

5.3 Sistema de la Electrónica de Control.

La etapa electrónica recibe la información procedente del ordenador a través de una tarjeta de salida de datos digital, y procesa esa señal de manera que genera en 4 bornes la señal que tendrá que abrir y cerrar secuencialmente cada uno de los inyectores. Para ello además de recibir la información del ordenador tiene que recibir una señal que indique el momento de paso por el Punto Muerto Inferior al comienzo del escape de cada cilindro.

La señal generada por la electrónica es llevada a cada uno de los inyectores que se abrirá y/o cerrará adecuadamente.

5.3.1 Descripción.

El sistema se ha implementado con el objetivo de realizar el control de la inyección. Para ello es capaz de recibir de un ordenador una consigna de ángulo de retraso del instante de inicio de la inyección, así como el tiempo de inyección y procesar esa información de tal forma que los inyectores del motor trabajen con esos parámetros.

El sistema está compuesto por tres subsistemas, los cuales podríamos definirlos como:

- *Subsistema de adquisición de datos.*
- *Subsistema de procesamiento de datos.*
- *Subsistema de inyección electrónica.*

El siguiente esquema muestra la disposición de estos elementos así como su funcionamiento en conjunto.

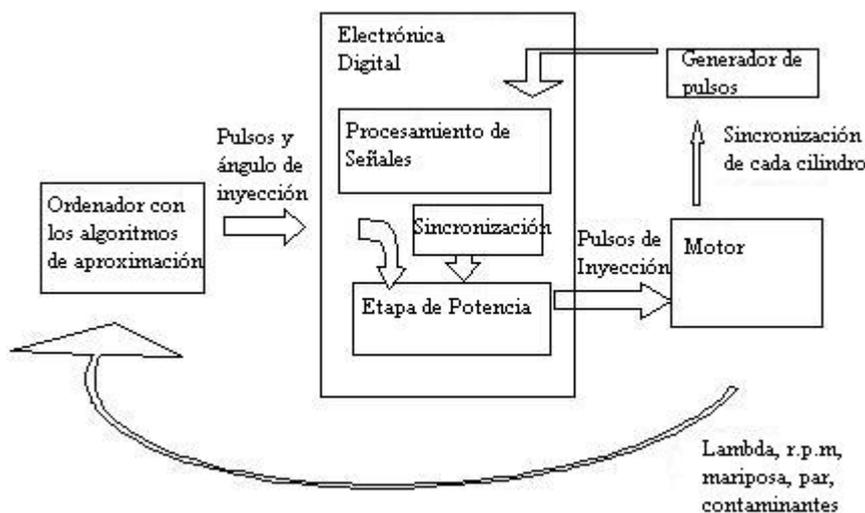


Figura 5.34: Integración de la Electrónica en el sistema.

Como se explica gráficamente en la figura 5.34, el generador de pulsos de sincronización envía su señal al módulo electrónico digital, el cual en función de los datos recibidos del ordenador (magnitud e instante de inicio de los pulsos), los envía a los inyectores individualmente. En el caso de que el régimen del motor lo exija, es posible el solapamiento de los pulsos, o sea, comenzar una nueva inyección en otro cilindro sin haber terminado aún la anterior.

5.3.2 Requerimientos Generales.

El objetivo de este componente es controlar de forma precisa y sencilla los dos parámetros fundamentales de la inyección de combustible en motores alternativos de combustión interna de 4 tiempos: ángulo de retraso o avance de la inyección respecto al punto muerto superior en fase abierta de un cilindro, y el tiempo de inyección.

El hecho es que con los modernos sistemas de inyección de los motores actuales resulta imposible acceder al control de estos parámetros, y sólo el fabricante de la Unidad de Control Electrónico tiene acceso a ellos.

Los requerimientos que se exigen al sistema electrónico son los siguientes:

- Una solución fiable desde el punto de vista constructivo.
- Nivel de precisión acorde con las exigencias del sistema.
- Capacidad de controlar independientemente cada cilindro, y con libertad tanto el tiempo de retraso de la inyección, como el tiempo de inyección.
- Un sistema versátil y adaptable a diferentes motores.
- El mínimo coste posible.

Para su correcto funcionamiento, el sistema necesita recibir una señal que indique el paso por el punto muerto inferior en escape de cada cilindro. Así pues, además de la señal proveniente del encoder programable, necesitará las señales de los tiempos de inyección y retraso para que el sistema pueda funcionar.

El sistema además de esas señales y consignas necesita de otros dispositivos como es una alimentación a 12 Vcc. En nuestro caso se alimentó directamente del sistema de inyección del motor, de esta manera se mantenía exactamente constante la tensión de alimentación de los inyectores cuando estuviesen gestionados por uno u otro sistema. Esta tensión de alimentación es especialmente importante ya que de ella depende (junto con la presión de inyección) el caudal de combustible inyectado. La figura 5.35 muestra esquemáticamente la solución adoptada.

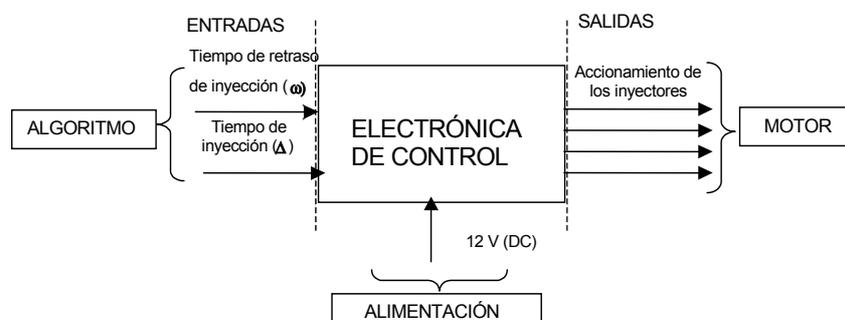


Figura 5.35: Diagrama de Entradas/Salidas de la Electrónica de Control.

5.3.3 Visión Global de la Etapa Electrónica.

Antes de describir detalladamente la etapa se muestra una visión global que permitirá situar y nombrar los diferentes componentes de la electrónica de control.

Como se verá a continuación, este sistema consta de tres etapas muy diferenciadas, y con funciones propias cada una. De hecho la información fluye de una etapa a otra por orden.

La interacción con el sistema se realiza mediante un ordenador con el software apropiado instalado. Este ordenador, por lo tanto, es el encargado de enviar la consigna de tiempo de retraso y tiempo de inyección impuestos por el algoritmo de aproximación. De igual forma, será el encargado también de transformar esas consignas en información comprensible para la siguiente etapa que es la electrónica.

En el motor, a su vez, hay dos dispositivos auxiliares extras que son:

- ◆ *Un conmutador que permite cambiar el modo de comando de la inyección, esto es, de inyección comandada por la centralita a inyección comandada por el sistema;*
- ◆ *Encoder Absoluto Programable encargado de generar una señal binaria que indica el paso por el Punto Muerto Inferior en escape de cada cilindro.*

La figura 5.36 resume este flujo de información:

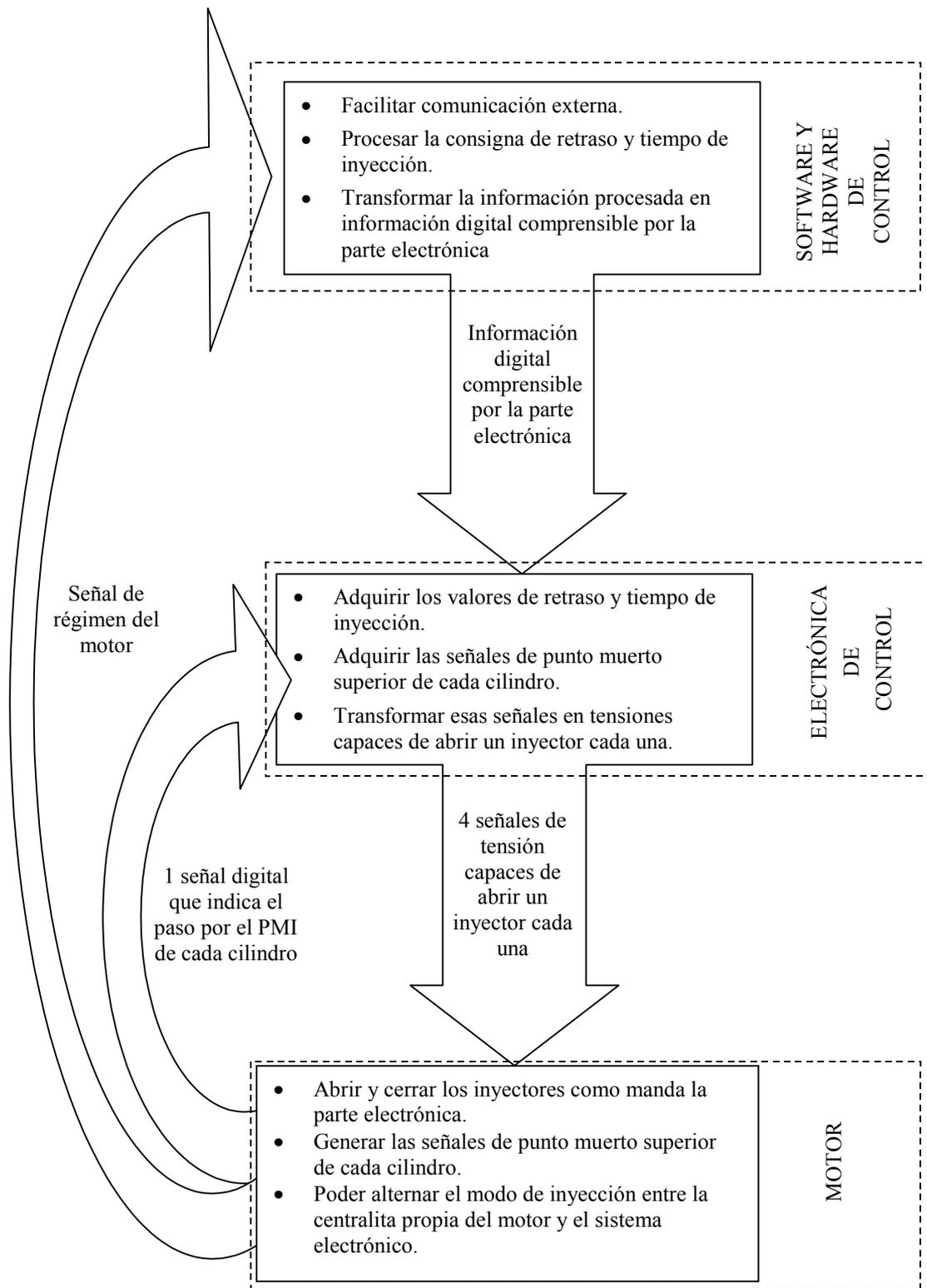


Figura 5.36: Diagrama de flujo de información.

