

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO



CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO DE EJECUCIÓN EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PROTOTIPOS DE INYECCION
ELECTRONICA GASOLINA DE ACUERDO A DEÑAL BASE Y TIEMPOS DE
OPERACION”**

REALIZADO POR:

BETTY MARIBEL MOLINA ESPIN

LATACUNGA – ECUADOR

2007

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Escuela Politécnica del Ejército y en Especial a la Carrera de Ingeniería Automotriz por permitirme dar a conocer mi proyecto de tesis a través de este artículo

I. INTRODUCCIÓN A LA INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE

1.1 CARBURADOR Vs. INYECCIÓN

En los motores de gasolina, la mezcla se prepara utilizando un carburador o un equipo de inyección. Hasta ahora, el carburador era el medio más usual de preparación de mezcla, medio mecánico. Desde hace algunos años, sin embargo, aumentó la tendencia a preparar la mezcla por medio de la inyección de combustible en el colector de admisión. En teoría, durante la carrera de admisión, el pistón debe succionar al interior del cilindro un volumen de mezcla a presión atmosférica, igual al desplazamiento del cilindro. En realidad, la cantidad de mezcla que entra es casi siempre inferior a la cantidad teórica.

La proporción entre la cantidad teórica y la cantidad real se denomina eficiencia volumétrica. El valor común para un motor moderno es cercano al 85%, con todo el ahogador.

Las razones para no llegar al 100% son:

a) Restricciones en el carburador y dobleces en el múltiple de admisión, y el sistema de puerto, que limita el flujo de la mezcla en los cilindros.

b) Calentamiento de la carga que entra por un puerto caliente de admisión o por otras partes calientes que se encuentran cerca del múltiple de admisión, ocasionando que la mezcla de aire/combustible se expanda antes de entrar a los cilindros.

c) Gases calientes en el escape, que quedan atrapados en el interior del cilindro después de la carrera de escape.

La idea básica del carburador es tener un pasaje de aire con alimentación automática de combustible, que se autorregule para proporcionar flujo masivo de aire, en cuanto es medido por un Venturi.

El carburador mezcla la carga de combustible y de aire, y distribuye esta mezcla a los cilindros por medio del múltiple de admisión.

La mezcla debe ser lo bastante rica para asegurar que los cilindros que se encuentran más lejos del carburador obtengan el combustible suficiente.

Los cilindros más cercanos, como consecuencia tienden a enriquecerse más. Y es una de las desventajas más grandes, tanto para la economía de combustible como para el control de emisiones.

Los carburadores poseen una válvula de mariposa (acelerador), la cual controla el flujo de aire que entra. La masa de aire que entra al carburador regula la velocidad del motor y, por lo tanto, puede usarse para regular la potencia del motor. Cuando se acciona el pedal del acelerador se abre la válvula y cuando se suelta se cierra. El surtidor de combustible se alimenta desde la taza y lo envía a la parte más estrecha del Venturi, donde el aire tiene la velocidad más alta.

La gasolina es llevada por goteo por el flujo de aire, esto se logra debido a la diferencia de presión entre la taza del flotador y el múltiple de admisión. Es un hecho que el suministro de combustible en un carburador tiende a retrasarse con relación al movimiento de la mariposa, debido principalmente a la tensión superficial y a la inercia en el combustible.

Un carburador básico opera cuando la válvula mariposa está completamente

abierta o completamente cerrada, por lo tanto se agregó un circuito de marcha en vacío para mantener el motor operando, así no se requiera potencia. El surtidor en marcha mínima admite combustible en el lado del motor en que se encuentra la válvula mariposa, y es un circuito independiente del carburador que opera cuando la válvula mariposa está cerrada.

El flujo de aire es asegurado para el carburador por la acción de bombeo de los pistones. El movimiento descendente del pistón en la carrera de admisión crea un vacío parcial en el cilindro. La mezcla en el múltiple de admisión se apresura para llenar el vacío y el flujo de gas ajustado por la caída de presión lleva un nuevo aire al carburador.

La caída de presión es por medio del Venturi, el combustible fluye de la taza del flotador al orificio del surtidor principal, porque la presión en la superficie del combustible es la presión atmosférica, mientras en la salida del surtidor existe un vacío parcial y el combustible sale por el surtidor como rocío y es arrastrado por el aire que entra.

La eficiencia del Venturi depende de la proporción de su longitud con su diámetro. La cantidad de combustible que se arrastra al interior del motor depende de la magnitud de la caída de presión. Cuanto más pequeñas sean las partículas de combustible que salen del carburador, con mayor facilidad se mezclarán con el aire y se evaporarán en su paso por el múltiple de admisión hacia el interior del cilindro.

Las dimensiones del tubo de suministro de aire y el surtidor principal se calculan cuidadosamente para dar una proporción correcta de aire/combustible. El problema existente es que esta proporción no es constante y el carburador no puede ajustada exactamente a las necesidades cambiantes.

Para un encendido adecuado y una combustión completa, y sin desperdicio, la mezcla tiene que ser un vapor homogéneo sin que contenga combustible líquido; es

un factor muy importante para tener en cuenta en los sistemas de inyección de combustible líquido; es un factor muy importante para tener en cuenta en los sistemas de inyección de combustible.

La velocidad del flujo de combustible en el surtidor principal aumenta más rápidamente que la caída de presión en el venturi, por lo tanto sería más rico a medida que la velocidad aumenta. Esto se corrige introduciendo aire en el suministro de combustible antes de que salga del surtidor.

El tipo más común de purgador es un tubo de emulsión, con agujeros a través de él, colocado en un recipiente de combustible dentro del carburador. A medida que aumenta la caída de presión, el combustible fluye con más rapidez, lo cual baja el nivel en la taza y destapa más orificios en el tubo de emulsión. De ello resulta que se purga más aire al interior de la mezcla y evita que se forme una mezcla rica.

El grado de atomización cambia enormemente con los cambios de velocidad y carga del motor. Un venturi de diámetro grande es lo mejor para una operación a toda potencia. Uno de diámetro pequeño es lo mejor para que funcione parcialmente la válvula mariposa, además ofrece la ventaja de ahorrar de combustible. Hay un límite práctico en cuanto a las dimensiones máximas del venturi para que el automóvil tenga un funcionamiento aceptable a baja velocidad, de ahí el diseño de carburadores de dos o cuatro gargantas.

En un carburador se puede obtener la proporción estequiométrica (14,7 de aire por una de combustible), sólo en funcionamiento constante, velocidad de crucero con variaciones mínimas en el ángulo de la válvula mariposa y de las revoluciones del motor.

El aire y la gasolina no se mezclan bien en tiempo frío, solamente las porciones ligeras de gasolina ayudan a formar una mezcla de combustible, por ello la mezcla debe ser más rica cuando el motor está frío y la temperatura ambiente es baja. Y se

logra por medio de un mecanismo ahogador, que es una válvula (mariposa) que se coloca en la boca del carburador de modo que bloquee parcialmente la entrada de aire, el vacío es aumentado drásticamente en el venturi, haciendo que aumente la velocidad del flujo de gasolina y, por lo tanto, se logra una mezcla más rica.

El bloque de admisión del aire tiende a apagar el motor, por ello se inventó la leva de marcha rápida en vacío, la cual comienza a trabajar en el momento que entra a funcionar el ahogador (*choke*).

El múltiple de admisión incorpora un pasaje especial para el gas del escape, con el fin de calentar la mezcla entrante y mejorar la atomización en los arranques en frío. Una vez el motor se ha calentado, el calentamiento de la mezcla es indeseable, ya que ocasiona que ésta se expanda antes de entrar al cilindro, lo cual reduce la eficiencia volumétrica del motor. Por lo tanto, se proporciona una válvula elevadora de calor para dirigir el flujo de gas de escape de acuerdo con la temperatura del motor.

La válvula elevadora de calor se controla mediante un resorte plano en espiral, sensible a la temperatura, que al calentarse el motor se desenrolla y abre la válvula, o también, por un motor de vacío controlado por un interruptor de vacío sensible a la temperatura del refrigerante.

Cuando arranca el motor el vacío del múltiple de admisión se dirige al motor de vacío por medio del interruptor del refrigerante, para cerrar la válvula elevadora de calor.

En los motores en v, cuando la válvula está cerrada, los gases de escape se dirigen a la cámara de calor a través de un costado del pasaje de cruce de escape; después de circular a través de la cámara de calor los gases se dirigen al múltiple de escape por medio de otro pasaje.¹

¹ RUEDA SANTANDER Jesús. "Manual Técnico de Fuel Injection", Editores Diseli, 1ra edición, 2005, Guayaquil - Ecuador, Pág. 66.

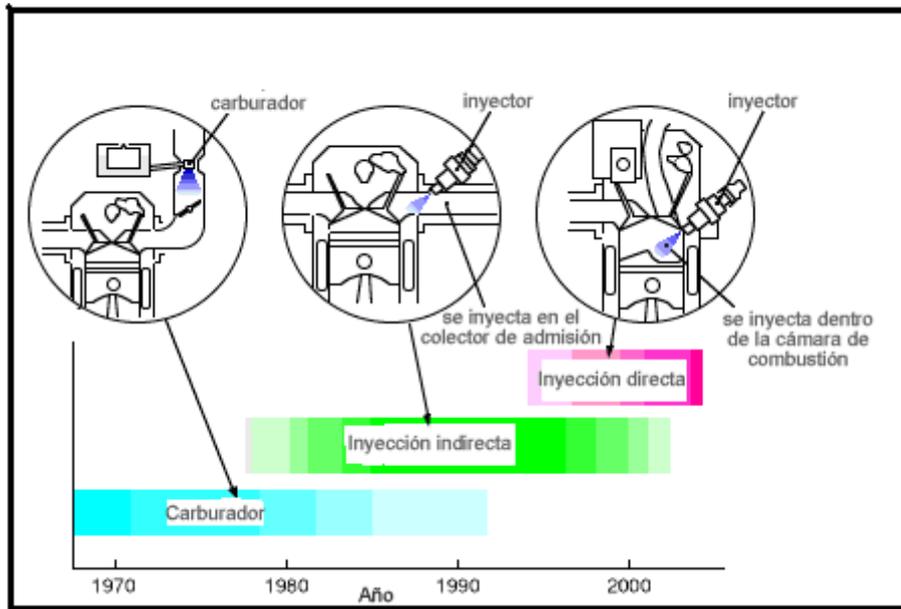


Figura 1.1. Diferencia entre carburador, inyección directa e indirecta

1.2 VENTAJAS DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE

Las ventajas de la inyección electrónica de combustible se detallan a continuación en varios puntos.

1.2.1 Consumo reducido

Con la utilización de carburadores, en los colectores de admisión se producen mezclas desiguales de aire/gasolina para cada cilindro. La necesidad de formar una mezcla que alimente suficientemente incluso al cilindro más desfavorecido obliga, en general, a dosificar una cantidad de combustible demasiado elevada. La consecuencia de esto es un excesivo consumo de combustible y una carga desigual de los cilindros. Al asignar un inyector a cada cilindro, en el momento oportuno y en cualquier estado de carga se asegura la cantidad de combustible, exactamente dosificada.

1.2.2 Mayor potencia

La utilización de los sistemas de inyección permite optimizar la forma de los colectores de admisión con el consiguiente mejor llenado de los cilindros. El resultado se traduce en una mayor potencia específica y un aumento del par motor.

1.2.3 Gases de escape menos contaminantes

La concentración de los elementos contaminantes en los gases de escape depende directamente de la proporción aire/gasolina. Para reducir la emisión de contaminantes es necesario preparar una mezcla de una determinada proporción. Los sistemas de inyección permiten ajustar en todo momento la cantidad necesaria de combustible respecto a la cantidad de aire que entra en el motor.

1.2.4 Arranque en frío y fase de calentamiento

Mediante la exacta dosificación del combustible en función de la temperatura del motor y del régimen de arranque, se consiguen tiempos de arranque más breves y una aceleración más rápida y segura desde el ralentí. En la fase de calentamiento se realizan los ajustes necesarios para una marcha redonda del motor y una buena admisión de gas sin tirones, ambas con un consumo mínimo de combustible, lo que se consigue mediante la adaptación exacta del caudal de éste.

1.2.5 Parte electrónica

La computadora (ECU, ECM, PCM, UCE) dosifica la entrada de combustible, por lo tanto controla el tiempo durante el cual deben permanecer abiertos los inyectores.

Esta cantidad de combustible depende de varios factores como la temperatura del motor, velocidad del motor, carga y posición de la válvula de la mariposa

(acelerador). Todos los cambios mencionados son captados por sensores que envían la información a la computadora.²

1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE

1.3.1 CLASIFICACIÓN GENÉRICA

Se pueden clasificar en función de cuatro características distintas:

1.3.1.1 SEGÚN EL LUGAR DONDE INYECTAN

a. Inyección Directa

El inyector introduce el combustible directamente en la cámara de combustión. Este sistema de alimentación es el más novedoso y se está empezando a utilizar ahora en los motores de inyección gasolina como el motor GDI de Mitsubishi o el motor IDE de Renault.



² www.mecanicavirtual.iespana.es

Figura 1.2. Sistema de inyección directa Audi FSI en cámara de combustión

b. Inyección Indirecta

El inyector introduce el combustible en el colector de admisión, encima de la válvula de admisión, que no tiene por qué estar necesariamente abierta. Es la más usada actualmente.

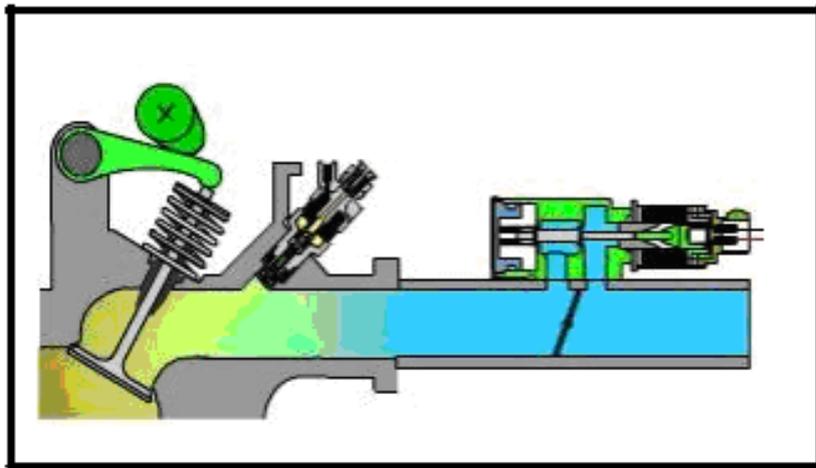


Figura 1.3. Sistema de inyección indirecta (L-Jetronic)

1.3.1.2 SEGÚN EL NÚMERO DE INYECTORES

a. Inyección Monopunto

Hay solamente un inyector, que introduce el combustible en el colector de admisión, después de la mariposa de gases. Es la más usada en vehículos turismo de baja cilindrada que cumplen normas de antipolución.



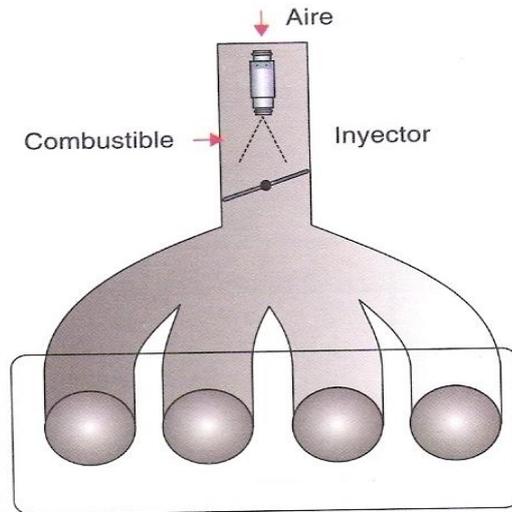


Figura 1.4. Inyección monopunto

b. Inyección Multipunto

Hay un inyector por cilindro, pudiendo ser del tipo "inyección directa o indirecta". Es la que se usa en vehículos de media y alta cilindrada, con antipolución o sin ella.

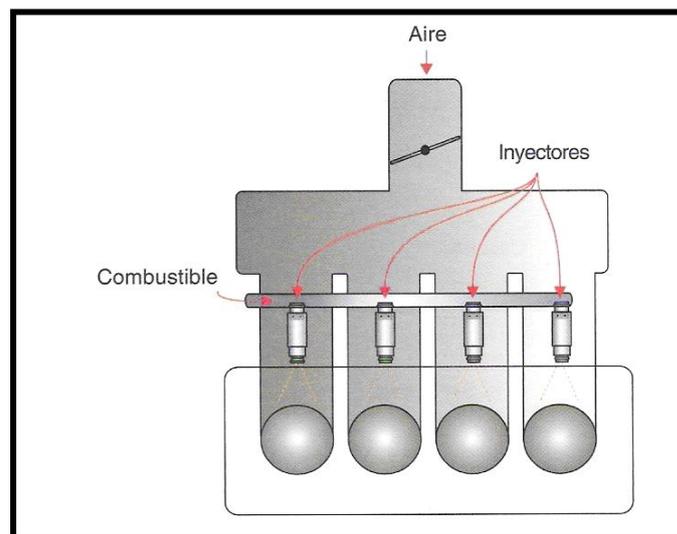


Figura 1.5. Inyección multipunto

1.3.2 CLASIFICACIÓN BASE

Según la forma de determinar los parámetros de la inyección existen sistemas con:

a. Balanza Hidráulica.

En este sistema de inyección, los inyectores son mecánicos y la apertura de la aguja se produce por la propia presión de combustible regulada por la acción de un medidor de caudal de aire aspirado, el cual en vez generar una señal eléctrica, actúa sobre una válvula de corredera que alimenta unas cápsulas con membrana de las que sale la gasolina hacia los inyectores.

El regulador de mezcla cumple dos funciones medir el volumen de aire aspirado por el motor y dosificar la cantidad correspondiente de combustible para conseguir una proporción aire/combustible adecuada.

El medidor del caudal de aire), situado delante de la mariposa en el sistema de admisión mide el caudal de aire. Consta de un embudo de aire (2) con un plato-sonda móvil colocado en el nivel de diámetro más pequeño. Cuando el motor aspira el aire a través del embudo, el plato (1) es aspirado hacia arriba o hacia abajo (depende de cada instalación), y abandona su posición de reposo. Un sistema de palancas transmite el movimiento del plato a la válvula corredera (8) que determina la cantidad de combustible a inyectar. Al parar el motor el plato-sonda vuelve a la posición neutra y descansa en un resorte (3) de lámina ajustable (en el caso de los platos-sonda que se desplazan hacia arriba).

Para evitar estropear la sonda en caso de retornos de llama por el colector de admisión, el plato-sonda puede oscilar en el sentido contrario, contra

el resorte de lámina, hacia una sección más grande. Un amortiguador de goma limita su carrera.

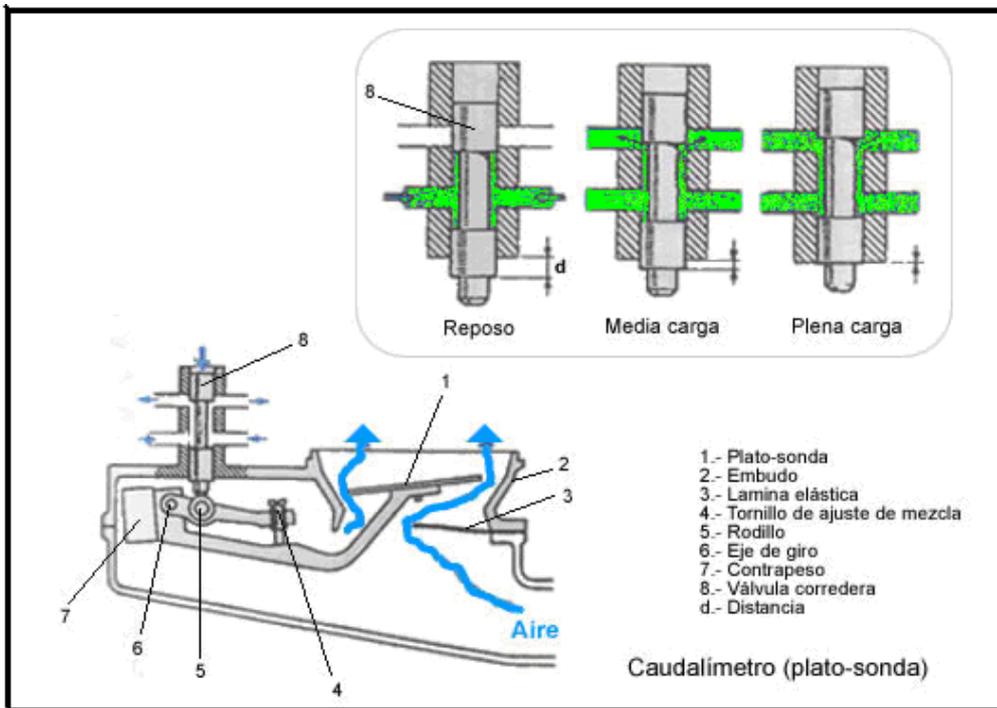


Figura 1.6. Plato sonda (Balanza Hidráulica)

b. Sistemas por Depresión

La característica principal de la inyección por depresión es que la señal base para determinar la duración de la inyección se determina en función de la depresión existente en el colector de admisión.

La inyección es de tipo simultánea, de manera que todos los inyectores actúan al mismo tiempo y en cada vuelta del cigüeñal, lo que implica que la cantidad de gasolina necesaria para cada ciclo del motor es inyectada dos veces, quedando la gasolina en emulsión con el aire frente a la válvula de admisión en espera que esta se abra para introducirse dentro del cilindro.

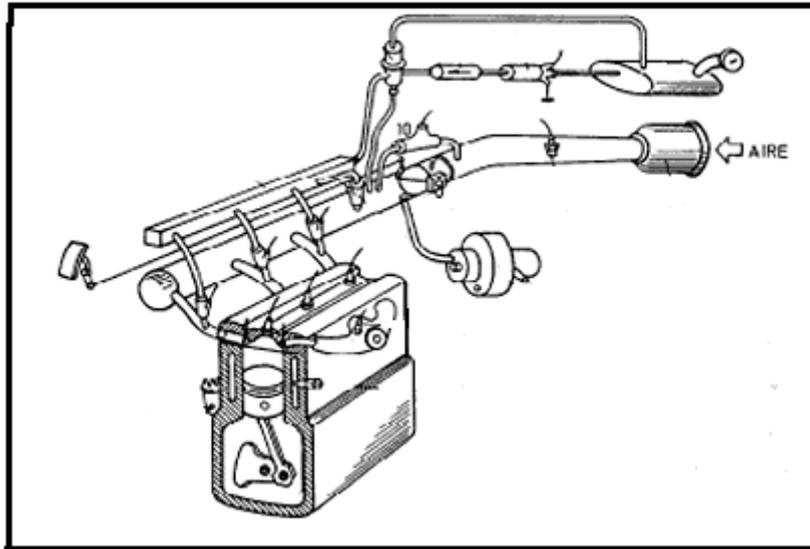


Figura 1.7. Sistema de inyección por depresión

c. Sistemas por Caudal de Aire:

Es el más extendido entre los motores con inyección electrónica de gasolina.

El elemento clave de este sistema es el fluidoímetro que genera la señal base para determinar la duración de la inyección que, modificada por la integración de las señales generadas por los demás periféricos del sistema, hace que el módulo electrónico mande la señal a las bobinas de los inyectores.

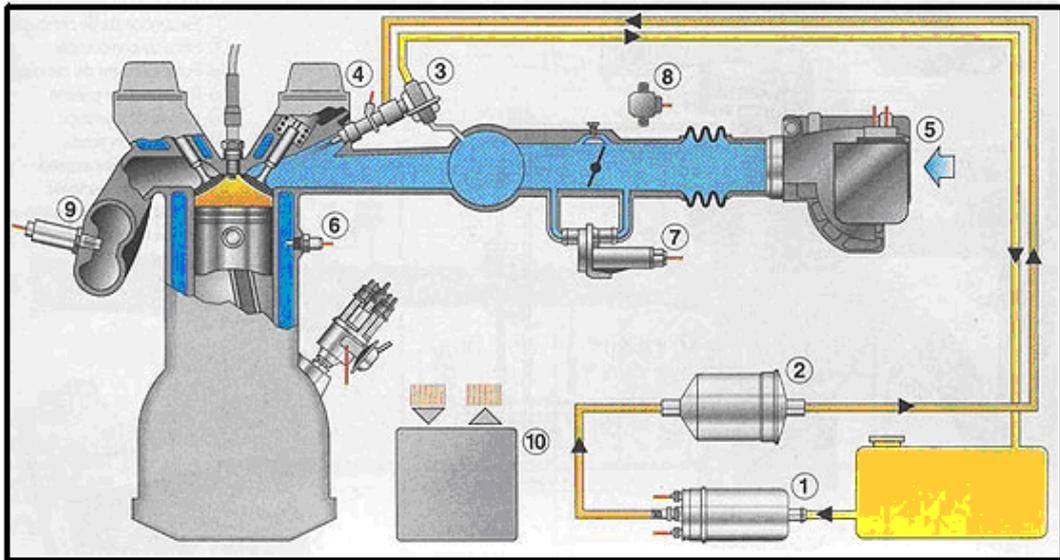


Figura 1.8. Sistema de inyección por caudal de aire

d. Sistemas Integrales:

En los inicios, y dado que la inyección de gasolina se ha incorporado al motor con posterioridad al encendido electrónico, cada sistema formaba un conjunto independiente. Actualmente, lo más normal es que un solo módulo electrónico gobierne el encendido y la inyección, utilizando además, las señales de los mismos captadores para determinar: el momento de saltar la chispa, su avance, el momento de inicio y la duración de la inyección.

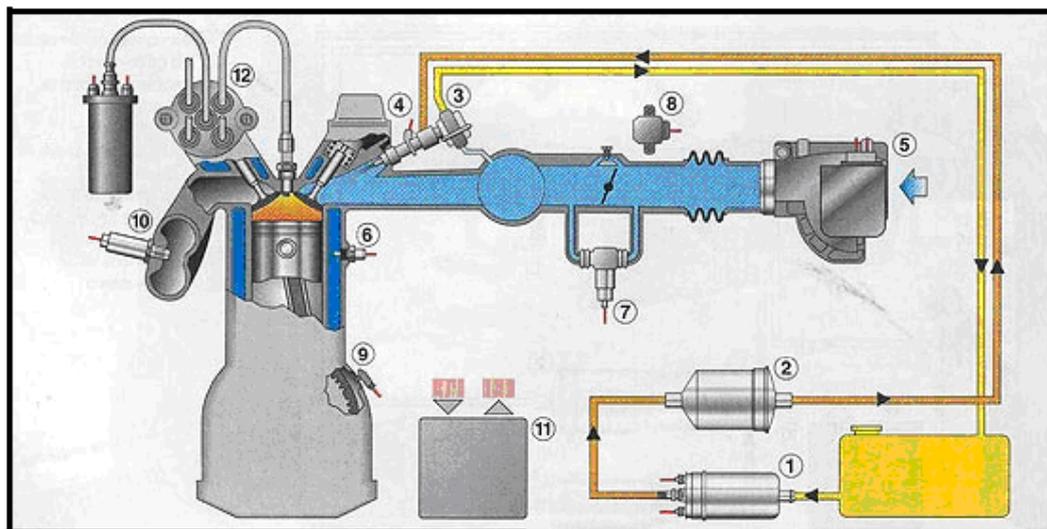


Figura 1.9 Sistema integral (Sistema Motronic)

1.3.3 CLASIFICACIÓN POR TIEMPOS DE INYECCIÓN

a. Inyección Continua:

Los inyectores introducen el combustible de forma continua en los colectores de admisión, previamente dosificada y a presión, la cual puede ser constante o variable.

b. Inyección Intermitente:

Los inyectores introducen el combustible de forma intermitente, es decir; el inyector abre y cierra según recibe órdenes de la computadora, existiendo tres tipos de esta inyección a su vez: (figura 1.10).

- Inyección Secuencial

El combustible es inyectado en el cilindro con la válvula de admisión abierta, es decir; los inyectores funcionan de uno en uno de forma sincronizada. Es decir 720° de giro del cigüeñal dividido para el número de cilindros.

- Inyección Semisequencial

El combustible es inyectado en los cilindros de forma que los inyectores abren y cierran de dos en dos. Es decir 720° de giro del cigüeñal para la mitad del número de cilindros.

- Inyección Simultánea

El combustible es inyectado en los cilindros por todos los inyectores a la vez, es decir; abren y cierran todos los inyectores a la vez en cada vuelta del cigüeñal.

