

AGRADECIMIENTOS.

Quiero dar las gracias en primer lugar a mi Director de Tesis y del Laboratorio de Motores Térmicos de la E.T.S.E.I. de Barcelona, Dr. Jesús Álvarez Flórez, por las muchas horas de dedicación y el constante apoyo que me ha ofrecido a lo largo de estos años, y sobre todo por la confianza mostrada en todo momento, sin la cual quizá no hubiese logrado finalizar esta tesis.

Mi agradecimiento especial a todo el personal del Laboratorio de Motores Térmicos de la E.T.S.E.I. de Barcelona. En especial al Dr. Ismael Callejón i Agramunt por su continua colaboración técnica, sobre todo en la fase de experimentación; y al Maestro de Taller Julio Pérez Gascón por su inestimable ayuda en la preparación y puesta a punto del banco de pruebas del motor.

Al Ingeniero Jordi Yubero Gil, por su colaboración en el entorno de programación LabView. También a los hoy Ingenieros Alejandro de Andrés Gaspar y Jordi Diago Gras, por su excelente desarrollo de la etapa electrónica del sistema de inyección creado en esta tesis.

Quisiera dedicar un espacio en mis agradecimientos a quienes, desde varios lugares del mundo, han respondido a mis múltiples preguntas y dudas, vía Internet a través de foros, mail's, etc., sobre sistemas avanzados de gestión de la inyección de gasolina en motores alternativos de combustión interna.

En general, doy las gracias a todos los que me han ayudado con sus ideas y sobre todo con su tiempo, en la revisión y la concepción de esta tesis.

PRÓLOGO.

La presente Tesis Doctoral ha sido realizada en el Laboratorio de Motores Térmicos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona, perteneciente al Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad Politécnica de Catalunya.

Una de las líneas de investigación del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos concierne a la formación de la mezcla en los motores de encendido provocado; sobre los que se realizan (desde el año 1995) trabajos de generación de sprays y el control para la formación de mezclas (gasolina, gasoil, agua, fuel, alcohol).

Enmarcado en esta línea de investigación se viene realizando desde hace varios años, en el Laboratorio de Motores Térmicos de la ETSEIB, y bajo la dirección del Dr. Jesús Álvarez Flórez, una serie de trabajos para el análisis y perfeccionamiento de la inyección electrónica de gasolina en el colector; tanto para regímenes estacionarios como para transitorios de un motor de combustión interna alternativo de ciclo Otto.

La motivación inicial de estos trabajos de investigación fue la búsqueda de un sistema que permitiese gestionar la inyección de gasolina en el colector exclusivamente en lazo cerrado, sin ninguna cartografía previamente grabada.

El ensayo del sistema de gestión de la inyección adaptado al motor de pruebas ha requerido la adecuación de la instalación de ensayo, la instrumentación del propio motor y la implementación de un entorno de adquisición y escritura de datos que ha permitido captar continuamente las señales analógicas del motor, en especial la de la sonda UEGO instalada al efecto.

Para poder realizar esta Tesis Doctoral se han ultimado una serie reparaciones y ajustes en infraestructuras con el objetivo de rehabilitar un banco de ensayos, principalmente la reparación de su freno hidráulico y la instalación de nuevos equipos de medición necesarios para la consecución de los objetivos propuestos.

La constatación más relevante observada se resume en que es factible la gestión de la inyección exclusivamente en lazo cerrado, de modo que en función de las condiciones de funcionamiento del motor puede imponerse la cantidad y el momento de la aportación de combustible, lo que determina el funcionamiento del motor tanto en estados estacionarios como transitorios.

1. NOMENCLATURA.

Abreviaturas.

| | |
|------------------|--|
| AAA | Adelanto a la apertura de la admisión. |
| AAE | Adelanto a la apertura del escape. |
| AFR _e | Relación aire combustible correspondiente a la estequiometría. |
| ALU | (Arithmetic Logic Unit). |
| A/F | (Air Fuel). |
| A/D | Analógico-Digital (conversor). |
| DBW | (Drive by Wire) Accionamiento electrónico de la mariposa de gases. |
| CPU | (Central Process Unit). |
| EGO | (Exhaust Gas Oxygen Sensor): Sonda lambda binaria. |
| ETC | (Electronic Throttle Control). |
| HC | Hidrocarburos. |
| I | Integral (controlador de lazo cerrado). |
| LED | (Light Emission Diode). |
| UCE | Unidad de Control Electrónico (del motor). |
| UEGO | (Universal Exhaust Gas Oxygen Sensor): Sonda lambda proporcional. |
| N.A. | Normalmente abierto (circuito eléctrico). |
| N.C. | Normalmente cerrado (circuito eléctrico). |
| NO _x | Oxidos de Nitrógeno. |
| NTC | (Negative Temperature Coefficient). |
| RCA | Retraso al cierre de admisión. |
| RCE | Retraso al cierre del escape. |
| P | Proporcional (controlador de lazo cerrado). |
| PI | Proporcional-Integral (controlador de lazo cerrado). |
| PMI | Punto Muerto Inferior. |
| PMS | Punto Muerto Superior. |
| p.p.m | (Point Per Million) |
| RAM | (Random Access Memory). |
| ROM | (Read Only Memory). |
| r.p.m. | Revoluciones por minuto. |