El esquema siguiente visualiza los parámetros que controlará el sistema que se ha descrito:

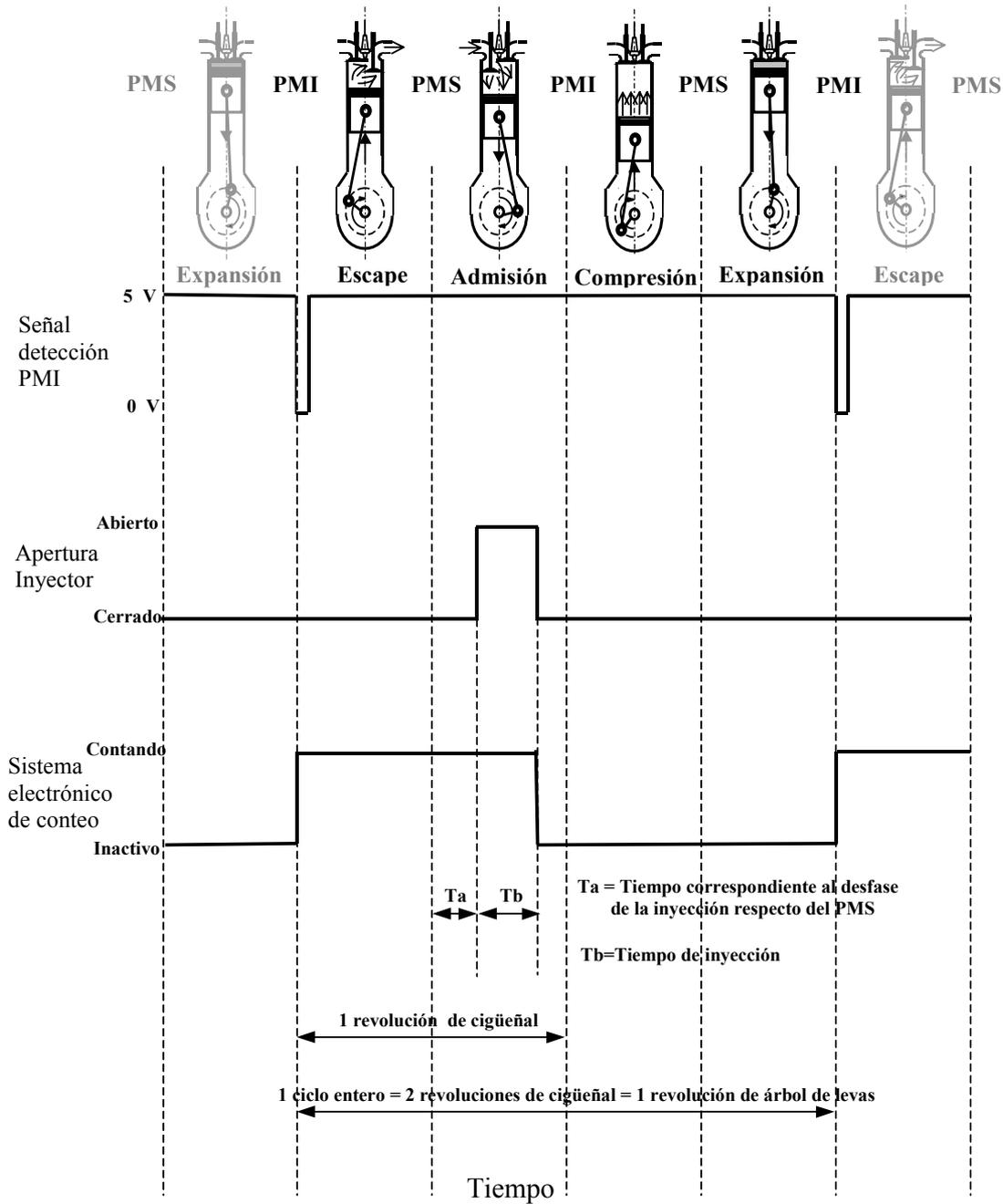


Figura 5.37: Parámetros controlados por el dispositivo.

5.3.4 Precisión de la Etapa Electrónica.

De la precisión de esta etapa depende, básicamente, la exactitud y fiabilidad del funcionamiento de todo el sistema en conjunto. El objetivo final es la determinación del número de bits así como la resolución de cuenta necesarios de los contadores de la electrónica.

5.3.4.1 Cálculos de precisión.

La precisión del sistema está referida al momento de apertura de inyectores y al momento de cierre. Se ha tomado como tiempo mínimo de una inyectada entre 1 y 2 ms. Teniendo en cuenta, que la resolución del sistema debe ser de un 5% del tiempo mínimo de inyección, todos los cálculos de precisión tienen que tener como máximo una resolución de:

➤ Para 1 ms $\Rightarrow 1ms \times 0.05 = 0.05 ms = 50\mu s$

O bien

➤ Para 2 ms $\Rightarrow 2ms \times 0.05 = 0.1 ms = 100\mu s$

Todos los chips y elementos electrónicos utilizados tienen una velocidad de respuesta de:

$f = 125 MHz \Rightarrow 1/125 MHz = 0.008 \mu s$

Estos valores son despreciables frente a los cálculos de resolución.

5.3.4.2 Cálculo de la frecuencia del Módulo de Clock.

El período del módulo de clock es directamente el valor de resolución, o sea, la mínima variación de tiempo en la cuenta que el sistema es capaz de dar.

El circuito integrado de cuenta contiene un cristal de frecuencia 130 kHz, aunque el circuito es capaz de dar pulsos con diferentes frecuencias, por supuesto más bajas que la frecuencia del cristal. En el rango de frecuencias que nos interesa:

Frecuencia (Hz)	Período (μs)
32500	30,77
16250	61,54
8125	123,08

Tabla 5.6: Frecuencias y períodos disponibles en el circuito de clock.

Si se toma una frecuencia de 32500 Hz, que corresponde a un período de 30,77 μs , el error de resolución está comprendido entre el 1,5 y 3%.

Con dicha resolución, es necesario un número de bits de cuenta óptima para que el sistema tenga tiempo de poder contar:

- ◆ Durante la carrera de escape, esto debido a que el sistema empieza la cuenta al principio de la carrera de escape desde el PMI.
- ◆ La carrera de admisión.

◆ *Parte de la carrera de compresión.*

Eso corresponde a una revolución y un poco más de cigüeñal. Aproximándolo a 1,25 vueltas de cigüeñal, el mínimo número de cuentas se puede calcular de la siguiente manera:

Primero hay que considerar el caso más crítico que se presenta a bajas revoluciones del motor. Suponiendo que el régimen de funcionamiento del motor está comprendido entre 600 y 6000 r.p.m., la posición máxima de cuenta para 600 r.p.m. es:

$$\frac{1 \text{ min}}{600 \text{ rev}} \cdot \frac{60 \cdot 10^6 \mu\text{s}}{1 \text{ min}} \cdot \frac{1 \text{ cuenta}}{30.77 \mu\text{s}} = 3250 \text{ cuentas / rev.} \quad (5.15)$$

$$\frac{3250 \text{ cuentas}}{1 \text{ rev}} \cdot 1.25 \text{ rev} = 4062 \text{ cuentas} \quad (5.16)$$

Con 12 bits, el sistema puede realizar $2^{12} = 4096$ cuentas > 4062 cuentas necesarias.

Por tanto, el sistema elegido consiste en contadores de **12 bits**, con una resolución de cuenta de 30.77 μs .

5.3.5 Arquitectura de la Electrónica de Control.

La etapa electrónica, pese a ser la etapa intermedia en el flujo de información, es la parte más determinante a la hora de fijar la precisión del sistema.

5.3.5.1 Requerimientos de la Electrónica de Control.

Los requerimientos de la parte electrónica son fundamentales, ya que los requisitos de precisión son un punto clave en el diseño de la parte electrónica.

Concretamente, la parte electrónica tiene que cumplir los requerimientos siguientes:

- *Ha de ser capaz de recibir las consignas de retraso y tiempo de inyección desde el ordenador y transformarlas en tensiones capaces de abrir los inyectores con esos parámetros.*
- *La precisión de todo el sistema, cuyo limitante es la parte electrónica, tiene que ser de un máximo de 0.05 ms de resolución.*
- *Robustez y fiabilidad.*

5.3.5.2 Interacción con otras partes.

La función de la Parte Electrónica es la de transformar la consigna recibida desde el ordenador en tensiones eléctricas capaces de abrir los inyectores. Para ello recibe una serie de entradas y salidas, y a su vez, internamente genera otras señales (clock).

