

Proyecto de Fin de Carrera
Ingeniero Industrial

**Sistema de control, inyección y encendido, para
motores térmicos y alternativos de ciclo Otto
basado en programación abierta bajo LabVIEW™**

MEMORIA

Autor: Alejandro Pérez Rodríguez
Director: Jesús A. Álvarez Flórez
Convocatoria: Junio 2007 (plan 94)



**Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona**



Resumen

La gestión electrónica permite extraer más rendimiento de los motores de combustión interna así como reducir los contaminantes que producen. Por este motivo, en la actualidad, los vehículos realizan la gestión de su motor mediante componentes electrónicos que les permiten ser más competitivos y les ayudan a cumplir la legislación vigente en materia de contaminación.

En este proyecto se busca realizar una gestión electrónica con la que se pueda variar con facilidad los parámetros que gobiernan la inyección y el encendido en los motores de ciclo Otto para experimentar con ella; como también la realización de unas prácticas que acerquen a los alumnos la estrategia seguida en la gestión mediante la observación de las señales de inyección y encendido en un osciloscopio, y el funcionamiento de una simulación que muestre, además de los diferentes pulsos, el visionado del ciclo Otto teórico de los parámetros introducidos y la manipulación de los parámetros de entrada de los sensores.

Para realizar esta gestión, tanto con datos reales como virtuales, se utilizará el programa LabVIEW™ de programación visual. La gestión electrónica se realizará utilizando dos sensores, pulso de punto muerto superior (PMS) y carga de motor, para comunicar la electrónica con el mundo exterior; dos actuadores, un inyector y una pipeta de encendido independiente, para realizar las acciones de control; un PC del que se utilizará su procesador para realizar los cálculos de gestión; y una tarjeta adquisidora de datos que comunicará la electrónica con el PC.

Debido a la velocidad de funcionamiento de los motores de combustión interna, la utilización del procesador del PC, bajo entorno Windows®, y la tarjeta de adquisición de datos, con conexión USB; la gestión no es posible a tiempo real, pero es muy útil para la realización de las prácticas ya que como la gestión se ha realizado mediante el programa LabVIEW™, programa basado en programación visual, su comprensión y utilización son intuitivos y además permiten una interacción mediante los periféricos propios de cualquier PC.

El tipo de instrumento virtual (VI) generado para la gestión es compatible con el procesador industrial Compact-RIO, ya que este procesador también funciona con LabVIEW™, con el que sí es posible una gestión a tiempo real pero que no ha sido utilizado para realizar este proyecto debido a su coste. De disponer un procesador de estas características sería conveniente incluir más sensores que permitan realizar una gestión más precisa y por tanto adaptar el algoritmo de control a esta nueva entrada de datos.



Sumario

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN | 1 |
| SUMARIO | 3 |
| 1. GLOSARIO | 7 |
| 1.1. Abreviaturas | 7 |
| 2. PREFACIO | 9 |
| 2.1. Origen del proyecto | 9 |
| 2.2. Motivación | 9 |
| 3. INTRODUCCIÓN | 11 |
| 3.1. Objetivos del proyecto | 11 |
| 3.2. Alcance del proyecto | 11 |
| 4. SISTEMAS DE GESTIÓN | 13 |
| 4.1. Descripción de los diversos sistemas | 13 |
| 4.1.1. Sistemas de gestión mecánicos | 13 |
| 4.1.2. Sistemas de gestión electrónica | 17 |
| 4.2. Señales de entrada para sistemas de gestión electrónica | 18 |
| 4.2.1. Sensores posición / velocidad | 19 |
| 4.2.2. Caudalímetro | 22 |
| 4.2.3. Sensor de presión (MAP) | 24 |
| 4.2.4. Sensor de temperatura | 24 |
| 4.2.5. Sensor de gases de escape | 26 |
| 4.2.6. Sensor detonación | 27 |
| 4.3. Procesamiento de datos | 28 |
| 4.4. Señales de salida para sistemas de gestión electrónica | 31 |
| 4.4.1. Mariposa motorizada | 31 |
| 4.4.2. Válvula estabilizadora de ralentí | 31 |
| 4.4.3. Inyectores | 32 |
| 4.4.4. Sistemas de ignición | 34 |
| 5. COMPONENTES DEL SISTEMA UTILIZADOS EN ESTE PROYECTO | 37 |
| 5.1. Selección de componentes | 37 |
| 5.1.1. Procesador | 37 |
| 5.1.2. Lenguaje de programación | 39 |
| 5.1.3. Sensores | 40 |



| | | |
|-----------|---|-----------|
| 5.1.4. | Captación de datos | 40 |
| 5.1.5. | Actuadores | 40 |
| 5.2. | Sensores seleccionados | 41 |
| 5.2.1. | Inductivo | 41 |
| 5.2.2. | Caudalímetro | 42 |
| 5.3. | Electrónica para datos de entrada | 43 |
| 5.3.1. | Alimentación | 43 |
| 5.3.2. | Acondicionador señal inductivo | 44 |
| 5.3.3. | Conformador pulso TTL | 46 |
| 5.4. | Tarjeta NI USB-6210..... | 47 |
| 5.5. | Programación en LabVIEW™ | 48 |
| 5.5.1. | Motores de ciclo Otto de 4 tiempos y 2 tiempos | 48 |
| 5.5.2. | Descripción del algoritmo para motores de 2 tiempos | 48 |
| 5.5.3. | Descripción del algoritmo para motores de 4 tiempos | 64 |
| 5.6. | Electrónica para datos de salida..... | 69 |
| 5.7. | Actuadores seleccionados | 70 |
| 5.7.1. | Pipeta de encendido independiente | 70 |
| 5.7.2. | Inyector | 71 |
| 6. | VI ORIENTADO A LA REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS EN EL LABORATORI DE MOTORS TÈRMICS DE LA ETSEIB | 73 |
| 6.1. | Instrumento Virtual de simulación..... | 73 |
| 6.1.1. | Algoritmos específicos para la simulación..... | 78 |
| 6.2. | Conjunto de prácticas con pulso de vuelta simulado | 86 |
| 6.3. | Ajuste manual del pulso de inyección..... | 87 |
| 6.4. | Control de los pulsos de inyección y encendido mediante LabVIEW™ | 90 |
| | CONCLUSIONES | 93 |
| | AGRADECIMIENTOS | 95 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 97 |
| | Referencias bibliográficas | 97 |
| | Bibliografía complementaria | 99 |



ANEXOS

| | |
|--|------------|
| A. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL | 3 |
| A.1 Introducción..... | 3 |
| A.2 Emisiones de CO ₂ en la actualidad | 3 |
| A.3 Emisiones de CO ₂ al realizar las prácticas con VI..... | 6 |
| A.4 Comparativa | 8 |
| B. PRESUPUESTO | 9 |
| B.1 Introducción..... | 9 |
| B.2 Presupuesto detallado | 10 |
| C. TARJETA NI-USB 6210 | 13 |
| D. COMPONENTES ELECTRÓNICOS | 25 |
| D.1 74HC00 NAND..... | 25 |
| D.2 74LS04 Inversor | 42 |
| D.3 74HC04 Inversor | 51 |
| D.4 Integrado BUZ 10..... | 65 |
| D.5 NE555 Timer | 72 |
| D.6 Integrado TS7805 | 78 |
| D.7 74HC139 Demultiplexor | 87 |
| E. SENSORES | 94 |
| E.1 Sensor inductivo..... | 95 |
| E.2 Caudalímetro..... | 97 |
| E.3 Sensores diversos..... | 99 |
| F. ACTUADORES | 125 |
| F.1 Inyector..... | 126 |
| F.2 Bobina independiente | 128 |



1. Glosario

1.1. Abreviaturas

| | |
|--------|---|
| A/D | Analógico / Digital (conversor) |
| C. C. | Corriente Continua |
| CPU | Unidad Central de Proceso |
| DAQ | Adquisición de datos |
| ECU | Unidad Electrónica de Control |
| EMI's | Interferencias Electro Magnéticas |
| E/S | Entrada / Salida |
| FPGA | (Field Programmable Gate Array) |
| kS/s | Miles de muestras por segundo |
| MACI | Motor Alternativo de Combustión Interna |
| OS | Sistema Operativo |
| PC | Computador Personal |
| PMI | Punto Muerto Inferior |
| PMS | Punto Muerto Superior |
| r.p.m. | Revoluciones por minuto |
| TTL | (Transistor Transistor Logic) |
| μC | Micro Controlador |
| USB | Bus de Serie Universal |
| VI | Instrumento Virtual |



2. Prefacio

2.1. Origen del proyecto

La legislación vigente en materia de contaminación, unida a una mayor concienciación por parte de la sociedad, y a un aumento del precio de combustible, motivan la búsqueda de una gestión de inyección y encendido (entre otros parámetros) que permita que los motores de combustión sean más limpios y eficientes. En esta dirección, la electrónica está cada vez más presente en los motores térmicos dejando atrás el control realizado de forma mecánica que se hacía en el pasado, disminuyendo la emisión de contaminantes y maximizando el rendimiento.

Además de las premisas anteriormente mencionadas, la electrónica cumple con otro factor importante en el sector de la automoción que es el coste / resultado. El desarrollo de los componentes electrónicos tienen un gran coste, pero éste se compensa con un coste de producción menor que la fabricación de componentes mecánicos. La competencia feroz que vive este sector hace que la evolución de estos sistemas electrónicos sea muy rápida apareciendo novedades en este campo frecuentemente.

2.2. Motivación

Este proyecto nace del deseo de realizar la gestión electrónica de un motor de encendido provocado así como la elección y/o diseño de los componentes que la hagan posible, siguiendo una de las líneas de investigación que durante años sigue en el *Laboratori de Motors Tèrmics* de la ETSEIB conjuntamente con el CREMIT (*Centre de Recerca de Motors i Instal·lacions Tèrmiques*).

La complejidad que entraña el funcionamiento de los motores térmicos, en algunos aspectos, añade otra motivación a la anteriormente expuesta. Esta motivación es facilitar la comprensión del funcionamiento de los motores de combustión interna a los estudiantes que cursen una asignatura relacionada con el tema, proporcionando un sistema de gestión donde se pueda manipular diferentes parámetros propios de la gestión así como ofrecer una visión de los diferentes conjuntos electrónicos que la hacen posible.



3. Introducción

3.1. Objetivos del proyecto

El principal objetivo de este proyecto es realizar un control sobre el encendido y la inyección de un motor de combustión interna de ciclo Otto. Esta gestión se realizará partiendo de valores de régimen de vueltas así como de carga de motor obtenidos de diferentes sensores.

El otro objetivo es la realización de unas prácticas en el *Laboratori de Motors Tèrmics* de la ETSEIB, tomando como base este proyecto. Para ello, por un lado, se realizará un sistema de gestión fácilmente compresible en cuanto a nivel de programación y una fácil lectura e introducción de parámetros de gestión. Y por otra parte, se realizará una herramienta de simulación que ponga de manifiesto los aspectos más interesantes de la gestión así como ayudar a la comprensión de los aspectos más complejos.

3.2. Alcance del proyecto

El proyecto se centrará en la gestión de los motores de dos tiempos y monocilíndricos, si bien se hará un apartado en la gestión de motores de cuatro tiempos y multicilíndricos.

El segundo gran apartado de este proyecto, la realización de prácticas, se realizará utilizando herramientas visuales de programación de fácil comprensión, entrada de parámetros sencilla, por teclado de PC; visualizado de las variables por monitor, así como módulos electrónicos fácilmente identificables.

La gestión se realizará en lazo abierto, de esta manera el procesador, pieza crítica en este proyecto, no estará tan solicitado; se disminuirán los costes de las prácticas al prescindir del sensor Lambda; y además, la gestión al no ser a tiempo real, por los motivos esgrimidos en el anterior párrafo, no se resentirá.

La simulación constará de dos grandes apartados, por un lado se visualizará los pulsos de inyección y encendido, y por otro, el diagrama del ciclo Otto ideal. Además de estos apartados también se visualizará la cartografía de avance de encendido, una animación de un motor de dos tiempos y un tacómetro de revoluciones e indicadores de corte de inyección.

Para la realización de cálculos para este proyecto se utilizará las unidades del sistema internacional (SI), en cumplimiento de la Ley 3/1985, de 18 de marzo, de metrología. Si bien, se ha considerado utilizar, en determinados casos, unidades diferentes a las del SI debido a



que muchas magnitudes utilizadas en el mundo de la automoción no son del sistema internacional pero son de uso común. En el grupo de magnitudes utilizadas diferentes al SI se destacan:

- Tiempo de inyección, retraso de inyección en milisegundos (ms).
- Velocidad angular en revoluciones por minuto (r.p.m.).
- Caudal másico inyectado de gasolina en gramos por milisegundo (gr / ms).
- Presión en la cámara de combustión en bares (bar).



4. Sistemas de gestión

4.1. Descripción de los diversos sistemas

4.1.1. Sistemas de gestión mecánicos

La gestión del motor se puede hacer de diversas formas. Antes de la llegada de la electrónica al mundo del automóvil, la gestión, la decisión de cuanta cantidad de combustible y cuando tiene que saltar la chispa, se decidía mediante dispositivos mecánicos. Las diferentes condiciones de uso al que está sometido el motor hace que estos mecanismos sean complejos y además sea muy importante una correcta puesta a punto de los mismos. Esta complejidad de construcción hace que estos dispositivos tengan un importante coste a nivel de fabricación, cuestión muy crítica en automoción. A continuación se expondrá de forma breve el funcionamiento general de estos dispositivos mecánicos.

La alimentación mediante un dispositivo mecánico se realiza con el carburador (Fig. 4.1). El **carburador** es el encargado de realizar la mezcla de aire y combustible en las diferentes condiciones de marcha a las que se somete el motor. Debido a esta variabilidad de condiciones, el carburador dispone de diferentes dispositivos para adaptarse a las condiciones de funcionamiento.



Fig. 4.1 Carburador [1]

- **Dispositivo de flotador** (Fig. 4.2) compuesto por el flotador y la válvula de aguja, regula la aportación de combustible a la cámara o cubeta del flotador y mantiene constante en el carburador el nivel de combustible necesario para asegurar la presión correcta de funcionamiento.

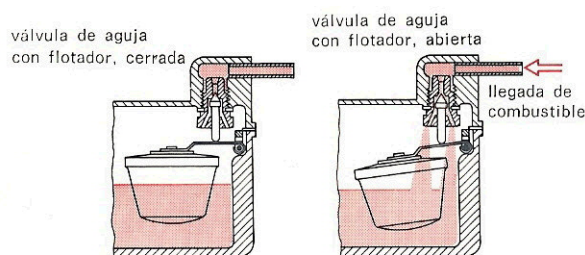


Fig. 4.2 Dispositivo de flotador

¡Error! No se encuentra el origen



- **Dispositivo de arranque en frío** que pueden ser de diferente naturaleza, varillas de regulación del flotador, mariposas de arranque o de *starter* (Choke), y carburadores de *starter* (Fig. 4.3) o carburadores arrancadores con registro giratorio. La existencia de este dispositivo se debe a que en el arranque de motores fríos se separa de la mezcla una gran parte del combustible y se deposita en las paredes del conducto de admisión, por tanto es necesario un mayor aporte de combustible llegando a formarse mezclas muy ricas de aproximadamente una relación aire/combustible 3:1.

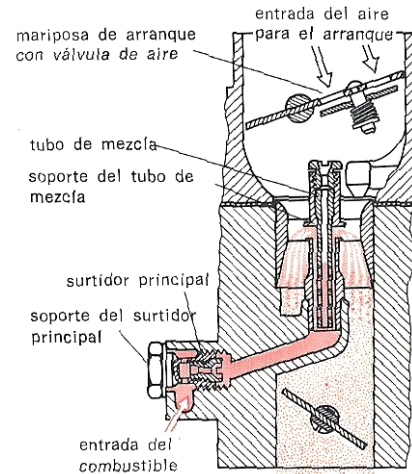


Fig. 4.3 Starter [2]

- **Sistema de marcha en vacío** prepara, mediante la tobera de aire, una mezcla para la marcha en vacío. Este sistema compensa la velocidad del aire que es demasiado pequeña para aspirar combustible de la boca del surtidor principal. El sistema consiste en un canal de combustible que desemboca detrás de la válvula de mariposa de control del grado de carga.
- **Dispositivo de aceleración** (Fig. 4.4) que en el caso de una repentina aceleración tiene que suministrar al motor adicionalmente combustible para una mezcla más rica. Como con un número de revoluciones creciente el aire es acelerado más rápidamente que el combustible, que es de mayor densidad, a los canales del carburador, hará falta para esto una bomba aceleradora. En el caso de una repentina apertura de la mariposa, la bomba, que puede ser de membrana o de émbolo, tiene que suministrar el combustible suplementario que baste para compensar el tiempo necesario para que se establezca el funcionamiento del sistema propio del surtidor principal.

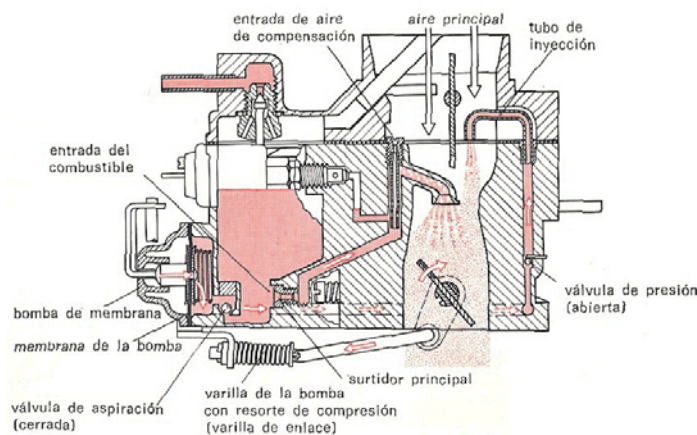


Fig. 4.4 Funcionamiento dispositivo arranque [5]



- **Dispositivo de enriquecimiento** permite aportar a la mezcla combustible / aire combustible adicional para un estado de plena carga o de elevadas revoluciones. El combustible adicional se consigue mediante un tubo de enriquecimiento o con una bomba aceleradora.

En los motores de ciclo Otto es necesario un encendido provocado. El encendido se realiza mediante la aportación de una chispa eléctrica. El encendido mediante un dispositivo mecánico hace necesario la sincronización de forma física del salto de chispa con el cigüeñal. La energía eléctrica necesaria para la creación de la chispa se obtiene de la batería o de la magneto. Las partes que componen la instalación (Fig. 4.5) de encendido son:

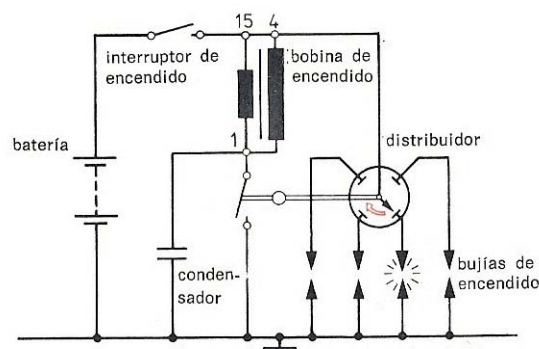


Fig. 4.5 Esquema de una instalación de encendido por batería para un motor de 4 cilindros [6]

- **Bobina de encendido** (Fig. 4.6) que es un transformador. La corriente de la batería cortada por el interruptor circula a lo largo del circuito primario. Tanto al cerrar los contactos como al abrirlos se forman en el circuito primario y secundario tensiones inducidas.

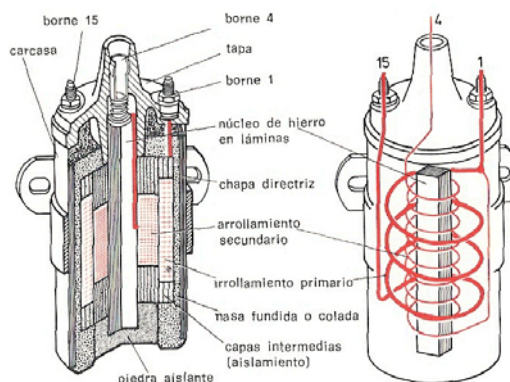


Fig. 4.6 Esquema bobina encendido **¡Error!**
No se encuentra el origen de la



- **Condensador** empleado en la instalación de encendido absorbe los electrones puestos en movimiento por la tensión de autoinducción y queda cargado. El interruptor, puesto en paralelo, puede abrirse sin, prácticamente, formación de chispas.

- **Distribuidor de chispa (delco)**

(Fig. 4.7) consta del platillo del ruptor con las conexiones para las conducciones de alta tensión, y el rotor de distribución que está colocado sobre la leva de ruptura. La alimentación de la alta tensión al rotor del distribuidor se realiza a través de una escobilla de carbón montada elásticamente y la conducción por medio de salto de chispas. En el distribuidor de encendido están comprendidos el ruptor y el regulador de avance de encendido. El ruptor consta de la palanca del ruptor, el yunque y la leva. La palanca del ruptor y el yunque llevan los contactos que son generalmente de tungsteno. Si la palanca del ruptor apoya con presión el resorte sobre el yunque quedará cerrado el circuito de corriente de la bobina primaria. La leva es accionada en los motores de cuatro tiempos con un número de revoluciones mitad de los que realiza el cigüeñal y en los motores de dos tiempos con el mismo número de revoluciones del cigüeñal. La leva separa la palanca del ruptor en el instante preciso de su apoyo sobre el yunque y produce de este modo la chispa de encendido. El número de elevaciones sobre la leva corresponde al número de cilindros. El **regulador de encendido** se ocupa automáticamente del correcto ajuste del punto de encendido (avance de encendido). El regulador puede ser por fuerza centrífuga o de depresión. El regulador de encendido por fuerza centrífuga (Fig. 4.8) hace girar la leva, soportada de modo movable sobre el árbol del distribuidor, en el sentido de rotación con ayuda de pesos centrífugos. El regulador de depresión (Fig. 4.9) ajusta el punto de encendido de modo dependiente de la carga con ayuda de la depresión reinante en el tubo de aspiración.

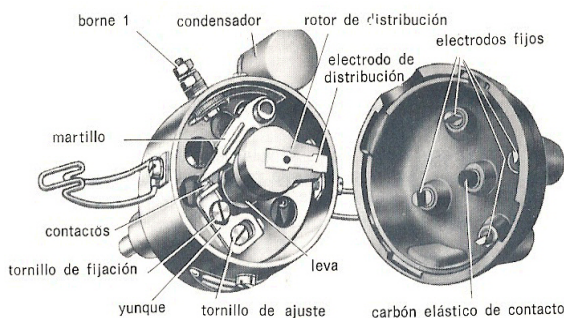


Fig. 4.7 Distribuidor encendido [7]

El **regulador de encendido** se ocupa automáticamente del correcto ajuste del punto de encendido (avance de encendido). El regulador puede ser por fuerza centrífuga o de depresión. El regulador de encendido por fuerza centrífuga (Fig. 4.8) hace girar la leva, soportada de modo movable sobre el árbol del distribuidor, en el sentido de rotación con ayuda de pesos centrífugos. El regulador de depresión (Fig. 4.9) ajusta el punto de encendido de modo dependiente de la carga con ayuda de la depresión reinante en el tubo de aspiración.

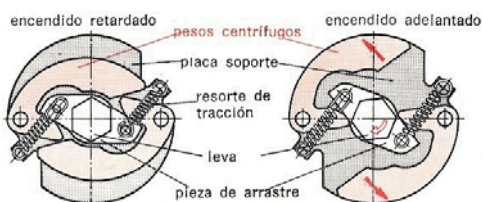


Fig. 4.8 Regulador fuerza centrífuga [8]

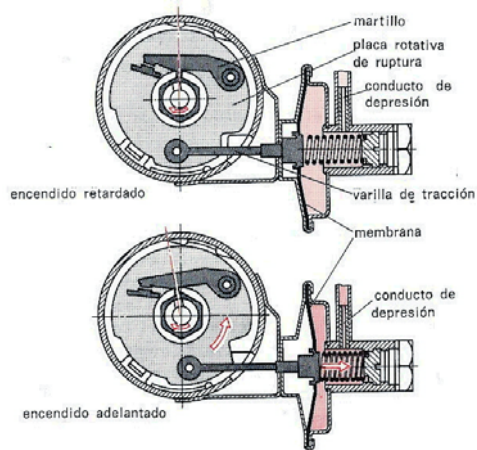


Fig. 4.9 Regulador de depresión [9]



4.1.2. Sistemas de gestión electrónica

Es necesario antes de iniciar una breve exposición de los diferentes sistemas electrónicos que participan en la gestión de los motores de combustión interna justificar el motivo por el que el sector del automóvil, cada día más, apuesta por la electrónica.

La introducción de la electrónica aplicada al automóvil nació de la necesidad de cumplir las normativas de contaminación, más adelante las aplicaciones en sistemas de seguridad, confort, entretenimiento y comunicación hicieron que la electrónica se expandiera por todo el automóvil.

La importancia de la electrónica en automoción en valores [10]:

- Actualmente la electrónica supone un 30% del coste de un automóvil.
- En los próximos años un 90% de las innovaciones se desarrollarán en este campo.
- En la actualidad cada coche posee en su interior 50 centralitas.
- Entre un 70 – 80% de las averías son electrónicas.

La electrónica supone una gran inversión, un aumento del número de fallos y de averías así como grandes beneficios.

Existe una paradoja en automoción [10]:

Los componentes electrónicos cambian cada 3 años; se exige una gran fiabilidad (10 años o 200.000 km) y menos de 1 pieza defectuosa por millón; han de funcionar en condiciones ambientales hostiles:

- Entre -40 y +150 °C
- Protección a la humedad IP67
- Vibraciones ± 10 G. durante 30 horas.
- Soportar golpes en hormigón.

Todos estos requisitos se han de cumplir con unos ciclos de desarrollo de entre 3 y 5 años así como a un bajo coste.

Una parte básica del equipo de gestión del motor es la Unidad Electrónica de Control (ECU), ya que recibe todas las informaciones de los captadores y sondas, y se encarga de su tratamiento para dar órdenes precisas para una correcta dosificación de la mezcla.



En la Fig. 4.10 se representa de forma esquemática la arquitectura de una ECU genérica para la gestión del motor así como las interacciones con las diferentes señales tanto de entrada como de salida.

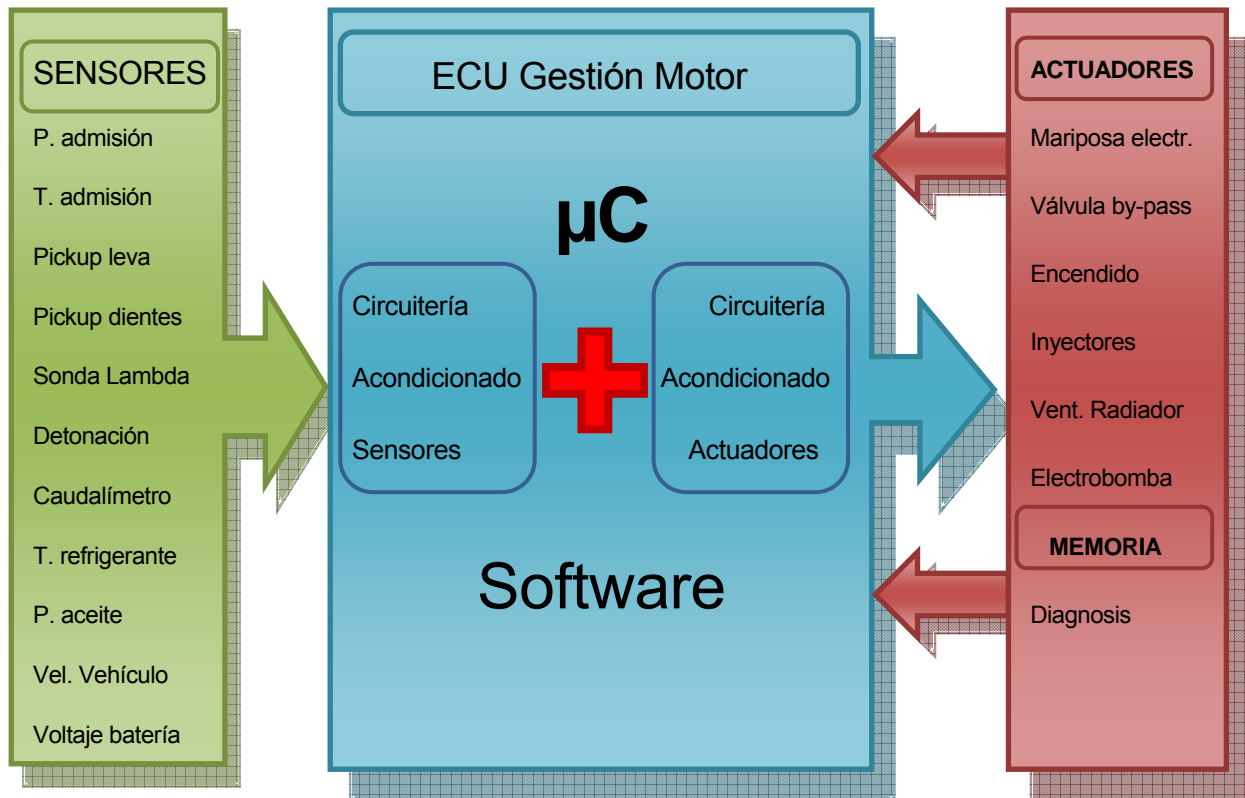


Fig. 4.10 Arquitectura genérica de una ECU para la gestión del motor

La ECU toma sus decisiones mediante la información llegada de los sensores y la información que tiene su memoria interna y envía sus señales de gestión a los diferentes actuadores. Estos actuadores se amoldan a los diferentes requerimientos del motor de forma más o menos adecuada sin necesidad de una puesta punto mecánica ya que los ajustes a las diferentes necesidades lo comanda la ECU. En el apartado 4.3 se profundizará más en la ECU.

4.2. Señales de entrada para sistemas de gestión electrónica

En la gestión de un motor, en la actualidad, se utilizan tanto señales analógicas como digitales. Estas señales se obtienen mediante sensores. Los sensores pueden ser sin alimentación (generadores) o con alimentación externa (moduladores). Los requisitos que han de cumplir los sensores en automoción son variados: han de ser fiables, robustos, baratos, ligeros, pequeños y de bajo consumo.



Parámetros importantes que han de satisfacer los sensores:

- Precisión
- Resolución: incremento mínimo en la entrada para obtener un cambio en la salida.
- Linealidad: para hacer proporcional la salida.
- Sensibilidad: pendiente de la curva calibrada.

La tendencia actual en automoción es la utilización de sensores inteligentes, nodos con cierta electrónica de procesado y/o diagnosis. En la Fig. 4.11 se muestra la evolución en la integración en los sensores.

