Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Memoria

"DESARROLLO DE UNA UNIDAD DE CONTROL ELECTRÓNICO (ECU) DEDICADA AL GOBIERNO DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA"

PFC presentado para optar al título de Ingeniero Técnico Industrial especialidad Electrónica
por **Ernest Guirao Palacios**

Barcelona, 14 de Junio de 2010

Tutor proyecto: Manuel Manzanares Brotons
Departamento de Ingeniería Electrónica (D710)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

ÍNDICE

Índice memoria 2

Capítulo 1: Objeto del proyecto 3

Capítulo 2: Motivación y justificación 4

Capítulo 3: Especificaciones básicas 5

3.1. Especificaciones técnicas 6

3.1.1. Sensores 6

3.1.2. Actuadores 7

Capítulo 4: Posibles soluciones 8

Capítulo 5: Soluciones escogidas 15

5.1. Soluciones para puesta a punto del prototipo 15

5.2. Soluciones escogidas para la ECU comercial 15

Capítulo 6: Hardware 17

6.1. Microcontrolador 17

6.2. Diagrama de bloques general 22

6.3. Esquemas de detalle 23

6.3.1. Esquema de control de inyección 23

6.3.2. Esquema de control del encendido 24

6.3.3. Circuito optoacoplador 25

Capítulo 7: Software 26

Capítulo 8: Simulaciones 27

Capítulo 9: Comunicaciones 28

9.1. USB 28

9.2. LCD 29

Capítulo10: Normativa 30

Capítulo 11: Estudio económico 32

Capítulo 12: Planificación y Diagrama de Gantt 33

Capítulo 13: Bibliografía, referencias y enlaces 34

Capítulo 1
Objeto del proyecto

El presente proyecto se centra en el campo de la electrónica aplicada a la automoción. La finalidad es el desarrollo de una centralita que fuera útil en el mercado actual de la automoción. Debido al gran desarrollo de la industria en el campo de los coches y a la manifiesta facilidad de implementación respecto a un coche, se ha decidido escoger como aplicación principal la moto.

El proyecto abordará el problema que se plantea de controlar la inyección desde las diversas soluciones que se presentan así como la finalmente escogida teniendo en cuenta los criterios de ambición y medios de que se dispone para realizar el mismo.

Capítulo 2
Motivación y justificación

Existen dos motivaciones fundamentales para la realización de este proyecto:

Ecológica:

La situación actual, en la que se han endurecido los impuestos y normativas por emisiones, sobretodo en los vehículos, con la finalidad de reducir las emisiones y aumentar la eficiencia da pie al desarrollo de proyectos como el presente.

Económica:

Una combustión eficiente implica el total aprovechamiento del carburante y, por tanto, un ahorro muy importante frente a los motores alimentados por carburación, que en sector de la motocicleta de 125cc son la mayoría.

Por otro lado también se consigue hacer trabajar el motor en un punto más adecuado lo cual alarga la vida del mismo.

Capítulo 3
Especificaciones básicas

Parámetros a controlar electrónicamente en un motor (planteamiento del problema):

Tal y como el titulo del trabajo indica, nos planteamos controlar de forma electrónica la inyección y el encendido de un motor de combustión interna de 4T.

Por extensión se trata de realizar una unidad de control que sea capaz de recibir datos del estado de diversas variables y actuar en consecuencia para que el motor funcione correctamente y de la forma más eficiente posible.

Los parámetros que se tienen en cuenta hoy en día en las unidades de control de los coches son muchísimas. De echo, toda la industria del automóvil esta muy avanzada en este campo. Por este motivo y por el endurecimiento de la normativa europea de emisiones, hemos decidido enfocar nuestro trabajo hacia el mundo de la motocicleta.

Hoy en día la mayoría de motocicletas de 125cc y de ciclomotores son de carburación, cosa que las deja al límite para cumplir la normativa de emisiones en vigor (Euro 3). Está previsto que en breve se obligue a los fabricantes a cumplir unos niveles más bajos en la nueva norma Euro 5. Para optimizar en este aspecto será necesaria la inclusión de un microcontrolador que gobierne de una forma mucho más adecuada todo lo referente a la combustión.

Según se cita en la legislación europea:
"La presente propuesta fija un límite medio de emisión de CO2 aplicable a los fabricantes de automóviles, a fin de alcanzar de aquí a 2012 el objetivo de 130 g de CO2/km para los vehículos nuevos matriculados en la Unión Europea (UE).
Este límite de emisión se aplica a los turismos nuevos (vehículos de categoría M1) de cada fabricante. El límite de emisión se calcula según la masa de un vehículo. El nivel de emisión de CO2 se mide de conformidad con el Reglamento (CE) n° 715/2007 sobre homologación de vehículos por lo que se refiere a las emisiones contaminantes. El valor límite de emisión no se aplica a cada vehículo de forma individual, sino a la media de todos los vehículos fabricados por un fabricante registrado en la UE durante un año.
A partir de 2012, los fabricantes que no respeten su objetivo deberán pagar una «prima por exceso de emisiones»[1]

La razón de la inclusión de la electrónica en este campo es para optimizar al máximo la energía que se genera en la explosión de la gasolina. Esto se consigue ajustando la relación aire/combustible (AFR: Air Fuel Ratio) estequiométrica, que idealmente debería ser de 14.7/1.

Debido a la velocidad limitada del frente de llama en la combustión, es necesario avanzar el instante de inicio de la combustión antes de que el pistón alcance el punto muerto superior, con objeto de que coincidan la combustión y la posición del cilindro en el PMS, obteniéndose así un mejor rendimiento.

De esta manera buscamos también economizar el gasto de combustible, tanto por la parte económica en sí como por la repercusión que tiene en el medio ambiente.

3.1. Especificaciones técnicas

3.1.1. Sensores

En un automóvil se monitorizan muchas variables a fin de ajustar todos los parámetros al máximo.

A continuación se explica que señales darán los sensores que intervienen en el ajuste del encendido y la inyección. Estas vendrán de sus respectivos sensores pero ahora el trabajo se centra en la señal que proporcionan los mismos.

- Temperatura del motor

Se trata de una señal continua proporcional a la temperatura del motor, que normalmente se toma como referencia la temperatura del líquido refrigerante.
El rango de lectura debe ser de -40 a 120ºC. Se considera que la temperatura de funcionamiento óptimo va de los 70 a los 95ºC.

- Temperatura de la gasolina

Es una señal continua que se toma en el depósito de combustible. Esta temperatura difiere un poco con la ambiente, pero se mantiene en un rango cercano. Esta señal se toma para calcular la densidad de la gasolina según a la temperatura a la que esté.

- Temperatura del aire

Se obtiene la temperatura del aire que pasa por la tobera de admisión. Coincide con la temperatura ambiente; es utilizada junto con la señal de caudal de aire para calcular su densidad. Es una señal continua, así como las otras temperaturas.

- Caudal de aire

Se mide en la tobera de admisión y la señal que obtenemos a la salida del caudalímetro es una tensión continua que depende del valor del caudal.

- Presión de la gasolina

Es la presión de la gasolina a la entrada del inyector que permite calcular con precisión la cantidad de gasolina que inyectamos en cada admisión. Esta señal también es continua y prácticamente constante.

- Sensor de oxígeno (sonda lambda)

Es un dispositivo capaz de medir la relación Lambda de los gases de escape en función de la cantidad de oxigeno que posean. La medida de la sonda Lambda es una señal de voltaje de entre 0 y 1 V.

- Posición del mando del gas

Para detectar la posición del mando de gas se utiliza un potenciómetro en un puente de Wheatstone. Al accionar el acelerador, este potenciómetro varía su valor óhmico provocando una diferencia de potencial que es tratada por la ECU, sabiendo así en que posición está realmente.

- Posición del cigüeñal

La medición se efectúa en el cigüeñal o en el árbol de levas, el mecanismo consiste en una rueda dentada y un sensor Hall. Esta rueda dentada debe marcar el PMS del cilindro con un pulso de doble duración con el fin de ajustar el encendido.

- RPM del motor

El mecanismo es similar al de posición del cigüeñal, utilizando la misma señal, pero en cambio esta vez es tratada para saber el ángulo descrito por unidad de tiempo del motor. Las revoluciones varían entre 0 y 12000, siendo este el punto de corte.

3.1.2. Actuadores

Para ejercer control sobre el motor, la ECU deberá actuar sobre la inyección y el encendido.