Sobre la base de esto, y con más detalle la parte electrónica recibe:

- *Tensión de alimentación continua.*
- *La consigna de retraso y tiempo de inyección procedente del ordenador.*
- *La señal digital indicadora del paso por el punto muerto inferior de cada uno de los cilindros.*

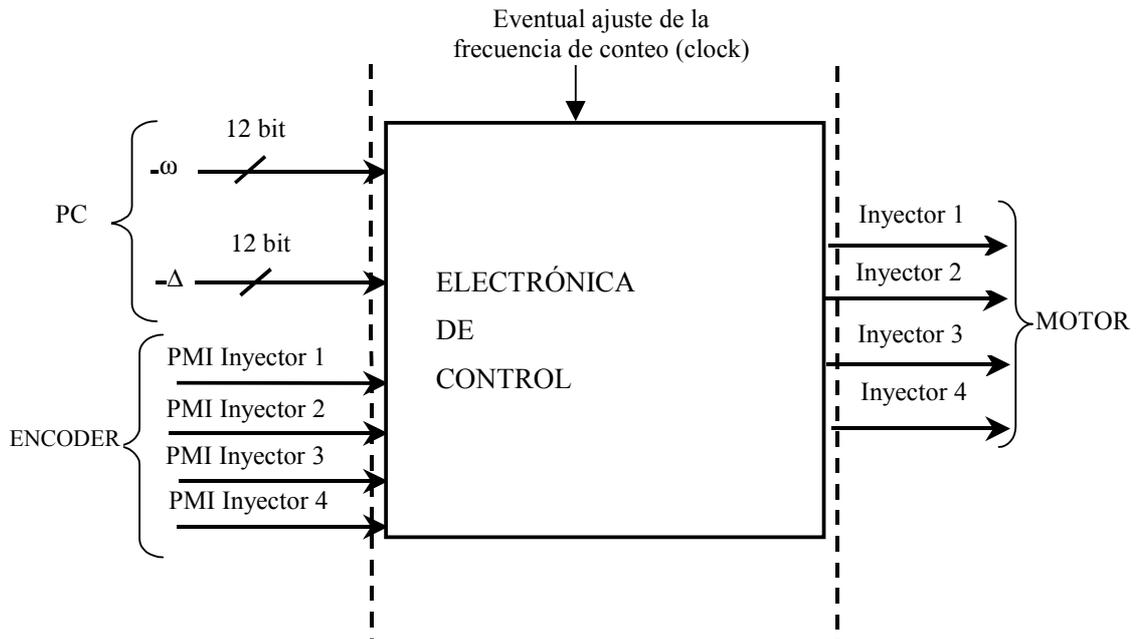


Figura 5.38: Diagrama de Entradas/Salidas de la Electrónica de Control.

La interacción externa de esta parte es prácticamente nula, de hecho exteriormente sólo tiene que suministrarse las señales y tensiones indicadas mediante conectadores externos a los circuitos. Estas señales se suministran desde un ordenador, y pueden ser controladas “manualmente”, o sea, fijadas independientemente del estado del motor, o bien generadas y controladas continuamente por el algoritmo de aproximación implementado en el ordenador.

Existe, sin embargo, una posible regulación manual externa de precisión en uno de los módulos internos a la parte electrónica. Se trata de poder ajustar ligeramente la frecuencia de conteo (clock) mediante una resistencia variable que se encuentra en el interior de la caja que engloba la parte electrónica, en cualquier caso no es recomendable reajustarla una vez que esté puesto a punto todo el sistema.

5.3.5.3 Visión General de la Electrónica de Control.

En esencia la solución adoptada consiste en utilizar circuitos integrados contadores que excitados por una señal de reloj apropiada sean capaces de activar el flanco de subida de la señal de inyección así como el de bajada en el momento oportuno.

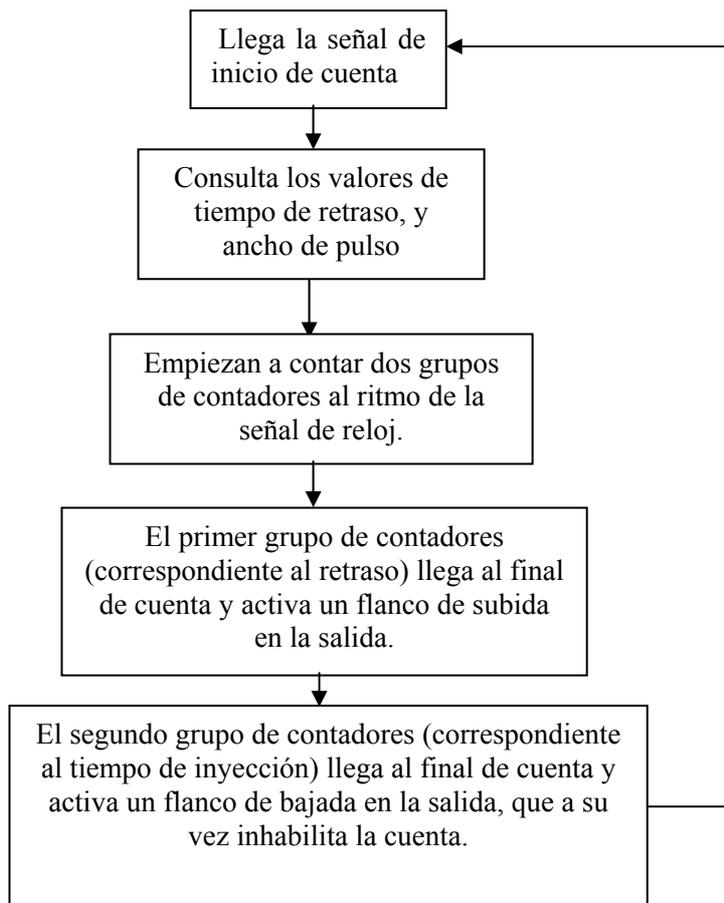


Figura 5.39: Diagrama de funcionamiento de cada circuito

El diagrama de la figura 5.39 muestra esta idea que es la base del sistema. Esto es lo que ve cada uno de los circuitos que activa cada inyector en un ciclo completo.

El funcionamiento interno detallado del sistema y sus módulos se explica más adelante.

La etapa electrónica consta de otros módulos necesarios para completar sus requerimientos, los cuales son:

- **Módulo de alimentación:** Transforma la tensión oscilante de 12V de alimentación en una tensión constante de 5V (lógica TTL).
- **Módulo Clock:** Genera las señales que harán cambiar de estado a los contadores.
- **Módulo Potencia:** Eleva la tensión de la señal generada por los contadores a 12V para que pueda ser enviada a los inyectores.
- **Módulo de detección del PMI de cada cilindro:** Reconoce la posición individual de cada cilindro, de forma totalmente independiente.

La figura 5.40 muestra la disposición relativa de sus diferentes módulos, y la figura 5.41 el conexionado eléctrico entre ellos. El número adjunto a los conductores indica el número de hilos que lo componen.

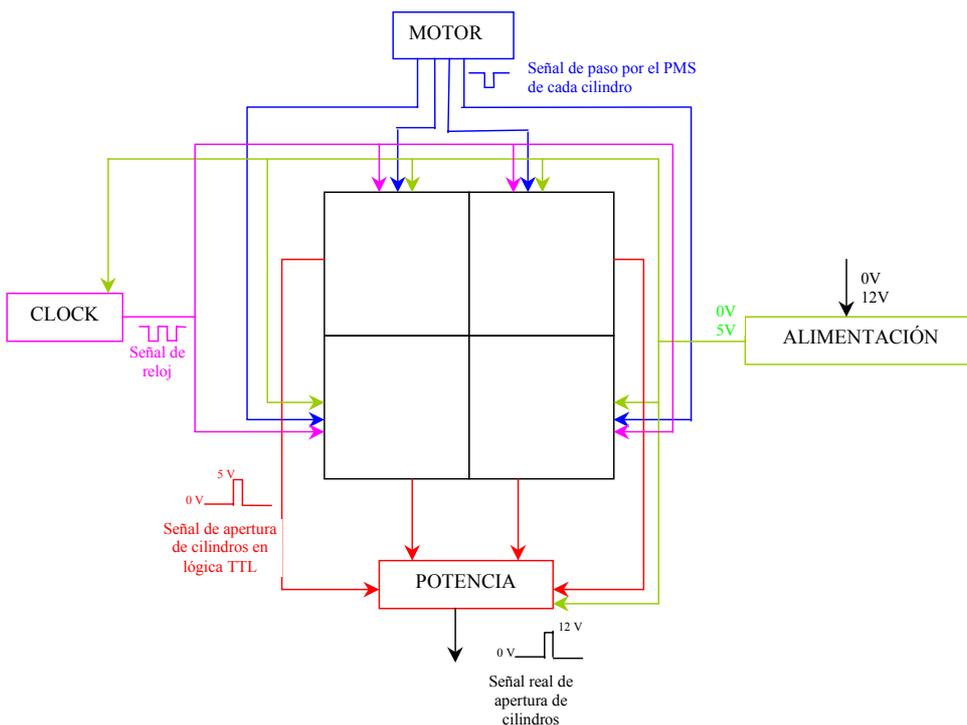


Figura 5.40: Esquema de la relación entre los módulos.

