

5. DESARROLLO DE LA INSTALACIÓN.

Debido a la complejidad de la instalación general del sistema, su descripción y estructura se ha dividido en tres grandes grupos, los cuales se describen por separado.

Estos tres grandes grupos, a su vez, están organizados en varios componentes y etapas, cuya interacción hace posible el correcto funcionamiento de toda la instalación.

La instalación en general está compuesta por:

Banco de Pruebas del Motor.

- ◆ *Motor de Pruebas.*
- ◆ *Control del Banco.*
- ◆ *Freno Hidráulico.*
- ◆ *Equipos Auxiliares de Medición.*

Instalación Informática.

- ◆ *Ordenador.*
- ◆ *Algoritmo de aproximación.*
- ◆ *Tarjetas de Adquisición de Datos.*

Electrónica de Control.

- ◆ *Etapa Electrónica.*
- ◆ *Encoder Absoluto Programable.*
- ◆ *Conmutador de Gestión de los Sistemas.*

5.1 Banco de Pruebas del Motor.

Este es el elemento base de todo el sistema ya que sobre él actúan todos los otros elementos. Su función principal es la de soportar el motor de pruebas así como controlar su funcionamiento (principalmente la carga a la que esté sometido), independientemente del sistema de inyección que esté gestionando el suministro de combustible del motor. El módulo de control del banco es del fabricante alemán SCHENK.

De la fiabilidad y estabilidad del funcionamiento del banco dependerá en gran medida la exactitud de las diferentes pruebas y mediciones a efectuar. Esto es, el banco debe ser capaz de estabilizar el funcionamiento del motor en cualquier punto de operación de su gama de trabajo, con un mínimo de oscilaciones alrededor de este punto. Con el objetivo de garantizar el correcto funcionamiento del banco, acorde con las exigencias de los objetivos propuestos, se desarrollaron una serie de trabajos preliminares así como la instalación de equipos auxiliares en el banco de pruebas. Dichos trabajos e instalaciones se describen en este capítulo.

5.1.1 Parámetros Técnicos del Motor de Pruebas.

El motor empleado para las pruebas es el System-Porsche instalado en el vehículo SEAT modelo IBIZA, cuyos datos técnicos se presentan a continuación en la tabla 5.1.

Marca / Modelo.	Seat / System-Porsche.
Número de cilindros.	4 en línea.
Sistema de inyección.	LU-2 Jetronic (con catalizador).
Modelo de los Inyectores.	EV 1.3 A
Cilindrada	1461 cm ³
Relación de compresión.	10,2 : 1.
Sistema de encendido.	Transistorizado con generador Hall BOSH TSZ-h.
Diámetro del cilindro.	83 mm.
Carrera.	67,5 mm.
Potencia máxima DIM	66 Kw / 5900 r.p.m.
Par máximo DIM	120 Nm / 4000 r.p.m.
Caudal de la bomba de alimentación.	660 cm ³ / 30 seg.
Presión máxima de la bomba de alimentación.	1,8 – 2,5 bar.

Tabla 5.1: Datos técnicos del motor de pruebas.

5.1.2 Infraestructura creada ó acondicionada.

En este apartado se describen todos los trabajos de reparación, ajustes e instalaciones adicionales efectuadas sobre el banco de pruebas, con el objetivo de desarrollar una instalación con los requisitos e instrumentación necesarios para efectuar la experimentación sobre el motor de pruebas.

5.1.2.1 Reparación del Freno Hidráulico del Banco de Pruebas.

El freno hidráulico es el elemento de carga del banco de pruebas, el cual, a su vez, es controlado por el Control Electrónico del Banco. Debido a que el freno presentaba excesivas fugas de agua,

su capacidad de frenar el motor (ofrecerle carga) era prácticamente nula, por lo que fue necesaria su reparación. Esta reparación se efectuó por etapas y en el mismo orden que referimos seguido:

- ♦ *Desarme total del freno hidráulico.*
- ♦ *Limpieza interna de restos de óxidos, depósitos calcáreos, etc.*
- ♦ *Cambio de los retenes de hermeticidad, las dos juntas laterales y el primer rodamiento de apoyo del eje principal del freno (visto desde su acoplamiento con el motor).*

Con estas operaciones se eliminaron las fugas de agua y el freno recobró íntegramente su capacidad de trabajo. Además, con el objetivo de garantizar la seguridad, se completó la tornillería del acoplamiento del freno con el motor de pruebas.

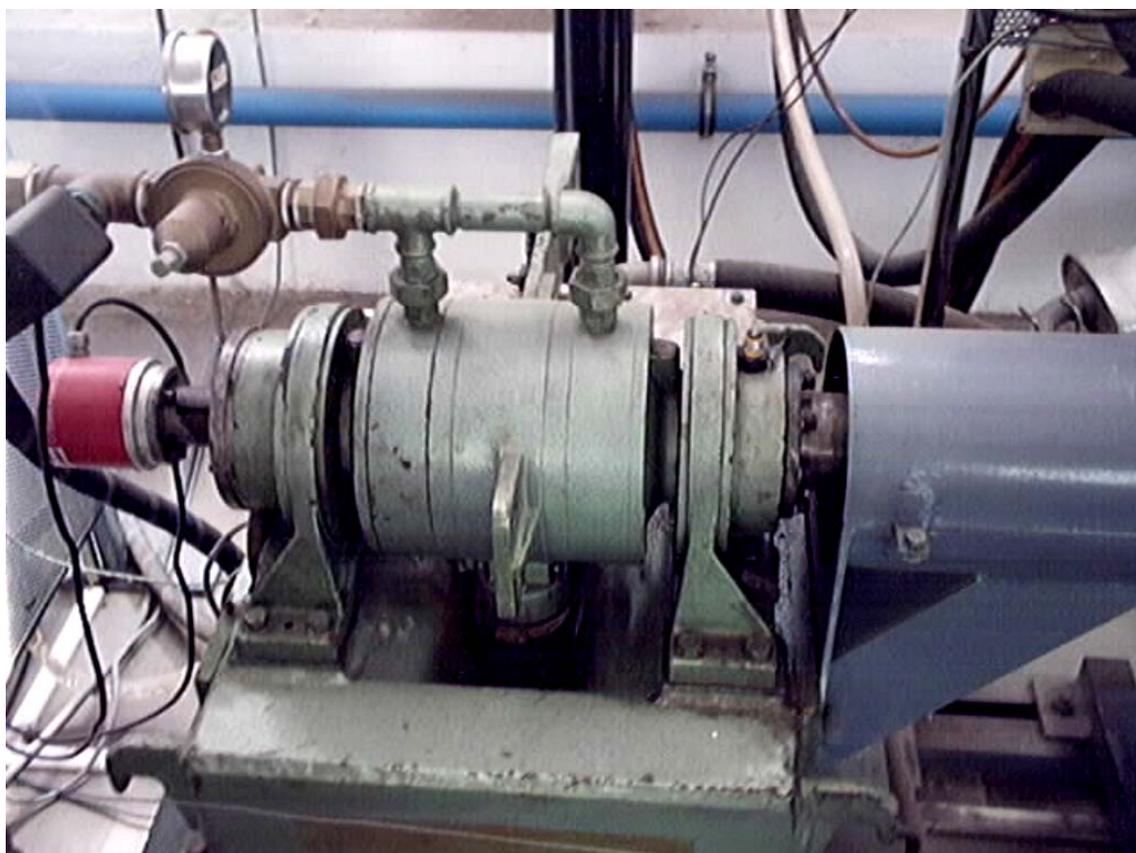


Figura 5.1: Disposición final del freno del banco de pruebas.

5.1.2.2 Reparación y ajuste del Sistema de Refrigeración del Motor de Pruebas.

El sistema original de refrigeración del motor de pruebas era el clásico radiador con termostato y ventilador controlado térmicamente. Al instalar el motor en el banco, se eliminó el radiador y su ventilador, manteniendo el termostato instalado en el motor.

El sistema de refrigeración empleado consiste en utilizar un depósito de agua industrial, previamente filtrada, con una capacidad de 35 litros, que actúa como radiador del sistema. El paso del líquido refrigerante desde el depósito de refrigeración hacia el motor se efectúa a través

de su termostato, cuando este alcance su temperatura de apertura, mientras que la comunicación del depósito de refrigeración con el agua industrial se controla electrónicamente mediante un control ajustable y el propio sensor de temperatura del motor. Actualmente, el control está ajustado a una temperatura de 90°C, de manera que cuando el motor alcance dicho valor, el banco de pruebas acciona una electroválvula que comunica el depósito de refrigeración con el agua industrial. Al descender la temperatura del motor por debajo de dicho valor, la electroválvula se cierra, evitando con ello una excesiva refrigeración del motor de pruebas.

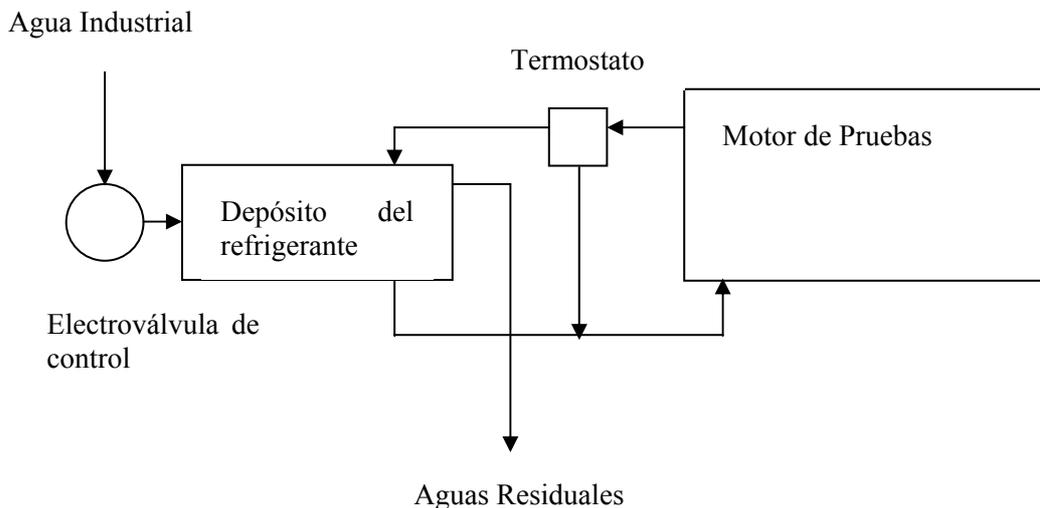


Figura 5.2: Sistema de refrigeración empleado en el motor de pruebas.

La figura 5.2 muestra esquemáticamente el sistema de refrigeración implementado en el banco de pruebas.

5.1.2.3 Instalación de una sonda Lambda Proporcional en el Banco de Pruebas.

Como se explicó anteriormente, el sistema de inyección desarrollado necesita una retroalimentación continua de una sonda lambda proporcional. Debido a que la sonda lambda original del motor de pruebas es binaria, fue necesario instalar una segunda sonda lambda, de respuesta proporcional, también en el catalizador. La sonda lambda binaria era necesaria para la propia gestión de inyección original del motor (LU-2 Jetronic), por lo que la misma no se eliminó, ya que esta gestión se tomaría como referencia para evaluar los resultados de la gestión del nuevo sistema de inyección instalado.

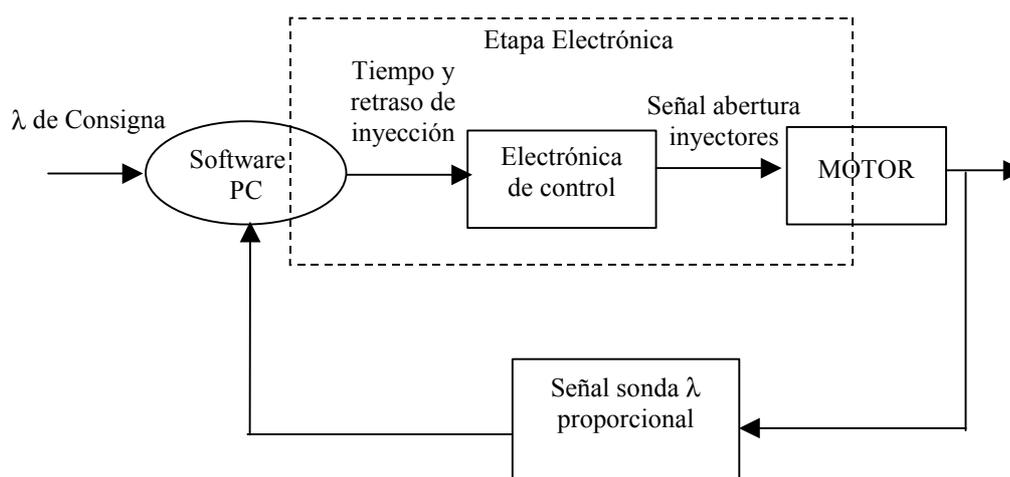


Figura 5.3: Disposición relativa de la sonda lambda proporcional en el sistema.

La salida analógica de la nueva sonda lambda proporcional se conectó directamente al ordenador, tal y como se observa en la figura 5.3. En esta figura se muestra también la disposición relativa de los diferentes elementos del sistema, los cuales se explican en detalle más adelante.

5.1.2.4 Instalación de un Encoder Absoluto Programable para la Sincronización de la Inyección Secuencial.

El nuevo sistema de inyección desarrollado es *multipunto secuencial*, por lo que se necesita alguna señal de referencia para su correcta sincronización. Los sistemas convencionales *secuenciales* utilizan como referencia la correspondencia de una señal inductiva del cigüeñal con otra de tipo Hall del árbol de levas. Como se explicó previamente, en estos sistemas ambas señales son necesarias debido a que la señal del árbol de levas por sí sola no representa ninguna referencia.