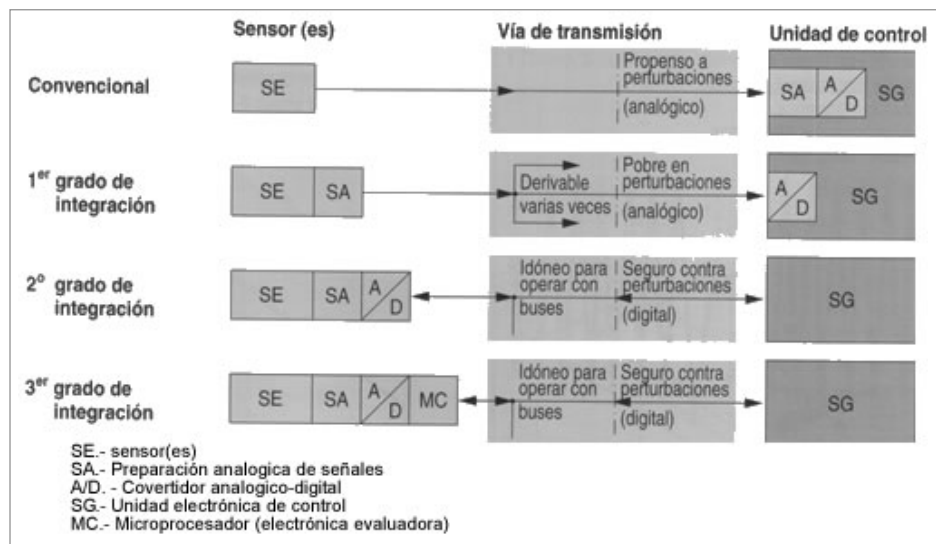


Fig. 4.11 Evolución en la integración en los sensores [11]

4.2.1. Sensores posición / velocidad

Se utilizan tanto para detectar la posición del cigüeñal y la sincronía de éste con el árbol de levas como para determinar la velocidad del motor. Se utilizan dos tipos de sensores, los inductivos y los de efecto hall.

Los **sensores inductivos** tanto pueden ser mediante un imán permanente (Fig. 4.12), para lo que no hace falta alimentación, como mediante una reluctancia variable, para lo que sí es necesario. Tanto los de un tipo como los de otro proporcionan una señal de la misma naturaleza que tiene la forma que muestra las Fig. 4.13 y Fig. 4.14.



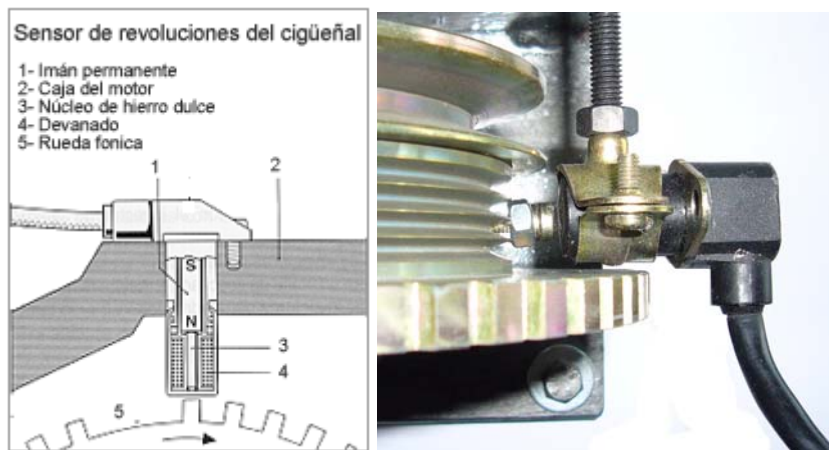


Fig. 4.12 Sensor inductivo Magneti Marelli, esquema [12] e imagen

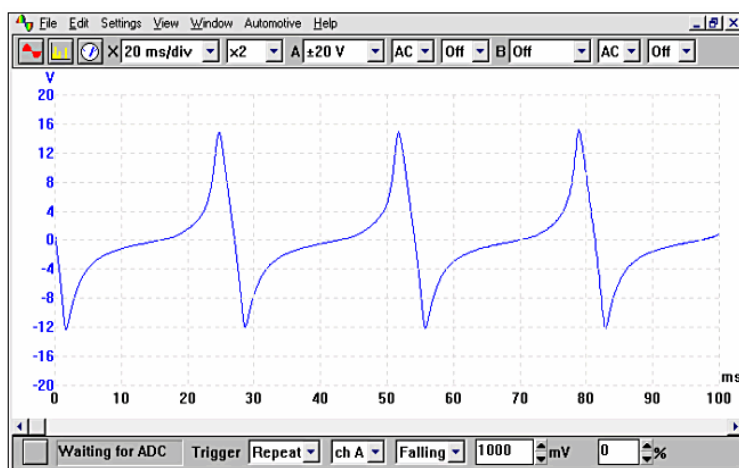


Fig. 4.13 Señal inductiva, pulso por vuelta [13]

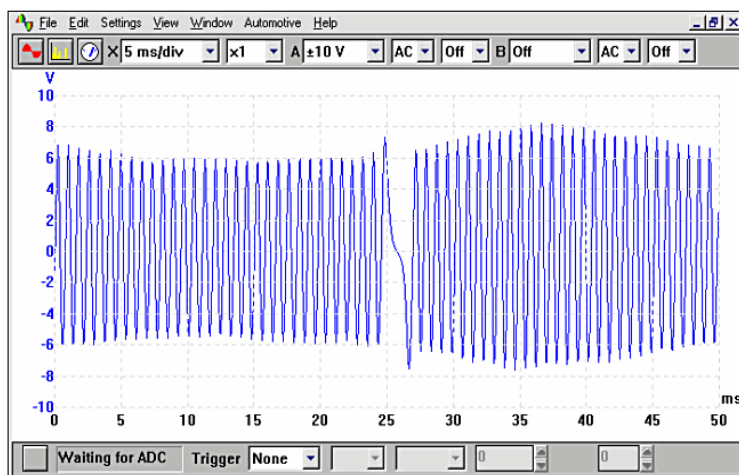


Fig. 4.14 Señal inductiva de la rueda fónica [13]



Los sensores inductivos suelen estar colocados en la rueda fónica situada en el cigüeñal y el cable de salida de señal está apantallado para evitar las interferencias debido a las interferencias electromagnéticas. La señal de salida obtenida por estos sensores tiene una amplitud variable debido a que depende de las revoluciones del motor, a más revoluciones mayor amplitud, así como una frecuencia también variable.

Los **sensores de efecto Hall** (Fig. 4.15) se basan, como su nombre indica, en el efecto Hall que consiste en la aparición de un campo eléctrico en un conductor cuando es atravesado por una corriente estando dentro de un campo magnético (Fig. 4.16). En el automóvil se colocan en el árbol de levas (Fig. 4.17) donde un disco perforado que gira solidario al árbol permite hacer llegar al sensor el campo magnético de un imán colocado al otro lado del disco cuando coincide un agujero con la trayectoria del flujo magnético y el sensor.



Fig. 4.15 Sensores efecto Hall [15]

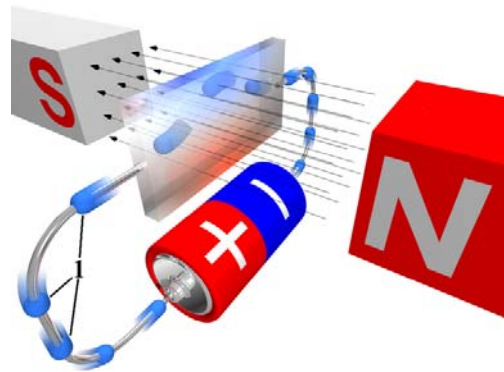


Fig. 4.16 Esquema principio Hall [16]

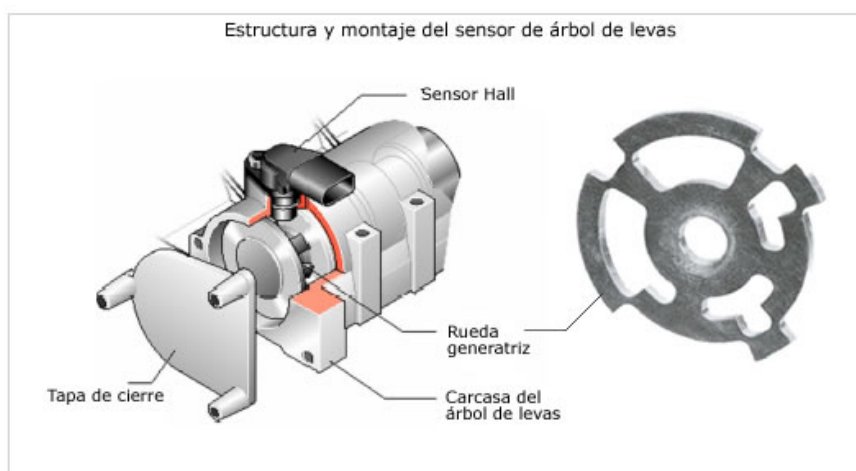


Fig. 4.17 Situación del sensor Hall [17]



La ventaja de este tipo de sensores es que la señal obtenida es del tipo digital. En la *Fig. 4.18* se muestra este tipo de señal. Por el contrario, éste es más caro y además hay que alimentarlo.

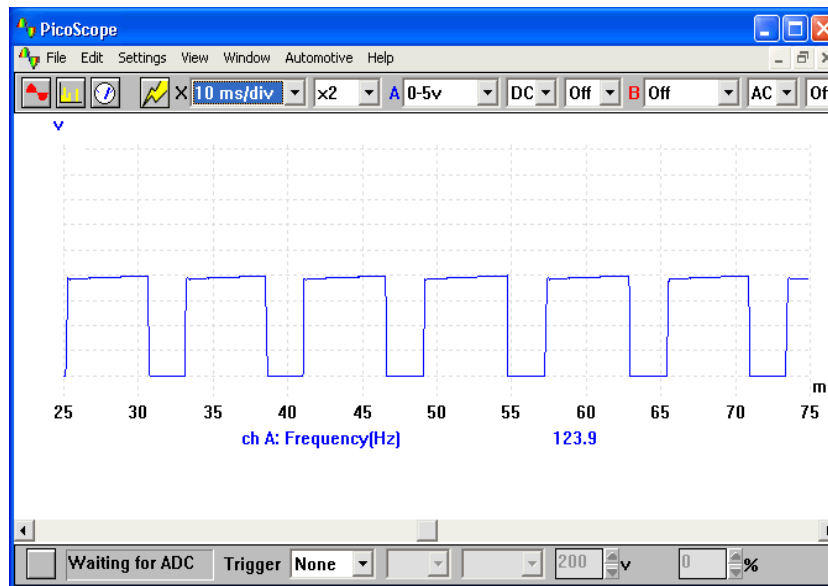


Fig. 4.18 Señal del sensor de efecto Hall [18]

4.2.2. Caudalímetro

Para el cálculo de la cantidad de aire que está entrando en cada momento en el motor se puede utilizar diferentes sistemas aunque en la actualidad el más utilizado es el caudalímetro másico. Los otros sistemas se explican brevemente:

- Potenciómetro de posición de mariposa: Mide el caudal de forma indirecta. A partir de la sección y de las r.p.m. se deduce aproximadamente la presión del colector. Se realiza la hipótesis que el motor se comporta como una bomba volumétrica y a partir de ahí deduce el cabal másico que pasa por la mariposa partiendo de la calibración que se ha efectuado en un banco de flujo y del que se ha obtenido una correlación experimental del caudal volumétrico en función del ángulo de mariposa; y del caudal másico de aire en función del ángulo de mariposa y de la temperatura de aire.
- Sensor de presión: A diferencia del sistema anterior, éste no ha de deducir la presión en el colector ya que la obtiene directamente. Con el valor de la presión y con datos guardados en una cartografía, deduce la masa de aire que pasa por el colector.
- Caudalímetro de velocidad: Se obtiene el valor de la velocidad del aire dentro del colector. Con este valor de la velocidad, y conociendo la sección y la densidad del aire se deduce el caudal másico. Este tipo de caudalímetros sólo se utilizan en experimentos de laboratorio.



Caudalímetros máscicos hay de dos tipos: de aleta sonda y de hilo caliente. El caudalímetro de aleta sonda está en desuso, su funcionamiento es el siguiente: El flujo de aire mueve una compuerta que obstaculiza su paso. La posición de esta compuerta refleja el caudal máscico de aire que circula.

El caudalímetro de aire de hilo caliente (*Fig. 4.19*) trabaja según el principio de temperatura constante. El hilo caliente forma parte de un circuito de puente de Wheatstone, cuya tensión diagonal en bornes es regulada a cero variando la corriente de calentamiento. Si aumenta el caudal de aire, el hilo se enfría y, por tanto, disminuye su resistencia, lo cual provoca un desequilibrio de la tensión en bornes del puente, que es corregido inmediatamente por el circuito de regulación, elevando la corriente de calefacción.

El aumento de corriente está determinado de tal forma que el hilo recupere su temperatura inicial, con lo que se consigue una relación directa entre el flujo de aire y la corriente calefactora. Así pues, el valor de esta corriente representa la medida de la masa de aire aspirada por el motor. La señal que envía el caudalímetro es del tipo analógica con un rango de actuación que empieza aproximadamente en los 1,5 V y llega hasta los 5 V. (*Fig. 4.20*). La ECU calcula con este valor de voltaje y con parámetros de presión de admisión, revoluciones y temperatura, la proporción de la mezcla.



Fig. 4.19 Caudalímetro

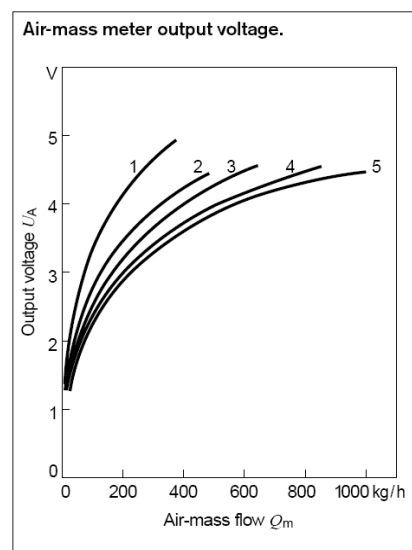


Fig. 4.20 Diferentes relaciones masa aire / voltaje

[19]



4.2.3. Sensor de presión (MAP)

El sensor de presión (Fig. 4.21), *Manifold Absolute Pressure (MAP) Sensor*, mide la presión del aire en la admisión, la presión de combustible, aceite... Es el primer sensor micro mecanizado utilizado en automoción. Está compuesto de un chip de silicio con dos partes, un transductor de presión (membrana) y la electrónica de acondicionamiento. La membrana del sensor tiene cuatro piezo-resistores (resistencias que varían cuando se les somete a un esfuerzo) que forman un puente de Wheatstone. La señal salida del puente de Wheatstone, del orden de los 100 mV, se hace pasar por un amplificador de ganancia elevada. La señal que sale del sensor es del tipo analógica con un rango de 0,5 a 4,5 V (Fig. 4.22).



Fig. 4.21 Sensor de presión Delphi [20]

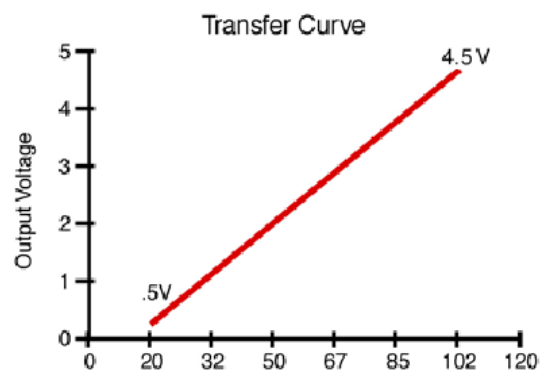


Fig. 4.22 Gráfica Temp. / Voltaje [21]

4.2.4. Sensor de temperatura

Los sensores de temperatura se utilizan para medir la temperatura de refrigerante, aceite, aire admisión, combustible, gases de escape... Hay dos tipos de sensores de temperatura, los termistores y los termopares.

Los **termistores** son resistencias basadas en semiconductores, estos pueden ser NTC (*Negative Temperature Coefficient*) o PTC (*Positive Temperature Coefficient*):

- **NTC** (Fig. 4.23) varía su resistencia, de forma no lineal, inversamente a la variación de la temperatura, por eso se les llama de coeficiente negativo. Para la obtención de la temperatura medida se puede aplicar una fórmula donde la incógnita forma parte de un exponente y por tanto operación lenta si no se trabaja en coma flotante, o



mediante un acceso a una tabla ROM con el inconveniente de necesitar mucha memoria.



Fig. 4.23 Termistor NTC para temperatura refrigerante y su símbolo [22]

- PTC (Fig. 4.24) se utiliza como fusibles *reseteables*. Estos termistores aumentan su resistencia si aumenta la temperatura, por eso se les llama de coeficiente positivo. Su zona de funcionamiento se considera lineal. Debido a su inercia térmica son de acción lenta.



Fig. 4.24 Símbolo termistor PTC

Los **termopares** también llamados sondas, se utilizan para medir temperaturas en el escape. Hay diferentes tipos de sondas, K, N, J, R, S, W. Las más utilizadas son las sondas tipo K. Las sondas K (Fig. 4.25) son sensores activos (generadores) que funcionan por efecto seebeck, esto es, cuando dos metales distintos unidos se calientan por uno de los extremos, circula una corriente. Estos dos metales en las sondas K son cromo y alumel (Al-Ni). Las características de estas sondas K son:

- Señal de salida muy baja (mV), por eso hay necesidad de un circuito de acondicionamiento.
- Sensibilidad baja $\approx \mu\text{V} / ^\circ\text{C}$
- Altas temperaturas de funcionamiento [0 °C 1300 °C]
- Cable trenzado y apantallado para evitar las interferencias electromagnéticas.



Fig. 4.25 Sonda K, Davis Instruments Corp. [23]



4.2.5. Sensor de gases de escape

Una gestión en lazo cerrado hace necesario el control de los gases de escape para comparar los valores de consigna enviados por la ECU a los inyectores con los valores de los gases de esa inyección después de haber combustionado para poder modificar las futuras inyecciones. La medida de los gases de escape se obtiene mediante la sonda lambda. En la Fig. 4.26 se observa la localización de dicha sonda.

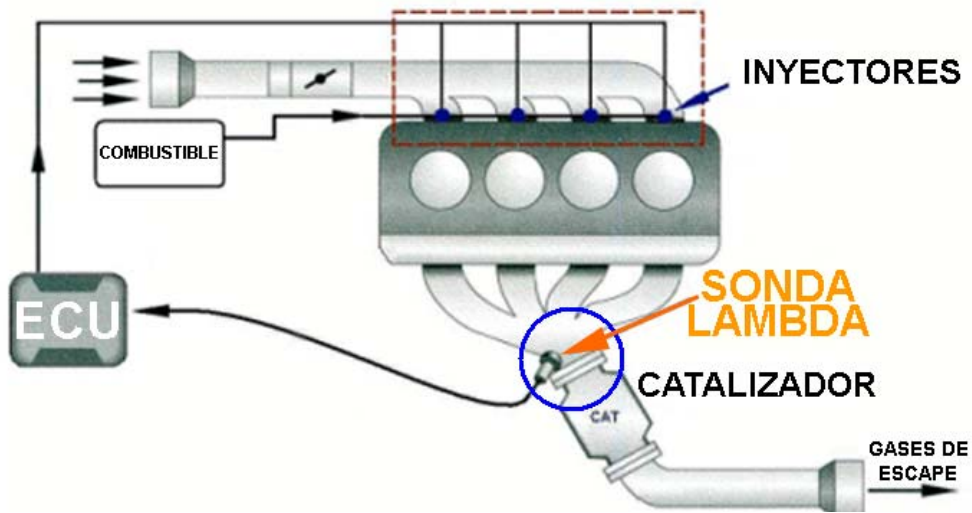


Fig. 4.26 Ubicación de la sonda lambda en el lazo cerrado [24]

La sonda lambda capta los excesos o defectos de oxígeno de los gases de escape. Esta sonda está compuesta por un cuerpo de cerámica compuesto de dióxido de zirconio y sus superficies internas y externas están provistas de electrodos revestidos de una capa fina de platino, permeable a los gases. La zona externa está recubierta de una capa cerámica porosa que protege la superficie del electrodo contra la suciedad proveniente de los residuos de combustión.

A partir de 300 °C, la cerámica se vuelve conductora para los iones de oxígeno, estableciéndose una tensión eléctrica en los bornes de la sonda. Debe señalarse, que con la disposición de la sonda lambda justo antes del catalizador existirá algún retraso con respecto a la composición real de la mezcla en la cámara de combustión en un instante determinado como expresa Ernesto Gutiérrez en su Tesis Doctoral [27].



Fig. 4.27 Sonda lambda EGO de DENSO [25]

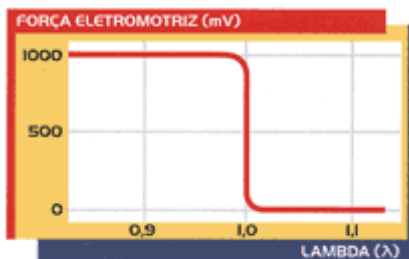


Fig. 4.28 Señal salida sonda lambda EGO [26]

Existen básicamente dos tipos de sondas lambda, las de escalón y las proporcionales. Las de escalón



llamadas **EGO** (Fig. 4.27) (*Exhaust Gas Oxygen sensor*) proporcionan un valor de lambda (Fig. 4.28) que para una relación de la mezcla estequiométrica lambda tiene el valor de $\lambda=1$; si la mezcla ha sido pobre $\lambda>1$; y para una mezcla rica $\lambda<1$. Por tanto la señal es tratada en la ECU y convertida en una señal digital, en el conversor A/D, que interpreta 0 para una mezcla pobre y 1 para una mezcla rica.

Las sondas proporcionales **UEGO** (Fig. 4.29) (*Universal EGO*) se caracterizan por dar una señal analógica (Fig. 4.30), como su nombre indica, proporcional al contenido de O_2 de los gases de escape. Esto es posible ya que las sondas UEGO utilizan una electrónica auxiliar que permite definir correctamente la señal analógica que entrega la sonda en toda su gama de trabajo.



Fig. 4.29 Sonda UEGO de NGK [28]

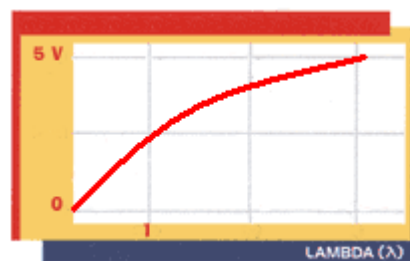


Fig. 4.30 Señal de salida sonda lambda UEGO [29]

Debido a que las sondas de gases de escape funcionan a partir de una cierta temperatura, hay que esperar que el motor se caliente para que proporcionen valores correctos de medida. Para evitar este tiempo de demora, existen las sondas **HEGO** (*Heated EGO*) que son sondas con una resistencia eléctrica interna que calienta la sonda mientras los gases de escape no sean capaces de calentarla.

4.2.6. Sensor detonación

La detonación se produce debido a que cuando salta la chispa y al aumentar la presión en la cámara, se produce otro foco de ignición. Esta detonación se traduce en una vibración que puede llegar a destruir el motor. Este picado se puede solucionar reduciendo el avance de encendido, por tanto este parámetro utilizado en lazo cerrado se utiliza para regular el avance de encendido.



Fig. 4.31 Sensores detonación [30]

El sensor de detonación (Fig. 4.31) es un piezoeléctrico que mediante un tornillo se fija al bloque motor. Los elementos que integran este sensor se



pueden observar en la *Fig. 4.32*. Debido a que tipo de motor tienen una frecuencia de detonación propia, se puede detectar cuando se produce el picado. Para transformar el voltaje transmitido por el sensor de detonación a la ECU, se hace pasar por un filtro pasa bandas programable a la frecuencia de cada motor. Este circuito ASIC (*Application Specific Integrated Circuit*), como puede ser el circuito Bosch CC195, envía a la ECU una señal analógica que expresa el nivel de detonación.

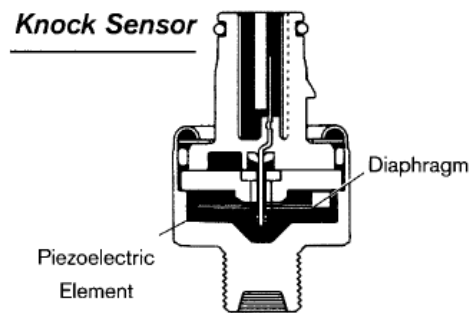


Fig. 4.32 Sección sensor de detonación [31]

4.3. Procesamiento de datos

La forma habitual de realizar el procesamiento de los datos, tanto a nivel de software como de hardware, no es el elegido para la realización de este proyecto pero ha parecido necesario hacer una breve explicación de las diferentes unidades así como de las formas más usuales de programar.

Los datos que llegan de los sensores se envían en forma analógica o digital a su correspondiente ECU. La ECU (*Fig. 4.33*) es un microcomputador que está compuesto por tres unidades básicas. La CPU, la memoria y el subsistema de entradas y salidas.



Fig. 4.33 ECU gestión motor [32]

La **CPU** en automoción para los sistemas de gestión de motor suelen ser de 16 bits, son del tipo RISC (*Reduced Instruction Set Controller*). Se utiliza este tipo de CPU por:

- Número reducido de instrucciones.



- Instrucciones sencillas en lenguaje ensamblador.
- Tamaño reducido, menor coste, menor consumo, menor tiempo de diseño.
- Una instrucción en cada ciclo máquina.

Las **memorias** utilizadas pueden ser de diferente naturaleza y algunas pueden coexistir en una misma ECU:

- Memorias de configuración:
 - EEPROM: Los μ C suelen tener pequeñas cantidades de esta memoria que permite almacenar un limitado número de parámetros que cambian poco. Esta memoria es lenta y tiene un número de ciclos lectura/escritura limitado.
 - FLASH: Mejor solución que la EEPROM cuando se requieren grandes cantidades de memoria no volátil. Más rápida, mayor número de ciclos/escritura.
 - RAM (estática con batería): Mucho más rápida y sin limitación de ciclos lectura / escritura. Capaz de grandes cantidades de memoria no volátil de acceso rápido.
- Memorias de programa:
 - ROM: Programada de fábrica
 - OTP: Dispositivo PROM, (EPROM sin ventana de borrado).
 - Reprogramación: EPROM, EEPROM y Flash.
- Memoria externa: ROMless, ROM externa.

Los **subsistemas Entrada/Salida** de un microcontrolador:

Periféricos para control/comunicación:

- Puertos E/S: Analógicos o digitales.
- Conversor A/D (los convertidores D/A suelen ser externos ya que son más baratos).
- *Timers*: Cuentan eventos externos, señal interna de *clock*.
- PWM: *Pulse-with Modulation*



- Comparadores analógicos
- Comunicaciones: BUS CAN, BUS LIN, UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*), SPI (*Serial Peripheral Interface*), USART (*U Synchronous ART*).

Ejecución de tareas y forma de programarlas:

La forma de ejecutar las tareas en los microcontroladores (μC) es del tipo secuencial: se busca la instrucción, se decodifica y por último se ejecuta. Las instrucciones sencillas se realizan en un tiempo de *clock*, instrucciones más complejas necesitan varios tiempos de *clock*. El *clock* del microcontrolador es externo y puede ser de cristal resonador de alta frecuencia (cuarzo); oscilador integrado externo (más preciso); o el oscilador RC (para aplicaciones no críticas). El *clock* de alta frecuencia presenta problemas como el elevado consumo o el ruido (EMI's).

El microcontrolador tiene asignadas una serie de tareas, algunas de estas son asíncronas y por tanto se tiene que esperar que surja dicho evento para ejecutarla. Si el μC tiene que hacer una lectura continuada del puerto (*polling*) cada vez que acaba de ejecutar una tarea para comprobar si se ha activado esta tarea asíncrona, se estará consumiendo μC muy necesaria para realizar otras tareas. Por este motivo, si el μC lo permite, existen las interrupciones. Las interrupciones permiten realizar las tareas programadas hasta que salta el evento asíncrono. La forma de funcionamiento de las interrupciones es la siguiente:

- Se está ejecutando instrucciones del programa principal.
- Se activa la interrupción (evento asíncrono).
- El μC termina de ejecutar la instrucción actual.
- El μC guarda la dirección de la instrucción actual (pila, *stack*).
- El contador de programa se actualiza con la dirección del vector de interrupciones.
- Se pasa a ejecutar el código del servicio de interrupciones.
- El μC devuelve los parámetros básicos y se actualiza con la dirección guardada en la pila.



4.4. Señales de salida para sistemas de gestión electrónica

Las salidas que provienen de la ECU son o del tipo PWM o TTL. Éstas se utilizan para, después de pasar por una electrónica de potencia, controlar motores de corriente continua, paso a paso o los transistores de la etapa de potencia de inyección o encendido. Así, también la ECU actúa sobre el cuadro de mando donde muestra las posibles indicaciones de avería así como los niveles de combustible y los parámetros del motor.

4.4.1. Mariposa motorizada

La mariposa motorizada puede estar controlada por un motor paso a paso o por un motor de C.C. En el caso del motor de C.C. éste puede ser de un único sentido de giro (*Fig. 4.34*) y por tanto la mariposa retorna a su posición de reposo mediante un muelle, así no es necesario la utilización de un puente de transistores para que el motor pueda girar en ambas direcciones.

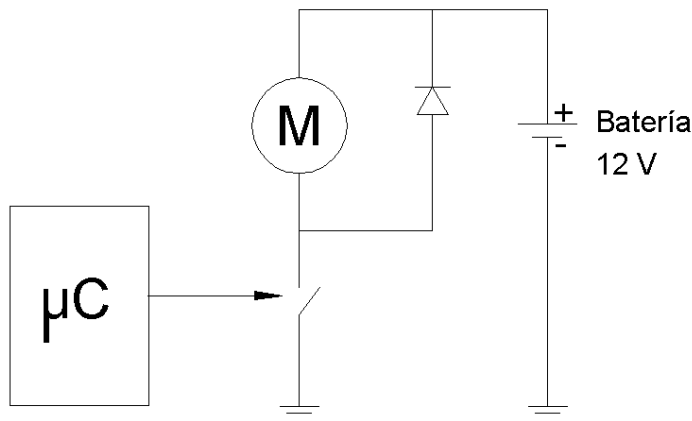


Fig. 4.34 Esquema funcionamiento motor mariposa motorizada

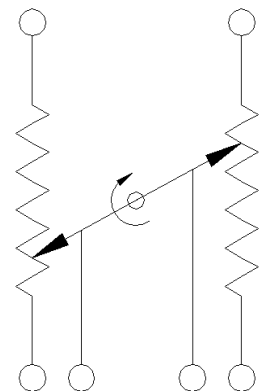


Fig. 4.35 Potenciómetro doblado

Mediante un potenciómetro doblado (*Fig. 4.35*), por seguridad, la ECU sabe la posición real de la mariposa. Se dobla el potenciómetro para poder detectar un fallo de la unidad. En el caso que falle, la ECU al no detectar señal o al detectarla errónea, hace que el motor no pase de 2000 r.p.m. o desconecta el motor, según la gestión.

