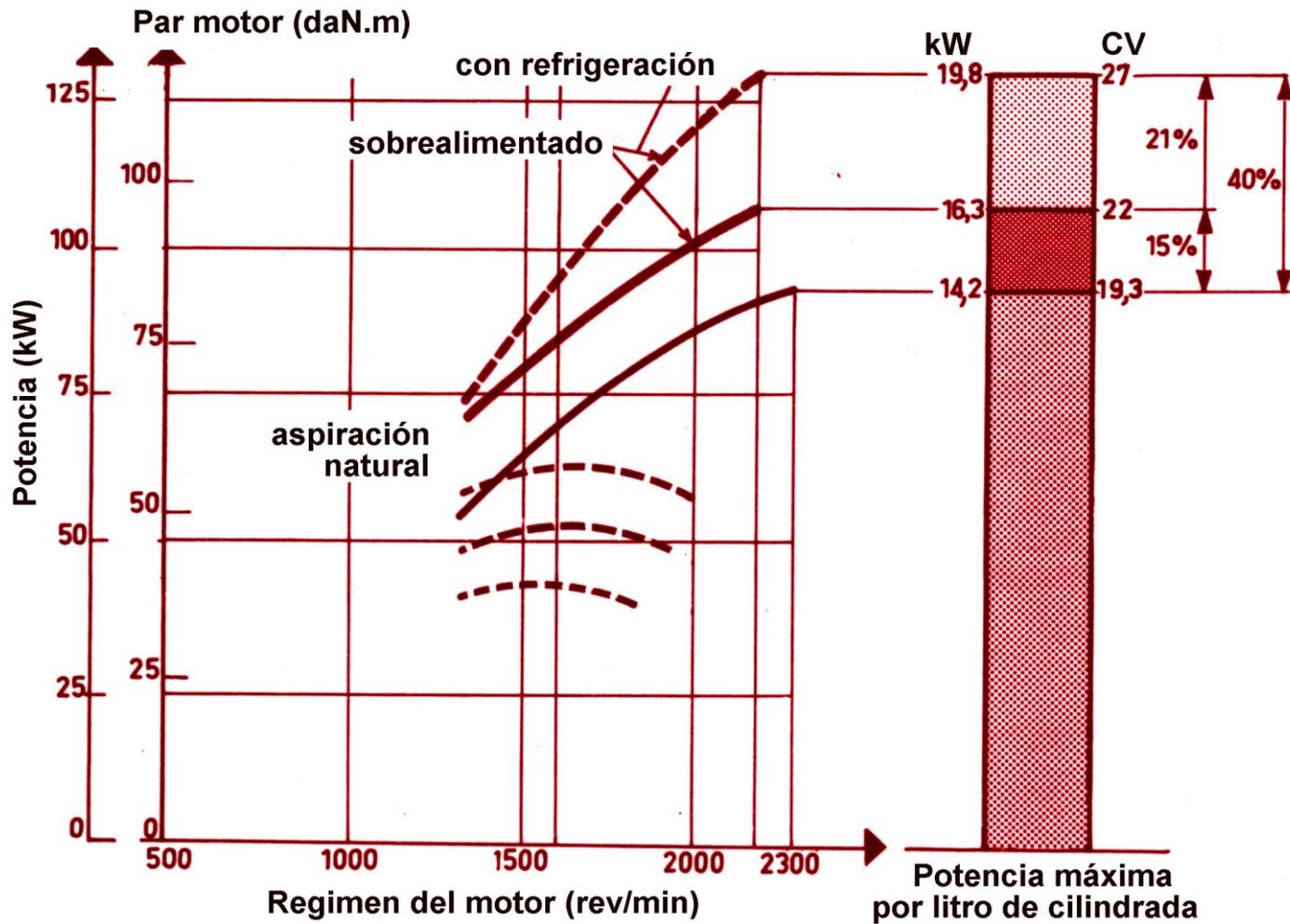


Efecto de la sobrealimentación (turbo)

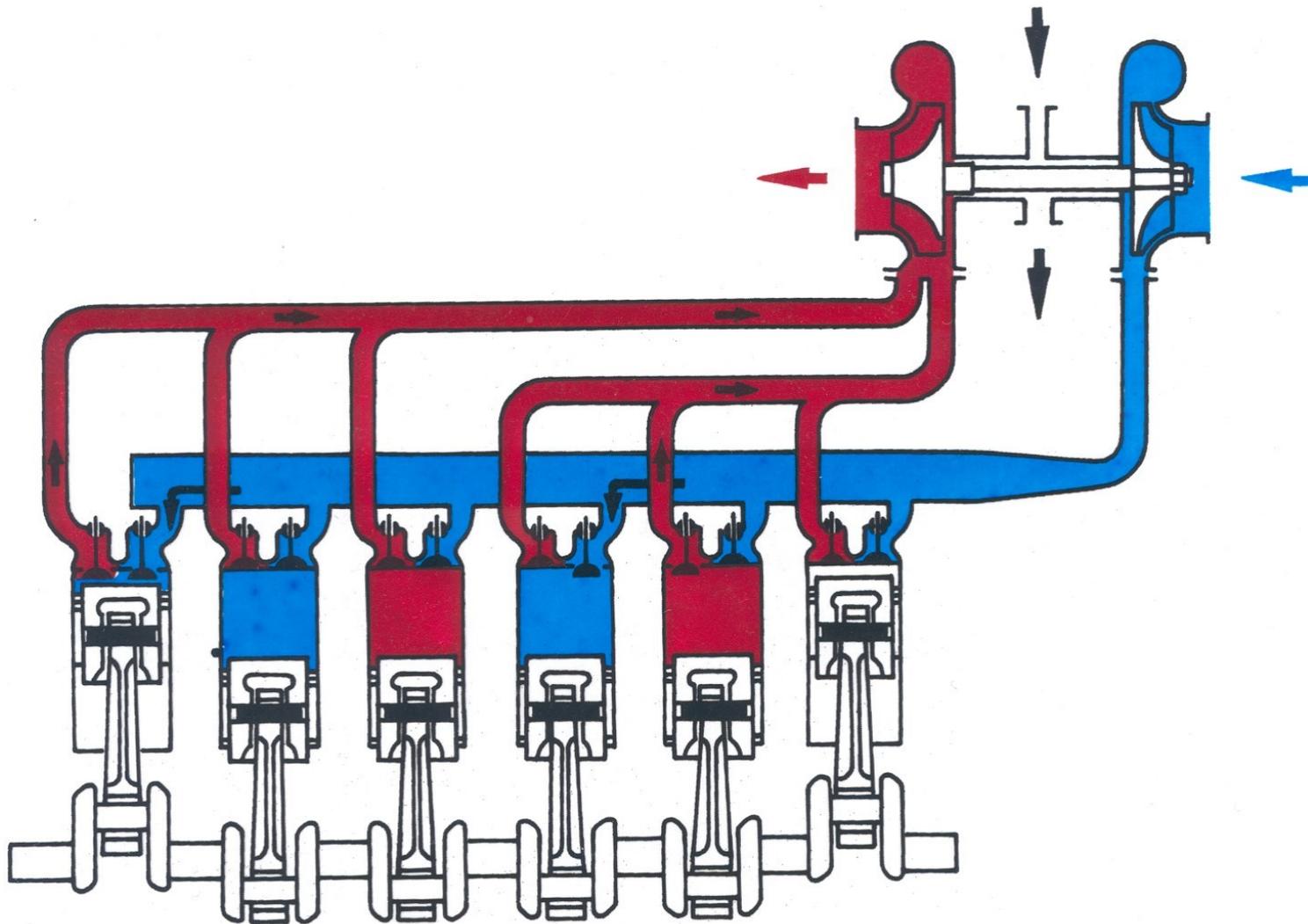




1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS



Efectos de resonancia en los colectores

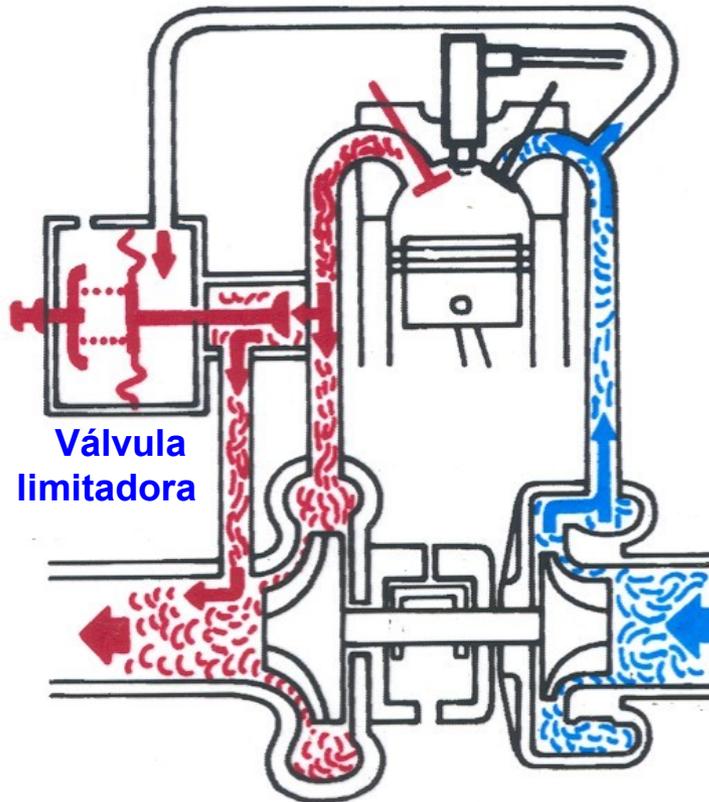




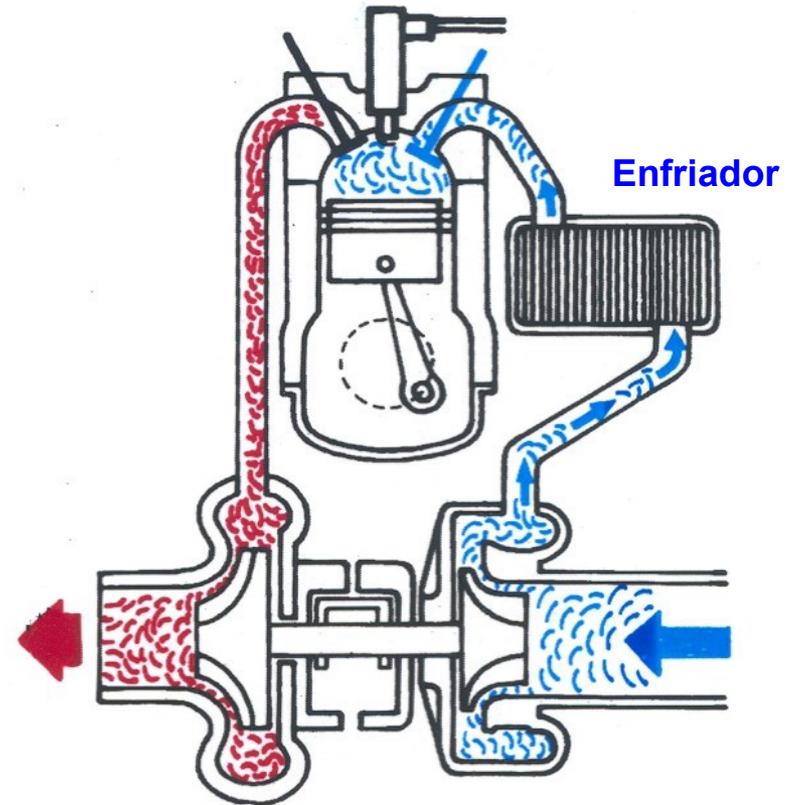
1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