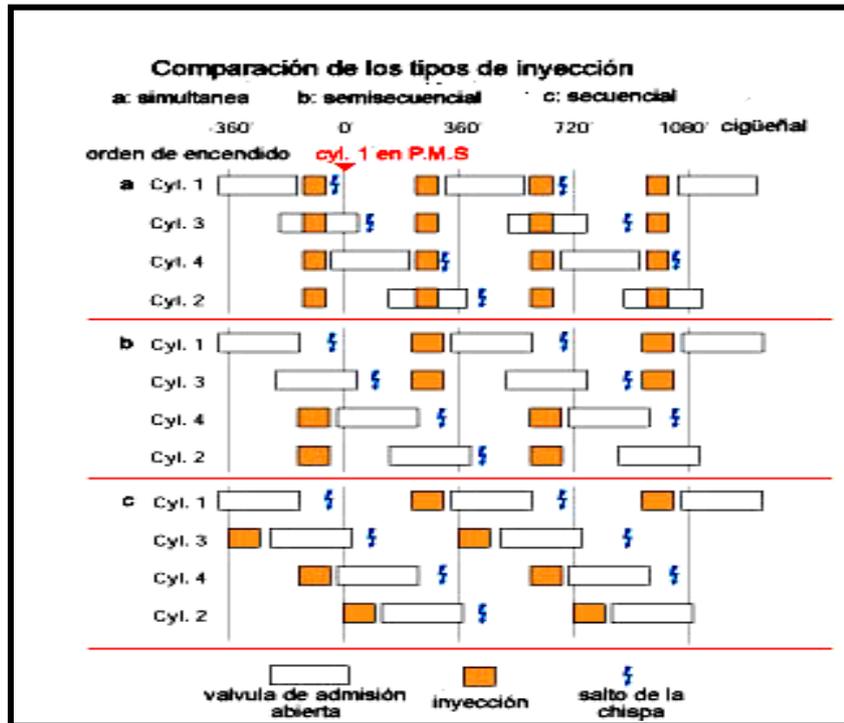


Figura 1.10. Tipos de inyección intermitente

1.3.4 CLASIFICACIÓN ESPECÍFICA

a. Sistemas Mecánicos

Entre las instalaciones mecánicas de inyección, el sistema más conocido es el K-Jetronic, que trabaja sin accionamiento y en forma continua.

- K-Jetronic.- El sistema proporciona un caudal variable de carburante pilotado mecánicamente y en modo continuo. Este sistema realiza tres

funciones fundamentales. Medir el volumen de aire aspirado por el motor, mediante un caudalímetro especial.

Alimentación de gasolina mediante una bomba eléctrica que envía la gasolina hacia un dosificador-distribuidor que proporciona combustible a los inyectores.

Preparación de la mezcla: el volumen de aire aspirado por el motor en función de la posición de la válvula de mariposa constituye el principio de dosificación de carburante. El volumen de aire esta determinado por el caudalímetro que actúa sobre el dosificador-distribuidor.³

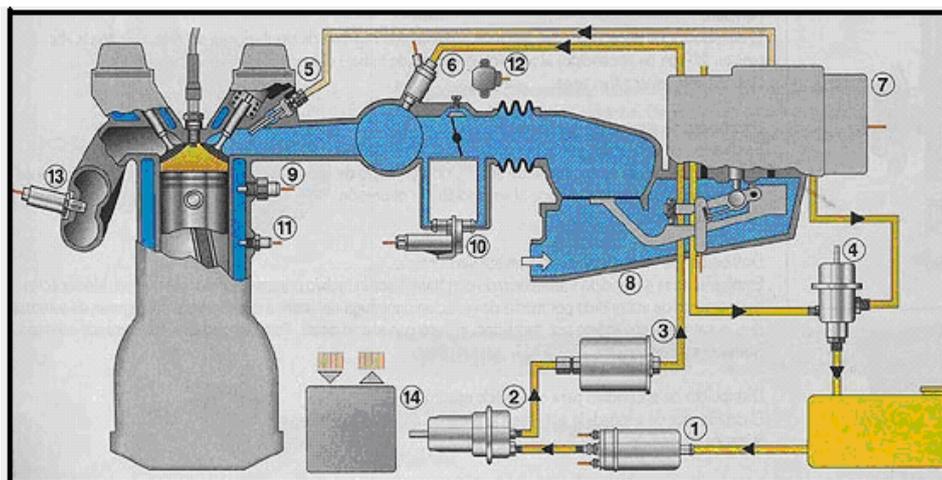


Figura 1.11 Sistema K-Jetronic

b. Sistemas Electrónicos

Los sistemas controlados electrónicamente son el L- Jetronic desarrollado a partir del D- Jetronic. El LH Jetronic, Motronic.

³ RUEDA SANTANDER Jesús. "Manual Técnico de Fuel Injection", Editores Diseli, 1ra edición, 2005, Guayaquil - Ecuador, Pág. 116.

Por medio del control electrónico el combustible es inyectado intermitentemente en los colectores de admisión por intermedio de los inyectores electromagnéticos.

- L- Jetronic.- El sistema de inyección de gasolina no integra ni incorpora el sistema de encendido, de modo que éste no es controlado por la UEC.

Sé trata de un sistema de mando completamente electrónico, en donde, la UEC recibe constantemente información de cada de uno de los sensores de que dispone el motor. Ello le proporciona unos parámetros que memoriza y, de acuerdo con un programa previamente incorporado, toma decisiones instantáneas que la llevan a cursar órdenes muy precisas para los inyectores y otros dispositivos del sistema, según las exigencias.

Va provisto de un inyector para cada cilindro, mide y controla la cantidad de aire que penetra en el colector de admisión por medio de un caudalímetro que consiste en una mariposa sonda que el aire desplaza, con mayor o menor ángulo, según la cantidad de aire que penetra hacía el colector de admisión, es decir, de aire consumido.

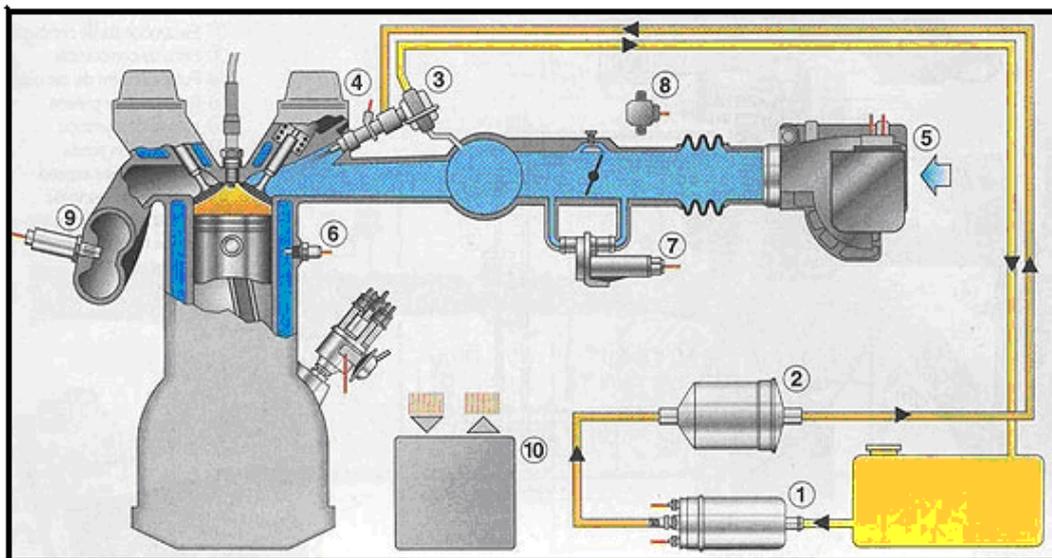


Figura 1.12 Sistema L – Jetronic

- D - Jetronic.- En estos sistemas se va a prescindir de un regulador de dosificación mecánico, actuado mediante el plato-sonda que detecta el caudal de aire, los inyectores van a ser electrónicos accionados directamente por la UEC

Esta se encargara de recibir señales de los distintos sensores y actuará sobre los inyectores mediante una solenoide en los mismos, los cuales abrirán dejando salir la gasolina pulverizada por la presión de suministro cercana a los 2 Kg. /cm², el tiempo de apertura oscila entre 0.002 - 0.01 seg.

Los Inyectores se componen de una aguja que se desplaza (accionada por un electroimán) una cantidad fija de 0.15 Mm., permitiendo el paso de combustible, dependiendo la cantidad de gasolina del tiempo en la apertura. Al ser eléctricos la alimentación no va a ser continua, si no que se realizará de forma intermitente.

El captador en el distribuidor, informa de cuando se produce un ciclo, para que las inyecciones se realicen cada vuelta, inyectándose en cada una la mitad de la gasolina necesaria en una explosión.⁴

⁴ www.automecanico.com

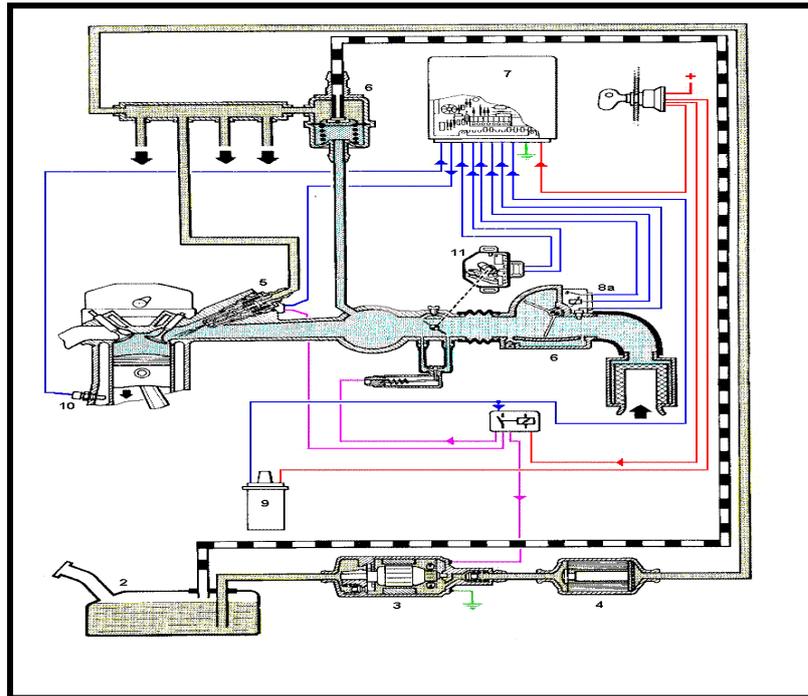


Figura 1.13 Sistema D – Jetronic

- LH Jetronic.- El LH-Jetronic es muy similar al L-Jetronic, la diferencia radica en el registro del caudal de aire aspirado por el motor, el cual tiene lugar en este caso por medio del medidor de masa de aire de hilo caliente.

Este mide la masa de aire aspirada por el motor, como consecuencia, el resultado de medición es independiente de la temperatura y la presión.

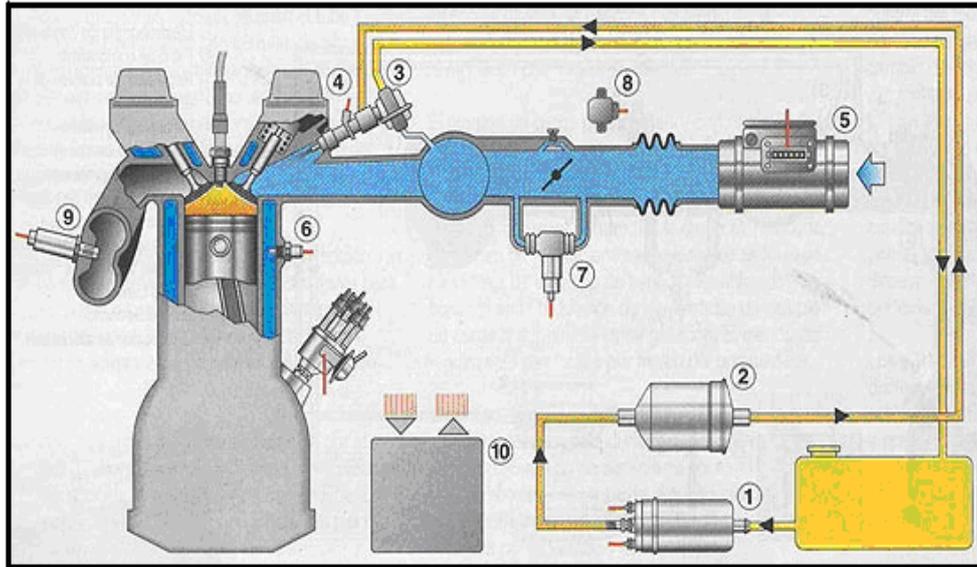


Figura 1.14 Sistema L – H Jetronic

- Motronic.- Combina la inyección de gasolina del L- Jetronic con un sistema de encendido electrónico a fin de formar un sistema de regulación del motor completamente integrado. La diferencia principal con el L-Jetronic consiste en el procesamiento digital de las señales.

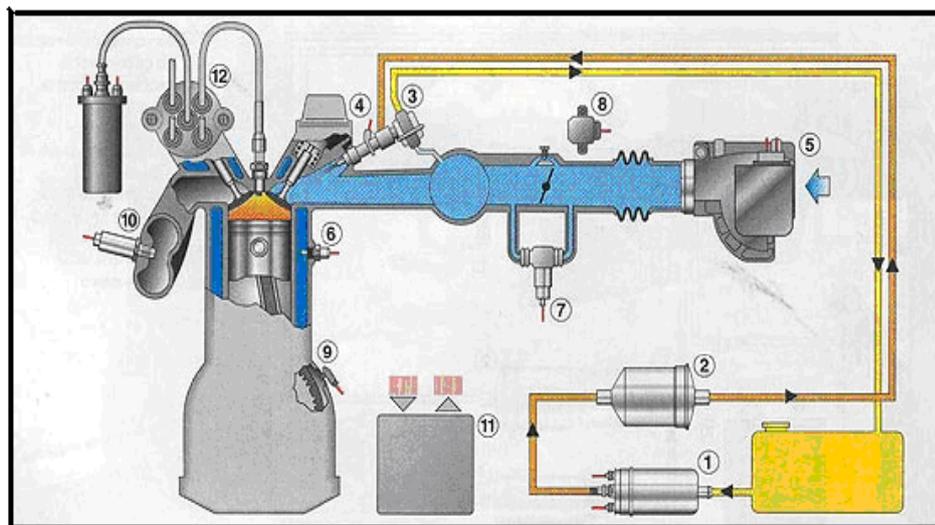


Figura 1.15 Sistema motronic

II. SEÑALES DE ENTRADA Y SALIDA EN LOS SISTEMAS DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE

2.1 SENSORES

Todo sistema de inyección electrónica requiere de varios sensores que detecten los valores importantes que deben ser medidos, para que con esta información se pueda determinar a través de un computador el tiempo de actuación de los inyectores y con ello inyectar la cantidad exacta de combustible.

Los sensores reciben de la computadora un voltaje de referencia. Cuando el funcionamiento del vehículo altera este voltaje; la computadora lo interpreta, de acuerdo con su programa y activa los actuadores para corregir la mezcla y/o el tiempo de encendido.

Las señales de estos sensores modifican el programa básico de la UPC a fin de perfeccionar el tiempo de apertura del [inyector](#) y con ello ajustar exactamente la [preparación de la mezcla](#) aire - [gasolina](#).

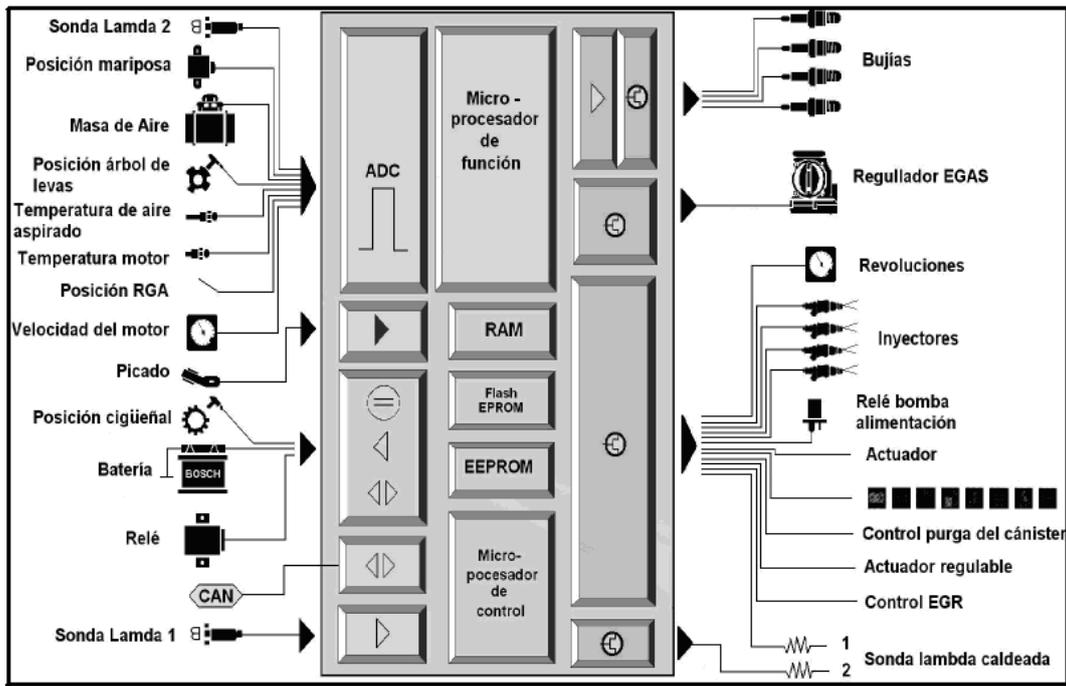


Figura 2.1 Representación esquemática de sensores y actuadores

2.1.1 SENSOR DE POSICIÓN DEL CIGÜEÑAL (CKP)

Este sensor opera como un Hall-efecto switch, monitorea la posición del cigüeñal, y envía la señal al modulo de encendido indicando el momento exacto en que cada pistón alcanza el máximo de su recorrido, (TDC).

Frecuentemente se encuentra ubicado en la parte baja del motor, al lado derecho cerca de la polea del cigüeñal. (Incrustado en el bloque de cilindros, o a un lado de la polea principal).



Figura 2.2 Sensor de posición del cigüeñal

2.1.2 SENSOR DE POSICIÓN DEL ÁRBOL DE LEVAS (CAS)

Este sensor monitorea a la computadora, la posición exacta de las válvulas. Opera como un Hall-efecto switch, esto permite que la bobina de encendido genere la chispa de alta tensión. Este sensor se encuentra ubicado frecuentemente en el mismo lugar que anteriormente ocupaba el distribuidor (Recuerde que este es un componente del sistema de encendido directo - DIS; lo que quiere decir que el motor no puede estar usando los dos componentes) Se podría decir que este sensor reemplaza la función del distribuidor.⁵

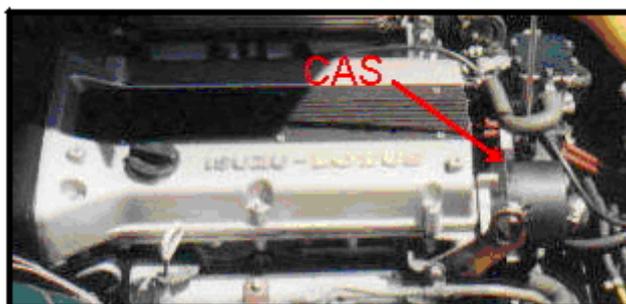


Figura 2.3 Sensor de posición del árbol de levas

2.1.3 SENSOR DE TEMPERATURA DEL REFRIGERANTE DEL MOTOR (WTS)

⁵ www.automecanico.com

Este sensor se encuentra ubicado cerca de la conexión de la manguera superior, que lleva agua del motor al radiador; su función es monitorear la temperatura dentro del motor; de esta manera; la computadora al recibir la señal de que el motor alcanzo la temperatura de trabajo; procede a ajustar la mezcla y el tiempo de encendido.

Es una resistencia variable, sus cualidades decrecen o aumentan conforme aumenta o disminuye la temperatura del motor.

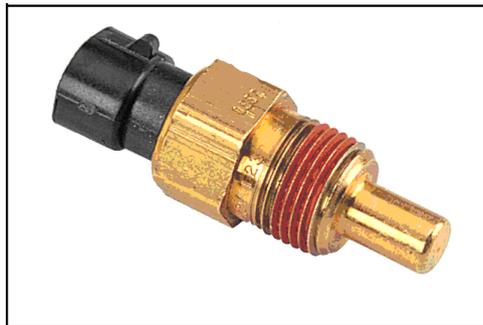


Figura 2.4 Sensor de temperatura del refrigerante

2.1.4 SENSOR DE TEMPERATURA DEL AIRE DE ADMISIÓN (ATS)

El sensor de temperatura del aire que aspira el motor, es un parámetro muy importante de información que debe recibir el Computador, información que generalmente se la toma conjuntamente con el caudal de aire de ingreso. Estas dos informaciones le dan al Computador una idea exacta de la masa o densidad del aire que ingresa al motor y con ello se puede inyectar un caudal exacto de combustible, para que la mezcla esté en su medida ideal.

Cuando el Computador solamente recibe la cantidad de aire como información, las moléculas del mismo podrían estar muy condensadas (aire frío), por lo tanto se tendrá un número mayor de moléculas de aire que se mezclen con la cantidad de moléculas del combustible inyectado; en cambio, si el aire está muy caliente, el número de moléculas será mucho menor en el mismo volumen aspirado, mezclándose con la misma cantidad de moléculas de

combustible que se inyecta, empobreciéndose la mezcla que ingresa a los cilindros del motor.

El sensor de temperatura del aire está localizado convenientemente, de tal manera que el flujo de aire ingresado sea detectado rápidamente al chocar con él y pueda detectar rápidamente cualquier variación en la temperatura. Generalmente está localizado en el depurador, en la tubuladura posterior al depurador o en el mismo múltiple de admisión. Su estructura es similar a la del sensor de temperatura del refrigerante, pero el encapsulado es más fino, pudiendo ser plástico o la "pastilla" NTC está solamente protegida por un sencillo "enrejado", el cual permita al aire chocar directamente sobre el sensor.⁶

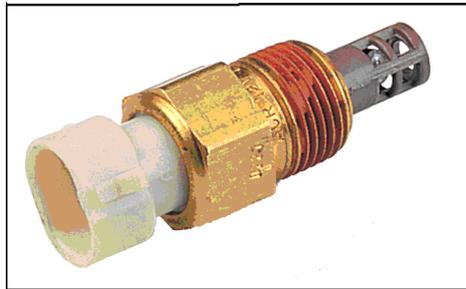


Figura 2.5 Sensor de temperatura del aire de admisión

2.1.5 SENSOR DE VELOCIDAD DEL VEHICULO (VSS)

Estos sensores registran la velocidad en la que se encuentra el vehículo, dando una señal al módulo de control para que éste la registre y se interprete en el tablero de instrumentos.

Se encuentran ubicados en la transmisión, cable del velocímetro o atrás del tablero de instrumentos.

⁶ www.rolcar.com

La señal puede ser una onda o del tipo alterna o del tipo digital, los voltajes que proporciona este sensor la computadora los interpreta para:

- La velocidad de la marcha mínima.
- El embrague del convertidor de torsión.
- Información para que marque la velocidad, el tablero eléctrico digital.
- Para la función del sistema de control de la velocidad de cruce (cruise control).

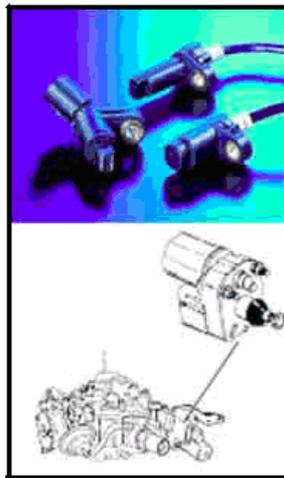


Figura 2.6 Sensor de velocidad del vehículo

2.1.6 SENSOR DE DETONACIÓN (KS)

Este sensor es usado para detectar la detonación del motor; opera produciendo una señal cuando ocurre una detonación; El uso de este sensor es frecuente en los vehículos deportivos o equipados con turbo. La computadora utiliza esta señal para ajustar el tiempo de encendido, y evitar el desbalance de la mezcla aire-gasolina. Frecuentemente se encuentra ubicado en la parte baja del monoblock al lado derecho.

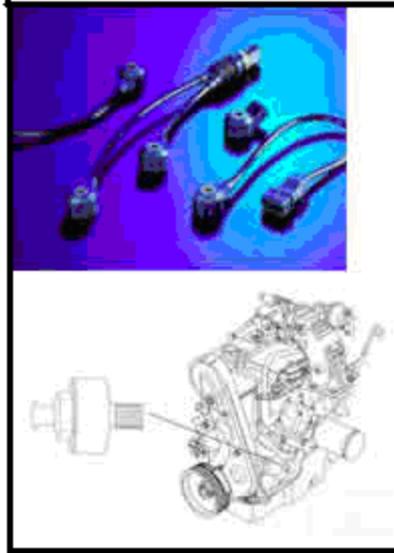


Figura 2.7 Sensor de detonación

2.1.7 SENSOR DE POSICIÓN DEL ACELERADOR (TPS)

Este sensor está ubicado a un lado de la garganta, lleva un conector eléctrico, por medio del cual recibe de la computadora un voltaje de referencia, cuando aceleramos abrimos el papalote (placa de aceleración), el aire ingresa del exterior, al suceder esto, el voltaje de referencia se altera, la computadora lo interpreta, y de acuerdo con su programa, activa los inyectores, el tiempo suficiente para que la mezcla aire/combustible, siempre sea la correcta. La apertura de descanso o ideal, de la garganta viene preajustada de fábrica.



Figura 2.8 Sensor de posición del acelerador

2.1.8 SENSOR DE FLUJO MÁSSICO DE AIRE (MAF)

Este medidor se diferencia del anterior, porque no lleva filamento, la función de medir lo hace, respondiendo al hecho de que cuando usted acelera, abre la placa de la toma de aire, en ese momento el aire que absorbe el motor viene desde la parte exterior del medidor del flujo de aire; y al pasar por este empuja la compuerta del medidor, de tal manera que mientras más aire absorba el motor. Más se abrirá la compuerta.

Esta compuerta al abrirse activa una señal, que es enviada a la computadora, y en base a esto, la computadora activa los inyectores, el tiempo suficiente para que la mezcla aire gasolina, siempre sea la correcta.

Esta localizado entre el filtro del aire y de la mariposa del acelerador o cuerpo de aceleración.⁷

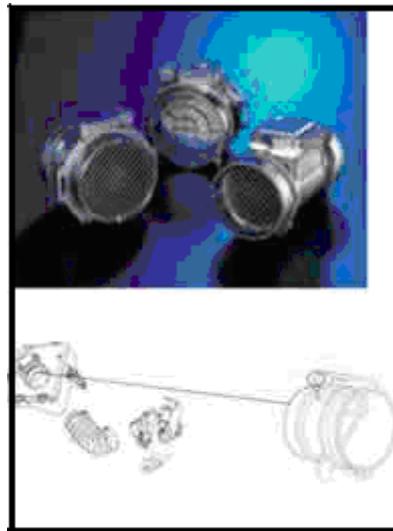


Figura 2.9 Sensor de flujo de aire

2.1.9 SENSOR DE DEPRESIÓN DEL COLECTOR (MAP)

El aire entra al cilindro del motor durante la carrera de admisión debido a la presión absoluta que tiene el aire del exterior que es empujado a ocupar el

⁷ www.arpem.com

espacio vacío dejado por el pistón al descender, si no hubiera ningún impedimento físico la presión absoluta del aire a la entrada de la válvula de admisión sería la presión atmosférica, pero esto no es así. Desde el exterior hasta la válvula hay un conducto mas o menos largo y un filtro, que introducen resistencia al paso del aire, haciendo la presión efectiva en la entrada de válvula siempre menor que la del exterior, además esta presión real se modifica con el tiempo por la paulatina obstrucción del filtro, si sumamos a esto, que la presión atmosférica disminuye con la altura del lugar y un automóvil debe trabajar también en las montañas, debemos medir constantemente la presión absoluta en el conducto de admisión y enviar una señal a la ECU para que corrija la cantidad de gasolina inyectada, pues el cilindro se llenará mas o menos dependiendo de este valor.

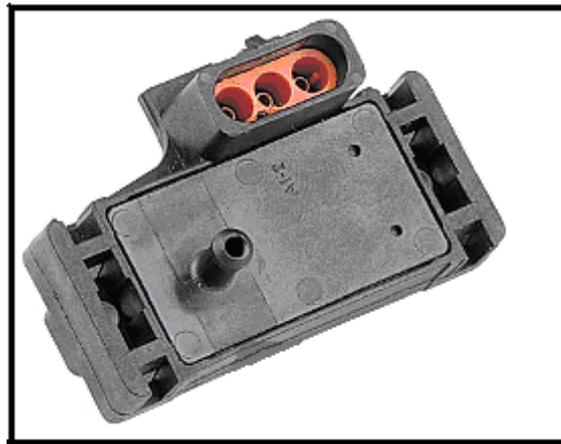


Figura 2.10 Sensor de depresión del colector

2.1.10 SENSOR DE TEMPERATURA DE COMBUSTIBLE (FTS)

En algunos sistemas de Inyección electrónica se ha tomado como otro parámetro importante la medición de la Temperatura del combustible, debido a que, como el sensor de temperatura del aire, la variación de la temperatura del combustible modificaría la cantidad de moléculas inyectadas, variando de esta forma la mezcla aire/combustible.