- Control de la inyección

Desde un punto de vista eléctrico, el inyector presenta un valor óhmico de resistencia comprendido entre 2 y 16 Ohm, asociado en serie a un valor de inductancia que puede alcanzar un valor de 15 mH. Dicha inductancia es debida a la bobina que tiene la misión de que al circular corriente por ella, debe retirar la aguja del asiento situado a la salida del inyector, asiento que impide la salida del combustible sometido a presión hacia el conducto de admisión o hacia la cámara de combustión, en el caso de inyección directa.

Se actúa sobre el inyector con una señal digital cuadrada cuyo 1 lógico implica la apertura de la aguja de inyección y el 0 el cierre. Esta señal digital ha de pasar por una etapa de potencia, que adapte las señales de control provenientes del microcontrolador a los niveles adecuados para gobernar al inyector.

- Encendido

La generación de la chispa en la bujía se basa en la interrupción de la corriente en el primario de un transformador de relación 100:1, conocido como *bobina del encendido*, que provoca unas sobretensiones de un valor de 10 a 45 kV, que permiten que se produzca el arco eléctrico en la bujía.

Se ha de diseñar la correspondiente etapa de potencia, que adapte las señales de control provenientes del microcontrolador a los niveles adecuados de corriente necesarios. Para esto se utilizan transistores IGBT que soportan elevadas intensidades.

Capítulo 4
Posibles soluciones

- Temperaturas

La medición de la temperatura en el automóvil se efectúa de modo casi exclusivo mediante termómetros de contacto constituidos por materiales resistivos de coeficiente de temperatura positivo (PTC) o negativo (NTC), aprovechando su dependencia de la temperatura. La conversión de la resistencia eléctrica en una tensión analógica se realiza casi siempre mediante el complemento de una resistencia térmicamente neutra o de sentido opuesto, formando un divisor de tensión (efecto linealizador).

- Caudal de aire

Como ejemplos de medidores de caudal de aire tenemos de la marca BOSCH los siguientes:

- Sonda volumétrica de aire por plato sonda LMM

Se encuentra entre el filtro de aire y la mariposa. Tiene la función de detectar el flujo volúmico de aire Q aspirado por el motor, a fin de determinar la carga según el principio de la presión dinámica.

El plato sonda móvil de la sonda volumétrica de aire desempeña el papel de un diafragma variable. El flujo del aire de admisión QL desplaza el plato sonda contra la fuerza constante de un muelle antagonista, de manera que la sección de paso libre se vuelve mayor a medida que aumenta el volumen de aire. Esto nos da una gran sensibilidad de la sonda volumétrica de aire para pequeños caudales de aire que exigen una alta precisión de medición.

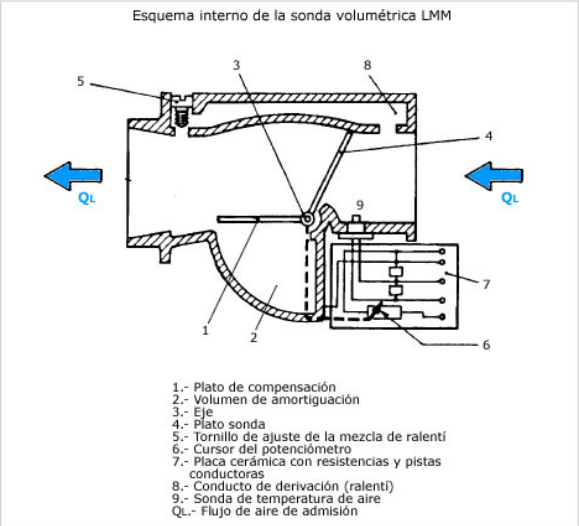


Figura 1. Sonda volumétrica.

- Medidor de masa de aire por hilo caliente HLM

Está montado como sensor de carga "térmico" entre el filtro de aire y la mariposa. Detecta el flujo másico de aire QM para determinar la carga del motor. El HLM es el medidor de caudal de aire más rápido de los que se encuentran en funcionamiento, pues es capaz de seguir oscilaciones del promedio de hasta 1 kHz.

El HLM consiste en un cuerpo tubular protegido en cada extremo por una reja y a través del cual circula el flujo de aire de admisión. Un delgado hilo calefactable de 70 µm, de platino, está tendido en forma de trapecio sobre toda la sección de este tubo de medición y detecta así, con una buena aproximación, toda la sección de flujo.

La resistencia de compensación mide primero la temperatura del aire de admisión entrante, que enfría a continuación el hilo calefactado. Un circuito de regulación reajusta la corriente de calefacción de tal manera que el hilo caliente adopta una temperatura constante superior a la del aire de admisión.

Este principio de medición tiene en cuenta la masa volumétrica del aire en las proporciones correctas. La corriente de calefacción genera en una resistencia de precisión una tensión UM que es proporcional al flujo de masa de aire y que se transmite a la unidad de control.

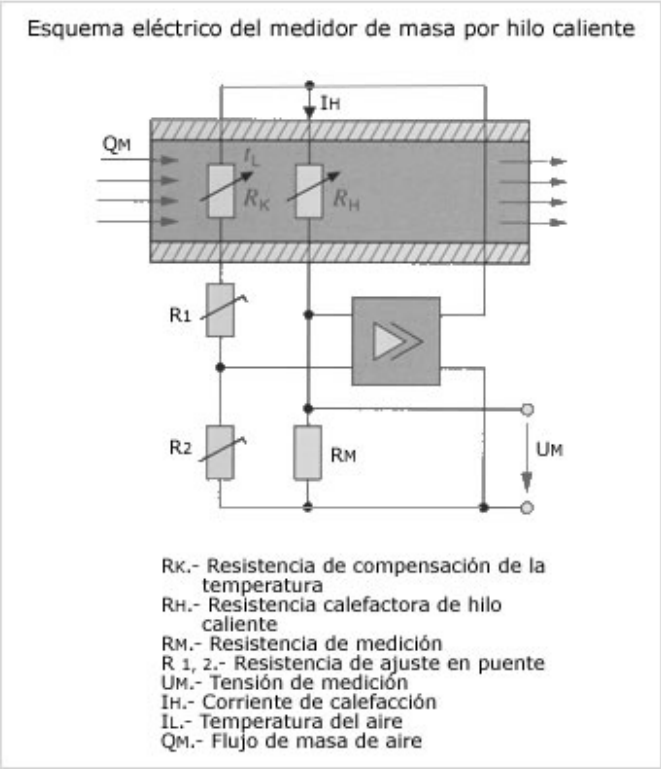


Figura 2. Hilo caliente.

- Medidor de masa de aire de película caliente HFM

Trabaja según el siguiente principio:

Una resistencia calefactora dispuesta en el centro sobre la célula de medición calienta una membrana sensible micromecánica y la mantiene a una temperatura constante. Fuera de esta zona de calefacción regulada disminuye la temperatura a ambos lados.

Dos resistencias dependientes de la temperatura montadas simétricamente respecto a la resistencia calefactora flujo arriba y flujo abajo sobre la membrana (puntos de medición MI, M2) detectan la distribución de la temperatura sobre ésta. Cuando no pasa aire, el perfil de temperaturas es igual en ambos lados (T1 = T2).

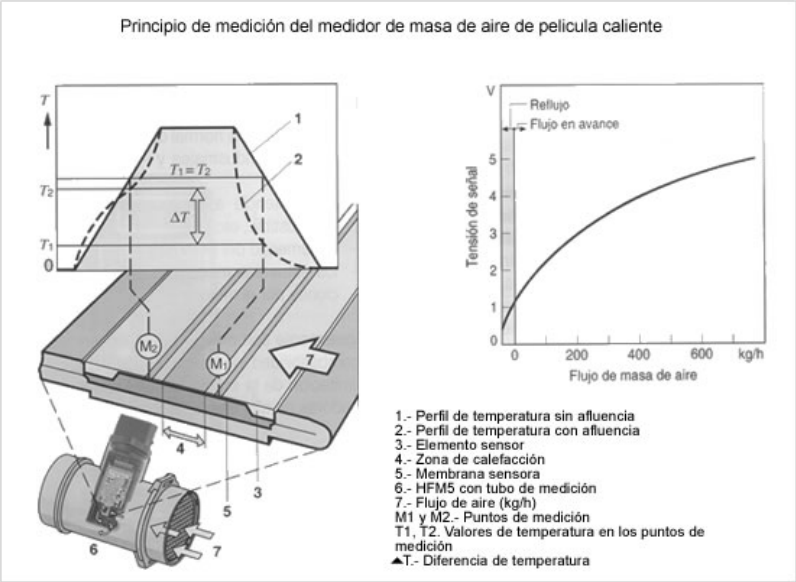


Figura 3. Película caliente.

Cuando pasa aire por encima de la célula de medición, el perfil uniforme de temperaturas sobre la membrana sufre un cambio. En el lado de aspiración la variación de la temperatura es más pronunciada, pues la corriente de aire enfría esta parte.