Turbocompresor

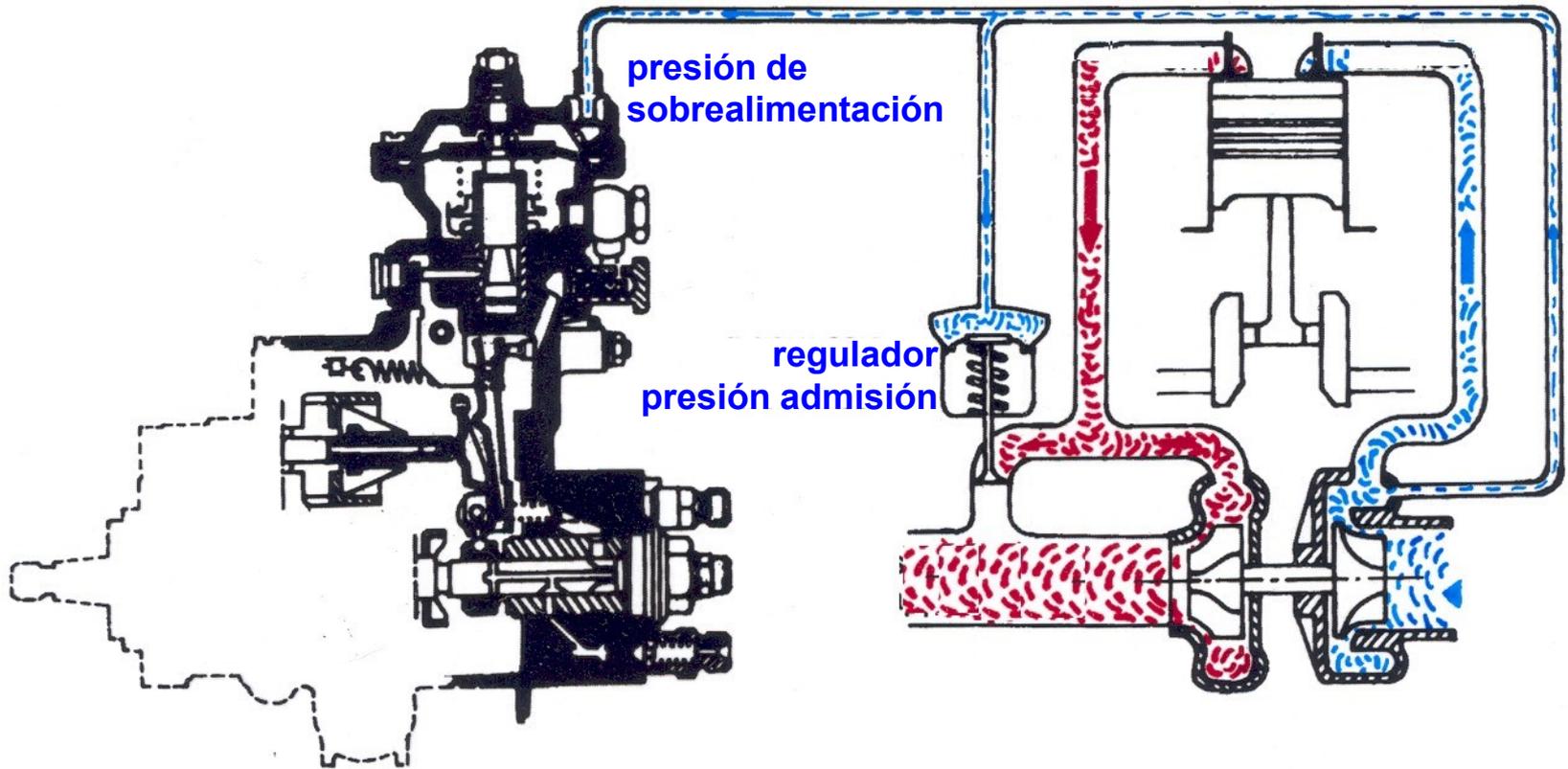
Regulación de la sobrepresión



Refrigeración del aire en la admisión



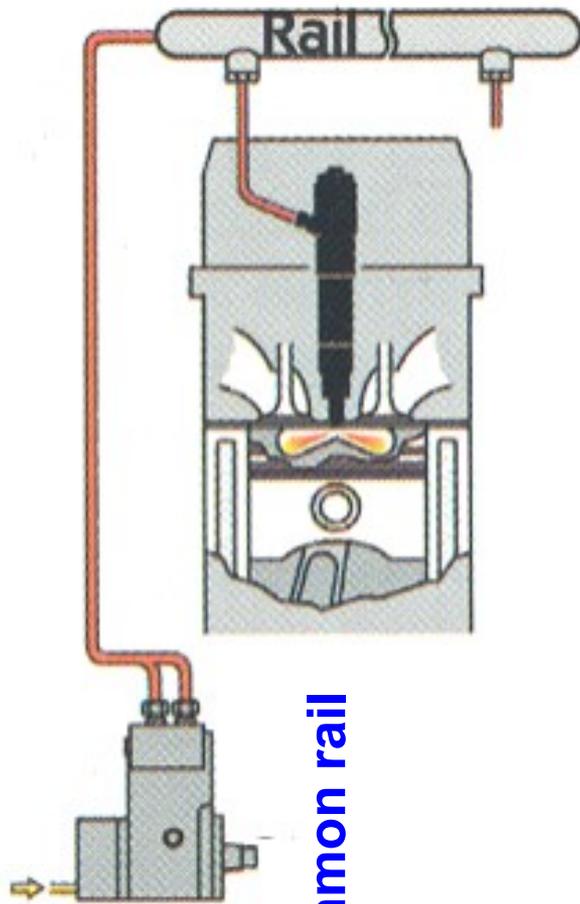
Corrección del caudal inyectado



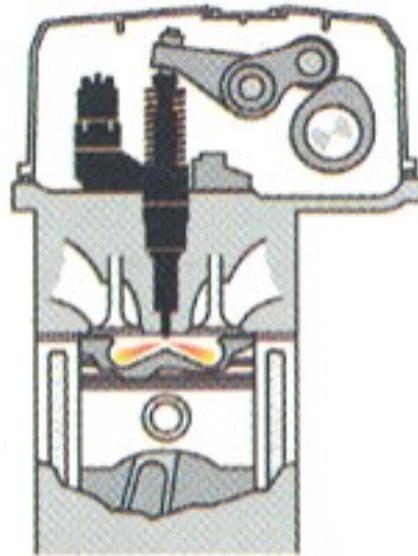


1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

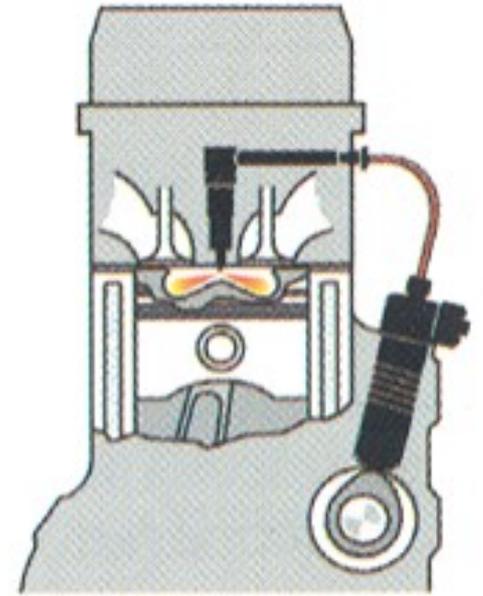
Alternativas para la inyección



common rail



bomba-inyector



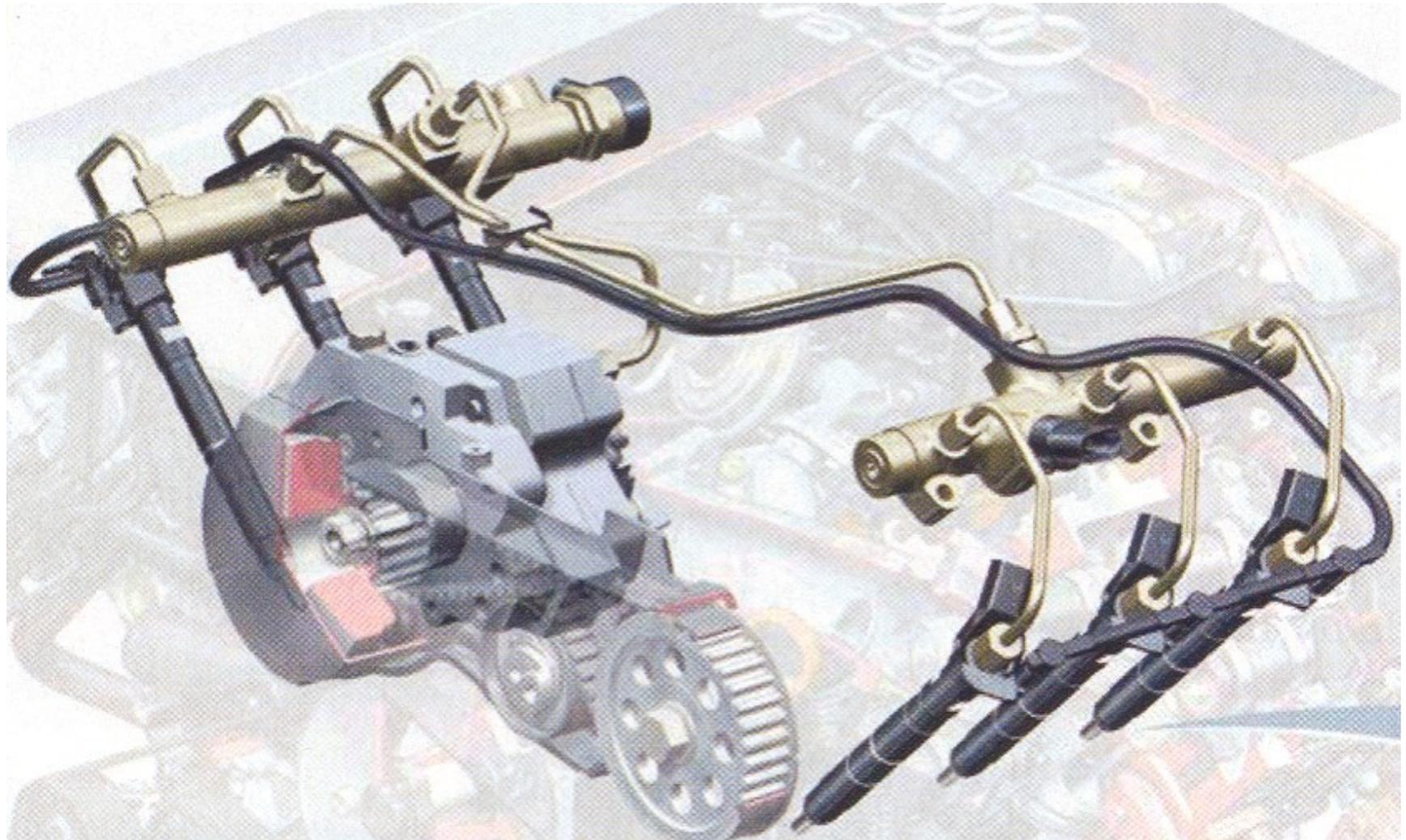
bomba con
tubo corto

Sistema de inyección: 50% valor motor



1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

Sistema para 6 cilindros en V (Audi)





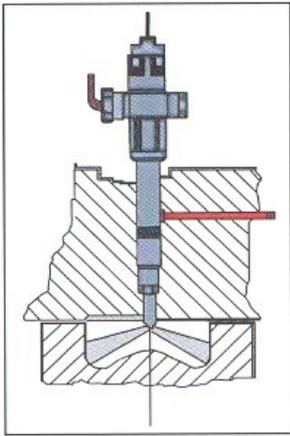
1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