El combustible tiene una mayor concentración de moléculas cuando está frío y menor cuando está caliente, similar al caso explicado del sensor de temperatura de

aire, ya que las moléculas de un gas o de un líquido, dentro de un mismo volumen, varían en cantidad de acuerdo a su temperatura.

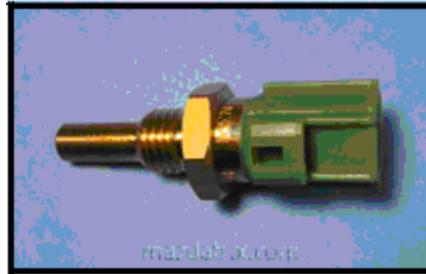


Figura 2.11 Sensor de temperatura de combustible

2.1.11 SENSOR DE OXÍGENO (EGO)

Este sensor es un compuesto de zirconio/platino; su función es olfatear los gases residuales de la combustión; esta ubicado, frecuentemente en el colector de escape, o cerca de el; solo funciona estando caliente, por esta razón hay algunos que utilizan una resistencia para calentar; en estos casos el sensor lleva mas de un conector. Tiene la particularidad de generar corriente, variando el voltaje de 1 voltio [promedio 0.5], en cuanto siente residuos altos o bajos de oxigeno interpretando como una mezcla rica o pobre, dando lugar a que la computadora ajuste la mezcla, tratando de equilibrar una mezcla correcta. (14.7 partes de aire por 1 de gasolina).

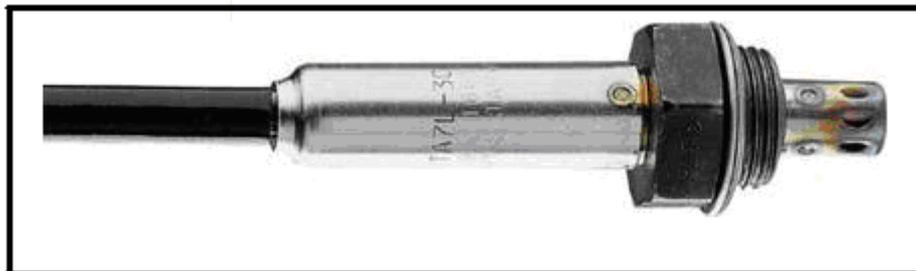


Figura 2.12 Sensor de oxígeno

2.2 ACTUADORES

Son los componentes colocados en diferentes partes del motor, y sirven para ejecutar las alteraciones que la computadora requiere hacer al funcionamiento del motor, de acuerdo con su programa preestablecido.

En otras palabras, los actuadores, son solenoides que se activan, o desactivan, siguiendo ordenes de la computadora.

2.2.1 POSICIÓN DEL ACELERADOR (TPS)

Este sensor esta ubicado a un lado de la garganta, lleva un conector eléctrico, por medio del cual recibe de la computadora un voltaje de referencia, cuando aceleramos abrimos el papalote (placa de aceleración), el aire ingresa del exterior, al suceder esto, el voltaje de referencia se altera, la computadora lo interpreta, y de acuerdo con su programa, activa los inyectores, el tiempo suficiente para que la mezcla aire/gasolina, siempre sea la correcta. Recuerde que la apertura de descanso o ideal, de la garganta viene preajustada de fabrica

2.2.2 INYECTORES

Son los encargados de rociar la gasolina; esta función la hacen regulados por la computadora, Cuando abrimos la llave de encendido, les llega corriente positiva 12 voltios, la corriente negativa o tierra (ground), es controlado por la computadora .y tiene relación con el modulo de encendido. (La velocidad de interrupción de la señal, determina la cantidad de gasolina entregada).

Es una pequeña electroválvula que cuando recibe la señal eléctrica a través del cable de alimentación se abre, dejando pasar de forma atomizada como un aerosol, la gasolina a presión, que es arrastrada al interior del cilindro por la corriente de aire.

El tiempo de apertura del inyector así como la presión a la que se encuentra la gasolina determinan la cantidad inyectada. Estos dos factores, presión y tiempo de apertura, así como el momento en que se realiza, son los que hay que controlar con precisión para obtener una [mezcla óptima](#).



Figura 2. 13 Inyector

2.2.3 ELECTROVÁLVULA DE MARCHA MÍNIMA (ISC – IAC)

Detectan la posición de la válvula EGR mediante variaciones de voltaje que envía la computadora. Esta y otras informaciones son utilizadas para determinar la cantidad de gases y así poder controlar la emisión de contaminantes.



Figura 2. 14 Electro válvula de marcha mínima

2.2.4 BOBINA DE ENCENDIDO

La bobina de encendido es un transformador eléctrico convierte la tensión de batería en un impulso de alta tensión que hace saltar la chispa entre los electrodos de la bujía.

La bobina esta compuesta por un núcleo de hierro en forma de barra, constituido por laminas de chapa magnética, sobre el cual esta enrollado el bobinado secundario, formado por gran cantidad de espiras de hilo fino de cobre (entre 15.000 y 30.000) debidamente aisladas entre sí y el núcleo.

Encima de este arrollamiento va enrollado el bobinado primario, formado por algunos centenares de espiras de hilo grueso, aisladas entre sí y del secundario. La relación entre el número de espiras de ambos arrollamiento (primario y secundario) esta comprendida entre 60 y 150.

El conjunto formado por ambos bobinados y el núcleo, se rodea por chapa magnética y masa de relleno, de manera que se mantengan perfectamente sujetas en el interior del recipiente metálico o carcasa de la bobina. Generalmente están sumergidos en un baño de aceite de alta rigidez dieléctrica, que sirve de aislante y refrigerante.



Figura 2. 15 Bobina de encendido

2.2.5 BOMBA DE COMBUSTIBLE

La bomba de gasolina frecuentemente instalada dentro del tanque de gasolina en unos casos, y muy cerca de el, en otros; es la encargada de alimentar de combustible al sistema, en este caso la presión sostenida promedio es de 40 libras.

Funciona, cuando activamos la llave de encendido, recibe 12 voltios, es importante conocer, que dentro del tanque de gasolina, esta diseñado un espacio especial para la colocación de esta bomba pues se trata de evitar, que el movimiento del vehiculo, mueva la gasolina alejándola de la bomba, esto la haría trabajar defectuosamente, por eso es importante evitar quedarse sin gasolina, ya que esto restaría vida útil a la bomba.

La gasolina es impulsada desde el tanque, por la bomba de gasolina, pasa por un acumulador de gasolina (Dumper) luego por un filtro, hasta llegar al riel de inyectores; da la vuelta y regresa hacia el tanque de gasolina pero antes tiene que someterse al regulador de presión, este, mantiene la presión en el sistema; y el excedente continua su recorrido hacia el tanque.



Figura 2. 16 Bomba de combustible

2.2.6 VÁLVULA SOLENOIDE DE CONTROL DE PURGA (EGR)

La recirculación de gases de escape tiene dos misiones fundamentales, una es reducir los gases contaminados procedentes de la combustión o explosión de la mezcla y que mediante el escape sale al exterior. Estos gases de escape son ricos en monóxido de carbono, carburos de hidrógeno y óxidos de nitrógeno.

La segunda misión de la recirculación de gases es bajar las temperaturas de la combustión o explosión dentro de los cilindros. La adición de gases de escape a la mezcla de aire y combustible hace más fluida a esta por lo que se produce la combustión o explosión a temperaturas más bajas.





Figura 2. 17 Válvula de recirculación de gases de escape

2.2.7. RELÉ DE CONTROL

El relé es un dispositivo electromagnético que se comporta como un interruptor pero en vez de accionarse manualmente se acciona por medio de una corriente eléctrica. El relé está formado por una bobina que cuando recibe una corriente eléctrica, se comporta como un imán atrayendo unos contactos (contacto móvil) que cierran un circuito eléctrico. Cuando la bobina deja de recibir corriente eléctrica ya no se comporta como un imán y los contactos abren el circuito eléctrico.

El relé de comando es el responsable por mantener la alimentación eléctrica de la batería para la bobina de combustible y otros componentes del sistema. Si ocurriera un accidente, el relé interrumpe la alimentación de la bomba de combustible, evitando que la bomba permanezca funcionando con el motor apagado.

La interrupción ocurre cuando el relé no más recibe la señal de revolución, proveniente de la bobina de encendido.

Es un componente que cuando dañado podrá parar el motor del vehículo.

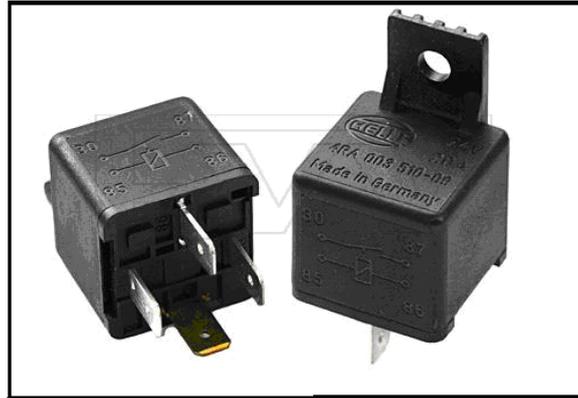


Figura 2. 18 Relé de control

2.2.8 RELÉ DE AIRE ACONDICIONADO

En los nuevos sistemas de Inyección, la señal de conexión del A/C se envía ya no al relé, sino a la computadora del sistema de inyección, de tal manera que la computadora envía la señal al relé del compresor.

Esto es debido a que la computadora, al tener la petición del A/C, primeramente compensa las revoluciones del Motor, para posteriormente conectar el compresor, evitando de esta manera la caída de revoluciones, manteniendo estable al motor en ralentí.

Si lo entendemos de esta forma, la computadora "decide" el momento oportuno de conectar el compresor, ya que en otros casos, por ejemplo cuando iniciamos la aceleración, si conectamos el A/C en ese momento, el motor perdería el torque para salir.

Por eso la computadora permite que el motor inicie su desarrollo y luego conecta el compresor para ayudar de esta forma al motor.

El control del compresor del aire acondicionado era manejado completamente independiente de sus sistemas de alimentación.

A pesar de ello se debía compensar el esfuerzo generado que frenaba al movimiento del motor, por lo que se optaba por controlar simultáneamente a una electro válvula o a una válvula neumática, que se encargaba de acelerar al sistema por alguna medio mecánico.

Como los sistemas modernos de inyección ya tienen diseñado un control de revoluciones de ralentí, se aprovecha esa circunstancia para compensar con el mismo sistema el esfuerzo causado por el movimiento del compresor de aire acondicionado. Cuando el conductor desea utilizar el aire acondicionado, selecciona el botón de mando, pero este interruptor no envía la señal hasta el relé del compresor, sino directamente a la computadora. Esta última decide el momento preciso para enviar la señal de conexión del relé, cuando el motor ya ha sido compensado en revoluciones o esta en proceso de aceleración, de tal manera que cuando se conecte el compresor no ocasiona inestabilidad en el motor.

Simultáneamente envía una señal al relé del ventilador del condensador del sistema de aire acondicionado para enfriarlo. También la computadora decidirá si durante el funcionamiento del sistema deberá encender o apagar el ventilador ó conectarlo paralelamente cuando se encienda el ventilador de enfriamiento para ayudar a refrigerar el motor.⁸

⁸ www.redtecnicaautomotriz.com

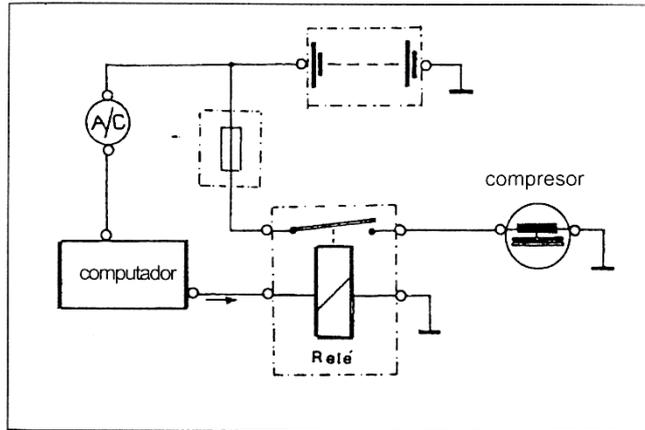


Figura 2. 20 Relé del aire acondicionado

III. ELEMENTOS Y COMPONENTES ELECTRÓNICOS

3.1 MICROCONTROLADORES

En la actualidad los microcontroladores están conquistando el mundo entero. Se los encuentra en todos los aspectos de nuestra vida como en la casa, trabajo, etc. Controlan el funcionamiento de cada uno de los componentes de los electrodomésticos, vehículos, maquinaria etc.

El microcontrolador es un circuito integrado de alta escala de integración que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador, dispone normalmente de los siguientes componentes:

- Procesador o CPU (Unidad Central de Proceso).
- Memoria RAM para contener los datos.
- Memoria para el programa tipo ROM/PROM/EPROM/EEPROM.
- Diversos módulos para el control de periféricos (temporizadores, Puertas Serie y Paralelo, Conversores Analógico/Digital, Conversores Digital/Analógico, etc.).
- Líneas de E/S para comunicarse con el exterior.
- Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema.

Muchos de los productos que para su regulación poseen un microcontrolador disponen de las siguientes ventajas:

- **Mayor flexibilidad.**- Las características de control están programadas por lo que su modificación sólo necesita cambios en el programa de instrucciones.

- **Reducción del tamaño en el producto terminado.-** La integración del microcontrolador en un chip disminuye el volumen, la mano de obra y los stocks.
- **Aumento de la fiabilidad.-** Al reemplazar el microcontrolador por un elevado número de elementos disminuye el riesgo de averías y se precisan menos ajustes.
- **Aumento de prestaciones.-** Un mayor control sobre un determinado elemento representa una mejora considerable en el mismo.

El microcontrolador es un circuito integrado que posee todos los componentes de un computador. Debido a su tamaño es posible montar el controlador en el propio dispositivo al que controla. En este caso el controlador recibe el nombre de controlador empotrado.

Se puede seleccionar la capacidad de las memorias, el número de líneas de E/S, la cantidad y potencia de los elementos auxiliares, la velocidad de funcionamiento, etc. Por todo ello, un aspecto muy destacado del diseño es la selección del microcontrolador a utilizar.⁹

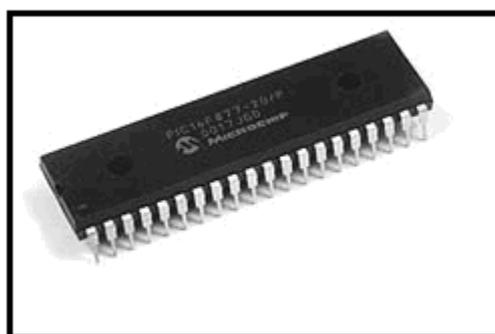


Figura 3.1 El microcontrolador

⁹ <http://www.msebilbao.com>

3.2 APLICACIONES DE LOS MICROCONTROLADORES

Cada vez más productos incorporan un microcontrolador con el fin de aumentar sustancialmente sus prestaciones, reducir su tamaño y coste, mejorar su fiabilidad y disminuir el consumo.

Ciertos fabricantes de microcontroladores superan el millón de unidades de un modelo determinado producidas en una semana. Este dato puede dar una idea de la masiva utilización de estos componentes.

Los microcontroladores están siendo empleados en multitud de sistemas presentes, como pueden ser juguetes, horno microondas, frigoríficos, televisores, computadoras, impresoras, módems, sistema de arranque de un automóvil, control de sistemas en una nave espacial, etc.

Una aplicación típica podría emplear varios microcontroladores para controlar pequeñas partes del sistema. Estos pequeños controladores podrían comunicarse entre ellos y con un procesador central, probablemente más potente, para compartir la información y coordinar sus acciones, como, de hecho, ocurre ya habitualmente en cualquier PC.

3.3 EL MERCADO DE LOS MICROCONTROLADORES

Existe una gran variedad de microcontroladores. La clasificación más importante es de microcontroladores de acuerdo al número de bits y estos pueden ser de 4, 8, 16 ó 32 bits. Aunque las prestaciones de los microcontroladores de 16 y 32 bits son superiores a los de 4 y 8 bits, la realidad es que los microcontroladores de 8 bits dominan el mercado y los de 4 bits están desapareciendo.

En cuanto a las técnicas de fabricación, cabe decir que prácticamente la totalidad de los microcontroladores actuales se fabrican con tecnología CMOS

(Complementary Metal Oxide Semiconductor). Esta tecnología supera a las técnicas anteriores por su bajo consumo y alta inmunidad al ruido.

3.3.1 RECURSOS COMUNES A TODOS LOS MICROCONTROLADORES

Al estar los microcontroladores integrados en un chip, su estructura fundamental y sus características básicas son muy parecidas. Todos disponen de bloques esenciales como el Procesador, memoria de datos y de instrucciones, líneas de E/S, oscilador de reloj y módulos controladores de periféricos. Cada fabricante intenta enfatizar los recursos más idóneos para las aplicaciones a las que se destinan preferentemente.

3.4 ARQUITECTURA BÁSICA

Aunque inicialmente todos los microcontroladores adoptaron la arquitectura clásica de Von Neumann, en el momento presente se impone la arquitectura Harvard.

La arquitectura de Von Neumann se caracteriza por disponer de una sola memoria principal donde se almacenan datos e instrucciones de forma indistinta. A dicha memoria se accede a través de un sistema de buses único (direcciones, datos y control).

La arquitectura Harvard dispone de dos memorias independientes, una que contiene sólo instrucciones y otra, sólo datos. Ambas disponen de sus respectivos sistemas de buses de acceso y es posible realizar operaciones de acceso (lectura o escritura) simultáneamente en ambas memorias.

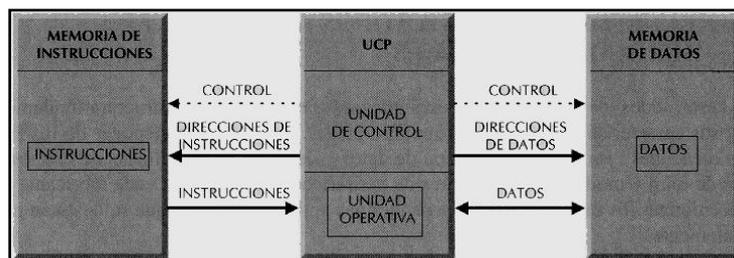


Figura 3.2 La arquitectura Harvard dispone de dos memorias independientes para datos y para instrucciones

Los microcontroladores PIC responden a la arquitectura Harvard.

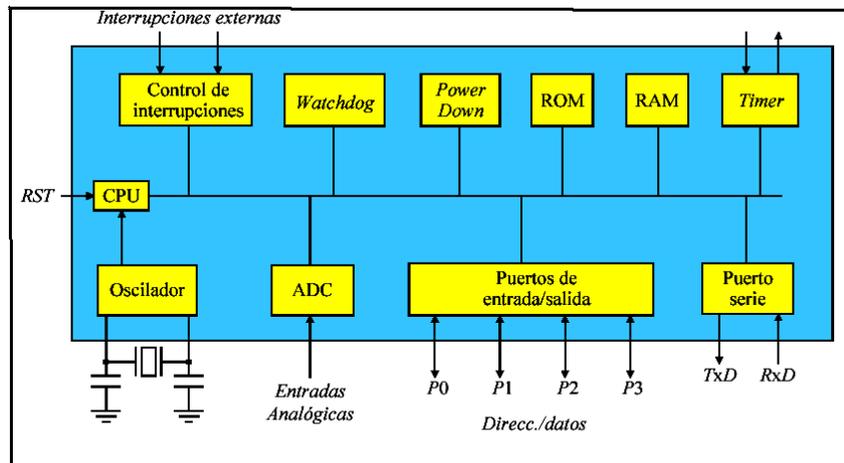


Figura 3.3 Diagrama de bloques del microcontrolador

3.4.1 EL PROCESADOR o CPU

Es el elemento más importante del microcontrolador y determina sus principales características, tanto a nivel hardware como software. Se encarga de direccionar la memoria de instrucciones, recibir el código OP de la instrucción en curso, su decodificación y la ejecución de la operación que implica la instrucción, así como la búsqueda de los operandos y el almacenamiento del resultado.

Existen tres orientaciones en cuanto a la arquitectura y funcionalidad de los procesadores actuales.

RISC

Tanto la industria de los computadores comerciales como la de los microcontroladores están decantándose hacia la filosofía RISC (Computadores de Juego de Instrucciones Reducido). En estos procesadores el repertorio de

instrucciones máquina es muy reducido y las instrucciones son simples y, generalmente, se ejecutan en un ciclo.

La sencillez y rapidez de las instrucciones permiten optimizar el hardware y el software del procesador.

SISC

En los microcontroladores destinados a aplicaciones muy concretas, el juego de instrucciones, además de ser reducido, es "específico", o sea, las instrucciones se adaptan a las necesidades de la aplicación prevista. Esta filosofía tiene el nombre de SISC (Computadores de Juego de Instrucciones Específico).

CISC

Un gran número de procesadores usados en los microcontroladores están basados en la filosofía CISC (Computadores de Juego de Instrucciones Complejo). Disponen de más de 80 instrucciones máquina en su repertorio, algunas de las cuales son muy sofisticadas y potentes, requiriendo muchos ciclos para su ejecución.

Una ventaja de los procesadores CISC es que ofrecen al programador instrucciones complejas que actúan como macros.

3.4.2 MEMORIA

En los microcontroladores la memoria de instrucciones y datos está integrada en el mismo chip. Una parte debe ser no volátil, tipo ROM, y esta destinada a contener el programa de instrucciones que gobierna la aplicación. Otra parte de memoria será tipo RAM, volátil, y esta destinada a guardar las variables y los datos.

Hay dos peculiaridades que diferencian a los microcontroladores de los computadores personales:

- Como el microcontrolador sólo se destina a una tarea en la memoria ROM, sólo hay que almacenar un único programa de trabajo.
- No existen sistemas de almacenamiento masivo como disco duro o disquetes.

La memoria RAM en estos dispositivos es de poca capacidad pues sólo debe contener las variables y los cambios de información que se produzcan en el transcurso del programa. Por otra parte, como sólo existe un programa activo, no se requiere guardar una copia del mismo en la RAM pues se ejecuta directamente desde la ROM.

Los usuarios de computadores personales están habituados a manejar Megabytes de memoria, pero, los diseñadores con microcontroladores trabajan con capacidades de ROM comprendidas entre 512 bytes y 8 Kbytes y de RAM comprendidas entre 20 y 512 bytes.

Según el tipo de memoria ROM que dispongan los microcontroladores, la aplicación y utilización de los mismos es diferente. Se describen las cinco versiones de memoria no volátil que se pueden encontrar en los microcontroladores del mercado.

ROM CON MÁSCARA

Es una memoria no volátil de sólo lectura cuyo contenido se graba durante la fabricación del chip. El elevado coste del diseño de la máscara sólo hace aconsejable el empleo de los microcontroladores con este tipo de memoria cuando se precisan cantidades superiores a varios miles de unidades.

OTP

El microcontrolador contiene una memoria no volátil de sólo lectura "programable una sola vez" por el usuario. OTP (One Time Programmable). Es el usuario quien puede escribir el programa en el chip mediante un sencillo grabador controlado por un programa desde un PC. OTP es recomendable cuando es muy corto el ciclo de diseño del producto, o bien, en la construcción de prototipos y series muy pequeñas.

En este tipo de memoria como en la EPROM, se suele usar la encriptación mediante fusibles para proteger el código contenido.

EPROM

Los microcontroladores que disponen de memoria EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) pueden borrarse y grabarse muchas veces. La grabación se realiza, como en el caso de los OTP, con un grabador gobernado desde un PC. Si, posteriormente, se desea borrar el contenido, disponen de una ventana de cristal en su superficie por la que se somete a la EPROM a rayos ultravioleta durante varios minutos. Las cápsulas son de material cerámico y son más caros que los microcontroladores con memoria OTP que están hechos con material plástico.

EEPROM

Se trata de memorias de sólo lectura, programables y borrables eléctricamente EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory).

La programación como el borrado, se realizan eléctricamente desde el propio grabador y bajo el control programado de un PC. Es muy cómoda y rápida la operación de grabado y la de borrado. No disponen de ventana de cristal en la superficie.

Los microcontroladores dotados de memoria EEPROM una vez instalados en el circuito, pueden grabarse y borrarse cuantas veces se quiera sin ser retirados de dicho circuito. Para ello se usan "grabadores en circuito" que confieren una gran flexibilidad y rapidez a la hora de realizar modificaciones en el programa de trabajo.

El número de veces que puede grabarse y borrarse una memoria EEPROM es finito, por lo que no es recomendable una reprogramación continúa. Son muy idóneos para la enseñanza y la ingeniería de diseño.

FLASH

Es una memoria no volátil, de bajo consumo, que se puede escribir y borrar. Funciona como una ROM y una RAM pero consume menos y es más pequeña.

A diferencia de la ROM, la memoria FLASH es programable en el circuito. Es más rápida y de mayor densidad que la EEPROM.

La alternativa FLASH está recomendada frente a la EEPROM cuando se precisa gran cantidad de memoria de programa no volátil. Es más veloz y tolera más ciclos de escritura/borrado.

Las memorias EEPROM y FLASH son muy útiles al permitir que los microcontroladores que las incorporan puedan ser reprogramados "en circuito", es decir, sin tener que sacar el circuito integrado de la tarjeta.

3.4.3 PUERTAS DE ENTRADA Y SALIDA

La principal utilidad de los pines que posee la cápsula que contiene un microcontrolador es soportar las líneas de E/S que comunican al computador interno con los periféricos exteriores.

Según los controladores de periféricos que posea cada modelo de microcontrolador, las líneas de E/S se destinan a proporcionar el soporte a las señales de entrada, salida y control.

3.4.4 RELOJ PRINCIPAL

Todos los microcontroladores disponen de un circuito oscilador que genera una onda cuadrada de alta frecuencia, que configura los impulsos de reloj usados en la sincronización de todas las operaciones del sistema.

El circuito de reloj está incorporado en el microcontrolador y sólo se necesitan unos pocos componentes exteriores para seleccionar y estabilizar la frecuencia de trabajo. Dichos componentes suelen consistir en un cristal de cuarzo junto a elementos pasivos o bien un resonador cerámico o una red R-C.

3.5 RECURSOS ESPECIALES

Cada fabricante oferta numerosas versiones de una arquitectura básica de microcontrolador. En algunas amplía las capacidades de las memorias, en otras incorpora nuevos recursos, en otras reduce las prestaciones al mínimo para aplicaciones muy simples, etc. La labor del diseñador es encontrar el modelo mínimo que satisfaga todos los requerimientos de su aplicación. De esta forma, minimizará el coste, el hardware y el software.

Los principales recursos específicos que incorporan los microcontroladores son:

- Modulador de anchura de impulsos o PWM.
- Puertas de E/S digitales.
- Puertas de comunicación.
- Temporizadores o "Timers".

- Conversor A/D.
- Conversor D/A.
- Perro guardián o "Watchdog".
- Protección ante fallo de alimentación o "Brownout".
- Estado de reposo o de bajo consumo.
- Comparador analógico.

3.5.1 MODULADOR DE ANCHURA DE IMPULSOS O PWM

Son circuitos que proporcionan en su salida impulsos de anchura variable, que se ofrecen al exterior a través de las patitas del encapsulado.

3.5.2 PUERTOS DE E/S DIGITALES

Todos los microcontroladores destinan algunas de sus patitas a soportar líneas de E/S digitales. Por lo general, estas líneas se agrupan de ocho en ocho formando Puertos.

Las líneas digitales de los Puertos pueden configurarse como Entrada o como Salida cargando un 1 ó un 0 en el bit correspondiente de un registro destinado a su configuración.

3.5.3 PUERTOS DE COMUNICACIÓN

Con objeto de dotar al microcontrolador de la posibilidad de comunicarse con otros dispositivos externos, otros buses de microprocesadores, buses de sistemas, buses de redes y poder adaptarlos con otros elementos bajo otras normas y protocolos.

Algunos modelos disponen de recursos que permiten directamente esta tarea, entre los que destacan:

- UART, adaptador de comunicación serie asíncrona.
- USART, adaptador de comunicación serie síncrona y asíncrona

Puerta paralela esclava para poder conectarse con los buses de otros microprocesadores.

- USB (Universal Serial Bus), que es un moderno bus serie para los PC.
- Bus I2C, que es un interfaz serie de dos hilos desarrollado por Philips.

CAN (Controller Area Network), para permitir la adaptación con redes de conexión multiplexado desarrollado conjuntamente por Bosch e Intel para el cableado de dispositivos en automóviles. En EE.UU. se usa el J1850.