4.4.2. Válvula estabilizadora de ralentí

La válvula estabilizadora de ralentí (IAC), también llamada válvula *by Pass* (*Fig. 4.36*), regula el número de revoluciones en marcha mínima del motor. El motor paso a paso está montado



directamente en el sistema de aspiración. Con ayuda de una varilla reguladora cónica, abre y cierra una derivación hacia la válvula de la mariposa. De este modo, el número de revoluciones en ralentí se mantiene constante independientemente de la carga del motor aunque se conecte o desconecte un accesorio (aire acondicionado...)

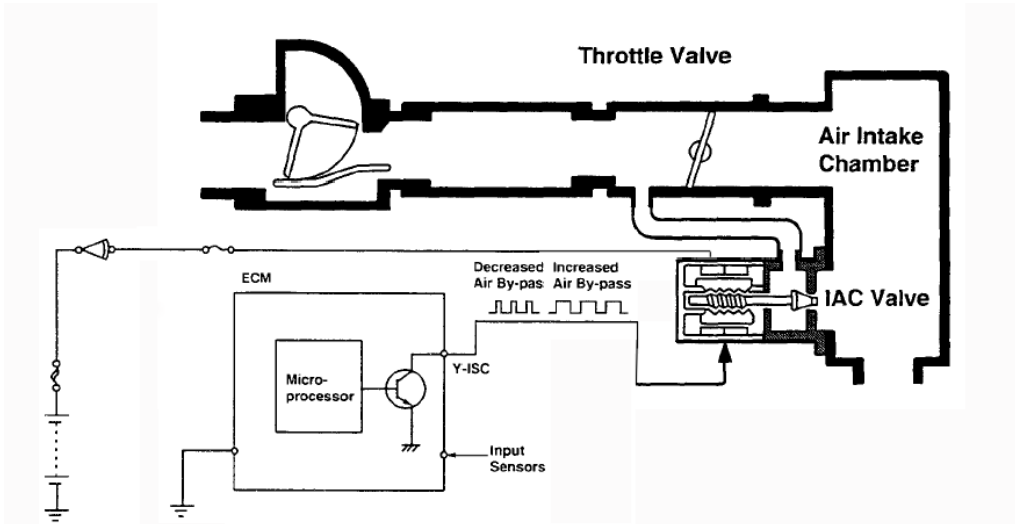


Fig. 4.36 Esquema válvula estabilizadora de ralentí [33]

4.4.3. Inyectores

La inyección en los motores de ciclo Otto puede ser indirecta, fuera de la cámara de combustión, o directa, en el interior. La aplicación práctica de este proyecto se realiza mediante una inyección indirecta con rampa de presión de gasolina (*common-rail*), por este motivo las explicaciones teóricas que se darán a continuación se realizarán sobre este tipo de inyección.

El inyector (*Fig. 4.37*) es una válvula de inyección de combustible con actuación electromagnética. Se localiza en el colector de admisión (inyección monopunto), o en el conducto de admisión de cada cilindro (inyección multipunto). Los principales componentes del inyector pueden apreciarse en la *Fig. 4.38*. Cuando el solenoide no está excitado, la aguja está forzada contra el asiento de la válvula mediante el muelle helicoidal cerrando el paso de combustible. Cuando se excita la bobina del solenoide, el eje de la aguja resulta atraído y levanta alrededor de 0,15 mm para que el combustible pueda fluir a través del paso calibrado alrededor del vástago de la válvula. El final del eje del inyector está configurado para atomizar el combustible inyectado. El relativamente estrecho cono que forma el inyector



Fig. 4.37 Inyector EV6 BOSCH inyección indirecta Common-rail [34]



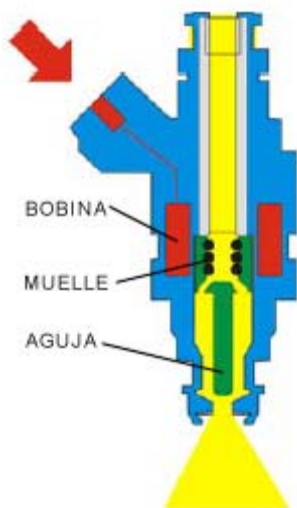


Fig. 4.38 Esquema interno inyector [35]

necesitaría para empezar a mover la aguja del inyector y la intensidad para continuar inyectando no es la misma. Este problema se minimiza realizando un control *Peak & Hold*, Fig. 4.40, ejemplo esquema circuito *Peak & Hold* y Fig. 4.41, evolución temporal de la intensidad que pasa por el inyector con este tipo de control.

minimiza el combustible que queda retenido en las paredes del colector de admisión. La masa de combustible inyectado se controla variando la duración del pulso de corriente que excita la bobina del solenoide. Valores típicos del tiempo de inyección en aplicaciones automovilísticas están en el rango de 1,5 a 10 ms.

El esquema básico que se utilizan en los sistemas de inyección *common-rail* es el que se muestra en la Fig. 4.39. Los controles que se realizan con este tipo de esquema son poco precisos ya que la intensidad que pasa por el inyector es el ratio entre la tensión de la batería y la impedancia del inyector. Esta imprecisión es debida a que la intensidad

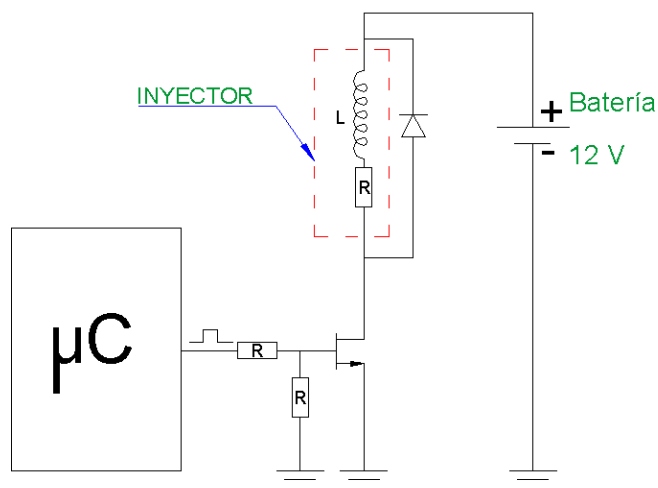


Fig. 4.39 Esquema circuito de inyección básico

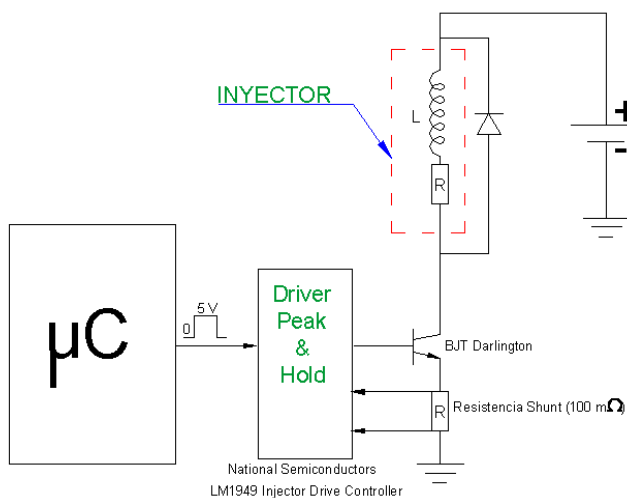


Fig. 4.40 Ejemplo esquema circuito Peak & Hold

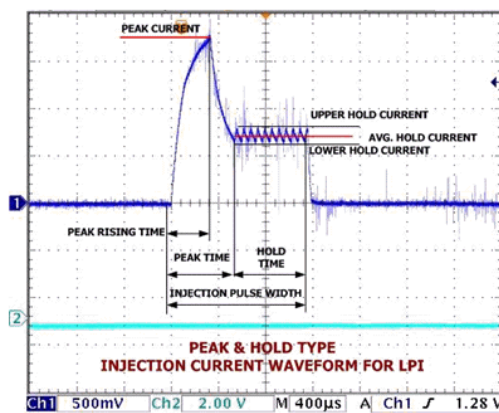


Fig. 4.41 Gráfica Intensidad / Tiempo control Peak & Hold [36]



4.4.4. Sistemas de ignición

El sistema de encendido sin distribuidor, DIS (Direct Ignition System o Distributorless Ignition System), se diferencia del sistema de encendido tradicional en suprimir el distribuidor, con esto se consigue eliminar los elementos mecánicos, siempre propensos a sufrir desgastes y averías. Además la utilización del sistema DIS tiene las siguientes ventajas [37]:

- Tiene un gran control sobre la generación de la chispa ya que hay más tiempo para que la bobina genere el suficiente campo magnético para hacer saltar la chispa que inflame la mezcla. Esto reduce el número de fallos de encendido a altas revoluciones en los cilindros por no ser suficiente la calidad de la chispa que impide inflamar la mezcla.
- Las interferencias eléctricas del distribuidor son eliminadas por lo que se mejora la fiabilidad del funcionamiento del motor, las bobinas pueden ser colocadas cerca de las bujías con lo que se reduce la longitud de los cables de alta tensión.
- Existe un margen mayor para el control del encendido, por lo que se puede jugar con el avance al encendido con mayor precisión.

Una evolución en el sistema DIS ha sido integrar en el mismo elemento la bobina de encendido y la bujía (se eliminan los cables de alta tensión). A este sistema se le denomina sistema de encendido directo o también conocido como encendido estático integral. Existen dos tipos de encendido directo. El encendido independiente (*Fig. 4.42*) y el simultáneo. El independiente utiliza una bobina por cada cilindro. El encendido simultáneo utiliza una bobina por cada dos cilindros, la bobina forma con una de las bujías y se conecta mediante una cable de alta tensión con la otra bujía, a este sistema también se le denomina de “chispa perdida”.

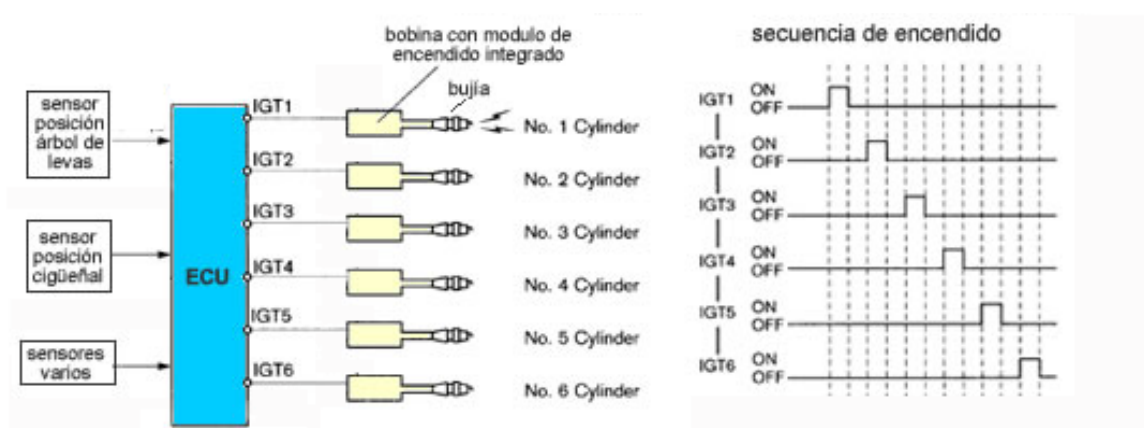


Fig. 4.42 Esquema encendido independiente para motor de 6 cilindros [38]



Para los sistemas de encendido directo se integran la bobina y el módulo de encendido en el mismo conjunto, este conjunto tiene el nombre de pipeta. La pipeta (Fig. 4.43), a la que se conecta la bujía, se alimenta directamente al voltaje de la batería y se controla con la señal que envía la ECU del tipo TTL.



Fig. 4.43 Pipeta de encendido independiente, imagen real (Hitachi) y esquema [39]





5. Componentes del sistema utilizados en este proyecto

A diferencia del capítulo anterior, en el que se ha hecho una breve explicación de la gestión que se realiza en los motores actuales que se utilizan en automoción, en este capítulo se realizará una descripción detallada del sistema elegido que difiere de éste en diversos aspectos. Esto es debido a que, como ya se ha comentado, este proyecto tiene un enfoque académico ya que con él se realizarán unas prácticas en el *Laboratori de Motors Tèrmics* de la ETSEIB. Por tanto, los elementos que se utilizarán en las prácticas estarán limitados por el coste económico.

Para iniciar la selección de los componentes es preciso acotar el tipo de motor que se piensa gestionar. Se ha optado por la gestión de un motor de combustión interna de ciclo Otto de dos tiempos de 50 cm³. La elección de este motor es debido a dos factores: el primero por la disposición en banco de pruebas de un motor de estas características en el *Laboratori de Motors Tèrmics* de la ETSEIB para una futura implementación de esta gestión; la segunda es debido a que los motores de dos tiempos no necesitan la sincronización del cigüeñal con el árbol de levas para determinar el PMS (punto muerto superior) en el que se realiza el encendido ya que en los motores de dos tiempos el encendido se realiza en cada PMS y por tanto se puede prescindir de un captador de efecto Hall para el árbol de levas (es más, los motores de dos tiempos usados en ciclomotores, como el motor que es objeto de este proyecto, no tienen árbol de levas sino que realizan el intercambio de fluidos mediante lumbreras). Ante la inexistencia de árbol de levas en este tipo de motor, la sincronización del encendido con la posición se realizará mediante cualquier otro procedimiento.

Siendo la gestión de los motores de ciclo Otto de dos tiempos el objeto central de este proyecto, se realizará una pequeña incursión en la gestión de los motores de cuatro tiempos, aunque solamente a nivel de inyección, como se verá plasmado en el apartado 5.5.3 de este mismo capítulo.

5.1. Selección de componentes

5.1.1. Procesador

La gestión de un motor de combustión interna es un proceso que requiere una alta velocidad de procesamiento de datos. La vertiente docente de este proyecto hace necesario que el sistema proporcione información visual, así como un periférico con el que variar los datos de entrada. La información visual se puede proporcionar mediante un monitor y la introducción



de nuevos *inputs* se puede realizar mediante un teclado. Así, la forma más sencilla de establecer ese puente de *inputs* y *outputs* es con un ordenador personal (PC).

Por tanto, según las premisas expuestas en el párrafo anterior, se pueden proponer dos formas distintas de procesar los datos:

- Controlador embebido a tiempo real:

Un ejemplo de este tipo de controlador es el Compact-RIO-9004 (Fig. 5.1) de National Instruments. Ésta es la solución profesional para realizar este proyecto. Las características básicas del Compact-RIO:

- Procesador industrial a 200 MHz
- 64 MB DRAM
- 512 MB memoria no volátil
- Ejecución del software a bajo nivel



Fig. 5.1 Controlador embebido a tiempo real NI cRIO-9004 [40]

- CPU de PC de sobremesa:

El ordenador, que se utiliza para visualizar los parámetros de gestión y para introducir modificaciones, también aporta su propio procesador. Esta es la forma de bajo coste de realizar este proyecto. Las características de este procesador son las del procesador utilizado en el *Centre de Recerca de Motors i Instal·lacions Tèrmiques (CREMIT)*:



- Procesador Intel Pentium 4 a 2,66GHz
- 1 GB DDR SDRAM
- Sistema operativo Windows® XP

Según los datos proporcionados, el procesador del PC es muy superior al del Compact-RIO, pero el PC funciona bajo sistema operativo Windows® y este OS (sistema operativo) no es determinista, está haciendo siempre otras tareas en el fondo ya que es un OS multitarea, así que la sincronización del software no es fiable. Además, el *timer* de Windows® XP tiene un periodo mínimo de funcionamiento demasiado alto, para realizar tareas críticas, del orden de 10 ms (*Fig. 5.2*).

| Timer Resolution | |
|------------------|---|
| Resolution | Platform |
| 55 ms | Windows 95/98 |
| 10 ms | Windows NT, Windows 2000, Windows XP single processor |
| 15.625 ms | Windows NT, Windows 2000, Windows XP dual processor |

Fig. 5.2 Periodo mínimo de funcionamiento de diversos Windows® [41]

El Compact-RIO es un controlador embebido a tiempo real. Funciona con un chip de tecnología FPGA, que conecta directamente los diferentes captadores con el procesador mediante un bus de alta velocidad y además ejecuta el software directamente en lenguaje de bajo nivel. Este procesador puede gestionar tareas que funcionan a una escala de tiempo del orden de los microsegundos. Por ello es el sistema que ofrece una respuesta del tipo profesional.

Después de haber expuesto las ventajas e inconvenientes de los dos tipos de formas de procesar los *inputs*, se decide optar por el procesado mediante la CPU del PC. Esta decisión está impulsada únicamente por motivos económicos ya que la opción del Compact-RIO se creó que es la acertada. Con el procesamiento mediante la CPU se puede hacer una gestión de un motor de combustión interna de ciclo Otto que no sea a tiempo real, suficiente para el carácter académico de este proyecto.

5.1.2. Lenguaje de programación

Un lenguaje de programación apto para una visualización de los diferentes parámetros mediante un monitor; la introducción de nuevas variables de control con un teclado de PC,



requerimientos impuestos en el apartado 5.1.1, así como un lenguaje gran facilidad de programación, es el lenguaje de programación G. Este lenguaje no está basado en texto sino que través de diagramas es como se representa la lógica del programa. El lenguaje G es la programación que recibe el nombre de visual. Para este proyecto se realizará esta programación utilizando el programa LabVIEW™ 8.0 de National Instruments. LabVIEW™ es una herramienta gráfica utilizada para tareas ingenieriles y científicas como adquisición de datos, control de instrumentos, automatización industrial o diseño de control para prototipaje rápido.

5.1.3. Sensores

Los sensores seleccionados son dos. El número es tan reducido, teniendo en cuenta el número de sensores expuestos en el apartado 4.2, debido a que por una parte más sensores supondrían un mayor desembolso económico y por otra una saturación del procesador del PC, cuestión crítica como se ha comentado en el apartado anterior.

Los sensores elegidos son: un captador inductivo con salida analógica (*Fig. 5.3*) y un caudalímetro de aire de hilo caliente (*Fig. 5.4*). Debido a la limitación, sobretodo en el apartado de procesador, no se ha visto necesario contar con una sonda lambda y por tanto la gestión que se realizará será del tipo lazo abierto.

5.1.4. Captación de datos

La captación de datos tiene que ser por una parte compatible con los diferentes sensores así como con el procesador seleccionado y con el lenguaje de programación que este utiliza. La elección es la tarjeta NI USB-6210 de National Instruments. Tarjeta con entradas analógicas y digitales y salidas digitales. La conexión con el PC se realizará por USB (Bus de Serie Universal) como el nombre de la tarjeta indica. La compatibilidad con LabVIEW™ es total ya que esta tarjeta se ha diseñado específicamente con este programa siendo además compatible con otro software como el Visual Studio.NET y C/C++/C#. Se realizará una descripción más detallada de la tarjeta de adquisición de datos en el apartado 5.4 de este capítulo.

5.1.5. Actuadores

Los actuadores seleccionados son dos. Un inyector de alta impedancia (*Fig. 5.32*) y una pipeta de encendido independiente (*Fig. 5.31*). Tanto uno como el otro serán comandados por las salidas digitales de la tarjeta NI USB-6210 mediante pulsos TTL.



5.2. Sensores seleccionados

5.2.1. Inductivo

El sensor inductivo de velocidad-rotación para la captación de PMS utilizado es de la marca Magneti-Marelli con la referencia: SEN 8K3 (Fig. 5.3)

El sensor inductivo es del tipo de salida de cable de 90 °. La señal que emite es del tipo analógica que es introducida en el circuito acondicionador, apartado 5.3.2, para la futura determinación de PMS.

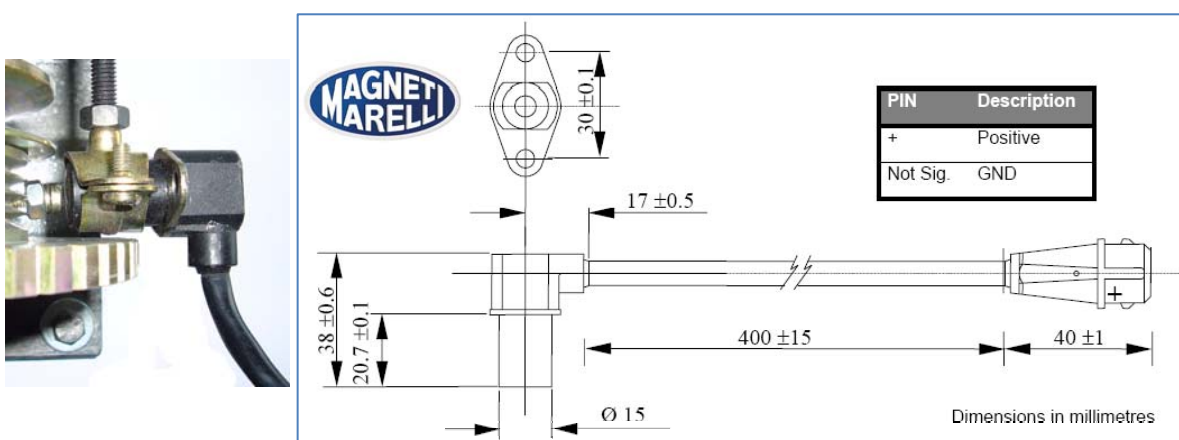


Fig. 5.3 Sensor inductivo [42]

La forma de la señal que emite es la que se mostró en la Fig. 4.13 del apartado 4.2.1.

Las características técnicas de este sensor son:

- Distancia de funcionamiento: 0,5 a 1 mm
- Rango de velocidad: 40 a 12.000 r.p.m
- Output @ 40 r.p.m: >400 mV
- Temp. máxima de funcionamiento: 125 °C



5.2.2. Caudalímetro

El caudalímetro seleccionado es de la marca BOSCH, *Type HM 5*, referencia 0 280 218 060, *Fig. 5.4*.

Para realizar el conexionado de los bornes del caudalímetro se utiliza un cable apantallado de 5 hilos. La relación borne, color, función es:

1. Temperatura: blanco
2. +12 V: marrón
3. Tierra: verde
4. +5 V: azul
5. Salida: naranja

Las características técnicas de este caudalímetro de hilo caliente son:

- Rango de voltaje nominal: 8...17 V
- Voltaje de referencia: 5 V
- Voltaje de salida: 0...5 V
- Aceleración de vibración permitida: $\leq 150 \text{ ms}^{-2}$
- Rango de temperatura de funcionamiento: -40... +120 °C

El caudalímetro proporciona un valor de temperatura, este output no se utilizará, por tanto el cable blanco no se conectará. Introducir el valor de temperatura de aire sería útil para obtener un valor más preciso de la masa de aire que entra, pero la decisión de prescindir de ésta, está únicamente sustentada por la necesidad de no colapsar el envío de información por parte de la tarjeta, ni el tiempo de procesado por parte del PC.

Este caudalímetro tiene la curva característica aire / voltaje mostrada en la *Fig. 5.5*.



Fig. 5.4 Conexión del caudalímetro

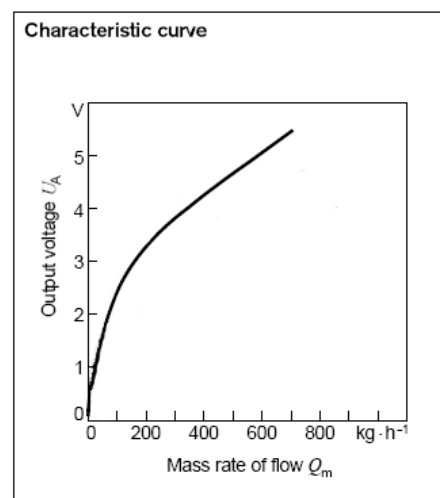


Fig. 5.5 Curva característica del caudalímetro [43]



5.3. Electrónica para datos de entrada

Las señales de entrada para el sistema elegido son dos. La señal del caudalímetro y la señal del sensor inductivo de paso por vuelta. La electrónica para los datos de entrada depende de las entradas de la tarjeta seleccionada. En este caso, la tarjeta tiene entradas analógicas y digitales, por tanto, las señales que utilizan las entradas analógicas, como es el caso del caudalímetro, no hay que hacerlas pasar por una etapa de acondicionamiento. Por el contrario, los sensores que utilizando entradas digitales emiten una señal analógica necesitan de esta etapa, el caso de la señal del inductivo, ya que el PMS se determinará utilizando un contador digital.

5.3.1. Alimentación

Los componentes eléctricos y electrónicos que forman diversas partes de un motor de un vehículo se alimentan del grupo alternador / batería. La batería proporciona un voltaje de 12 V, por tanto, debido a que muchos componentes se alimentan a un voltaje de 5 V, es necesario transformar los 12 V. a 5 V. En este caso se utiliza un módulo de alimentación (*Fig. 5.6*) que tiene el esquema mostrado en la *Fig. 5.7*.

Los componentes de este circuito son:

- 1 condensador 2,2 nF
- 1 diodo IN4004
- 1 transistor Q2N2222
- 1 condensador 22 nF
- 1 integrado 7805CT
- 1 resistencia 150 k Ω
- 1 resistencia 270 k Ω
- 1 resistencia 330 k Ω
- 1 led
- 3 conectores

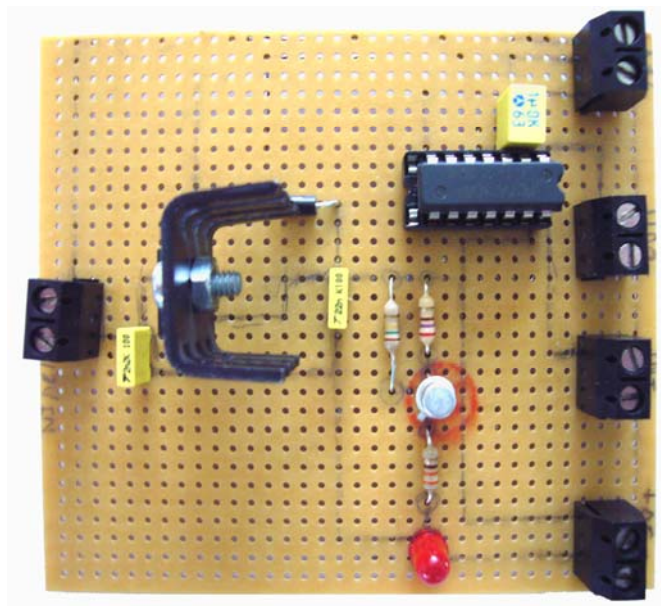


Fig. 5.6 Módulo de alimentación



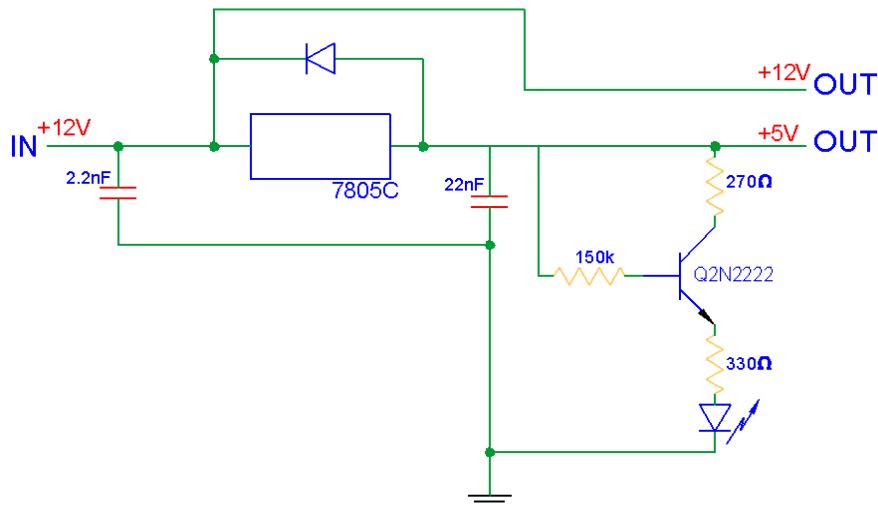


Fig. 5.7 Esquema del módulo de alimentación

5.3.2. Acondicionador señal inductivo

La señal del sensor inductivo (Fig. 4.13) de pulso por vuelta se hace pasar por una primera etapa de acondicionamiento (Fig. 5.8). Esta etapa es necesaria ya que transforma la señal analógica de doble polaridad a un pulso de 5 volts. El funcionamiento de este circuito es:

La señal del inductivo se bifurca, una de estas señales, que se llamará señal 1, se hace pasar por dos inversores para obtener una señal previamente filtrada. La otra señal bifurcada, que se llamará señal 2, también se hace pasar por otros dos inversores pero previamente ha sido retardada unos 80 μs (Fig. 5.9) al poner antes de los inversores un circuito RC.

Las dos señales, 1 y 2, entran en una puerta NAND y el resultado por un inversor, obteniendo la señal 3 y la señal 1 se hacen pasar por una puerta NAND. Por último, se hace pasar la señal por un inversor. En una primera instancia se pensó que era suficiente hacer pasar la señal por dos inversores para lo que se utilizó el integrado de inversores que se puede observar en la Fig. 5.6, pero esta forma simple de acondicionado provocaba un gran rizado.

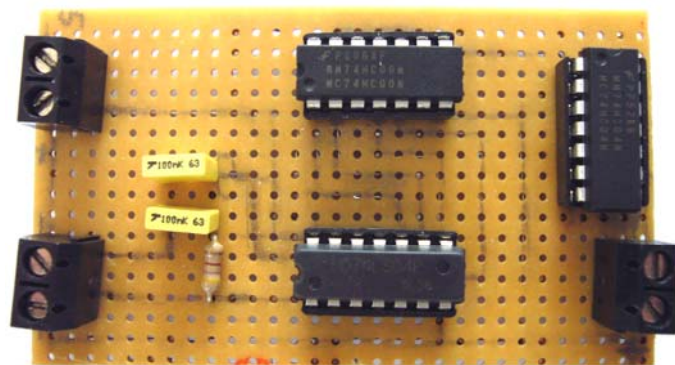


Fig. 5.8 Etapa electrónica de acondicionamiento



Como se puede observar en el esquema de la Fig. 5.10, se combina tecnología TTL (chips 74LS00) con tecnología CMOS (74HC00 y 74HC04) esto es debido a que se necesita de un uno lógico de bajo voltaje para transformar la señal del inductivo, esto lo permite el nivel lógico TTL. Después, la señal de salida es necesario que tenga el nivel lógico proporcionado por la tecnología CMOS. Es necesario remarcar que esta combinación de tecnología no supone un conflicto lógico.

