

4. OBJETIVOS.

El objetivo inicial que ha determinado la realización de esta Tesis Doctoral ha sido el desarrollo de un *Sistema de Inyección no Cartográfico y Secuencial* con realimentación por sonda Lambda proporcional, específicamente en sistemas multipuntos de inyección en el colector de admisión, con el objeto de mejorar:

- ◇ *El consumo de combustible.*

- ◇ *La emisión de contaminantes.*

Todo lo anterior mediante la definición de un sistema de control de bajo coste y utilizando las instalaciones definitivas, el desarrollo de algoritmos de control y la programación del sistema de realimentación por sonda lambda, tal que permita la gestión de:

1º. Para Regímenes Estacionarios:

Una mezcla estequiométrica para cualquier régimen de carga y de r.p.m. del motor.

2º. Para Regímenes Transitorios:

Una mezcla cuya riqueza inicial al comenzar el transitorio y la variación posterior del combustible inyectado relativo al ciclo anterior variase en función de los estados inicial y final del transitorio. Los estados inicial y final del transitorio se definirán principalmente por las r.p.m. y la posición de la mariposa del motor, y se caracterizará la bondad de la estrategia empleada mediante el par entregado, el consumo de combustible y la emisión de contaminantes fundamentalmente.

Considerando lo anteriormente expuesto, la orientación definitiva de nuestra actuación se dirige hacia la consecución y análisis de una mezcla estequiométrica para regímenes estacionarios, e inicialmente rica para los regímenes transitorios. La consecución de esta composición de la mezcla será mediante el control continuo del combustible inyectado a través de un *sistema de inyección en el colector, no cartográfico, y secuencial.*

Derivado de esto, los *objetivos* de la Tesis Doctoral que se perfilan en vista de estos planteamientos se definen como:

1º. Desarrollar un Sistema de Inyección en el Colector no Cartográfico y Secuencial.

Con este objetivo se persigue el desarrollo de un sistema de inyección sin ningún tipo de cartografía grabada ni modelo dinámico no lineal incorporado. El sistema permitirá la ejecución continua de algoritmos de aproximación a diferentes valores de consigna en un ordenador. De esta forma a partir de señales provenientes del motor tales como las r.p.m., posición de la mariposa, sonda lambda, etc. se genera un tren de pulsos de inyección; controlando continuamente su duración y desfase respecto a la apertura de la válvula de admisión, para obtener una mezcla previamente concebida tanto para regímenes estacionarios como para transitorios. En la concepción de la mezcla se consideran como parámetros principales de evaluación el par entregado por el motor, el consumo específico de combustible y la emisión de CO y HC sin quemar.

2º. Conseguir, controlar y estabilizar una Combustión Estequiométrica con el Sistema de Inyección en el Colector descrito anteriormente.

Las pruebas efectuadas sobre el motor de pruebas han demostrado que durante los regímenes estacionarios se logra la mejor relación entre el par, consumo y contaminantes cuando la mezcla

aire-combustible es estequiométrica. De igual forma, se obtienen resultados similares durante los transitorios cuando se logra controlar y estabilizar una mezcla inicialmente rica hacia una estequiométrica durante cada uno de los ciclos sucesivos del transitorio. Por lo anteriormente expuesto nos proponemos lograr esta calidad de la mezcla con el sistema explicado en el Objetivo N° 1.

3°. *Gestión de los Estados Transitorios a temperatura estabilizada del motor.*

Para controlar la calidad de la mezcla durante los transitorios es necesario determinar con exactitud el combustible a inyectar al comienzo del transitorio e irlo variando en cada ciclo en función de la cantidad real de aire que ingresa en el cilindro. Para lograrlo, es necesario desarrollar una serie de algoritmos de aproximación a un valor λ de consigna, (variable según la condición de funcionamiento del motor) en un ordenador; de manera que sea capaz de interpretar y procesar con precisión la señal de la sonda lambda y el conjunto de información de los estados inicial y final del régimen transitorio. En función de estos estados y del tiempo de respuesta del motor, será la cantidad del combustible inicialmente inyectado, el cual se ajustará posteriormente hacia la estequiometría. En nuestro caso los algoritmos de aproximación se desarrollaron en el lenguaje de programación LabView. Una vez procesada toda la información el ordenador debe enviar la información con la magnitud de los pulsos de inyección y el ángulo de inyección a la etapa de procesamiento de la señal del módulo electrónico digital, y éste a través de su etapa de potencia a los inyectores.