En el lado opuesto, orientado hacia el motor, se enfría primero la célula de medición del sensor. Luego, el aire calentado por el elemento de calefacción caldea la célula de medición. La variación de la distribución de temperaturas ocasiona una diferencia de temperatura (AT) entre los puntos de medición M1 y M2.

La diferencia de resistencia en los puntos de medición M1 y M2 la convierte el sistema electrónico evaluador integrado en el sensor en una señal de tensión analógica entre 0...5 V, adecuada a la unidad de control.

- Presión de la gasolina

El sensor de presión del combustible se encuentra atornillado en la rampa de inyección de combustible. Tiene la función de medir la presión del combustible en la rampa de inyección. Con esta medida la unidad de control del motor regula la presión del combustible en el sistema de alta presión, en función de una familia de curvas características.

A partir de la rampa de inyección fluye combustible hacia el sensor de presión.

A baja presión del combustible sólo se deforma levemente la membrana de acero. De esa forma es alta la resistencia eléctrica que oponen las resistencias extensiométricas y la tensión de la señal es baja.

Si la presión del combustible es de alta magnitud, la membrana de acero se deforma en una medida intensa. Debido a ello es baja la resistencia eléctrica en las resistencias extensiométricas y la tensión de la señal es correspondientemente alta.

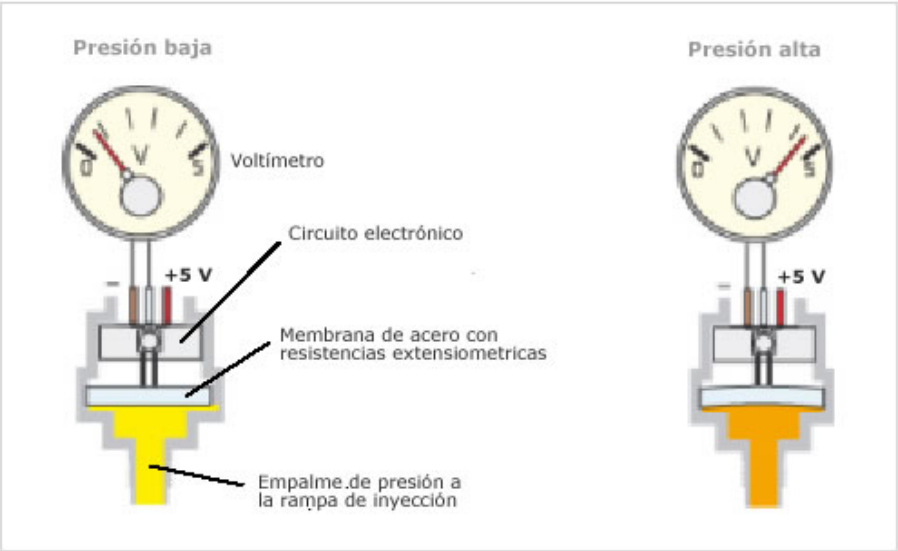


Figura 4. Medido de presión de gasolina.

La tensión de las señales se intensifica en el circuito electrónico y se transmite a la unidad de control del motor. La regulación de la presión del combustible se lleva a cabo con ayuda de la válvula reguladora de presión del combustible.

- Posición del mando del gas

Existen varios métodos explicados a continuación:

- Sensor de mariposa

Este sensor detecta el ángulo de giro de la válvula de mariposa de aire.
Para el empleo del sensor de mariposa como sensor de carga principal se consigue la precisión necesaria mediante dos potenciómetros para dos campos angulares.

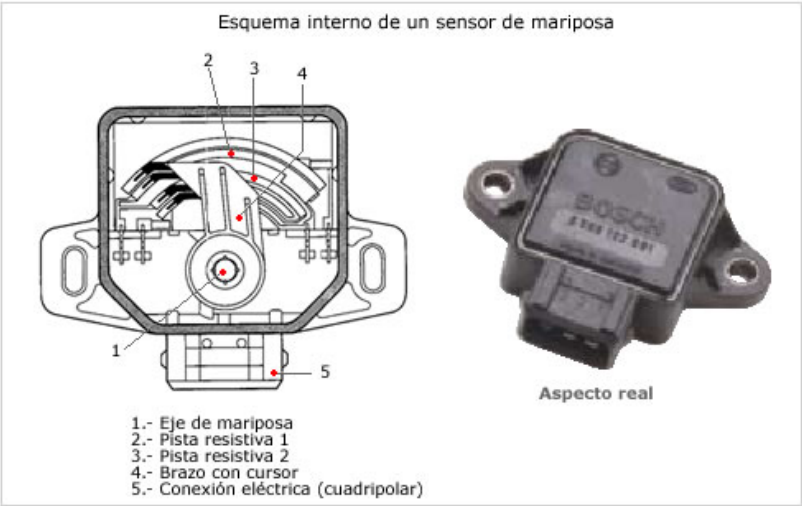


Figura 5. Sensor de mariposa.

Los cursores fijados en el brazo detector sujeto al árbol de la mariposa se deslizan a lo largo de las pistas resistivas correspondientes. El ángulo de giro de la mariposa es convertido así en una relación de tensiones UA/Uv proporcional a este ángulo, siendo la tensión de funcionamiento Uv = 5 V. La conexión del cursor se efectúa generalmente a través de una segunda pista de contacto de igual superficie, que tiene debajo una capa de material conductor de baja impedancia.

- Potenciómetro de plato sonda

El potenciómetro de la sonda volumétrica de aire está construido según la técnica multicapa sobre un substrato cerámico. Se trata de un sensor angular potenciométrico que aprovecha para la medición la proporcionalidad existente entre la longitud de una resistencia de capas (pista conductora) y su valor óhmico. La curva característica del potenciómetro no es lineal, a causa de la variación del ancho de la pista. Por ello la señal de aceleración presenta su amplitud máxima en el caso de un movimiento partiendo de la posición de ralentí. Ella disminuye a medida que aumenta la potencia del motor.

Un cursor de escobilla se desliza sobre la pista del potenciómetro. La escobilla se compone de varios alambres muy finos soldados a una palanca. Los diversos alambres ejercen una presión reducida sobre la pista resistiva, siendo el desgaste por tanto extremamente bajo.

La tensión del cursor la toma un segundo cursor de escobilla, que está unido eléctricamente con el cursor principal. Una resistencia eléctrica fija, realizada asimismo en técnica multicapa, está conectada en serie al cursor para proteger el potenciómetro contra cortocircuitos.

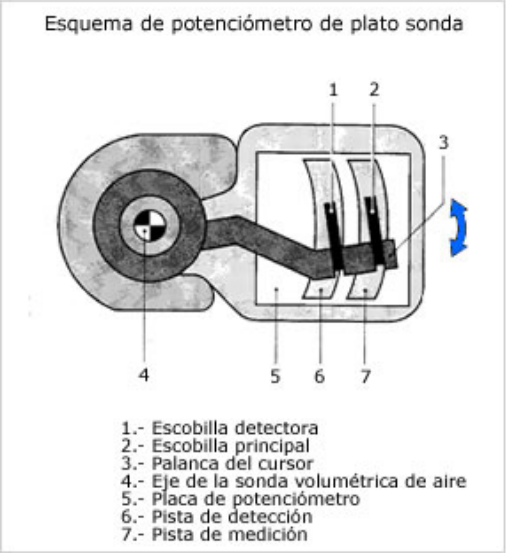


Figura 6. Plato Sonda.

- Posición del cigüeñal y RPM del motor

El sensor de ángulo del cigüeñal (CAS) o el sensor de posición del cigüeñal (CPS) pueden colocarse en diferentes ubicaciones, como: en la parte trasera del motor, en el volante motor, en el lado del bloque motor o en el árbol de levas.
La señal de salida producida se utiliza por parte del módulo de control del motor (ECM) para determinar la posición exacta del motor.

El sensor de cigüeñal de efecto Hall es un sencillo interruptor digital “on/off” que produce una salida digital reconocida y procesada por la ECU. El sensor se activa con un disco metálico giratorio con aberturas o dientes; este disco pasa entre el electroimán y el semiconductor.
El campo magnético se activa y desactiva a través del disco giratorio que pasa junto a los dos objetos. El efecto de un campo magnético capaz de pasar a través de una de las “ventanas” detendrá el flujo de tensión. Cuando la “ventana” se cierra, el flujo se restaura. Esta acción producirá una onda cuadrada digital que será reconocida por el ECM o el amplificador y no necesitará ningún trigger de Schmitt para convertir la señal analógica en una señal digital.
Para saber cuando el cilindro se encuentra en el PMS se sincroniza la señal de un diente de doble anchura que produce un pulso de doble duración del disco y de esta manera se informa a la ECU que el cilindro se encuentra en ese punto.