Un poco de historia

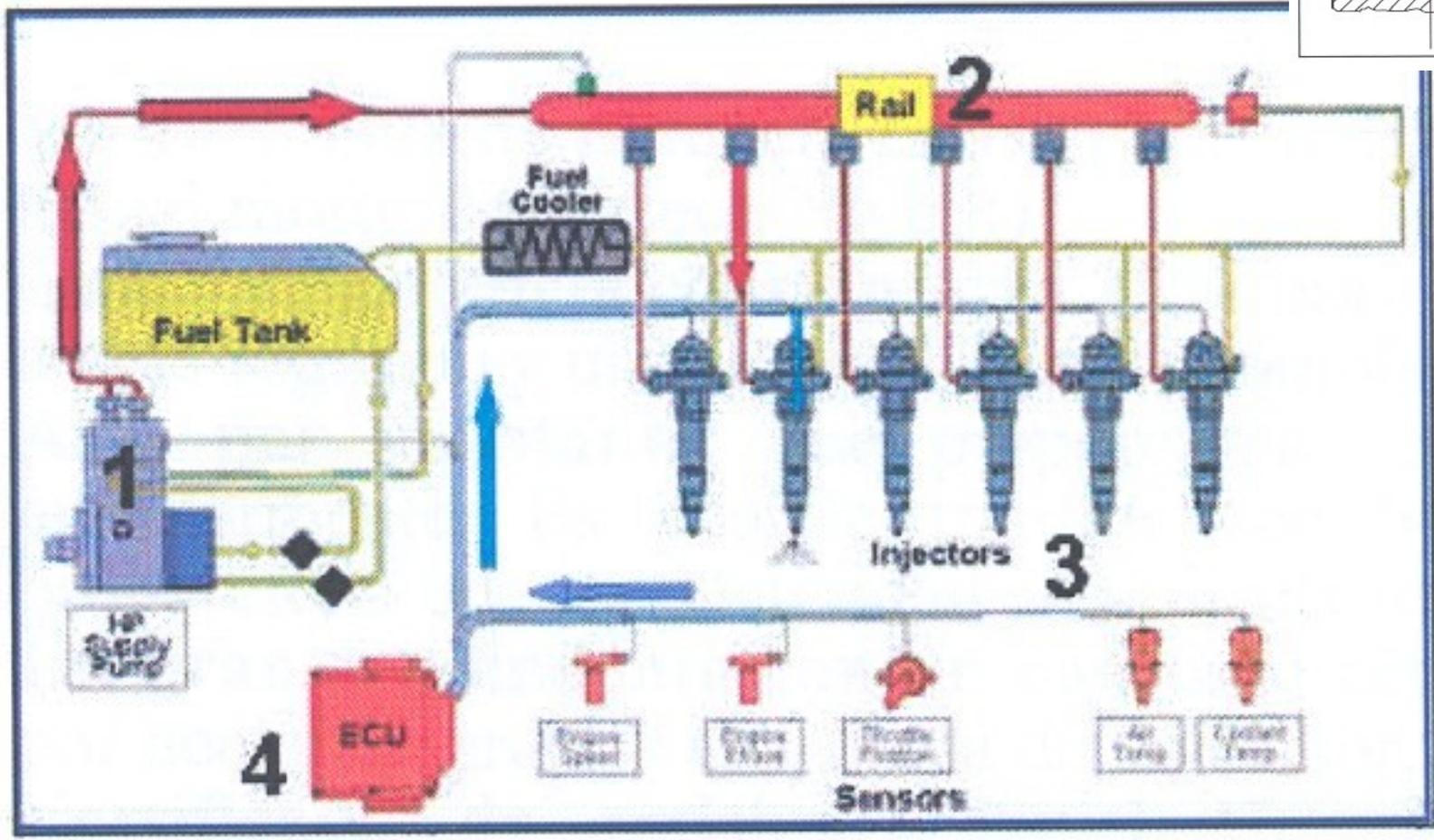
Common Rail:

- Originaria del Grupo Fiat Auto y Univ. Zurich
- Introducir gasóleo a presión en un depósito para tenerlo disponible en la inyección de manera instantánea (inyector controlado electrónicamente).
- Magneti Marelli pone en el mercado las primeras unidades (1990)
- En 1994 se busca un nuevo socio, que es Robert Bosch GmbH
- Están separadas la generación de la presión del combustible de la inyección del mismo
- La presión se produce con independencia del régimen de giro y del caudal de combustible inyectado

Modificaciones en los motores



Common rail





Datos técnicos del “common rail”

- Recipiente de acumulación del gasóleo a alta presión (1350 bar a 1600 bar en la actualidad)
- Con el mando del acelerador se establece el caudal de inyección (conductor)
- **Los sensores informan de:**
 - Posición del acelerador
 - Régimen de giro del motor
 - Caudal de aire aspirado por el motor
 - Presión de sobrealimentación
 - Presión en el “conducto común”
 - Posición del pistón en cada cilindro a través del ángulo girado por el árbol de levas
 - Temperatura del agua de refrigeración



1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

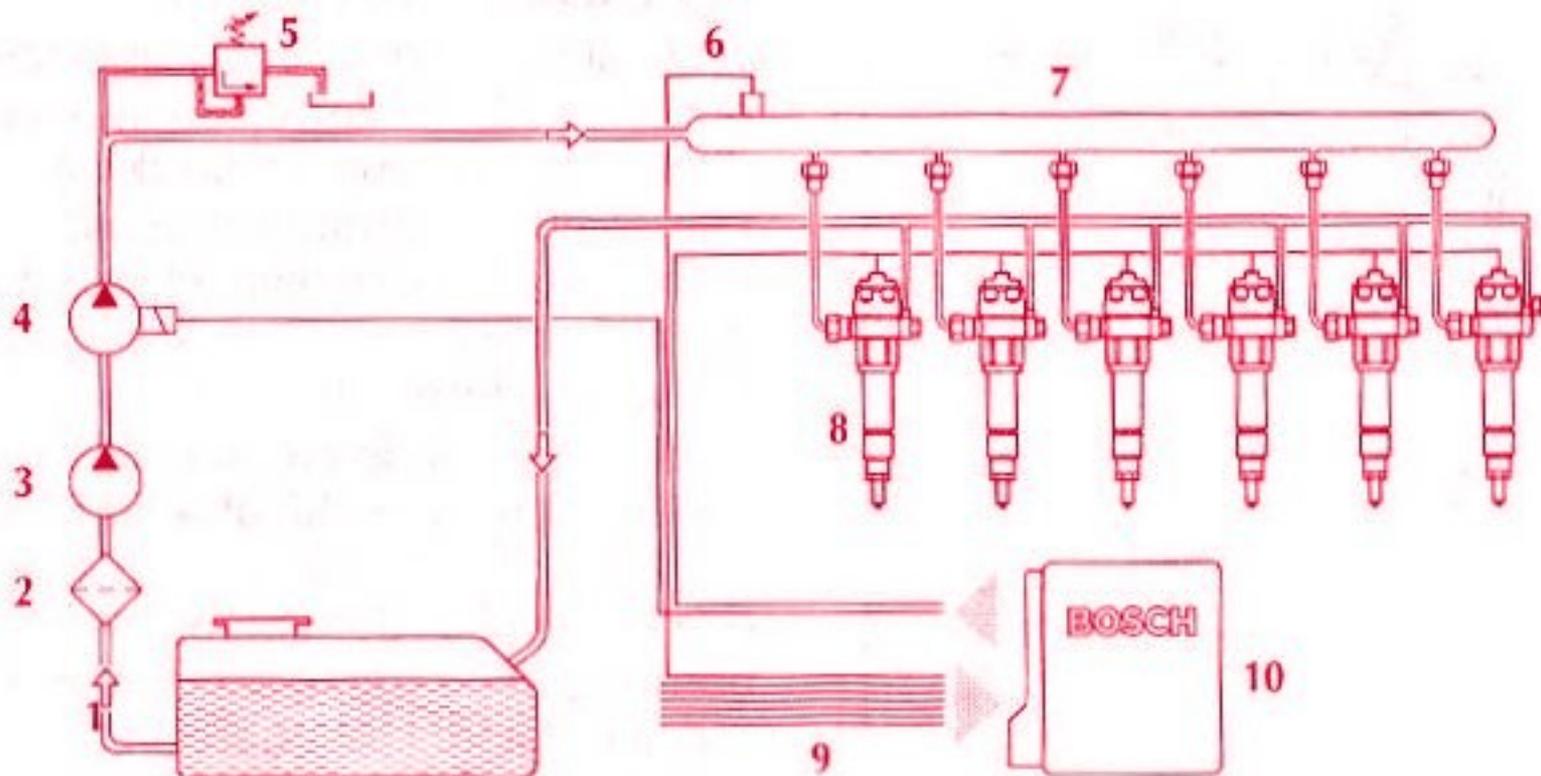
Datos técnicos del “common rail”

- La **unidad de gestión electrónica**, mediante la información que recibe de diferentes sensores:
 - Genera una señal de mando que determina el momento de la inyección, el caudal inyectado y el inyector que debe de activarse.
 - Utiliza como referencia los almacenados en su memoria
 - Realiza otras funciones adicionales que permiten reducir el consumo de combustible y las emisiones de gases de escape
 - Regula la retroalimentación de gases de escape y la presión de sobrealimentación del compresor



1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

Almacenamiento a presión



Sistema de inyección con almacenamiento "Common Rail"

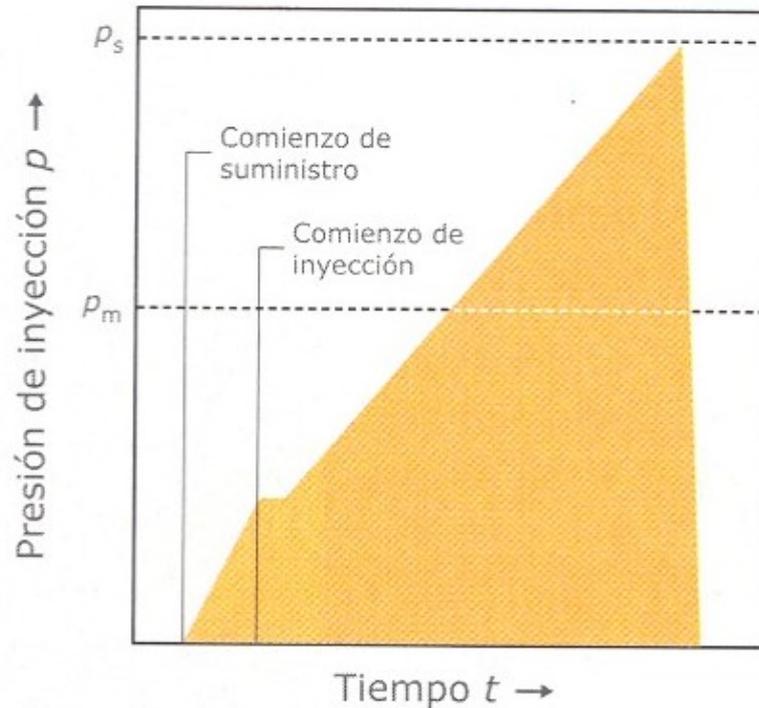
1 Depósito de combustible, 2 Filtro, 3 Bomba previa de transporte, 4 Bomba de transporte de alta presión, 5 Válvula de delimitación de la presión, 6 Sensor de presión, 7 Colector de distribución, 8 Inyectores, 9 Sensores, 10 Dispositivo electrónico de mando



1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

Inyección en un sistema convencional

A) Desarrollo de inyección en la inyección convencional



p_m = Presión de inyección media

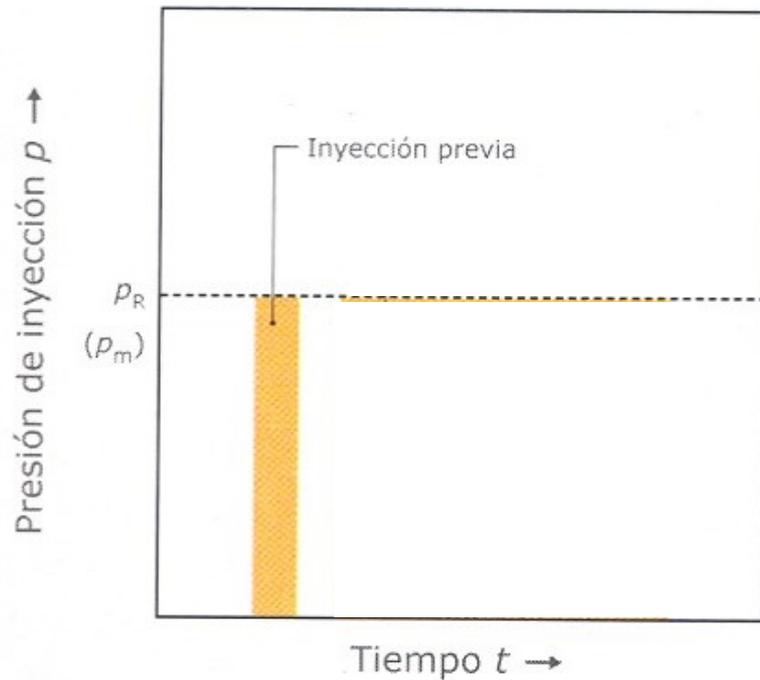
p_s = Presión punta

- No se puede separar la generación de presión de la inyección del combustible
- La presión aumenta con el régimen de giro del motor y mayor caudal inyectado
- La presión aumenta de manera continua y desciende bruscamente al final del ciclo
- Los caudales de inyección pequeños se inyectan a presiones bajas
- Presión máxima igual a dos veces la presión media
- Desarrollo creciente de la inyección que favorece la combustión