3.5.4 TEMPORIZADORES O "TIMERS"

Se emplean para controlar periodos de tiempo (temporizadores) y para llevar la cuenta de acontecimientos que suceden en el exterior (contadores). Para la medida de tiempos se carga un registro con el valor adecuado y a continuación dicho valor se va incrementando o decrementando al ritmo de los impulsos de reloj o algún múltiplo hasta que se desborde y llegue a 0, momento en el que se produce un aviso.

Cuando se desean contar acontecimientos que se materializan por cambios de nivel o flancos en alguna de las patitas del microcontrolador, el mencionado registro se va incrementando o decrementando al ritmo de dichos impulsos.

3.5.5 CONVERTOR A/D (CAD)

Los microcontroladores que incorporan un Conversor A/D (Analógico/Digital) pueden procesar señales analógicas, tan abundantes en las aplicaciones. Suelen disponer de un multiplexor que permite aplicar a la entrada del CAD diversas señales analógicas desde las patitas del circuito integrado.

3.5.6 CONVERTOR D/A (CDA)

Transforma los datos digitales obtenidos del procesamiento del computador en su correspondiente señal analógica que saca al exterior por una de las patitas de la cápsula. Existen muchos efectores que trabajan con señales analógicas.

3.5.7 PERRO GUARDIÁN O "WATCHDOG"

Cuando el computador personal se bloquea por un fallo del software u otra causa, se pulsa el botón del reset y se reinicializa el sistema. Pero un microcontrolador funciona sin el control de un supervisor y de forma continuada las 24 horas del día. El perro guardián consiste en un temporizador que, cuando se desborda y pasa por 0, provoca un reset automáticamente en el sistema.

Se debe diseñar el programa de trabajo que controla la tarea de forma que refresque o inicialice al perro guardián antes de que provoque el reset. Si falla el programa o se bloquea, no se refrescará al Perro guardián y, al completar su temporización, "ladrará y ladrará" hasta provocar el reset.

3.5.8 PROTECCIÓN ANTE FALLO DE ALIMENTACIÓN O "BROWNOUT"

Se trata de un circuito que resetea al microcontrolador cuando el voltaje de alimentación (VDD) es inferior a un voltaje mínimo ("brownout"). Mientras el voltaje de alimentación sea inferior al de brownout el dispositivo se mantiene

reseteado, comenzando a funcionar normalmente cuando sobrepasa dicho valor.

3.5.9 ESTADO DE REPOSO O DE BAJO CONSUMO

Son amplias las situaciones reales de trabajo en que el microcontrolador debe esperar, sin hacer nada, a que se produzca algún acontecimiento externo que le ponga de nuevo en funcionamiento. Para ahorrar energía, (factor clave en los aparatos portátiles), los microcontroladores disponen de una instrucción especial (SLEEP en los PIC), que les pasa al estado de reposo o de bajo consumo, en el cual los requerimientos de potencia son mínimos. En dicho estado se detiene el reloj principal y se "congelan" sus circuitos asociados, quedando sumido en un profundo "sueño" el microcontrolador. Al activarse una interrupción ocasionada por el acontecimiento esperado, el microcontrolador se despierta y reanuda su trabajo.

3.5.10 COMPARADOR ANALÓGICO

Algunos modelos de microcontroladores disponen internamente de un Amplificador Operacional que actúa como comparador entre una señal fija de referencia y otra variable que se aplica por una de las patitas de la cápsula. La salida del comparador proporciona un nivel lógico 1 ó 0 según una señal sea mayor o menor que la otra.

También hay modelos de microcontroladores con un módulo de tensión de referencia que proporciona diversas tensiones de referencia que se pueden aplicar en los comparadores.

3.6 HERRAMIENTAS PARA EL DESARROLLO DE APLICACIONES

Uno de los factores que más importancia tiene a la hora de seleccionar un microcontrolador entre todos los demás es el soporte tanto software como hardware de que dispone. Un buen conjunto de herramientas de desarrollo

puede ser decisivo en la elección, ya que pueden suponer una ayuda inestimable en el desarrollo del proyecto.

Las principales herramientas de ayuda al desarrollo de sistemas basados en microcontroladores son:

3.6.1 DESARROLLO DEL SOFTWARE

Ensamblador.- La programación en lenguaje ensamblador puede resultar un tanto ardua para el principiante, pero permite desarrollar programas muy eficientes, ya que otorga al programador el dominio absoluto del sistema. Los fabricantes suelen proporcionar el programa ensamblador de forma gratuita y en cualquier caso siempre se puede encontrar una versión gratuita para los microcontroladores más populares.

Compilador.- La programación en un lenguaje de alto nivel (como el C ó el Basic) permite disminuir el tiempo de desarrollo de un producto. No obstante, si no se programa con cuidado, el código resultante puede ser mucho más ineficiente que el programado en ensamblador. Las versiones más potentes suelen ser muy caras, aunque para los microcontroladores más populares pueden encontrarse versiones demo limitadas e incluso compiladores gratuitos.

Depuración.- Debido a que los microcontroladores van a controlar dispositivos físicos, los desarrolladores necesitan herramientas que les permitan comprobar el buen funcionamiento del microcontrolador cuando es conectado al resto de circuitos.

Simulador.- Son capaz de ejecutar en un PC programas realizados para el microcontrolador. Los simuladores permiten tener un control absoluto sobre la ejecución de un programa, siendo ideales para la depuración de los mismos. Su gran inconveniente es que es difícil simular la entrada y salida de datos del microcontrolador. Tampoco cuentan con los posibles ruidos en las entradas, pero, al menos, permiten el paso físico de la implementación de un modo más

seguro y menos costoso, puesto que ahorraremos en grabaciones de chips para la prueba in-situ.

Placas de evaluación.- Son pequeños sistemas con un microcontrolador ya montado y que suelen conectarse a un PC desde el que se cargan los programas que se ejecutan en el microcontrolador. Las placas suelen incluir visualizadores LCD, teclados, LEDs, fácil acceso a los pines de E/S, etc. El sistema operativo de la placa recibe el nombre de programa monitor. El programa monitor de algunas placas de evaluación, aparte de permitir cargar programas y datos en la memoria del microcontrolador, puede permitir en cualquier momento realizar ejecución paso a paso, monitorizar el estado del microcontrolador o modificar los valores almacenados los registros o en la memoria.

Emuladores en circuito.- Es un instrumento que se coloca entre el PC anfitrión y el zócalo de la tarjeta de circuito impreso donde se alojará el microcontrolador definitivo. El programa es ejecutado desde el PC, pero para la tarjeta de aplicación es como si lo hiciese el mismo microcontrolador que luego irá en el zócalo.

Presenta en pantalla toda la información tal y como luego sucederá cuando se coloque la cápsula.

3.7 APLICACIÓN DE LOS MICROCONTROLADORES EN EL AUTOMÓVIL

Uno de los sectores que más tira del mercado del microcontrolador es el mercado automovilístico. Algunas de las familias de microcontroladores actuales se desarrollaron pensando en el sector automotriz, siendo modificadas posteriormente para adaptarse a sistemas más genéricos. El mercado del automóvil es además uno de los más exigentes: los componentes electrónicos deben operar bajo condiciones extremas de vibraciones, choques, ruido, etc. y seguir siendo fiables. El fallo de cualquier componente en un automóvil puede ser el origen de un accidente.

Así, un dispositivo con este tipo de memoria incorporado al control del motor de un automóvil permite que pueda modificarse el programa durante la rutina de mantenimiento periódico, compensando los desgastes y otros factores tales como la compresión, la instalación de nuevas piezas, etc.

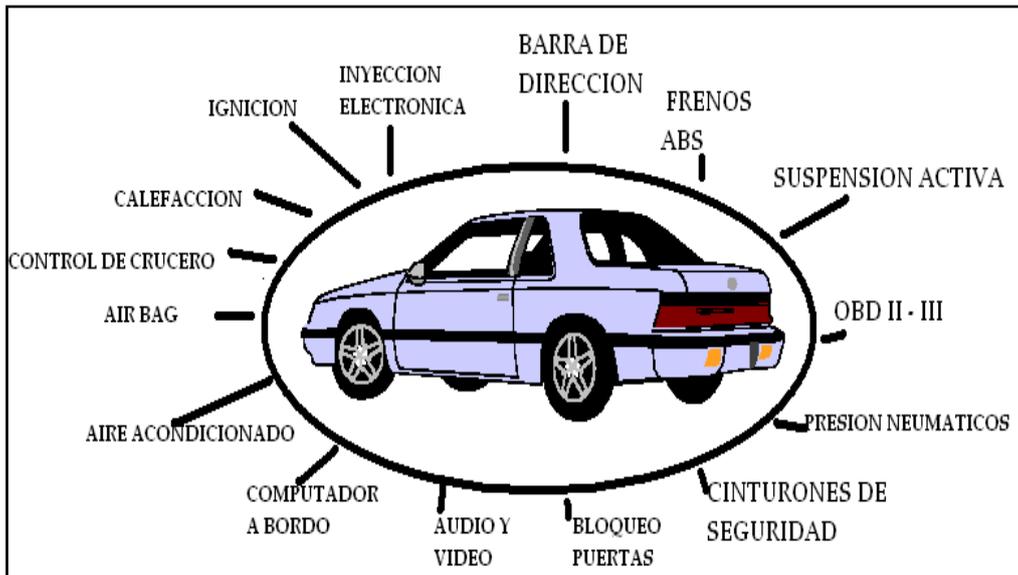


Figura 3.4 Aplicaciones en el automóvil

La distribución de las ventas según su aplicación es la siguiente:

Una tercera parte se absorbe en las aplicaciones relacionadas con los computadores y sus periféricos.

La cuarta parte se utiliza en las aplicaciones de consumo (electrodomésticos, juegos, TV, vídeo, etc.)

El 16% de las ventas mundiales se destina al área de las comunicaciones.

El resto de los microcontroladores vendidos en el mundo, aproximadamente un 10% son adquiridos por las industrias de automoción para ser usados en las instalación de inyección electrónica de gasolina, frenos abs.,

control de crucero, alarmas, equipos de audio y video, comunicación satelital, suspensión activa entre otros.

También los modernos microcontroladores de 32 bits van afianzando sus posiciones en el mercado, siendo las áreas de más interés el procesamiento de imágenes, las comunicaciones, las aplicaciones militares, los procesos industriales y el control de los dispositivos de almacenamiento masivo de datos.

3.8 SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR PARA LA APLICACIÓN

Para escoger el microcontrolador a emplear en un diseño concreto hay que tener en cuenta factores, como la documentación y herramientas de desarrollo disponibles y su precio, la cantidad de fabricantes que lo producen y por supuesto las características del microcontrolador (tipo de memoria de programa, número de temporizadores, interrupciones, etc.):

3.8.1 COSTOS

Los fabricantes de microcontroladores compiten duramente para vender sus productos, venden 10 veces más microcontroladores que microprocesadores. Para que nos hagamos una idea, para el fabricante que usa el microcontrolador en su producto una diferencia de precio en el microcontrolador es importante (el consumidor deberá pagar además el coste del empaquetado, el de los otros componentes, el diseño del hardware y el desarrollo del software). Si el fabricante desea reducir costes debe tener en cuenta las herramientas de apoyo con que va a contar: emuladores, simuladores, ensambladores, compiladores, etc. Es habitual que muchos de ellos siempre se decanten por microcontroladores pertenecientes a una única familia.

3.8.2 APLICACIÓN

Antes de seleccionar un microcontrolador es imprescindible analizar los requisitos de la aplicación:

- **Procesamiento de datos**

Puede ser necesario que el microcontrolador realice cálculos críticos en un tiempo limitado. En ese caso debemos asegurarnos de seleccionar un dispositivo suficientemente rápido para ello. Por otro lado, habrá que tener en cuenta la precisión de los datos a manejar: si no es suficiente con un microcontrolador de 8 bits, puede ser necesario acudir a microcontroladores de 16 ó 32 bits, o incluso a hardware de coma flotante. Una alternativa más barata y quizá suficiente es usar librerías para manejar los datos de alta precisión.

- **Entrada Salida**

Para determinar las necesidades de Entrada/Salida del sistema es conveniente dibujar un diagrama de bloques del mismo, de tal forma que sea sencillo identificar la cantidad y tipo de señales a controlar. Una vez realizado este análisis puede ser necesario añadir periféricos hardware externos o cambiar a otro microcontrolador más adecuado a ese sistema.

- **Consumo**

Algunos productos que incorporan microcontroladores están alimentados con baterías y su funcionamiento puede ser tan vital como activar una alarma antirrobo. Lo más conveniente en un caso como éste puede ser que el microcontrolador esté en estado de bajo consumo pero que despierte ante la activación de una

señal (una interrupción) y ejecute el programa adecuado para procesarla.

- **Memoria**

Para detectar las necesidades de memoria de nuestra aplicación debemos separarla en memoria volátil (RAM), memoria no volátil (ROM, EPROM, etc.) y memoria no volátil modificable (EEPROM). Este último tipo de memoria puede ser útil para incluir información específica de la aplicación como un número de serie o parámetros de calibración. El tipo de memoria a emplear vendrá determinado por el volumen de ventas previsto del producto: de menor a mayor volumen será conveniente emplear EPROM, OTP y ROM. En cuanto a la cantidad de memoria necesaria puede ser imprescindible realizar una versión preliminar, aunque sea en pseudo-código, de la aplicación y a partir de ella hacer una estimación de cuánta memoria volátil y no volátil es necesaria y si es conveniente disponer de memoria no volátil modificable.

- **Ancho de palabra**

El criterio de diseño debe ser seleccionar el microcontrolador de menor ancho de palabra que satisfaga los requerimientos de la aplicación. Usar un microcontrolador de 4 bits supondrá una reducción en los costes importante, mientras que uno de 8 bits puede ser el más adecuado si el ancho de los datos es de un byte. Los microcontroladores de 16 y 32 bits, debido a su elevado coste, deben reservarse para aplicaciones que requieran sus altas prestaciones (Entrada/Salida potente o espacio de direccionamiento muy elevado).

- **Diseño de la placa**

La selección de un microcontrolador concreto condicionará el diseño de la placa de circuitos. Debe tenerse en cuenta que quizá usar un microcontrolador barato encarezca el resto de componentes del diseño.

Los microcontroladores más populares se encuentran, sin duda, entre las mejores elecciones:

PIC (MicroChip). Familia de microcontroladores que gana popularidad día a día. Fueron los primeros microcontroladores RISC. Es preciso resaltar en este punto que existen innumerables familias de microcontroladores, cada una de las cuales posee un gran número de variantes.

3.8.3 SELECCIÓN DEL PIC 16F819

Vistos los criterios de selección del microcontrolador se decidió utilizar el PIC 16F819.

La distribución de pines de un chip de este modelo es la siguiente:

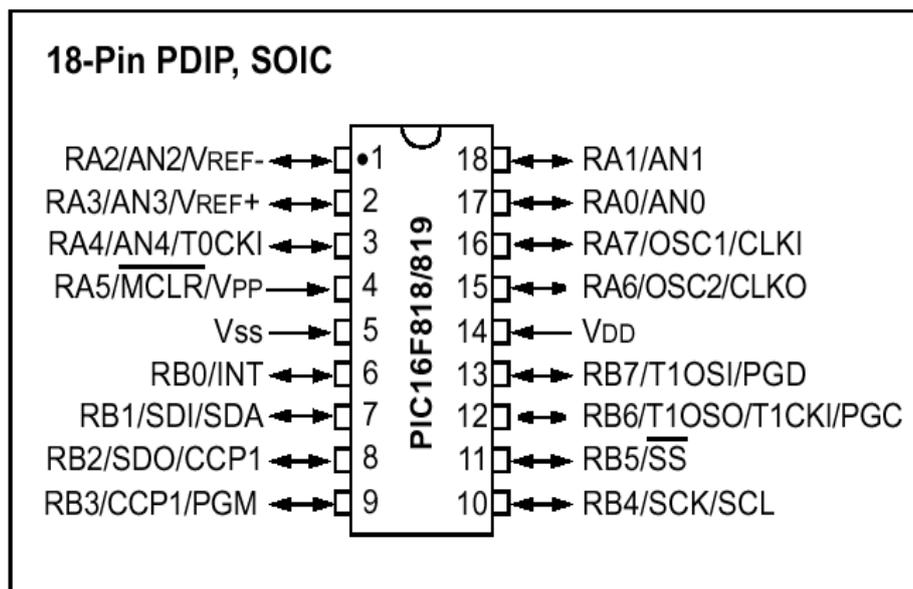


Figura 3.5 Diagrama de un PIC16F819

3.8.4 PIC 16F819

Los PIC16F818/819 pertenecen a la familia del Medio-rango. Los dispositivos difieren de otros en la cantidad de memoria de programa de FLASH, memoria de los datos y datos EEPROM.

A continuación se da a conocer los recursos de los PIC16F819:

3.8.5 RECURSOS FUNDAMENTALES¹⁰

- Memoria FLASH para programa: 2,048 palabras.
- Memoria RAM para datos: 256 bytes.
- Memoria EEPROM para datos: 256 bytes.
- Capacidad de Interrupciones.
- Stack de 8 niveles.
- Modos de direccionamiento directo, indirecto y relativo.
- Hasta 16 pines de entrada/salida.
- Un comparador análogo.
- Tres timers/counters (8, 16 y 8 bits).
- Módulo CCP (capture, compare y PWM).
- Convertidor A/D de 5 canales, 10 bit.
- SSP/SPI.
- Oscilador interno.
- Hasta 100,000 ciclos de borrado/escritura de memoria de programa FLASH.
- Hasta 1, 000,000 ciclos de borrado/escritura de memoria de datos EEPROM.
- Retención de datos en memoria de datos EEPROM mayor a 40 años.
- Comunicación serial entre micros (ICSP).

¹⁰ www.microchip.com

- Watchdog Timer.
- Código de protección.
- In circuit serial programming (ICSP).
- Modo SLEEP para ahorro de energía.
- Power On Reset, Power Up Timer, Oscillator Start-up Timer.

3.8.6 DISPOSITIVOS PERIFÉRICOS

- Timer 0: temporizador – contador de 8 bits con predivisor de 8 bits
- Timer 1: temporizador – contador de 16 bits con predivisor
- Timer 2: temporizador – contador de 8 bits con predivisor y postdivisor
- Dos módulos de captura – comparación – PWM
- Conversor A/D de 10 bits
- Puerto serie Zirconio (SSP) con SPI e I2C.
- USART

3.8.7 ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA DE PROGRAMA

La memoria FLASH en la que se graba el programa de aplicación en los PIC16F819, puede tener una capacidad de 4K u 8K palabras de 14 bits cada una. Dicha memoria está dividida en páginas de 2K palabras, está direccionada con el PC, que tiene un tamaño de 13 bits. La pila, que tiene 8 niveles de profundidad, es transparente para el usuario, es decir funciona automáticamente y no dispone de instrucciones para guardar o enviar de ella información. El vector de Reset ocupa la dirección 0000h y el vector de interrupción la 0004h, igual que en el PIC16F88.

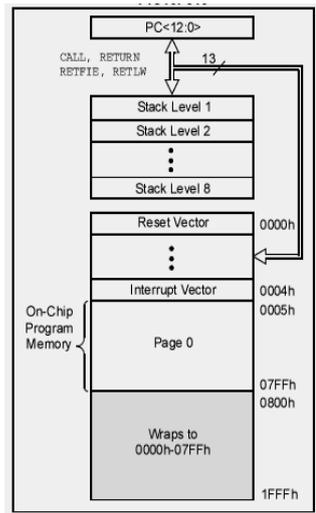


Figura 3.6 Organización de la memoria de programa tipo FLASH en los PIC16F819

3.8.8 ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA DE DATOS RAM

La memoria de datos tiene posiciones implementadas en RAM y otras en EEPROM. En la sección se alojan los registros operativos fundamentales en el funcionamiento del procesador y en el manejo de todos los periféricos, además de registros que el programador puede usar para información del trabajo propia de la aplicación.

Para seleccionar al banco al que se desea acceder en RAM se emplean los bits 5 y 6 del registro de Estado, denominados RP1 y RP0 respectivamente, según el código siguiente:

Tabla III.1 Código para seleccionar el Banco

BANCO	RP1	RP0
0	0	0

1	0	1
2	1	0
3	1	1

Para manipular adecuadamente los elementos internos de los PIC hay que conocer la misión de los bits de los Registros Específicos.

Control de la memoria de datos

Para direccionar la memoria RAM de datos estructurados en 4 bancos de 128 bytes cada uno existen dos modos diferentes:

- Direccionamiento Indirecto
- Direccionamiento Directo

En el modo de direccionamiento directo, los bits RP1 Y RP0 del Registro de Estado <6:5> se encargan de seleccionar el banco, mientras que la dirección dentro del banco la determinan 7 bits procedentes del código OP de la instrucción. Para el direccionamiento indirecto se usa el registro FSR, en el que sus 7 bits de menos peso señalan la dirección, y el banco lo determina el bit de más peso de FSR concatenado con el bit IRP del Registro de Estado <7>

3.8.9 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PIC 16F819

En las figura 3.7 se muestra a manera de bloques la organización interna del PIC16F819.

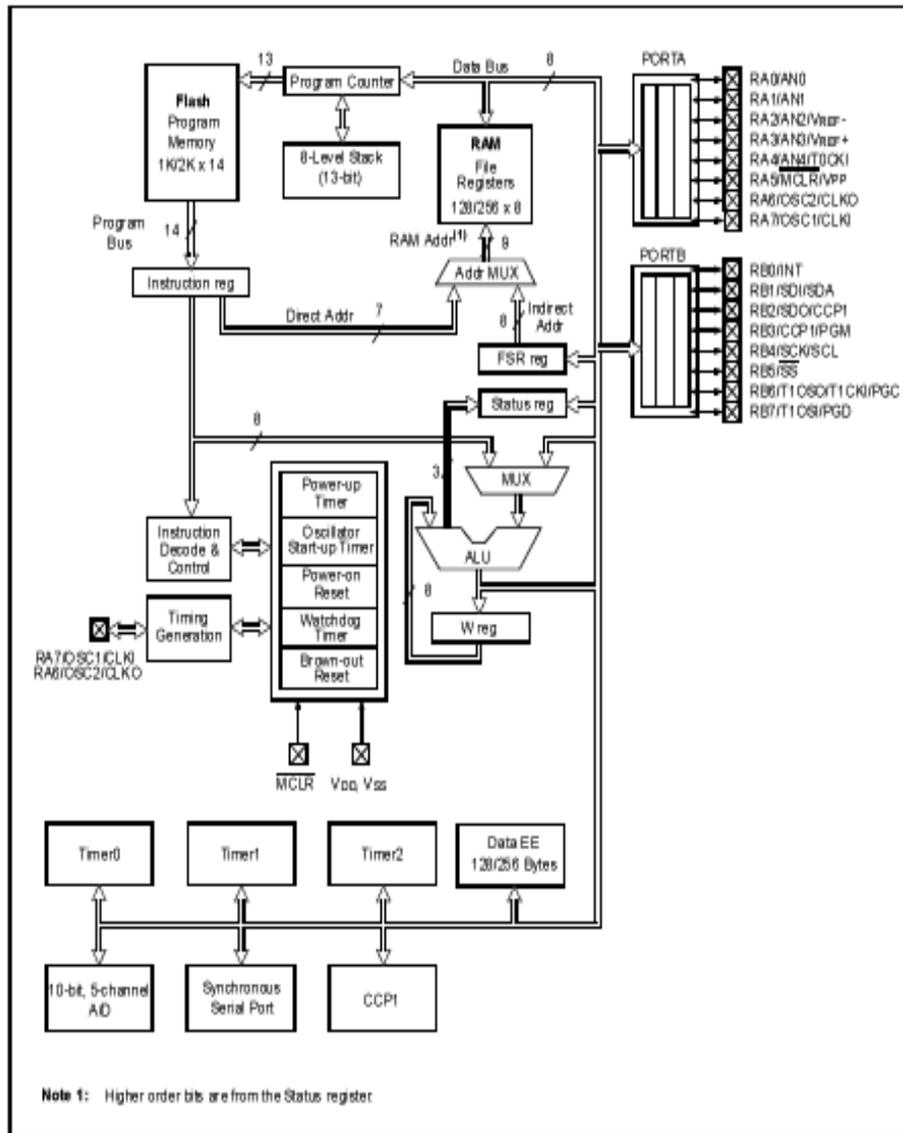


Figura 3.7 Diagrama de bloques del PIC 16F819

La función de los pines es la siguiente:

Pines De Propósito General¹¹

- OSC1/CLKIN (16): Entrada del cristal de cuarzo o del oscilador externo.
- OSC2/CLKout (15): Salida del cristal de cuarzo.
- VSS (5): Conexión a Tierra.

¹¹ www.datasheet.com

- VDD (14): Entrada de la alimentación positiva.
- MCLR#/VPP/THV (4): Entrada de RESET o entrada del voltaje de programación o voltaje alto en el modo test.

Puerta A

- RA0/AN0 (17): Puede actuar como línea digital de E/S o como entrada analógica al conversor AD (canal 0).
- RA1/AN1 (18): Igual que RA0/ANO.
- RA2/AN2/VREF – (1): Puede ser línea digital se E/S, entrada analógica o entrada del voltaje negativo de referencia.
- RA3/AN3/VREF + (2): Línea digital de E/S, entrada análoga o entrada del voltaje de referencia positivo.
- RA4/AN4/T0CKI (3): Línea digital de E/S o como entrada analógica al conversor AD (canal 4), o entrada del reloj Timer 0. salida con colector abierto.
- RA5/MCLR/VPP (4): Línea digital de E/S, Entrada de RESET o entrada del voltaje de programación o voltaje alto en el modo test.
- RA6/OSC2/CLK0 (15): Línea digital de E/S, Salida del cristal de cuarzo. En modo RC la pastilla OSC2 obtiene la cuarta parte de la frecuencia que se introduce por OSC1. que determina el ciclo de instrucción.
- RA7/OSC1/CLKI (16): Línea digital de E/S, Entrada del cristal de cuarzo o del oscilador externo.

Puerta B

- RB0/INT (6): Línea digital de E/S o entrada de petición de interrupción externa.
- RB1/SDI/SDA (7): E/S digital o entrada de datos en modo SPI o I/O datos en modo I2C.
- RB2/SDO/CCP1 (8): Línea de E/S digital o salida de datos SPI. También puede actuar como entrada Captura1/salida Comparación1/salida de PWM1.
- RB3/CCP1/PGM (9): Línea digital de E/S o entrada del voltaje bajo para programación. También puede actuar como entrada Captura1/salida Comparación1/salida de PWM1.
- RB4/SCK/SCL (10): Línea de E/S digital. Entrada de reloj serie síncrona / salida de los modos SPI e I2C.

- RB5/SS(11): Línea de E/S digital. Entrada analógica como esclavo de la puerta serie síncrona.
- RB6/T1OSO/T1CKI/PGC (12): Línea digital de E/S. Salida del oscilador del Timer 1 o como entrada de reloj del Timer 1. En la programación serie recibe las señales de reloj.
- RB7/T1OSI/PGD (13): Línea digital de E/S. Entrada del oscilador del Timer 1. En la programación serie actúa como entrada de datos.

3.8.10 COMUNICACIÓN DE LOS PIC

La comunicación serie es una forma muy apreciada de transferir datos digitales entre sistemas y circuitos integrados, dada la reducida cantidad de líneas que precisa.

En los PIC16F819, se ha implementado en el silicio de sus chips MSSP (Master Synchronous Serial Port), que provoca una excelente interfaz de comunicación de los microcontroladores con otros microcontroladores y diversos periféricos, entre los que se destacan las memorias EEPROM serie, los convertidores A/D, los controladores de displays, etc. De esta forma, el usuario dispone de algunos pines de la puerta B, que correctamente programadas sirven para manejar directamente la comunicación serie. Además, el módulo MSSP admite dos de las alternativas más usuales en la comunicación síncrona:

- SPI (Serial Peripheral Interface).
- I2C (Inter – Integrated Circuit)

3.8.11 SPI (SERIAL PERIPHERAL INTERFACE)

La comunicación serie en modo SPI la utilizan principalmente las memorias (RAM y EEPROM) y utilizan tres líneas para llevar a cabo. El modo

I2C solo se emplea dos líneas y, recientemente ha conseguido una importante implantación en la comunicación de circuitos integrados, existiendo en el mercado todo tipo de periféricos capaces de trabajar con este protocolo (memorias, controladores, relojes, conversores, etc.)

El modo SPI permite la transferencia de datos de 8 bits en serie, que pueden ser transmitidos y recibidos de forma síncrona y simultánea. Para el establecimiento de la comunicación se utilizan tres líneas:

- SDO (Serial Data Out): Salida de datos en serie.
- SDI (Serial Data In): Entrada de datos en serie.
- SCK (Serial Clock): Reloj de sincronización.

Puede ser necesaria utilizar una cuarta línea de control más cuando el PIC que se utiliza trabaja en modo de esclavo. En este caso el pin SS# (selección de esclavo) se debe activar a tierra.