En el sistema de inyección desarrollado e instalado en el motor se optó por una solución tal que aún siendo una *señal proveniente del árbol de levas si representara una referencia sin necesidad de otra señal proveniente del cigüeñal*, lo cual se logró con la instalación de un encoder absoluto y programable en el árbol de levas, el mismo es del fabricante Hohner.

Cuando se genera el valor del pulso de inyección es necesario inyectarlo en el instante justo que hemos definido mediante el ángulo de inyección. Para ello empleamos un encoder absoluto programable, cuya salida binaria de 5 bits de precisión (números binarios de 0 a 31) son convenientemente leídos y comparados por el subsistema de inyección electrónica como se explica a continuación.

El encoder genera 32 números por vuelta (no pulsos), de los cuales nos interesa definir aquellos que, vistos en una circunferencia, representen los cardinales cada 90°, o sea, el 0, 8, 16 y 24. Estas posiciones (debido a que el encoder está colocado en el árbol de levas) representan 180° en el cigüeñal, esto es, el PMS consecutivo de cada cilindro.

La electrónica posee un circuito auxiliar capaz de leer y comparar estos números, de manera que cuando coincide con alguno de los cardinales señalados anteriormente activa el inyector correspondiente de acuerdo al orden de inyección, en este caso 1-3-4-2. El valor del pulso de inyección será aquel que el algoritmo de control haya determinado. Durante el tiempo que el encoder genere el resto de los números la electrónica sencillamente corta la inyección.

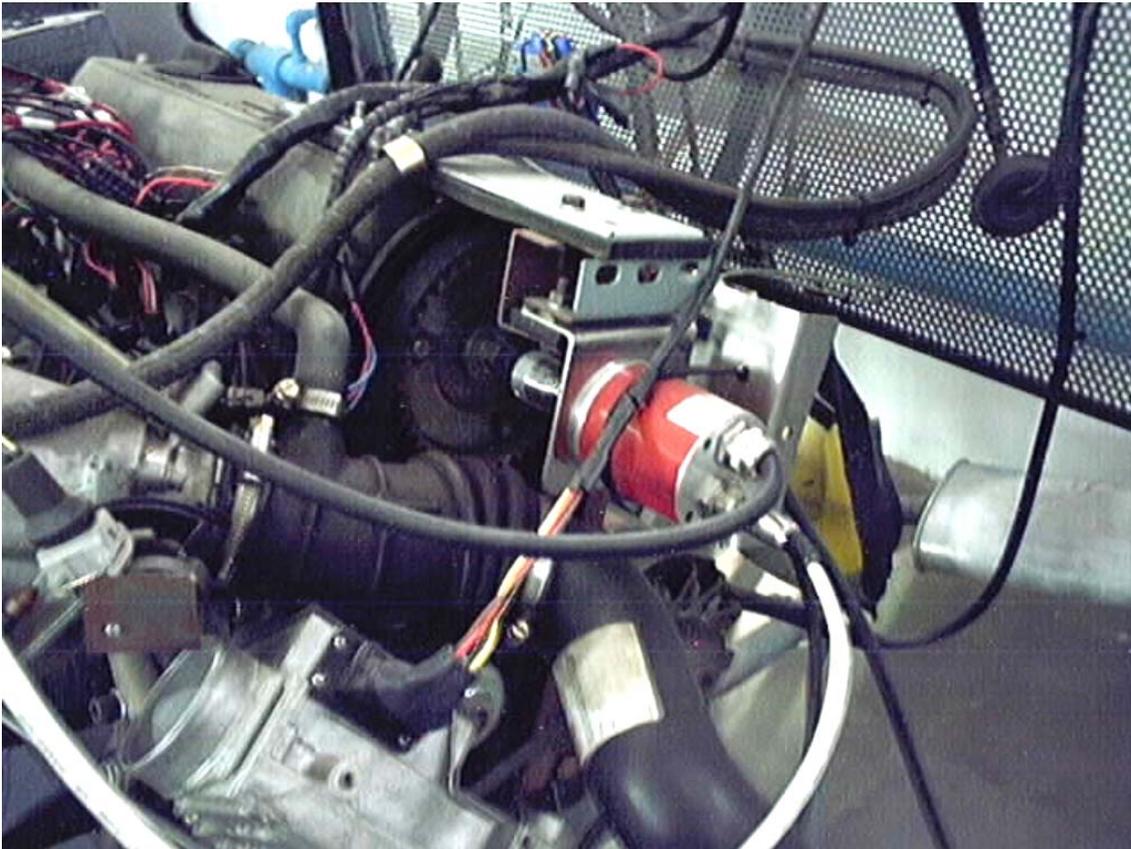


Figura 5.4: Instalación del encoder absoluto y programable.

5.1.2.4.1 Programación informática del Encoder.

La comunicación del encoder con el ordenador se realiza a través del puerto serie COM1, y su programación es relativamente sencilla utilizando el software de programación suministrado por el propio fabricante. La figura 5.5 muestra el menú principal de la programación así como los parámetros seleccionados para el encoder instalado en el sistema.

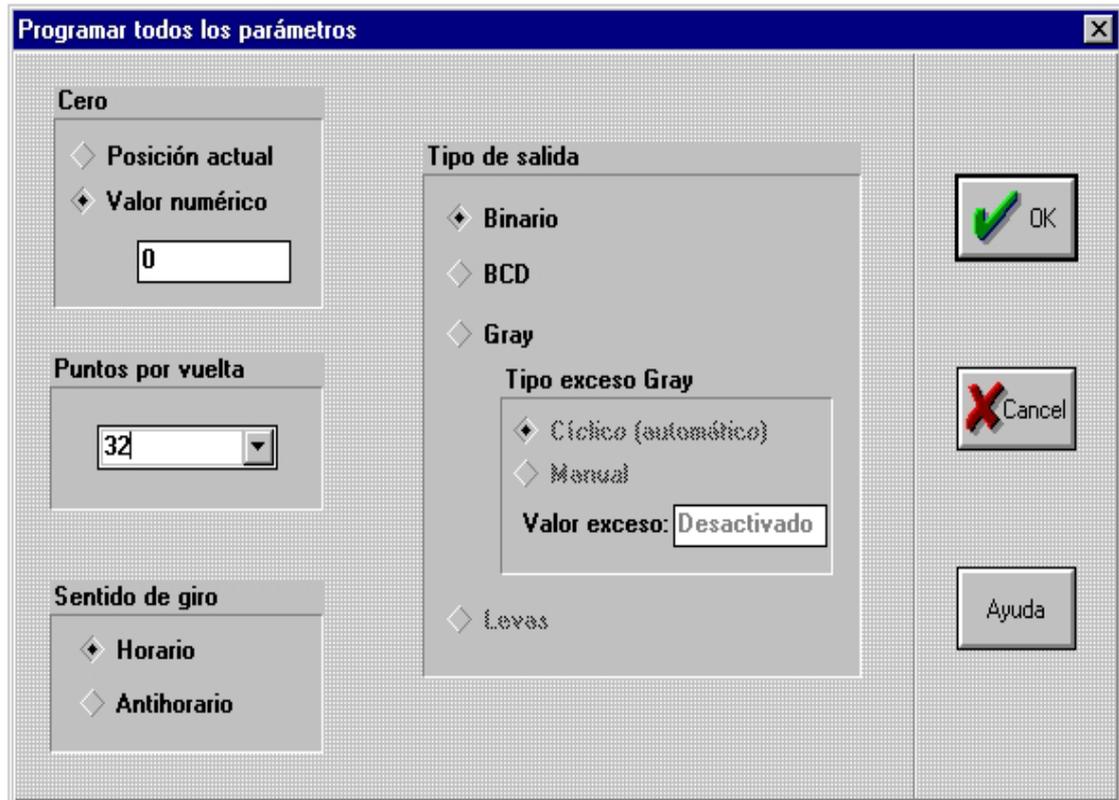


Figura 5.5: Menú principal de la programación del encoder absoluto y programable instalado en el sistema.

5.1.2.5 Instalación de un Potenciómetro en la Mariposa de Gases del Motor.

Con el objetivo de mejorar la gestión durante los transitorios del sistema de inyección no cartográfico, se instaló un potenciómetro en la mariposa de gases del motor. Este potenciómetro se alimentó con una tensión constante de 5V mediante una fuente externa, y las variaciones de tensión debidas a las diferentes posiciones de la mariposa de gases fueron enviadas hacia uno de los canales analógicos de la tarjeta de adquisición de datos instalada en el ordenador.

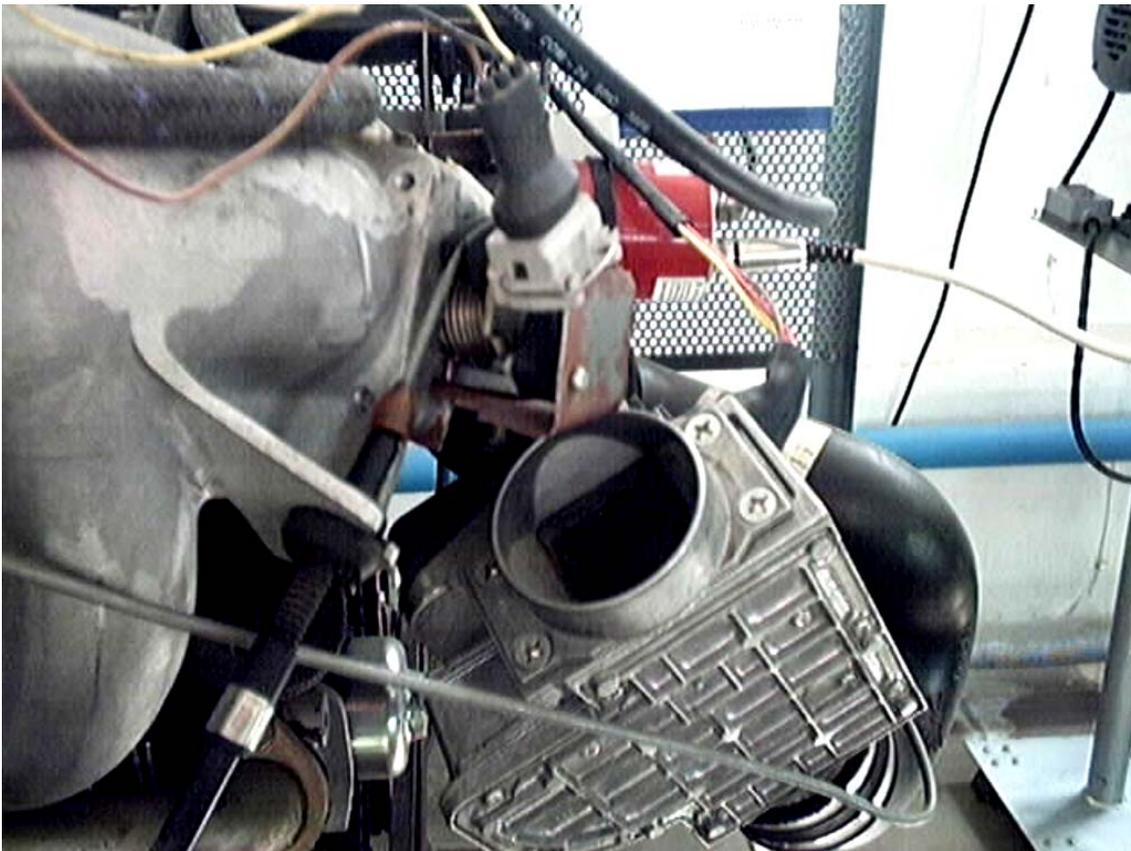


Figura 5.6: Potenciómetro instalado en la mariposa de gases del motor de pruebas.

5.1.2.6 Instalación de un Manómetro en la Rampa de Inyectores.

La cantidad del combustible inyectado tiene una relación directa con la presión de inyección (figura 3.3), por lo que para determinar la cantidad de combustible inyectado por cada inyector y en cada uno de los sistemas de inyección, fue necesario comprobar que la presión de inyección era idéntica en ambos casos. Esta comprobación tiene su justificación en el hecho de que la presión de inyección está controlada exclusivamente por el regulador de presión (figura 3.7) y este considera únicamente la depresión en el colector para su gestión, la cual fácilmente podía variar al cambiar el sistema de inyección del motor.

Durante las pruebas de calibración de los inyectores y de comparación de consumos de combustible entre ambos sistemas, sólo se consideraron aquellos estados del motor en que la lectura del manómetro instalado en la rampa de inyectores era igual para ambos sistemas.