Inyección en un sistema “common rail”

B) Desarrollo de inyección en la inyección Common Rail



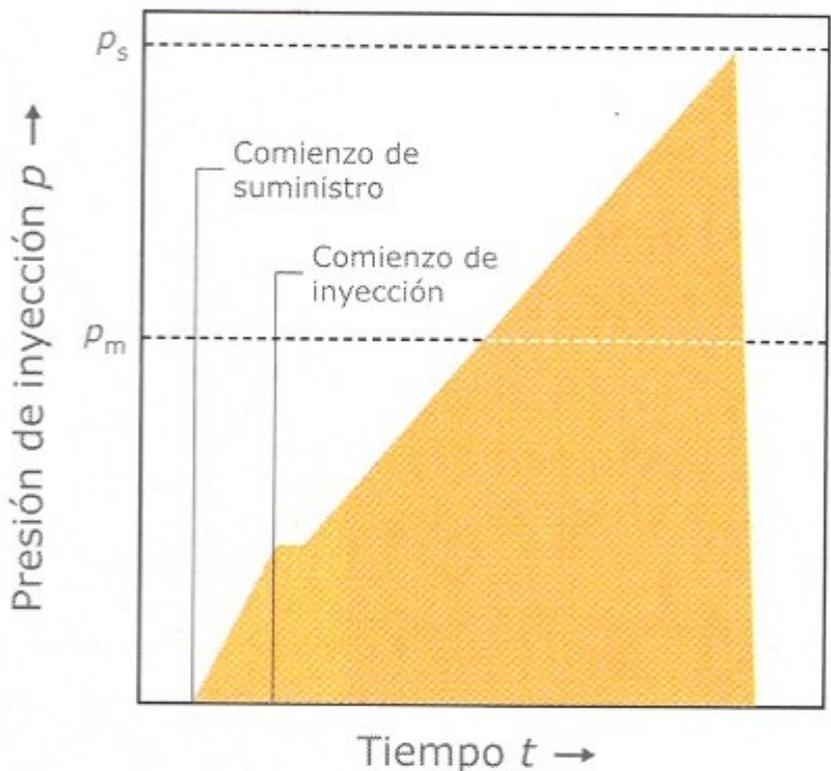
p_m = Presión de inyección media

p_R = Presión Rail

- El caudal de inyección y presión se establecen por separado
- Son independientes entre si y en cada punto de funcionamiento del motor
- La inyección se realiza al menos en dos etapas
- La primera tiene lugar con un anticipo hasta de 90° del punto muerto superior
- En esta se suministra una pequeña cantidad de combustible que para el acondicionamiento previo de la cámara de combustión
- Aumenta ligeramente la compresión con lo que mejora el rendimiento

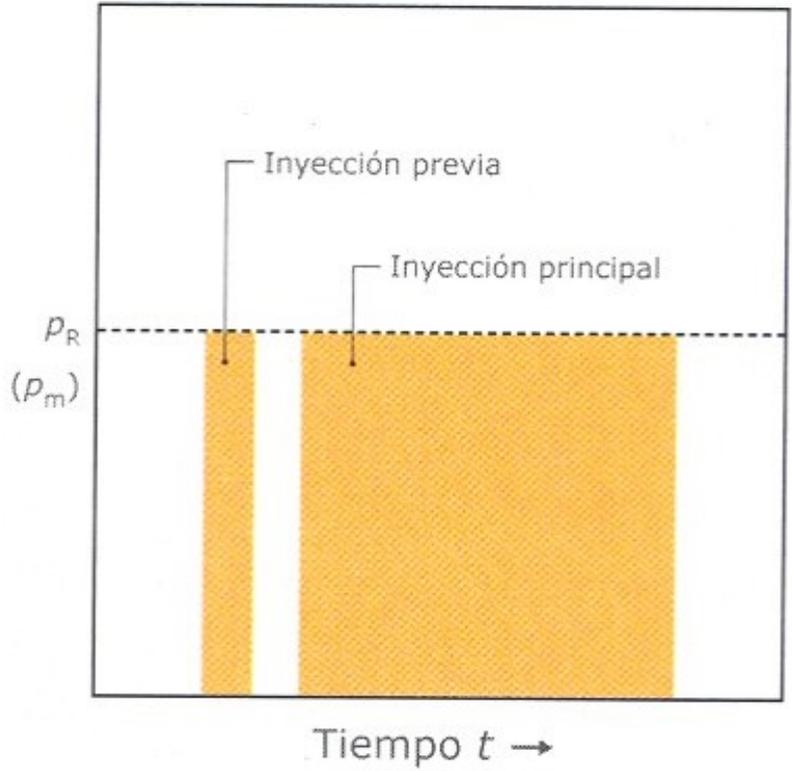
Diferencias en la inyección

A) Desarrollo de inyección en la inyección convencional



p_m = Presión de inyección media
 p_s = Presión punta

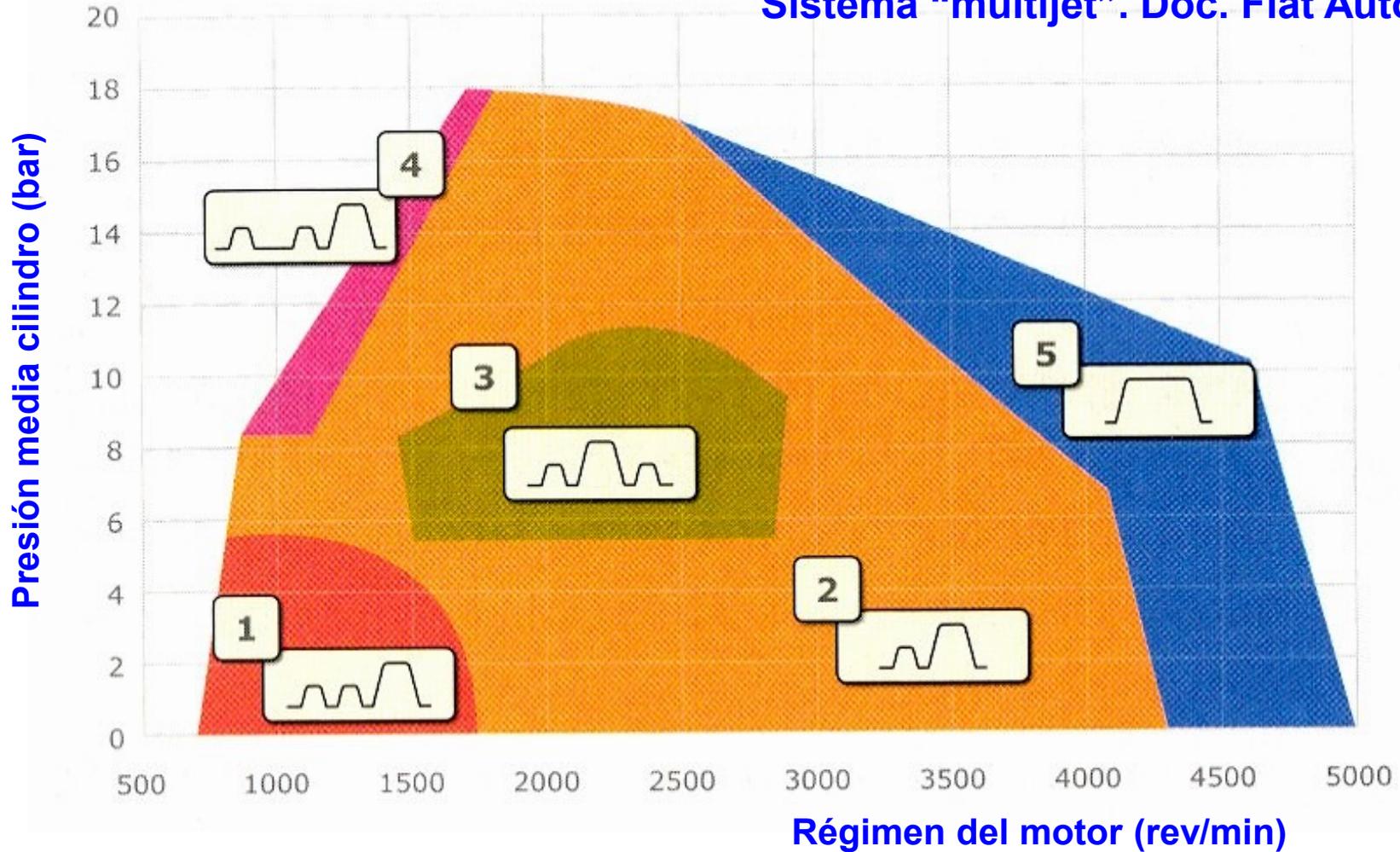
B) Desarrollo de inyección en la inyección Common Rail