Los componentes de este circuito:

- 1 resistencia 470 Ω
- 2 condensadores 100 nF
- 1 integrado 74LS04
- 1 integrado 74HC04
- 1 integrado 74HC00
- 1 integrado 74LS00
- 3 zócalos para 14 pin
- 3 conectores

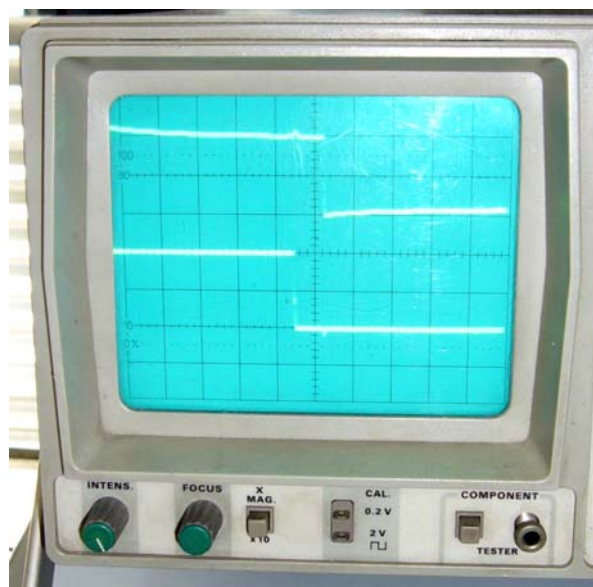


Fig. 5.9 Imagen del retardo observado en el osciloscopio

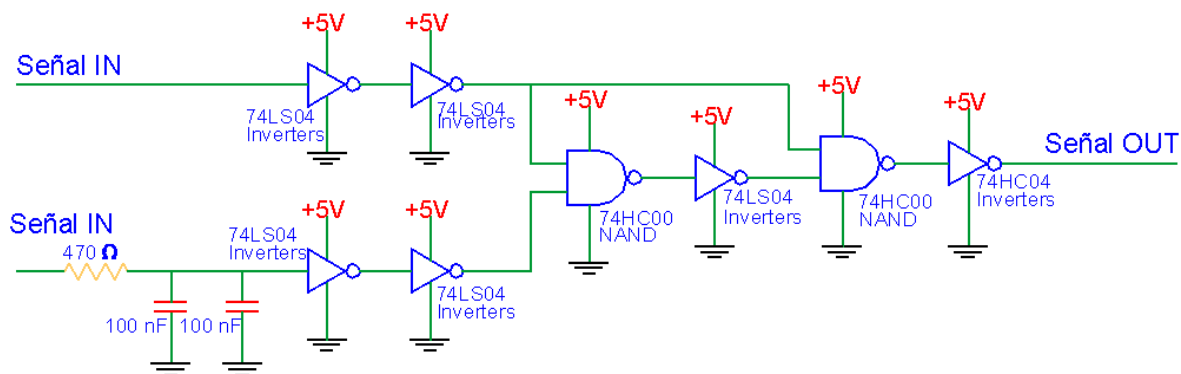


Fig. 5.10 Esquema circuito de acondicionamiento



5.3.3. Conformador pulso TTL

El pulso que se obtiene del circuito de acondicionamiento, siendo un pulso cuadrado que varían entre los 0 y los 5 volts tiene un ligero rizado en los flancos de subida y bajada, por eso es necesario el conformador de pulsos TTL (*Fig. 5.11*) ya que la entrada digital de la tarjeta necesita del pulso TTL.

El componente principal de este circuito es el *timer* NE555D en su estado monoestable, que proporciona un pulso TTL cada vez que es excitado.

Los componentes de este circuito son:

- 1 condensador 100 nF
- 1 condensador 1 μ F
- 1 condensador 1 nF
- 1 diodo IN4004
- 1 resistencia 100 Ω
- 1 resistencia 1k
- 1 resistencia 56k
- 1 resistencia variable 2,2k
- 1 diodo Zener 9,1V
- Timer NE555D
- 4 conectores

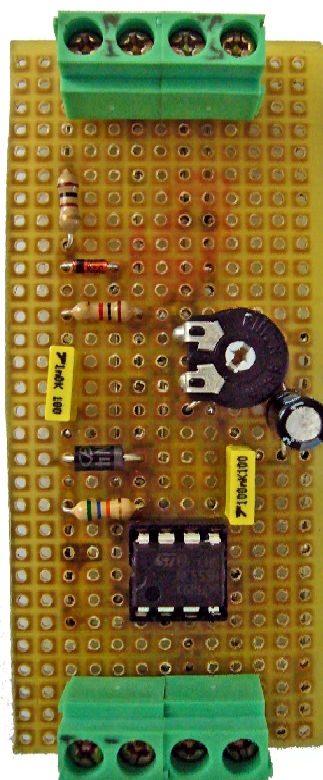


Fig. 5.11 Conformador TTL

El esquema electrónico queda reflejado en la *Fig. 5.12* donde en la salida, además del pulso TTL, también se ha dispuesto de una salida de 5 V. por si es necesario, para circuitos futuros, sin necesidad de realizar puentes mediante cables.



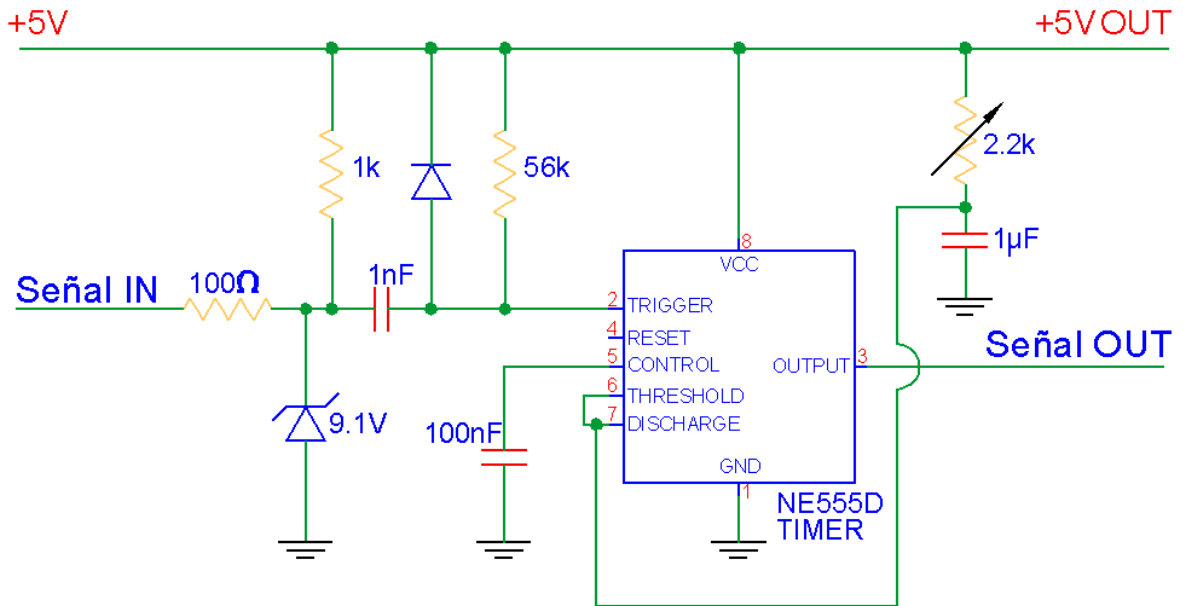


Fig. 5.12 Esquema circuito conformador TTL

5.4. Tarjeta NI USB-6210

La tarjeta USB-6210 (Fig. 5.13) de National Instruments es un módulo de adquisición de datos (DAQ) multifunción de la Serie M que se comunica con el PC mediante USB. La comunicación con los sensores y con los captadores se realiza mediante terminales de tornillo.



Fig. 5.13 Tarjeta NI USB-6210

Las características técnicas de esta tarjeta son:

- 16 entradas analógicas
- 16 bits resolución de las entradas analógicas
- 250 kS/s (miles de muestras por segundo) velocidad máxima de muestreo
- 4 entradas digitales
- 4 salidas digitales
- 2 contadores



5.5. Programación en LabVIEW™

En el apartado 5.1.2 se esgrimieron los motivos por los que en este proyecto se realizará la programación del algoritmo para la gestión de un motor MACI de ciclo Otto mediante LabVIEW™. La ventaja de este tipo de lenguaje de programación es la facilidad de comprensión debido a que al ser una programación visual su funcionamiento lógico resulta muy intuitivo. Aunque en esta memoria no se realizará una introducción a este lenguaje no se creó necesario tener una gran noción del lenguaje G para la comprensión del algoritmo realizado. Si se desea tener un mayor conocimiento de este programa, se emplaza al lector a consultar un manual de usuario de LabVIEW™ como por ejemplo el consultado por el autor [44].

5.5.1. Motores de ciclo Otto de 4 tiempos y 2 tiempos

El algoritmo de gestión, inyección y encendido, permitirá controlar los parámetros de tiempo de inyección y su tiempo de retardo así como el avance del encendido. El algoritmo se desarrollará utilizando los dos sensores seleccionados sin tener en cuenta, en una primera instancia, la imposibilidad de realizar una gestión a tiempo real cuando se utiliza el procesador de un PC y una tarjeta de adquisición de datos mediante USB.

Los programas realizados en LabVIEW™ reciben el nombre de VI (instrumentos virtuales). Los VI presentan dos componentes: El *Block Diagram* (diagrama de bloques) contiene el código gráfico que define la funcionalidad del VI. Y el *Front Panel* (panel frontal) que es la interfaz con el usuario. Por tanto, toda la descripción del algoritmo que se realizará a continuación se desarrollará en el *Block Diagram*.

5.5.2. Descripción del algoritmo para motores de 2 tiempos

a) **Captación pulso por vuelta:** La señal obtenida del sensor inductivo entra, previamente convertida en señal TTL, en la tarjeta captadora por un contador digital. La tarjeta envía el número de vuelta, no un pulso. Estos datos se introducen en el algoritmo mediante la función de adquisición de datos que se puede observar en la *Fig. 5.14*.

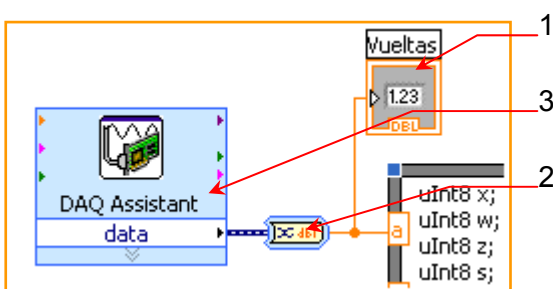


Fig. 5.14 Captación pulso / vuelta

1. Indicador numérico del número de vueltas.
2. DAQ: Entrada de datos por contador digital
3. Convertidor de dato dinámico a numérico.



7. Variable global que envía el factor de carga expresado mediante el caudal al VI principal.

Cálculo del valor de caudal de aire, expresado en el nodo de fórmula con la letra “b”:

Para calcular el valor de caudal de aire, se parte de la gráfica proporcionada por el fabricante Bosch, Fig. 5.5. A partir de esta curva se busca la función que más se le ajusta. Como se puede observar en la Fig. 5.16, la función que se le ajusta es la potencial (Ec. 5.1):

$$y = 3,8985 \cdot V^{3,1792} \quad (\text{Ec. 5.1})$$

Donde V corresponde al valor de voltaje obtenido del caudalímetro e “ y ” es su correspondiente relación de caudal de aire.

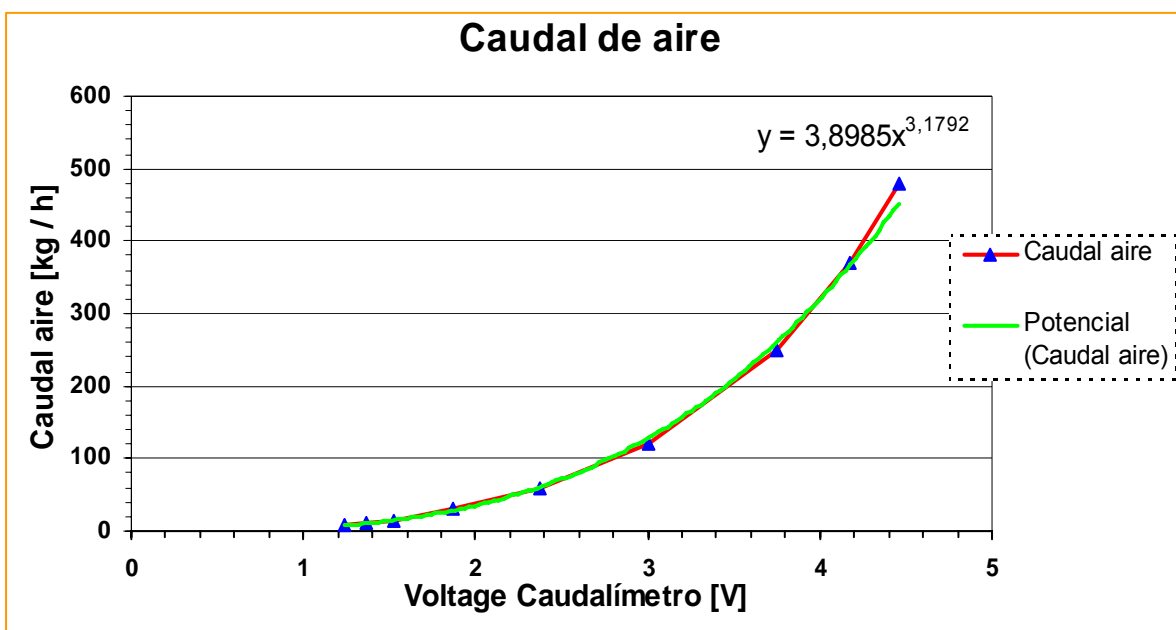


Fig. 5.16 Relación voltaje / caudal aire

Cálculo del tiempo de inyección, expresado en el nodo de fórmula con la letra “a”:

El tiempo de inyección depende las revoluciones y de la carga del motor. Para el cálculo del tiempo de inyección se ha de tener en cuenta las características del inyector seleccionado y sus valores de funcionamiento. Para este apartado es necesario conocer el caudal másico del inyector para una presión dada en condición de normalmente abierto:

Caudal másico: 261,5 gr / min para una presión de inyección de 3 bar. [45]



Con este valor se puede realizar la ecuación característica del inyector ya que como queda reflejado en los catálogos de pruebas publicados por Bosch, (se puede consultar el ejemplo de Ernesto Gutiérrez en su Tesis Doctoral [46]), estos inyectores presentan una relación lineal entre el caudal inyectado y el pulso de inyección.

Para comparar estos valores empíricos con unos valores teóricos para obtener el tiempo de inyección se utilizará la ecuación Ec. 5.2. y Ec. 5.3 [47]:

$$m_f = \int_{t_1}^{t_2} C_{D1} \cdot A_1 \cdot \rho_g \cdot C_1 dt \quad (\text{Ec. 5.2})$$

$$C_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot p_i}{\rho_g}} \quad (\text{Ec. 5.3})$$

m_f : masa gasolina inyectada

C_{D1} : Coeficiente de descarga

A_1 : Área de los orificios del inyector

ρ_g : Densidad de la gasolina

C_1 : Velocidad de descarga

p_i : Presión de inyección

De los anteriores factores, el área de los orificios de se calcula de forma directa mediante un juego de calibres y se ha de reconocer que este valor puede tener un cierto grado de error. El coeficiente de descarga es un valor empírico y se ha de buscar para cada inyector, pero para simplificar el método se tomará el valor medio (0,6) utilizado en el artículo *Spray Characteristics of DME in Conditions of Common Rail Injection System (II)* [48].

C_{D1} : 0,6

d_i (Diámetro orificio inyector): 0,3 mm

N° : (Número de orificios): 4

A_1 : $2,83 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$.

ρ_g : 0,7611 kg / l (761,1 kg / m³) para gasolina EuroSuper sin plomo95

p_i : $3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$



De las ecuaciones *Ec. 5.2* y *Ec. 5.3* y los valores anteriores obtenemos:

$$m_f = \int_0^{60} 0,6 \cdot 2,83 \cdot 10^{-7} \cdot 761,1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 300000}{761,1}} \cdot dt \quad (\text{Ec. 5.4})$$

$$m_f = 0,21771 \text{kg} / \text{min} = 217,71 \text{gr} / \text{min} \quad (\text{Ec. 5.5})$$

Por tanto, se ha obtenido un valor próximo al aportado por el fabricante.

Debido a que la utilización de este inyector en concreto únicamente responde a disponibilidad del mismo en el *Laboratori de Motors Tèrmics* de la ETSEIB, se cree que es más adecuado, teniendo en cuenta el resultado aceptable obtenido, utilizar la *Ec. 5.6* para obtener el tiempo de inyección.

De la *Ec. 5.2*:

$$m_f = \int_0^{t_i} 0,6 \cdot 2,83 \cdot 10^{-7} \cdot 761,1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 300000}{761,1}} dt \quad \text{siendo } t_i \text{ el tiempo de inyección}$$

$$m_f = 3,628 \cdot 10^{-3} \cdot t_i [\text{kg}] \quad \text{para } t_i \text{ en segundos}$$

$$m_f = 3,628 \cdot 10^{-3} \cdot t_i [\text{gr}] \quad \text{para } t_i \text{ en milisegundos} \quad (\text{Ec. 5.6})$$

Como para $t_i = 1 \text{ ms}$ no se produce inyección [49], se decide utilizar la *Ec. 5.7*:

$$m_f = 3,628 \cdot 10^{-3} \cdot t_i - 3,628 \cdot 10^{-3} \quad (\text{Ec. 5.7})$$

Se utiliza la *Ec. 5.1* del caudal de aire para calcular el caudal másico de gasolina, *Ec. 5.8*:

$$\dot{m}_f = \frac{3,8985 \cdot V^{3,1792}}{14,7 \cdot \lambda} \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] \rightarrow \dot{m}_f = \frac{3,8985 \cdot V^{3,1792}}{14,7 \cdot \lambda \cdot 3600} \left[\frac{\text{gr}}{\text{ms}} \right] \quad (\text{Ec. 5.8})$$

La relación entre la masa de gasolina inyectada y el caudal másico queda reflejada en la *Ec. 5.9*:

$$m_f = \dot{m}_f \cdot \frac{1000}{f} \quad \text{donde } f \text{ revoluciones por segundo.} \quad (\text{Ec. 5.9})$$



De las ecuaciones *Ec. 5.7* y *Ec. 5.9*, se obtiene el tiempo de inyección (*Ec. 5.10*):

$$\dot{m}_f \cdot \frac{1000}{f} = 3,628 \cdot 10^{-3} \cdot t_i - 3,628 \cdot 10^{-3}$$

$$t_i = \frac{\dot{m}_f \cdot \frac{1000}{f} + 3,628 \cdot 10^{-3}}{3,628 \cdot 10^{-3}} [ms] \quad (Ec. 5.10)$$

De la *Ec. 5.8* se desprende que el tiempo de inyección depende del parámetro “lambda” que puede variar el usuario a voluntad.

c) **Cálculo de las revoluciones por minuto (r.p.m.):**

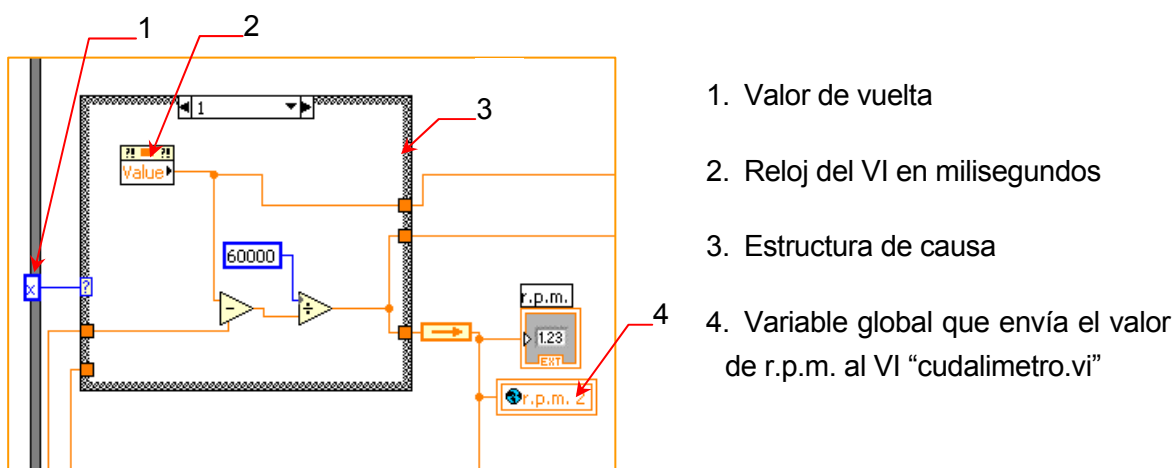


Fig. 5.17 Cálculo de las r.p.m.

El valor de vuelta puede tener cuatro valores diferentes (0,1, 2 y 3), esto es debido a que la tarjeta adquisidora envía el número vuelta “actual” en “paquetes”. Por tanto, la tarjeta puede enviar el número de vuelta inmediatamente posterior al enviado con anterioridad o puede enviar el número de vuelta actual habiéndose saltado un máximo de dos vueltas.

El funcionamiento de la “estructura de causa” es el siguiente: Se memoriza el tiempo absoluto cuando se detecta el pulso de una vuelta. Cuando se detecta el segundo, se resta el tiempo absoluto memorizado al tiempo absoluto de esta última vuelta. Si entre las dos detecciones sólo hay una variación de una vuelta, el “valor de vuelta” toma el valor de “1” y se divide “60.000” por esta resta de tiempo. Si por el contrario, hay una variación de dos vueltas (por tanto se ha perdido una vuelta), el “valor de vuelta” toma el valor de “2” y se divide “180.000” por esta resta de tiempo. Análogamente a este procedimiento se realizaría para un “valor de vuelta” de “3”. El valor obtenido es el valor de r.p.m. que se utilizará para determinar el tiempo de inyección así como el avance de encendido.



d) **Cálculo del avance de encendido:** El avance de encendido se calcula mediante una cartografía. Los valores de la cartografía (Fig. 5.18) son únicamente testimoniales aunque sean reales, ya que el motor objeto de este proyecto es de dos tiempos y 50 cm³. y esta cartografía se han obtenido de un Mitsubishi 3000 GT de la página personal de Jeff Lucius.

| "Maximum" Ignition Advance Angle Map in Degrees BTDC (1995 3000GT Spyder VR4) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| RPM | 500 | 750 | 1000 | 1250 | 1500 | 1750 | 2000 | 2500 | 3000 | 3500 | 4000 | 4500 | 5000 | 5500 | 6000 | 6500 | 7000 | 7500 | 8000 | 8500 |
| LOW | 15 | 15 | 15 | 20 | 26 | 29 | 31 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 44 |
| | 15 | 15 | 15 | 20 | 26 | 29 | 31 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 44 |
| | 15 | 15 | 15 | 20 | 26 | 29 | 31 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 44 |
| | 15 | 15 | 15 | 20 | 26 | 29 | 31 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 38 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 42 |
| | 16 | 16 | 18 | 24 | 26 | 27 | 29 | 30 | 31 | 32 | 32 | 33 | 34 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 38 | |
| | 14 | 14 | 18 | 20 | 23 | 24 | 26 | 27 | 28 | 29 | 29 | 29 | 30 | 30 | 30 | 32 | 34 | 35 | 36 | 36 |
| | 12 | 12 | 18 | 18 | 23 | 24 | 23 | 24 | 25 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 30 | 32 | 35 | 35 | 35 |
| | 9 | 9 | 16 | 18 | 23 | 24 | 21 | 22 | 24 | 25 | 26 | 27 | 26 | 26 | 26 | 28 | 30 | 35 | 35 | 35 |
| | 4 | 4 | 14 | 17 | 23 | 24 | 25 | 25 | 27 | 30 | 31 | 27 | 24 | 24 | 26 | 28 | 30 | 35 | 35 | 35 |
| | 4 | 4 | 14 | 17 | 19 | 18 | 21 | 22 | 24 | 30 | 31 | 27 | 24 | 22 | 26 | 28 | 30 | 35 | 35 | 35 |
| L | 2 | 2 | 12 | 15 | 17 | 18 | 18 | 19 | 19 | 21 | 28 | 25 | 21 | 21 | 26 | 28 | 30 | 35 | 35 | 35 |
| | 1 | 1 | 10 | 12 | 12 | 12 | 12 | 14 | 14 | 13 | 18 | 20 | 17 | 20 | 26 | 24 | 30 | 35 | 35 | 35 |
| | 0 | 0 | 8 | 10 | 10 | 11 | 11 | 12 | 12 | 10 | 16 | 17 | 14 | 16 | 24 | 24 | 30 | 33 | 33 | 33 |
| | 0 | 0 | 6 | 8 | 8 | 9 | 9 | 10 | 10 | 9 | 13 | 14 | 11 | 16 | 24 | 22 | 28 | 31 | 31 | 31 |
| | 0 | 0 | 6 | 8 | 8 | 9 | 9 | 10 | 10 | 9 | 13 | 14 | 11 | 14 | 22 | 22 | 28 | 31 | 31 | 31 |
| | 0 | 0 | 6 | 8 | 8 | 9 | 9 | 10 | 10 | 9 | 13 | 14 | 11 | 14 | 22 | 22 | 28 | 31 | 31 | 31 |
| | 0 | 0 | 6 | 8 | 8 | 9 | 9 | 10 | 10 | 9 | 13 | 14 | 11 | 14 | 22 | 22 | 28 | 31 | 31 | 31 |
| | 0 | 0 | 6 | 8 | 8 | 9 | 9 | 10 | 10 | 9 | 13 | 14 | 11 | 14 | 22 | 22 | 28 | 31 | 31 | 31 |
| | 0 | 0 | 6 | 8 | 8 | 9 | 9 | 10 | 10 | 9 | 13 | 14 | 11 | 14 | 22 | 22 | 28 | 31 | 31 | 31 |
| | 0 | 0 | 6 | 8 | 8 | 9 | 9 | 10 | 10 | 9 | 13 | 14 | 11 | 14 | 22 | 22 | 28 | 31 | 31 | 31 |

Fig. 5.18 Cartografía Mitsubishi 3000GT [50]

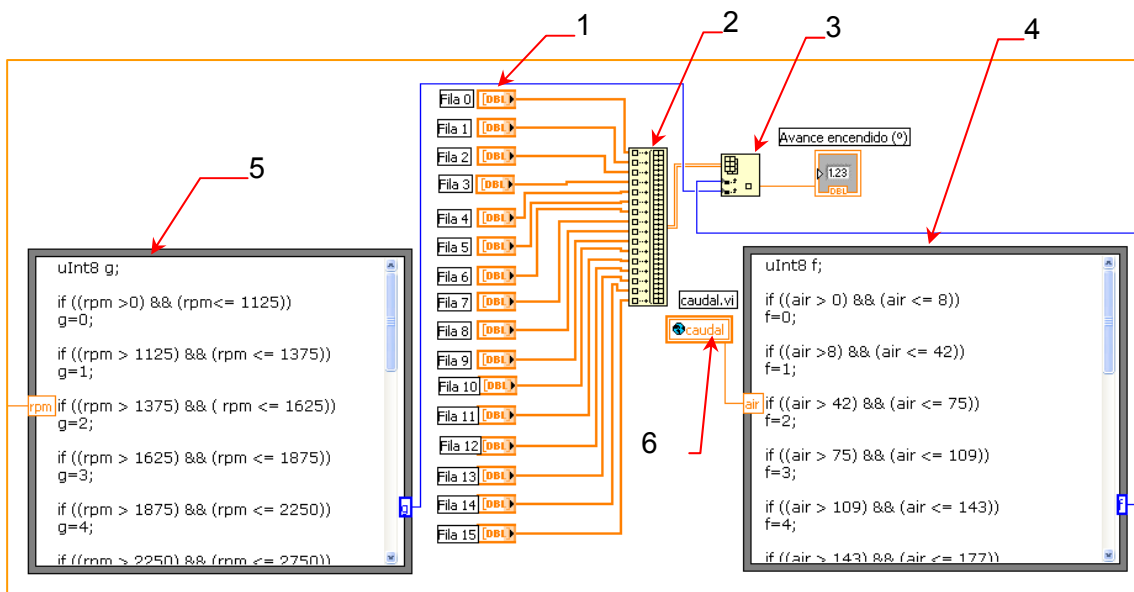


Fig. 5.19 Función cartografía implementada en LabVIEW™

1. Valores de la matriz de la cartografía.
2. Creación de la matriz.
3. Selección de un valor de la matriz.



4. Nodo de fórmula para determinar la fila del factor de carga.
5. Nodo de fórmula para determinar la columna de r.p.m.
6. Variable global que importa del VI “caudalímetro.vi” el valor de la carga.