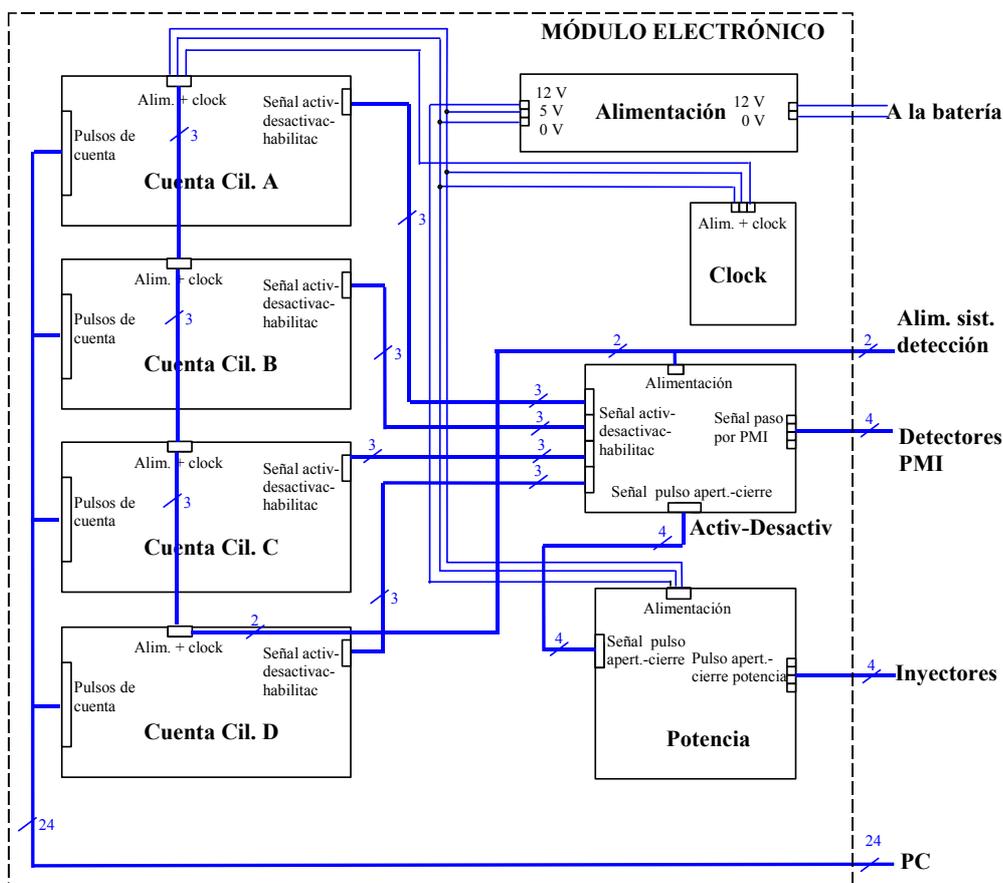


Figura 5.41: Esquema del conexionado de las placas del sistema electrónico de control.

5.3.5.4 Justificación del Diseño empleado (Diseño Modular).

Como se ha venido comentando hasta ahora, se ha optado por un diseño claramente modular de la parte electrónica frente a otras posibles alternativas.

Los motivos que han llevado a elegir este sistema han sido:

- *El diseño modular permite que cada **módulo pueda trabajar independientemente de los demás**, esto no significa que el fallo de uno permita al sistema funcionar, ya que estos módulos están relacionados entre sí, pero facilita que un fallo en uno de los módulos puede ser detectado y subsanado sin necesidad de revisar los demás.*
- *Este diseño permite, **en cualquier momento, sustituir uno de los módulos por otro**, si por ejemplo la alimentación se quiere hacer directamente a 5 V, se puede eliminar el modulo de alimentación; o si se prefiere más precisión se puede cambiar el modulo de reloj (clock) por uno de mayor frecuencia (siempre teniendo en cuenta que los valores a contar son de 12 bits).*
- *Resulta **más sencillo diseñar**, ya que como se ha podido comprobar, cada uno de los módulos tiene unas especificaciones muy claras, y se diseñan sistemas más sencillos.*

Dado que se ha llevado el diseño modular hasta las últimas consecuencias, separando físicamente cada módulo, se ha facilitado en gran medida el trabajo en el momento de la implementación, ya que las placas que se han tenido que fabricar eran menores y sencillas que con opciones no modulares.

Con estas ventajas claras el diseño modular es la mejor y más compacta opción.

5.3.5.5 Módulo de Cuenta de cada cilindro.

En este módulo la señal de apertura y cierre de cada uno de los cilindros es transformada de unos valores digitales en unas señales de tensión en un módulo de cuenta para cada uno de los cilindros. En consecuencia, existen 4 módulos de cuenta idénticos que se analizan en detalle a continuación.

5.3.5.5.1 Requerimientos del Módulo.

Cada uno de los cuatro módulos de cuenta ha de ser capaz de **adquirir las consignas de tiempo de retraso, y ancho de pulso** enviadas en forma de dos números digitales de 12 bits cada uno desde la tarjeta de salida de datos del ordenador. Basándose en esas consignas, a la señal de clock, y a la señal de PMI, generar una señal de tensión que esté a 0V mientras el inyector no inyecta, y a 5V durante la inyección.

Este es el objetivo del módulo de cuenta de cada cilindro, sin embargo, hay que tener siempre presente en el diseño la precisión que se pretende obtener en la señal de salida. En nuestro caso, como se ha comentado anteriormente, la precisión requerida es de un máximo de 0.05 ms (en concreto, 0.0307).

5.3.5.5.2 Diagrama de Entradas/Salidas.

Cada uno de los módulos de cuenta, para funcionar recibe como entradas:

- *Las dos señales de 12 bits cada una, correspondientes al desfase y al ancho de pulso.*
- *La señal de reloj.*
- *La señal de PMI en escape del cilindro en cuestión.*

- La alimentación (5 V).

Con estas señales como entradas cada módulo proporciona una única salida:

- Una señal que está a 0V mientras el inyector no debe inyectar, y a 5V en caso contrario.

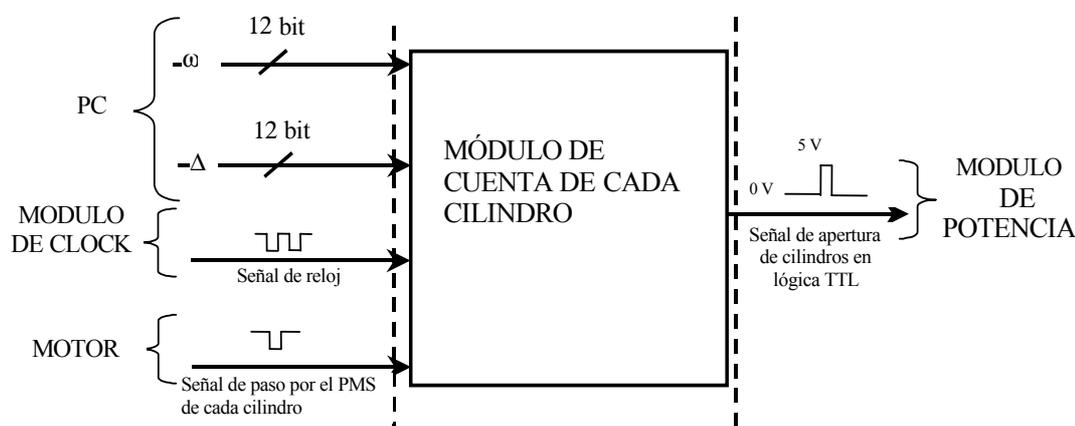


Figura 5.42: Diagrama de Entradas/Salidas del módulo de cuenta de cada cilindro.

5.3.5.5.3 Descripción del Módulo.

El módulo de cuenta de cada cilindro funciona internamente de la siguiente forma:

- Recibe la señal de paso por el Punto Muerto Inferior del cilindro procedente del motor, habilita los dos grupos de tres contadores y consulta los valores de tiempo de retraso y ancho de pulso que está enviando el software de control. Esta consulta dura únicamente el tiempo que la señal de paso por PMI esta a cero voltios.
- Inmediatamente después (al siguiente flanco de bajada de la señal de clock) tres contadores de 4 bits cada uno empiezan a contar el tiempo de retraso a la frecuencia del clock. Por su parte, al mismo tiempo, otros tres contadores de 4 bits cada uno empiezan la cuenta del tiempo de inyección a la misma frecuencia.
- Por seguridad del software de control, los tres contadores del tiempo de retraso finalizan la cuenta siempre antes que los de tiempo de inyección; en ese momento, una señal de Set (establecimiento) es enviada a un chip Set-Reset que pone a 5V una de sus salidas, siendo esta la orden de apertura del inyector.
- Los otros tres contadores de 4 bits finalizan la cuenta cuando el inyector debe cerrarse, en ese momento una señal de Reset es enviada al Set-Reset el cual pone a 0V la salida, siendo esa la orden de cierre del inyector. Además, también por seguridad, esta señal se encarga de inhabilitar los contadores hasta que vuelvan a recibir la señal de PMI.

Esquemáticamente el proceso es el siguiente:

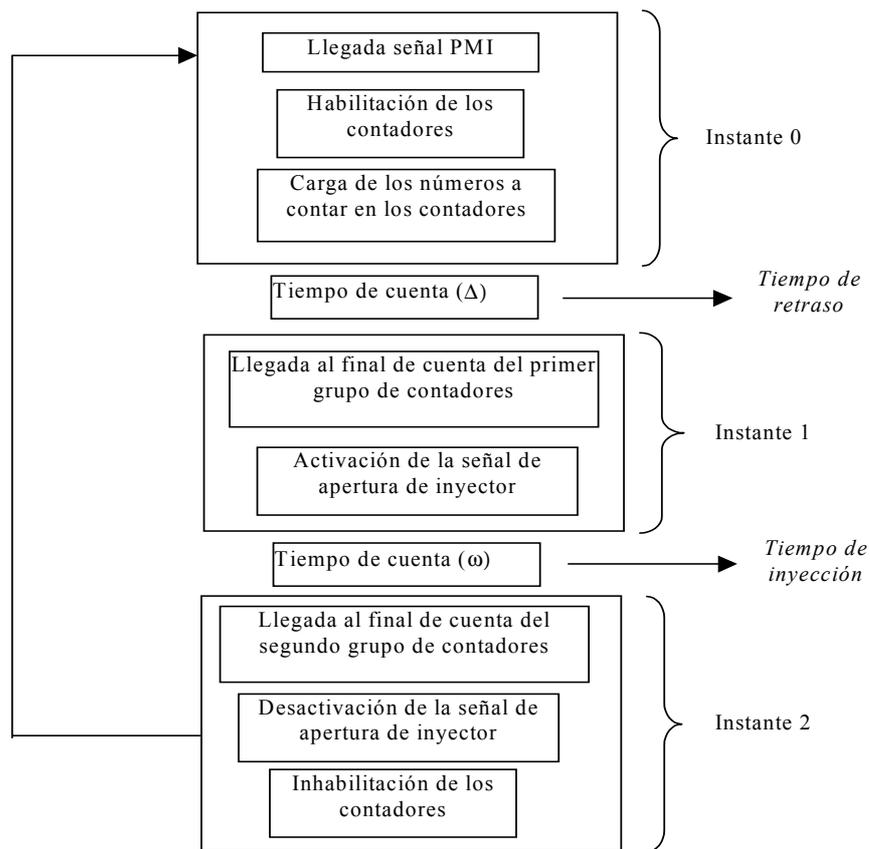


Figura 5.43: Esquema de funcionamiento del módulo de cuenta.