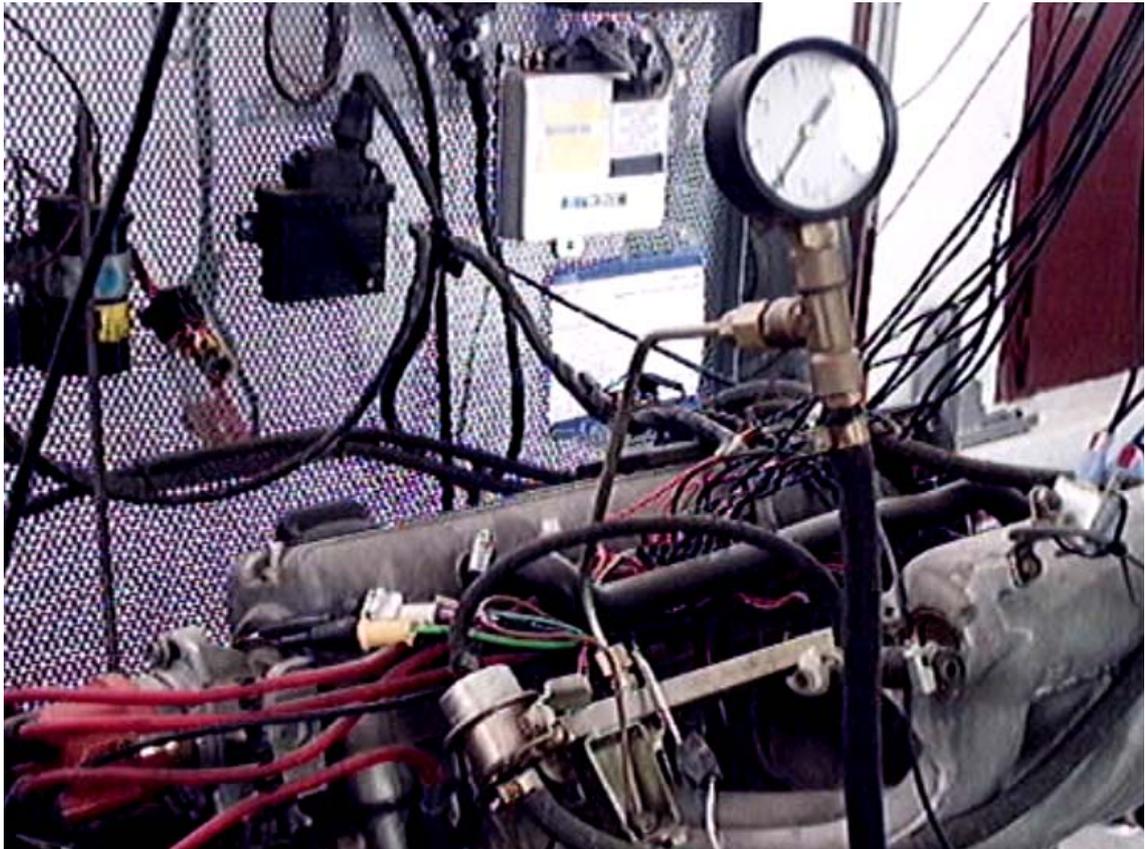


Figura 5.7: Manómetro instalado en la rampa de inyectores.

5.1.3 Equipos Auxiliares de Medición.

El banco de pruebas está equipado, además, con varios equipos auxiliares para efectuar las diferentes mediciones necesarias para la evaluación comparativa de la gestión de ambos sistemas de inyección. Todos se describen a continuación.

5.1.3.1 Medición del Consumo de Combustible.

El *consumo horario de combustible* del motor se determinó por medio del medidor TECNER modelo 236C, cuya lectura indicaba el *tiempo en segundos en que el motor consumía 100 centímetros cúbicos (c.c)* de combustible.

Con el valor leído, y aplicando (5.1) se obtiene el consumo horario, luego con (5.2) calculamos el consumo específico. Estos cálculos se utilizaron principalmente con el sistema de inyección LU-Jetronic del motor, ya que para el sistema de inyección no cartográfico se determinaron continuamente a través del software de control utilizando los datos obtenidos en la calibración de los inyectores.

$$G_h = \frac{0.7351 \cdot 3600}{t \cdot 10} \quad (5.1)$$

$$g_e = \frac{G_h \cdot 1000}{N} \quad (5.2)$$

donde:

G_h = consumo horario de combustible, en Kg / h.

t = tiempo en segundos leídos del medidor de consumo de combustible.

g_e = consumo específico de combustible, en g/Kw.h

N = potencia del motor, en Kw.

5.1.3.2 Medición de la Contaminación en los Gases de Escape.

La evaluación de la contaminación producida por los gases de escape es uno de los principales índices de evaluación de la calidad de la gestión del nuevo sistema de inyección no cartográfico instalado en el motor.

Inicialmente, la medición de ambos sistemas se efectuó con el medidor de contaminantes MOTOPLAT modelo CV-405, el cual era capaz de registrar los siguientes parámetros:

- ◆ CO, en %.
- ◆ CO₂, en %.
- ◆ HC sin quemar, en p.p.m.

La medición de estos parámetros, aunque correcta, presentaba el inconveniente de que tenía que ser visual, ya que este equipo no posee ninguna salida de comunicación analógica ó digital que permitiera su conexión con el ordenador, facilitando así la transmisión de los datos. Debido a este inconveniente se utilizó posteriormente un segundo analizador de gases de escape, el HORIBA modelo MEXA-8420, con el que se evaluaron nuevamente los siguientes parámetros:

- ◆ HC si quemar, en p.p.m.
- ◆ CO₂, en %.
- ◆ O₂, en %.
- ◆ CO(H), en %.

Este equipo, además de una mayor rapidez en las mediciones, lo cual era importantísimo para las mediciones durante los transitorios, si posee una salida analógica de los datos leídos. Esta salida se conectó directamente a los canales analógicos 4,5,6 y 7 de la tarjeta de adquisición de datos del ordenador, sincronizándose de esta forma con los restantes parámetros del motor leídos por la misma tarjeta.

5.1.4 Instalaciones Preliminares.

5.1.4.1 Monitorización de los Pulsos de Inyección.

La monitorización de los pulsos de inyección del sistema LU-Jetronic necesariamente tenía que ser visual, ya que la tarjeta de adquisición de datos sólo disponía de ocho canales analógicos y los mismos ya estaban utilizados. Para visualizar y cuantificar la duración (en milisegundos) de

los pulsos de inyección se instaló, de forma permanente, un osciloscopio HAMEG modelo HM205-2.

La instalación del osciloscopio permitió monitorizar los pulsos de inyección conectando su canal A directamente al primer inyector, mientras que el canal B se conectó al terminal 6 del sistema de inyección LU-Jetronic (figura 5.8) para visualizar las señales del ajuste del ángulo de avance al encendido. Como el osciloscopio monitorizaba permanentemente los pulsos de inyección, independientemente del sistema de inyección que estuviese conectado, se pudo comprobar la correspondencia entre los pulsos generados por el algoritmo de control y los que la etapa electrónica realmente enviaba a los inyectores cuando estaba conectado el sistema de inyección no cartográfico.

La alta impedancia de este instrumento, superior a $1M\Omega$, garantizaba una mínima interferencia electrónica en el circuito de los inyectores.

5.1.4.2 Circuito para la modificación de la señal del Caudalímetro del Motor.

Para la variación artificial de la carga a la que estaba sometido el motor se modificó la señal del caudal de aire recibida por la centralita mediante la conexión de una resistencia variable entre el terminal No 7 y masa, véase la figura 5.8. La conexión en paralelo de la resistencia lógicamente siempre disminuía el valor total de la resistencia del circuito, lo cual representaba una disminución del caudal de aire que aspiraba el motor debido a una supuesta variación de la posición de la mariposa. En consecuencia, la unidad electrónica de control disminuía el pulso eléctrico enviado a los inyectores y, por tanto, el combustible inyectado.

5.1.4.3 Variación de la señal de ajuste del Avance del Encendido del Motor.

La variación del ángulo de avance del encendido se hizo mediante la conexión del terminal N° 6 (figura 5.8) de la unidad electrónica de control al “trigger” de un generador de pulsos cuadrados; de esta forma se mantenía constante la frecuencia de estos pulsos, que eran enviados por la centralita al módulo de avance del encendido. Una vez hecha la conexión, el generador de pulsos cuadrados nos permitía variar la señal de salida, tanto la amplitud del pulso (voltios), como su duración (milisegundos). La amplitud se mantuvo constante e igual al pulso recibido, en cambio la duración se varió, y fue esta la señal que se envió al módulo de avance al encendido. Con esta conexión se pudo modificar en todo momento el instante del salto de la chispa y, por tanto, obtener el avance óptimo para lograr el máximo par sin detonación en todos los regímenes analizados.

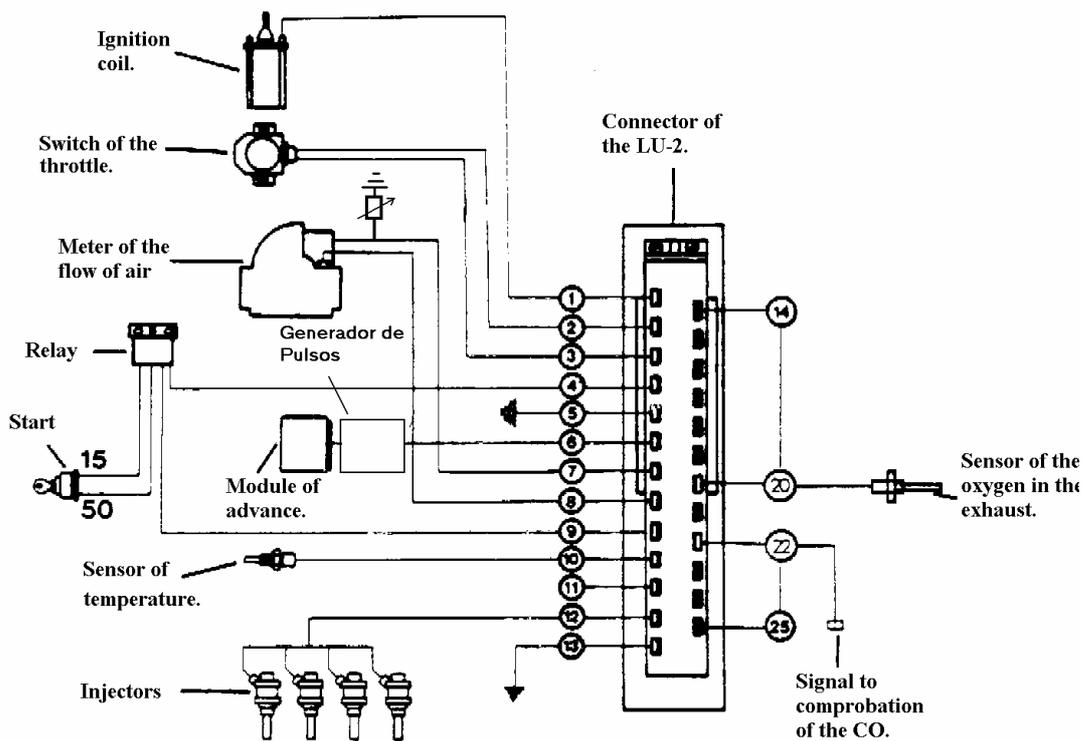


Figura 5.8: Sistema de Inyección LU-Jetronic del motor de pruebas.

Con la instalación completa anteriormente expuesta se pudo evaluar y variar los siguientes parámetros de funcionamiento del motor de pruebas:

- ◆ Duración de los pulsos de la inyección.
- ◆ Angulo de comienzo de la inyección expresado en grados antes ó después del PMS durante la carrera de admisión.
- ◆ Tren de pulsos enviado por la Unidad Electrónica de Control al Módulo de Avance del Encendido para el ajuste del Angulo de Avance al Encendido.
- ◆ Relación aire/combustible de la mezcla de trabajo.
- ◆ Consumo horario y específico de combustible.
- ◆ Presencia de CO en los gases de escape.
- ◆ Presencia de CO₂ en los gases de escape.
- ◆ Cantidad de HC en los gases de escape.
- ◆ Par entregado por el motor.
- ◆ Temperatura en °C del refrigerante del motor.

5.2 Instalación Informática para la Adquisición/Procesamiento de Datos y Gestión General del Sistema.

5.2.1 Estudio de Alternativas.

En este apartado, se hace una descripción del sistema propuesto, para luego hacer un estudio de sistemas alternativos al propuesto, justificando así la elección realizada.

5.2.1.1 Alternativas de generación de Pulsos de Inyección.

Todas las alternativas se centran en generar la señal vía software y enviarla mediante una tarjeta con canales *counter* de salida. Los canales *counter* de salida, permiten enviar pulsos de frecuencia y anchura variables en lógica TTL, a través del ordenador.

De esta manera, dicho sistema sustituiría a la parte electrónica de señal del sistema propuesto; aún así, debería continuar existiendo la parte de la electrónica de potencia, para amplificar la señal.

Una vez sentada la base del sistema, se puede pensar en tres configuraciones diferentes:

5.2.1.1.1 Tarjeta con cuatro canales counter de salida.

Dicha tarjeta puede tener 4 canales *counter* de salida, para poder enviar directamente por cada uno de ellos cada una de las 4 señales que excitan los 4 inyectores del motor.

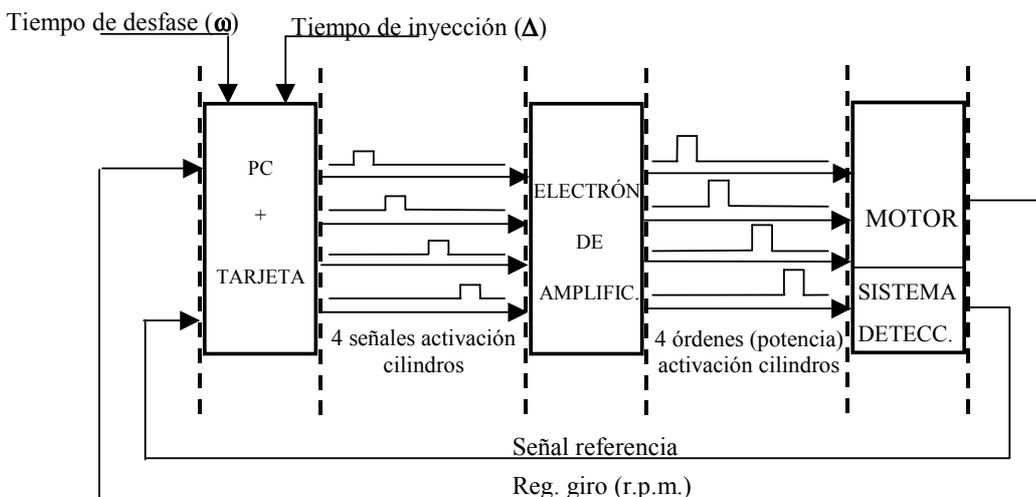


Figura 5.9: Configuración con una tarjeta de cuatro canales counter de salida.