TTL (Transistor Transistor Logic)

Símbolos.

| | |
|--------------|--|
| A_f | Area frontal del vehículo (m^2). |
| a | Aceleración lineal del vehículo (m/s^2). |
| C | Coefficiente de resistencia aerodinámico del vehículo. |
| C_i | Combustible inyectado por carrera (miligramos / carrera). |
| c_{pm} | Constante para el cálculo de la presión en la mariposa de gases. |
| c_{af} | Parámetro correspondiente con la constante de tiempo del sensor lambda. |
| c_{σ} | Parámetro correspondiente a la reacción catalítica. |
| d | Retraso dinámico del motor. |
| d_{os} | Tiempo muerto debido a la capacidad de almacenamiento de oxígeno del catalizador. |
| d_{cy} | Retraso del ciclo del motor. |
| F_w | Cantidad de combustible en la película de combustible. |
| F_I | Cantidad de combustible inyectado. |
| F_c | Cantidad másica de combustible en la mezcla (Kg o Mol). |
| F | Dosado de la mezcla aire combustible. |
| F_t | Fuerza total de resistencia del camino (N). |
| f | Coefficiente de resistencia a la rodadura. |
| G | Peso total del Vehículo (N). |
| G_h | Consumo horario de combustible (Kg / h). |
| g_e | Consumo específico de combustible ($g/Kw.h$). |
| i_c | Relación de transmisión de la marcha conectada. |
| i_m | Relación de transmisión del puente motriz. |
| i_t | Relación de transmisión total. |
| K | Constante de proporcionalidad del incremento de los pulsos de inyección. |
| K_+ | Constante de proporcionalidad del incremento de los pulsos de inyección para transitorios positivos. |
| K_- | Constante de proporcionalidad del incremento de los pulsos de inyección para transitorios negativos. |
| M | Par entregado por el motor (Nm). |
| M_c | Cantidad másica de aire en la mezcla (Kg o Mol). |
| N | Potencia (Kw). |

| | |
|-------------------------|---|
| N_E | Velocidad de giro del motor (r.p.m). |
| P | Relación del combustible que se queda en la película de combustible. |
| P_{iny} | Presión de inyección. |
| P_M | Presión en el colector de admisión. |
| Q_{iny} | Cantidad del combustible inyectado. |
| Q_{aire} | Cantidad de aire. |
| R | Relación de adherencia. |
| r_d | Radio dinámico del neumático (m). |
| S | Area efectiva de la apertura de la mariposa de gases. |
| t_{iny} ó t_i | Tiempo de inyección. |
| U_M | Tensión de salida del sensor de posición de la mariposa de gases (Volts). |
| V | Velocidad lineal del vehículo (Km/h). |
| V_{HEO} | Salida del sensor lambda (tensión). |
| V_s | Salida del sensor lambda con relación aire/combustible estequiométrica (tensión). |
| α | Angulo de inclinación del camino (°). |
| α_{HEO} | Relación aire/combustible en el sensor lambda. |
| α_{cc} | Relación aire/combustible a la entrada del catalizador. |
| α_s | Relación aire/combustible estequiométrica |
| α_{AF}^{\bullet} | Salida del sensor aire / combustible (con el retraso de su respuesta). |
| α_{AF} | Relación aire combustible en el sensor (con retraso debido al transporte de los gases). |
| α_i | Momento de inicio de la inyección. |
| λ | Relación entre el dosado real y el estequiométrico de la mezcla aire combustible. |
| λ_e | Dosado real de la mezcla aire combustible igual al estequiométrico. |
| Δ | Ancho de un pulso de inyección (milisegundos). |
| Δt_i | Incremento de los pulsos de inyección (milisegundos). |
| δ | Coefficiente que considera los momentos inerciales de los elementos que giran en un eje perpendicular al movimiento del vehículo. |
| η_m | Eficiencia total de la transmisión |
| ϖ | Angulo desfase (retraso) de los pulsos de inyección (°). |
| ρ | Densidad del combustible (g/cm^3) |
| Ψ | Relación atómica hidrógeno carbono. |
| ξ | Relación atómica oxígeno carbono. |

Subíndices y superíndices.

| | |
|-----|---|
| adm | Admisión. |
| C | Cilindro del motor. |
| E | (Engine) Referido al motor. |
| e | Estequiométrico. |
| f | Combustible. |
| i | Ciclo del motor. |
| iny | Inyección. |
| k | Índice de la carrera del motor (1 carrera = 180° del cigüeñal). |
| min | Mínimo. |
| max | Máximo. |
| M | (Manifold) Colector de Admisión. |
| Taf | Transporte de los gases de escape hasta el sensor UEGO. |
| Tox | Transporte de los gases de escape hasta el sensor EGO. |
| # | Número de cilindro del motor. |
| ▪ | Considera el retraso dinámico del sistema. |