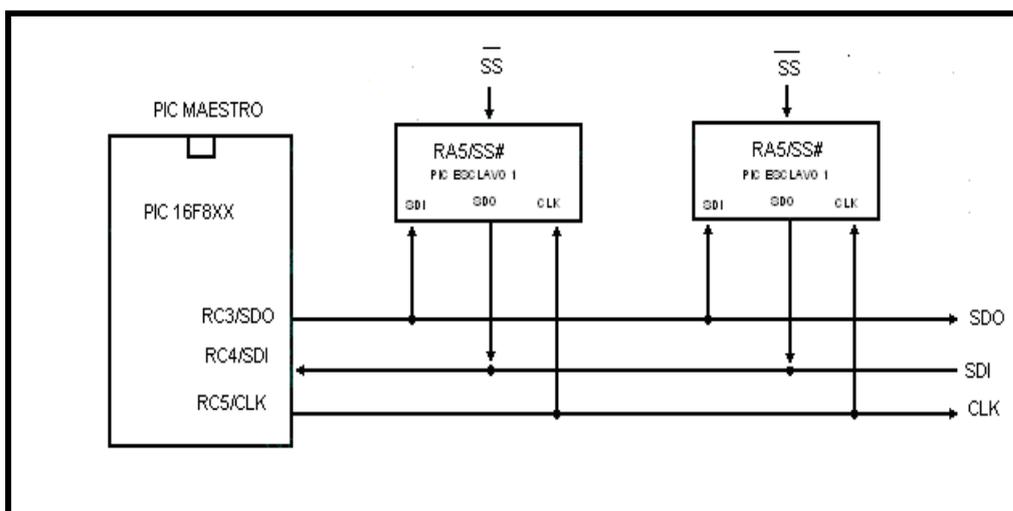


Figura 3.8 El maestro se conecta a todos los esclavos en comunicación serial con tres líneas

3.8.12 I2C (INTER – INTEGRATED CIRCUIT)

El modo I2C fue desarrollado por Philips para cubrir sus propias necesidades en la implementación de diversos productos electrónicos que requería una elevada interconexión de circuitos integrados. El protocolo I2C utiliza únicamente dos líneas para la transferencia de la información entre los elementos que se acoplan al bus. Una de dichas líneas se dedica a soportar los datos, es bidireccional se llama SDA; la otra lleva los impulsos de reloj para la sincronización, es unidireccional y recibe el nombre de SCL. Los impulsos de reloj siempre los genera el maestro y tienen la función de sincronizar las transferencias con todos los esclavos, colgados a las dos líneas.

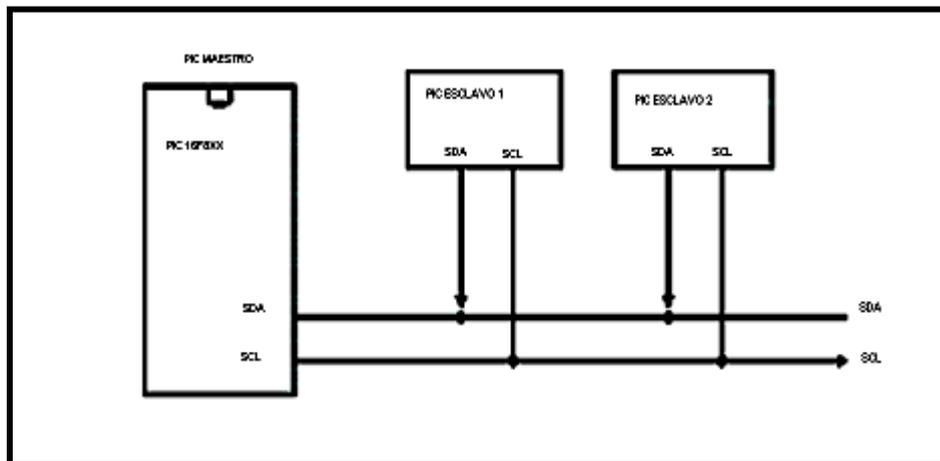


Figura 3.9 El maestro se conecta a todos los esclavos en el bus I2C con sólo dos líneas

Los PIC16F819 contienen un módulo MSSP con dos puertas para la comunicación síncrona, o sea, con señal de reloj. Además, también disponen de un módulo USART capaz de soportar la comunicación serie síncrona y asíncrona.

3.8.13 USART

Llamado SCI (Serial Communications Interfase), puede funcionar como un sistema de comunicación full duplex o bidireccional asíncrono, adaptándose a multitud de periféricos y dispositivos que transfieren información de esta forma, tales como el monitor CRT o el ordenador PC. También puede trabajar en modo síncrono unidireccional o half duplex para soportar periféricos como maestros, conversores, etc. El USART puede trabajar de tres formas:

- Asíncrona (Full duplex, bidireccional)
- Síncrona – Maestro (Half duplex, unidireccional)
- Síncrona – esclavo (Half duplex, unidireccional)

En esta forma de comunicación serie, se usa la norma RS232C, donde cada palabra de información o dato se envía independientemente de los demás. Suele constar de 8 o 9 bits y van precedidos de un bit de START (inicio) y detrás de ellos se coloca un bit de STOP (parada).

En el protocolo asíncrono RS232C, la frecuencia en baudios (bits por segundo) a la que se realiza la transferencia se debe efectuar a un valor normalizado: 330, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, etc. Para generar esta frecuencia, el USART dispone de un Generador de Frecuencia en Baudios, BRG, cuyo valor es controlado por el contenido grabado en el registro SPBRG.

De los modos de funcionamiento del USART, la comunicación serie asíncrona es la más utilizada. El PIC16F819 incorpora el hardware para comunicación vía RS-232 con un ordenador tipo PC. Para ello, el PC deberá emular un terminal con el software apropiado.

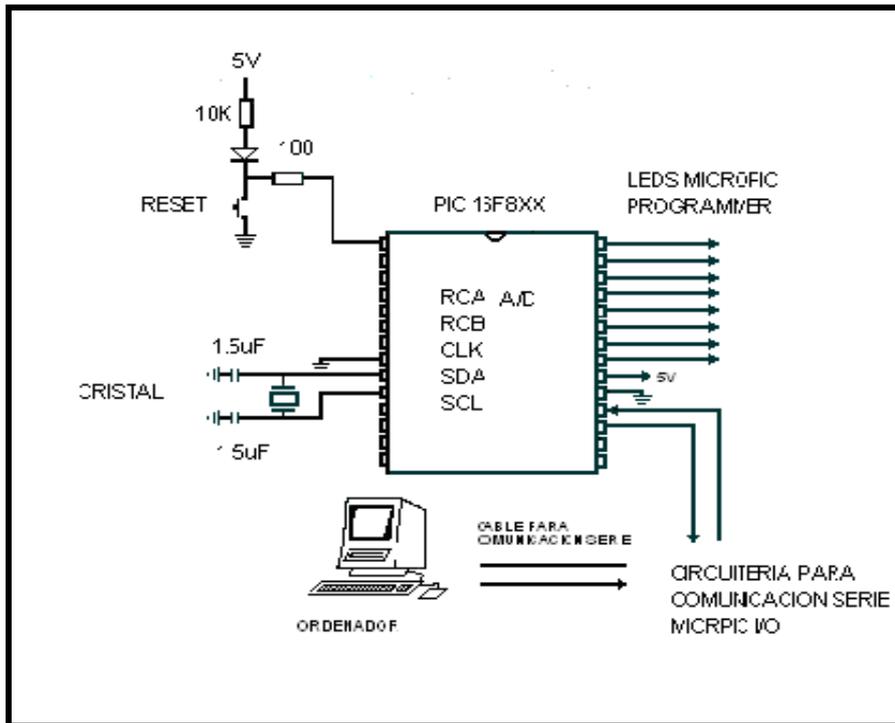


Figura 3.10 Conexión tipo USART

IV. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

4.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las innovaciones tecnológicas cada vez más acompañadas por las estrechas relaciones interdisciplinarias, que permiten ir un paso más adelante en la ejecución de un proyecto, han permitido que dispositivos, sistemas, y entornos completos puedan ser manipulados, monitoreados y controlados de forma más segura a nivel técnico. El área automotriz es una de las que mayores innovaciones ha presentado en las últimas décadas, haciendo que conocidos procesos como los de ignición y dosificación entre otros, adquieran menos robustez, mayor rapidez de respuesta y fácil mantenibilidad, con el consecuente incremento inicial de costos que ello acarrea.

Como se aprecia en cualquier unidad electrónica de control, la tendencia es integrar cada vez más componentes y tareas, que de no ser por la aparición

e implementación de la electrónica digital y los microcontroladores, sería muy complejo de llevar a cabo.

Esta tendencia sumada a la necesidad de disponer de más y mejores herramientas en la formación del profesional, anima al desarrollo de medios tecnológicos más flexibles y al alcance de todos; es así como por medio de la implementación de un control por medio de microcontroladores en la tarea específica de controlar adecuadamente la inyección del combustible, abre las puertas para que los estudiantes interactúen y conozcan su forma de operar, además de que vislumbren numerosas soluciones con una herramienta de excelentes prestaciones como lo es el microcontrolador.

Para llevar a cabo el proyecto se requiere de todos los elementos de un sistema de inyección y una vitrina porta equipo diseñada para contener a dichos elementos.

4.2 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA

El prototipo de inyección debe ajustarse a ciertos parámetros y detalles para cumplir con el objetivo planteado los cuales enumeramos a continuación:

- Presentar versatilidad en la conexión e instalación del sistema.
- Disponer de un circuito de control a través de microcontroladores y de un sistema de potencia para controlar el sistema de inyección de combustible de acuerdo a la señal base y tiempos de operación.
- La aplicación de los microcontroladores en el control de la inyección de un vehículo es una alternativa de la capacitación de técnicos e ingenieros automotrices en el área de inyección de gasolina frente a las elevadas exigencias de calidad de servicios en los motores modernos.

4.3 COMPONENTES UTILIZADOS

El prototipo se compone tanto de componentes mecánicos como eléctricos y electrónicos.

En la tabla IV.1 se detallan los componentes utilizados así como algunas de las características de los mismos.

Tabla IV.1 Elementos usados en el prototipo

COMPONENTES DEL MODULO DE PRUEBAS			
Elementos	Cantidad	Características	Costo Aprox.
Sensor de Presión en el Colector (MAP)	1		27 USD
Sensor de temperatura del líquido refrigerante (WTS)	1		80 USD
Sensor de posición de la mariposa de aceleración (TPS)	1		25 USD
Sensor de oxígeno (HEGO).	1		34 USD
Sensor de rotación/ref. (CKP).	1		74 USD
Motor paso a paso (ISC)	1		34 USD
Inyector	4	0.5 - 1.5 ohms	110 USD
Probetas	4	Escala de 0 - 1000 cc	8 USD
Manómetro de presión	1	Escala de 0 a 100 PSI	10 USD
Mangueras de presión de combustible.	3m	Cap max. hasta 30 PSI.	5 USD
Bomba de Combustible	1		64 USD
Filtro de combustible	1		7 USD
Tanque de combustible	1		3 USD
Calentador de agua	1	110v	2 USD

Cables	S/N	Tipo automotriz	15 USD
Relé	1	12v,30A	6 USD
Switch	1	3 Posiciones	6 USD
Motor del sistema	1	110V, 60 Hz	15 USD
Fusibles	1	12 V, 40A	2 USD
Fuente de voltaje	1		20 USD

4.4 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

Primero realizamos la construcción de la vitrina porta equipo la cual está ubicada sobre un soporte de tubo de sección cuadrada con ruedas que facilitan su movilidad, la vitrina posee paredes de madera enchapada fijas en la parte frontal y puertas corredizas en la parte posterior.

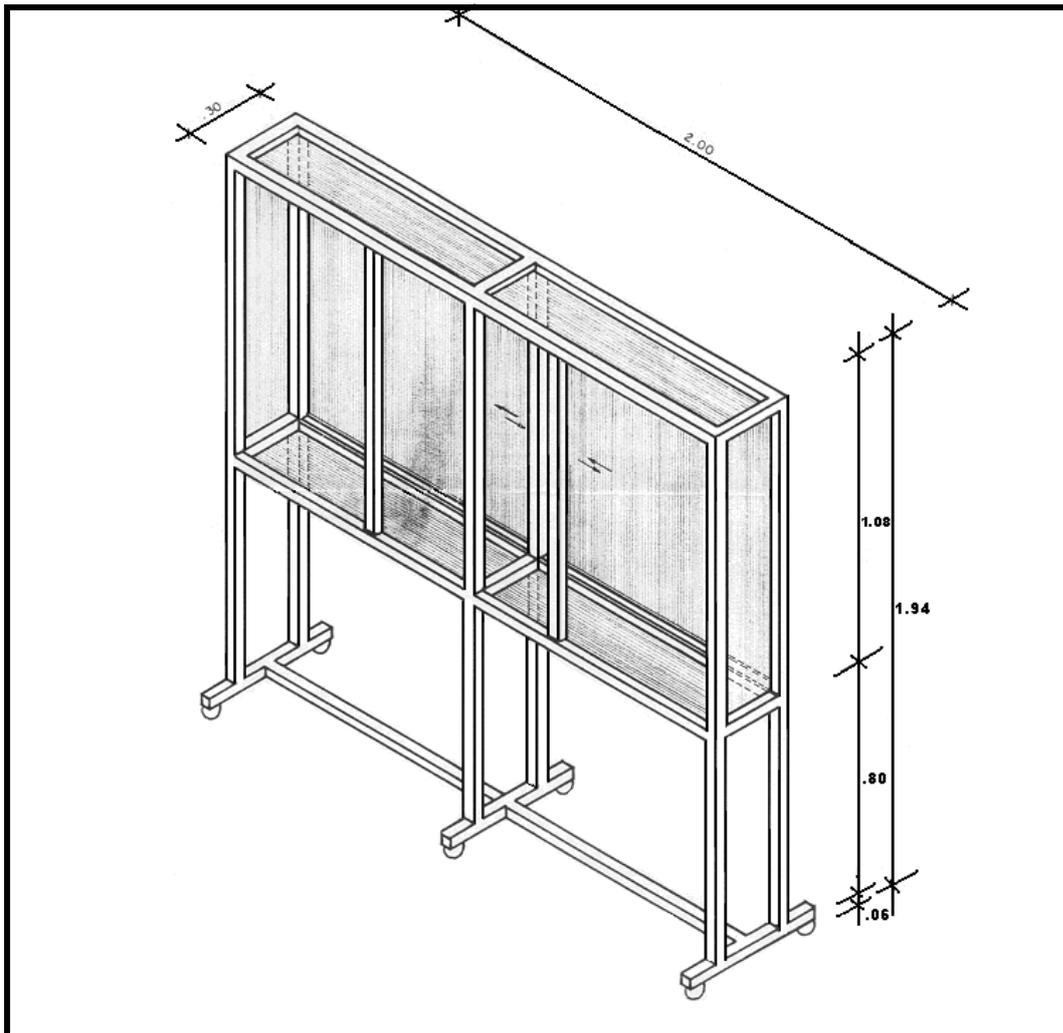


Figura 4.1 Vitrina porta equipo

Sobre esta vitrina se colocarán los diferentes elementos de tal forma que al funcionar el sistema simule exactamente los mismos parámetros que se dan en un vehículo real.

El módulo está dividido en dos secciones, la una sección está destinada a la parte de inyección de combustible y la otra para los diferentes sensores y actuadores del sistema.

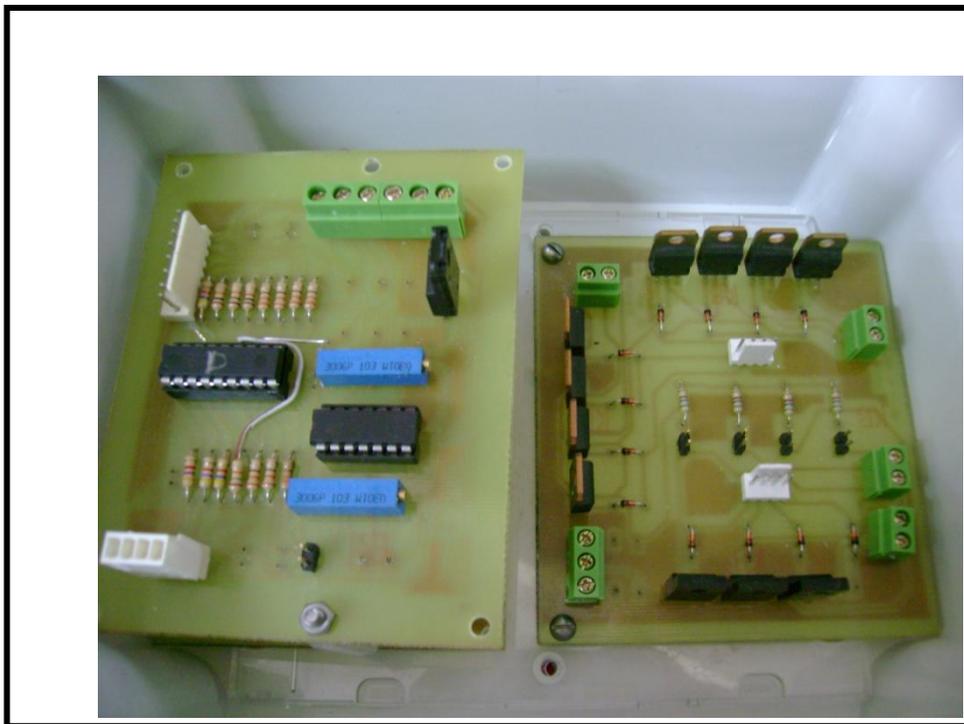


Figura 4.2 Prototipo

Se instaló la parte de inyección de combustible colocando el riel de inyección con sus respectivos inyectores y el regulador de presión, fijándolos al tablero mediante bases metálicas.

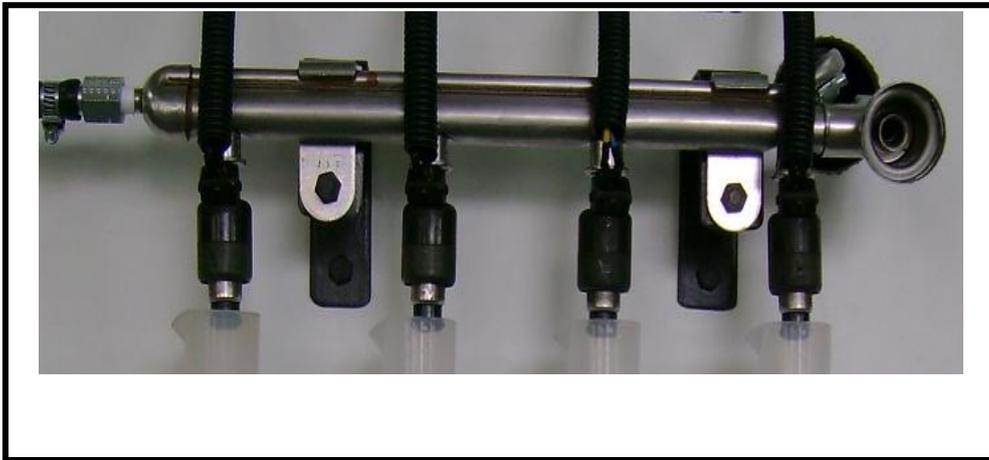


Figura 4.3 Riel de inyección

Se construyó un soporte para las probetas para determinar el caudal de los inyectores.

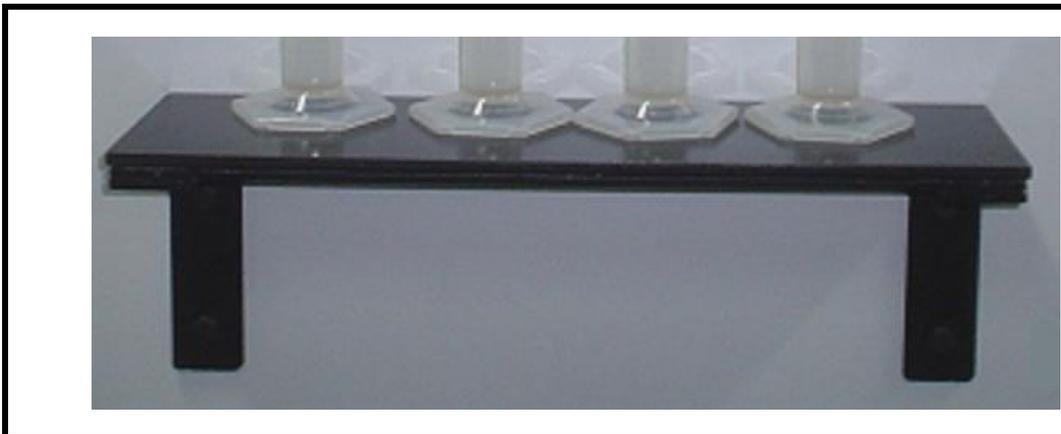


Figura 4.4 Soporte de probetas

Instalación de un manómetro para medir la presión de inyección, de acuerdo a la señal base y tiempos de inyección.



Figura 4.5 Manómetro

Posteriormente colocamos en el circuito hidráulico de retorno de combustible una llave de paso, para interrumpir el retorno y de esta manera medir la presión de la bomba y la presión regulada.



Figura 4.6 Llave de paso

La construcción del circuito hidráulico de alimentación de combustible se la realizó mediante mangueras las cuales absorben el combustible del tanque por medio

de la bomba que está sumergida y haciendo pasar el combustible a través de un filtro para dirigirlo hacia el riel de inyectores.

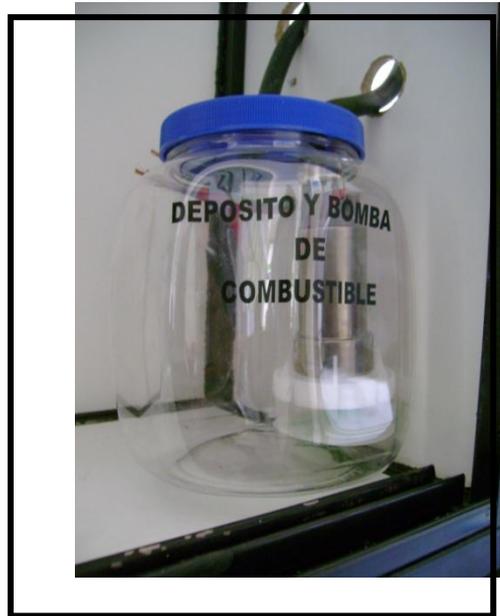


Figura 4.7 Depósito y bomba de combustible



Figura 4.8 Filtro de combustible

La placa de control electrónico se encuentra en la parte superior derecha del tablero.

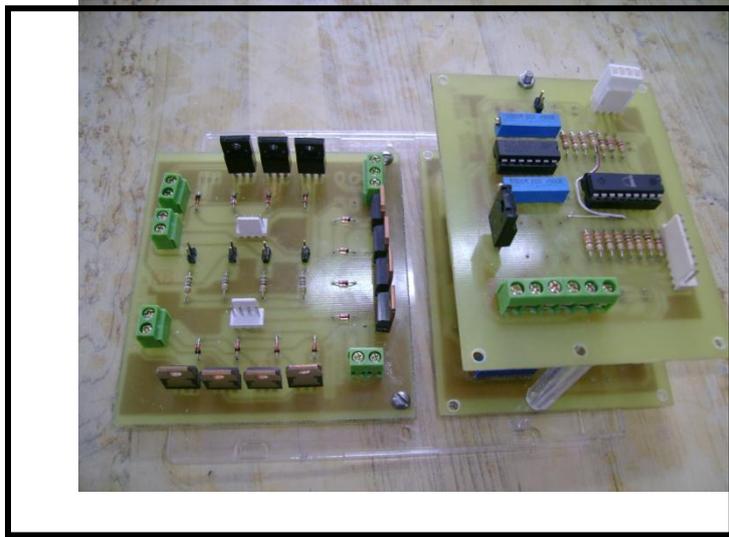


Figura 4.9 Placa electrónica

La mariposa de aceleración se encuentra fija al tablero mediante tornillos de sujeción, aquí se encuentran ubicados el TPS (Sensor de posición de la mariposa) y la válvula IAC de ralentí.



Figura 4.10 Mariposa de aceleración



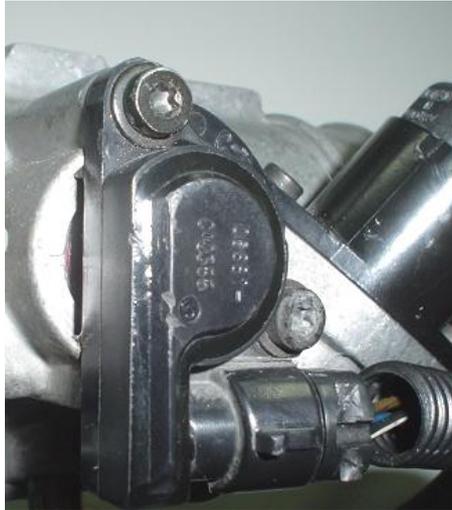


Figura 4.11 Sensor TPS

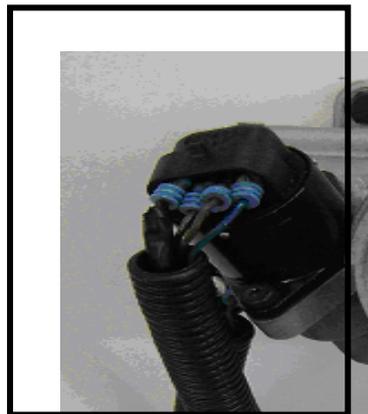


Figura 4.12 Válvula IAC

Se colocó el sensor CKP junto con la rueda reluctora de donde toma la señal dicho sensor. La rueda reluctora fue fijada a un motor eléctrico con su respectivo acelerador para simular las r.p.m. del motor.



Figura 4.13 Sensor CKP

El sensor WTS se ubicó dentro de recipiente plástico, junto con un calentador de agua que consta de un interruptor para su activación, para simular la temperatura del líquido refrigerante.



Figura 4.14 Sensor WTS

El sensor ATS está ubicado en la parte superior del tablero, introducido en la manguera de admisión de aire. Se colocó una secadora en la parte posterior de la manguera de admisión de aire, dentro del tablero, con el fin de simular la temperatura del aire de admisión.



Figura 4.15 Sensor ATS

El sensor MAP y el sensor HEGO fueron adheridos al tablero mediante pernos y abrazaderas.

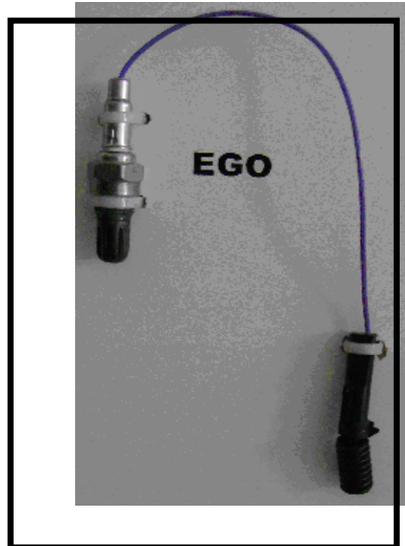


Figura 4.16 Sensor EGO

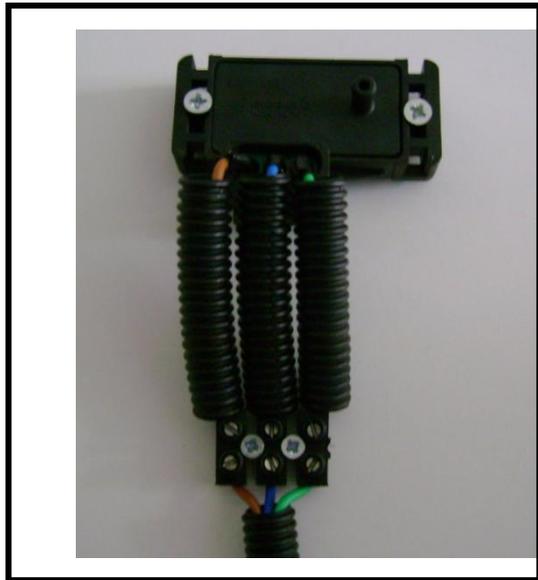


Figura 4.17 Sensor MAP

Se implementó un switch de ignición para facilitar el encendido del módulo.

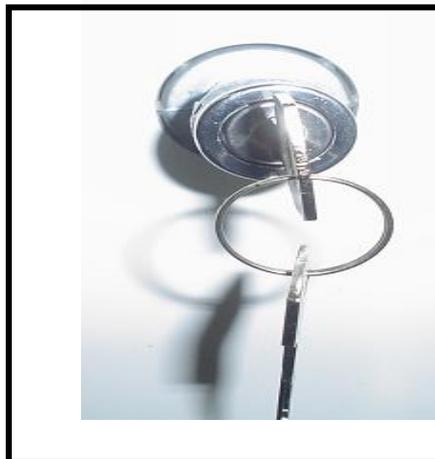


Figura 4.18 Switch

Una vez que instalados los sensores y actuadores en el tablero se realizó la instalación eléctrica con la placa electrónica de acuerdo al diagrama eléctrico. Junto a cada sensor y actuador se colocó borneras por la línea de cables del circuito para facilitar la toma de datos.