El método de sensor Hall es mejor respecto al sensor inductivo puesto que el método inductivo da en su salida una señal senoidal que ha de ser tratada, en cambio el sensor hall da una señal continua cuadrada que no necesita ser tratada.

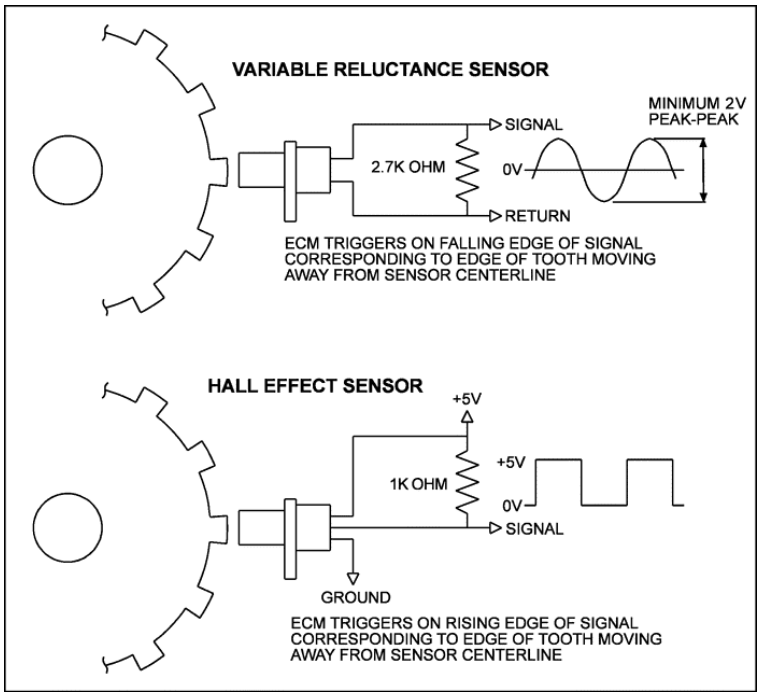


Figura 7. Sensor inductivo y Hall

Capítulo 5
Soluciones escogidas

5.1. Soluciones para puesta a punto del prototipo

- Temperaturas

A la hora de hacer las simulaciones, se simularán todas las temperaturas con potenciómetros o directamente se dará un valor constante.

- Caudal de aire

Se utilizarán potenciómetros para simular el caudal de aire.

- Presión de la gasolina

Se dará un valor constante a de presión de gasolina.

- Posición del mando del gas

Un potenciómetro hará de puño de acelerador

- Posición del cigüeñal

Con el generador de funciones se simulará una señal cuadrada que imitará al disco dentado.

- RPM del motor

Se generará una señal cuadrada con el generador de funciones para regular la velocidad del motor.

5.2. Soluciones escogidas para la ECU comercial

- Temperatura

Para medir las distintas temperaturas se utilizarán sensores resistivos de coeficiente de temperatura negativo (NTC). Al cual se le acoplará una resistencia térmicamente neutra o de sentido opuesto, formando un divisor de tensión.

- Caudal de aire

Para medir el caudal de aire se utilizará un medidor de masa de aire de película caliente HFM de la casa BOSCH, puesto que es uno de los más desarrollados y exactos comercializados actualmente.

- Presión de la gasolina

Se utilizará un sensor de deformación de membrana, puesto que es prácticamente el más utilizado y fiable.

- Posición del mando del gas

Para detectar la posición del mando de gas se utilizará el sensor de mariposa que detecta el ángulo de giro en la válvula de mariposa de aire. Es el más utilizado en motocicletas de inyección.

- Posición del cigüeñal y RPM del motor

Como sensor de posición del cigüeñal y RPM se utilizará el sensor Hall, puesto que la señal a su salida es continua, limpia; y es el sensor más utilizado en el campo de la automoción.

Capítulo 6

HARDWARE

6.1. Microcontrolador

A continuación estudiamos el mercado actual en el rango que más se ajusta a nuestra aplicación:

Microcontroladores de Microchip

Los microcontroladores más famosos de este fabricante son los que se desarrollaron a mediados de los setenta, conocidos con el nombre de PIC. Dentro de toda la gama ofrecida nos fijaremos primero en los microcontroladores de gama media, ya que son los que más se adaptan a las necesidades requeridas. De esta familia de microcontroladores destaca:

- Coste inferior comparado con sus competidores
- Tienen una velocidad elevada de funcionamiento de 40 MHz, mínimo.
- Disponen de una pila de 8 niveles.
- Capacidad para gestionar interrupciones.
- Disponen de diferentes tipos de puertos serie, según el modelo.
- Podemos encontrar modelos con memoria tipo ROM o FLASH.
- Disponen de entre 4 y 12 tipos de interrupciones diferentes

También destacar que estos dispositivos disponen de muchas herramientas software que pueden ser descargadas gratuitamente desde la web de Microchip.

MODELO	A/D	Memoria programa (x14bits) ROM	EPROM	Memoria datos (RAM, Bytes)	Freq. max. (MHz)	Vcc (V)	I/O Serial	Pines I/O
PIC16C745	5 canales de 8 bits	OTP 8192 words - 14,3 KB	-	256	24	4,35 – 5,25	USART	22
PIC16F76	5 canales de 8 bits	Flash 8192 words - 14,3 KB	-	368	20	2-5,5	USART I2C Compatible SPI	22
PIC16F77	8 canales de 8 bits	Flash 8192 words - 14,3 KB	256 b	368	20	2-5,5	USART I2C Compatible SPI	33
PIC16F876	5 canales de 10 bits	Enhanced Flash 8192 words - 14,3 KB	256 b	368	20	2-5,5	USART I2C Compatible SPI	22

Además, el fabricante Microchip también dispone de una gama alta de microcontroladores de 8 bits, la familia PIC18F. Sus características principales son:

- Compilador de C eficiente
- Disponible en packages (encapsulados) de 40 a 80 pins.
- Disponibles con memoria tipo EEPROM programable “on-chip”
- Memoria de programa tipo Flash.
- Espacio de memoria lineal de hasta 2 MBytes.
- Puede operar hasta 10 MIPS.
- Soporta protocolos adelantados de comunicaciones (CAN, USB y TCP/IP).
- Dispone de uno o varios conversorses A/D.
- Dispone de una pila de 32 niveles con soporte para interrupciones tanto internas como externas.
- Palabras de instrucciones de 6 bits y 8 bits por datos.
- Dispone de un total de 79 instrucciones disponibles (reducido juego de instrucciones).
- Alimentación entre 2 y 5.5V

MODEL	A/D	Memòria programa (x14bits)		Memòria dades (RAM, Bytes)	Freq. max. (MHz.)	I/O Serial	Pines I/O
		ROM	EPROM				
PIC18F1230	4 canales de 10 bits	Enhanced Flash 2 Kwords - 4 KB	128	256	40	EUSART	16
PIC18F2423	10 canales de 12 bits	Flash 8Kwords – 18 KB	256	768	40	EUSART, MIA2C Compatible / SPI	25
PIC18F26K20	10 canales de 10 bits	Enhanced Flash 32 K words – 64 KB	1024	3968	64	EUSART, MIA2C	25
PIC18F4550	13 canales de 10 bits	Enhanced Flash 16 K words – 32 KB	256	2048	48	EUSART, MIa2C	34
PIC18F65J10	11 canales de 10 bits	Standard Flash 16 K words- 32 KB	-	2048	40	2 EUSART, 2 MIA2C Compatible / SPI	50
PIC18F8310	12 canales de 10 bits	Standard Flash 4 K words- 8 KB	-	768	40	AUSART, EUSART, MIA2C compatible /SPI	70

Microcontroladores de Intel

A destacar la familia de microcontroladores basados en la estructura 8051. Sus características principales son:

- CPU de 8 bits optimizado para el control de aplicaciones.
- 64K de espacio de direcciones de memoria de programa.
- 64K de espacio de direcciones de memoria de datos.
- 4 K Bytes de memoria de programa integrada en el chip.
- 128 bytes de RAM integrada en el chip.
- 32 I/O líneas accesibles individualmente y bidireccionales
- Dos contadores de 16 bits.
- 6 fuentes / 5 vectores de interrupción con dos niveles de prioridad.
- Osciladores integrados en el chip.