4°. *Gestión de los Transitorios de arranque y calentamiento del motor.*

Para asegurar la puesta en marcha del motor, el sistema cuenta las 30 primeras revoluciones del motor, durante las cuales se mantiene constante un pulso de inyección de 9 milisegundos para el enriquecimiento inicial de la mezcla, independientemente de las señales provenientes del motor. Luego del arranque, el sistema nuevamente toma el control de la gestión a través de la señal UEGO, conmutando hacia la estrategia de gestión de regímenes estacionarios. Ya en estacionarios, el sistema disminuye el exceso de combustible inyectado acorde con el calentamiento gradual del motor, en función de la composición de la mezcla detectada por la sonda lambda.

El inicio del desarrollo de un sistema de inyección no cartográfico se produce al plantearse en el Laboratorio de Motores Térmicos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona, la posibilidad de gestionar la inyección de gasolina en un motor en función *exclusivamente* de la calidad de la mezcla aire combustible. A partir de esta idea, y bajo las hipótesis de que:

- 1°. La combustión estequiométrica representa el balance óptimo entre consumo, prestaciones y contaminantes de un motor,
- 2°. El instante del comienzo de la inyección influye notablemente en los HC sin quemar, y
- 3°. El incremento excesivo de la inyección durante los transitorios positivos conlleva a un aumento de los contaminantes del motor,

Se empezó a realizar la búsqueda Bibliográfica, mostrada en el capítulo 10, que ha dado lugar a la definición de las Líneas Actuales de Investigación y Desarrollo de los diferentes sistemas de inyección actuales (capítulo 3), y a los Objetivos a conseguir descritos en el presente capítulo.

A partir de este punto, y para conseguir el primer objetivo, se diseñó y posteriormente se desarrolló una Instalación compuesta de varias etapas, detallada en el capítulo 5, que permitiera la ejecución de las diferentes Pruebas Experimentales (capítulo 7.3) y demostrase la factibilidad del sistema. La figura 4.1 muestra un esquema resumen por bloques de la instalación desarrollada.

La estabilización de la combustión en un valor de estequiometría exactamente igual a 14,57 resultó totalmente imposible. Este resultado, totalmente lógico, debido a las irregularidades del proceso de combustión entre un ciclo y otro, nos obligó a fijar una tolerancia de estequiometría (determinada experimentalmente) alrededor del valor 14,57. Esta solución (comúnmente empleada en todos los sistemas de inyección actuales) se implementó con el objetivo de estabilizar los pulsos de inyección y lograr nuestro 2º objetivo. Con la estabilización de la combustión dentro de los márgenes estequiométricos, cabría esperar una notable disminución de los contaminantes del motor y su consumo de combustible, acorde con nuestra 1ª hipótesis.