4.5 DISEÑO ELECTRÓNICO

Los parámetros considerados para la elaboración del prototipo, se refieren a las señales recibidas y enviadas de los sensores y actuadores hacia el módulo de control electrónico que en este caso está sustituido por una placa de control electrónico utilizando elementos eléctricos - electrónicos entre ellos un microcontrolador.

4.6 SEÑALES Y SU PROCESAMIENTO

Para el diseño del programa de control del microcontrolador se ha procedido a plantear una lógica de programación según la cual se desea que funcione la aplicación, tomando estados de referencia de entradas y funciones de salida determinadas para dichos estados.

El diagrama de bloques bajo el cual estará diseñado el modo de operación del prototipo.



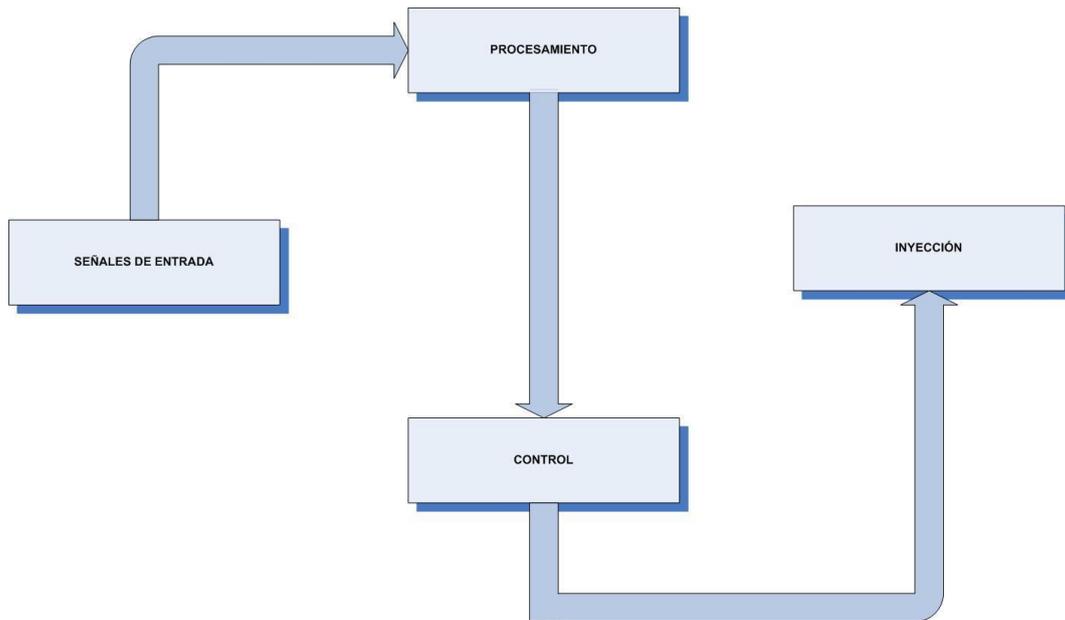


Figura 4.20 Diagrama de bloques de aplicación

4.7 CONVERSIÓN DE SEÑALES ANALÓGICAS A DIGITALES (CAD)

Debido a que dentro del automóvil las señales que son dadas por los diferentes sensores que componen el vehículo son en forma análoga y es la computadora la encargada de transformar estos valores análogos en valores digitales que son de una manera mucho más comprensibles para que la computadora los analice y de así el tiempo correcto para la Inyección y a la vez para el Encendido, por esta razón se intenta simular el trabajo interno de la computadora mediante el uso del PIC 16F819 el cual posee internamente varios conversores análogos/digitales los cuales cumplen con nuestro propósito al recibir señales ó valores análogos y los convierte en digitales lo cual le facilita el entendimiento de las señales y permite realizar una correcta programación sin tener que utilizar conversores externos los cuales darían un poco más de complicaciones en lo que respecta a la programación.

4.7.1 MÓDULO DE CONVERTOR A/D (CAD)

El modulo de convertidor análogo – digital (A/D) tiene cinco entradas por los pines 18/20 del PIC.

La conversión de una señal de entrada análoga produce un número digital correspondiente en 10 bit. El módulo (A/D) tiene un alto y bajo voltaje de referencia a la entrada que es un software que se puede seleccionar en varias combinaciones de VDD, VSS, RA2 ó RA3.

El conversor A/D tiene una característica única de estar habilitado para operar mientras el PIC se encuentra en modo de descanso. Para operar en este modo el reloj del conversor A/D debe derivarse desde el oscilador interno RC del conversor A/D.

El módulo A/D tiene cuatro registros:

- A/D Registro de resultado alto (ADRESH)
- A/D Registro de resultado bajo (ADRESL)
- A/D Registro de control 0 (ADCON0)
- A/D Registro de control 1 (ADCON1)

Los registros ADCON0, se detallan en el punto 4.7.2, donde se indica el control de operación del módulo A/D. Los registros ADCON1, se detallan en el punto 4.7.3, se indica la configuración de las funciones de los puertos de los pines. Los puertos de los pines pueden ser configurados como entradas análogas (RA3 puede también ser un voltaje de referencia) o como entrada digital en I/O.

4.7.2 REGISTRO: ADCON0: A/D REGISTRO DE CONTROL Ó (ADDRESS 1Fh)

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON

bit 7 bit 0

bit 7-6 ADCS1:ADCS0: Bits para la selección de conversión del reloj A/D

Si ADCS2 = 0:

00 = FOSC/2

01 = FOSC/8

10 = FOSC/32

11 = FRC (Reloj derivado desde el oscilador RC del módulo interno A/D)

Si ADCS2 = 1:

00 = FOSC/4

01 = FOSC/16

10 = FOSC/64

11 = FRC (Reloj derivado desde el oscilador RC del modulo interno A/D)

bit 5-3 CHS2:CHS0: Bits de selección de canal análogo

000 = Canal 0 (RA0/AN0)

001 = Canal 1 (RA1/AN1)

010 = Canal 2 (RA2/AN2)

011 = Canal 3 (RA3/AN3)

100 = Canal 4 (RA4/AN4)

bit 2 **GO/DONE:** Bit del estado de conversión A/D

Si ADON = 1:

1 = A/D conversión en progreso (Configurando este bit comienza la conversión A/D)

0 = A/D conversión no en progreso (Este bit se resetea automáticamente por el hardware cuando la conversión se a completado.

bit 1 **Desimplementado:** Lectura como '0'

bit 0 **ADON:** A/D bit encendido

1 = El módulo del conversor A/D está operando

0 = El módulo del conversor A/D está apagado y consume corriente durante la operación.

4.7.3 REGISTRO: ADCON1: A/D REGISTRO DE CONTROL 1 (ADDRESS 9Fh)

bit 7	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	bit 0
	ADFM	ADCS2	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0

bit 7 **ADFM:** Bit de selección del formato del resultado A/D

1 = Justificado a la derecha, 6 Bits de mayor importancia de ADRESH da como lectura '0'

0 = Justificado a la izquierda, 6 Bits de menor importancia de ADRESSL da como lectura '0'

bit 6 **ADCS2:** Divisor del reloj A/D por dos bit de selección

1 = La fuente del reloj A/D esta dividida por dos cuando el reloj del sistema es usado

0 = Deshabilitado

bit 5-4 **Desimplementado:** Lectura como '0'

bit 3-0 **PCFG<3:0>:** Bits de control de configuración de las puertas A/D

Los registros ADRESH: ADRESL contienen el resultado de la conversión A/D, cuando la conversión A/D esta completa el resultado se carga dentro del par de registros de resultado A/D, el bit GO/DONE (ADCON0<2>) es reseteado y el bit de la señal de interrupción A/D es acondicionado.

Después de que el módulo A/D ha sido configurado como se deseaba, el canal de selección debe ser adquirido antes que se de inicio a la conversión.

Los canales de entrada análoga deben tener sus correspondientes bits TRIS como entradas de selección. Después que ha transcurrido el tiempo de muestra la conversión puede comenzar. Los siguientes pasos se deben seguirse cuidadosamente para realizar la conversión A/D:

1. Configurar el módulo de A/D.
 - Configurar los pines análogos/voltaje de referencia y digitales I/O (ADCON1)
 - Seleccionar el canal de entrada A/D (ADCON0)
 - Seleccionar el reloj de conversión A/D (ADCON0)
 - Encender el módulo A/D (ADCON0)

2. Configurar el interruptor (si se desea) de A/D.

- Limpiar el bit ADIF
 - Fijar el bit ADIE
 - Fijar el bit GIE
3. Esperar el tiempo de adquisición requerido.
 4. Comenzar la conversión.
 - Fijar el bit GO/DONE (ADCON0)
 5. Esperar que la conversión se haya completado.
 - Registrar que el bit GO/DONE este reseteado (con interrupciones deshabilitadas); ó
 - Esperar por la interrupción de A/D
 6. Leer el par de registros del resultado A/D.
 - (ADRESH: ADRESL) bit reseteado ADIF si se requiere.
 7. Para la siguiente conversión repetir los pasos 1 ó 2 como se desee. El tiempo de conversión A/D por bit es definido por T_{AD} . Como mínimo hay que esperar $2 T_{AD}$ antes de empezar la siguiente adquisición.

El diagrama de bloque de modulo A/D se muestra en la Figura 4.21

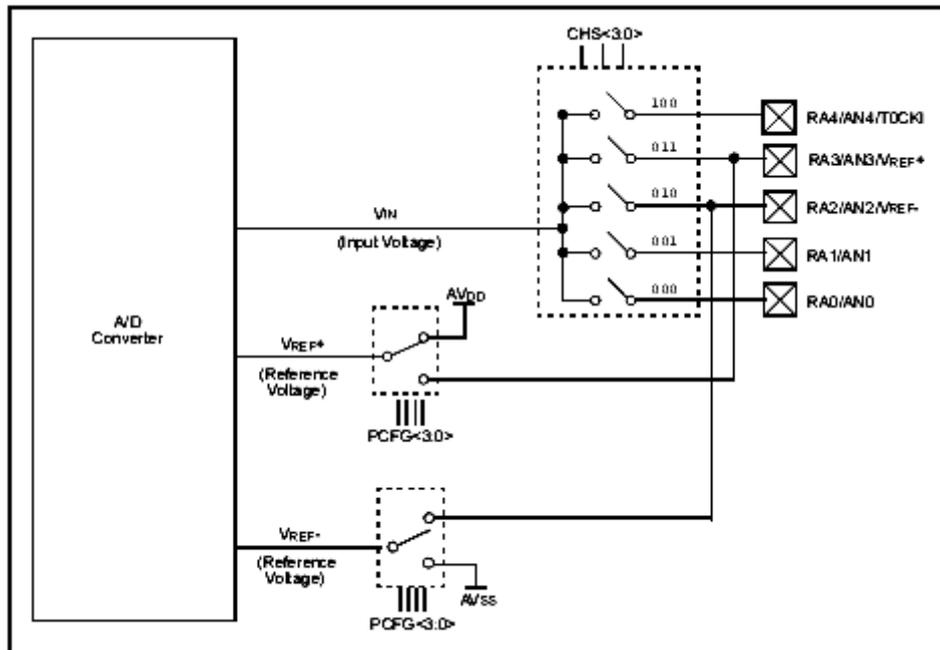


Figura 4.21 Diagrama de bloques convertor A/D

4.7.4 REQUISITOS DE ADQUISICIÓN A/D

Para que la conversión A/D reúna su precisión especificada, el capacitor de carga (C_{HOLD}) debe tener permitido una carga completa del nivel de voltaje del canal de entrada. El modelo de entrada análogo se muestra en la Figura 4.22.

Para el convertor de A/D para reunir su exactitud especificada, la fuente de impedancia (R_S) y el switch de prueba interno (R_{SS}) afecta directamente la impedancia el tiempo necesario para cargar el capacitor C_{HOLD} . El switch de prueba interno (R_{SS}) varía la impedancia por encima de los voltajes del pic (V_{DD}). La impedancia máxima recomendada para fuentes análogas es de 2.5 K Ω . Como la impedancia baja, el tiempo de adquisición puede bajar de igual forma. Después de haber cambiado el canal de entrada análogo esta adquisición debe ser hecha antes que la conversión de inicio.

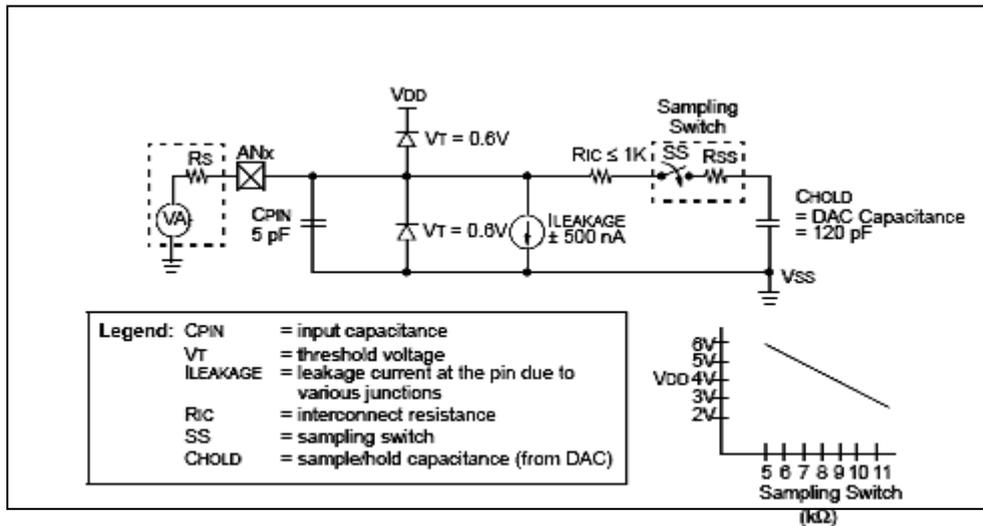


Figura 4.22 Modelo de entrada análogo

4.7.5 SELECCIÓN DEL RELOJ DE CONVERSIÓN A/D

El tiempo de conversión A/D para cada bit es definido como T_{AD} . La conversión A/D requiere de $9 T_{AD}$ por cada 10 bit de conversión.

La fuente del reloj de conversión A/D es un software de selección. Existe siete posibles opciones para T_{AD} .

- $2 T_{OSC}$
- $4 T_{OSC}$
- $8 T_{OSC}$
- $16 T_{OSC}$
- $32 T_{OSC}$
- $64 T_{OSC}$
- Oscilador RC del módulo interno A/D ($2 - 6 \mu s$)

Para una correcta conversión A/D, el reloj de conversión A/D (T_{AD}) debe tener un mínimo aseguramiento T_{AD} para que el tiempo sea lo mas pequeño posible pero no menor a 1.6 μ s y no mayor a 6.4 μ s.

La tabla IV.2 muestra los tiempos T_{AD} resultantes derivados desde las frecuencias de operación del pic y de la fuente de selección del reloj A/D.

Tabla IV.3 T_{AD} vs. Frecuencias de máxima operación del Pic

DC Fuente del Reloj (T_{AD})			Frecuencia máxima del PIC
Operación	ADCS < 2 >	ADCS < 1:0 >	
2 T_{OSC}	0	00	1.25 MHz
4 T_{OSC}	1	00	2.5 MHz
8 T_{OSC}	0	01	5 MHz
16 T_{OSC}	1	01	10 MHz
32 T_{OSC}	0	10	20 MHz
64 T_{OSC}	1	10	20 MHz
RC ^(1,2,3)	X	11	(Nota 1)

4.7.6 CONFIGURACIÓN DE LOS PINES DEL PUERTO ANÁLOGO

El ADCON1 y TRISA registran el control de operación A/D de los pines; el puerto que se desee como entrada análoga debe tener su correspondiente (entrada) de fijación de bit TRIS. Si el bit TRIS es reseteado (salida) el nivel de salida digital (V_{OH} o V_{OL}) debe ser convertido.

La operación A/D es independiente del estado de los bits CHS<2:0> y de los bits TRIS

Nota 1.- Cuando se este leyendo el puerto de registro todos los pines configurados como entradas análogas deben leerse como limpias (a bajo nivel). Los pines

configurados como entradas digitales deben convertirse en entradas análogas. La configuración de los niveles análogos y digitales no deben afectar la correcta conversión.

2.- Los niveles análogos o cualquier pin que este declarado como entrada digital (incluyendo el AN4:AN0) pueden causar que el buffer de entrada consuma corriente de salida contraria a las especificaciones del pin.

3.- La fuente RC tiene un tiempo típico TAD de 4 μ s pero puede variar entre 2-6 μ s.

4.- Cuando las frecuencias del dispositivo son mayores que 1 MHz, la fuente del reloj de conversión RC A/D es solo recomendada para operaciones de descanso.

4.7.7 CONVERSIONES A/D

Reseteando el bit GO/DONE durante una conversión se abortará la conversión actual. El par de registro del resultado de A/D no se actualizará con la muestra de conversión A/D completada parcialmente. Esto significa que los registros ADRESH: ADRESSL continuarán con el contenido de la última conversión (o el último valor que esté escrito en el registro ADRESH: ADRESSL) después que la conversión A/D es abortada se requiere de $2 T_{AD}$ antes de comenzar nuevamente. Después que se a esperado los $2 - T_{AD}$ la adquisición seleccionada comienza automáticamente El bit GO/DONE puede luego ser fijado para comenzar la conversión.

En la figura 4.23, después de que se a fijado el bit GO; la primera segmentación tiene un mínimo T_{CY} y un máximo T_{AD}

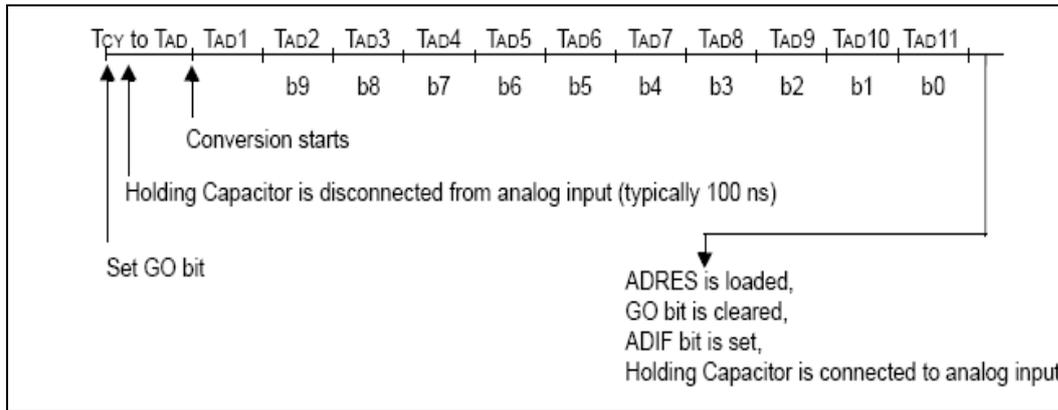


Figura 4.23 Ciclos T_{AD} de conversión A/D

4.7.8 REGISTROS DE RESULTADO A/D

El par de registros ADRESH: ADRESL está localizado donde los resultados de los 10 bits A/D son cargados en el cumplimiento de conversión de A/D. Este registro posee 16 bits de ancho.

El módulo A/D da la flexibilidad de justificar a la izquierda o a la derecha del resultado de 10 bits el registro de 16 bits. La selección del formato del bit A/D (ADFM) controla esta justificación.

La figura 4.24 muestra la justificación de operación del resultado de A/D. Un bit extra es cargado con "0". Cuando un resultado A/D no puede ser sobre-escrito en esta localidad (Deshabilitado A/D), este registro puede ser usado con la intención de registrar 8 bits.

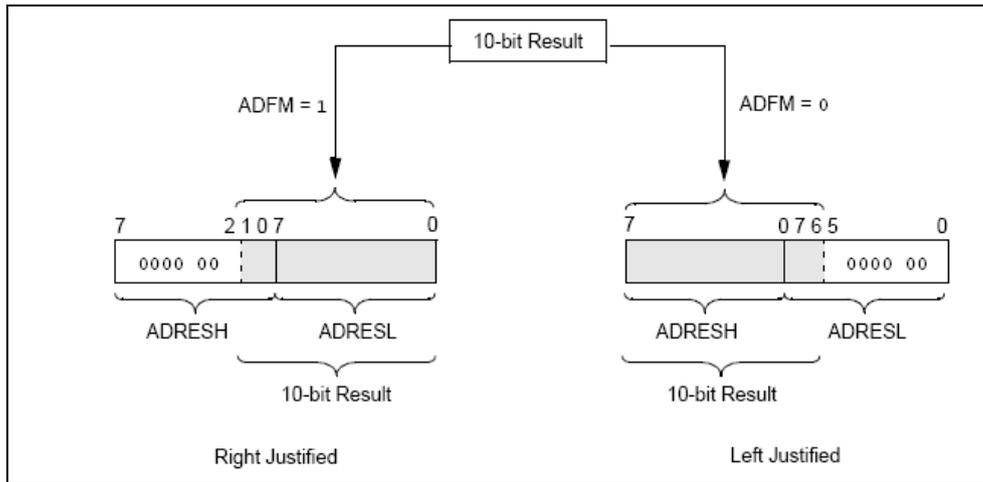


Figura 4.24 Justificación de resultados A/D

4.7.9 FUNCIONAMIENTO DE A/D DURANTE EL DESCANSO

El módulo de A/D puede operar durante el modo de descanso. Esto requiere que los A/D cronometran la fuente se ponga a RC (ADCS1: ADCS0 = 11). Cuando los RC cronometran que la fuente es seleccionada, el módulo de A/D espera un ciclo de la instrucción antes de empezar la conversión. Esto permite ejecutar la instrucción de DESCANSO, que elimina el ruido de todo el conmutador numérico de la conversión. Cuando la conversión se completa, el pedazo de GO/DONE se aclarará y el resultado se cargó en el registro de ADRES. Si la interrupción de A/D se habilita, el dispositivo activará el descanso. Si la interrupción de A/D no se habilita, el módulo de A/D se apagará entonces, aunque el bit de ADON permanecerá fijo.

Cuando los A/D cronometran que la fuente es otra opción del reloj (no RC), una instrucción de DESCANSO causará la conversión presente a ser abortado y el módulo de A/D a ser apagado, aunque el bit de ADON permanecerá fijo.

Apagando los lugares de A/D el módulo de A/D en su estado del consumo de corriente más bajo.

4.7.10 EFECTOS DE UNA REINICIALIZACIÓN

Una fuerza de reinicialización de dispositivo regresa todos los registros a su estado. El módulo de A/D es inválido y cualquier conversión se aborta en marcha. Todo el A/D entró se configuran los pines como las entradas analógicas.

4.8 DIAGRAMA DE BLOQUES ENTRADAS / SALIDAS

El diagrama de bloques de entradas y salidas queda presentado en la figura 4.25

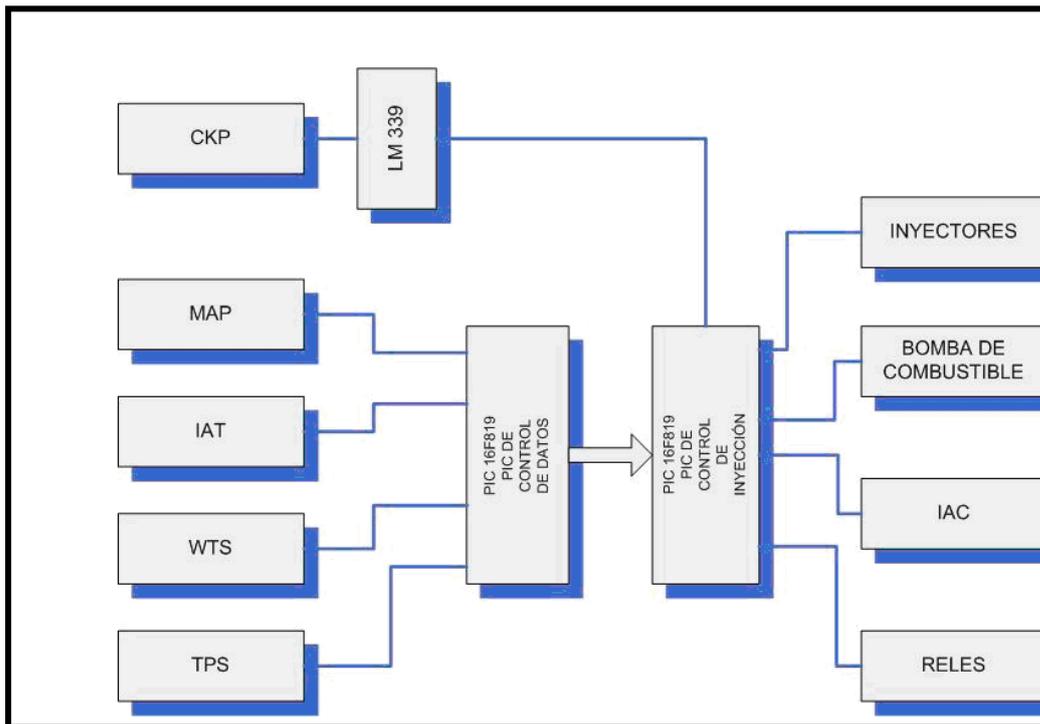


Figura 4.25 Diagrama de bloques de señales de entradas / salidas del prototipo de inyección electrónica de gasolina.