A continuación tenemos algunos de modelos basados en la estructura 8051 y restringido a los que usan una memoria EPROM:

Modelo	EPROM (bytes)	RAM (bytes)	Vel.(MHz)	I/O pins	Timer/counter	Canales A/D
8751H	4K	128	12	32	2	0
8751BH	4K	128	12	32	2	0
8752BH	8K	256	12	32	3	0
87C51	4K	128	12,16,20,24*	32	2	0
87C52	8K	256	12,16,20,24*	32	3	0
87C54	16K	256	12,16,20,24*	32	3	0
87C58	32K	256	12,16,20,24*	32	3	0
87C51FA	8K	256	12,16,20,24*	32	3	0
87C51FB	16K	256	12,16,20,24*	32	3	0
87C51FC	32K	256	12,16,20,24*	32	3	0
87C51GB	8K	256	12,16	48	3	8
87C51SLAH	16K	256	16	24	2	4
87C51SLAL	16K	256	16	24	2	4

Velocidad (MHz): 24* = 24MHz solo para operaciones internas

Microcontroladores de Atmel

El fabricante ATMEL Corporation dispone de una familia de microcontroladores de 8 bits compatibles con la arquitectura MCS-51 de Intel con mucha diversidad de modelos. De los microcontroladores analizados cabría destacar las siguientes características:

- Memoria interna tipo Flash para programas de entre 2 y 128 KB.
- Memoria RAM de 128 hasta 2048 Bytes.
- Frecuencia de reloj de hasta 60MHz.
- Varios temporizadores de 16 bits.
- Consumo máximo de hasta 5,5 o 6 V dependiendo del modelo.

MODELO	FLASH (Kbytes)	EEPROM (Kbytes)	RAM (Bytes)	Vel. (MHz)	I/O Pins	UART	SPI bus
AT89C5115	16	2	512	40	20	1	
AT89C51AC2	32	2	1280	40	34	1	
AT89C51AC3	64	2	2304	60	32	1	Si
AT89C51ED2	64	2	2048	60	32	1	Si
AT89C51IC2	32	-	1280	60	34	1	Si
AT89C51ID2	64	2	2048	60	32	1	Si
AT89C51RB2	16	-	1280	60	32	1	Si
AT89C51RC	32	-	512	33	32	1	Si
AT89C51RC2	32	-	1280	60	32	1	Si
AT89C51RD2	64	-	2048	60	32	1	Si
AT89C51RE2	128	-	2048	60	34	2	Si
AT89C55WD	20	-	256	33	32	1	Si
AT89LP2052	2	-	256	20	15	1	Si
AT89LP213	2	-	128	20	14	-	Si
AT89LP214	2	-	128	20	12	1	Si
AT89LP216	2	-	128	20	14	Si	Si
AT89LP4052	4	-	256	20	15	1	Si
AT89LS51	4	-	128	16	32	1	Si
AT89LS52	8	-	256	33	32	1	Si
AT89S51	4	-	128	33	32	1	Si
AT89S52	8	-	256	33	32	1	Si
AT89S8253	12	2	256	24	32	1	Si

Atmel Corporation además, también dispone de un otra familia de microcontroladores, la AVR de 8bits- Riesc caracterizados por:

- 32 registros de propósito general.
- Bajo consumo
- Diferentes tipos de estados de latencia (sleep modes).
- Comparador analógico
- Rápida recuperación del modo de latencia
- Varios canales de salida de modulador de pulsos.
- Alimentación máxima de hasta 5.5 V
- Posibilidad de disponer de diferentes timers o contadores de 16 o 8 bits dependiendo del modelo.
- Todos los modelos incorporan ISP (In System Programming: Metodología a través de la cual un circuito programable complejo (microcontroladores) puede ser reprogramado estando soldado o conectado al sistema del usuario.)

Elección

El microcontrolador elegido es el microchip PIC18F4550, que se adapta a nuestras necesidades y tiene los canales y la resolución adecuada en los convertidores A/D integrados para capturar las señales provenientes de los sensores.

Un factor a tener en cuenta es que existe una amplia información disponible sobre este microcontrolador por parte del fabricante y en Internet.

El PIC18F4550 tiene 13 entradas A/D con una resolución de 10 bits, precisión suficiente para esta aplicación, y a su vez no necesita convertidor AC/DC externo.

El programador utilizado con los microcontroladores PIC de la casa Microchip es mucho más económico y manejable que el resto de marcas, dato que refuerza la elección por dicho microcontrolador.

Otro punto a favor y muy importante es la opción integrada que lleva el PIC18F4550 que permite la comunicación con el PC mediante el puerto USB, ya que es totalmente compatible e incluso se puede alimentar a través del mismo puerto sin necesidad de una fuente de alimentación externa.

A continuación se muestran los parámetros más importantes característicos:

Parameter Name	Value
Program Memory Type	Flash
Program Memory (KB)	32
CPU Speed (MIPS)	12
RAM Bytes	2,048
Data EEPROM (bytes)	256
Digital Communication Peripherals	1-A/E/USART, 1-MSSP(SPI/I2C)
Capture/Compare/PWM Peripherals	1 CCP, 1 ECCP
Timers	1 x 8-bit, 3 x 16-bit
ADC	13 ch, 10-bit
Comparators	2
USB (ch, speed, compliance)	1, Full Speed, USB 2.0
Temperature Range (C)	-40 to 85
Operating Voltage Range (V)	2 to 5.5
Pin Count	40

6.2. Diagrama de bloques general

El diagrama de bloques de hardware es muy parecido a los diagramas de los sistemas de control y adquisición de datos. Está compuesto de los siguientes elementos:

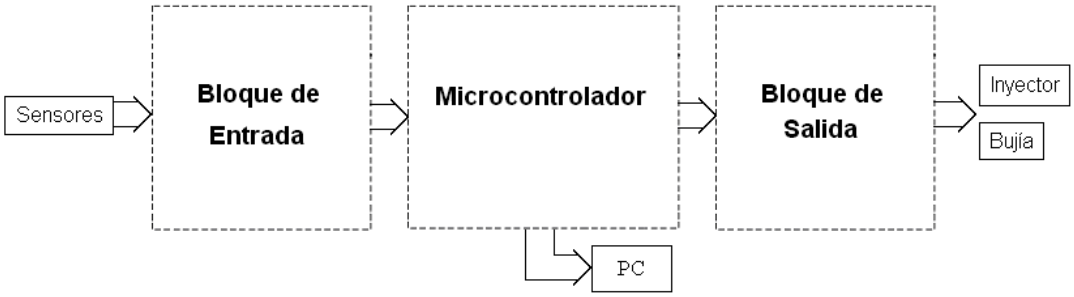


Figura 8. Bloques hardware.

- Bloque de entrada: es el encargado de acondicionar las señales que provienen de los sensores, aislarlas galvánicamente y adecuarlas a los niveles del microcontrolador. Estas señales se aíslan galvánicamente mediante opto acopladores para prevenir sobre tensiones que puedan dañar el uC, y también para que las interferencias electromagnéticas no afecten puesto que un motor de combustión interna se producen muchos transitorios.

- Microcontrolador: es donde se implementarán los algoritmos de control del motor. El microcontrolador elegido es el PIC18F4550, que se adapta a nuestras necesidades y tiene los canales y la resolución adecuada en los convertidores A/D integrados para capturar las señales provenientes de los sensores.

El microcontrolador se comunicará con el PC mediante el puerto USB para visualizar el estado de las variables a tiempo real mediante el software LabView.

- Bloque de salida: se encarga de adaptar las señales de salida del microcontrolador al nivel requerido para actuar sobre el inyector y sobre la bobina del sistema de encendido. También se encarga de proteger las etapas de potencia contra sobrecargas.

6.3. Esquemas de detalle

6.3.1. Esquema de control de inyección

Para el control del inyector utilizamos un transistor MOSFET IRFZ48N, puesto que es fácil de controlar, es compatible con niveles TTL y tiene un margen de tensión y corriente elevado.

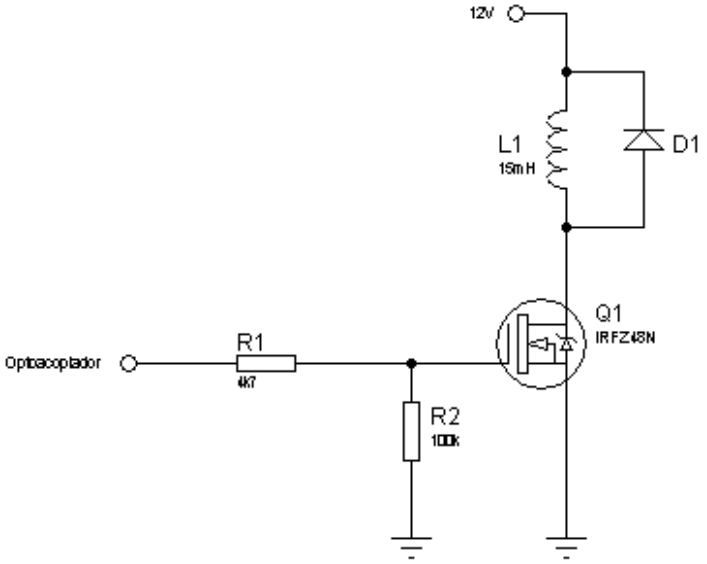
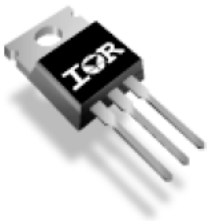


Figura 9. Control de inyección.