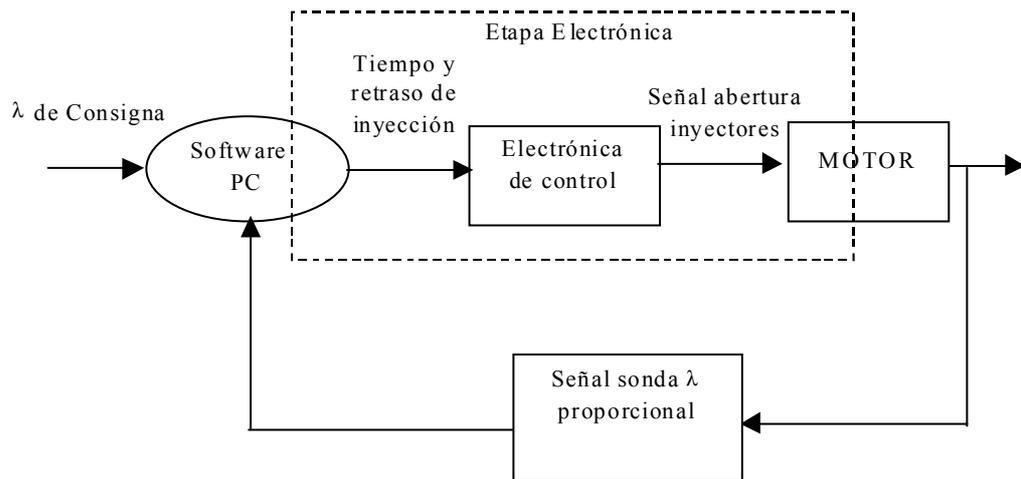


Figura 4.1: Esquema resumen por bloques del sistema desarrollado.

En los sistemas de inyección multipunto simultáneos es imposible sincronizar el momento del comienzo de la inyección individualmente en cada cilindro, ya que carecen de elementos de sincronización. Dado que nuestro tercer objetivo era lograr una *gestión de los transitorios positivos con un mínimo de contaminantes*, sobre la base de la 2ª y 3ª hipótesis, fue necesario reconvertir la inyección simultánea hacia una secuencial, así como la estrategia de gestión de los transitorios. Mediante esta reconversión se logra una correcta sincronización y control individual sobre cada una de las inyecciones. Nuestro 4º objetivo, encaminado a garantizar el arranque del motor, se logró de forma sencilla y efectiva mediante una implementación informática, explicado en el capítulo 6.4.

La figura 4.2 muestra esquemáticamente una comparación entre ambas estrategias de inyección en cuanto a su sincronización, esto es, la gestión simultánea original en el motor de pruebas, y la gestión secuencial del nuevo sistema de inyección.

Con el sistema ya reconvertido, es posible controlar no sólo el tiempo de inyección (t_i) y su ajuste entre dos inyecciones sucesivas de un mismo ciclo del motor, sino garantizar una referencia variable (α_i) para el comienzo de la inyección, como se muestra en la figura 4.3. Esta referencia puede variarse (según el estado del motor) respecto al PMS en fase abierta en un margen de $\pm 180^\circ$, con una repercusión inicial en el inyector de turno, mientras que en el sistema Jetronic (y en todos los actuales) esta referencia es fija. Debido a esta condición, el momento del inicio de la inyección en los sistemas cartográficos actuales no es un parámetro ajustable.

Durante los transitorios el incremento de la inyección es variable según la carga del motor y ajustable en cada inyección sucesiva dentro de un mismo ciclo. Este incremento está, además, en perfecta sincronización con el orden de encendido, y no los cuatro inyectores a la vez, por lo que es lógico esperar una disminución de los HC sin quemar expulsados en el escape.