El valor actual de las revoluciones se introduce en el nodo de fórmula de las r.p.m, el nodo de fórmula determina qué fila de la matriz corresponde a ese régimen. Por otra parte, el valor del caudal de aire proveniente del VI “caudalímetro.vi” que corresponde al valor de carga, se introduce en el nodo de fórmula de carga, el nodo de fórmula determina qué columna de la matriz corresponde a ese grado de carga. Estos dos valores se cruzan y se selecciona un valor de la cartografía correspondiente para las condiciones de carga y régimen actuales.

e) Algoritmo pulso de inyección y encendido:

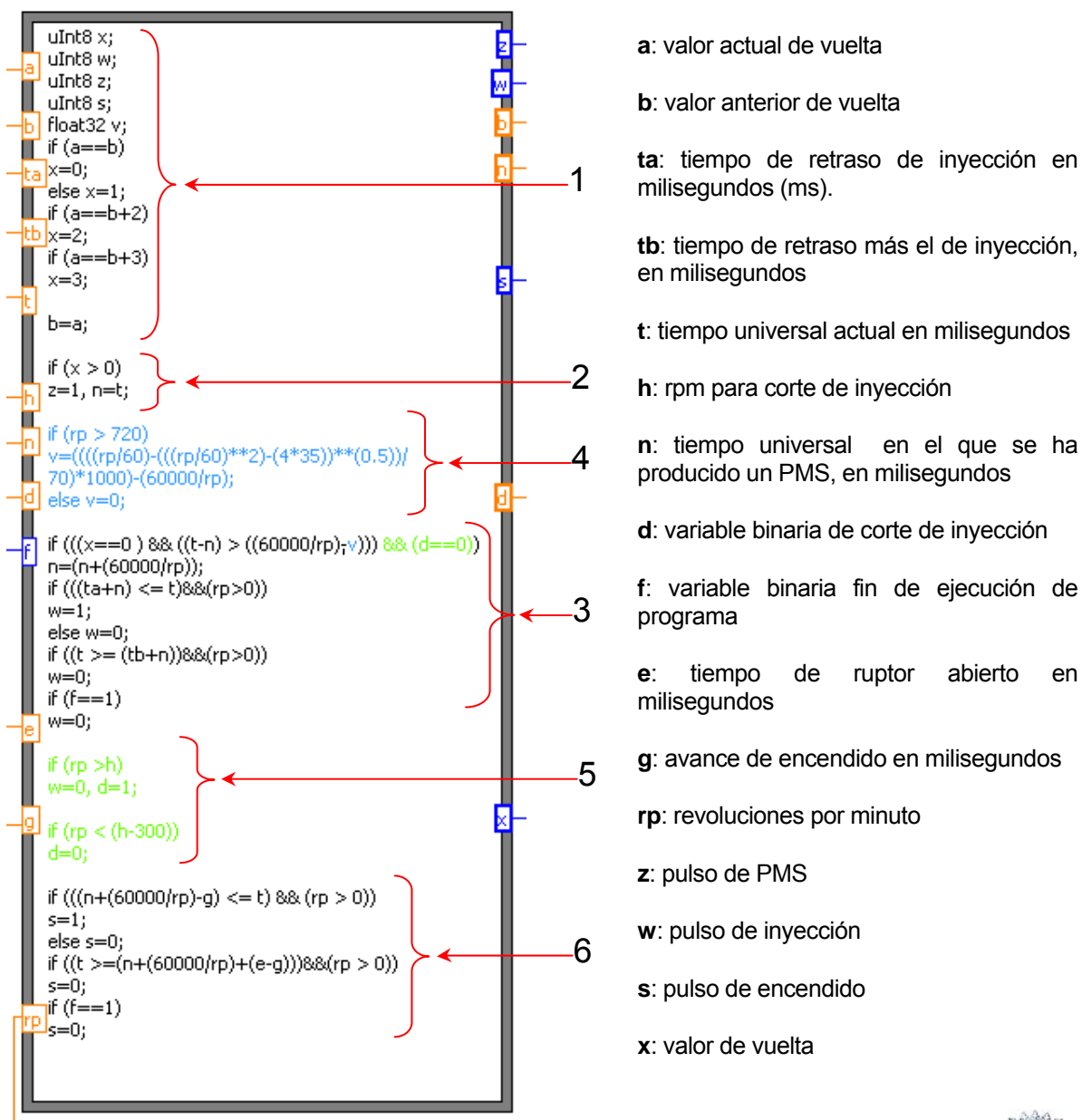


Fig. 5.20 Algoritmo inyección y encendido



1. Determinación del número de vueltas enviadas a la vez por la tarjeta:

El instante de captación de una vuelta se asocia al momento de PMS (punto muerto superior). La tarjeta cuenta el número de vueltas, esta información la envía al PC. El algoritmo asocia esta "vuelta actual" el valor "a". Al "número de vuelta" actual ("a") se le resta el "número de vuelta" anterior ("b"). Esta diferencia toma el nombre de "valor de vuelta" ("x", explicado en el apartado del cálculo de r.p.m.).

2. Tiempo de pulso:

Si "x" es diferente de cero, se considera que ha habido pulso de vuelta y se memoriza en el parámetro "n", el tiempo absoluto en el que ha ocurrido.

3. Inyección:

La dificultad en la generación del pulso de inyección es el hecho comentado en el punto 1. Como la "vuelta actual" no siempre llega precediendo la anterior, se ha de suponer que el siguiente PMS se realizará con el mismo periodo con el que se realizó el anterior. Par realizar este supuesto: si transcurrido el periodo anterior (con la salvedad que se expondrá en el punto 4.), no se ha producido un nuevo PMS, el algoritmo lo genera. En la Fig. 5.21 se muestra un esquema donde se muestra el procedimiento que lleva a simular en pulso de PMS, "a" representa la "vuelta actual" enviada por la tarjeta de adquisición de datos.

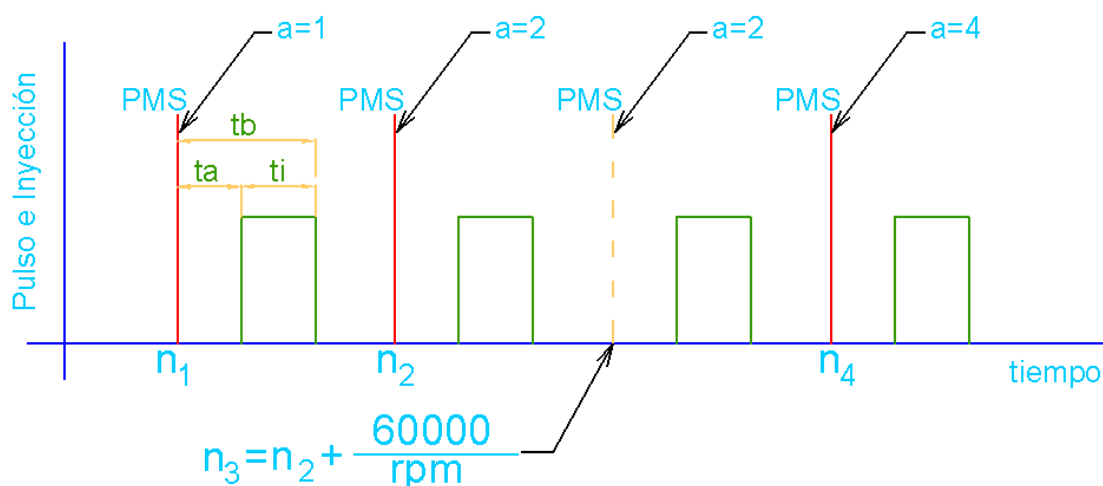


Fig. 5.21 Esquema de simulación pulso de PMS

En esta parte del algoritmo también se tiene en cuenta que la salida digital de la tarjeta no siga conmutada cuando el VI se ha parado. Esto se consigue vinculando la variable "f" al botón de stop.



4. Simulación del PMS en los transitorios:

La simulación de PMS en el caso de una pérdida circunstancial de datos de vuelta parte de la suposición de que el régimen del motor permanece constante. Por tanto en los transitorios de deceleración el algoritmo puede interpretar una pérdida de datos cuando en realidad es que el periodo aumenta debido a la deceleración. Para evitar este error se utiliza una variable, que en el algoritmo toma el nombre de "v". Esta variable es el tiempo que el algoritmo esperará a la variación del periodo debido a la deceleración. Por tanto se ha de establecer cuanto tiempo ha de esperar el algoritmo para que discierna entre una pérdida de datos y una deceleración.

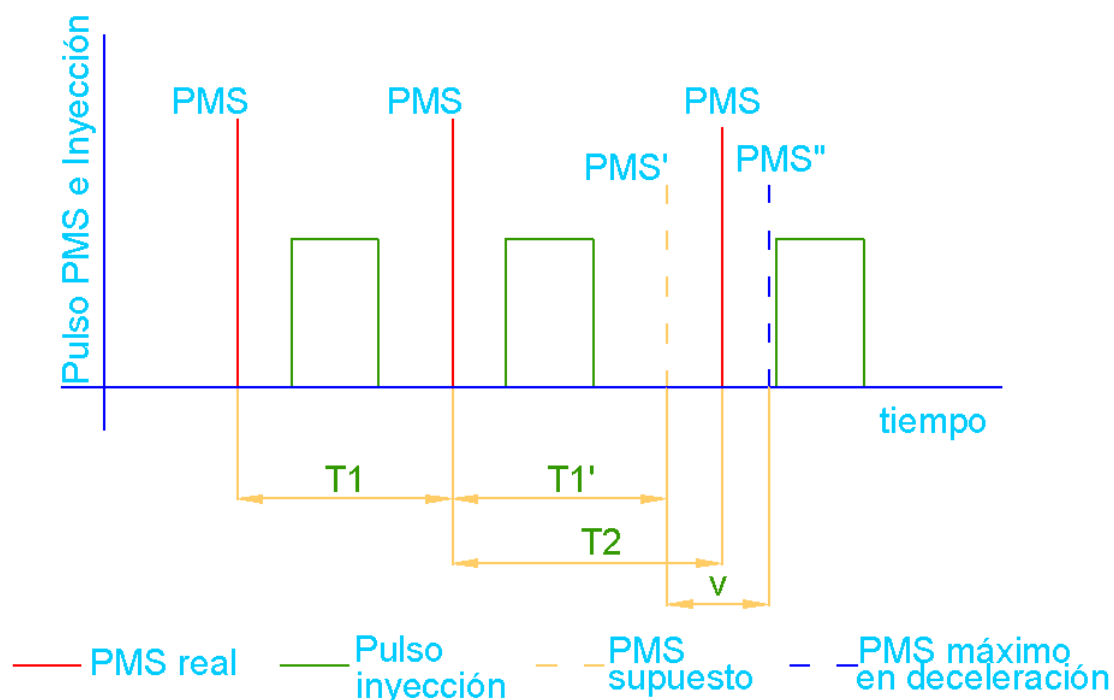


Fig. 5.22 Generación de pulsos de inyección en los transitorios

En la Fig. 5.22 se puede observar un esquema de la problemática. T1 es el periodo de los dos pulsos anteriores. T1' es el periodo supuesto si hay pérdida de datos de vuelta que es igual a T1. T2 es el nuevo periodo real, mayor que T1 o T1', debido a que el motor está decelerando. "v" es el tiempo máximo que esperará el algoritmo a la posibilidad de que el motor esté decelerando.

Para el cálculo de "v" se establece una deceleración máxima, cuanto mayor sea esta deceleración más aumentará el periodo. Por tanto se decide utilizar una deceleración que sea lo bastante grande como para poder prever grandes deceleraciones y lo suficientemente pequeña para no exceder el tiempo de espera:



$$\ddot{\theta} = 35 \frac{Hz}{s} \text{ donde } \ddot{\theta} \text{ es la deceleración que corresponde a } 2100 \frac{rpm}{s}$$

Para el cálculo del “tiempo máximo de espera” “v”, se utilizará la Ec. 5.11:

$$(\theta - \theta_0) = \dot{\theta}_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot \ddot{\theta} \cdot t^2 \quad (\text{Ec. 5.11})$$

Donde:

θ : Número de vuelta actual

θ_0 : Numero de vuelta anterior. Si no ha habido pérdida de datos: $(\theta - \theta_0) = 1$

$\dot{\theta}_0$: Velocidad del motor de la vuelta anterior en Hz

$\ddot{\theta}$: Deceleración máxima de $35 \frac{Hz}{s}$ impuesto

Por tanto “v” será función de, Ec. 5.12:

$$v = 1000 \cdot \frac{\frac{rpm}{60} - \sqrt{\left(\frac{rpm}{60}\right)^2 - 4 \cdot 35 \cdot 1}}{70} - \frac{60000}{rpm} \quad (\text{Ec. 5.12})$$

Esta variable “v” se introduce en la línea de comando de la parte encargada de realizar la simulación del pulso de PMS en el caso de que haya pérdida de datos.

Consecuencias de realizar o no este tipo de simulación de PMS en los transitorios:

- Sin decelerar con pérdida de datos y se actúa:

“v” es lo suficientemente pequeña como para que no influya en la inyección ya que el tiempo de retraso de la inyección superará en la mayoría de los casos ese tiempo. Por ejemplo, para un caso desfavorable, una velocidad de 2000 rpm, aplicando la Ec. 5.12, “v” tomará el valor de:

$$v = 1000 \cdot \frac{\frac{2000}{60} - \sqrt{\left(\frac{2000}{60}\right)^2 - 4 \cdot 35 \cdot 1}}{70} - \frac{60000}{2000} = 1,01ms \quad (\text{Ec. 5.13})$$



- Decelerando sin pérdida de datos:

Al simular el PMS sin tener en cuenta los transitorios, se producirían 2 inyecciones por ciclo. Una para el pulso simulado y justamente después para el pulso real, aunque al ser el tiempo entre estos dos pulsos tan pequeño lo que se conseguiría es un pulso de inyección superior al necesario, con el correspondiente gasto innecesario de combustible.

- Es evidente que si hay deceleración y pérdida de datos a la vez, no se puede realizar ningún tipo de gestión.

5. Corte de inyección:

Se introduce el valor de revoluciones (variable "h") para el que se desea realizar el corte de inyección. Superado este valor de r.p.m, la inyección cesa. La inyección se volverá a realizar cuando el motor baje de vueltas con un margen de histéresis, que en el caso de este algoritmo se ha considerado 300 r.p.m.

6. Encendido:

Análogamente al procedimiento utilizado para realizar la inyección, es el utilizado para realizar el encendido. A diferencia de la inyección que se aplica un tiempo de retraso, en el encendido se realiza un avance. Debido a que por datos de entrada para el algoritmo son estrictamente el PMS por vuelta y no el número de dientes de la rueda fónica, este avance se realiza suponiendo que el PMS futuro tendrá el mismo periodo que el anterior y por tanto se aplica un retraso, de un periodo menos el avance, al pulso último confiando que no hayan transitorios. En el caso de existencia de transitorio el encendido no será el adecuado porque o se hará "mucho" antes del PMS" en el caso de transitorios de deceleración o se hará justo antes del PMS en los transitorios de aceleración. Se intentará mejorar la explicación anterior mediante la *Fig. 5.23*.

Hay que destacar que la entrada de datos del avance del encendido se introduce como ángulo de cigüeñal. Para transformar este valor de ángulo en tiempo, ya que no se dispone del valor de los dientes de la rueda fónica, hay que resolver una ecuación. En esta ecuación se ha de tener en cuenta la dimensión de la biela y del brazo de cigüeñal, donde la incógnita formaría parte de una estructura senoidal. Por este motivo, como simplificación, se ha decidido considerar la velocidad del pistón como una constante y por tanto la relación tiempo/ángulo también será constante.



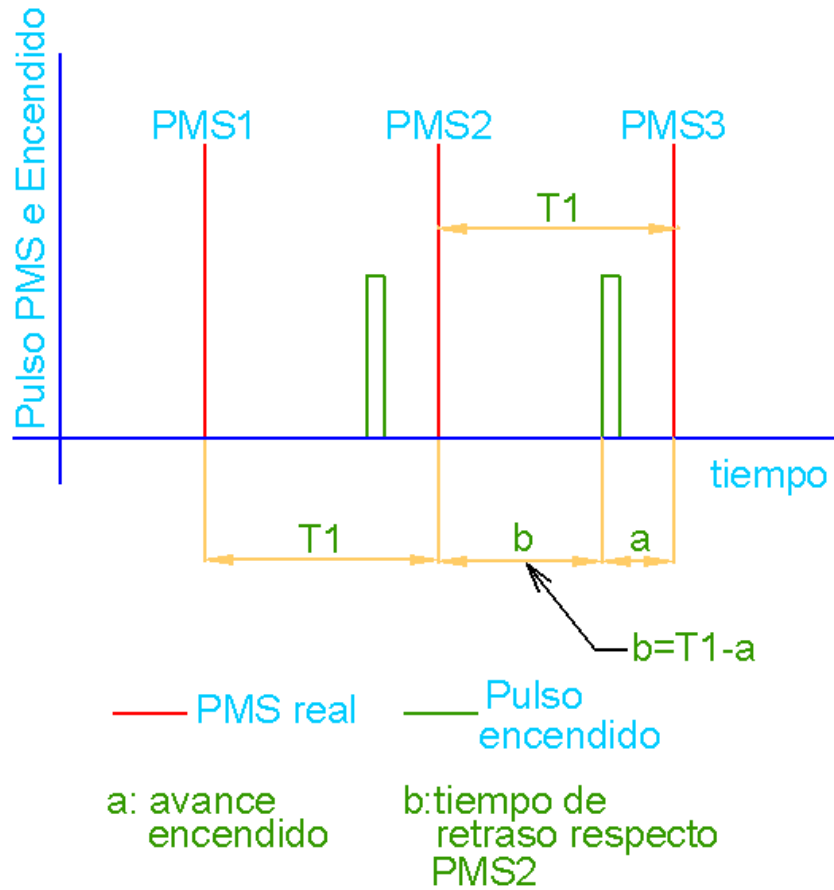
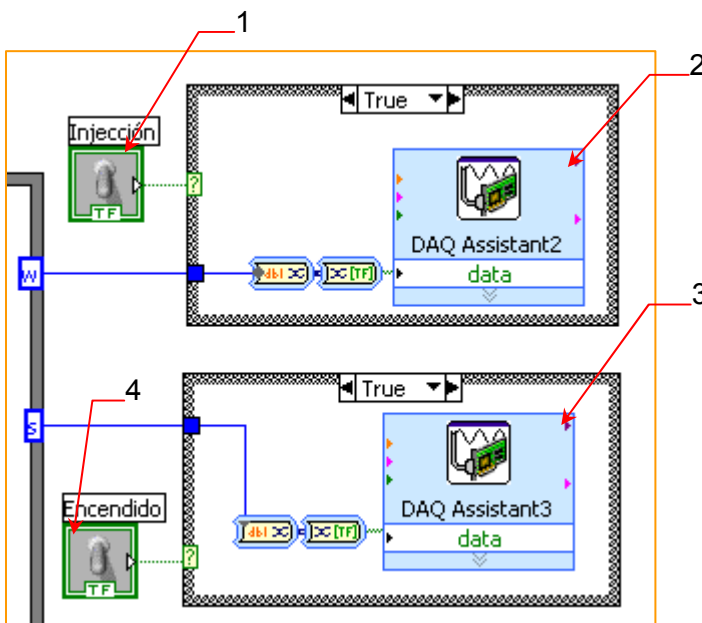


Fig. 5.23 Pulso de encendido

f) Generación pulso de inyección y de encendido:



1. Habilitador de pulsos de inyección.
2. Salida digital para los pulsos de inyección.
3. Salida digital para los pulsos de encendido.
4. Habilitador de pulsos de encendido.

Fig. 5.24 Generación de pulsos



Debido a que el proceso se hace más lento a medida que se incluyen entradas o salidas, se ha visto conveniente habilitar las salidas de forma independiente para que puedan ser visualizadas por el osciloscopio cuando se “pinchen” las salidas. Por este motivo en el panel frontal (*Front Panel*) se han dispuesto dos interruptores para poder habilitar y deshabilitar las salidas, por separado.

g) **Panel frontal:** O *Front Panel*, es la interface entre el VI y el usuario. Mediante este panel se puede observar los diferentes parámetros con los que está operando el programa, también permite introducir modificaciones en los valores de las variables. En la Fig. 5.25 se observa el panel frontal del VI principal, “2T.vi” así como el panel del VI auxiliar encargado de calcular y enviar el tiempo de inyección, “caudalimetro.vi”.

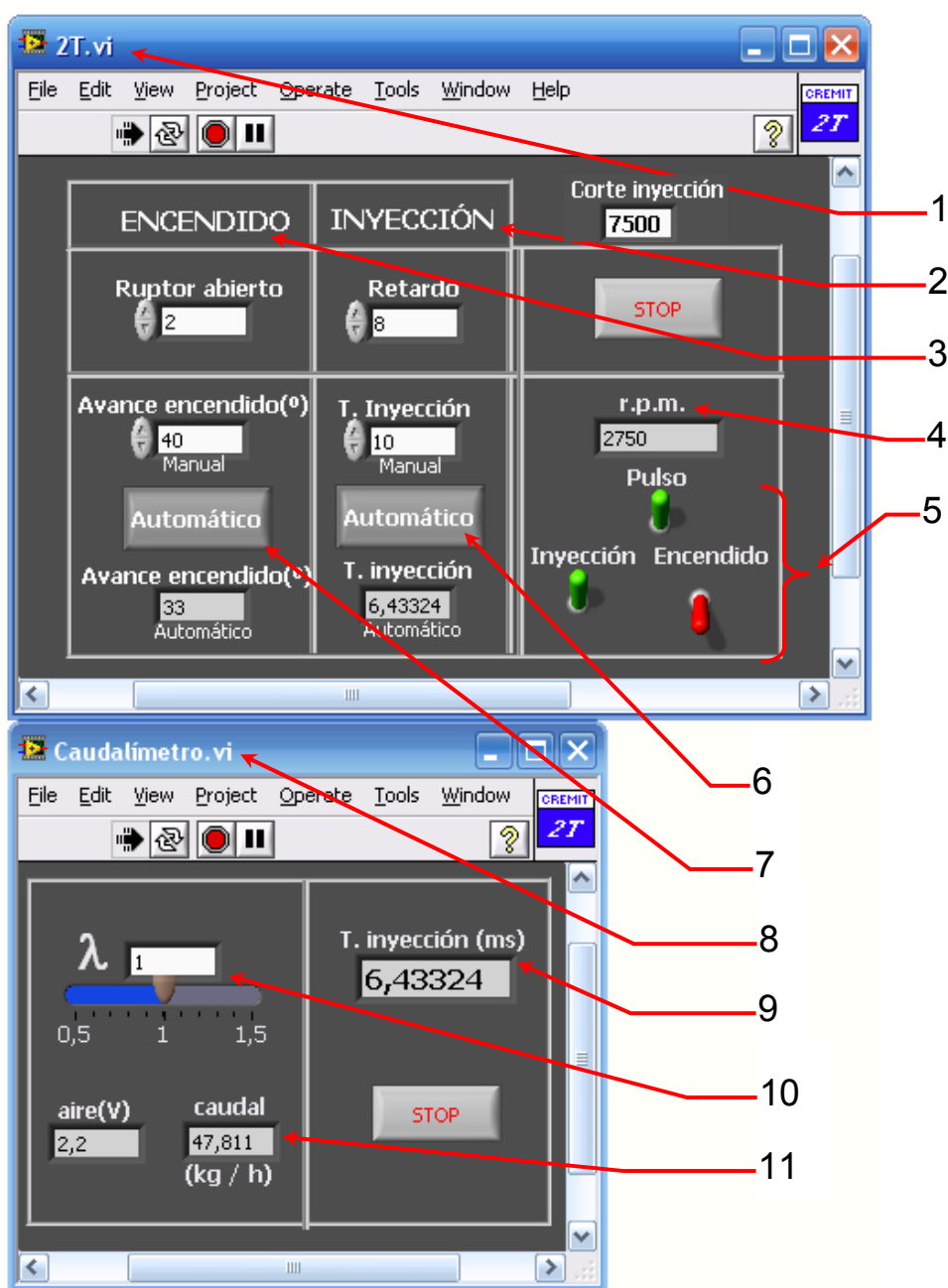


Fig. 5.25 Panel frontal de los dos VI



1. VI principal: Es el programa que aglutina todos los procesos, adquisición de datos de vuelta, procesamiento de los mismos así como envío de los diferentes pulsos a la tarjeta NI USB-6210.
2. Valores de inyección: Los valores de inyección son los correspondientes al tiempo de inyección así como el tiempo de retraso respecto el PMS de admisión. La forma de controlar el retraso es únicamente manual, en los motores de calle, este valor es una constante.
3. Valores de encendido: Los valores de encendido son los correspondientes al ruptor abierto y al avance del encendido en grados de cigüeñal. El tiempo de ruptor abierto corresponde al tiempo que permanece abierto el circuito principal que cuando se produce la chispa.
4. r.p.m: Visualización de las revoluciones por minuto.
5. Habilitadores de los pulsos: La habilitación de los pulsos es útil para ahorrar recursos de procesado. En el caso que se muestra en la *Fig. 5.25* se podría visualizar por el osciloscopio el pulso de vuelta y el desfase del pulso de inyección respecto a esta.
6. Tiempo de inyección: El tiempo de inyección puede introducir manualmente, pulsando el botón mostrado, o manteniendo el botón en la posición actual (automático) dejar que sea el VI auxiliar “caudalímetro.vi” quien decida este valor teniendo en cuenta las variaciones de voltaje ofrecidas por el caudalímetro así como las revoluciones actuales.
7. Avance de encendido: Como en el caso anterior, este parámetro se puede introducir de forma manual así como de forma cartográfica, que es la opción seleccionada en la *Fig. 5.25*.
8. VI auxiliar: “caudalímetro.vi” es el VI encargado de calcular el tiempo de inyección. La separación de los dos VI es debido a que este VI capta valores de forma discreta.
9. Tiempo de inyección: Visualización del tiempo de inyección calculado por el VI. Se puede observar que coincide con el visualizado en “2T.vi”.
10. Parámetro λ : Mediante esta escala se puede introducir el valor de pobreza que se desee.
11. Voltaje y caudal de aire: Muestra el valor de voltaje captado por el caudalímetro así como el valor intermedio de caudal de aire por hora correspondiente a este valor.



h) Diagrama de bloques del VI “2T.vi” al completo:

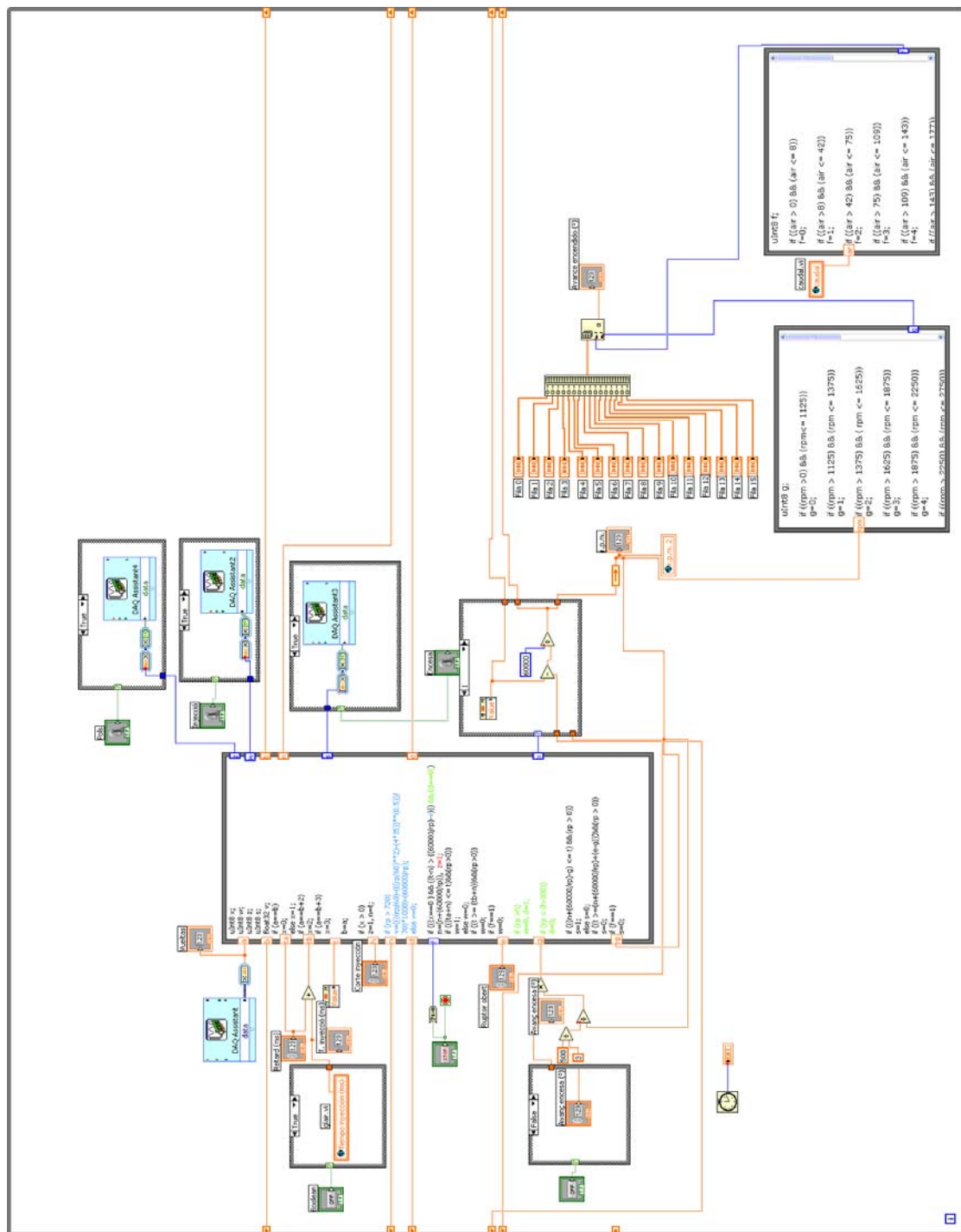


Fig. 5.26 Block Diagram del VI “2T.vi”



5.5.3. Descripción del algoritmo para motores de 4 tiempos

Como se comentó en la introducción de este capítulo, se ha realizado un algoritmo para la inyección de un motor de 4 tiempos y cuatro cilindros. La realización de este algoritmo únicamente responde al deseo de comprobar cómo podría ser una gestión de inyección para un motor de cuatro tiempos y cuatro cilindros. Por este motivo el VI resultante únicamente permite operar con variables internas, esto es que no tiene interacción mediante sensores ni actuadores.

La problemática en este caso es superior que en el motor de 2 tiempos y un cilindro ya que además de tener que dar señal por separado a cada cilindro, con una única señal de PMS hay que discernir entre el PMS de admisión y el de expansión. En la Fig. 5.27 se puede observar el algoritmo de este caso. El resto de estructuras son análogas a las explicadas en el algoritmo de dos tiempos. Por este motivo en este apartado la atención estará centrada en la parte del algoritmo.