Además de la parte electrónica de potencia, dicho sistema debe tener algún tipo de detector de referencia, con una frecuencia igual a la mitad de la del régimen de giro del cigüeñal (es decir, alternativamente cada dos vueltas) que active todo el sistema. De esta manera, para un mismo un ciclo temporal (que tiene una frecuencia igual al detector) las 4 inyectadas de los 4 cilindros deben tener los mismos valores de desfase y tiempo de inyección.

5.2.1.1.2 Tarjeta con un canal counter de salida.

Otra posibilidad es la de usar una tarjeta con un solo canal de salida *counter*, del que salen los cuatro pulsos de inyección. También es necesario la electrónica de potencia y un detector de referencia.

En este caso las cuatro señales de apertura de los cilindros salen por el mismo canal, por lo tanto hace falta un sistema electrónico que las reparta convenientemente para cada cilindro:

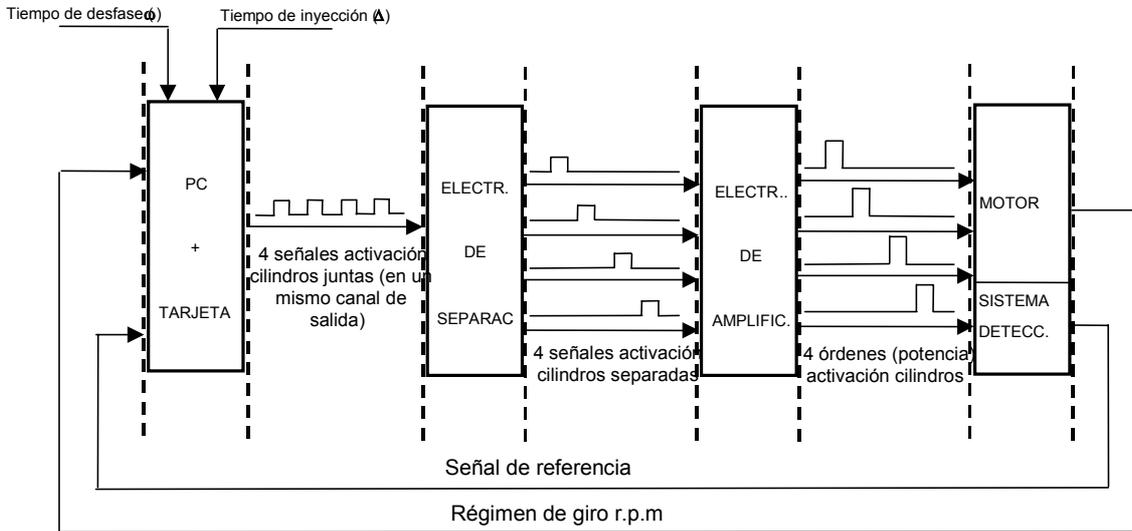


Figura 5.10: Configuración con una tarjeta de un canal counter de salida.

Pero esto tendrá una limitación importante:

- Solamente se puede inyectar durante la carrera de admisión de cada cilindro, ya que no se pueden solapar ni conteos de desfase ni inyecciones debido a que toda la información se envía por un canal:

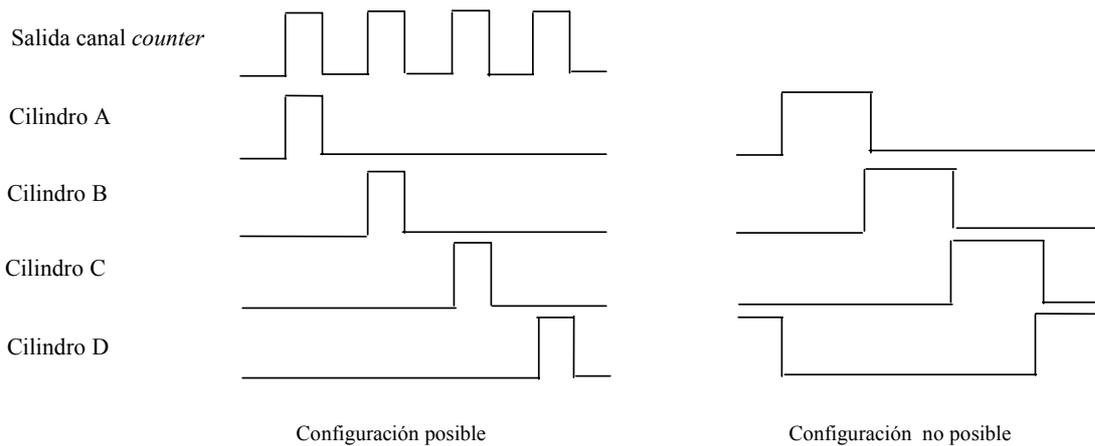


Figura 5.11: Generación de pulsos de la configuración utilizando un solo canal counter de salida.

5.2.1.1.3 Tarjeta con dos canales counter de salida.

Se puede pensar en una solución intermedia entre la de la tarjeta con cuatro canales counter y la tarjeta con un canal counter: Una tarjeta con dos canales counter.

Por cada uno de los dos canales de salida, salen dos señales de activación de inyectores, que luego hay que repartir, alternativamente, mediante dos módulos electrónicos separadores de señal.

También es necesario la electrónica de potencia y un detector de referencia.

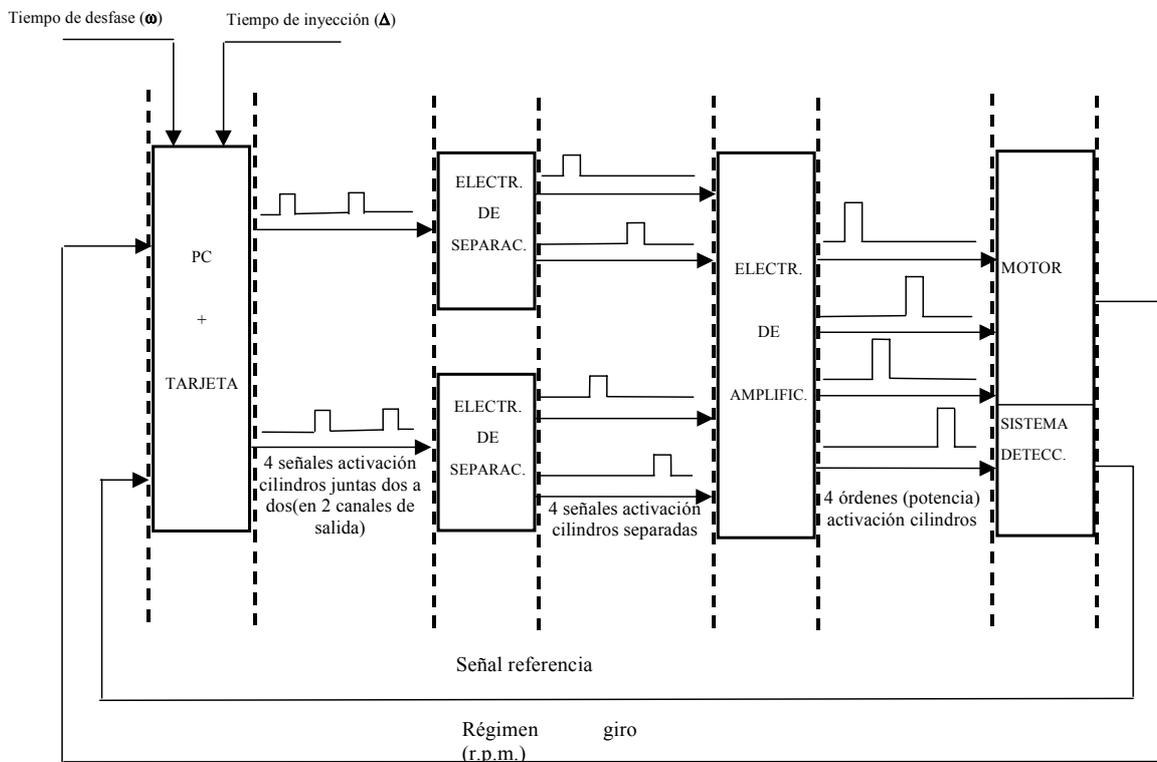


Figura 5.12: Configuración con una tarjeta de dos canales counter de salida.

En este caso, sí que existe la posibilidad de que inyecten dos cilindros a la vez.

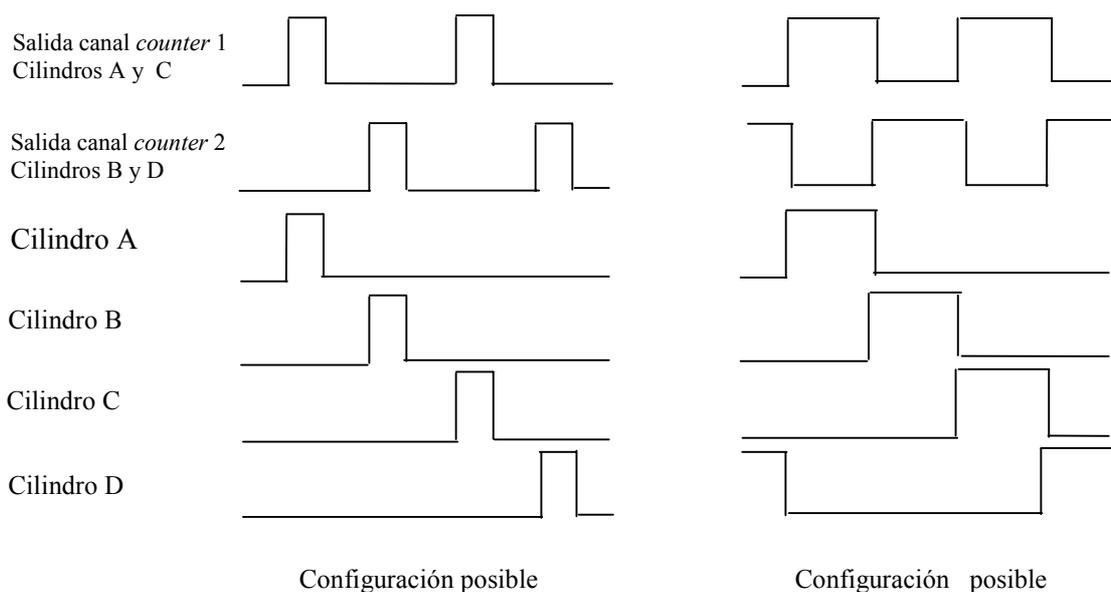


Figura 5.13: Generación de pulsos de la configuración utilizando dos canales counter de salida.

Estos sistemas alternativos, además de las limitaciones ya descritas, existen los siguientes inconvenientes:

- ◆ *Las tarjetas con varios canales counter de salida, son relativamente caras, y más cuantos más canales tengan.*
- ◆ *Los errores que puedan existir en el momento y duración de los pulsos de inyección se acumulan, ya que la generación de pulsos no es independiente en cada cilindro si no que todos dependen de la señal de actualización, que sólo actúa una vez cada ciclo (es decir, cada 2 revoluciones del cigüeñal).*

5.2.1.2 Alternativas de Detección del PMS del Motor.

En el banco de ensayo existe un encoder HAHMER 30/3602, que genera dos señales:

- 1 pulso por vuelta del cigüeñal.
- 360 pulsos por cada vuelta de cigüeñal (1 pulso cada 1°).

Para la detección de los PMS, se puede aprovechar la primera señal descrita, pero genera un pulso en cada mitad del ciclo completo. Eso significa que no queda determinado cuál de los dos cilindros que están en la misma posición (pongamos en PMS) está al principio de la carrera de admisión y cuál al principio de carrera de compresión.

En el sistema se necesitará, a lo sumo, una señal cada revolución del árbol de levas; es decir, señales alternas de las obtenidas en el encoder; por lo tanto, no es óptimo el uso de dicha señal.

También se puede pensar que la señal que da el encoder cada 1°, puede servir para calcular y referenciar el tiempo de inyección. Pero si se usa, en el peor de los casos (1000 r.p.m.) se obtendrá una resolución de 1 milisegundo, que da un error de imprecisión demasiado grande para la precisión que se pretende alcanzar.

En vista de estos análisis, se optó por la detección de los PMS para la sincronización del sistema mediante un encoder Absoluto Programable instalado en el árbol de levas, como se explicó en el punto 5.1.2.4.

5.2.2 Sistema Desarrollado.

El sistema desarrollado para el control del momento y el tiempo de inyección, está formado, básicamente por tres elementos:

- *Ordenador Intel 486 con Procesador a 75 MHz y 20 Mb de memoria RAM y Software de Control.*
- *Sistema Electrónico de Control.*
- *Sistema de detección de puntos de referencia para la Sincronización del Sistema.*

La solución desarrollada incluye un sistema electrónico de control, que cuenta pulsos de frecuencia constante para establecer una base temporal. Mediante información digital codificada y enviada desde el ordenador, la electrónica es capaz de activar cada inyector

considerando el avance de la inyección respecto del PMS (definido por medio del ordenador), y desactivarlo cuando ha pasado el tiempo deseado de inyección, después de la activación.