El organigrama de pruebas para el proceso de programación del pic es el siguiente:

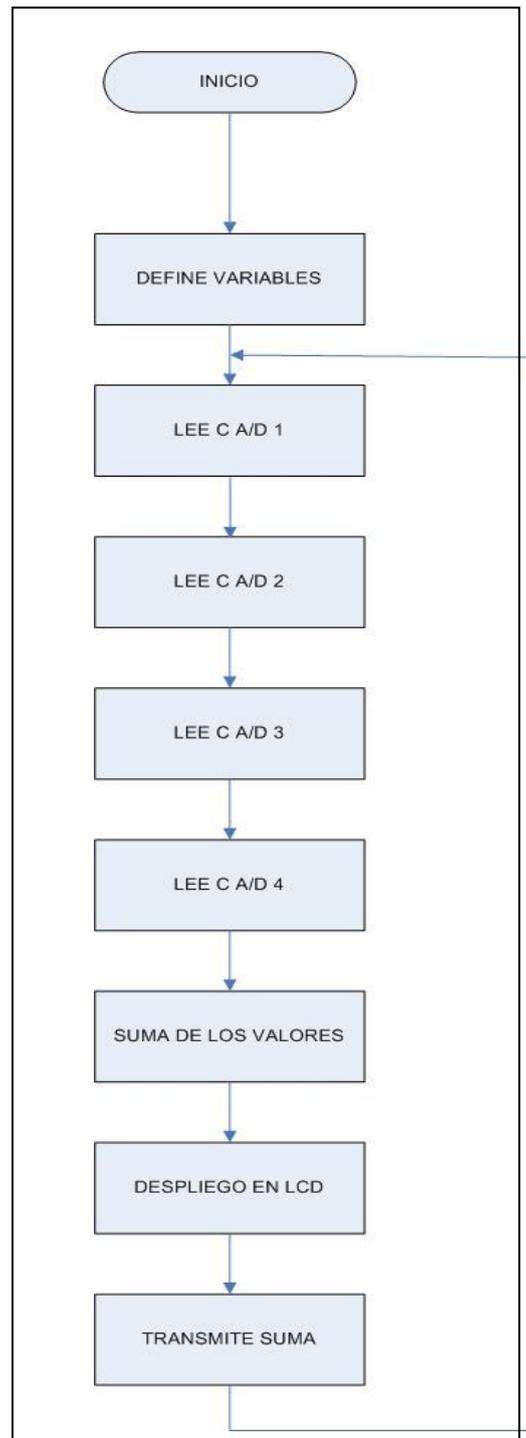


Figura 4.26 Diagrama de flujo del pic de control de datos

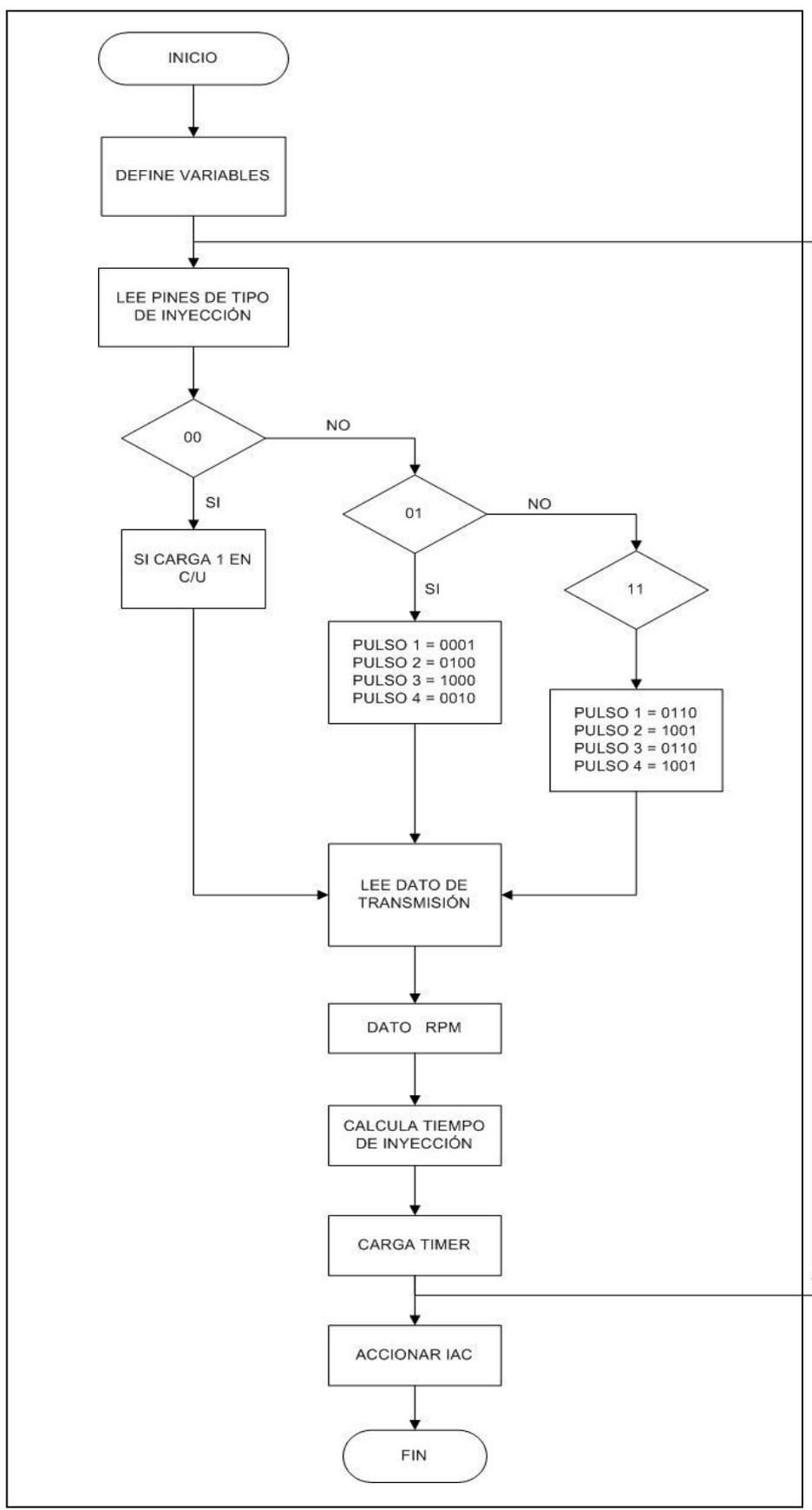


Figura 4.27 Diagrama de flujo del pic de control de inyección

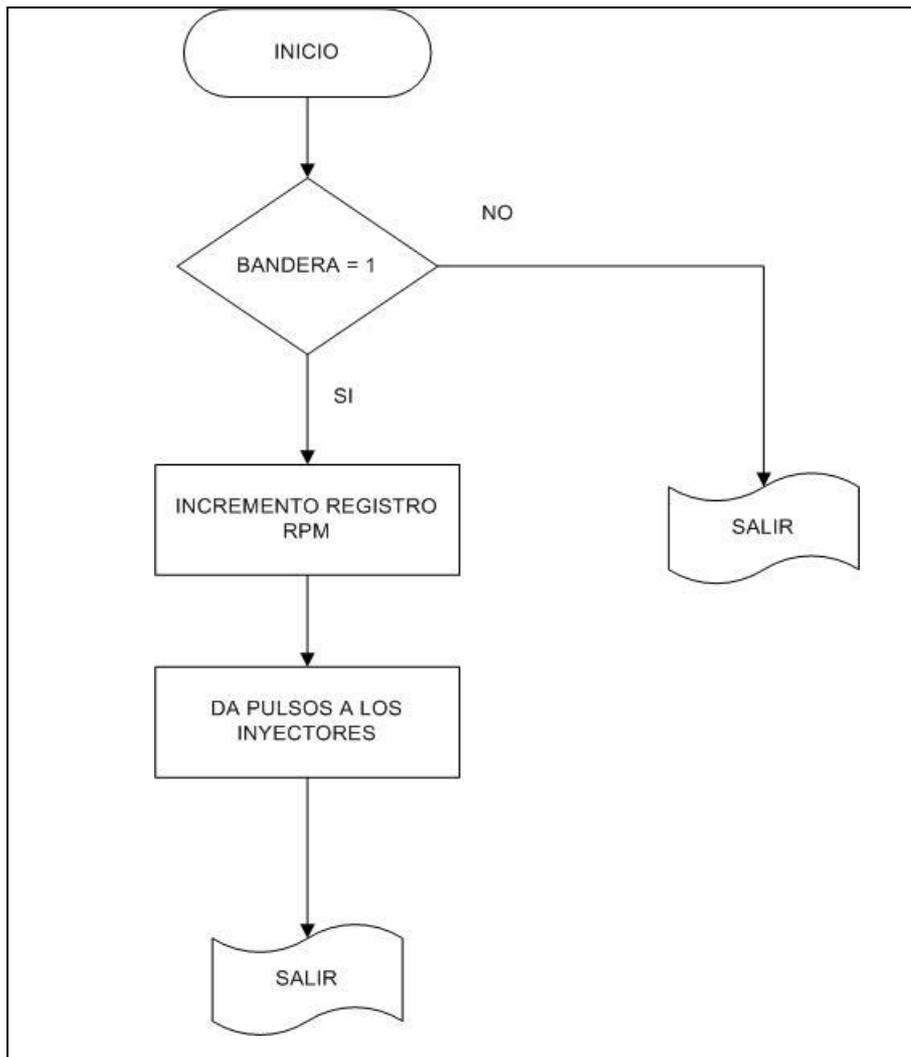


Figura 4.28 Diagrama de flujo del control de interrupción del pic de inyección

4.9 ACONDICIONAMIENTO SEÑALES QUE CONFORMAN EL SISTEMA DE INYECCIÓN GASOLINA

4.9.1 REGULACIÓN DE VOLTAJE

Se requiere un voltaje regulado de 5V para la parte de alimentación del sistema de control, tomada de la fuente principal de 12V.

4.9.2 SENSOR DE POSICIÓN DE LA MARIPOSA (TPS)

Este sensor está conformado por un potenciómetro alimentado por 5V, a medida que aumenta la aceleración aumenta el voltaje.

El rango de operación está entre 0.25 V y 4.75 V

El circuito de acondicionamiento de señal se muestra a continuación con sus respectivos cálculos de diseño.

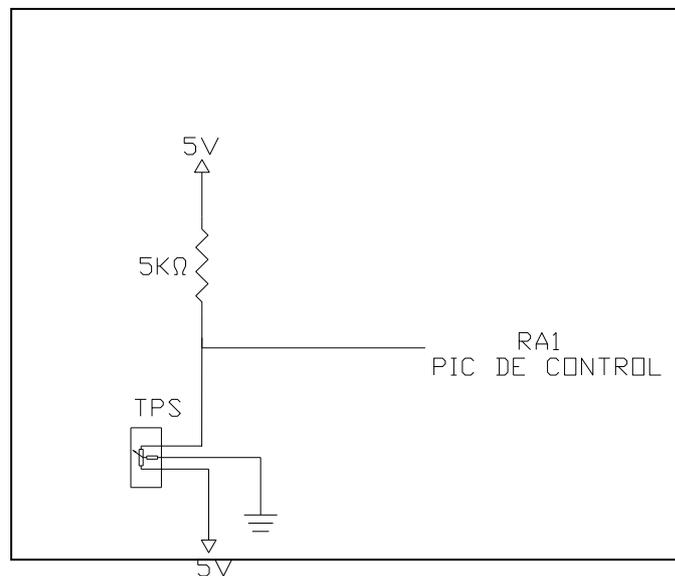


Figura 4.29 Circuito de control TPS

$$v_1 = V_{ref} * \frac{R_{sensor}}{R_{sensor} + R_1} \quad (4.1)$$

Donde:

V1: Voltaje de salida del sensor

V_{Ref}: Voltaje de referencia del sensor

R_{Sensor}: Resistencia interna del sensor

$$v_1 = 5V * \frac{5k\Omega}{5k\Omega + 5.1k\Omega}$$

$$v_1 = 2.41V$$

4.9.3 SENSOR DE TEMPERATURA DEL REFRIGERANTE (WTS)

Este sensor es un termistor de coeficiente negativo (NTC), alimentado con 5V, a medida que aumenta la temperatura disminuye la resistencia y por consecuencia el voltaje.

El rango de operación está entre 0.25 V y 4.75 V

El circuito de acondicionamiento de señal se muestra a continuación con sus respectivos cálculos de diseño; para ello se realizó un divisor de tensión para reducir el voltaje de entrada al pic.



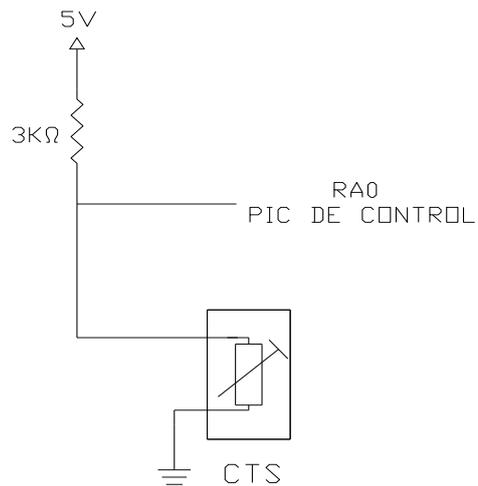


Figura 4.30 Circuito de control WTS

$$v1 = 5V * \frac{3k\Omega}{3k\Omega + 3.3k\Omega}$$

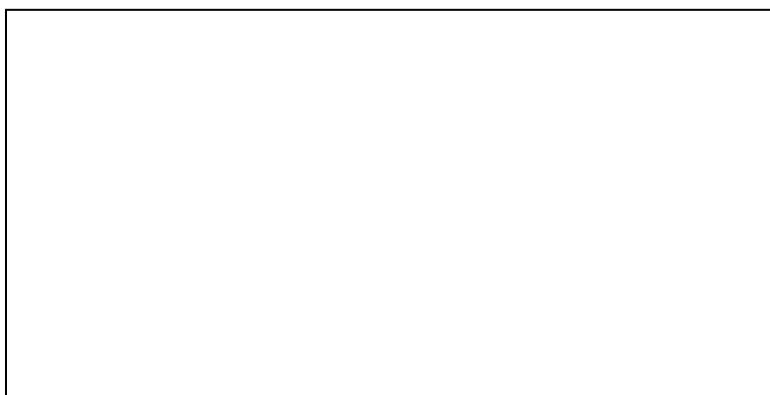
$$v1 = 2.38V$$

4.9.4 MEDIDOR DE CANTIDAD DE AIRE (MAP)

Este sensor es de naturaleza piezo eléctrica, alimentado por 5V, a mayor cantidad de aire, aumenta el voltaje.

El rango de operación está entre 0.25 V y 4.75 V,

El circuito de acondicionamiento de señal se muestra a continuación con sus respectivos cálculos de diseño; para ello se realizó un divisor de tensión para reducir el voltaje de entrada al pic.



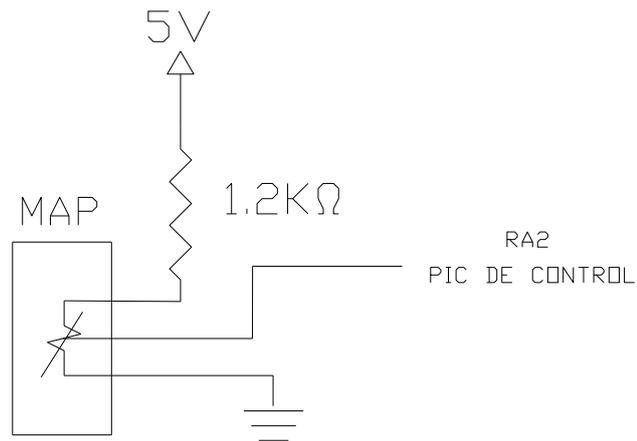


Figura 4.31 Circuito de control MAP

$$v1 = 5V * \frac{1.1k\Omega}{1.1k\Omega + 1.2k\Omega}$$

$$v1 = 2.39V$$

4.9.5 SENSOR DE TEMPERATURA DEL AIRE (IAT)

Este sensor se aplica únicamente para el vehículo corsa, es un termistor de coeficiente negativo (NTC), alimentado con 5V, a medida que aumenta la temperatura disminuye la resistencia y por consecuencia el voltaje.

El rango de operación está entre 0.25 V y 4.75 V

El circuito de acondicionamiento de señal se muestra a continuación con sus respectivos cálculos de diseño; para ello se realizó un divisor de tensión para reducir el voltaje de entrada al pic.

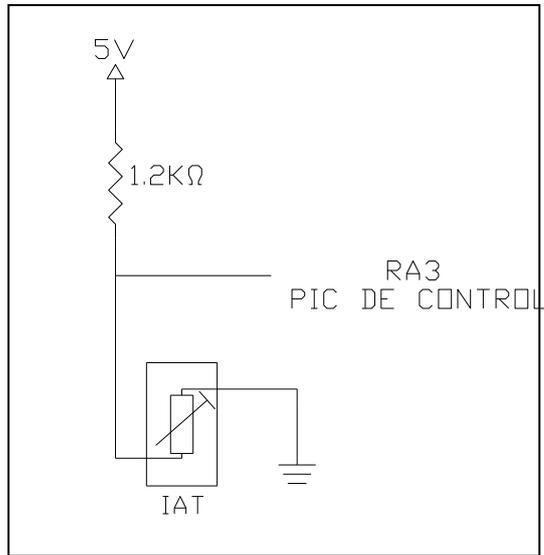


FIGURA 4.32 Circuito de control IAT

$$v1 = 5V * \frac{1.2k\Omega}{1.2k\Omega + 1.2k\Omega}$$

$$v1 = 2.5V$$

4.9.6 SENSOR DE POSICIÓN DEL CIGÜEÑAL (CKP)

Para este caso la señal genera es una sinusoidal, con niveles de voltaje hasta 30 Vrms.

El circuito de acondicionamiento de señal se muestra a continuación en la figura 4.33.

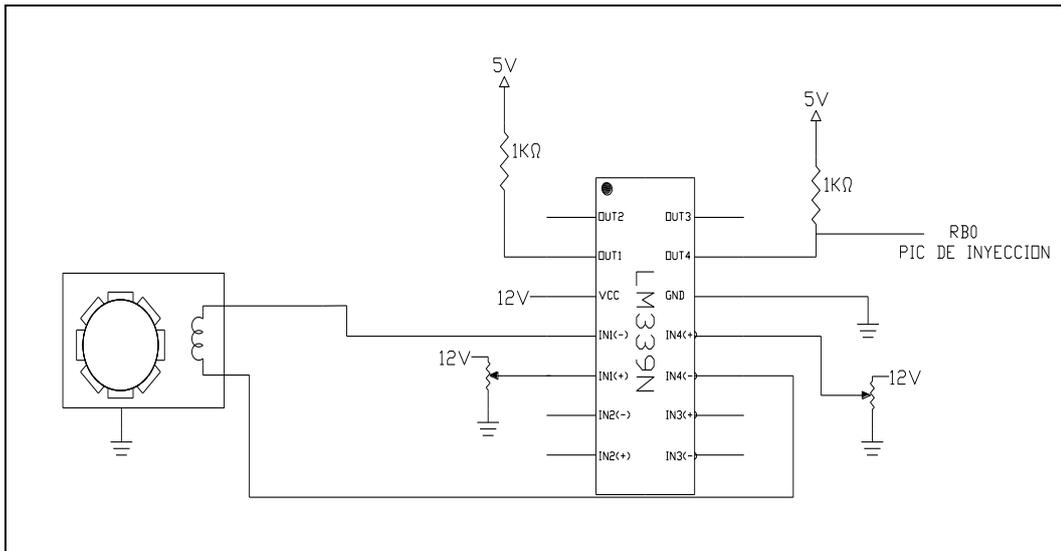


Figura 4.33 Circuito de control CKP

4.9.7 INYECTORES DE COMBUSTIBLE

Estos actuadores se encargan de suministrar el combustible y aire adecuado a los cilindros.

Genera una señal de 12 V y cada cierto intervalo de tiempo produce un pulso que indica el tiempo de trabajo del inyector, además genera un pico de voltaje de 80 V, que excede el límite máximo de voltaje del microcontrolador.

En la figura 4.34 se muestra el diagrama de conexión del circuito de activación de los inyectores con su entrada al PIC de inyección como es RA0, RA1, RA2 y RA3 para los inyectores 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

El circuito de acondicionamiento de señal se muestra a continuación con sus respectivos cálculos de diseño.

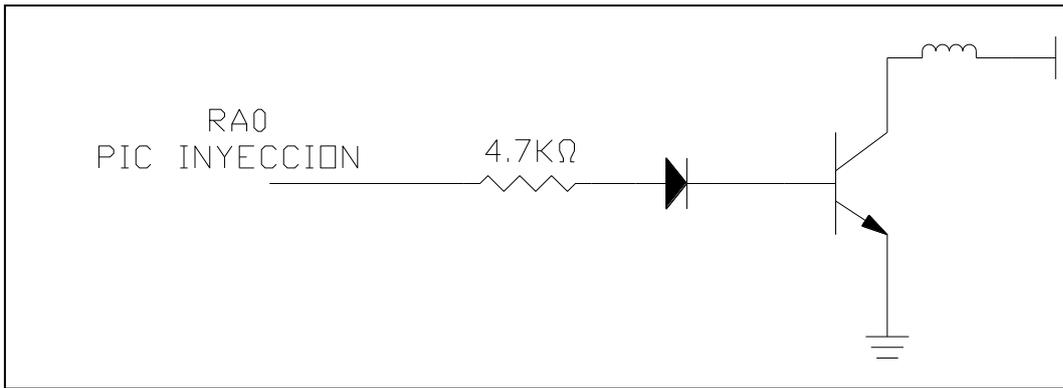


Figura 4.34 Circuito de activación inyectores

El transistor darlington tiene un:

$\beta = 500$ (Ganancia de voltaje propia del transistor)

$I_{AS} = 50\mu$ (Corriente máxima que puede circular a través del transistor)

Caída de tensión = 0.7 V

$$v_r = V_{outpic} - \text{Caída de tensión} \quad (4.2)$$

Donde:

v_r : Voltaje de resistencia

V_{outpic} : Voltaje de salida al PIC

$$v_r = 5V - 0.7V$$

$$v_r = 4.3V$$

$$I_R = \frac{V_r}{R} \quad (4.3)$$

Donde:

I_R : Corriente

v_r : Voltaje de resistencia

R : Resistencia

$$I_R = \frac{4.3V}{4.7K}$$

$$I_R = 0.0009149mA \cong 91\mu A$$

$$I_R \geq I_{AS} \Rightarrow TIP \text{ se cierra}$$

4.9.8 ACTIVACIÓN DE LOS RELÉS

El circuito de acondicionamiento de señal se muestra a continuación con sus respectivos cálculos de diseño.



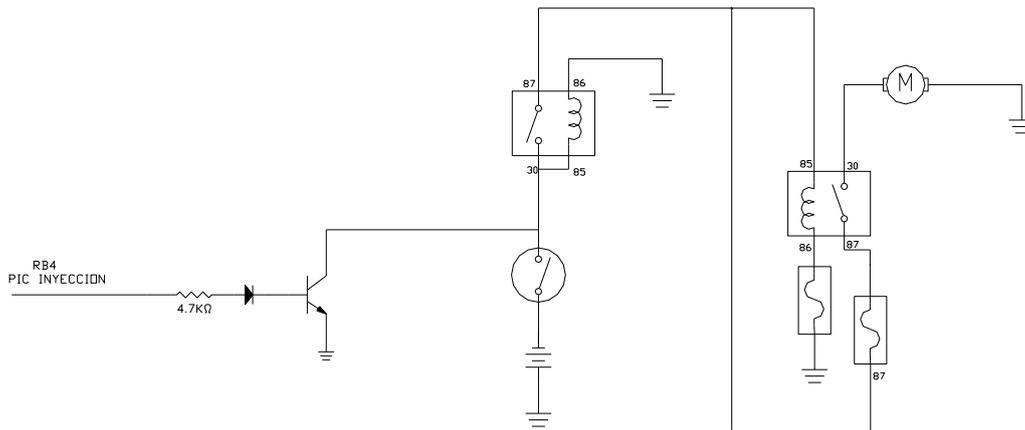


Figura 4.35 Activación relés

$$v_r = 5V - 0.7V$$

$$v_r = 4.3V$$

$$I_R = \frac{4.3V}{4.7K}$$

$$I_R = 0.0009149mA \cong 91\mu A$$

$$I_R \geq I_{AS} \Rightarrow TIP \text{ se cierra}$$

4.9.9 VÁLVULA DE CONTROL DE INGRESO DE AIRE (IAC)

El circuito de acondicionamiento de señal se muestra a continuación con sus respectivos cálculos de diseño.

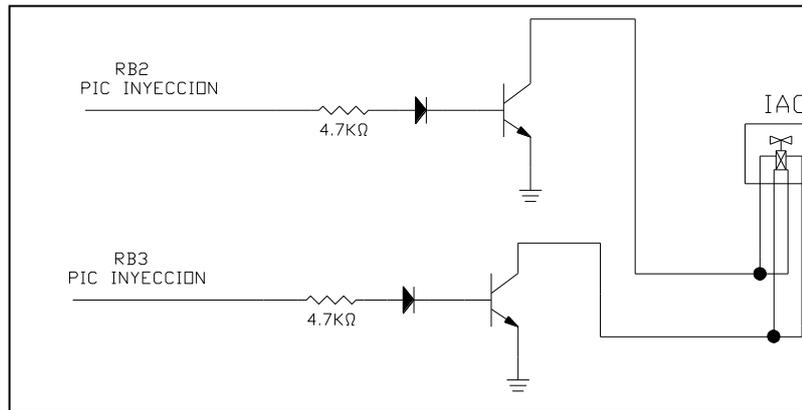


FIGURA 4.36 Circuito de control IAC

$$v_r = 5V - 0.7V$$

$$v_r = 4.3V$$

$$I_R = \frac{4.3V}{4.7K}$$

$$I_R = 0.0009149mA \cong 91\mu A$$

$$I_R \geq I_{AS} \Rightarrow TIP \text{ se cierra}$$

4.10 DISEÑO DEL DIAGRAMA ELECTRÓNICO

Con las consideraciones registradas, de diseño y la aplicación a desarrollar se diagrama el circuito general que será el que se utilice para ser montado previamente en protoboard para las pruebas respectivas y luego para la instalación definitiva en el prototipo.

Anexo C

4.11 SELECCIÓN DE COMPONENTES

De acuerdo al circuito electrónico el prototipo de inyección gasolina dispone de los siguientes componentes:

Tabla IV.4 Elementos del prototipo de inyección

Cant.	Componente	Valor	Costo aprox.
06	Resistencias	10 K Ω	0.30 USD
07	Resistencias	330 Ω	0.35 USD
04	Resistencias	560 Ω	0.20 USD
04	Resistencias	4.7K Ω	0.20 USD
03	Resistencias	1.2 K Ω	0.15 USD
12	Transistores	123 AP	7.20 USD
13	Diodos rápidos		1.30 USD
01	Comparador de voltaje	LM339N	3.00 USD
02	PIC	16F819	15.00 USD
04	Potenciómetros		6.00 USD
02	Condensadores	104	0.30 USD
02	Conectores de 4		0.90 USD
01	Conector de 8		0.60USD
01	Conector de 12		0.95 USD
01	Dip switch 2 posiciones		1.00 USD
03	Pulsadores	A 35	2.25 USD
06	Fusibles		0.90 USD

14	Borneras		7.00 USD
02	Regulador de voltaje	7805	1.00 USD
Total			51.75 USD

4.12 DESCRIPCIÓN DE OPERACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE COMPONENTES DEL PROTOTIPO

4.12.1 COMPARADOR DE VOLTAJE CUÁDRUPLE DE BAJO CONSUMO LM339N

Diseñado para ser alimentado por fuentes sencillas (pero también con voltajes partidos), el LM339N es único por incluir la tierra en el rango de voltaje de entrada en el modo común, aún operando desde una fuente sencilla. Entre las aplicaciones están los comparadores de límite, convertidores analógicos / digitales sencillos, generadores de onda cuadrada, VCO, temporizadores, multivibradores, etc.

El CI LM339 es un comparador cuádruple que contiene cuatro circuitos comparadores de voltaje independiente, conectados a las terminales externas como se muestra en la figura 4.30, cada comparador tiene entradas inversoras y no inversoras y una sola salida. El voltaje de alimentación aplicado a un par de terminales alimenta a los cuatro comparadores.

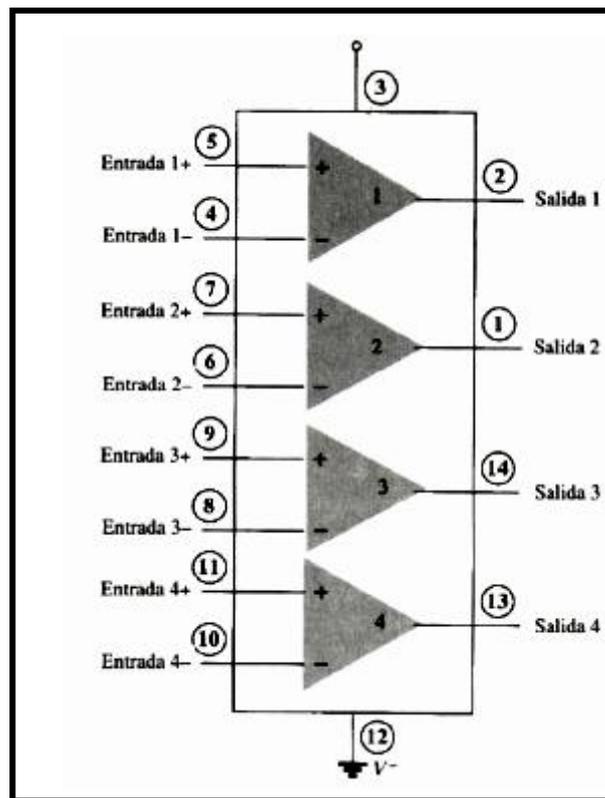


Figura 4.37 Circuito integrado LM339

Para explicar el funcionamiento del circuito comparador analizaremos un esquema básico como la configuración para detector de cruce por cero que se muestra en la figura 4.31. Cada vez que la señal de entrada pasa a arriba de 0 V, la salida conmuta a $V+$. La salida conmuta a $V-$, solo cuando la entrada cae por debajo de 0 V. También se puede usar un nivel de referencia diferente de cero en cualquier terminal de entrada, estando la otra terminal conectada a la señal de entrada. Veremos ahora como funciona el circuito comparador.

El voltaje de entrada diferencial al volverse a positivo desactiva al transistor de salida, mientras que un voltaje de entrada diferencial negativo activa al transistor de salida, llevando la salida al nivel bajo de alimentación.

Si la entrada negativa se lleva al nivel de referencia, V_{ref} , la entrada más positiva que V_{ref} y tiene como resultado una entrada diferencial positiva, llevando a la salida al estado de un circuito abierto.

Cuando la entrada no inversora cae por debajo de V_{ref} da como resultado una entrada diferencial negativa y la salida será llevada a V_- . Si la entrada positiva se lleva al nivel de referencia, al pasar la entrada inversora por debajo de V_{ref} da como resultado la salida en circuito abierto; en cambio cuando la entrada inversora va por arriba de V_{ref} da como resultado una salida en V_- , esto lo podemos apreciar resumidamente en la figura 4.31.