Internamente se subdivide este módulo en cuatro etapas:

- ◇ *Habilitación deshabilitación del conteo.*
- ◇ *Contador del retraso.*
- ◇ *Contador del ancho de pulso.*
- ◇ *Habilitación deshabilitación de la señal de apertura del inyector.*

Esta subdivisión permite estructurar mejor la descripción detallada del módulo.

5.3.5.5.3.1 Habilitación deshabilitación del Módulo.

Físicamente la habilitación y deshabilitación del módulo se realizan mediante un circuito integrado Set-Reset (74LS279), la salida del cual se activa (Set) cuando el cilindro pasa por el PMI, y se desactiva (Reset) cuando el tiempo de inyección ha finalizado. De esta forma se garantiza que mientras el cilindro está en las fases de expansión ó compresión, el contador está completamente inhabilitado y en consecuencia nunca se podrá abrir el inyector.

5.3.5.5.3.2 Contador del retraso.

Esta subdivisión del módulo es la encargada de contar desde el PMI en escape durante el tiempo de retraso, y al finalizar esa cuenta dar una señal que habilitará la inyección.

Para ello dispone de tres contadores (SN74LS191), de cuatro bits cada uno, que en el momento en que llega la señal de habilitación, empiezan a contar hacia atrás empezando desde el número binario que tienen en sus 4 entradas en el momento de la habilitación. Uno de los contadores (C1) cuenta los 4 bits menos significativos del valor binario del tiempo de retraso. El siguiente (C2) cuenta los 4 bits menos significativos siguientes, y el último (C3) cuenta los 4 bits más significativos.

La señal de Clock entra directamente al primer contador (C1), y cada vez que sus 4 bits llegan a (0000) manda un impulso por una de sus salidas (RC) y empieza a contar de nuevo desde (1111). Ese impulso (RC) es la señal de reloj del segundo contador (C2) y éste a su vez hace lo mismo con el tercero.

De esta manera, haciendo la y lógica de las tres señales de (RC) tenemos un impulso justamente cuando los tres contadores han llegado a (0000 0000 0000). Ese impulso dura el tiempo que una señal de Clock, y es el que habilita la inyección.

Físicamente en la placa, la y lógica esta negada ya que usamos un circuito integrado (74F10). Esto es debido a que la lógica de esta salida esta invertida.

Cabe destacar que la deshabilitación de los contadores se hace mediante una entrada que existe en ellos, que mientras esta con valor 0 los desactiva, y cuando cambia de valor los activa empezando a contar desde el valor de las entradas en ese instante. Otra de las entradas es la que permite hacer que cuenten hacia atrás.

5.3.5.5.3.3 Contador del Tiempo de Inyección.

El funcionamiento de este otro grupo de contadores es exactamente el mismo que se acaba de describir, la única diferencia, es que el número digital que deben contar éstos lo calcula el software de control como la suma del tiempo de retraso más el de inyección. El software de control también se encarga de que el tiempo de inyección no sea cero, ya que de esta forma nos aseguramos que este grupo de contadores siempre llegue al final de cuenta después del anterior.

5.3.5.5.3.4 Habilitación/deshabilitación de la señal de Apertura del Inyector.

Como se ha comentado las señales de final de cuenta, tanto del primer grupo de contadores como del segundo, son impulsos de duración igual a la de la señal de Clock. Por lo tanto no pueden ser empleadas directamente en la apertura y cierre del inyector. Esto hace necesario un nuevo Set-Reset que pone a 5V la señal cuando recibe el final de cuenta del primer grupo de contadores, y pone a cero la señal al recibir el final de cuenta del segundo grupo.

A su vez, la señal de final de cuenta del segundo grupo de contadores es la que desactiva el primer Set-Reset deshabilitando la cuenta.

Cabe destacar que con la solución descrita se continúa en la idea de diseño modular ya que, por ejemplo, se podría haber diseñado que los contadores correspondientes al tiempo de inyección empezasen a contar cuando les llegase la señal de final de cuenta de los tres contadores correspondientes al retraso. Ello hubiera acumulado cualquier error eventual en los contadores del retraso al tiempo de inyección. De hecho, en la puesta a punto del sistema ha sido de gran utilidad el poder contar con estos submódulos que se han descrito, ya que los errores son más fáciles de detectar.

5.3.5.5.4 Funcionalidad.

Este módulo contiene cuatro sistemas independientes. Para cada uno de ellos (de los sistemas) se encarga de contar pulsos desde la habilitación del módulo mediante una señal de habilitación, hasta que activa una señal de salida, y hasta que la desactiva (en función de dos valores codificados en binario).

Esquema de un solo sistema de cuenta y activación – desactivación:

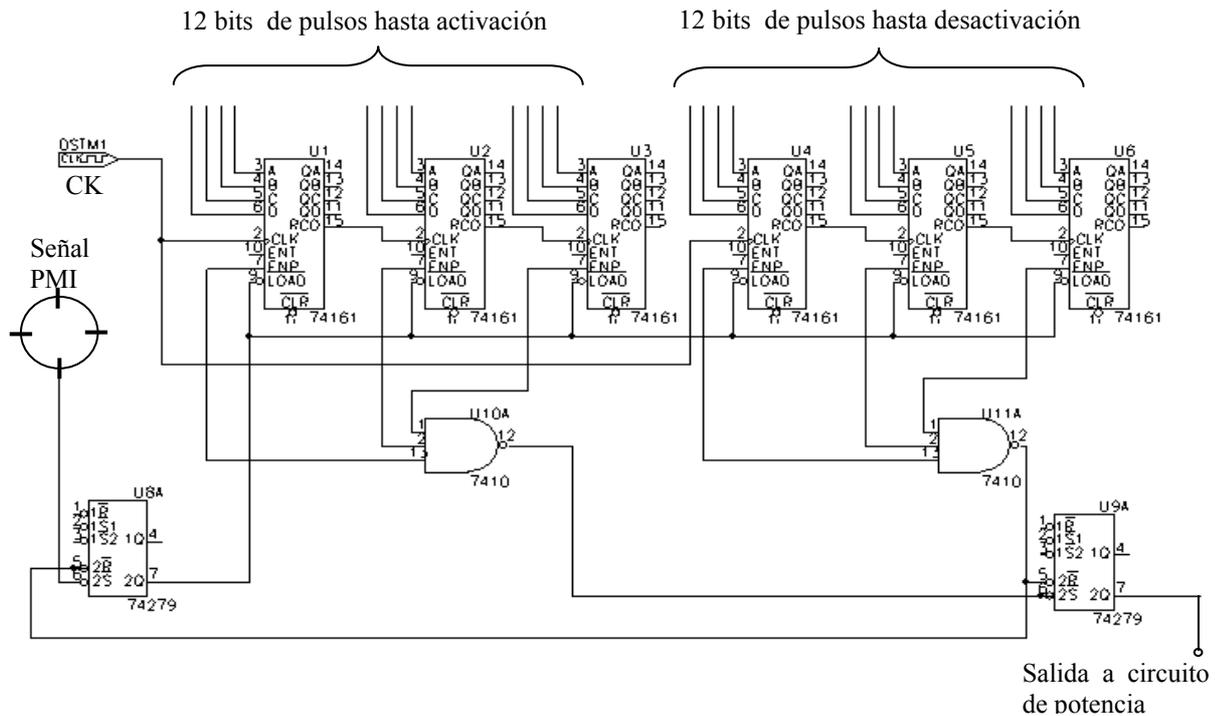


Figura 5.44: Esquema del módulo de cuenta para un cilindro.

5.3.5.6 Módulo de Potencia.

Este módulo es el encargado de transformar la señal generada por el módulo de cuenta de cada cilindro en una señal de potencia capaz de abrir y cerrar un inyector. A su vez dispone de un conjunto de LEDs que permiten detectar posibles anomalías en el funcionamiento.

5.3.5.6.1 Requerimientos del Módulo.

El módulo debe ser capaz de recibir una señal en lógica TTL (0V-5V) por cilindro, y basándose en ella generar una señal (12V-0V) que abra al inyector.

Por su parte, los inyectores del motor se abren cuando en los bornes de su bobina hay 12 V de diferencia de potencial. Por lo tanto, la señal de salida tiene que ser 0V-12V. Sin embargo, podemos hacer la interrupción de la tensión en el conductor que va de la bobina a tierra, o en el que va de la bobina a 12V. Para el motor en el que se va a montar el sistema la mejor solución es enviar la señal por el conductor que va a tierra, ya que la centralita interrumpe ese mismo conductor, estando uno de los bornes de la bobina siempre a 12V.

Teniendo en cuenta esta particularidad de los inyectores, la señal que ha de salir del módulo de potencia tiene que estar a 0V cuando el inyector este inyectando, y a 12V en caso contrario.

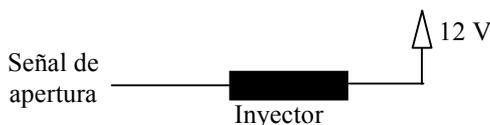


Figura 5.45: Módulo de accionamiento de un inyector.