Así pues, el sistema electrónico contiene: un módulo contador de pulsos para determinar el momento de la activación y el de la desactivación, un módulo de reloj que genera pulsos con una frecuencia determinada, un módulo de amplificación de la señal de activación - desactivación y un módulo de alimentación. Dicha electrónica permite tratar los 4 inyectores independientemente.

En el ordenador se definen el ángulo de desfase respecto del PMS del inicio de la inyección, y diferentes parámetros de consigna, se procesa la señal de la sonda lambda y el régimen de giro del motor. Con estos parámetros y con el algoritmo de aproximación se calculan los pulsos a contar hasta la activación y hasta la desactivación, y se mandan al sistema codificados en digital a través de una tarjeta de entradas y salidas digitales.

Finalmente se necesita un sistema de detección de referencia de cada cilindro para poder activar el sistema electrónico de cuenta.

5.2.3 Requerimientos del Software de Control.

El software, transforma los valores de ancho de pulso y desfase calculados por el algoritmo en pulsos de cuenta codificados en bits. También recibe una señal analógica indicadora de régimen del motor y otra de la sonda λ . El objetivo funcional que persigue el software de control es permitir una comunicación rápida y sencilla entre el ordenador y la electrónica de control, así como enviar de forma fidedigna las consignas y parámetros definidas en el ordenador hacia la electrónica de control.

5.2.4 Interacción con otros Componentes.

El software, como ya se ha comentado, es el nexo de unión entre el ordenador y la electrónica de control. En consecuencia, interaccionará tanto con el ordenador, como con la electrónica de control. También tendrá interacción con el motor, ya que el régimen de giro del motor y la sonda lambda han de ser comunicados al software de control.

5.2.5 Visión global de la Instalación.

La instalación informática del sistema consta de dos módulos diferenciados, ambos incluidos en el ordenador, como se muestra en la figura 5.14:

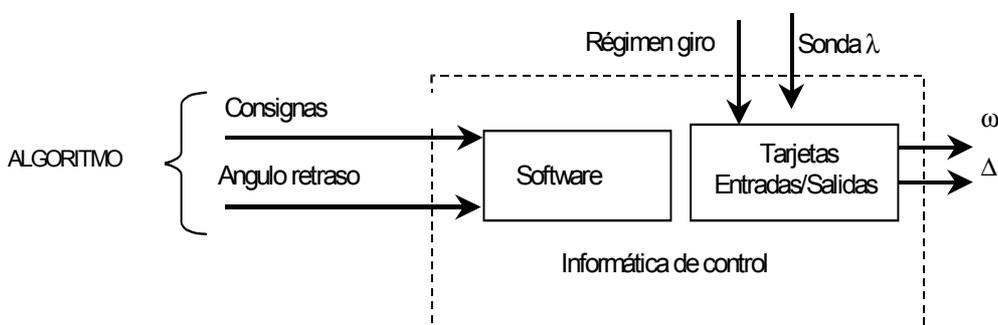


Figura 5.14: Diagrama del hardware/software de control.

Esas dos etapas podemos definir las como:

- *Programa Informático de Control.*

- *Tarjetas de Entradas/Salidas.*

Por lo tanto el software de control en función de las consignas y ajustes definidos, enviará los parámetros a la electrónica de control, y recibirá el régimen de giro del motor y el valor de la sonda lambda principalmente.

El programa informático recibe las consignas, las transforma, y las escribe en la posición de memoria que asignada al puerto de salidas digitales de la tarjeta de Entradas/Salidas digital. La adquisición del régimen del motor y la sonda lambda se han realizado mediante otra tarjeta de Entradas/Salidas (analógica/digital) diferente, ya que no se trata de una señal digital.

Así pues, se han empleado dos tarjetas (una E/S digital y otra E/S analógica/digital) disponibles en el laboratorio.

La segunda tarjeta digital es necesaria ya que, aunque la primera posee entradas y salidas digitales, las salidas digitales eran como máximo 16 bits, y se necesitaban 24, por lo que se tuvo que instalar la segunda tarjeta de hasta 48 Entradas/Salidas digitales.

El lenguaje de desarrollo de aplicaciones de adquisición y control ha sido el LabVIEW. Se ha elegido este lenguaje por los siguientes motivos:

- ◆ *Se trata de lenguaje de programación visual, lo que facilita su programación a la vez que hace más agradable su uso.*

- ◆ *Es un lenguaje especialmente diseñado para aplicaciones de adquisición y envío de datos a dispositivos externos.*

- ◆ *Es un software totalmente compatible con posteriores aplicaciones a desarrollar en la instalación.*

La primera tarjeta de Entradas/Salidas Analógica/digital, es totalmente compatible con el lenguaje de programación, de hecho LabVIEW es un lenguaje de programación desarrollado por National Instruments, y la tarjeta es de dicho fabricante.

La tarjeta de Entradas/Salidas Digitales sólo se empleó en modo escritura, y pese a no ser una tarjeta estándar de LabVIEW es compatible y no genera incompatibilidades, siendo su coste muy inferior al de cualquiera de las reconocidas por LabVIEW.

5.2.6 Programa Informático de Control.

El Programa Informático de Control procesa los datos definidos exteriormente (λ de consigna, ajustes, etc.) y los propios del funcionamiento del motor, y los coloca en las posiciones de memoria correspondientes a la tarjeta de salida. En las figuras 5.15 y 5.16 se muestra la descripción completa del Software de Control, el cual incluye el Panel Frontal y el Diagrama de Bloques, con todas sus Funciones y el Algoritmo de las ejecuciones.

5.2.6.1 Requerimientos del Programa.

El programa debe cumplir unos requerimientos básicos que son los derivados de su función dentro del sistema:

- ◆ *Variar el valor del retraso de la inyección respecto al PMS en grados y transformarlo en un número digital de 12 bits tal que, contando ese número de pasos de la señal de clock calcule el tiempo de inyección con un error máximo del tiempo que dura una señal de clock.*
- ◆ *Ajustar continuamente el tiempo de inyección en milisegundos, sumarlo al de retraso (en milisegundos) y transformarlo en un número digital de 12 bits tal que, contando ese número de pasos de la señal de clock calcule el tiempo de inyección más el de retraso con un error máximo del tiempo que dura una señal de clock.*
- ◆ *Impedir que los valores de consigna sean incompatibles con el funcionamiento de la electrónica de control: p. Ej. El tiempo de inyección ha de ser siempre como mínimo el tiempo que dura una señal de clock, o la suma del tiempo de inyección más el de retraso nunca puede sobrepasar 4096 (212) señales de clock que corresponden al máximo que se puede contar con 12 bits.*

El objetivo que se persigue con este programa es hacer un lazo realimentado, es decir, que basándose en unas señales adquiridas del motor, determine cual es el tiempo de inyección y el de retraso que desea, y se los envíe a la electrónica de control, y esta al motor.

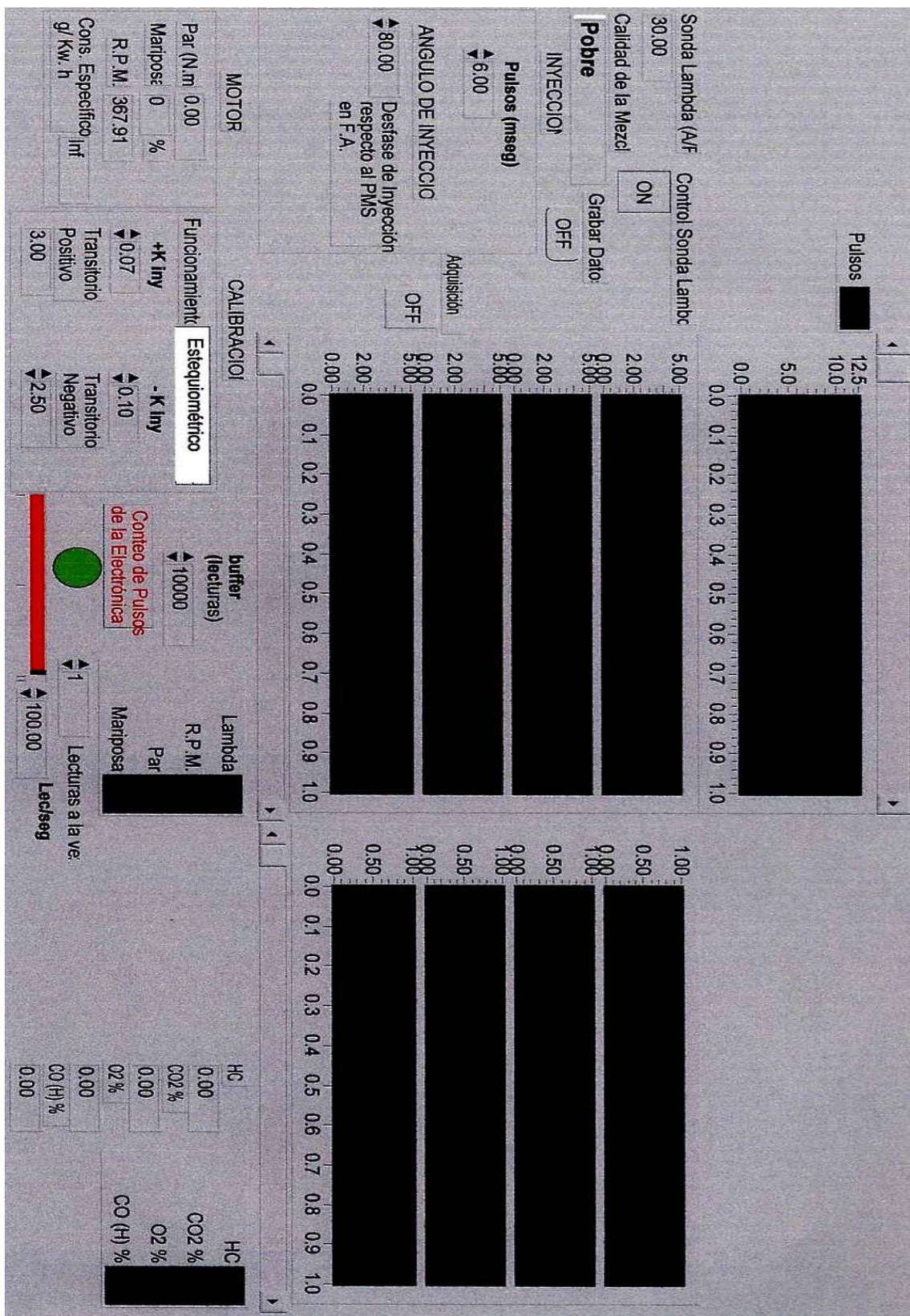


Figura 5.15: Panel Frontal de programa informático de control.

5.2.6.2 Diagrama de Entradas/Salidas.

El programa informático recibirá como entradas:

- ◆ La señal analógica de la sonda Lambda, mediante la tarjeta de Entradas/Salidas analógica/digital.
- ◆ El valor del retraso de la inyección ($^{\circ}$ del cigüeñal).
- ◆ La señal analógica del régimen de giro del motor mediante la tarjeta de Entradas/Salidas analógica/digital.
- ◆ Parámetros de funcionamiento del motor: par entregado, contaminantes y la posición de la mariposa de gases.

La figura 5.17 muestra la configuración de los ocho canales analógicos en el software de control, a través de los cuales se efectúa la adquisición de los parámetros antes mencionados.

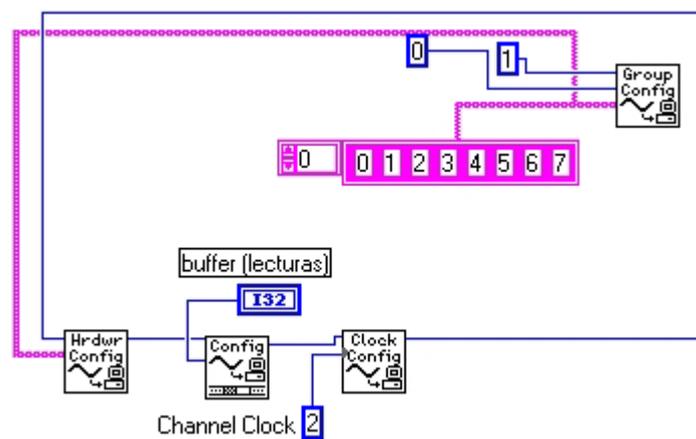


Figura 5.17: Configuración de los ocho canales de adquisición analógica.

El software, como salidas, escribirá en la posición de memoria correspondiente a la tarjeta de Entradas/Salidas digital los 24 bits del ancho de pulso y el retraso convenientemente tratados y filtrados. Además, y también como salida, el programa de control, presentará la información de los parámetros que esta escribiendo y leyendo del motor, así como aviso de la proximidad de valores prohibidos. La figura 5.18 muestra los parámetros necesarios para la gestión de la inyección del motor.



Figura 5.18: Diagrama de entradas/salidas del programa informático.

5.2.6.3 Descripción del Programa de Control.

El programa recibe, en formato decimal, los valores del tiempo de retraso en ángulo girado por el cigüeñal desde el PMS ($^{\circ}$), y los diferentes parámetros de ajuste. Desde el motor recibe el régimen de giro, la señal de la sonda lambda, la posición de la mariposa y los contaminantes. Como resultado genera un valor (también en formato decimal) del pulso de inyección, utilizando para ello un algoritmo de aproximación hacia un valor de consigna de la sonda lambda previamente fijada.