p_m = Presión de inyección media
 p_R = Presión Rail

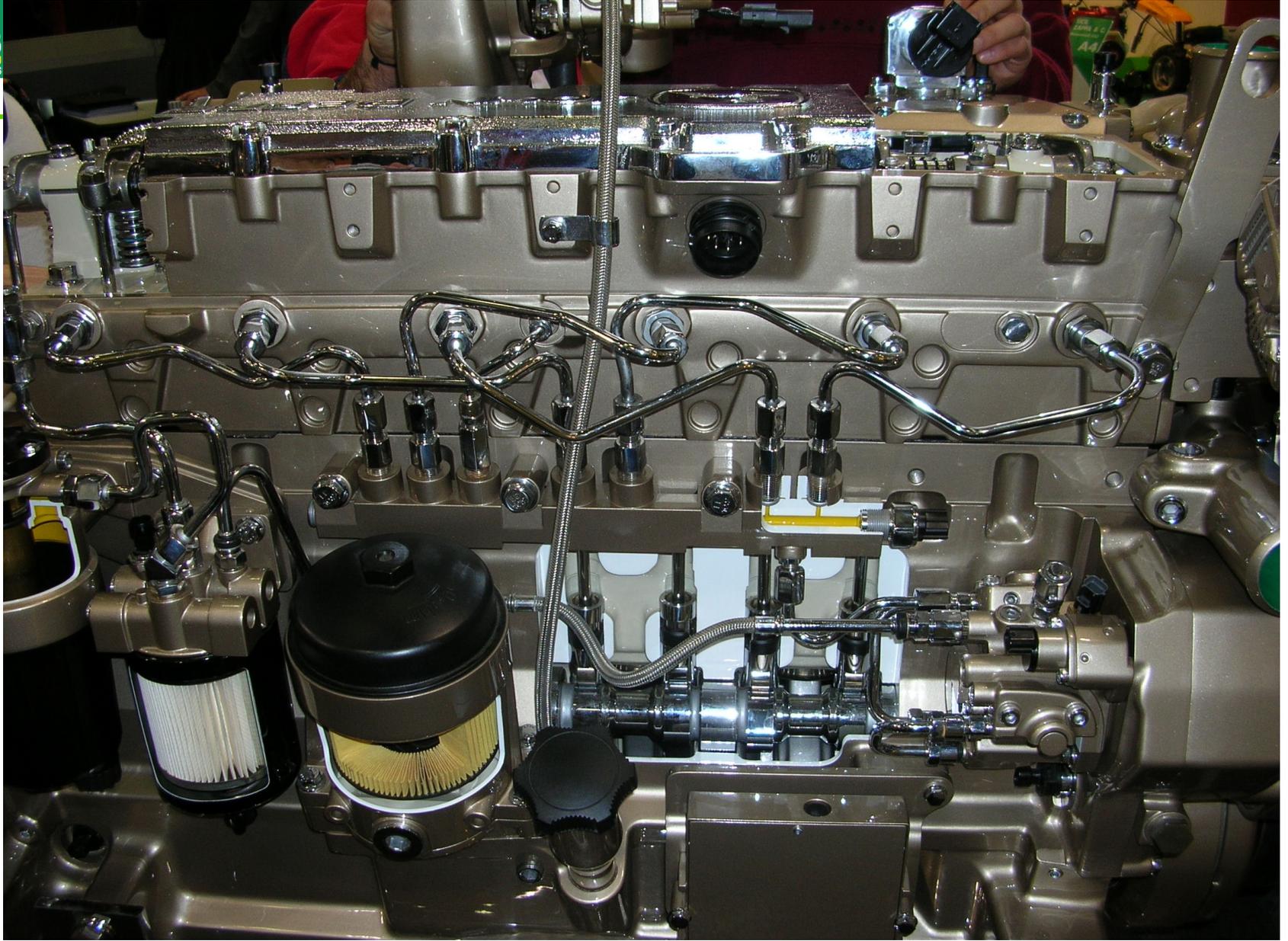
Características de la inyección

Sistema "multijet". Doc. Fiat Auto





1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

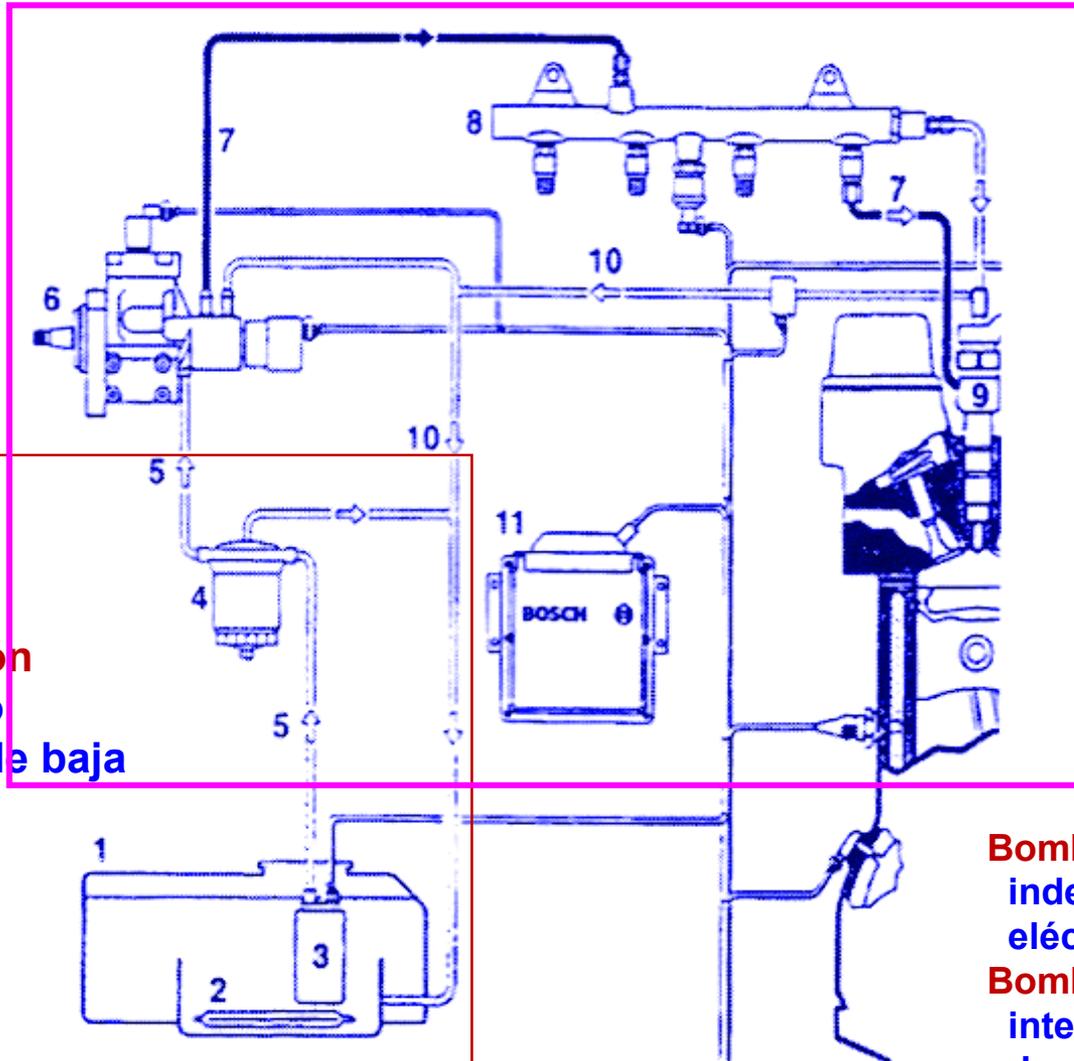


Luis Márquez



1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

Circuito completo (Bosch)



Baja presión

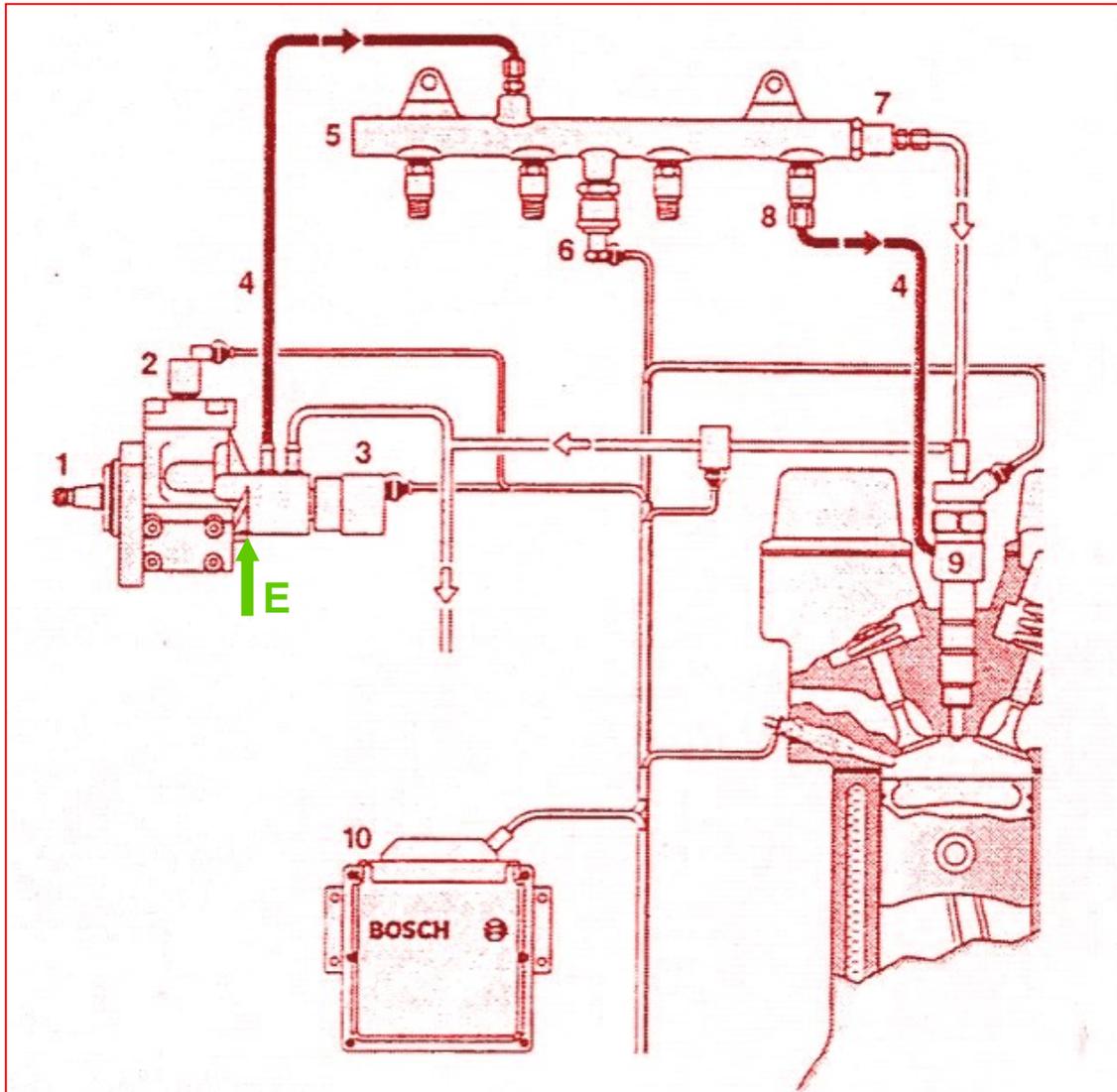
- 1- depósito
- 3- bomba de baja
- 4- filtro

- Bomba de rodillos independiente accionada eléctricamente
- Bomba de engranajes integrada en la bomba de alta presión



1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

Circuito de alta presión (Bosch)

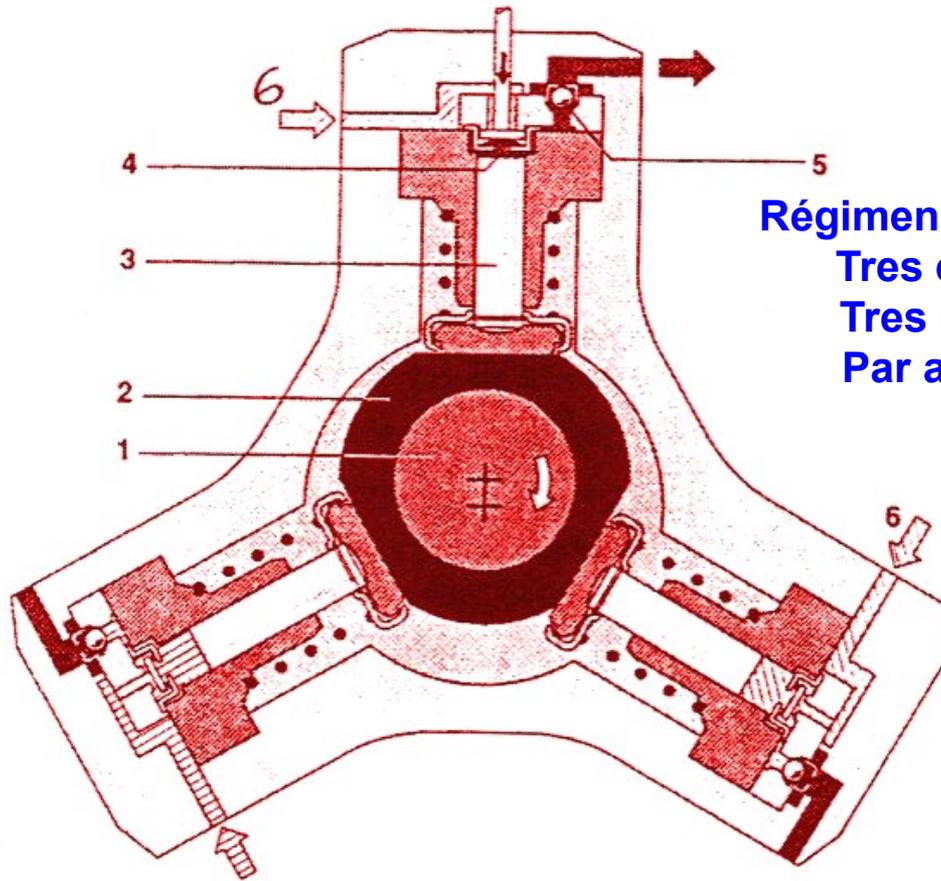


- 1- bomba de alta
- 3 - válvula reguladora
- 5 - rail común
- 6 - sensor de presión
- 7 - válvula limitadora
- 9- inyector



1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

Bomba de alta presión (Bosch)