Características principales del MOSFET IRFZ48N obtenidas del datasheet:

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated



SYMBOL	PARAMETER	MAX.	UNIT
VDS	Drain-source voltage	55	V
I_D	Drain current (DC)	64	A
P_{tot}	Total power dissipation	140	W
Tj	Junction temperature	175	ºC
R_{DS}(ON)	Drain-source on-state resistance VGS = 10 V	16	mΩ

6.3.2. Esquema de control del encendido

Para el control del encendido utilizamos un transistor IGBT ISL9V5036, ya que ha sido fabricado para aplicaciones en automóviles, soporta elevadas sobretensiones y es compatible con señales de control TTL.

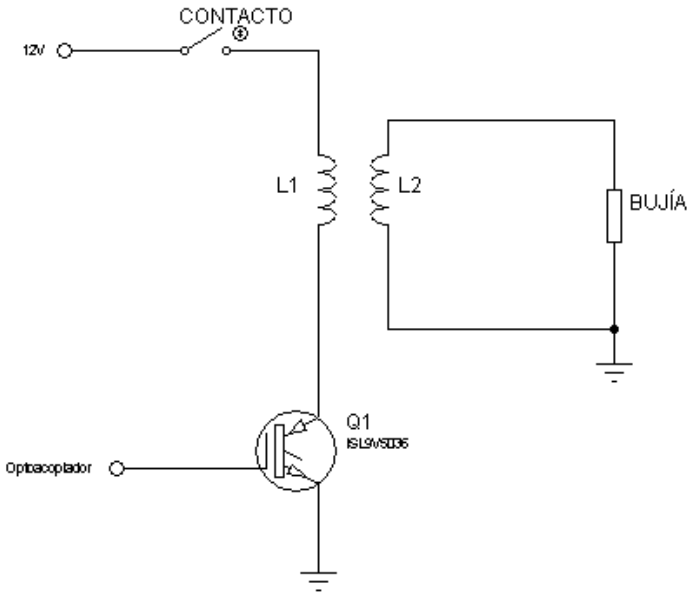
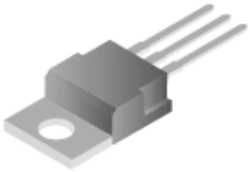


Figura 10. Control encendido.

Características destacables del IGBT ISL9V5036:



- Industry Standard D2 Pak package
- SCIS Energy = 500mJ at Tj = 25ºC
- Logic Level Gate Drive
- Qualified to AEC Q101
- RoHS Compliant
- Designed specifically for automotive Ignition Coil Driver Circuits
- Coil-On Plug Applications

Device Maximum Ratings T_A = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Ratings	Units
BV_{CER}	Collector to Emitter Breakdown Voltage (I_C = 1 mA)	390	V
BV_{ECS}	Emitter to Collector Voltage - Reverse Battery Condition (I_C = 10 mA)	24	V
E_{SCIS25}	At Starting T_J = 25°C, I_{SCIS} = 38.5A, L = 670 µHy	500	mJ
$E_{SCIS150}$	At Starting T_J = 150°C, I_{SCIS} = 30A, L = 670 µHy	300	mJ
I_{C25}	Collector Current Continuous, At T_C = 25°C, See Fig 9	46	A
I_{C110}	Collector Current Continuous, At T_C = 110°C, See Fig 9	31	A
V_{GEM}	Gate to Emitter Voltage Continuous	±10	V
P_D	Power Dissipation Total T_C = 25°C	250	W
	Power Dissipation Derating T_C > 25°C	1.67	W/°C
T_J	Operating Junction Temperature Range	-40 to 175	°C
T_{STG}	Storage Junction Temperature Range	-40 to 175	°C
T_L	Max Lead Temp for Soldering (Leads at 1.6mm from Case for 10s)	300	°C
T_{pkg}	Max Lead Temp for Soldering (Package Body for 10s)	260	°C
ESD	Electrostatic Discharge Voltage at 100pF, 1500Ω	4	kV

6.3.3. Circuito optoacoplador

Para proteger el microcontrolador y periféricos de la parte de alta tensión, utilizamos optoacopladores 6N137, ya que tienen un retardo de conmutación muy bajo y son compatibles con TTL.

Dado que los optoacopladores trabajan con lógica negativa, es necesario poner a la salida una puerta NAND para transformar a lógica positiva y de esta manera actuar sin problema sobre el inyector y la bobina de encendido.

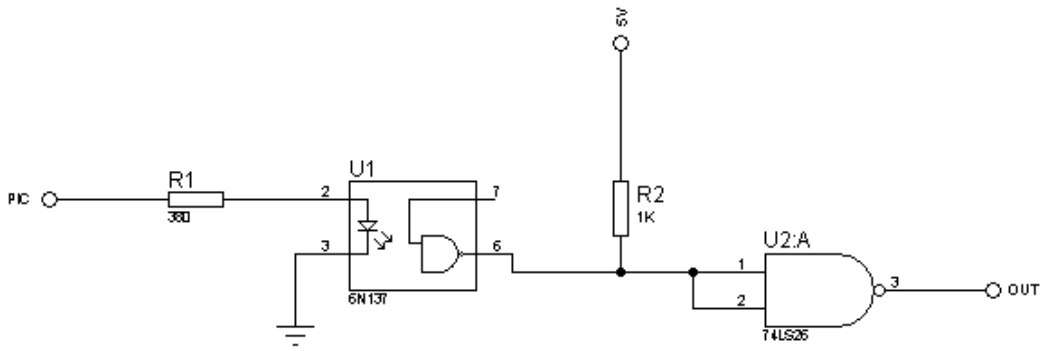


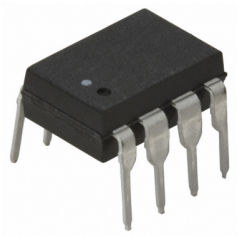
Figura 11. Optoacoplador.

Algunas características destacables del optoacoplador obtenidas del datasheet:

Features
Very high speed – 10 MBit/s
Superior CMR – 10 kV/µs
Double working voltage-480V
Fan-out of 8 over -40°C to +85°C
Logic gate output
Strobable output
Wired OR-open collector
U.L. recognized (File # E90700)

Aplicaciones más comunes del 6n137:

- Ground loop elimination
- LSTTL to TTL, LSTTL or 5-volt CMOS
- Line receiver, data transmission
- Data multiplexing
- Switching power supplies
- Pulse transformer replacement
- Computer-peripheral interface



Capítulo 7

Software

La función principal del programa es tomar los valores de todos los sensores, e ir a la matriz de tiempo base de inyección y avance de encendido para calcular el tiempo total de inyección y el avance total de encendido.

Una vez hecho esto se envían los datos a través del puerto USB al PC para ser visualizados en tiempo real, y a un display LCD por el que también se podrá ver el estado de las variables de manera rápida y simplificada.