Lo primero que hace el programa es convertir el valor de retraso respecto del PMS a retraso respecto del PMI, ya que en la unidad electrónica de control se habilita la cuenta al paso del cilindro por el PMI. A continuación el programa convierte el retraso respecto al PMI de grados a tiempo (milisegundos).

Seguidamente suma al tiempo de inyección el de retraso en milisegundos, y divide el tiempo de retraso y la suma de ambos entre el periodo de la señal de clock. De esta forma el programa ya tiene el número de flancos de clock que debe contar la electrónica de control para accionar el inyector, y el número que debe contar para cerrarlo.

A continuación se convierte esos valores de decimal a binario. Los 24 bits que componen ambos números se convierten en 3 números binarios de 8 bits que contienen: el primero los 8 bits más significativos del retraso, el segundo los 4 bits menos significativos del retraso y los 4 más significativos del tiempo de inyección, y el tercero contiene los 8 bits menos significativos del tiempo de inyección. Este reparto se debe a que la tarjeta de Entradas/Salidas Digitales dispone de dos puertos de escritura de 24 bits cada uno, pero repartidos en grupos de 8 bits.

Por último se envía esos tres números de 8 bits a las posiciones de memoria de uno de los puertos de la tarjeta de Entradas/Salidas digitales.

Al principio de la ejecución del programa éste configura la tarjeta de Entradas/Salidas digitales para el modo salida. Lo hace enviando un valor determinado a una posición de memoria de la tarjeta.

Además de estas operaciones el programa advierte, mediante un indicador visual en el panel frontal, de que se está acercando al valor máximo que puede contar la electrónica de control, y si se sigue incrementando alguno de los parámetros que determinan los valores a contar (pulso y retraso de la inyección), el programa se detiene automáticamente. Tampoco permite introducir valores de tiempo de inyección inferiores al periodo de la señal de reloj.

El esquema de la figura 5.19 resume el algoritmo que sigue el sistema informático en su etapa de interacción con las tarjetas de adquisición de datos. Este algoritmo se ejecuta secuencialmente como es habitual en muchos lenguajes de programación. En el programa se han incluido dos estructuras secuenciales obligatorias, para garantizar que lo primero que se haga sea configurar la tarjeta a modo escritura, y para enviar los valores de tiempo de retraso e inyección cuando ya se hayan calculado completamente. Los pasos que se ejecutan con interacción directa con las tarjetas de adquisición de datos están señalados con la flecha sombreada.

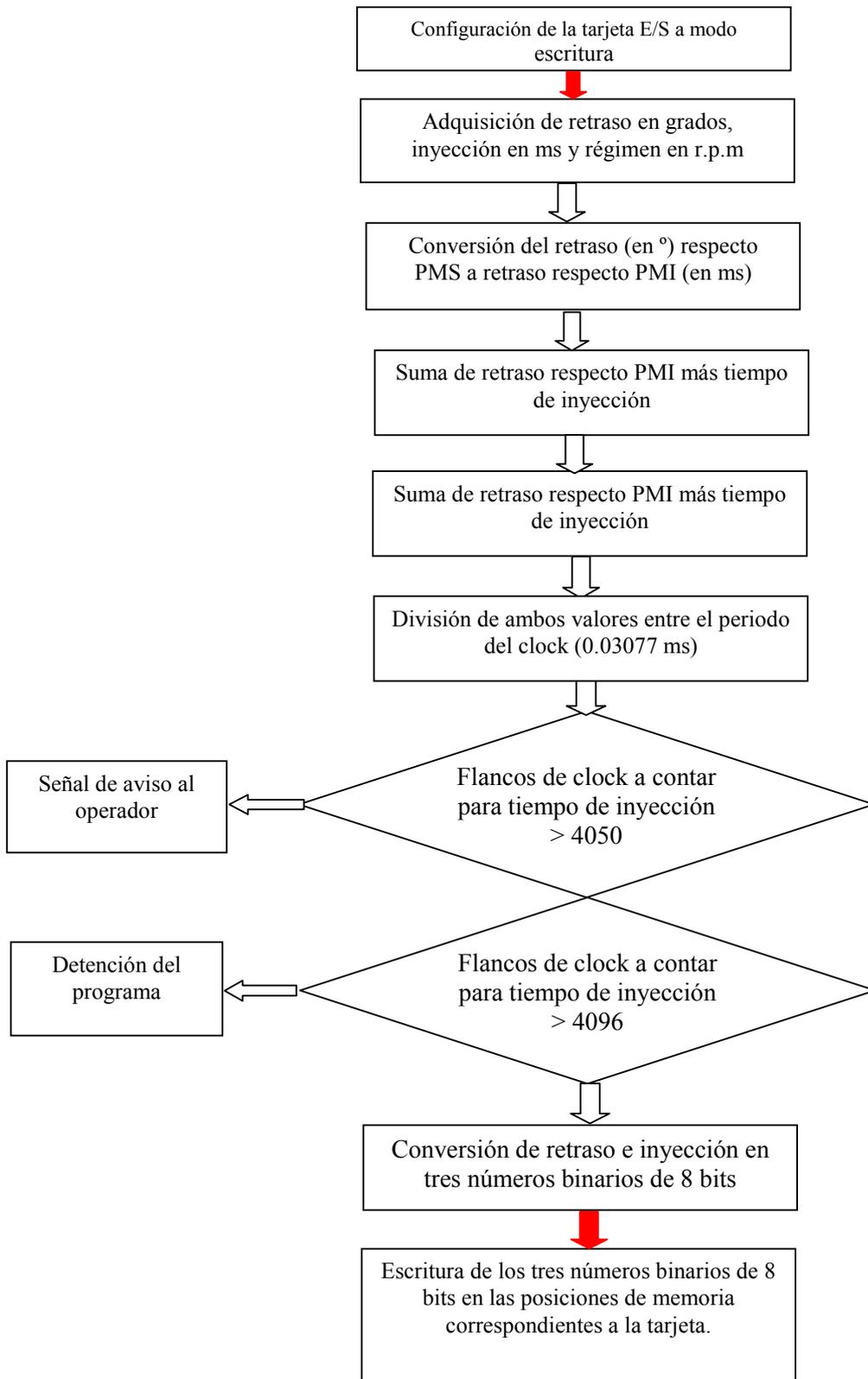


Figura 5.19: Algoritmo de ejecución de la Informática en su etapa de interacción con las tarjetas.

Más detalladamente el programa, en esta etapa, ejecuta cada una de las operaciones descritas:

- ◆ La configuración de la tarjeta a modo salida se hace enviando un número “128” a la posición de memoria del puerto que queremos configurar.
- ◆ La adquisición de retraso, tiempo de inyección y r.p.m. se hace continuamente mientras el programa se esta ejecutando.
- ◆ Para la conversión del retraso (en °) respecto al PMS a retraso (en milisegundos) respecto al PMI, en primer lugar se resta 180 a la consigna de retraso respecto PMS y así se tiene retraso respecto PMS. A continuación el valor resultante se divide entre 360 y se multiplica por 60000 y se multiplica por el régimen de giro en r.p.m.:

$$\omega(^{\circ} PMS) + 180 = \omega(^{\circ} PMI) \quad (5.3)$$

$$\omega(^{\circ} PMI) \frac{(60000)}{(360)(r.p.m.)} = \omega(msPMI) \quad (5.4)$$

donde:

Δ = ancho de pulso

ϖ = ángulo desfase

- ◆ La transformación a pulsos de clock a contar por la electrónica de control se consigue, en primer lugar sumando al tiempo de inyección en milisegundos el resultado de la operación anterior:

$$\omega(msPMI) + \Delta(ms) = \text{Tiempo a contar para la electrónica de control para el tiempo de inyección.} \quad (5.5)$$

En segundo lugar se divide tanto el valor de la operación anterior como el de retraso en milisegundos. Respecto del PMI entre el periodo de la señal de clock.

$$\frac{\varpi(msPMI)}{0.03077} = \text{Pulsos de clock a contar por la electrónica para } \varpi \quad (5.6)$$

$$\frac{\Delta + \omega(ms)}{0.03077} = \text{Pulsos de clock a contar por la electrónica para } \Delta \quad (5.7)$$

- ◆ Para la transformación de los dos valores digitales en 3 números binarios de 8 bits cada uno, en primer lugar se redondean los valores obtenidos en las operaciones anteriores. El número obtenido de redondear el valor de pulsos de reloj a contar para el tiempo de inyección se divide entre 256, del resultado de esa división el resto corresponde a los 8 bits menos significativos del tiempo de inyección. Por otra parte se divide el número obtenido de redondear el tiempo de retraso entre 16 siendo el cociente de esta operación los 8 bits más significativos del retraso. Sumando el cociente de la primera operación y el resto de la segunda obtenemos un número que, en binario, contiene los 4 bits menos significativos del retraso, y los 4 bits más significativos del tiempo de inyección.
- ◆ Por último, el envío de los 3 números de 8 bits se hace enviando cada uno de ellos a una posición de memoria correspondiente al puerto en el que serán escritos.

5.2.7 Cálculo de la Transmisión de la Información.

En este apartado se describen los cálculos que debe hacer el software de control para poder transmitir la información de desfase y tiempo de inyección a la etapa electrónica.

En el programa, la etapa de transmisión de datos debe hacer, básicamente, tres cálculos:

- ◆ Transformar la señal analógica del régimen al formato decimal de r.p.m. y, de igual forma, procesar el resto de las señales analógicas para su presentación en formato decimal en el ordenador. Estas señales las recibe de la tarjeta de adquisición National Instruments.
- ◆ Transformar los dos valores de desfase (en °), y de tiempo de inyección (en milisegundos), a los dos valores que deben contar los dos grupos de contadores, es decir, los pulsos que deben pasar desde la detección de los PMI hasta la activación, y hasta la desactivación.
- ◆ Transformar dichos valores decimales, en binario, y repartir convenientemente dichos valores binarios por las salidas de la tarjeta.

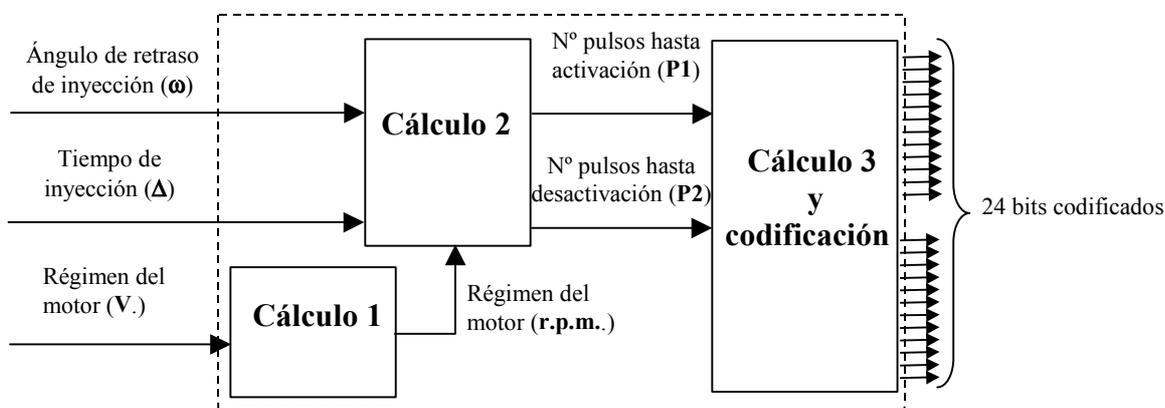


Figura 5.20: Cálculos necesarios para la codificación del avance y tiempo de inyección.

5.2.7.1 Adquisición Analógica de las R.P.M. del Motor.

El primer cálculo que se debe hacer es la conversión de la señal analógica de tensión aportada por la unidad de control SCHENCK, correspondiente a régimen del motor, a r.p.m. Para ello, se toman algunos datos de tensión, y sus correspondientes r.p.m., y se determina la relación existe entre ellos, mostrada en la figura 5.21.

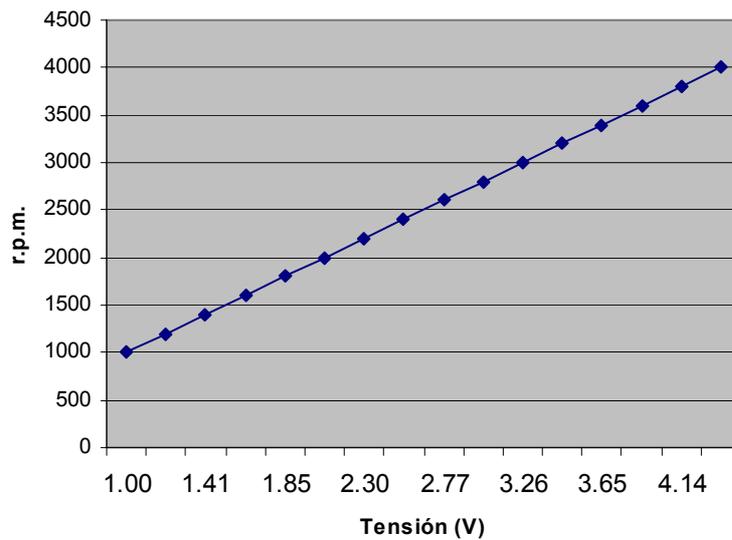


Figura 5.21: Relación entre la tensión y las r.p.m. del motor.

Observando los datos, se deduce que la correspondencia entre tensión y r.p.m. es lineal. Ajustando a una recta de regresión:

$$r.p.m. = 142,51 + 887,73.V \quad (5.8)$$

Correlación lineal = 99,98%

Covarianza=1021

La función (5.8) se aplicó al programa para calcular las r.p.m. en función de la tensión, como se aprecia en la figura 5.22. En este caso, el valor de la tensión se lee por el canal No 1.