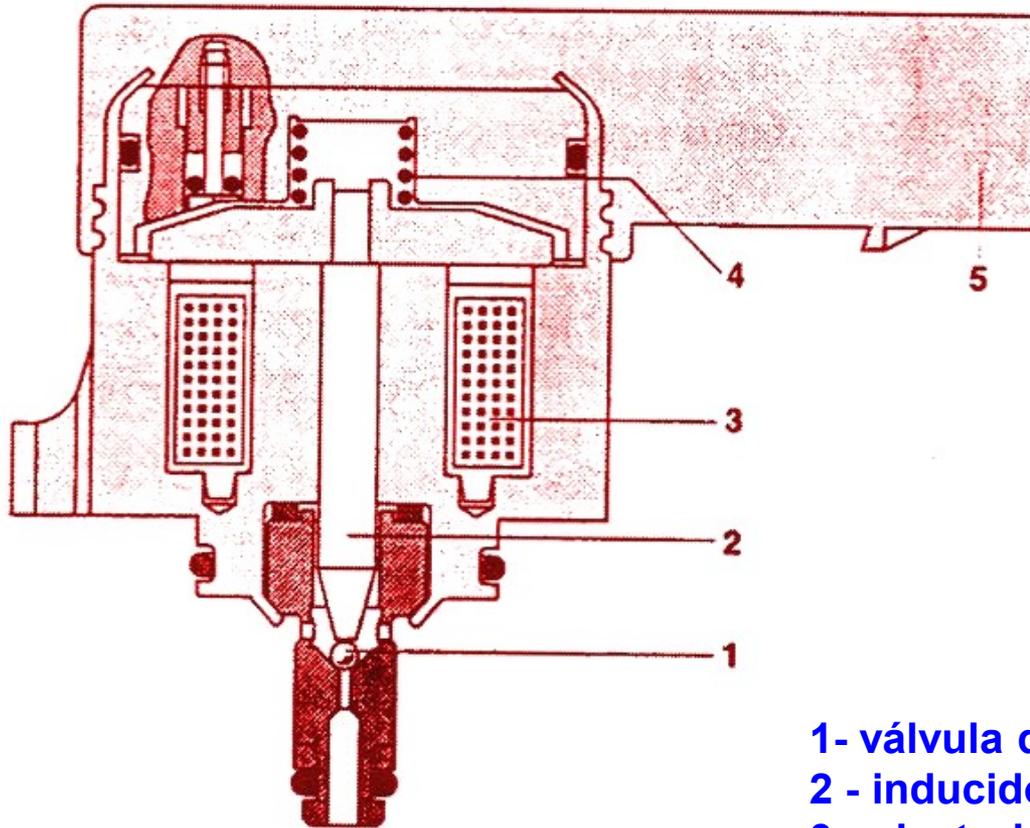
Régimen de giro máximo de 3000 rev/min
Tres émbolos dispuestos radialmente
Tres carreras por vuelta (excéntricas)
Par accionamiento 1/9 bomba normal

4- aspiración
5 - salida



1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

Válvula reguladora (Bosch)

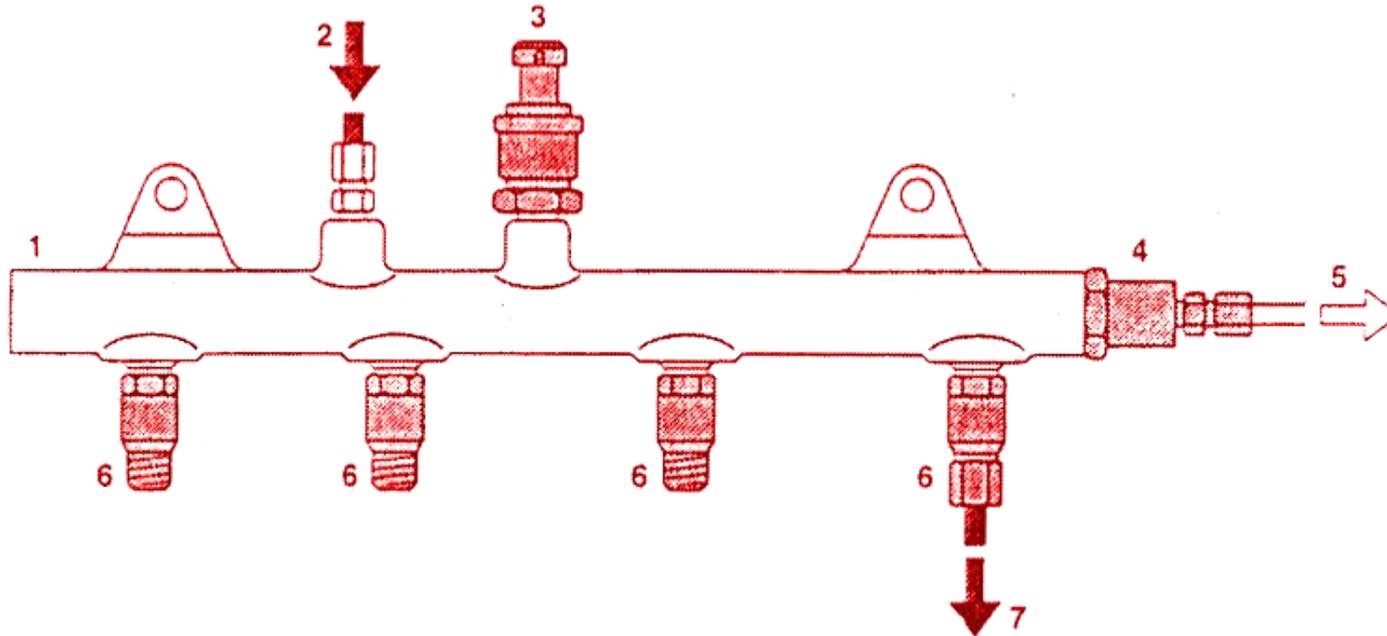


- 1- válvula de retorno del combustible
- 2 - inducido
- 3 - electroimán
- 4 - resorte



1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

Depósito común (Bosch)

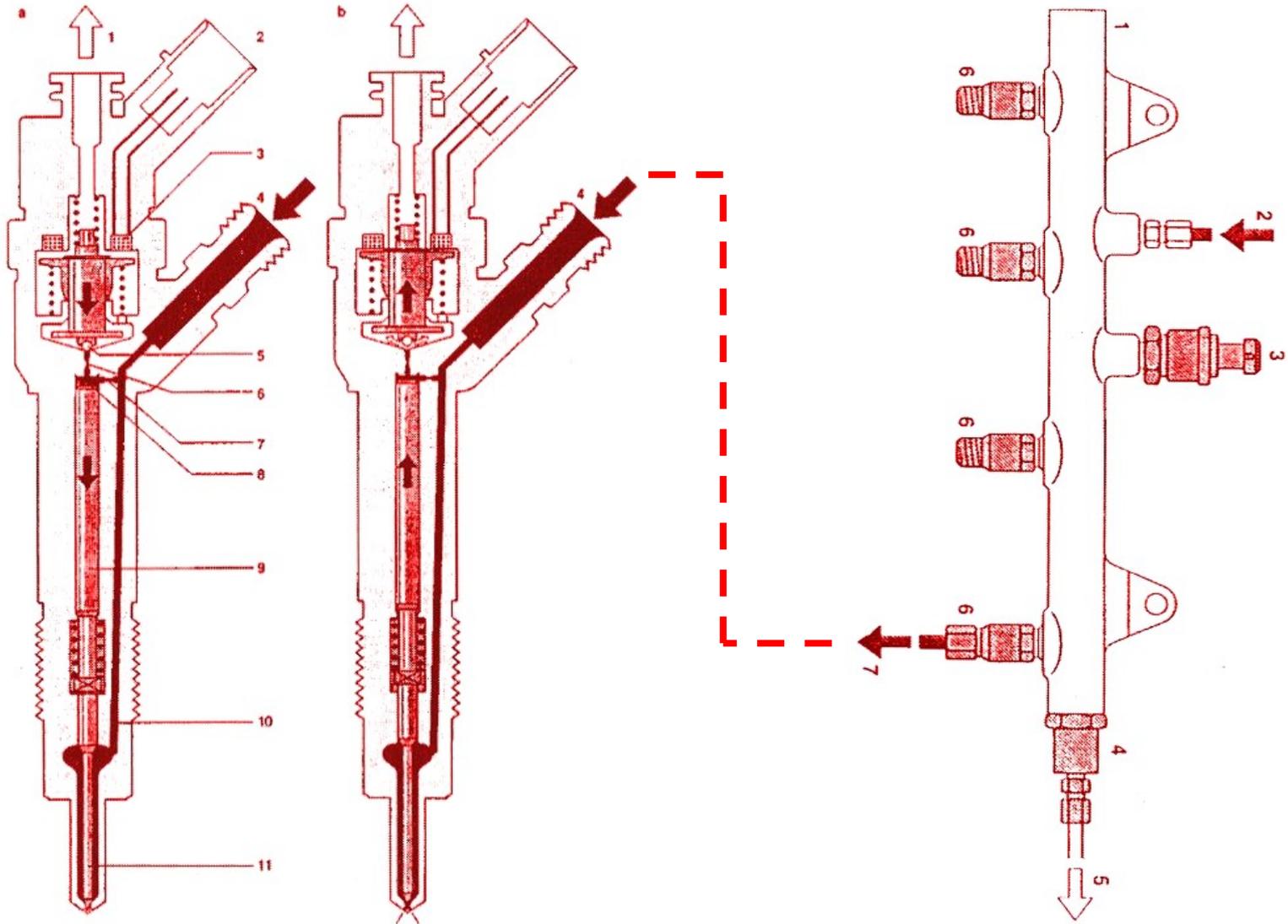


- 2 - entrada de gasóleo a presión
- 3 - sensor de presión
- 4 - limitador de flujo
- 7 - al inyector



1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

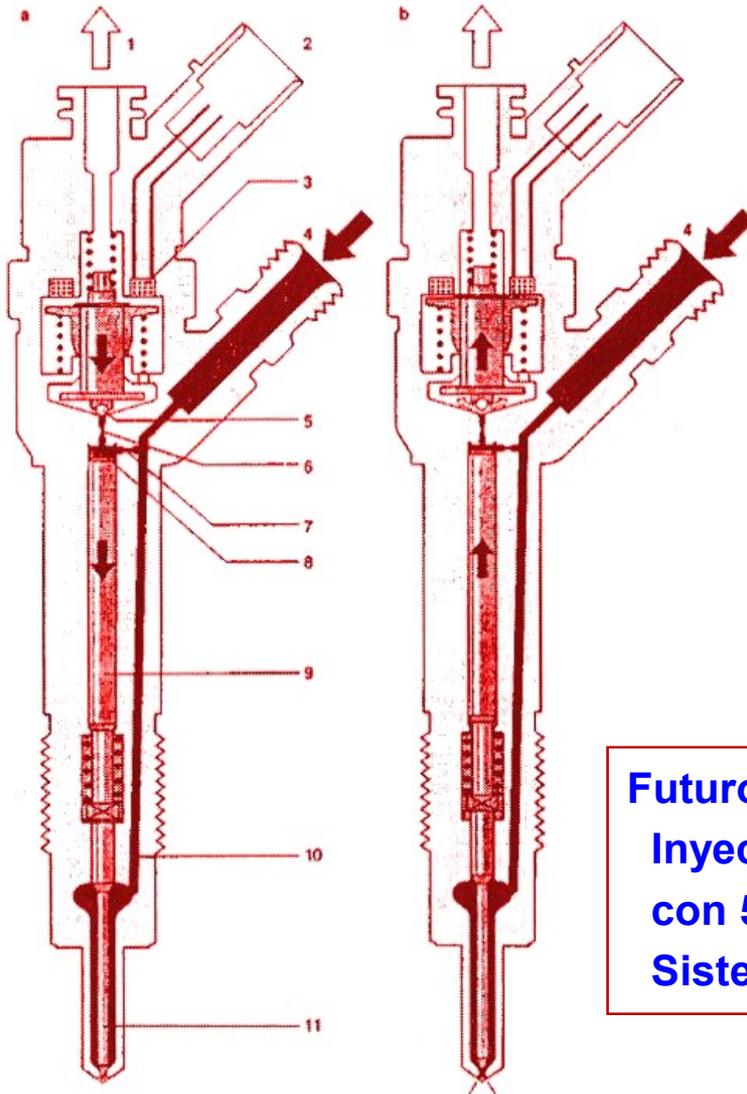
Depósito común e inyectores





1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

Inyectores (Bosch)