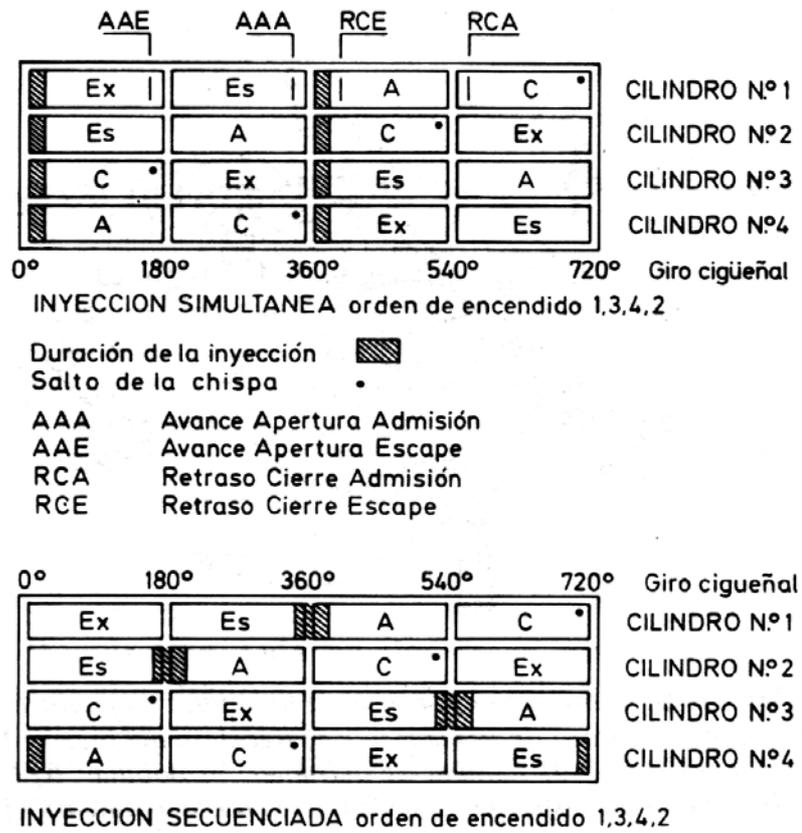


Figura 4.2: Comparación entre la inyección simultánea y la secuencial

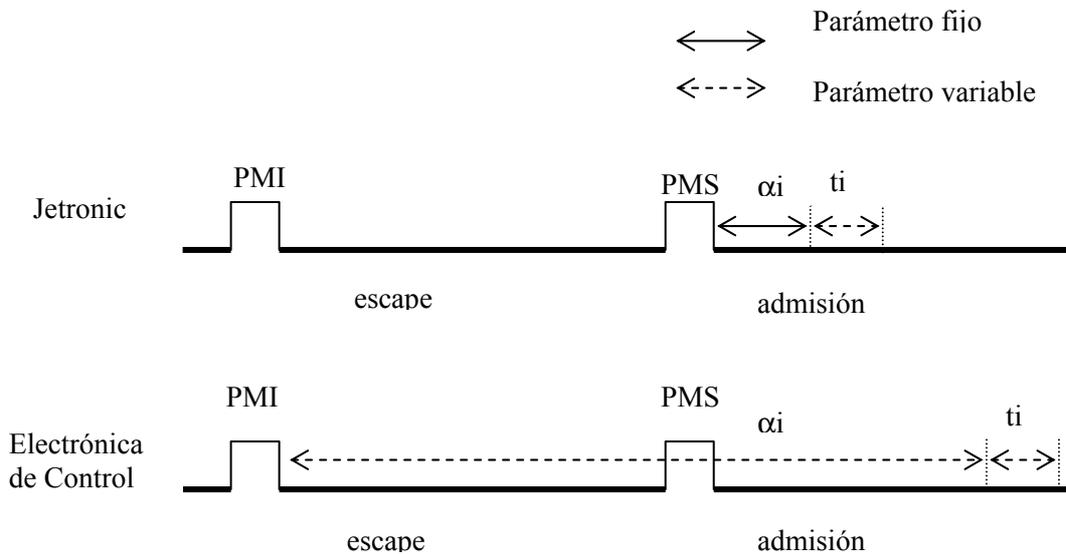


Figura 4.3: Control del comienzo y duración de la inyección por ambos sistemas.

A partir del análisis de la Gestión del Motor en el capítulo 6, y de las Pruebas sobre el Motor en el capítulo 7.3, se han evaluado los Resultados Experimentales en el capítulo 8. Estos resultados

han dado lugar a las Conclusiones, en el capítulo 9, y las Orientaciones del Trabajo Futuro para continuar la línea de investigación iniciada.