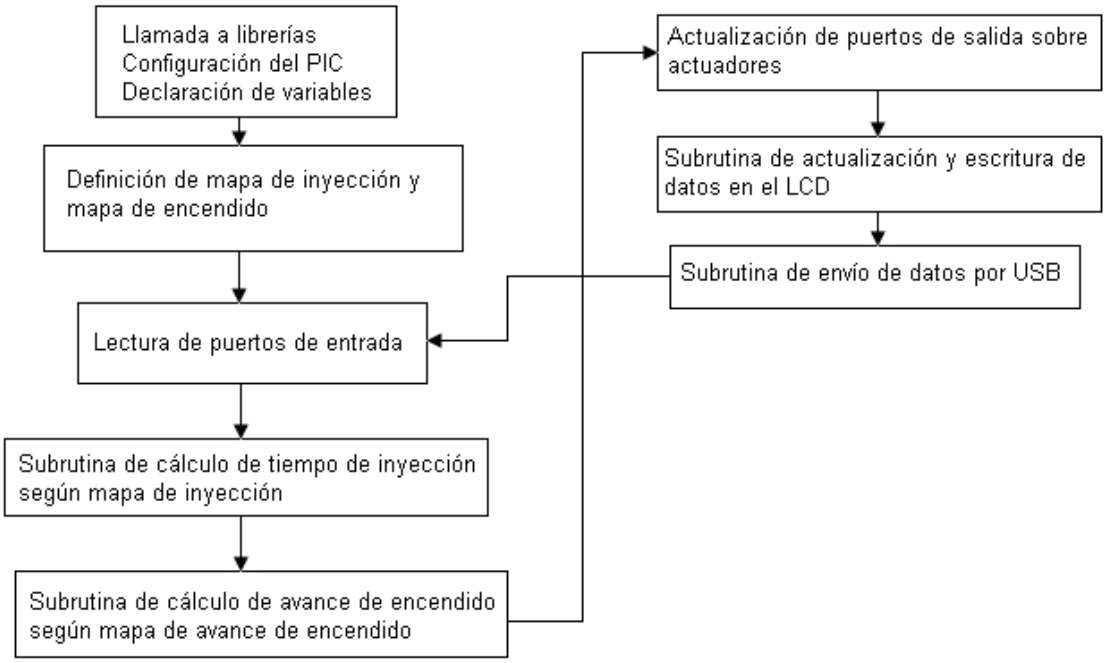


Figura 12. Programa.

En la gráfica se muestra un diagrama de flujo del programa general, sin entrar en detalle de programación, puesto que es el objetivo del PFC2.

Como software compilador y programador se utilizará el CCS puesto que es el más adecuado para este tipo de microcontroladores, contiene las librerías específicas para cada microcontrolador PIC y su programación es en entorno C.

Otro punto a favor de este software es que tiene la posibilidad de funcionar en paralelo con PROTEUS, otro software de simulación, que sin la necesidad de tener el µC conectado se puede simular de manera virtual el programa antes de introducirlo en el PIC.

Una vez compilado se obtiene el programa en formato ".hex", el cual se introducirá en el µC mediante el programador PICKIT2 de la casa Microchip.

Capítulo 8

Simulaciones

Las simulaciones previstas para el PFC2 son las siguientes:

- Señal de posición del cigüeñal: se mostrará la señal de sincronización, con el doble diente de la rueda dentada que indica el punto PMS.
- Señal de RPM: señal de todos los dientes de la rueda dentada.
- Señal de control del inyector: señal de salida del microcontrolador antes de la etapa de control.
- Señal real de apertura del inyector: señal tomada directamente del inyector.
- Señal de control del encendido: señal a la salida del microcontrolador antes de la etapa de control.
- Señal real del encendido: señal tomada en el IGBT que controla el avance de encendido.

Capítulo 9
Comunicaciones

9.1. USB

Para la comunicación entre el PC y el microcontrolador PIC18F4550 se utiliza la interfaz USB (Universal Serial Bus), puesto que actualmente los puertos serie y paralelo están desapareciendo en los nuevos ordenadores, debido al uso masivo del USB.

Como software de visualización, se utilizará LabView para observar en todo momento y a tiempo real, el estado de las variables a controlar de manera gráfica y sencilla de entender.

El microcontrolador PIC18F4550 posee la interfaz de comunicación mediante USB integrada, por eso no se ha de utilizar ningún circuito integrado adicional. Simplemente se destinan los bits de un puerto específico para esta función puesto que es compatible. A continuación características destacables del PIC:

Features
Full Speed USB 2.0 (12Mbit/s) interface
1K byte Dual Port RAM + 1K byte GP RAM
Full Speed Transceiver
16 Endpoints (IN/OUT)
Streaming Port
Internal Pull Up resistors (D+/D-)
48 MHz performance (12 MIPS)
Pin-to-pin compatible with PIC16C7X5

Esquema de conexión al microcontrolador:

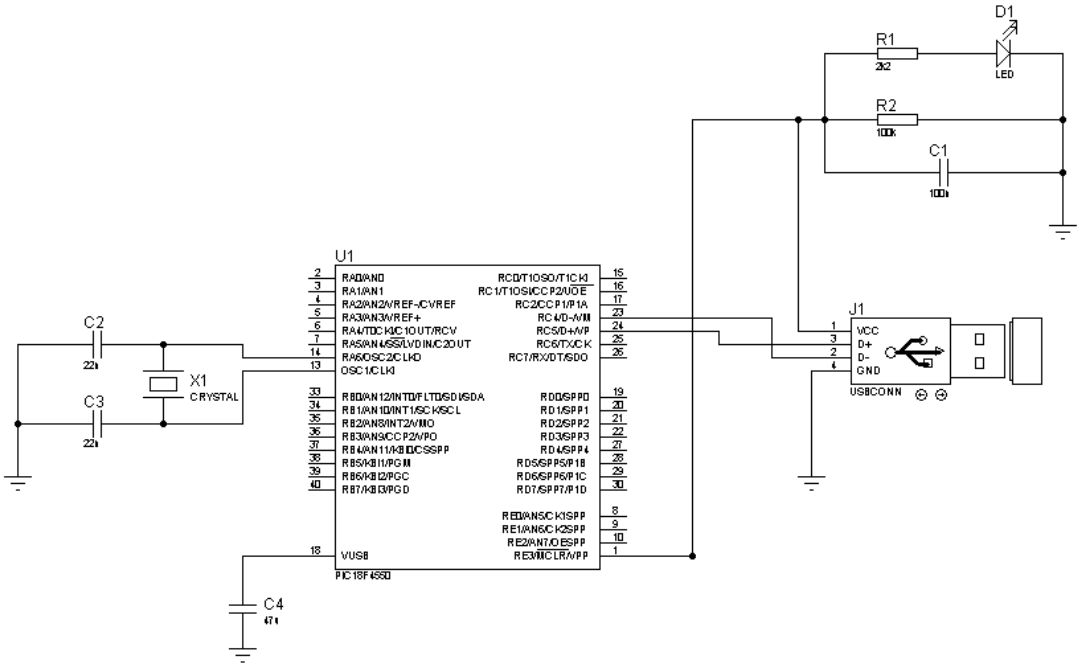


Figura 13. Esquema conexión USB.

El puerto USB, además de servir para comunicar el µC con el PC, también puede hacer de fuente de alimentación, en este caso todos los pines que debieran ir conectados a la alimentación positiva se deberán conectar en el pin VCC del conector USB.

9.2. LCD

Para visualizar las variables en tiempo real, además de por ordenador se visualizarán por una pantalla LCD gráfica LGM12641-BS1R con controladora KS0108 de 128x64.

Otra opción sería visualizar los datos por una pantalla LCD 4x20, sin controladora integrada, puesto que es más económico y directo que el LCD gráfico.

Esquema de conexión del LCD al microcontrolador:

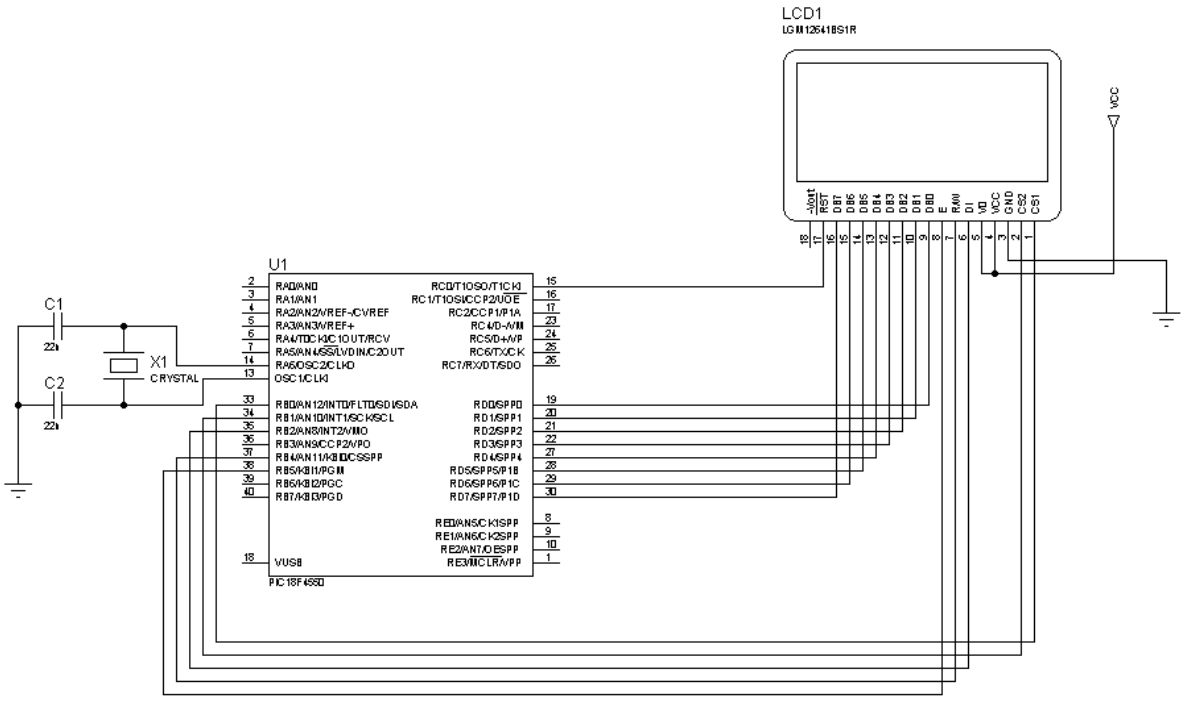


Figura 14. Esquema conexión LCD.