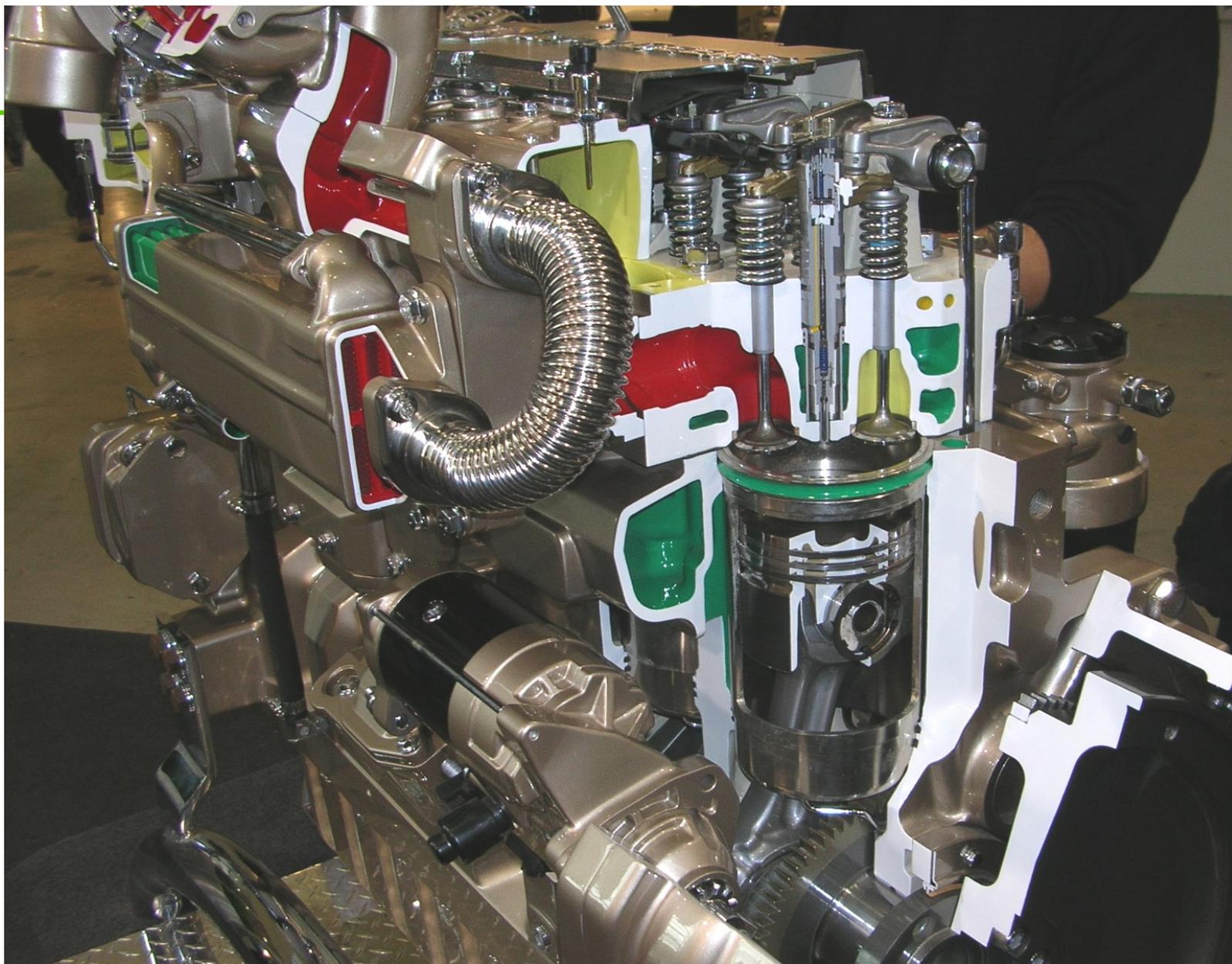
- 1 – retorno de combustible
- 4 – entrada a alta presión
- 6 – estrangulador de salida
- 9 – vástago de la aguja
- 11 – aguja del inyector

Futuro:

Inyectores piezoeléctricos (4 veces mas rápidos),
con 5 inyecciones por ciclo (200 μ s)
Sistema “multijet”