5.3.5.6.2 Diagrama de Entradas/Salidas.

Pese a que no es un requerimiento explícito para el correcto funcionamiento del módulo, se ha incorporado otra salida al mismo que permite detectar de forma visual fallos graves en el funcionamiento. Se trata de 4 LEDs (1 por cada cilindro) que solamente se encienden en el momento que el módulo envía la tensión que abre el inyector. Este sencillo sistema de verificación del funcionamiento ha sido dispuesto en el módulo de potencia puesto que es en él donde la señal va a ser enviada definitivamente al inyector, y por lo tanto permite detectar errores que se hayan producido en cualquier módulo de la unidad electrónica de control. Hay que notar que el sistema no permite detectar fallos de detalle (desajustes de la frecuencia de Clock, etc.), sino que está pensado para la detección visual de errores del tipo: inyector que se queda abierto o que no inyecta, tanto fallos intermitentes como continuos.

Además de lo mencionado hasta ahora, el módulo necesita otras entradas para funcionar, esto es dos tensiones de alimentación: una de 5V, y otra de 12V.

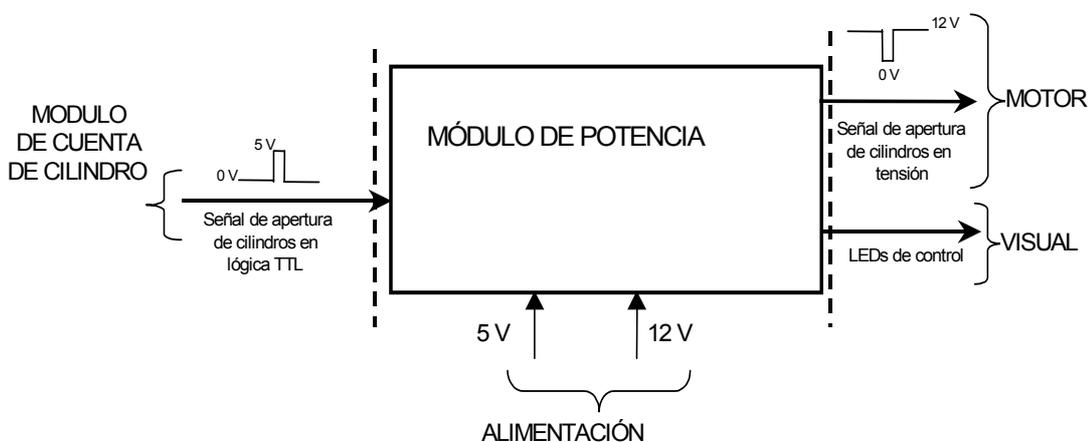


Figura 5.46: Diagrama de Entradas/Salidas del módulo de potencia.

5.3.5.6.3 Descripción del Módulo.

El módulo de potencia está constituido físicamente por una placa electrónica que recibe a través de un conector las 4 señales de apertura y cierre de inyectores, y que da como salida, una tensión como se ha descrito anteriormente en 4 “bananas” fácilmente accesibles desde el exterior, y que han de ir conectadas a los inyectores. Además de eso dispone de los 4 LEDs de control que también están dispuestos fácilmente visibles.

Internamente, la placa consta de dos etapas diferenciadas:

- ◇ *Etapa de señal (o control de LEDs).*
- ◇ *Etapa de potencia (o control de inyectores).*

5.3.5.6.3.1 Etapa de señal (o control de LEDs).

Es la parte de la placa que se encarga de activar los LEDs de control. La tensión en esta etapa es de 5V. El principio de funcionamiento es el siguiente:

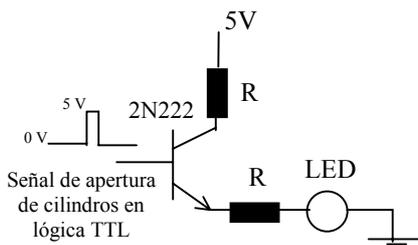


Figura 5.47: Esquema de funcionamiento del LED de control de inyección.

La señal de apertura y cierre en lógica TTL procedente de los módulos de cuenta de cada cilindro (0V-5V) es empleada para excitar la puerta de un transistor de baja potencia (2N222), el cual al ver excitada su puerta, permite el paso de corriente entre colector y surtidor. Disponiendo un LED y una resistencia para bajar la tensión en la parte drenador-colector del transistor conseguimos que cuando la señal procedente de los módulos de cuenta es 5V el transistor cierra el circuito secundario en el que está el LED y la resistencia, y el LED se enciende. En la figura 5.47 se resume esta conexión.

5.3.5.6.3.2 Etapa de Potencia (o Control de los Inyectores).

Esta es la etapa principal de este módulo, ya que es la que lleva a cabo el paso de la señal en lógica TTL procedente de los módulos de cuenta de cada cilindro, a la señal de potencia que abrirá cada inyector.

El principio de funcionamiento es básicamente el mismo que para el accionamiento de los LEDs de control que se acaba de describir. Lo que se hace en este caso es excitar con la señal de apertura y cierre procedente de los módulos de cuenta de cada cilindro un transistor de potencia (BUZ10), el cual tiene el colector conectado a la banana de salida que irá al inyector, y el drenador conectado a tierra, como se puede ver en la figura 5.48:

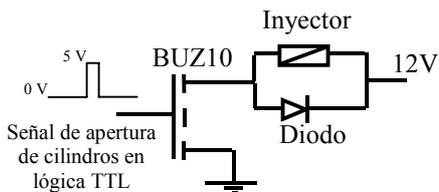


Figura 5.48: Esquema de funcionamiento del BUZ10.

Como se puede ver en la figura 5.48, el circuito secundario dispone de un diodo dispuesto en paralelo con el inyector. Esto es para que no haya retornos de corriente que pudieran poner en peligro la Electrónica de Control.

Hay que notar que las pistas por las que circulará potencia, se han diseñado de mayor espesor para evitar que se quemen debido al paso de corriente. De hecho la corriente que circulará por ellas es de 0.5 A aproximadamente.

5.3.5.6.4 Funcionalidad.

Cuando recibe señal de inyección de baja potencia (señal TTL), la convierte en un impulso eléctrico capaz de abrir y/o cerrar el inyector. Además, activa los LEDs de control que permiten la detección visual de fallos.

Esquema:

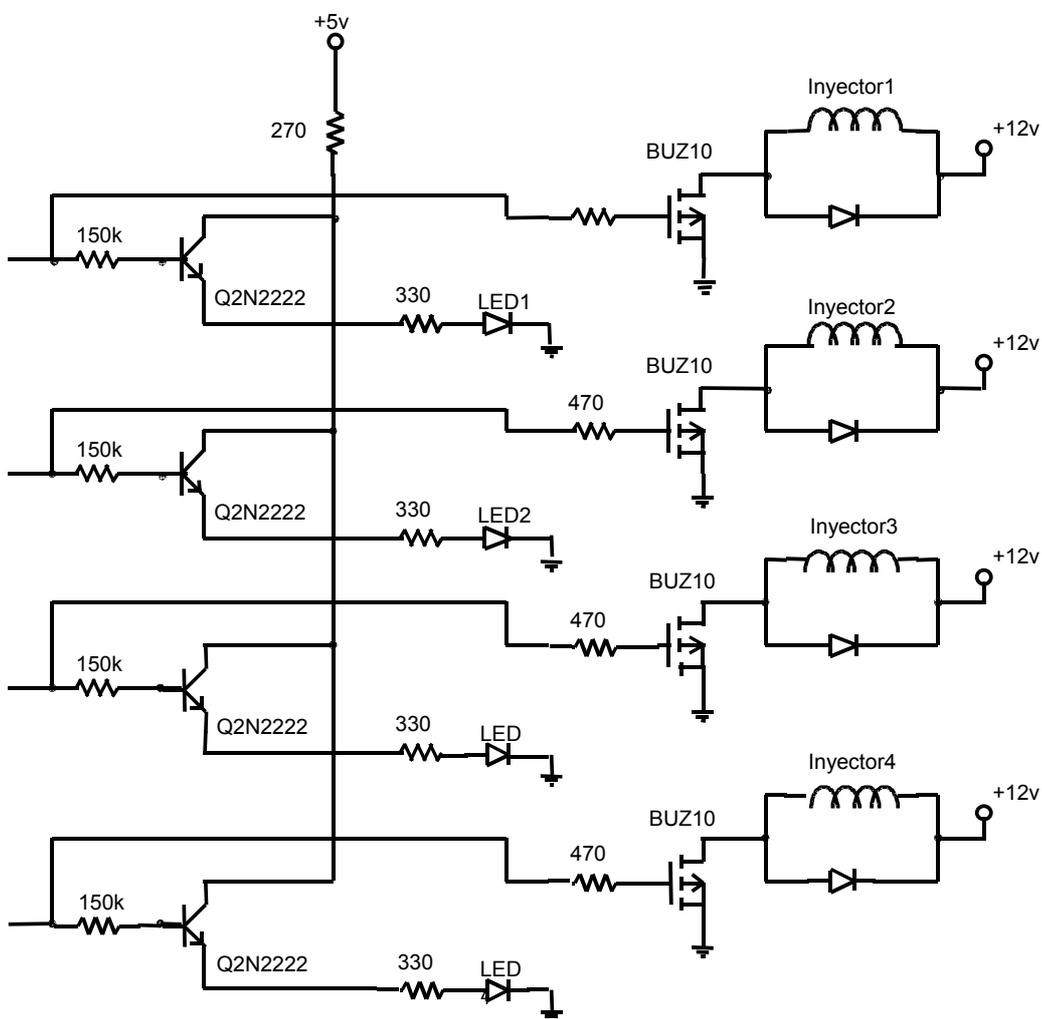


Figura 5.49: Esquema electrónico del módulo de potencia.

5.3.5.7 Módulo de Alimentación.

Este módulo es el encargado de alimentar a todos los demás módulos que componen la Electrónica de control.