Para conectar el LCD se utilizan los puertos RB y RD dejando libre la mayoría del RC destinado a comunicación USB y actuadores, y el RA destinado a entradas analógicas.

Existen varios valores de cristal de cuarzo a elegir, pero se ha de especificar en el programa que valor se esta utilizando, puesto que el µC trabaja a 4 MHz, y este cristal ha de ser múltiplo de este valor.

Capítulo 10

Normativa

La norma europea sobre emisiones es un conjunto de requisitos que regulan los límites aceptables para las emisiones de gases de combustión de los vehículos nuevos vendidos en los Estados Miembros de la Unión Europea. Las normas de emisión se definen en una serie de directivas de la Unión Europea con implantación progresiva que son cada vez más restrictivas.

Al ver que los fabricantes no reducen voluntariamente las emisiones, la comisión europea decidió en 2009 obligar a una reducción de emisiones progresiva que persigue alcanzar los 95 g/km de media por coche fabricado por cada fabricante. Este valor se acerca a las emisiones medias de algunos fabricantes de vehículos de gama media-baja. Algunos pasos de la regulación 443/2009 son:

- El porcentaje de vehículos de cada fabricante que deberán estar por debajo de la media irá creciendo progresivamente: 65% en 2012, 75% en 2013, 80% en 2014 y 100% a partir de 2015.
- Si la media de emisiones de la flota fabricada por una empresa aumenta respecto a 2012 deberá pagar una penalización. Hasta 2018 será de 5, 15, 25 por los primeros gramos excedidos y de 95 € a partir del cuarto. Desde 2019, todos se penalizarán con 95 €.

En 2020, el objetivo es que las emisiones sean de 95 g/km. A partir de 2013 se comenzará a debatir las medidas necesarias para ello.

Las etapas son normalmente denominadas Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4 y Euro 5 para vehículos ligeros.

El marco jurídico consiste en una serie de directivas, cada una es una modificación de la Directiva 70/220/CEE. Se presenta aquí una lista resumida de las normas, cuándo entran en vigor, qué se aplicará en cada una de ellas, y qué directivas de la UE proporcionan una definición de cada norma.

- Euro 1 (1993):

  Para turismos - 91/441/CEE.

  También para turismos y para camiones ligeros - 93/59/CEE.
- Euro 2 (1996) para turismos - 94/12/CE (& 96/69/CE)
- Euro 3 (2000) para cualquier vehículo - 98/69/CE
- Euro 4 (2005) para cualquier vehículo - 98/69/CE (& 2002/80/CE)
- Euro 5 (2008/9) para cualquier vehículo - (COM(2005) 683 - propuesto)

Estos límites sustituyen a la directiva original 70/220/CEE sobre límites de emisión.

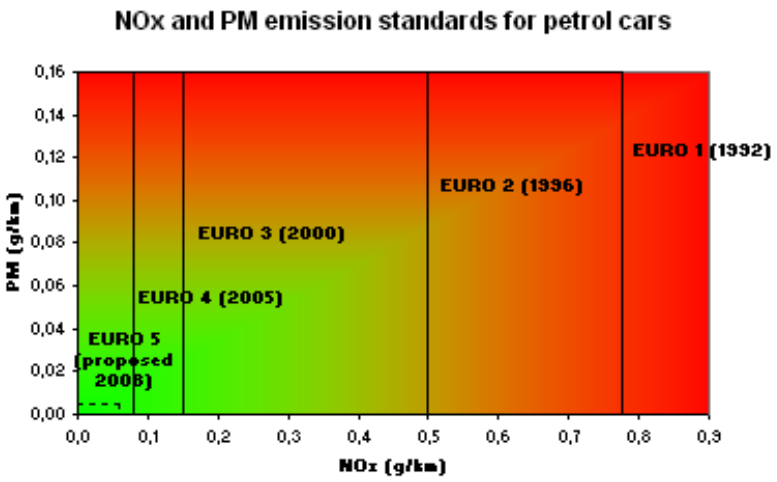


Figura 15. Normativa Europea.

Las clasificaciones de los tipos de vehículos están definidas por:

- Directiva 2001/116/CE de la Comisión, de 20 de diciembre de 2001, por la que se adapta al progreso técnico la Directiva 70/156/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre la homologación de vehículos de motor y de sus remolques.

- Directiva 2002/24/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de marzo de 2002, relativa a la homologación de los vehículos de motor de dos o tres ruedas y por la que se deroga la Directiva 92/61/CEE del Consejo.

Capítulo 11
Estudio económico

Costes de ingeniería

Horas directas de diseño de ingeniero técnico	70€/h
Número de horas invertidas	60 horas
Suma total	4200€

Costes indirectos de ingeniero técnico (dietas, desplazamientos…)
15% de la suma de costes de horas directas

Suma total	630€

Costes indirectos (material, oficina, fotocopias, encuadernaciones, toners…..) 2% de las sumas anteriores.

Suma total	97€

Resumen del presupuesto

Costes de ingeniería	4927€
16% IVA	789€
Suma total	5716€
7% Beneficio Industrial	400€
5% Imprevistos	286€
COSTE TOTAL	6402€

Capítulo 12
Planificación

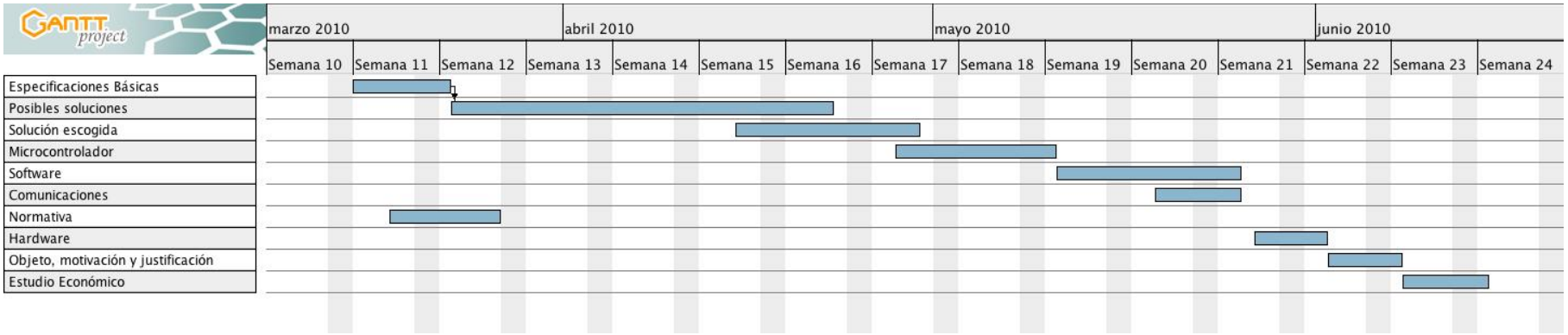


Figura 16. Diagrama de Gantt del PFC1.

Capítulo 13

Bibliografía

13.1. Referencias bibliográficas

[1] http://europa.eu/legislation_summaries/environment/air_pollution/l28186_es.htm

[2] http://europa.eu/legislation_summaries/internal_market/single_market_for_goods/motor_vehicles/interactions_industry_policies/l28186_es.htm

13.2. Bibliografía de consulta

- Mecánica virtual. http://www.mecanicavirtual.org/sensores5.htm

-Todo mecánica. http://www.todomecanica.com/inicio.html

- Microchip. www.microchip.com

- RS online. http://es.rs-online.com

- Analog Devices. http://www.analog.com/en/index.html

- "Compilador C CCS y simulador PROTEUS para controladores PIC" Eduardo García Breijo. Ed. Alfaomega. 2008

- Datasheet catalog. www.datasheetcatalog.com

- All datasheet. www.alldatasheet.com