1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

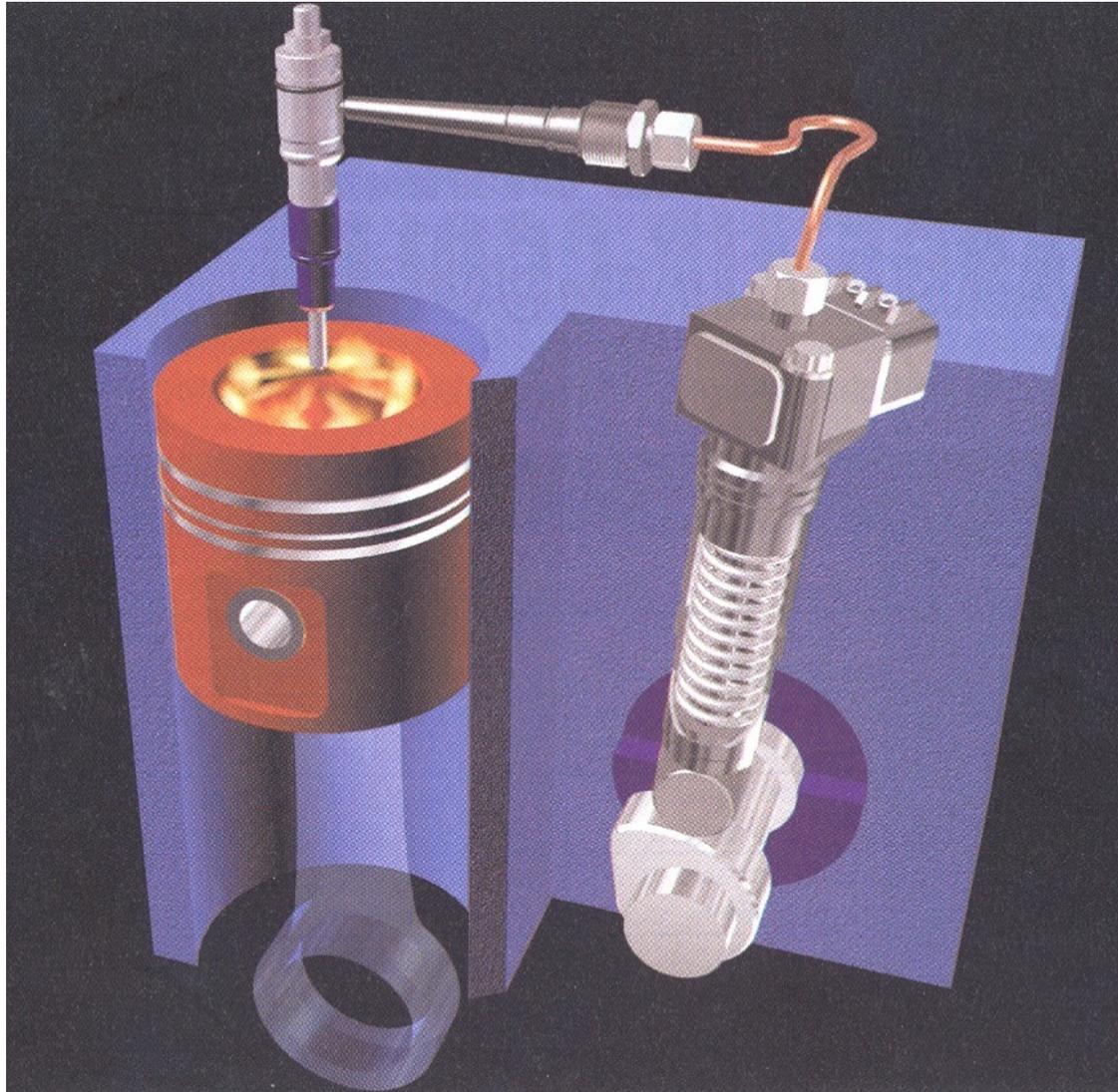


Luis Márquez



1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

Modificaciones en los motores

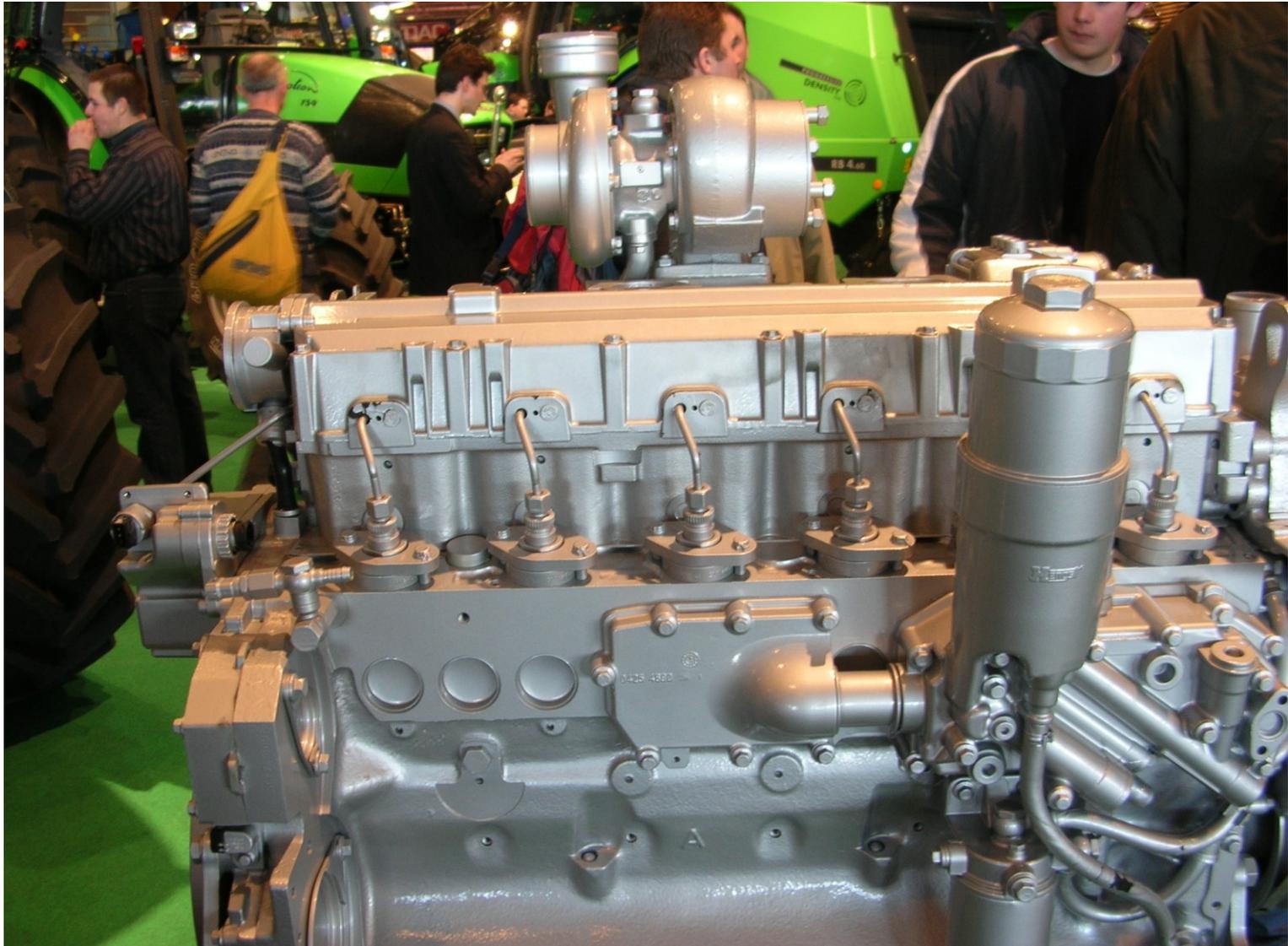


**Bomba inyectora
de tubo corto**



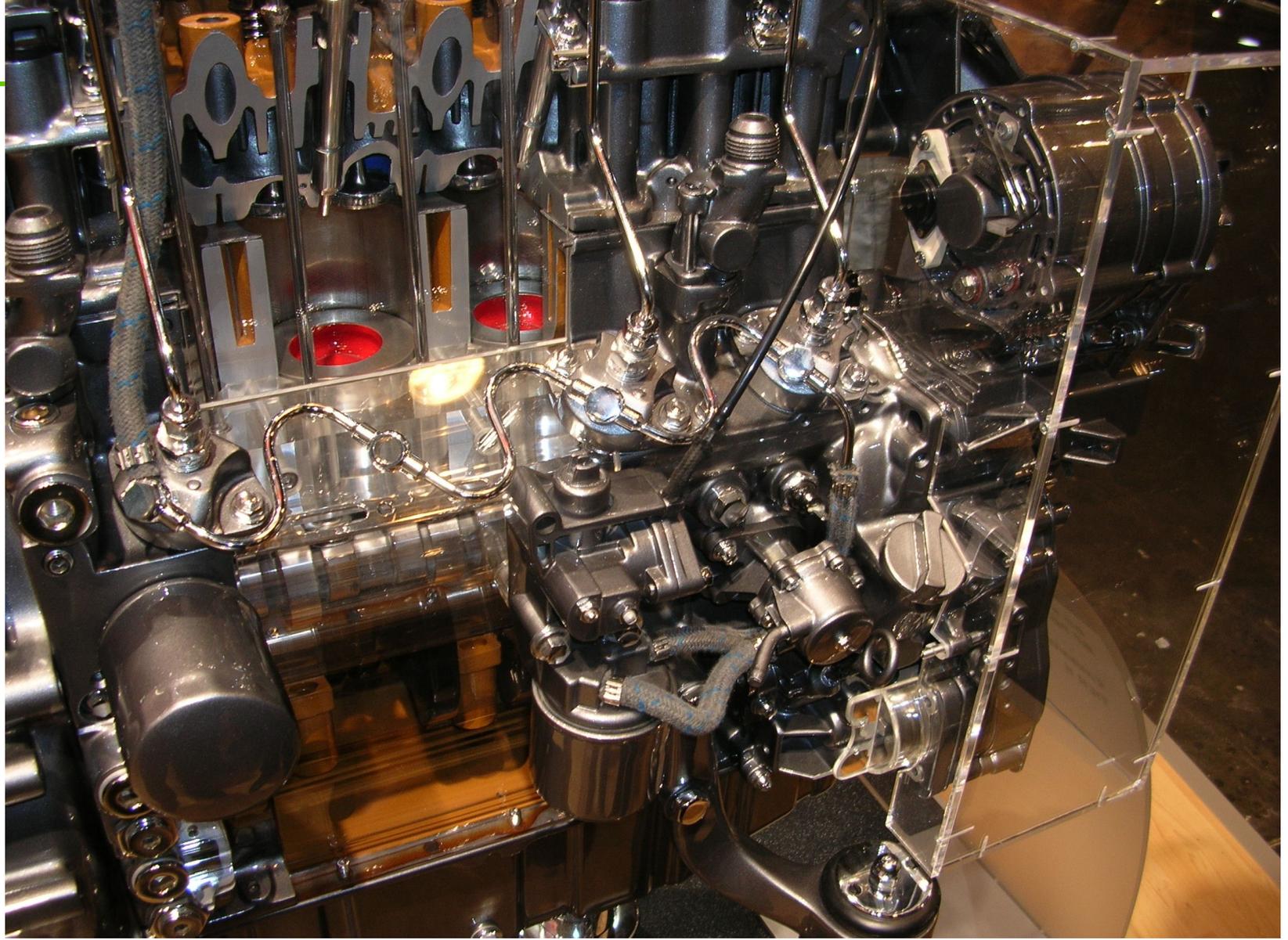
1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

Una bomba para cada cilindro





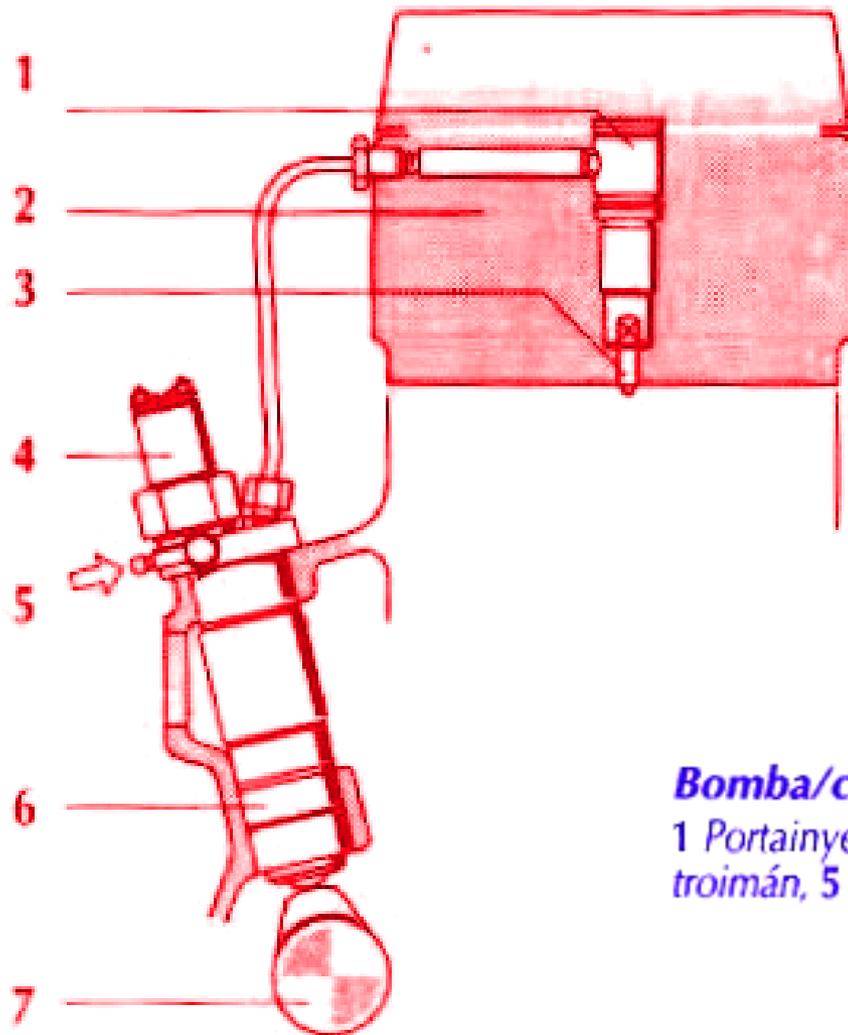
1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS



Luis Márquez



Bomba con tubo corto (PLD)



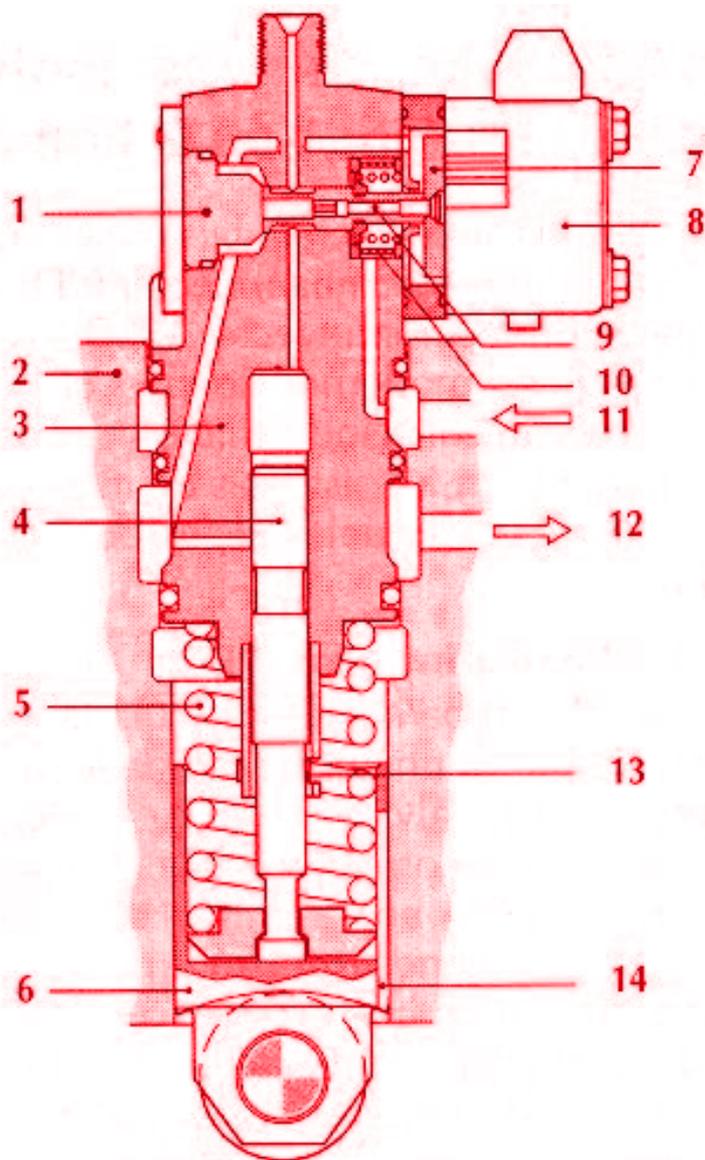
Bomba/conducción/injector (PLD)

1 Portainyector, 2 Motor, 3 Inyector, 4 Válvula de electroimán, 5 Admisión, 6 Bomba de alta presión, 7 Leva



1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

Bomba con válvula electroimán



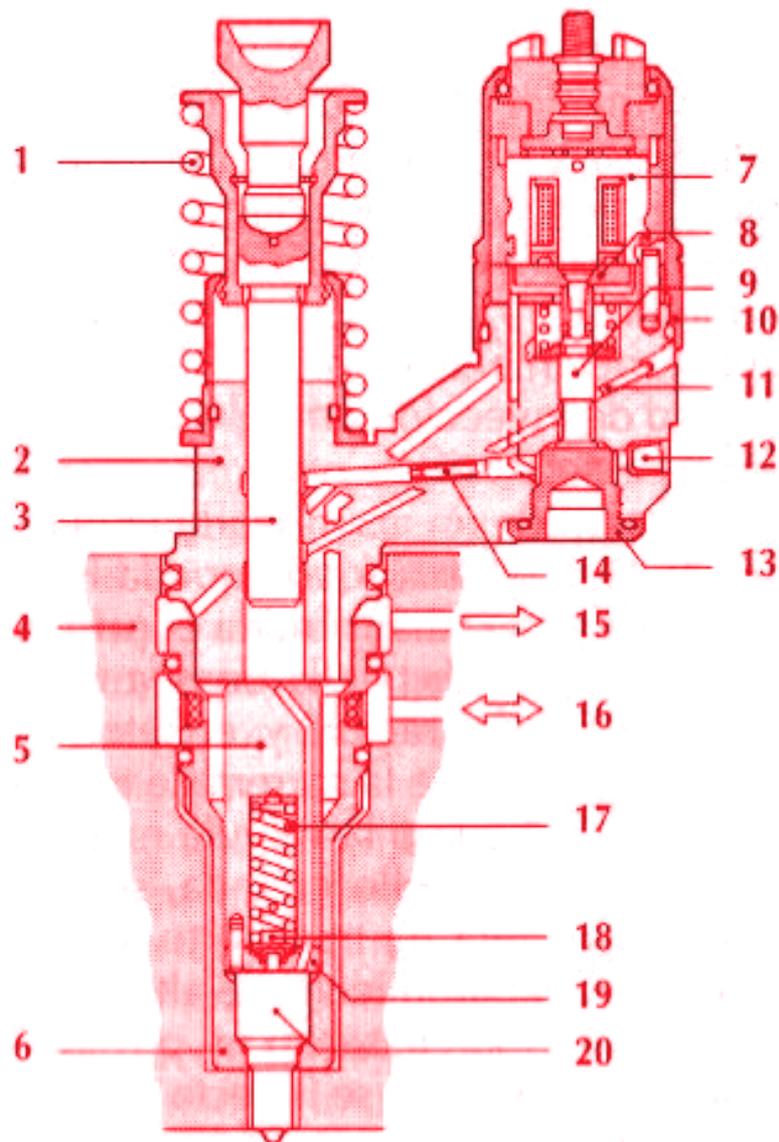
Bomba de alta presión con válvula de electroimán 2/2 (PLD)

1 Tope de carrera de la aguja de válvula de electroimán, 2 Bloque del motor, 3 Cuerpo de la bomba, 4 Émbolo de la bomba, 5 Muelle de retroceso, 6 Biela de rodillo, 7 Placa de anclaje, 8 Estátor, 9 Aguja de la válvula de electroimán, 10 Filtro, 11 Admisión de combustible, 12 Retorno de combustible, 13 Dispositivo de retención de retorno, 14 Ranura de fijación



1855 - 2005
SESQUICENTENARIO
INGENIEROS AGRÓNOMOS

Unidad bomba/inyector (PDE)



Unidad bomba/inyector (PDE)

1 Muelle de retorno, 2 Cuerpo de la bomba, 3 Émbolo de la bomba, 4 Culata, 5 Sujeción del muelle, 6 Tuerca tensora, 7 Estator, 8 Placa de anclaje, 9 Aguja de la válvula magnética, 10 Tuerca tensora, 11 Tapón de alta presión, 12 Tapón de baja presión, 13 Tope de carrera de la válvula magnética, 14 Estrangulamiento, 15 Retorno de combustible, 16 Admisión de combustible, 17 Muelle de inyector, 18 Perno de presión, 19 Disco intermedio, 20 Inyector

Potencia constante

Comparativo motores