5.3.5.7.1 Requerimientos del Módulo.

El módulo de alimentación ha de ser capaz de alimentar de forma fiable a todos los circuitos que lo requieran dentro de la Electrónica de control.



Figura 5.50: Diagrama de Entradas/Salidas del módulo de potencia

La alimentación de los diferentes módulos es en la mayoría de los casos a 5V, pero no en todos, ya que el módulo de potencia también ha de ser alimentado a 12V.

A su vez este módulo de alimentación está alimentado exteriormente a 12V, con los consiguientes problemas de estabilidad de la tensión que ello conlleva.

A parte de estas funciones, el módulo de alimentación ha de permitir cortar la alimentación de toda la electrónica de control de forma rápida y sencilla, así como saber en todo momento si la electrónica de control está alimentada o no.

Por lo tanto al módulo se le requiere:

- Capacidad para transformar 12V (ligeramente oscilantes) en 5V constantes y fiables.
- Posibilidad de cortar la alimentación de toda la electrónica de potencia.
- Ha de informar en todo momento de si la electrónica de control está o no alimentada (es decir, en funcionamiento).

5.3.5.7.2 Diagrama de Entradas y Salidas.

Basándose en los requerimientos exigidos al módulo, este tiene que disponer de entradas:

- ◇ Entrada de tensión 12V, y una de masa accesibles exteriormente.
- ◇ Interruptor para cortar la alimentación de la electrónica de control.

Y como salidas:

- ◇ *LED indicador de que la electrónica de control está alimentada, y por lo tanto en funcionamiento.*
- ◇ *Salida interna de 12 V.*
- ◇ *Salida interna de 5 V.*
- ◇ *Masa interna.*

5.3.5.7.3 Descripción del Módulo.

El módulo de alimentación está constituido físicamente por una placa (y un interruptor) que recibe, a través de dos conectores hembra de tipo “banana”, la alimentación general de la electrónica de potencia procedente de la inyección del motor (12V). Además, dispone de un interruptor accesible exteriormente para cortar la alimentación, así como un LED que indica si la electrónica de control está o no alimentada.

Atendiendo a su función, podemos distinguir tres etapas que componen el módulo de alimentación:

- ◇ *Etapas de habilitación.*
- ◇ *Etapas de control.*
- ◇ *Etapas transformadoras de la tensión.*

5.3.5.7.3.1 Etapas de Habilitación.

La etapa de habilitación dentro del módulo de alimentación no se encuentra físicamente en la placa electrónica, sino que se ha optado por la solución de cortar la alimentación del sistema interrumpiendo la tensión procedente de la alimentación externa.

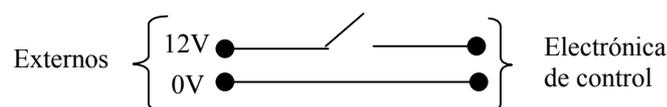


Figura 5.51: Esquema de la interrupción general de la alimentación.

El corte de la tensión de alimentación procedente de la alimentación, se realiza mediante un interruptor que desconecta el conductor de 12V externos. Este interruptor se encuentra, por motivos de accesibilidad desde el exterior, empotrado en la carcasa frontal de la caja que engloba toda la electrónica de control.

5.3.5.7.3.2 Etapa de Control.

La etapa de control dentro del módulo de alimentación, es todo aquel circuito electrónico que se encarga de controlar la iluminación del LED que indica si la electrónica de control está o no alimentada.

El funcionamiento de éste LED consiste en excitar la puerta de un transistor (2N222) durante el tiempo que la electrónica de potencia esta alimentada. De esta forma, poniendo el LED en un circuito secundario como el de la figura 5.52 éste se mantiene encendido mientras la puerta del transistor esta alimentada.

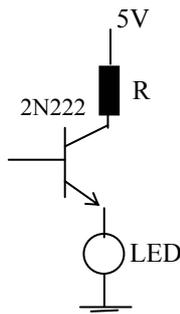


Figura 5.52: Esquema de funcionamiento del LED de alimentación

5.3.5.7.3.3 Etapa transformadora de tensión.

Esta etapa es la principal del módulo, ya que es en ella donde se lleva a cabo la transformación de la tensión (oscilante) de 12 V en 5 V estables.

La transformación, propiamente dicha, se lleva a cabo en el circuito 7805CT, éste es un regulador monolítico. De acuerdo con esas características, el circuito transforma tensiones en un amplio rango alrededor de 12V en 5V constantes.

Pese a que el circuito 7805CT realice la transformación, son necesarios otros componentes como son condensadores en paralelo tanto a la entrada de 12V como a la salida de 5V con el fin de estabilizar ambas señales. También se ha dispuesto un diodo en bornes del circuito 7805 CT para evitar retornos de corriente susceptibles de dañar algún dispositivo.

Ha sido necesario disponer un radiador en el circuito 7805 CT para disipar el calor que en el se genera por el paso de la corriente.

5.3.5.7.4 Funcionalidad.

Transforma la tensión de 12 V de la alimentación en los 5 V necesarios para alimentar todo el sistema electrónico.

Esquema:

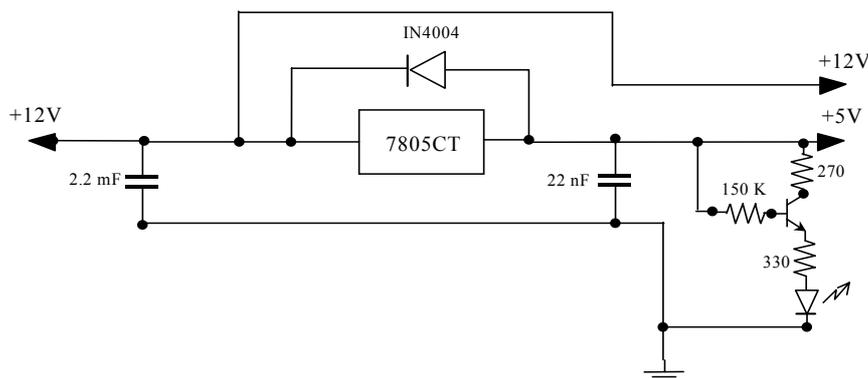


Figura 5.53: Esquema electrónico del módulo de alimentación.

5.3.5.8 Módulo de Clock.

Este módulo es el encargado de generar la señal que hará cambiar de estado el resto de la electrónica de control.

5.3.5.8.1 Requerimientos del Módulo.

El módulo tiene que generar una señal oscilante de forma cuadrada lo suficientemente potente y estable como para poder ser enviada al resto de la electrónica de control.

Un requerimiento fundamental de este módulo es la estabilidad de la frecuencia que se requiere a la señal de salida. Esto es debido a que todos los cálculos que el software de control realiza en el ordenador se basan en la hipótesis de que la frecuencia de la señal de clock sea constante. Por ello una variación en la frecuencia de dicha señal provocaría que tanto el tiempo de retraso como el de inyección fuesen incorrectos.

5.3.5.8.2 Diagrama de Entradas/Salidas.

El módulo de clock se alimenta a 5V y su única salida es la señal de clock que se ha descrito en el punto anterior.

El módulo de clock dispone de una resistencia variable que permite un ajuste preciso de la frecuencia de la señal de salida. Esta resistencia no es recomendable variarla, y su finalidad es ajustar la frecuencia únicamente en el momento del montaje.

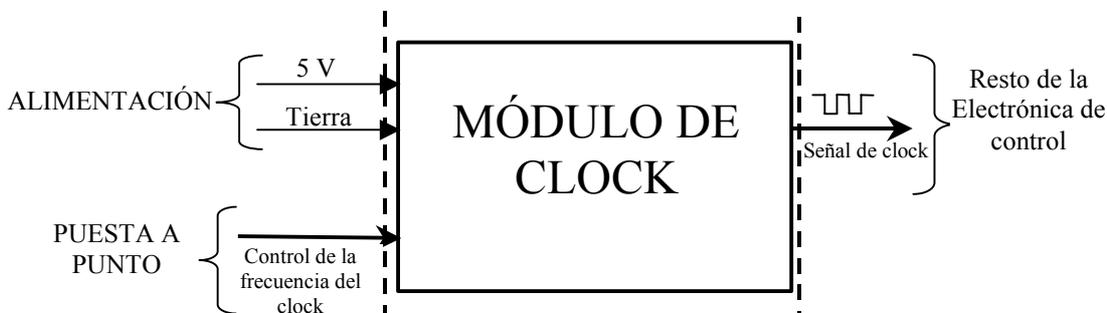


Figura 5.54: Diagrama de Entradas/Salidas del módulo de clock.

5.3.5.8.3 Descripción del Módulo.

Dado que la precisión es crítica en este caso, se ha decidido emplear un circuito electrónico de clock comercial, oscilador de cuarzo de múltiples salidas (5, 10, 15, 100 y 500 MHz).

Este circuito basa su funcionamiento en la señal oscilante de un cristal de cuarzo, ello garantiza la exactitud de la frecuencia, ya que un cristal de cuarzo oscila siempre a la misma frecuencia.

Sin embargo, el circuito comercial ha tenido que ser adaptado a la aplicación ya que la frecuencia que ésta requiere no estaba disponible en el mercado. Por ello, se ha tenido que tomar la señal de salida de un punto intermedio del circuito comercial. Además, la tensión de dicho circuito cuando tenía que ser 0V era aproximadamente 1V cuando se le conectaban los módulos de cuenta de los 4 cilindros, lo que provocaba que algunos pulsos de clock no fuesen “vistos” por los contadores. Para solucionar este problema se ha añadido a la salida de clock del circuito comercial, un inversor que hace que dicha señal oscile de 0V a 4V aproximadamente. Esto garantiza que los contadores vean todos los pulsos de clock, ya que el umbral de reconocimiento de éstos está en el entorno de 1V.

5.3.5.9 Módulo de Detección del PMI en el Escape.

Este módulo es el encargado de descodificar la señal digital binaria proveniente del encoder absoluto y programable instalado en el árbol de levas del motor.