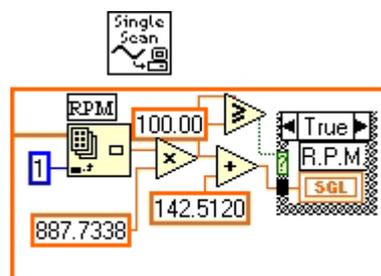


Figura 5.22: Adquisición analógica de las r.p.m. del motor en el software de control.

5.2.7.2 Adquisición Analógica de la λ , el Par y la Posición de la Mariposa.

Sonda Lambda.

Para la adquisición analógica de la sonda lambda se utilizaron los mismos datos de relación tensión vs relación aire/combustible suministrados por el fabricante, figura 3.23.

Utilizando funciones propias del software de control primero se realizó un análisis de regresión, posteriormente el valor leído por el canal N° 0 (tensión) se interpoló con el análisis de regresión mediante la función “Interpolate 1D Array”, obteniendo la relación aire/combustible. La figura 5.23 muestra estas funciones del software de control.

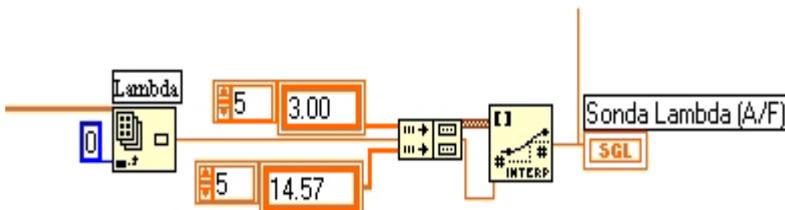


Figura 5.23: Configuración de la lectura analógica de la sonda lambda en el software de control

Par entregado por el motor.

La lectura del par entregado por el motor se realizó a través del canal analógico N° 2 (figura 5.24). En este caso no fue necesario ningún análisis de regresión ya que se conocía (de trabajos previos) la calibración exacta del mismo, o sea, cada voltio leído correspondía a 20 Nm. La única implementación matemática necesaria en el software fue precisamente la multiplicación de los valores de tensión leídos por 20.

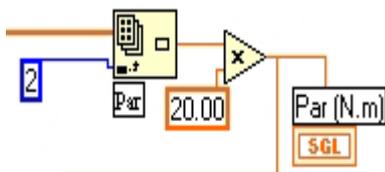


Figura 5.24: Configuración de la lectura analógica del par entregado en el software de control

Posición de la Mariposa de Gases del motor.

La lectura de la posición de la mariposa de gases del motor se realizó a través del canal analógico N° 3 (figura 5.25).

Experimentalmente se determinaron 10 posiciones de abertura de la mariposa de gases (cada 10% de abertura) y los correspondientes valores de tensión en el potenciómetro para cada una de estas posiciones. Posteriormente se introdujeron estos valores en una función de interpolación del software de control (Interpolate 1D Array), de manera que el sistema reconoce en todo momento la posición de la mariposa así como su abertura respecto a la posición anterior. Si la abertura de la mariposa es mayor de un 8 % respecto a su posición anterior, indica al sistema un transitorio positivo.

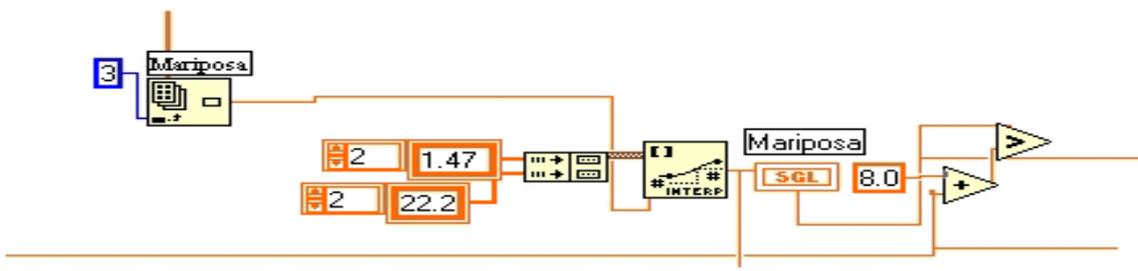


Figura 5.25: Configuración de la lectura analógica de la posición de la mariposa de gases en el software de control.

La figura 5.25 muestra la función “Interpolate 1D Array” del software de control utilizada para el seguimiento continuo de la posición de la mariposa de gases del motor así como la detección de posibles aberturas mayores que 8 % respecto a la anterior.

5.2.7.3 Adquisición Analógica de los Contaminantes.

La figura 5.26 muestra las funciones utilizadas en el software de control para escanear a través de los canales analógicos 4,5,6 y 7. Se presenta también la conversión matemática de cada una de las señales para obtener finalmente el valor real de dichos contaminantes y su presentación numérica y gráfica en el monitor del ordenador.

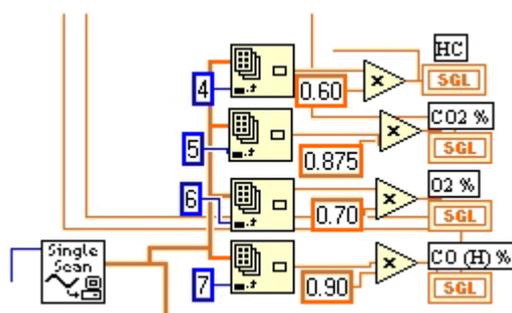


Figura 5.26: Configuración de la lectura analógica de los contaminantes del motor en el software de control.

5.2.7.4 Transformación de las Entradas en Pulsos de Cuenta.

Para el segundo cálculo se debe transformar el ángulo de retraso (ω) a tiempo de retraso, con el régimen ya calculado:

$$(\omega^\circ + 180^\circ) \cdot \frac{1 \text{ rev}}{360^\circ} \cdot \frac{1 \text{ min}}{(\text{r.p.m.}) \text{ rev}} \cdot \frac{6 \cdot 10^4 \text{ ms}}{1 \text{ min}} = R1 \text{ ms} \quad (5.9)$$

Una vez se tiene el retraso y tiempo de inyección en milisegundos desde la detección del PMI, se debe calcular el tiempo de cuenta hasta la activación (R1), y el tiempo de cuenta hasta la desactivación (R1+Δ).

Finalmente estos valores deben ser transformados a pulsos de cuenta:

$$R_1 (\text{ms}) \cdot \frac{1 \text{ pulso}}{0.03077 \text{ ms}} = P_1 \quad \text{Pulsos hasta la activación.} \quad (5.10)$$

$$R_1 + \Delta (\text{ms}) \cdot \frac{1 \text{ pulso}}{0.03077 \text{ ms}} = P_2 \quad \text{Pulsos hasta la desactivación.} \quad (5.11)$$

5.2.7.5 Codificación.

Para codificar en binario los valores de pulsos de cuenta, se deben conocer las salidas de la tarjeta.

La tarjeta, se puede configurar para escritura de hasta 48 bits. Dichos bits se pueden escribir en dos puertos de 24 bits cada uno, agrupados en tres valores de 8 bits cada uno. Así pues, para cada uno de los dos puertos, tenemos las salidas PA, PB y PC, cada una de 8 bits (de PA0 a PA7, de PB0 a PB7 y de PC0 a PC7). La tarjeta necesita los tres valores decimales y ella misma los codifica.

Se necesitan codificar dos valores en 12 bits, es decir, un total de 24 bits. Lo mejor para estos requerimientos es utilizar un puerto de la tarjeta (24 bits). Hay que transmitir a la tarjeta tres valores cuya codificación corresponda a los 24 bits que nos interesan.

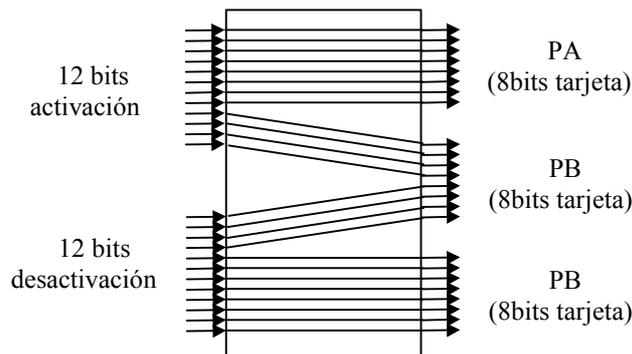


Figura 5.27: Transformación de los 12+12 bits de activación-desactivación a los 3 valores binarios de salida de la tarjeta.

5.2.7.5.1 Salida Digital PA.

El valor de los 8 bits de PA, será el de los 8 bits más significativos de activación. Deben desaparecer los 4 bits menos significativos de activación. Esos 8 bits corresponden al cociente del valor de activación $\frac{P1}{2^4}$. De manera que el valor final de PA en decimal, será:

$$PA = \text{Cociente} \frac{P1}{16} \quad (5.12)$$

5.2.7.5.2 Salida Digital PB.

Los 4 bits más significativos corresponden a los 4 menos significativos de P1, que son el resto de la división anterior $\frac{P1}{16}$.

Los 4 bits menos significativos de PB son los 4 más significativos del valor de desactivación (P2), que se pueden calcular como el cociente de $\frac{P2}{2^8}$.

Para unir los valores descritos, hace falta multiplicar por 24 el valor de los 4 bits más significativos de PB y sumarle el valor de los menos significativos. Así pues, el valor final de PB en decimal es:

$$PB = \text{Re sto} \left(\frac{P1}{16} \right) \cdot 16 + \text{Cociente} \left(\frac{P2}{256} \right) \quad (5.13)$$

5.2.7.5.3 Salida Digital PC.

Finalmente, el valor de los 8 bits de PC, es el de los 8 bits menos significativos de desactivación (P2). Deben desaparecer los 4 bits más significativos de desactivación. Esos 8 bits son el resto del valor de activación $\frac{P2}{2^8}$. De manera que el valor final de PC en decimal, es:

$$PC = \text{Re sto} \left(\frac{P2}{256} \right) \quad (5.14)$$

Tal como se ha comentado, la tarjeta decodifica los valores de PA, PB y PC a binario para enviarlos al módulo electrónico.

Por último, cabe destacar que en el software de control se asegura siempre que $P2 > P1$, y que $\omega > -170^\circ$, a través de funciones de *coerción* propias del mismo.

5.2.8 Sistema para la Adquisición y Procesamiento de Señales Analógicas.

Para la adquisición y procesamiento de las señales analógicas fue necesaria la instalación del lenguaje de programación LabView, con la interfaz NI-DAQ en el ordenador del sistema, para el procesamiento de las señales de entrada (contador y analógicas) y salida (digitales y analógicas), y el control de ambas tarjetas de adquisición de datos.

Posteriormente se instaló una tarjeta de adquisición de datos National Instruments, en el ordenador del sistema para el procesamiento de las señales analógicas de entrada, la cual es automáticamente reconocida por el panel de control de Windows gracias al interfaz NI-DAQ.

5.2.8.1 Tarjeta de Entradas/Salidas Analógica/Digital (Tarjeta de Entrada).

La tarjeta de Entradas/Salidas Analógica/Digital es la que se ha utilizado para adquirir la señal de régimen de giro del motor, la sonda lambda, la posición de la mariposa, el par entregado y los contaminantes. En consecuencia, a efectos de la gestión de la inyección, sólo se emplea en modo entrada (o lectura), por lo que en lo sucesivo, y para simplificar, se denominará Tarjeta de Entrada.

5.2.8.1.1 Requerimientos de la Tarjeta.

El requerimiento básico de la tarjeta de entrada es que ha de ser capaz de adquirir las señales analógicas de tensión con los parámetros procedentes del motor. Esto lo debe hacer con total compatibilidad con LabVIEW.

La tarjeta, además, permitió la adquisición y escritura de otras señales, analógicas, digitales y counter, que se emplearon durante las pruebas preliminares y la calibración de los inyectores.

5.2.8.1.2 Descripción de la Tarjeta.

La tarjeta de entrada es un módulo electrónico que se conecta directamente en cualquiera de los puertos IDE de la placa del ordenador. La tarjeta, en este caso esta totalmente controlada por un driver específico de LabVIEW (NI-DAQ), ya que la tarjeta ATMIO16F5 es reconocida por LabVIEW. En consecuencia para esta tarjeta no es necesario posicionar en memoria ningún valor, simplemente se precisa indicar al driver NI-DAQ que se ha instalado un nuevo dispositivo y las operaciones hacerlas sobre éste.

Esta tarjeta tiene multitud de funciones, sin embargo, para gestionar la inyección de combustible, sólo se emplea la adquisición analógica a través de sus ocho canales.

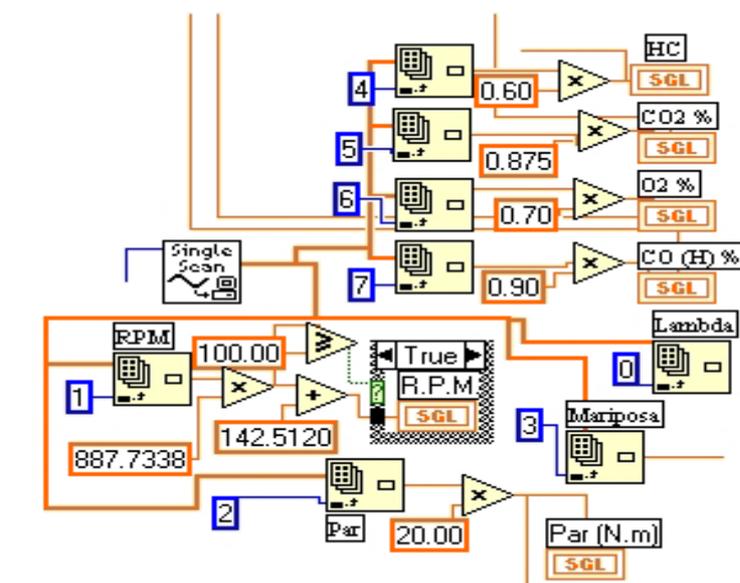


Figura 5.28: Adquisición analógica de los parámetros del motor por el software de control.