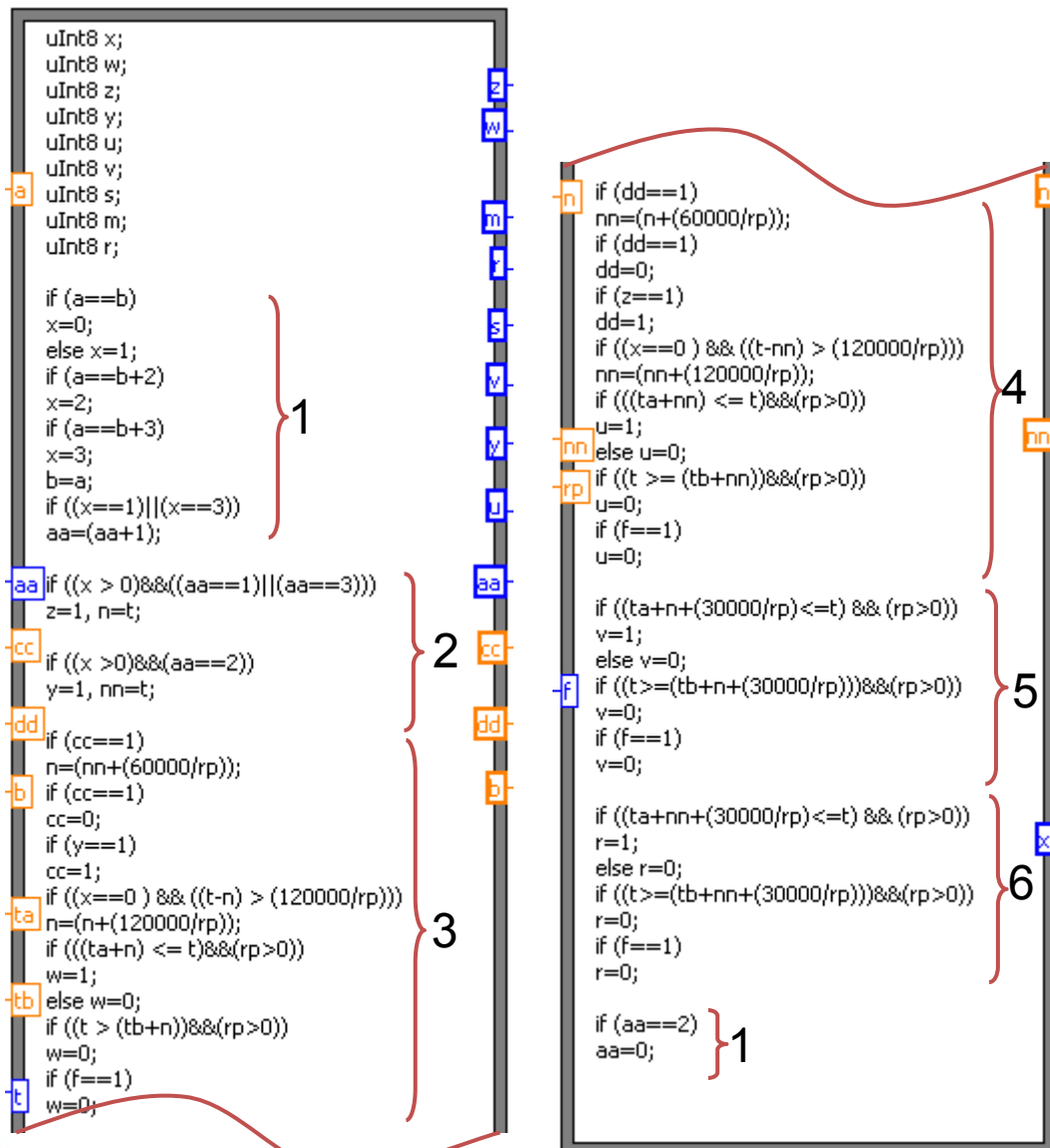


Fig. 5.27 Algoritmo Inyección 4T 4 cilindros



Glosario de las variables que intervienen en el algoritmo:

| | | |
|---|--|---|
| a: valor actual de la vuelta | n: tiempo universal en el que se ha producido un PMS de admisión cilindro 1, en milisegundos | m: variable color pulso inyección cilindro 2 |
| aa: Variable de PMS admisión cilindro 1 o 4 | nn: tiempo universal en el que se ha producido un PMS de admisión cilindro 4, en milisegundos | r: pulso de inyección cilindro 2 |
| cc: Variable PMS admisión cilindro 4 | rp: revoluciones por minuto | s: variable color pulso inyección cilindro 3 |
| dd: Variable PMS admisión cilindro 1 | f: variable binaria fin de ejecución de programa | v: pulso inyección cilindro 3 |
| b: valor anterior de vuelta | z: pulso de PMS admisión cilindro 1 | y: pulso de PMS admisión cilindro 4 |
| ta: tiempo de retraso de inyección en milisegundos | w: pulso de inyección cilindro1 | u: pulso de inyección cilindro 4 |
| tb: tiempo de retraso más el de inyección, en milisegundos | | x: valor de vuelta |
| t: tiempo universal actual en milisegundos | | |

Descripción del algoritmo de 4 tiempos:

1. Diferenciación entre PMS de la fase abierta (en delante de admisión) y PMS de la fase cerrada (en delante de expansión): Como en el algoritmo de 2T, en este caso también se puede sufrir una pérdida de datos en cuanto a las vueltas. En este caso este problema es más crítico debido a que no en todos los PMS corresponden a la fase abierta o cerrada. Por este motivo, esta parte del algoritmo, según sean los valores enviados por la tarjeta, es el que se encarga de decidir si es un PMS de admisión o de expansión aunque la tarjeta de adquisición deje de enviar algún "valor de vuelta". En la práctica, sería necesario otra señal, la del árbol de levas, que determine en qué PMS se está en cada caso ya que al empezar a ejecutar el algoritmo no hay otra forma de saberlo.

Como se puede observar en la *Fig. 5.27*, para "aa = 1" o "aa = 3" se realizan las mismas funciones ya que si se ha saltado una vuelta, si en la anterior se estaba, por



ejemplo, en expansión, en la vuelta perdida se habrá realizado la admisión, y en esta nueva vuelta se volverá a realizar la expansión.

Como se muestra en la parte final de esta estructura del algoritmo, cuando "aa" supera el valor de 2 (quiere decir que en esta iteración "aa" ha tenido el valor de 3), la variable se inicializa ya que el motor tiene cuatro tiempos que corresponde a los valores de "aa" de 0, 1, 2 y 3.

2. Distinción entre PMS de admisión para el cilindro 1 o el 4: El discernimiento se realiza entre estos dos cilindros ya que al disponer de una única señal de PMS, el PMS de admisión puede corresponder a uno de estos dos cilindros ya que por el diseño del cigüeñal coinciden en el PMS y PMI (punto muerto inferior).
3. Pulso de inyección con o sin pérdida de datos para cilindro 1: La complejidad de esta estructura del algoritmo hace necesaria la explicación al detalle de sus diferentes partes.

```
if(cc == 1)
n = nn +  $\frac{60000}{rp}$ ;
```

- Si ha habido PMS de admisión en el cilindro 4 (ya que "cc==1"), se supone cuando será el PMS de admisión en el cilindro 1

```
if (c == 1)
cc = 0;
```

- Si "cc=1", se inicializa.

```
if (y == 1)
cc = 1;
```

- Cuando ha habido PMS de admisión en el cilindro 4, se activa la variable "cc" para que en la siguiente iteración se actualice el "tiempo universal" de referencia de PMS ("n") para el cilindro 1.

```
if((x == 0) && ((t - n) > ( $\frac{120000}{rp}$ )))
n = ( $n + (\frac{120000}{rp})$ );
```

- Si no hay PMS de admisión en el cilindro 4, prepara el "tiempo universal" ("n") por si tampoco se detecta el PMS de admisión en el cilindro 1.

```
if(((ta + n) ≤ t) && (rp > 0))
w = 1;
else
w = 0;
```

- Tanto si se ha detectado PMS de admisión en el cilindro 1 como si se ha simulado, y si el "tiempo universal actual" ("t") es superior a la suma del "tiempo universal" de PMS de admisión ("n") y el tiempo de retraso ("ta"), se inicia el pulso de inyección.

```
if((t > (tb + n)) && (rp > 0))
w = 0;
```

- Cuando el "tiempo universal" actual ("t") sea superior a la suma del tiempo de retraso de inyección, el tiempo de inyección y el "tiempo universal" de PMS de admisión del cilindro 1, cesar la inyección.



4. Pulso de inyección con o sin pérdida de datos para cilindro 4: La inyección en el cilindro 4 se realiza de forma análoga a como se realiza para el cilindro 1. Por este motivo se considera suficiente la explicación realiza en el apartado anterior para un correcto entendimiento. Respecto a la inyección para el cilindro 1, la inyección para el cilindro 4 hay que realizar los siguientes cambios de variables: “dd” por “cc”; “nn” por “n”; “n” por “nn”; y “u” por “w”.
5. Pulso de inyección con o sin pérdida de datos para cilindro 3: Debido a que no se dispone de parámetros de PMS para el cilindro 3, se utiliza calcula el PMS de admisión para este cilindro como la mitad de una revolución respecto al PMS de admisión del cilindro 1. Como utiliza el PMS del cilindro 1 sea o no sea simulado, la generación del pulso de inyección para el cilindro 3 es más sencillo. Aun siendo más sencillo, se considera oportuno hacer una descripción pormenorizada de su algoritmo:

$$\text{if} \left(\left(ta + n + \frac{30000}{rp} \right) \leq t \right)$$

$v = 1;$
else
 $v = 0;$

- Si el “tiempo actual universal” es superior a la suma del tiempo de retraso de inyección “ta”, medio periodo (30000/rpm) y el “tiempo universal” de PMS de admisión del cilindro 1, se realiza la inyección para el cilindro 3.

$$\text{if} \left(t \geq \left(ta + n + \frac{30000}{rp} \right) \right)$$

$v = 0;$

- Si el “tiempo actual universal” es superior a la suma del tiempo de retraso de inyección más el de inyección “tb”, medio periodo (30000/rpm) y el “tiempo universal” de PMS de admisión del cilindro 1, termina la inyección para el cilindro 3.

6. Pulso de inyección con o sin pérdida de datos para cilindro 2: Como en el caso anterior, no se posee un PMS exclusivo para el cilindro 2. Por ese motivo, el pulso de inyección para el cilindro 2 depende del PMS de admisión del cilindro 4. Como el algoritmo que general el pulso de inyección del cilindro 2 es muy parecido al del cilindro 3, no se considera necesario su explicación, únicamente es necesario resaltar que respecto al pulso del cilindro 3, los cambios de variables son: “nn” por “n” y “r” por “v”.



El panel frontal (*Front Panel*) tiene el aspecto mostrado en la *Fig. 5.28*:

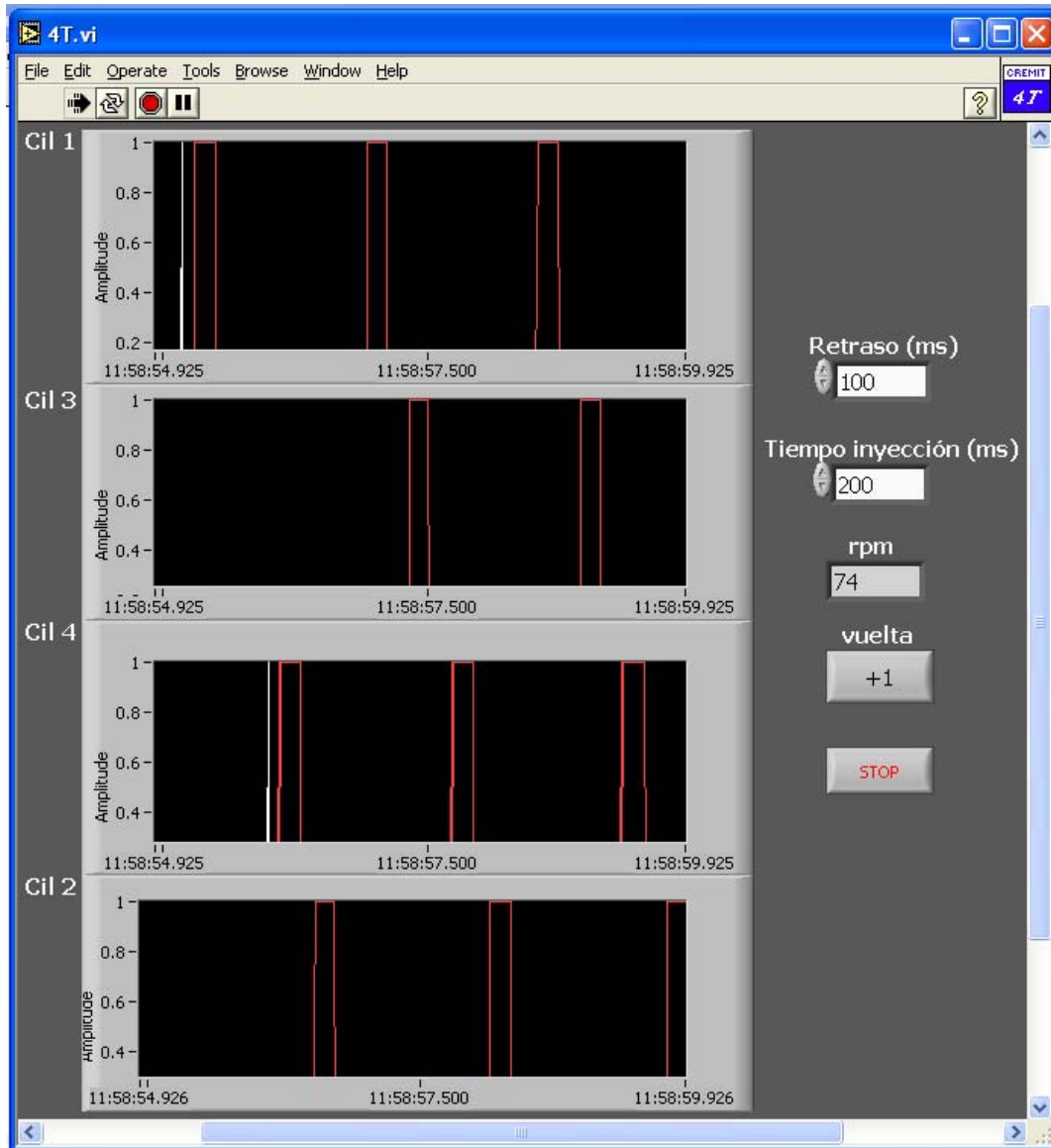


Fig. 5.28 Panel Frontal del VI "4T.vi"

Como se puede observar en la *Fig. 5.28*, el orden de encendido es: 1-3-4-2. Los pulsos blancos son los correspondientes a los PMS de admisión para los cilindros 1 y 4 respectivamente. Como se puede ver en el gráfico del cilindro 3, hay que esperar que se produzca el pulso de PMS de admisión del cilindro 4 para que se establezca un valor de revoluciones y partiendo de éste, el programa calcula el valor de PMI de compresión del cilindro 1 que corresponde al PMS de admisión del cilindro 3 para poder generar su pulso de inyección, por ese motivo no aparece el que debería ser el primer pulso de inyección del cilindro 3.



5.6. Electrónica para datos de salida

Los datos de salida, como se ha comentado en apartados anteriores, son únicamente dos: el pulso de inyección y el de encendido.

La salida que utiliza la tarjeta NI USB-6210 para realizar el pulso de encendido es del tipo digital, TTL. Debido a que la pipeta de encendido independiente funciona directamente con pulsos TTL, no es necesaria ninguna electrónica intermedia para poder comandar el encendido.

La salida para la inyección es del mismo tipo que para el encendido. En este caso sí es necesaria una electrónica intermedia para realizar la inyección. El circuito electrónico utilizado es el mostrado en la *Fig. 5.29*. El esquema del mismo está representado en la *Fig. 5.30*, basado en el esquema de la Tesis Doctoral de Ernesto Gutiérrez [26].

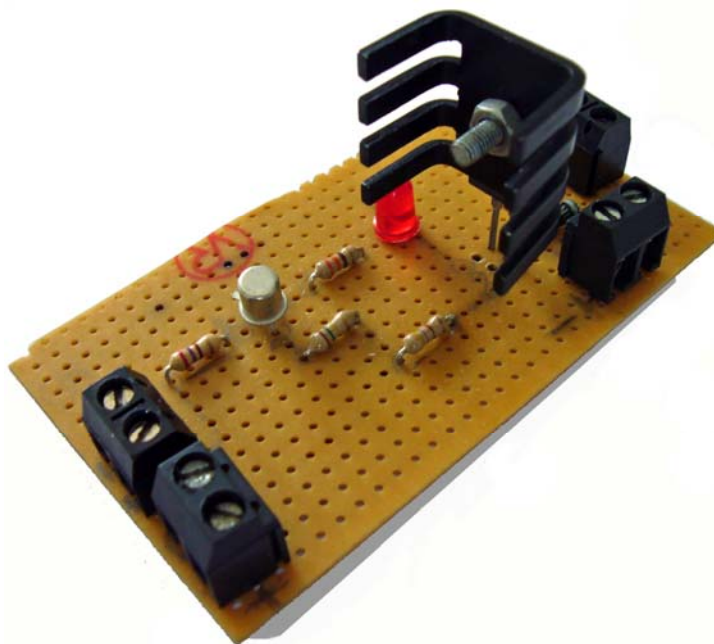


Fig. 5.29 Etapa de potencia de inyección

El circuito se alimenta con 12 V para el funcionamiento del inyector y con 5 V para la electrónica. El circuito tiene dos partes diferenciadas, una etapa de señal y otra de potencia. La etapa de señal utiliza la señal TTL procedente de la tarjeta para excitar la puerta del transistor bipolar de baja potencia, el paso de corriente entre el drenador y el surtidor activa el led indicando la existencia de pulso de inyección. La etapa de potencia funciona de forma análoga a la etapa de señal, en este caso la señal TTL excita la puerta del transistor de potencia del tipo Mosfet que permite la apertura del inyector.



Los componentes de este circuito:

- 1 resistencia 150 k Ω
- 1 transistor Q2N2222
- 1 resistencia 330 Ω
- 1 resistencia 270 Ω
- 1 BUZ 10
- 1 diodo IN4004
- 1 resistencia 470 Ω
- 1 led
- 4 conectores

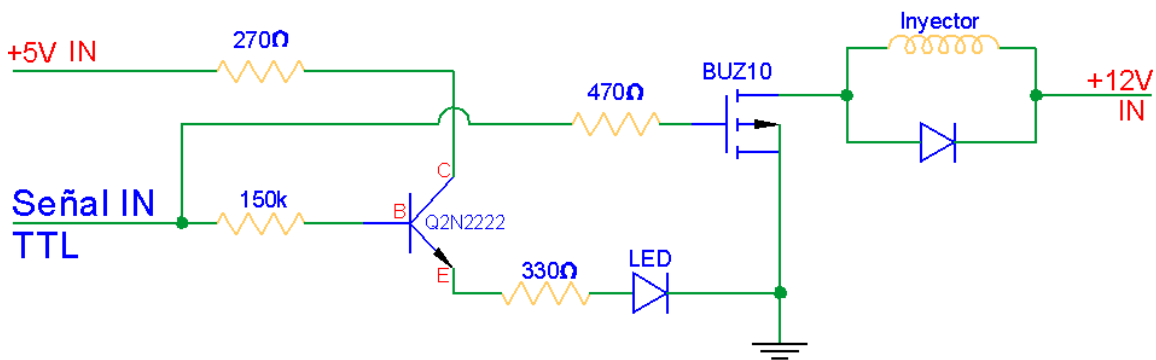


Fig. 5.30 Esquema etapa de potencia de inyección

Como se puede observar en el circuito de la Fig. 5.30, no se realiza una inyección del tipo *Peak & Hold* como se muestra en el esquema de la Fig. 4.40. La realización de este tipo de control de inyección podría ser una buena forma de ampliar el proyecto en el futuro para poder visualizar el pulso mediante un osciloscopio debido su carácter académico / didáctico.

5.7. Actuadores seleccionados

5.7.1. Pipeta de encendido independiente

La pipeta de encendido independiente es el presentado en la Fig. 5.31. Los datos de la pipeta utilizada son:

Marca: HITACHI

Referencia: CM11-201



Aunque no requiera de una electrónica es necesario mostrar el esquema de conexionado de la pipeta, Fig. 5.31.

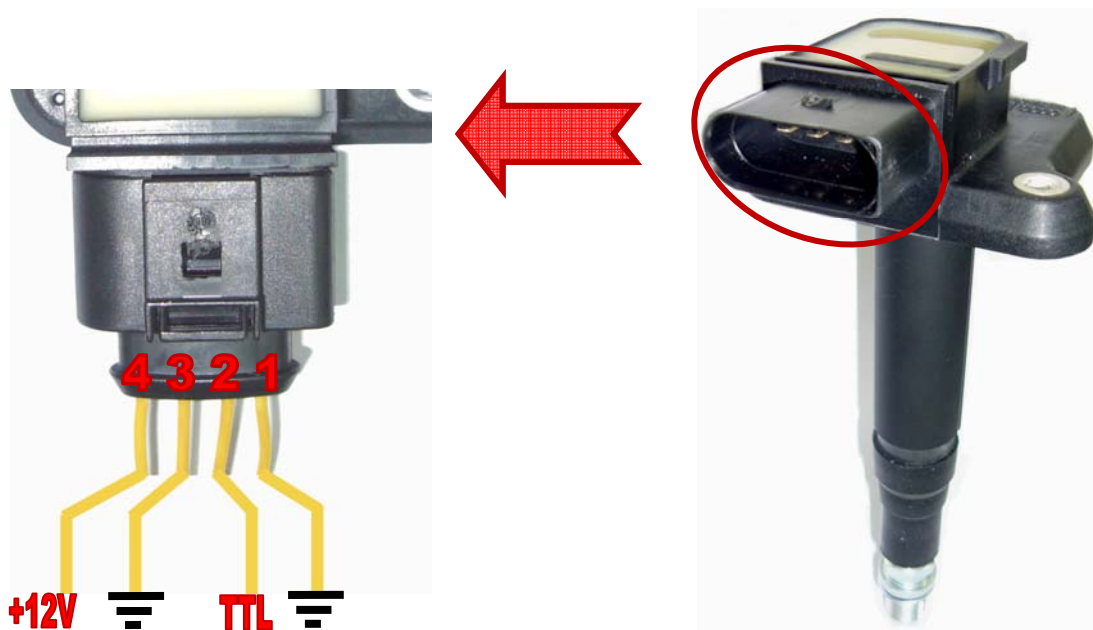


Fig. 5.31 Conexionado pipeta

5.7.2. Inyector

El inyector utilizado es de alta impedancia, extraído de una rampa de inyección, presentado en la Fig. 5.32. Los datos del inyector utilizado son:

Marca: BOSCH

Modelo: *Injection Valve* EV6

Referencia: O 280 155 737

Los datos técnicos están recogidos en la hoja técnica del inyector [34].



Fig. 5.32 Inyector de alta impedancia





6. VI orientado a la realización de prácticas en el *Laboratori de Motors Tèrmics* de la ETSEIB

La realización de las prácticas en el *Laboratori de Motors Tèrmics* de la ETSEIB hace necesaria una modificación del algoritmo expuesto es en capítulo anterior ya que no es posible realizar una gestión a tiempo real utilizando la tarjeta captadora de datos NI USB-6210 y el procesador de un PC bajo Windows®. Además, se ha creído conveniente realizar un VI puramente de simulación para poder enfatizar la vertiente pedagógica del proyecto.

Así, las prácticas se pueden separar en tres fases:

- VI de simulación
- VI con pulso de vuelta de cigüeñal / árbol de levas simulado
- Generación de pulso manual

6.1. Instrumento Virtual de simulación

La simulación se basa en *inputs*, valores de caudalímetro y sensor inductivo de pulso por vuelta para la gestión de un motor de 2 tiempos. Partiendo de estos *inputs* y con unos valores de gestión introducidos se obtienen diferentes *outputs*. La gran parte de algoritmos que se utilizan son los presentados en el apartado 5.5.2, con la diferencia de que en vez de utilizar un *clock* real se utiliza el valor de iteración propio del VI.

El panel frontal de la simulación se puede dividir en cinco grupos como se puede observar en la *Fig. 6.1*. Estos grupos son:

1. Entrada de *inputs*: Caudalímetro y pulso por vuelta.
2. Valores de gestión, encendido e inyección.
3. Visualización de pulsos por vuelta, inyección y encendido.
4. Diagramas de presión / tiempo del ciclo ideal.
5. Mapa de cartografía del encendido.



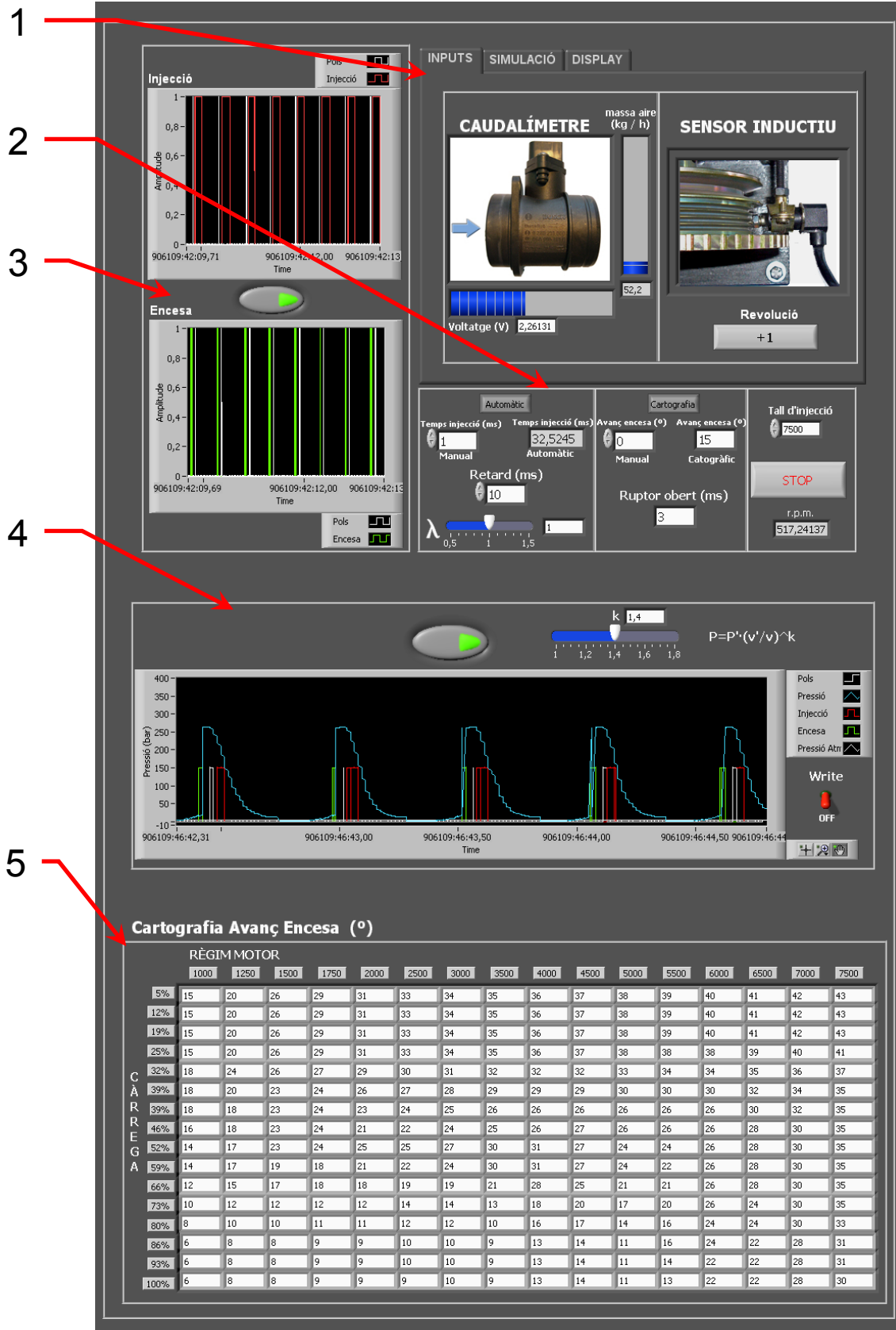


Fig. 6.1 Panel Frontal del VI de simulació



1. Entrada de *inputs*, Fig. 6.2:



Fig. 6.2 Desplegable de “inputs”

El valor simulado de caudalímetro de aire se introduce variando el voltaje que es el tipo de magnitud que utiliza un caudalímetro real. Este valor es el que determina el porcentaje de carga del motor.

También se simula el pulso de paso por vuelta que en VI con valores reales se obtiene del sensor inductivo. Cada vez que se pulsa el botón “Revolución (+1)” se considera que ha habido PMS, por lo que el tiempo entre dos pulsaciones consecutivas determinará el periodo de funcionamiento de la simulación.

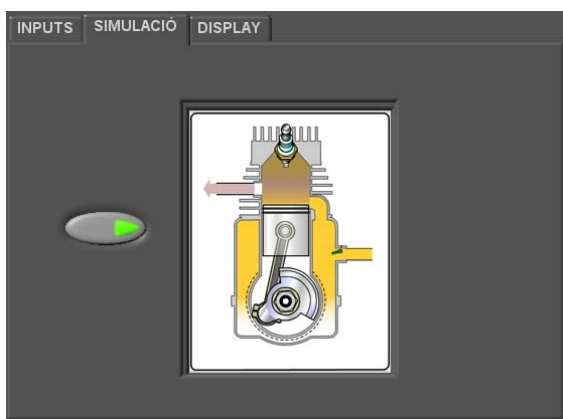


Fig. 6.3 Desplegable de “simulación” 2 T

La zona de entrada de *inputs* está compuesta por una carpeta con desplegable. Las carpetas permiten aprovechar el espacio del panel frontal. En la lengüeta de “simulación” (Fig. 6.3) se muestra la animación de un motor de dos tiempos a las revoluciones establecidas por el usuario. Debido a que esta animación ralentiza el conjunto de la simulación, se dispone de un botón que la activa o desactiva. Esta animación está basada en la animación, obtenida *frame a frame*, que se puede observar en la página web [51].



Fig. 6.4 Desplegable de “display”

En la lengüeta de “display” (Fig. 6.4) muestra un tacómetro que indica las revoluciones actuales. Para incrementar las r.p.m. introducidas, se dispone de un factor multiplicador. En este *display* también se puede visualizar la hora actual así como un aviso, tanto en texto como lumínico, de corte de inyección.



2. Valores de gestión:

La parte del panel frontal dedicado a la entrada de valores para la gestión está dividida en tres partes (Fig. 6.5).

- Inyección
- Encendido
- Paro de VI

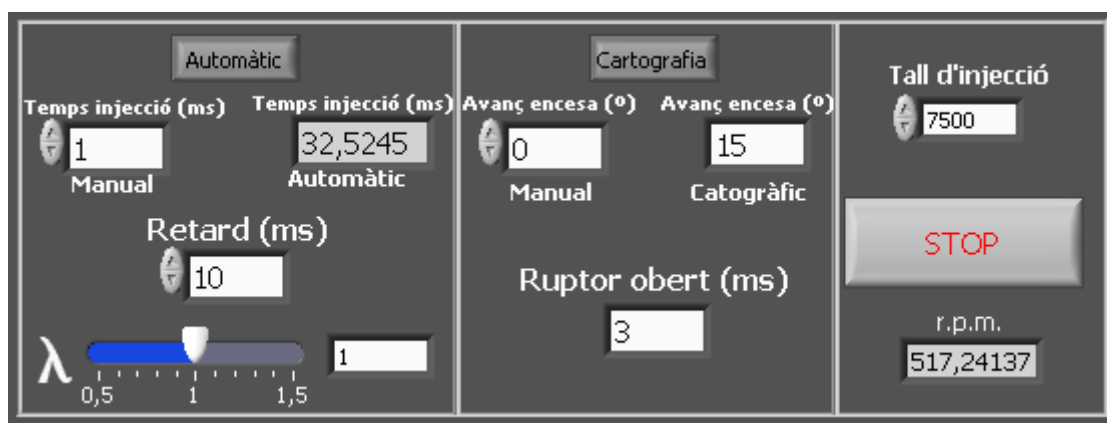


Fig. 6.5 Valores de inyección y encendido

En el apartado de la inyección se puede establecer, de forma manual, el retraso de inyección que se desea realizar después del PMS, así como también variar el valor de pobreza (λ) de la mezcla. El tiempo de inyección se puede introducir de forma manual, cuando el botón del apartado de inyección está en la conmutación de “manual” o de forma automática, cuando el botón está en la posición de “automático”. El valor de inyección “automático” se obtiene de la misma manera que en el VI “2T.vi”, apartado 5.5.2, utilizando el valor del caudalímetro introducido así como las revoluciones elegidas.