5.3.5.9.1 Requerimientos del Módulo.

El módulo debe ser capaz de interpretar la señal digital recibida desde el encoder absoluto del motor, y en función de ella, enviar a su vez otra señal binaria de 4 bits hacia el módulo de cuenta de cada cilindro. Esta señal, también TTL, activa la cuenta del cilindro correspondiente, consiguiendo con ello una perfecta sincronización entre el motor y la electrónica de control.

5.3.5.9.2 Diagrama de Entradas/Salidas.

La figura 5.55 representa la conexión electrónica de este módulo. Como se aprecia está compuesto únicamente por un circuito integrado, específicamente el 74LS138, el cual recibe la señal digital directamente desde el encoder del motor.

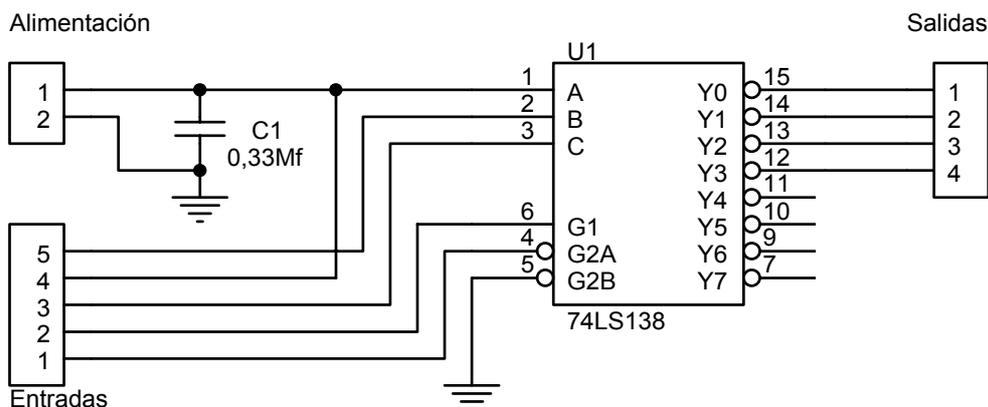


Figura 5.55: Módulo de Detección del P.M.I.

5.3.5.9.3 Descripción del Módulo.

El módulo requiere básicamente de dos señales:

- ◆ Una alimentación de 5V.
- ◆ Entrada de la señal digital de 5 bits proveniente del encoder del motor.

El módulo recibe y compara continuamente la señal binaria enviada por el encoder absoluto instalado en el árbol de levas del motor. La señal recibida es de 5 bits (cinco conductores), no obstante, la salida es de sólo 4 bits (cuatro conductores), o sea, uno por cada inyector.

Como se explicó anteriormente, los módulos de cuenta sólo comienzan a contar cuando están a 0 volts, y permanecen inactivos mientras están a 5 volts. Como la salida del encoder es en lógica TTL (0 ó 5 volts), tenemos que el número binario 1111 mantiene el contador de todos los inyectores inactivos, ya que están a 5 volts. El funcionamiento del módulo se basa precisamente en combinar adecuadamente los números binarios de salida de manera que el 1 (5 volts) mantenga inactivo los contadores, mientras que el 0 (0 volts) los activa.

El módulo está programado para que su salida sea normalmente de 1111 en binario (el contador de todos los cilindros a 5 volts) por lo que permanecen inactivos, o sea, no hay inyección. Sólo cuando recibe del encoder alguno de los cuatro números binarios característicos de la detección de algún PMI en escape activará el módulo de cuenta del cilindro correspondiente a través de su respuesta binaria.

La tabla 5.7 muestra la respuesta del módulo de detección cuando recibe la señal de alguno de los cuatro puntos característicos del encoder que indiquen el PMI en el comienzo del escape de cualquier cilindro, fuera de estas entradas la respuesta binaria siempre será 1111. Dado que las entradas están expuestas en su orden real, puede apreciarse que la posición del 0 lógico en la salida activará sucesivamente los inyectores 1-3-4-2 y en ese orden.

Posición del Arbol de Levas.	Valor decimal absoluto en el Encoder.	Salida del Encoder (binaria).	Salida del módulo (binaria).	Inyector activado.
0°	0	00000	0111	1ro
90°	8	01000	1101	3ro
180°	16	10000	1110	4to
270°	24	11000	1011	2do

Tabla 5.7: Respuesta del Módulo de Detección del PMI.

En el apartado 5.1.2.4 y se describió detalladamente la instalación, el funcionamiento y la programación del encoder absoluto programable instalado en el árbol de levas del motor.

Finalmente, la figuras 5.56 y 5.57 muestran las disposiciones finales de la etapa de la electrónica de control del sistema de inyección y la de toda la instalación de pruebas, respectivamente.

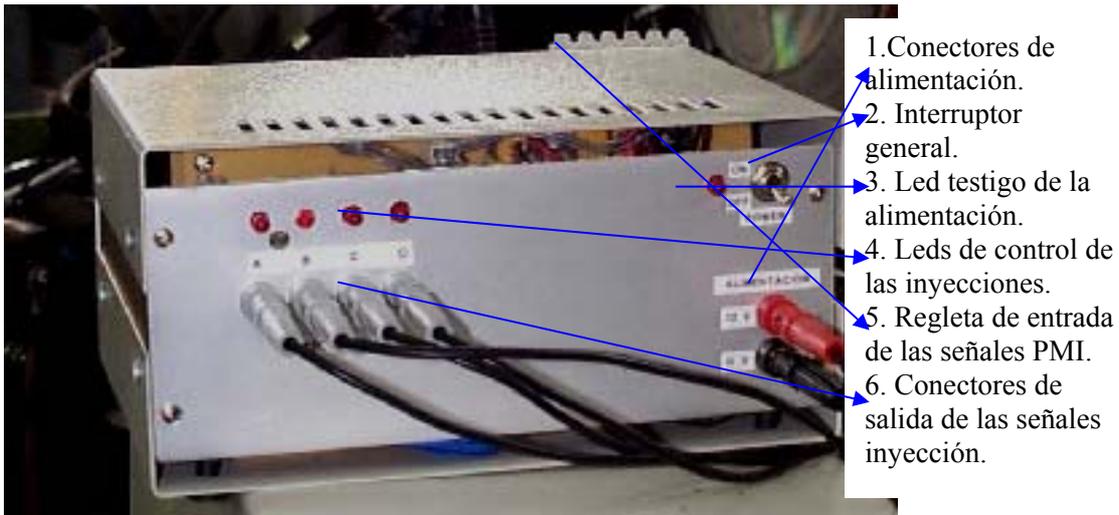


Figura 5.56: Disposición final de la etapa de la electrónica de control.

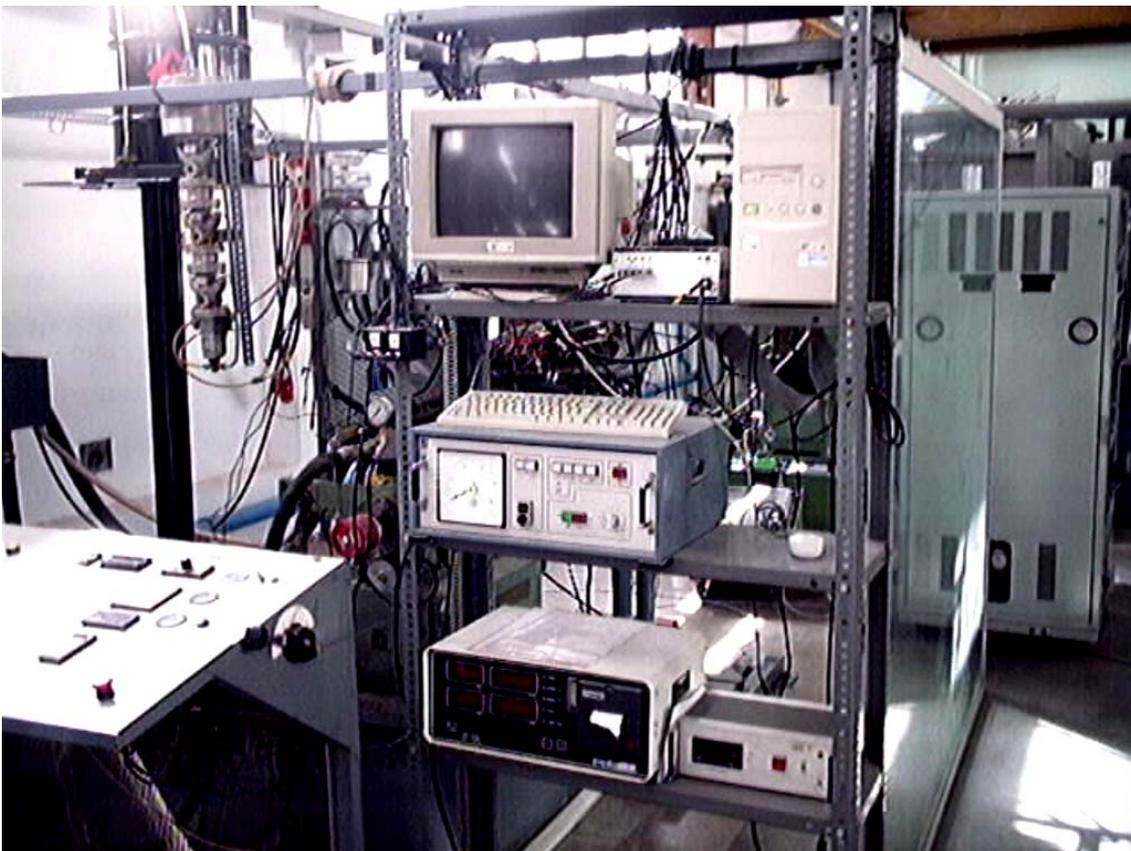


Figura 5.57: Instalación definitiva de todo el sistema para la experimentación y pruebas.