La figura 5.28 muestra las funciones de LabVIEW empleadas en el software de control para la adquisición y procesamiento matemático de todas las señales analógicas que se leen del motor de pruebas. Previamente, en la figura 5.13, se mostró la configuración previa y necesaria de los canales analógicos.

5.2.8.1.3 Configuración de la Tarjeta.

La tarjeta, como ya se ha comentado, se ha configurado automáticamente mediante NI-DAQ, en el cual simplemente se ha tenido que seleccionar el modelo de la tarjeta NATIONAL INSTRUMENTS AT-MIO-16F5, y se ha numerado como el dispositivo 1. El propio NI-DAQ se encarga de configurar el resto de los parámetros automáticamente, una vez que la haya reconocido.

5.2.9 Sistema para la Escritura Digital.

La transmisión de los datos del ordenador hacia la *electrónica de control* es completamente digital, por lo que fue necesaria la instalación de una tarjeta de adquisición de datos modelo DCI SmartLab 8255 I/O, en el ordenador del sistema para el procesamiento de las señales digitales de salida.

5.2.9.1 Tarjeta de Entradas/Salidas Digital (Tarjeta de Salida).

La tarjeta de Entradas/Salidas Digital es la que se ha utilizado para enviar los valores de consigna de retraso y tiempo de inyección a la electrónica de control. En consecuencia, sólo se emplea en modo salida (o escritura), por lo que en lo sucesivo, y para simplificar, se denominará Tarjeta de Salida.

5.2.9.1.1 Requerimientos de la Tarjeta.

El requerimiento básico de la tarjeta de salida es que ha de ser capaz de posicionar simultáneamente los 24 bits de las consignas enviados desde el programa de control en uno de sus dos puertos de 24 bits. Todo ello lo debe hacer con total compatibilidad con LabVIEW.

5.2.9.1.2 Descripción de la Tarjeta.

La tarjeta de salida es un módulo electrónico que se conecta directamente en cualquiera de los puertos IDE de la placa del ordenador. La tarjeta recibe las señales de control desde unas posiciones de la memoria del ordenador seleccionable mediante unos conmutadores de la propia tarjeta. En la solución adoptada los conmutadores se encuentran en la posición de la figura 5.29, a lo que corresponden las posiciones de memoria que más adelante se detallarán.

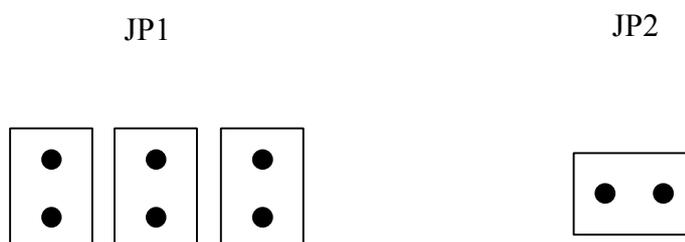


Figura 5.29: Configuración de los pins de la tarjeta de salida digital.

La tarjeta dispone de dos puertos de 24 bits cada uno configurables para entrada salida. Dichos puertos se subdividen en tres grupos de 8bits cada uno. Esos grupos de 8 bits no son divisibles, es decir, que la tarjeta trabaja con grupos de 8 bits, y no se puede modificar un bit individualmente.

5.2.9.1.3 Configuración de la Tarjeta.

Las posiciones de memoria de control y configuración de la tarjeta son las de la tabla siguiente:

	PUERTO 1	PUERTO 2
Primeros 8 bits	768	772
Segundos 8 bits	769	773
Terceros 8 Btis	770	774
Configuración puerto	771	775

Tabla 5.2: Configuración de las posiciones de memoria de la tarjeta de salida.

Se puede comprobar que las posiciones de memoria de la tabla 5.2 correspondiente al puerto N°2 coinciden con las del software de control, mostradas en la figura 5.30.

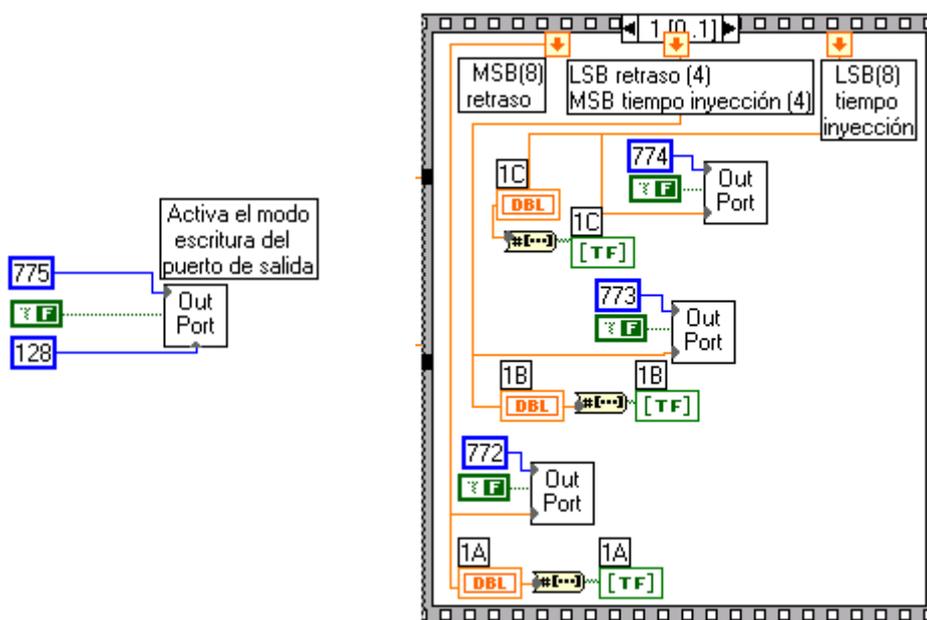


Figura 5.30: Configuración por software de la tarjeta de salida.

En la posición de memoria 775 se configura el puerto para escritura mandando un 128. A las posiciones 774, 773, 772 se envían las consignas de tiempo de retraso y de inyección apropiadamente tratadas.

La tarjeta, debe ser configurada para escritura, sólo una vez al principio de la ejecución del programa.

La tarjeta recibe las consignas como se ha detallado, y da como salida tensión de 0V o 5V en los pins del puerto correspondientes. La configuración de los pins del puerto utilizado son los de la figura 5.31:



Figura 5.31: Configuración de la Salida de la Tarjeta.

PUERTO 2				
1	GND		21	PC7
2	GND		22	PC6
3	GND		23	PC5
4	GND		24	PC4
5	GND		25	PC0
6	GND		26	PC1
7	GND		27	PC2
8	GND		28	PB7
9	GND		29	PC3
10	GND		30	PB6
11	GND		31	PB0
12	GND		32	PB5
13	PA0		33	PB1
14	PA1		34	PB4
15	PA2		35	PB2
16	PA3		36	PB3
17	PA4		37	+5V
18	PA5		38	-5V
19	PA6		39	+12V
20	PA7		40	-12V

Tabla 5.3: Configuración de los pins del puerto de salida utilizado.

Sin embargo, la posición de los bits en el conector procedente de la electrónica de control no coincide con la de los pins de la tarjeta, por lo que se ha intercalado un conector DB25 que además permite conectar la electrónica de control al ordenador de forma rápida y sencilla. Es en ese conector donde se ha aprovechado para ordenar la posición de las señales como se ve en la figura 5.32.

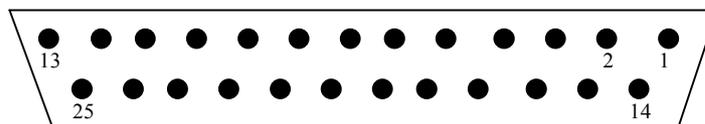


Figura 5.32: Conector DB25 Hembra.

DB25 HEMBRA				
1	$\omega 8$		14	$\omega 9$
2	$\Delta 1$		15	$\omega 4$
3	$\Delta 0$		16	$\omega 5$
4	$\Delta 5$		17	$\omega 0$
5	$\Delta 4$		18	$\omega 1$
6	$\Delta 9$		19	GND
7	$\Delta 8$		20	$\Delta 10$
8	$\omega 3$		21	$\Delta 11$
9	$\omega 2$		22	$\Delta 6$
10	$\omega 7$		23	$\Delta 7$
11	$\omega 6$		24	$\Delta 2$
12	$\omega 11$		25	$\Delta 3$
13	$\omega 10$			

Tabla 5.4: Configuración de los pins del conector DB25 de salida del ordenador.

El esquema de la figura 5.33 muestra la ordenación que se ha llevado a cabo en el cable plano que une la tarjeta con el DB25 justo antes de llegar a este:

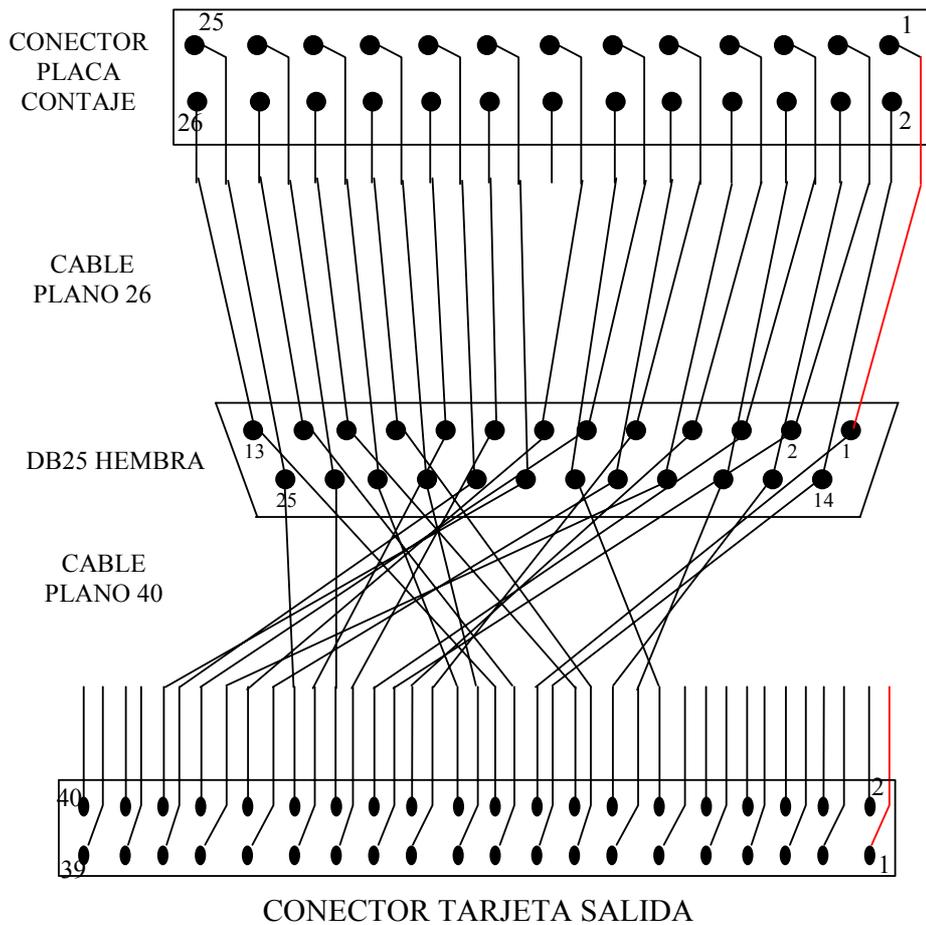


Figura 5.33: Esquema de ordenación en el DB25.

La tabla asociada al esquema de la figura 5.33 es la siguiente:

Conector tarjeta salida	Conector DB25	Placa contaje (electrónica)	Señal
1	-	-	-
2	-	-	-
3	-	-	-
4	-	-	-
5	-	-	-
6	-	-	-
7	-	-	-
8	-	-	-
9	-	-	-
10	-	-	-
11	-	-	-
12	19	12/14	GND
13	16	6	$\omega 5$
14	15	4	$\omega 4$
15	10	20	$\omega 7$
16	11	22	$\omega 6$
17	14	2	$\omega 9$
18	1	1	$\omega 8$
19	12	24	$\omega 11$
20	13	26	$\omega 10$
21	22	19	$\Delta 6$
22	23	21	$\Delta 7$
23	5	9	$\Delta 4$
24	4	7	$\Delta 5$
25	2	3	$\Delta 1$
26	3	5	$\Delta 0$
27	8	16	$\omega 3$
28	24	23	$\Delta 2$
29	9	18	$\omega 2$
30	25	25	$\Delta 3$
31	18	10	$\omega 1$
32	7	13	$\Delta 8$
33	17	8	$\omega 0$
34	6	11	$\Delta 9$
35	21	17	$\Delta 11$
36	20	15	$\Delta 10$
37	-	-	-
38	-	-	-
39	-	-	-
40	-	-	-

Tabla 5.5: Valores asociados entre el conector DB25 y el conector de la tarjeta de salida.