En el apartado del encendido, de forma manual, se puede variar el tiempo en el que permanece el ruptor abierto. El avance del encendido se puede introducir de forma manual, cuando el botón del apartado de encendido está en la conmutación de “manual” o de forma automática, cuando el botón está en la posición de “cartografía”. Como en el VI “2T.vi”, el avance del encendido por cartografía se realiza con un mapa cartográfico se obtiene de los valores de revoluciones y de carga de motor que se cruzan con los valores cartográficos.

La tercera parte permite visualizar las revoluciones, introducir el valor de corte de inyección así como detener el VI de “simulación”.



3. Visualización de pulsos por vuelta:

Como se puede observar en la *Fig. 6.1*, los pulsos de inyección y encendido se pueden visualizar por medio de una gráfica para cada uno de los pulsos. Los gráficos absorben capacidad de procesamiento, por este motivo, estas gráficas se pueden activar / desactivar por medio de un botón.

Los pulsos de PMS se visualizan en color blanco, los pulso de inyección en color rojo y los pulsos de encendido se visualizan en color verde.

No es necesario que se tenga que estar simulando el PMS pulsando el botón de “Revolución (+1)” ya que el algoritmo está basado en el algoritmo del apartado 5.5.2. y este ya contemplaba el hecho que pudieran faltar datos de PMS. Por tanto, una vez que se pulsa dos veces el botón “Revolución (+1)”, se establece un tiempo de revolución y partiendo de este dato, el algoritmo calcula cuando se han de producir los siguientes PMS, todos para un mismo régimen de giro de motor.

4. Diagramas de presión / tiempo del ciclo ideal:

Mediante una gráfica, mostrada en la *Fig. 6.1*, se puede observar el ciclo ideal de los parámetros introducidos, con la posibilidad de variar el cociente del calor específico (k). Los datos visualizados son: PMS, visualizado en blanco; pulso de encendido, visualizado en color verde; pulso de inyección, visualizado en rojo; el diagrama presión / tiempo se visualiza en color azul. Los datos de presión se expresan en bares y el tiempo en milisegundos.

Los datos de presión / tiempo se pueden guardar en un archivo Excel, para ello se dispone del interruptor “Write”. El orden correcto de ejecución para guardar los datos en un archivo Excel es:

- Ejecución del diagrama presión / tiempo.
- Activar a posición “on” el interruptor “Write”,
- Sin pasar el interruptor “Write” a la posición “off”, detener el VI de simulación.

Una vez pulsado el VI, se abre un cuadro de diálogo que pide nombre para el archivo Excel, una vez elegido, se almacena y Excel se cierra. El VI se detiene.

La forma del archivo Excel guardado tiene el formato (*Fig. 6.6*):



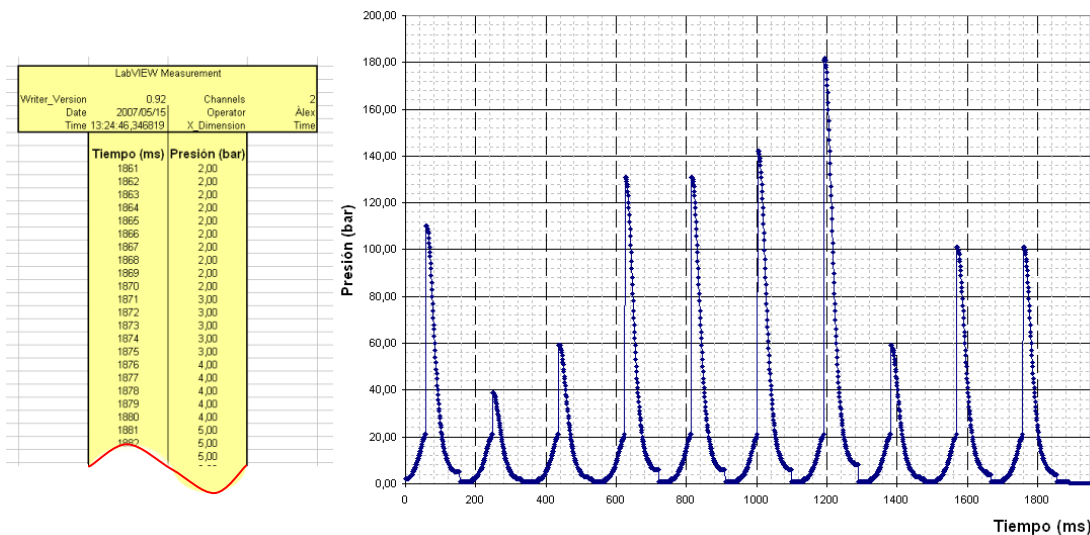


Fig. 6.6 Formato de datos obtenidos en Excel

5. Mapa de cartografía del encendido:

La presencia del mapa cartográfico de avance de encendido en el panel frontal permite una visualización de estos valores y observar como el VI, cuando trabaja con datos cartográficos, los utiliza para realizar el avance.

Los datos son los mismos que los utilizados en el algoritmo del apartado 5.5.2. Cada columna representa un rango de revoluciones por minuto que van desde las 1000 r.p.m. a las 7500 r.p.m. Cada fila representa el nivel de carga, obtenido del valor impuesto por el usuario en el panel frontal (caudalímetro), la carga va desde el 5% al 100%.

6.1.1. Algoritmos específicos para la simulación

Como se ha hecho referencia, el algoritmo principal de la simulación es el mismo que el explicado en el apartado 5.5.2. Los apartados exclusivos del VI de simulación son:

- a) **Pulso de PMS:** Cada vez que se pulsa el botón “Revolución (+1)” mostrado en la Fig. 6.1, se simula el incremento de vuelta que proporciona la tarjeta NI USB-6210. Cuando se pulsa el botón se incrementa en uno el valor de vuelta anterior. Si no se pulsa, el valor tomado es el de la iteración anterior.

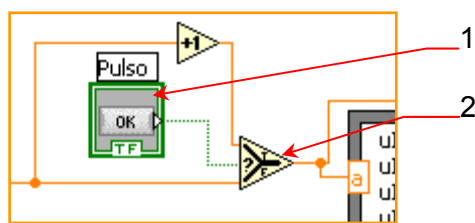


Fig. 6.7 Generación pulso PMS

- 1. Botón “Revolución (+1)” en el Block Diagram.
- 2. Selector: Si hay pulso, al valor anterior se suma un 1. Si no hay pulso, el valor anterior se transforma en actual.



b) Animación motor 2 tiempos:

La animación está formada por 30 *frames* (Fig. 6.8) que al sucederse simulan movimiento. La velocidad de ejecución, las revoluciones a las que simula que funciona el motor, es proporcional a la velocidad introducida por el usuario. La velocidad es proporcional y no igual porque, como se ha comentado, este VI no funciona con un tiempo real sino con el valor de iteración propio del VI. El procedimiento de funcionamiento es: las revoluciones se dividen entre el número de *frames* y con este valor se genera un pulso cuadrado de esta frecuencia. Cuando se detecta un flanco de subida, se muestra un *frame*, al siguiente flanco de subida se muestra el siguiente *frame* y así sucesivamente.



Fig. 6.8 Grupo de frames de la animación

c) Ciclo Otto ideal:

El ciclo Otto ideal de la simulación se puede observar en el gráfico mostrado en la Fig. 6.1. Este gráfico muestra el ciclo Otto ideal de cada uno de los ciclos que se producen en la simulación. Las variables que se utilizan para realizar la representación del ciclo son:

- avance de encendido
- tiempo de inyección
- valor del cociente del calor específico (k)
- revoluciones

Debido a que se tiene en cuenta el avance de encendido, la representación no es puramente ideal ya que para un avance de encendido diferente a cero, la presión máxima no coincide con el PMS.

Los valores de presión mostrados en la representación están calculados para un motor de 50 cm³. Por tanto, si se excede en los valores de voltaje, los valores de presión pueden ser muy desproporcionados. Como ejemplo se muestra la Ec. 6.1, donde se muestra el caudal másico que pasaría por el caudalímetro para 6000 r.p.m.

$$\frac{1,2}{1000} \left[\frac{kg}{l} \right] \cdot 0,05 \left[\frac{l}{rev.} \right] \cdot \frac{1}{10} \left[\frac{rev.}{ms} \right] \cdot 1000 \left[\frac{ms}{s} \right] \cdot 3600 \left[\frac{s}{h} \right] = 21,6 \frac{kg}{h} \quad (Ec. 6.1)$$



Los 21,6 kg / h obtenidos en la Ec. 6.1, corresponde a 1,7 volts. Teniendo en cuenta que el máximo que se puede seleccionar es de 5 volts que corresponde a 650 kg / h, es muy fácil introducir un valor de caudalímetro muy superior al que se daría en la realidad.

El la Fig. 6.9 se muestra el algoritmo utilizado para realizar la representación del ciclo Otto.

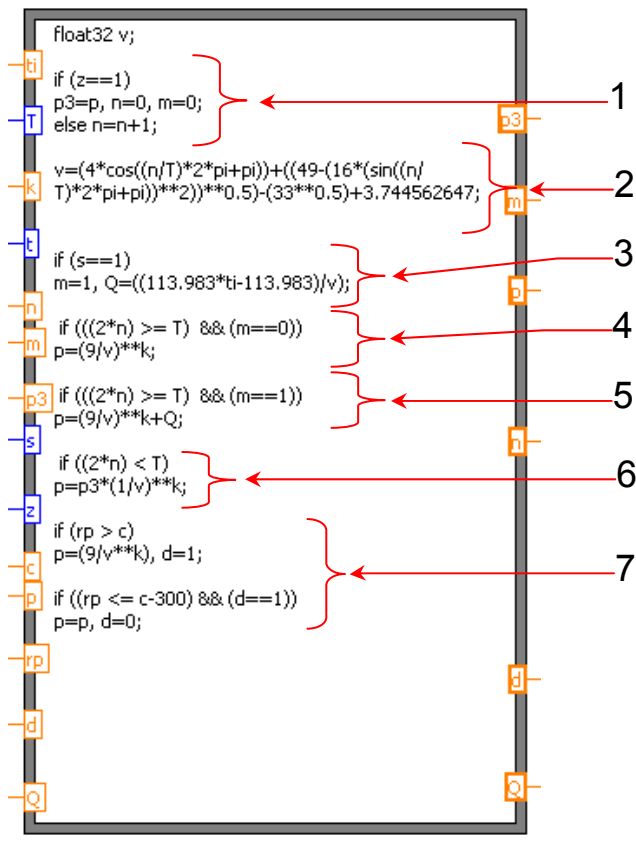


Fig. 6.9 algoritmo simulación ciclo Otto

ti: tiempo de inyección

T: periodo entre PMS

k: Cociente del calor específico

t: tiempo universal global actual

n: tiempo universal de PMS

m: variable binaria de encendido

p3: presión en el punto 3

s: variable binaria existencia encendido

z: variable binaria existencia PMS

c: revoluciones corte inyección

p: presión de ciclo

rp: revoluciones por minuto

d: variable binaria de exceso de r.p.m.

Q: Presión debida a la combustión



1. Inicialización de variables en el instante de PMS
2. Cálculo del volumen (relativo):

El volumen útil del cilindro, para cada instante de iteración, se calcula mediante la Ec. 6.2, esta ecuación es función de la longitud de biela, del brazo de cigüeñal así como del ángulo girado del cigüeñal.

$$v = r \cdot \cos(\omega \cdot t) + \sqrt{l^2 - r^2 \cdot \text{sen}^2(\omega \cdot t)} - \sqrt{l^2 - r^2} \quad (\text{Ec. 6.2})$$

donde:

r: brazo del cigüeñal, radio de manivela

l: longitud de biela

ω : velocidad angular del cigüeñal

Debido a que el volumen que se necesita para el algoritmo es un volumen relativo que varíe entre el PMS y el PMI, los valores de “r” y de “l” son arbitrarios cuya relación l / r es de 1,75.

La relación de compresión elegida para realizar la simulación es: 9:1 Por tanto, la Ec. 6.3 incluida en el algoritmo (Fig. 6.9), varía entre 1 para PMS y 9 para PMI.

$$v = 4 \cdot \cos\left(\left(\frac{n}{T}\right) \cdot 2 \cdot \pi + \pi\right) + \sqrt{7^2 - 4^2 \cdot \text{sen}^2\left(\left(\frac{n}{T}\right) \cdot 2 \cdot \pi + \pi\right)} - \sqrt{7^2 - 4^2} + 3,7447 \quad (\text{Ec. 6.3})$$

La introducción del factor π sumado al ángulo girado responde a que para PMS, que es cuando se inicializan las variables, n / T tiene valor cero y por tanto el volumen relativo obtenido es de 9 cuando debería ser 0 como se puede observar en la Fig. 6.10. La introducción de este π desfasa el volumen para que en PMS el volumen sea el correcto.

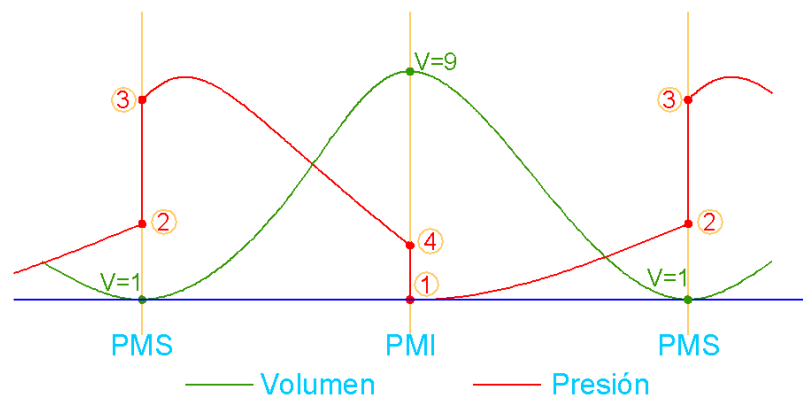


Fig. 6.10 Volumen y presión para ángulo girado



3. Cálculo de la presión debido a la combustión:

Cuando se detecta el inicio del encendido, el algoritmo calcula el incremento de presión debido a la combustión.

Cálculo del incremento de presión:

Cálculo número de moles introducidos en cada ciclo:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (\text{Ec. 6.4})$$

P: presión en bar, para el inicio del ciclo se considera 1 bar.

V: volumen en litros, 0,05 l

n: número de moles

R: constante universal de los gases ideales con presión en bar $0,083 \left[\frac{\text{bar} \cdot \text{l}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right]$

T: Temperatura en kelvin, se considera una temperatura de entrada en ciclo de 350 K

De la Ec. 6.4 podemos obtener el número de moles (Ec. 6.5):

$$n = \frac{1 \cdot 0,05}{0,083 \cdot 350} = 1,721 \cdot 10^{-3} \text{ moles} \quad (\text{Ec. 6.5})$$

Cálculo del incremento de temperatura por la combustión:

$$Q = PCI \cdot m_{\text{combustible}} \quad (\text{Ec. 6.6}) \quad Q = m_{\text{aire}} \cdot c_v \cdot \Delta T \quad (\text{Ec. 6.7})$$

Q: calor aportado por la combustión en joules.

PCI: Poder calorífico inferior del combustible, 43543 J / gr

$m_{\text{combustible}}$: combustible inyectado por ciclo en gramos. De la Ec. 5.7:

$$m_{\text{combustible}} = 3,628 \cdot 10^{-3} \cdot t_i - 3,628 \cdot 10^{-3} \quad t_i \text{ es el tiempo de inyección (ms)}$$

m_{aire} : masa de aire por ciclo en gramos.

c_v : calor específico a volumen constante en J / K

ΔT : Incremento de temperatura en K.



de las Ec. 6.6 y Ec. 6.7 se obtiene la Ec. 6.8:

$$\Delta T = \frac{PCI \cdot m_{combustible}}{m_{aire} \cdot C_v} \quad (Ec. 6.8)$$

$$m_{aire} = M_{molecular} \cdot n \quad (Ec. 6.9)$$

$M_{molecular}$ del aire: 29 gr / mol

$$m_{aire} = M_{molecular} = 29 \cdot 1,721 \cdot 10^{-3} \text{ gr} \quad (Ec. 6.10)$$

de la Ec. 6.4 se obtiene Ec. 6.11:

$$\Delta P = \frac{n \cdot R \cdot \Delta T}{V} \quad (Ec. 6.11)$$

de las Ec. 5.7, Ec. 6.3, Ec. 6.8, Ec. 6.9 y Ec. 6.11 se obtiene la Ec. 6.12:

$$\text{para } V = \frac{0,05}{9} \cdot v \quad \Delta P = \frac{113,983 \cdot t_i - 113,983}{v} \quad (Ec. 6.12)$$

Este ΔP en el incremento adopta el símbolo Q en el algoritmo.

- Para el proceso adiabático comprendido entre los puntos 1 y 2 de la Fig. 6.10, se utiliza la Ec. 6.13:

$$\text{Proceso adiabático (1} \rightarrow \text{2): } P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^k \quad (Ec. 6.13)$$

donde k es el cociente del calor específico

$$\text{En el algoritmo se utiliza la Ec. 6.14: } P_2 = 1 \cdot \left(\frac{9}{v} \right)^k \quad (Ec. 6.14)$$

- Una vez detectado el encendido, se realiza el paso del punto 2 al punto 3 de la Fig. 6.10, se emplea la Ec. 6.15:

$$\text{Proceso a volumen constante (2} \rightarrow \text{3): } P_3 = P_2 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^k + \Delta P \quad (Ec. 6.15)$$



siendo ΔP el resultado obtenido de aplicar la *Ec. 6.12*.

De la *Ec. 6.15* se obtiene la *Ec. 6.16*:

$$P_3 = P_2 + \frac{113,983 \cdot t_i - 113,983}{v} \quad (\text{Ec. 6.16})$$

6. Para el proceso adiabático comprendido entre los puntos 3 y 4 de la *Fig. 6.10*, se utiliza la *Ec. 6.17*:

$$\text{Proceso adiabático (3} \rightarrow \text{4): } P_4 = P_3 \cdot \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^k \quad (\text{Ec. 6.17})$$

En el algoritmo se utiliza la *Ec. 6.18*: $P_4 = 1 \cdot \left(\frac{1}{v} \right)^k$ (Ec. 6.18)

7. Si se sobrepasa el valor de corte de inyección, únicamente se visualiza la variación de presión debida a proceso adiabático, aplicando la *Ec. 6.14* y *Ec. 6.18* ya que al no haber ni encendido ni inyección, no se produce la combustión.

d) **Datos en formato Excel:**

Los datos generados simulación del ciclo Otto ideal se pueden guardar en formato Excel, como se ha comentado en el apartado 4 del subcapítulo 6.1. Para proceder al guardado de estos datos, se realiza la estructura en LabVIEW™ que se muestra en la zona derecha de la *Fig. 6.11*. El funcionamiento de esta estructura es el siguiente:

- Se pulsa el botón de *Stop* del VI.
- Se vuelcan los datos en formato de texto.
- El VI abre el archivo patrón de Excel guardado en la misma carpeta que el VI.
- Se transfieren los datos del archivo de texto a Excel.
- Se cambian los puntos, utilizados para separar los decimales en LabVIEW™, por comas para que Excel interprete correctamente los valores.
- Se pide una ubicación y un nombre para el archivo.
- Se cierra Excel



e) Diagrama de bloques del VI “2Tsimulacion.vi” al completo:

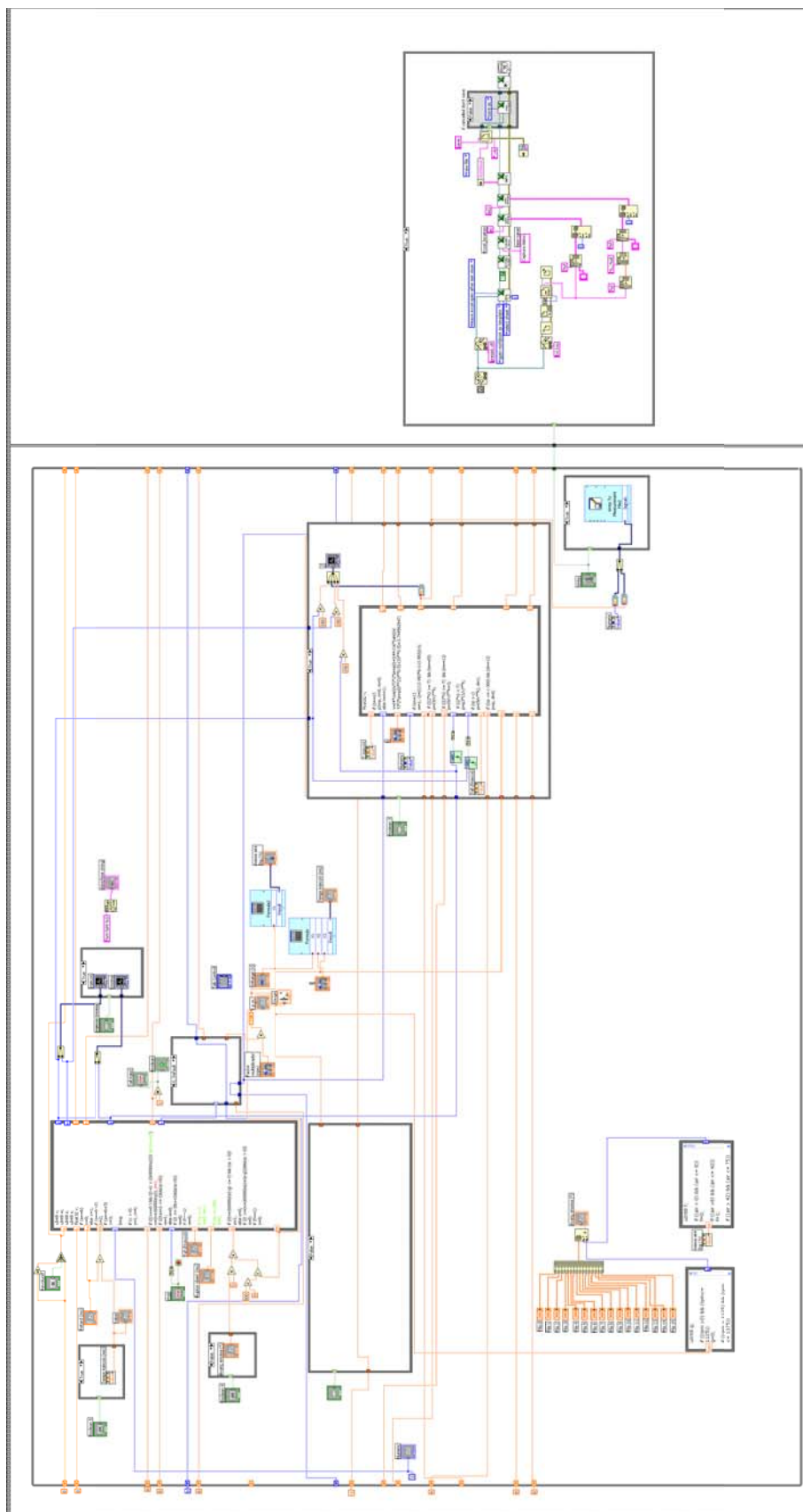


Fig. 6.11 Esquema global VI “2Tsimulacion.vi”



6.2. Conjunto de prácticas con pulso de vuelta simulado

Una segunda fase en la ejecución de las prácticas permite realizar los pulsos de inyección y encendido partiendo del valor del caudalímetro y del pulso generado por el usuario. Para la realización de esta segunda fase de prácticas se utiliza el VI "2T 2fase.vi".

La base de este VI es el mismo que utiliza el "2T.vi" mostrado en el apartado 5.5.2. La diferencia radica en la utilización de la generación de pulso de PMS, como en el "2Tsimulación.vi", mediante el botón "Revolución (+1)" (Fig. 6.7). La lentitud que se obtiene al generar el pulso de forma manual, permite la generación de los pulsos de salida de inyección y encendido. Estos pulsos se pueden visualizar mediante un osciloscopio.

Únicamente se utiliza un circuito eléctrico específico para esta fase (Fig. 6.12). Este circuito es el formado por un ventilador y una resistencia variable. Mediante este circuito se puede variar el caudal de aire que pasa por el caudalímetro sin necesidad de soplar a través de él para observar los cambios en los valores de inyección.

La generación de pulsos obtenidos mediante este sistema se pueden observar en el osciloscopio. En la Fig. 6.13 se puede comprobar el tipo de pulso, tanto de inyección, imagen de la izquierda, como el de encendido.

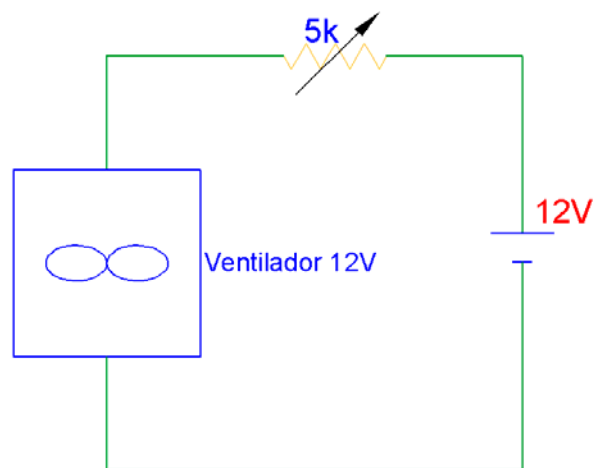


Fig. 6.12 Esquema circuito ventilador

En las dos imágenes, el pulso superior es el de PMS generado por LabVIEW™ a la frecuencia impuesta por el usuario mediante el botón "Revolución (+1)".

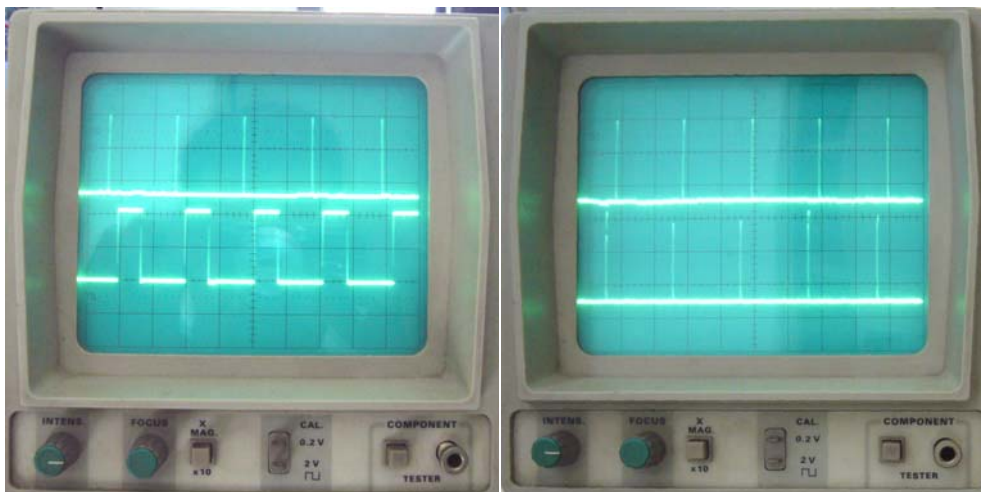


Fig. 6.13 Pulsos de inyección (izquierda) y encendido



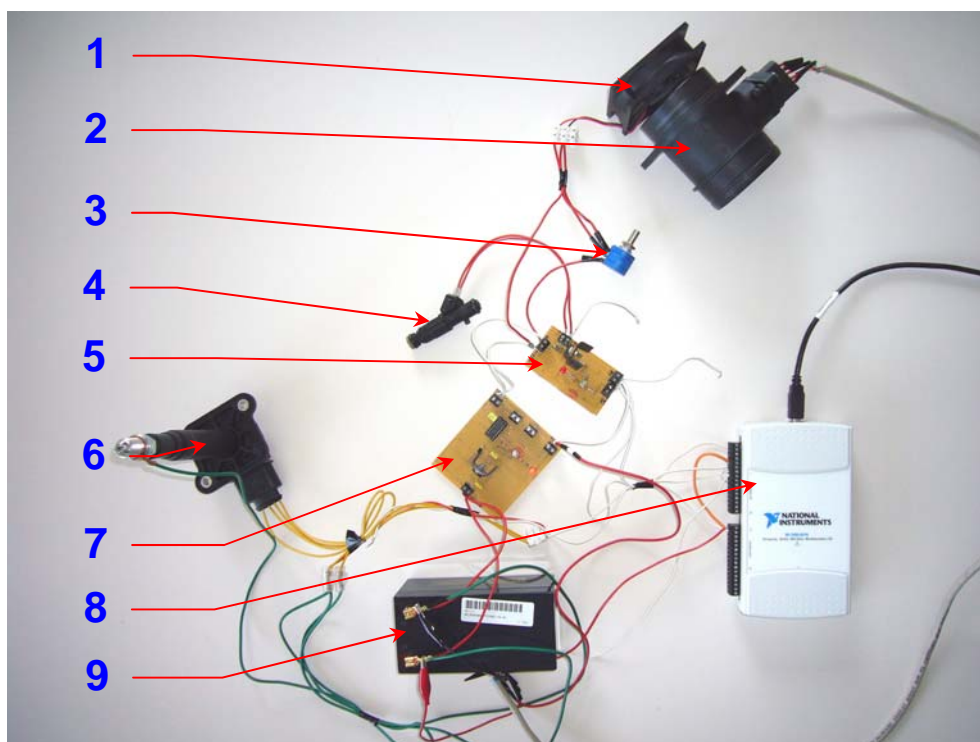


Fig. 6.14 Conjunto segunda fase de prácticas

Los componentes de esta segunda fase, Fig. 6.14, son:

- | | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| 5. Ventilador | 1. Pipeta de encendido |
| 6. Caudalímetro | 2. Módulo de alimentación |
| 7. Resistencia variable | 3. Tarjeta NI USB-6210 |
| 8. Inyector | 4. Batería de 12 V |
| 9. Etapa de potencia de inyección | |

6.3. Ajuste manual del pulso de inyección

Una tercera fase en la ejecución de las prácticas permite prescindir de tarjeta adquirente de datos así como del procesador para realizar el pulso de inyección. Esta tercera fase está enfocada para realizar únicamente el ajuste de la inyección, pero todos los componentes podrán ser utilizados para realizar el encendido.



La generación de los pulsos se realiza partiendo de la señal de un inductivo colocado en la rueda fónica de un motor eléctrico (*Fig. 6.15*). La señal del inductivo se acondiciona y después se pasa a la electrónica generadora de pulso de inyección. El ajuste de la inyección se realiza manualmente y la señal se pasa a la electrónica de potencia de inyección y de aquí al inyector.

Características del motor eléctrico:

- Tipo: Motor asíncrono
- Marca: Gobbi
- Referencia: 63 PA 2
- Nº fases: 1
- Potencia: 0,37 kW
- Tensión: 230 V
- Frecuencia: 50 Hz
- Velocidad nominal: 2750 r.p.m.



Fig. 6.15 Motor eléctrico con sensor

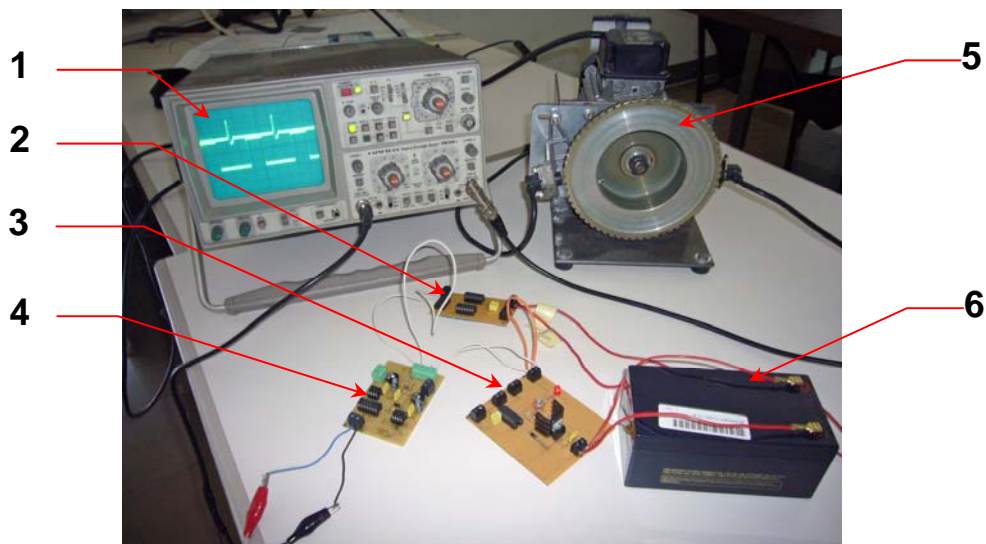


Fig. 6.16 Conjunto tercera fase de prácticas

- | | |
|-------------------------------|------------------------------------|
| 1. Osciloscopio | 4. Electrónica generadora de pulso |
| 2. Etapa de acondicionamiento | 5. Motor eléctrico |
| 3. Módulo de alimentación | 6. Batería 12 V |



En la Fig. 6.16 se muestra el conjunto de la tercera fase de prácticas. En el osciloscopio de esta imagen se aprecia la representación de dos señales, la superior corresponde a la señal emitida por el inductivo y la inferior corresponde al pulso generado por la electrónica generadora de pulso.

La electrónica específica para esta fase de prácticas es el circuito mostrado en la Fig. 6.17.

El funcionamiento de la electrónica de generación de pulso de inyección es la siguiente: La señal procedente de la etapa de acondicionamiento del pulso de PMS entra en el circuito, de esta señal acondicionada se crea, con dos *Timers* funcionando en modo monoestable, dos señales TTL de ancho variable (en la Fig. 6.18, las señales son el pulso de la resistencia 1 y él de la resistencia 2) mediante la regulación de sus respectivas resistencias variables, de forma manual (Fig. 6.19). Estas dos señales se cruzan en un integrado NAND obteniendo la señal de inyección. Por tanto, como se puede ver en la Fig. 6.18, el pulso de la resistencia 2, forma el tiempo de retraso (en la Fig. 6.17 la resistencia variable inferior) y el pulso de inyección se forma variando la resistencia 1.

La resistencia variable del pulso de inyección permite realizar un pulso de hasta de 40ms. de duración sin que la señal se vuelva inestable. La resistencia variable del tiempo de retraso permite realizar un retraso de hasta 20ms.

En la Fig. 6.20 se muestra el esquema electrónico de este circuito. Como se puede comprobar en este esquema y en la Fig. 6.17, este circuito está preparado para realizar un control no manual de las resistencias.

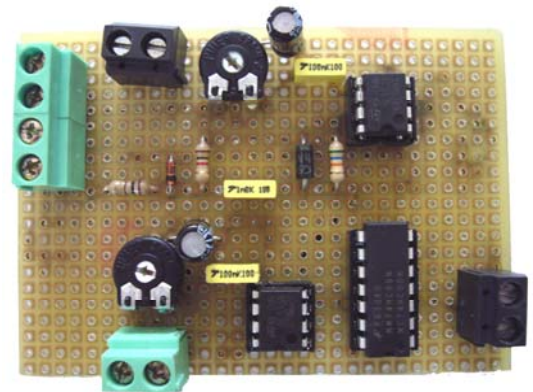


Fig. 6.17 Electrónica generadora de pulso de inyección

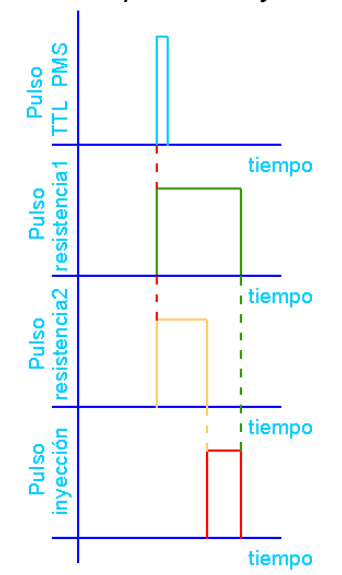


Fig. 6.18 Generación pulso inyección

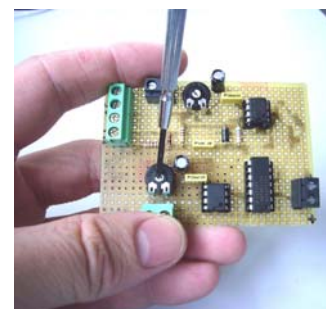


Fig. 6.19 Regulación del circuito



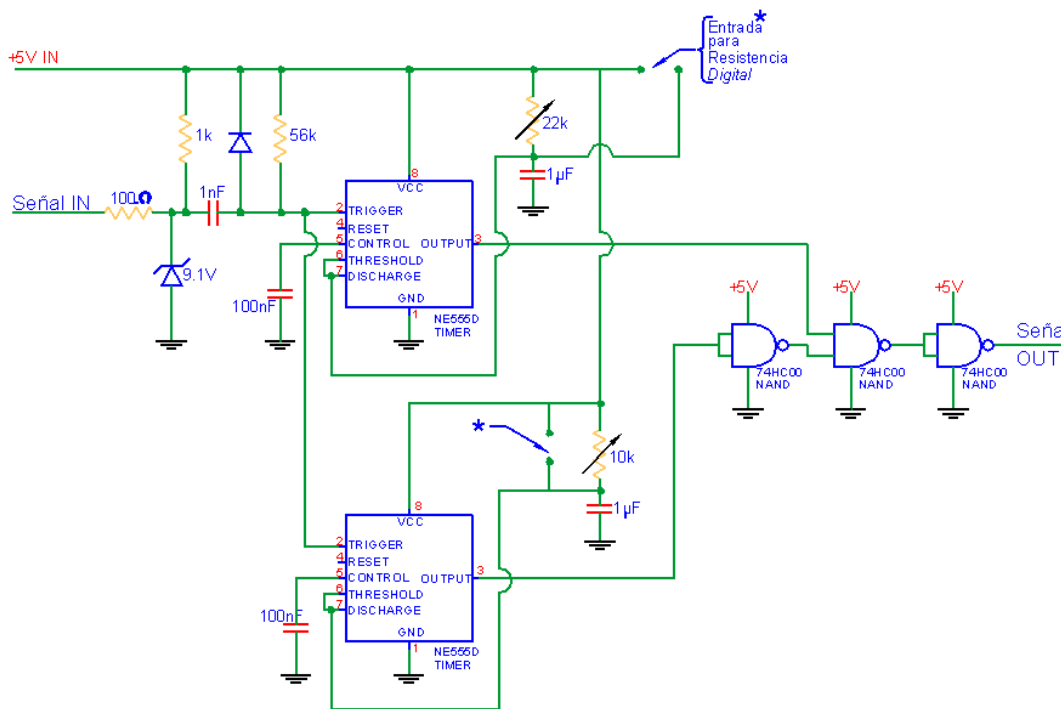


Fig. 6.20 Esquema circuito generador de pulso de inyección

- 1 resistencia 100 Ω
- 1 resistencia 1 kΩ
- 1 resistencia 56 kΩ
- 1 res. variable 22kΩ
- 1 res. variable 10kΩ
- 1 cond. 1nF
- 1 diodo
- 2 cond. 100 nF
- 1 diodo Zener 9,1V
- 2 Timer NE555D
- 1 cond. 1μF
- 1 NAND 74HC00

6.4. Control de los pulsos de inyección y encendido mediante LabVIEW™

Este apartado queda a parte de las prácticas a realizar en el *Laboratori de Motors Tèrmics* de la ETSEIB pero se ha creído interesante su exposición en esta memoria por si en un futuro se decide hacer una ampliación de este proyecto.

La dificultad de gestionar todos los parámetros, pulsos de inyección y encendido, de motor a tiempo real mediante el procesador de un PC, impulsa a buscar una solución en la que el PC no tenga que realizar cálculos tan críticos. Para ello se propone la utilización del circuito generador de pulsos mostrado en el apartado anterior (Fig. 6.17) y la tarjeta NI USB-6210 para captar los parámetros de caudalímetro y de frecuencia del motor.

Para realizar este tipo de gestión se hace necesario un circuito con diversas resistencias de diferente magnitud que sustituyan a las resistencias manuales del circuito de la Fig. 6.17.



Estas resistencias se pueden seleccionar mediante la tarjeta controlada por LabVIEW™. De esta manera, los datos de *inputs* son procesados por el PC obteniendo un valor de encendido y de inyección. Estos valores se equiparan a las resistencias manuales que realizarían estos pulsos y se selecciona su equivalente en el circuito de resistencias “digitales”. De esta manera, el PC no necesita trabajar a tiempo real ya que la captación de voltaje de caudalímetro y de frecuencia de motor se puede realizar cada cierto tiempo. Por tanto el instante de inicio de inyección o encendido se realiza mediante el circuito electrónico y la duración del pulso mediante LabVIEW™.

En este proyecto se ha realizado una pequeña aproximación de cómo podría ser el circuito con resistencias variables seleccionables mediante una entrada digital. Debido al pobre resultado obtenido, no se ha realizado un VI vinculado a este tipo de gestión.

El circuito de resistencias variables es el mostrado en la *Fig. 6.21* y su funcionamiento es el siguiente: Las cuatro salidas digitales de la tarjeta NI USB-6210 se utilizan como dos números binarios de dos bits cada uno. Al ser números de dos bits, hay cuatro combinaciones diferentes para cada número binario. Cada uno de estos números selecciona una de las ocho salidas que posee el integrado demultiplexor del circuito de resistencias variables. Como las salidas seleccionadas del demultiplexor son de lógica negativa hace necesaria la existencia de dos integrados inversores. Las salidas del demultiplexor, una vez en lógica positiva, excita la puerta de uno de los cuatro transistores y el seleccionado cierra el circuito para la resistencia seleccionada. Así, se tienen cuatro resistencias diferentes para sustituir la resistencia variable manual que se encarga del tiempo de inyección y otras cuatro para sustituir la resistencia del tiempo de retraso.

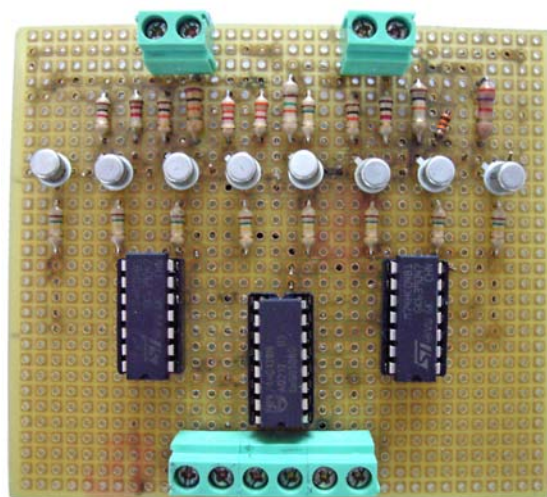


Fig. 6.21 Circuito de resistencias

En la *Fig. 6.22* se muestra el esquema del circuito de la *Fig. 6.21*. Los componentes de este circuito son:

- | | | |
|---------------------------|------------------------|-------------------------|
| - 1 demultiplexor 74HC139 | - 1 zócalo para 16 pin | - 1 resistencia 13,6 kΩ |
| - 8 transistores Q2N2222 | - 5 conectores | - 1 resistencia 11 kΩ |
| - 8 resistencias 150 kΩ | - 1 resistencia 2,2 kΩ | - 1 resistencia 7,67 kΩ |
| - 2 integrados 74LS04 | - 1 resistencia 5 kΩ | - 1 resistencia 2,7 kΩ |
| - 2 zócalos para 14 pin | - 1 resistencia 6,6 kΩ | |



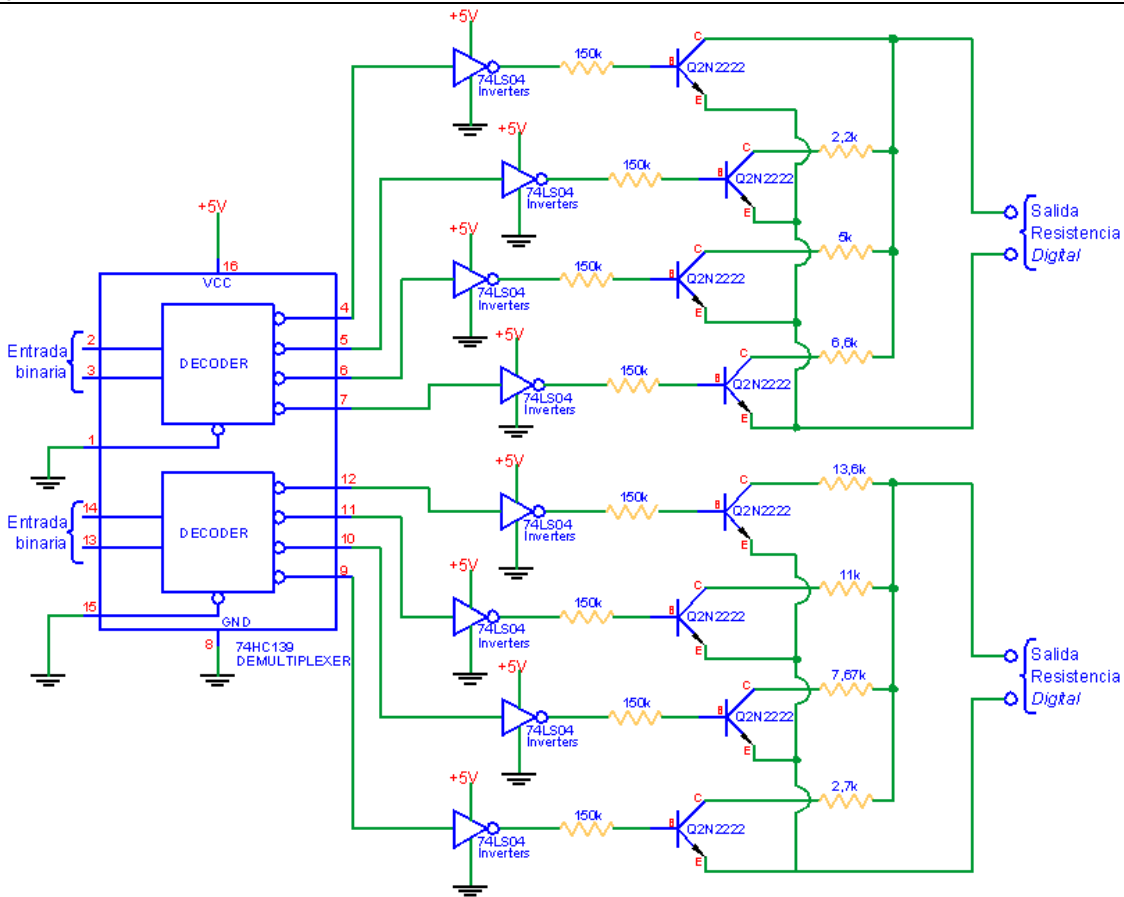


Fig. 6.22 Esquema circuito de resistencias

El circuito de regulación de pulso de forma manual (Fig. 6.17) está preparado para poderse controlar con la tarjeta NI USB-6210. La única operación que se ha de realizar es conectar las salidas digitales de la tarjeta a los conectores del circuito de resistencias. Y las salidas de este circuito a los conectores, situados al lado de sendas resistencias variables, numeradas para no ocasionar dudas de conexionado.

Como únicamente se pueden seleccionar cuatro y cuatro resistencias, los diferentes pulsos están muy limitados, es debido a este factor que el resultado obtenido ha sido tan pobre, pero sirve como ejemplo de cómo se podría realizar una gestión de este tipo.

En la Fig. 6.23 se puede observar los componentes que forma una gestión de este tipo.

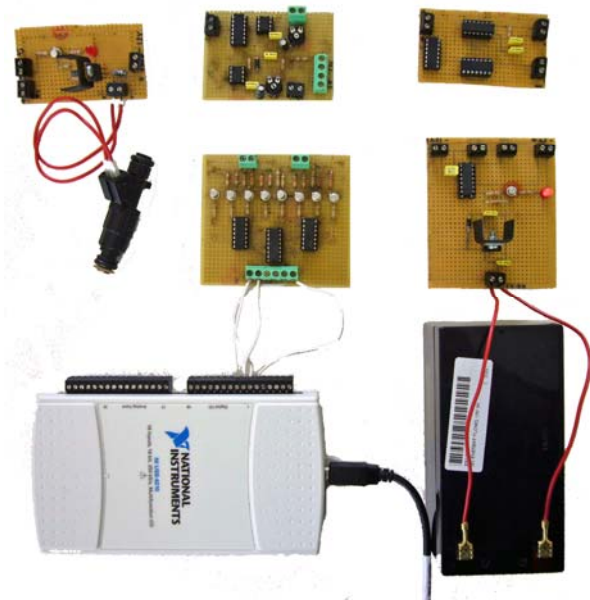


Fig. 6.23 Conjunto control electrónico de resistencias



Conclusiones

La conclusión principal que se puede extraer de la elaboración de este proyecto es que la gestión de un motor de combustión interna, debido a la velocidad de funcionamiento y a la cantidad de decisiones que se han de tomar, es un proceso crítico para el que es necesario gran capacidad de procesado de información. Por este motivo, no se puede realizar una gestión a tiempo real mediante el procesador de un PC y éste trabajando en entorno Windows® ya que al ser un sistema operativo multitarea, la sincronización del software no es fiable.

Por otra parte, la gestión realizada mediante un PC permite una programación intuitiva y de fácil implementación ya que se ha utilizado el programa LabVIEW™ de National Instruments. Además, al utilizar un PC, la modificación de parámetros de gestión se realiza de forma cómoda mediante un teclado convencional y la visualización de resultados se observan mediante un monitor. Esto permite tener una visión, aunque sea a escala reducida, de los componentes y procesos que se llevan a cabo para conseguir una gestión electrónica de un motor de combustión interna y ciclo Otto.

La realización del proyecto utilizando el procesador de un PC y una tarjeta captadora de datos de conexión por USB, no impiden en un futuro implementar este sistema de gestión en un procesador industrial del tipo Compact-RIO ya que el lenguaje de programación, LabVIEW™, utilizado para realizar este proyecto es el que utiliza el procesador Compact-RIO y el motivo por el que no se utilizó en la realización de este proyecto es debido al coste. Este tipo de procesador, y los elementos de adquisición de datos que utiliza, sí permitiría la gestión a tiempo real. Para poder implementar el VI generado en este proyecto para la gestión en el procesador Compact-RIO, sería necesario ajustar las correspondientes funciones utilizadas al módulo FPGA utilizado que permite realizar la ejecución del software a bajo nivel. Si bien, se podría, aprovechando la mayor capacidad de procesado, incluir más sensores y actuadores que permitirían un control más preciso y, en el caso de utilizar sonda Lambda, realizar una gestión de lazo cerrado. Esto conllevaría una pequeña modificación en el algoritmo de control para dar cabida a los nuevos parámetros introducidos por los nuevos sensores.

Realizar los VIs de gestión mediante un PC, permite utilizar los algoritmos principales de los mismos para la elaboración de unas prácticas introduciendo pequeñas modificaciones. La gestión de un motor en un simulador no es necesaria que se realice a tiempo real, así la utilización de un PC es ideal ya que ofrece un procesador de bajo coste y fácilmente utilizable por los usuarios sin necesidad de un conocimiento previo del mismo.



Agradecimientos

Quiero agradecer a mi director de proyecto, Dr. Jesús A. Álvarez Flórez, la pauta marcada en la ejecución de este proyecto que me ha permitido llegar a concluirlo. Así como las horas de atención que me ha prestado, los buenos consejos proporcionados en las diferentes etapas del proyecto y perspectivas alternativas en los problemas encontrados.

También quiero agradecer al Dr. Ernesto Gutiérrez González las horas dedicadas, toda la información que me ha proporcionado, así como su tesis doctoral que tantas veces he consultado.

En conjunto, también agradecer que se me haya ofrecido la realización de este proyecto con el que he ampliado mi conocimiento en una materia que tanto me gusta, que por una parte me ha permitido poner en práctica los conocimientos que he adquirido en los últimos años y además me ha brindado tantos momentos de satisfacción.

Por último agradecer al departamento de *Màquines i Motors Tèrmics* de la ETSEIB todo el material que ha dispuesto a mi disposición para la ejecución del proyecto así como a los compañeros con los que he compartido el *Laboratori de Motors Tèrmics* que en su compañía me he sentido como en casa.



Bibliografía

Referencias bibliográficas

- [1] [www.carburetor.ca/carbs/HTML/gallery/Carter/WCFB-full.jpg] 23/4/07, 9:38
- [2] H. GERSCHLER, *Tecnología del Automóvil*, Barcelona 1978, Reverté S.A., pág. 352
- [3] H. GERSCHLER, *Tecnología del Automóvil*, Barcelona 1978, Reverté S.A., pág. 354
- [4] H. GERSCHLER, *Tecnología del Automóvil*, Barcelona 1978, Reverté S.A., pág. 362
- [5] H. GERSCHLER, *Tecnología del Automóvil*, Barcelona 1978, Reverté S.A., pág. 698
- [6] H. GERSCHLER, *Tecnología del Automóvil*, Barcelona 1978, Reverté S.A., pág. 699
- [7] H. GERSCHLER, *Tecnología del Automóvil*, Barcelona 1978, Reverté S.A., pág. 701
- [8] H. GERSCHLER, *Tecnología del Automóvil*, Barcelona 1978, Reverté S.A., pág. 702
- [9] H. GERSCHLER, *Tecnología del Automóvil*, Barcelona 1978, Reverté S.A., pág.702
- [10] D. MORENO, M. *Apuntes asignatura "Electrónica del automóvil"* impartida en cuatrimestre de primavera 2006.
- [11] [www.mecanicavirtual.org/sensores.htm] 19/4/07, 10:02
- [12] [www.mecanicavirtual.org/indice_cursos.html] 19/4/07, 10:02
- [13] [www.picotech.com/auto/waveforms/distributor_inductive_cranking.html] 18/4/07, 19:15
- [14] [www.picotech.com/auto/waveforms/crankshaft_sensor_inductive_running.html] 18/4/07, 19:18
- [15] [http://shop.vems.hu/catalog/images/Honeywell_1GT101DC_s.jpg] 30/5/07, 18:11
- [16] [http://en.wikipedia.org/wiki/Hall_effect] 19/4/07, 13:13
- [17] [www.mundocoche.net/sensores/hall.htm] 11/4/07 15:47
- [18] [www.picotech.com/auto/waveforms/distributor_hall.html] 9/4/07, 13:17
- [19] Data Sheet BOSCH, *Sensors: Air-mass Meters*, pag. 57



- [20] [https://ppd.delphi.com/pdf/ppd/sensors/et_mapmat.pdf], pag. 1, 21/4/07, 16:04
- [21] [https://ppd.delphi.com/pdf/ppd/sensors/et_mapmat.pdf], pag. 2, 21/4/07, 16:08
- [22] [www.auto-online.pl/elektron/silnik/czujniki/cz_tsil.htm] 18/4/07, 13:49
- [23] [www.salvarani.it/img_db/prodotti/6470.jpg], 19/4/07, 18:24
- [24] [www.ngkntk.com.br/site_ingles/sens_ox/default.html], 19/4/07, 22:07
- [25] [www.globaldensoproducts.com/em/gem/ees/oxygen_sensor.html], 20/4/07, 13:18
- [26] D. ERNESTO GUTIÉRREZ: *Inyección Secuencial No cartográfica para Motores de Ciclo Otto. Gestión de Transitorios*. Apartado 3.3.3. Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona 2003.
- [27] [www.ngkntk.com.br/site_ingles/sens_ox/sensores_zirconio.html], 18/4/07, 18:08
- [28] [www.ngkntk.com.br/site_ingles/sens_ox/sensor_universal.html], 18/4/07, 18:04
- [29] [www.ngkntk.com.br/site_ingles/sens_ox/sensores_zirconio.html] 18/4/07, 18:45
- [30] [www.autopartwarehouse.com/knock_sensors~pop.html], 18/4/07, 18:16
- [31] [www.autoshop101.com/technical_article/38_sensor8/knock.htm], 18/4/07, 18:20
- [32] [<http://auto.howstuffworks.com/car-computer1.htm>], 16/4/07, 11:26
- [33] [www.autoshop101.com/technical_article/60_emission6/control.htm], 24/4/07, 11:41
- [34] Data sheet Injection Valve EV6 (O 280 155 737), BOSCH.
- [35] [http://www.mecanicavirtual.org/inyeccion_gasolina1.htm], 24/4/07, 16:53
- [36] [www.mobiq.co.kr/product/lpi_profile.gif], 25/4/07, 10:35
- [37] Daniel Suárez, [<http://www.mecanicavirtual.org>]
- [38] [http://mecanicavirtual.iespana.es/sistemas_dis], 25/4/07, 12:30
- [39] [http://mecanicavirtual.iespana.es/sistemas_dis], 25/4/07, 13:03
- [40] [<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/2856>], 4/5/07, 11:31
- [41] DOUGLAS de CLUE, LabVIEW™ developer / Test Engineer: [<http://forums.ni.com/ni>]



- [42] [www.magnetimarelli.com/racing/racing.htm], 19/5/07, 19:21
- [43] Data Sheet BOSCH, *Sensors: Air-mass Meters*, pag. 57
- [44] LabVIEW™ User Manual: [<http://www.ni.com/pdf/manuals/320999e.pdf>]
- [45] Data sheet Injection Valve EV6 (O 280 155 737), BOSCH.
- [46] D. ERNESTO GUTIÉRREZ: *Inyección Secuencial No cartográfica para Motores de Ciclo Otto. Gestión de Transitorios*. Página 141, figura 7.6. Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona 2003.
- [47] M. MUÑOZ, F. PAYRI: *Motores de Combustión Interna Alternativos*, página 427. Madrid: sección de publicaciones de la ETSII, UPM. 1989.
- [48] J. S. HWANG, J. S. HA and S. Y. NO: *Spray Characteristics of DME in Conditions of Common Rail Injection System (II)*. Página 122. International Journal of Automotive Technology. Vol.4. 2003
- [49] D. ERNESTO GUTIÉRREZ: *Inyección Secuencial No cartográfica para Motores de Ciclo Otto. Gestión de Transitorios*. Página 115. Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona 2003.
- [50] Jeff Lucius, [<http://www.stealth316.com>]
- [51] [www.howstuffworks.com]

Bibliografía complementaria

- J. A. ÁLAVAREZ, I. CALLEJÓN i AGRAMUNT. *Motors Alternatius de Combustió Interna, Aplicacions Industrials I Tracció de Vehicls Volum 1*. Barcelona 1998, CPDA-ETSEIB (Publicacions d'Abast S.L.L.)
- J. A. ÁLAVAREZ, I. CALLEJÓN i AGRAMUNT. *Motors Alternatius de Combustió Interna, Aplicacions Industrials I Tracció de Vehicls Volum 2*. Barcelona 1998, CPDA-ETSEIB (Publicacions d'Abast S.L.L.)
- YUNUS A. ÇENGEL, MICHAEL A. BOLES, *Termodinámica*, 4^a edición, México 2003, Mc Graw Hill



- M. MUÑOZ RODRÍGUEZ, F. MORENO GÓMEZ, J. MOREA ROY, *Motores Alternativos de Combustión Interna*, Zaragoza 1999, Prensas Universitarias de Zaragoza.
- M. MUÑOZ TORRALBO, F. PAYRI GONZÁLEZ, *Motores de Combustión Interna Alternativos*, 3ª edición, Madrid 1989, Sección de publicaciones de la ETSII, UPM
- N. MITROGLOU, C. ARCOUMANIS, *Mixture distribution in a multi-valve twin-spark ignition engine equipped with high-pressure multi-hole injectors*, Second International Conference on Optical and Laser Diagnostics, Journal of Physics: Conference Series 45.
- J. A. ÁLAVAREZ, I. CALLEJÓN i AGRAMUNT, J. J. LÓPEZ SÁNCHEZ, *Ampliació de Motors Tèrmics*, Barcelona CPDA-ETSEIB
- VOLKSWAGEN AG, Programa autodidáctico 223: *Los motores TDI de 1,2l y 1,4l*.
- H. GERSCHLER, *Tecnología del Automóvil*, Barcelona 1978, Reverté S.A.
- Componentes automoción Delphi Corp: [<http://delphi.com/>]
- Componentes automoción Denso Corp: [www.denso-europe.com/]
- Componentes automoción Hella S.A: [www.hella.com]
- Componentes automoción Robert Bosch GmbH: [www.robert-bosch-espana.es]
- Componentes automoción Davis Instruments Corp: [www.davisnet.com]
- Instrumentación virtual National Instruments Corp. : [www.ni.com]
- Adquisición de datos Pico Technology: [www.picotech.com]
- Recursos Electrónica Automoción: [www.autoshop101.com]
- Recursos Electrónica Automoción: [www.autopartwarehouse.com]
- Esquemas electrónicos: [<http://www.alldatasheet.com/>]
- Característica técnicas motor laboratorio: [www.historiaseat.com]
- Ministerio de Medio Ambiente: [www.mma.es]
- Información general: [<http://es.wikipedia.org>]