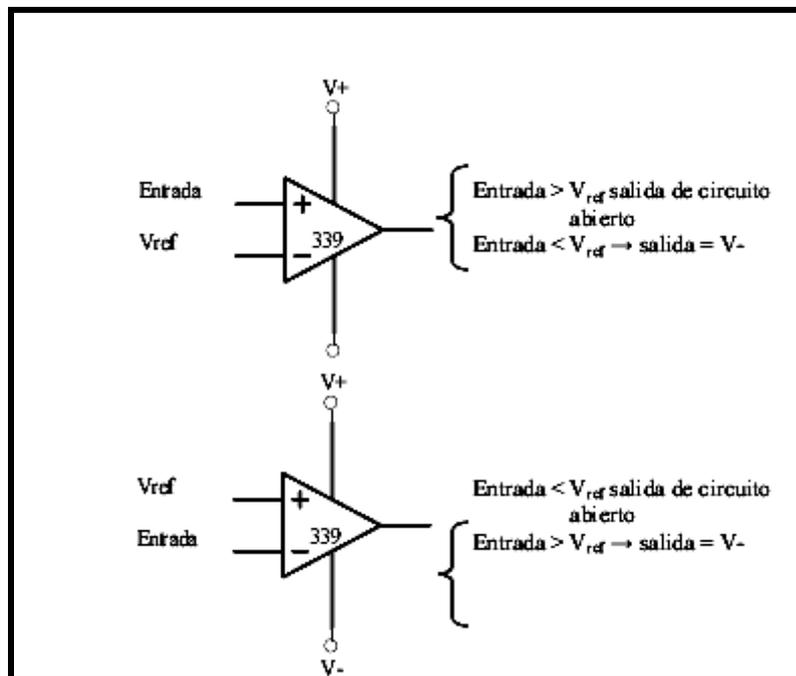


Figura 4.38 Análisis de operación del integrado LM339N

La descripción de pines del integrado se muestra a continuación en la figura:

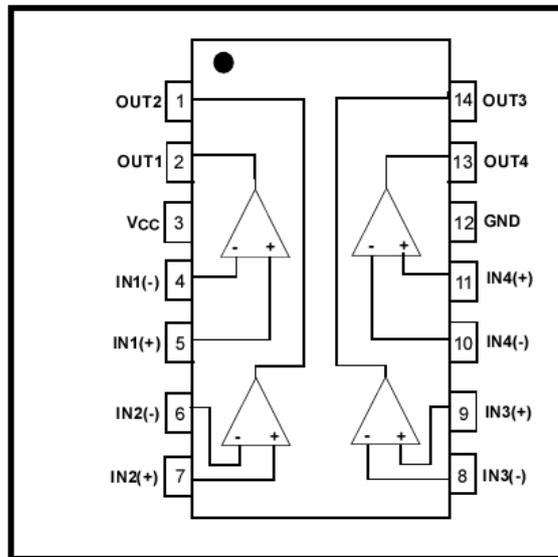


Figura 4.39 LM339N

4.12.2 TRANSISTOR SG123

Preamplifican la corriente del transistor para activar los inyectores y la válvula IAC de control de los circuitos del sistema de inyección de gasolina.

Las características del transistor son las siguientes:

- Encapsulado TO-92
- h_{FE} min. 100.
- h_{FE} max. 300
- f_T min. 300MHz
- I_c max. 200 mA
- V_{CEO} max. 40V
- Pot max. 500 mW

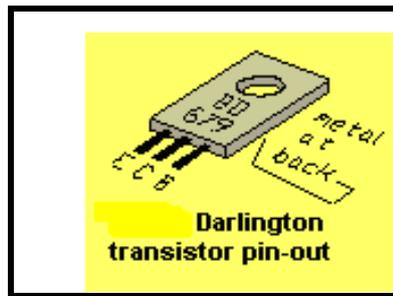


Figura 4.40 Transistor 123AP

4.12.3 DIODOS RÁPIDOS ¹²

El diodo rápido es un diodo especial en el que no existe el almacenamiento de cargas y conmuta más rápido que un diodo normal, por lo que se emplea para frecuencias mayores a 10 MHz. A bajas frecuencias (por debajo de 10 MHz) un diodo normal puede conmutar bien cuando la polarización pasa de directo a inverso, pero conforme aumenta la frecuencia, el diodo llega a un punto en el que no puede conmutar lo suficientemente rápido para evitar una corriente considerable durante parte del semiciclo inverso. Este efecto se conoce como almacenamiento de cargas e impone un límite a la frecuencia útil de los diodos normales.

El tiempo que tarda en conmutar un diodo que está polarizado directamente se denomina tiempo de recuperación inversa. Este tipo de diodos puede trabajar hasta frecuencias de 300 MHz. Su aplicación se encuentra en los ordenadores. Un diodo fast tiene una caída de tensión en polarización directa de 0,25 V.

¹² www.unicrom.com

4.12.4 MICROCONTROLADOR 16F819

Recibe códigos de activación y procesa la información de acuerdo a su programación para asignar la operación correspondiente para el control de los componentes del sistema de inyección electrónica.

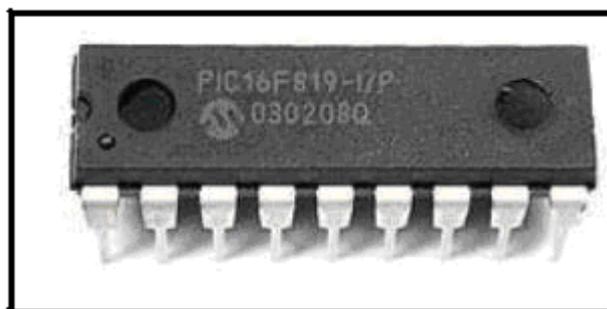


Figura 4.41 PIC 16F819

V. MONTAJE Y PRUEBAS ELECTRÓNICAS

5.1 PRUEBAS ELECTRÓNICAS

Para la aplicación del circuito electrónico en el prototipo de inyección gasolina, se utilizan los componentes que se han indicado anteriormente en la selección, los mismos que se instalarán primero en protoboard; se verificará su funcionamiento para trasladarlo a una placa definitiva.

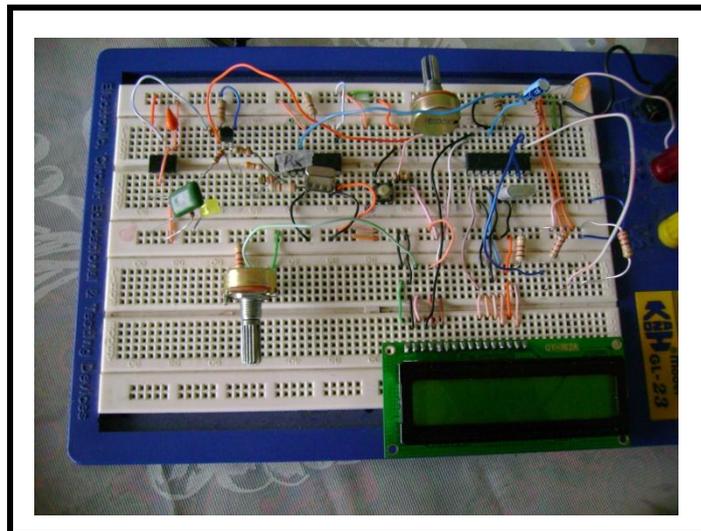


Figura 5.1 Montajes iniciales en protoboard.

Se empieza haciendo los montajes iniciales de los componentes e incluso usando indicadores luminosos para simular el funcionamiento en

relación de los diversos circuitos del sistema de inyección electrónica de gasolina del prototipo, a partir de estos ir realizando cada una de las conexiones; hay que considerar los voltajes de operación de los componentes a fin de que los mismos no sufran daños.

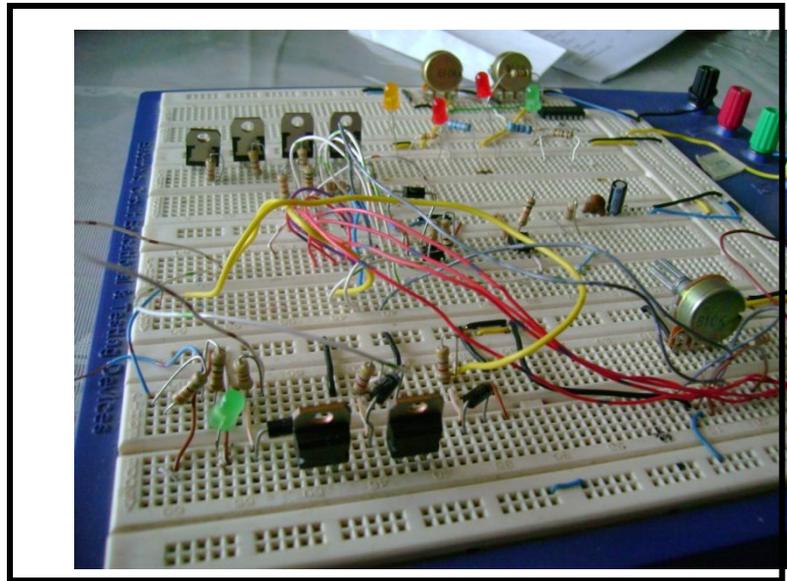


Figura 5.2 Montajes electrónicos iniciales

Con la consideración anterior se procede a realizar el montaje y la instalación de todos los elementos del sistema de control, considerando que el componente para la aplicación es el PIC16F819, el cual fue programado, mismo que se encuentra en el Anexo B. Es necesario ayudarse del manual electrónico (ECG) para la conexión de cada uno de los componentes.



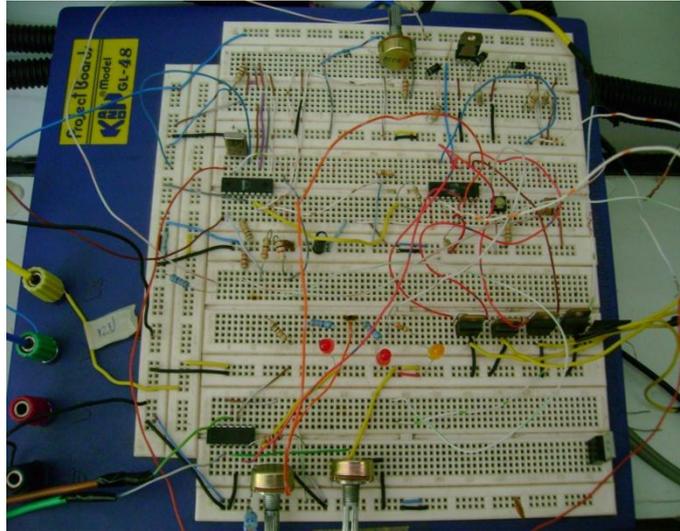


Figura 5.3 Circuito de control de la aplicación

Realizadas las dos instalaciones electrónicas utilizaremos interruptores, pulsadores y selectores para que el circuito quede completamente armado y se realicen pruebas iniciales de operación.

5.2 DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO

Realizada la calibración del circuito electrónico se procede al diseño de las pistas y placas para el circuito final utilizando el programa PROTEL DXP y el método de serigrafía dando como resultado los siguientes caminos, los que una vez revelados deberán ser cuidadosamente revisados.

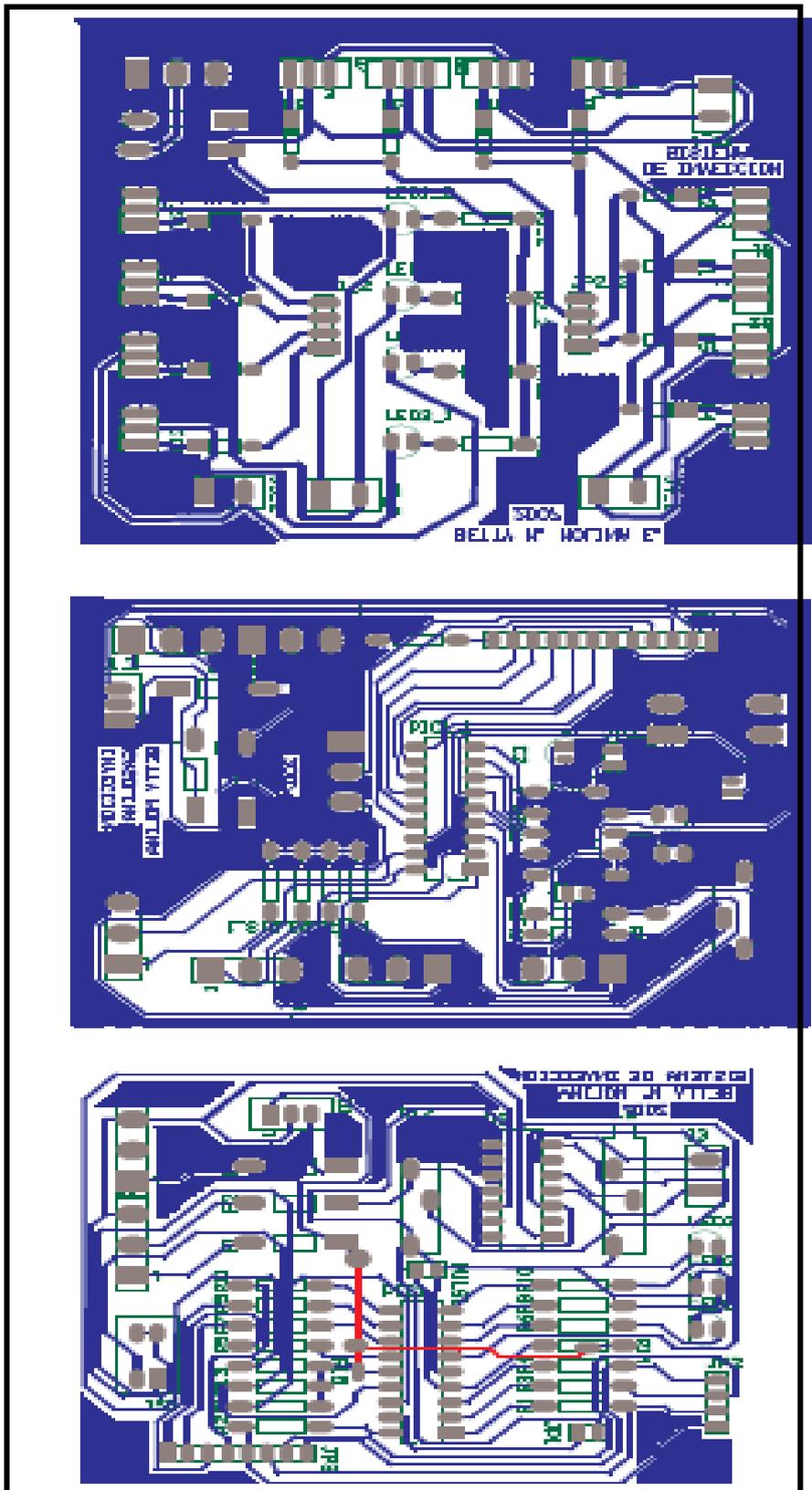


Figura 5.4 Diagrama del circuito impreso

5.3 MONTAJE E INSTALACIÓN

Elaborada la placa electrónica con los elementos seleccionados y revisado cada uno de sus circuitos se realiza el montaje y ubicación correspondiente de cada uno de ellos en la placa de bakelita.

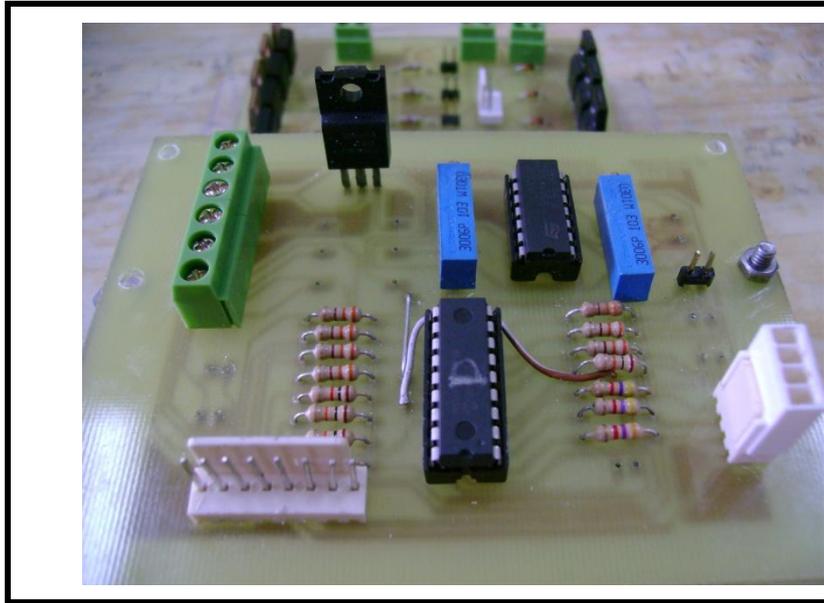


Figura 5.5 Placa de control

El circuito de control se monta en una caja metálica con dimensiones y perforaciones adecuadas, para posteriormente analizados cada uno de los circuitos de inyección electrónica del automóvil ser instalado en el prototipo.

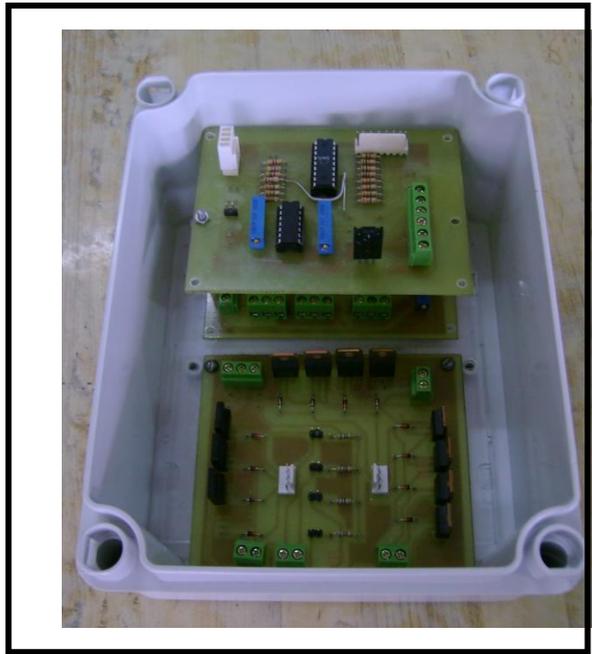


Figura 5.6 Caja para placa de control.

Se procede a realizar la instalación del cableado del prototipo de inyección gasolina por cada uno de los sensores y actuadores.

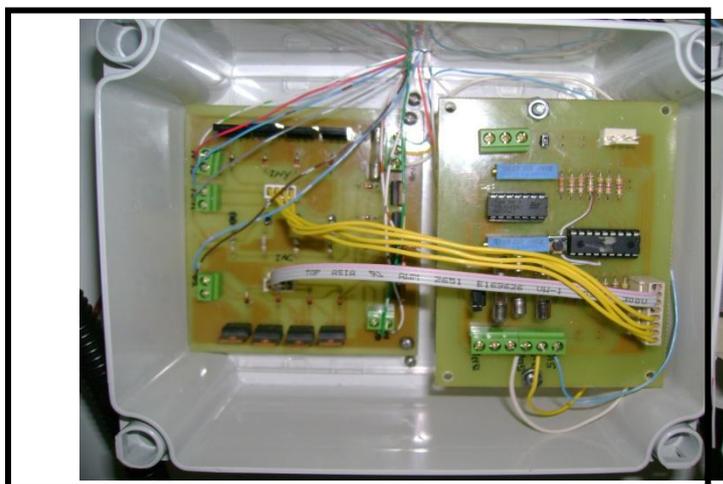


Figura 5.7 Instalación de cableado

Con el propósito de realizar mediciones de voltajes de referencia, señal y tierra se instala una bornera en cada uno de los sensores y actuadores del

prototipo, que será fijada en modo conveniente para realizar las operaciones mencionadas.

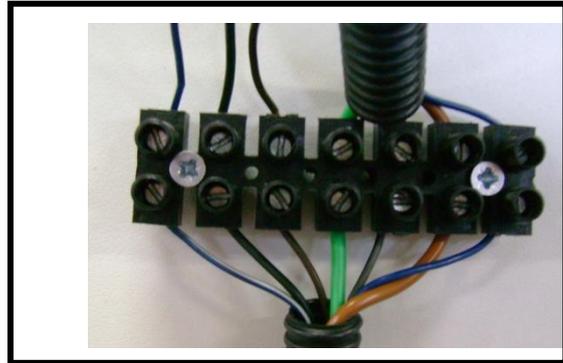


Figura 5.8 Bornera para puntos de medición.

Realizada la instalación de cableado eléctrico de los componentes del sistema de inyección electrónica del prototipo, se asegura firmemente la caja del circuito, que fue ubicada en la parte posterior de la vitrina porta equipo.

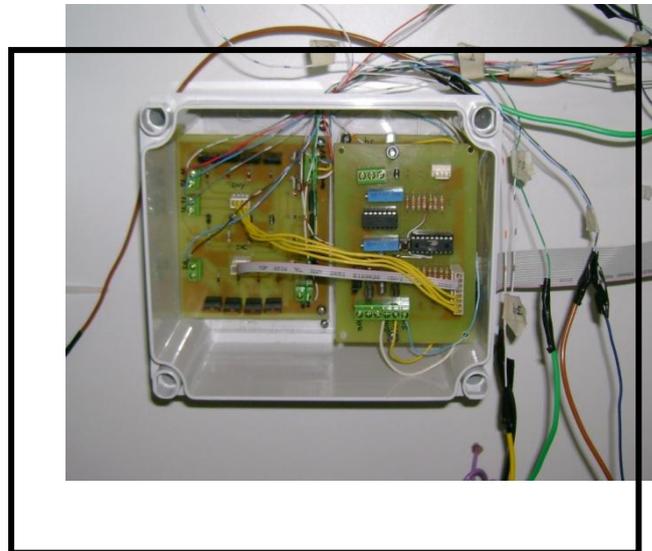


Figura 5.9 Ubicación de la placa de control electrónico del sistema de inyección electrónica de gasolina en la vitrina porta equipo

5.4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Para evitar daños en la placa terminada se realizó pruebas en el protoboard para simular que los inyectores estén funcionando se los probó mediante la ayuda de leds como se observa en la siguiente figura.

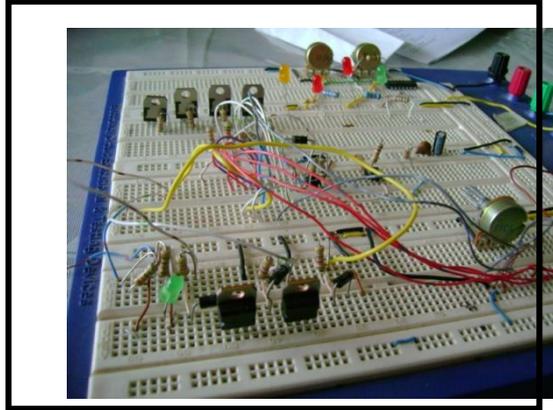


Figura 5.10 Funcionamiento en el protoboard

Después de haber logrado una programación definitiva se realizaron pruebas de funcionamiento con los inyectores los cuales funcionaron de una manera adecuada cumpliendo con la meta, motivo de este proyecto, en la figura se observa los inyectores en funcionamiento.

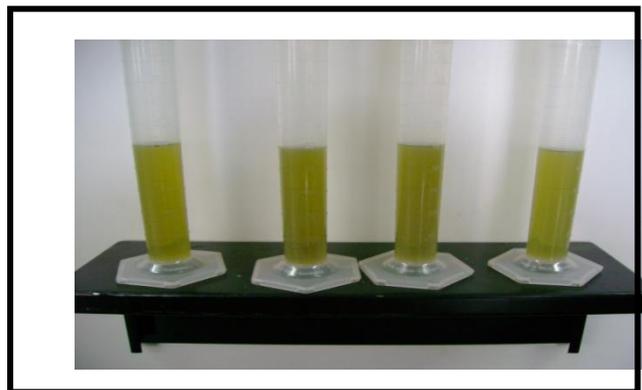


Figura 5.11 Funcionamiento de la placa de control electrónico del sistema de inyección electrónica de gasolina

Una vez finalizada esta etapa de ensayo se pasó al diseño y elaboración de la placa propiamente dicha, para este proceso se contó con el asesoramiento técnico del Ing. Wilson Trávez el cual explicó la forma correcta para la elaboración de la placa en una manera idónea y fuera de daños que

puedan malograr la integridad de los elementos que iban a ir adicionados en la placa.

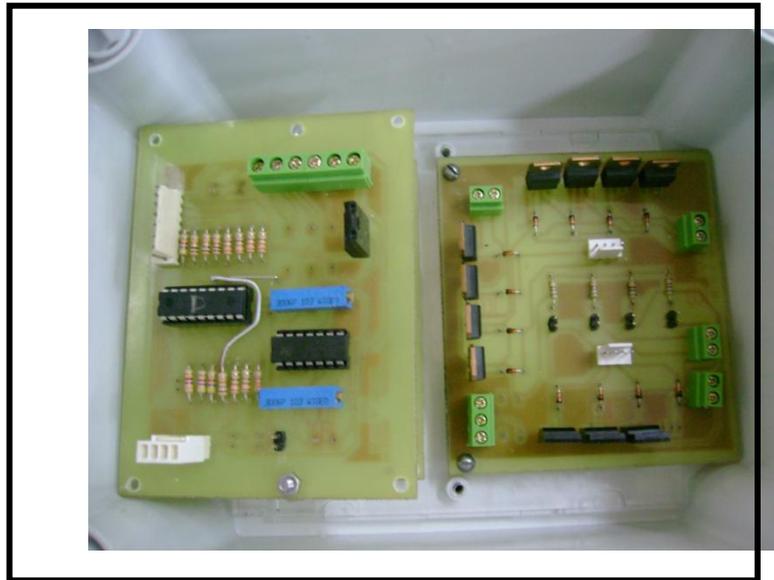


Figura 5.12 Placa electrónica terminada

CONCLUSIONES

Una vez concluido la presente investigación concluimos lo siguiente:

- Se a cumplido con el objetivo propuesto, y se a diseñado y construido el prototipo.
- La investigación realizada determina que todos los modelos de vehículos actuales a gasolina que ingresan al mercado son de control electrónico, lo que requiere disponer de alternativas de equipos de mantenimiento de alta tecnología y control electrónico.
- El microcontrolador seleccionado para realizar las primeras pruebas fuel el PIC 16F877A, con el cual se pudo controlar la inyección, presentándose algunos inconvenientes ya que al utilizar casi en su totalidad los 40 pines el PIC se sobrecargo de información, por esta razón se decidió cambiar de PIC al 16F819.
- Se diseñó y construyó un prototipo de inyección electrónica gasolina de acuerdo a señales base y tiempos de operación con la utilización del PIC 16F819.
- Se utilizo dos PIC al 16F819, realizando una comunicación serial para controlar desde el primer microcontrolador la entrada de señales por parte de los sensores, y el segundo microcontrolador comanda la activación de los inyectores.
- El microcontrolador seleccionado (PIC 16F819), permitió controlar con precisión cada una de las pruebas que se desarrollan en el prototipo, así como

también el ciclo de trabajo de los inyectores, facilitando de esta manera el diseño del módulo para controlar la inyección.

- En las primeras pruebas observamos que ciertas señales de entrada estaban generando pequeñas fallas en la programación para lo cual se decidió armar nuevamente el circuito con un nuevo diseño; como por ejemplo en el sensor CKP al inicio utilizamos un transistor darlington el cual no permitía que el PIC capte la señal del sensor por lo cual no se producía la inyección, por ello se utilizó un comparador de voltaje el circuito integrado LM339N, el cual permite al PIC captar la señal de este sensor.
- Se realizó el acondicionamiento de las diferentes señales que conforman el sistema de inyección electrónica de gasolina para que puedan ser ingresadas al microcontrolador.

RECOMENDACIONES

A continuación presentamos las principales recomendaciones:

- Guardar normas de seguridad industrial en el momento de usar el prototipo.
- Todas las pruebas eléctricas y electrónicas deben ser realizadas previamente en el protoboard, antes de pasar al diseño final de la placa.
- Revisar que las instalaciones y conexiones que se realizan en el prototipo sean seguras antes de realizar las pruebas.
- Tener en consideración los voltajes de trabajo de los componentes eléctricos en la fase de prueba y pruebas en protoboard para evitar que estos se quemen.
- Durante el proceso de selección mecánica o electrónica procure considerar que los elementos con los cuales se realiza el diseño previo sean fáciles de adquirir en el mercado.
- Es necesario ayudarse del manual electrónico (ECG) para la conexión de cada uno de los componentes.

BIBLIOGRAFÍA

- RUEDA SANTANDER Jesús, “Manual Técnico de Fuel Injection”, Editores Diseli, Primera edición, 2005, Guayaquil – Ecuador.
- COELLO SERRANO Efrén, “Sistemas de Inyección Electrónica de Gasolina”, Ediciones América, 2002, Quito – Ecuador.
- CROUSE Willian, “Equipo Eléctrico y Electrónico del Automóvil”, Editorial Alfa Omega Marcombo, 1992, México DF.
- CASTRO Miguel, “Manual del Automóvil”, Editorial CEAC, 2003, Barcelona – España.
- www.redtecnicaautomotriz.com
- www.mecanicavirtual.iespana.es
- www.arpem.com
- www.automecanico.com

- www.todopic.com.ar
- www.unicrom.com
- www.areaelectronica.com
- www.micropik.com

ANEXOS

ANEXO A

**DATOS REALES DE LOS SENSORES y
ACTUADORES UTILIZADOS EN LA
PROGRAMACIÓN**

ANEXO B

**INSTRUCCIONES DE PROGRAMACIÓN
PIC16F819**

ANEXO C

PLANO

1.- SENSOR MAP

Este sensor es de naturaleza piezo eléctrica, alimentado por 5V.

El rango de operación está entre 0.25 V y 4.75 V.

En contacto motor cerrado: 4V a 4,7V (según presión atmosférica)

Motor en ralentí: 1,2V a 1,6V

En desaceleración brusca: 0,5V a 0,9V

En aceleración brusca: la señal debe crecer a 3V o más

Tabla A.1 Datos experimentales del sensor MAP

PRESION (mm Hg)	VOLTAJE (V)
Presión Absoluta	3.373
2	2.997
3	2.794
4	2.604
5	2.420
6	2.240
7	2.065
8	0

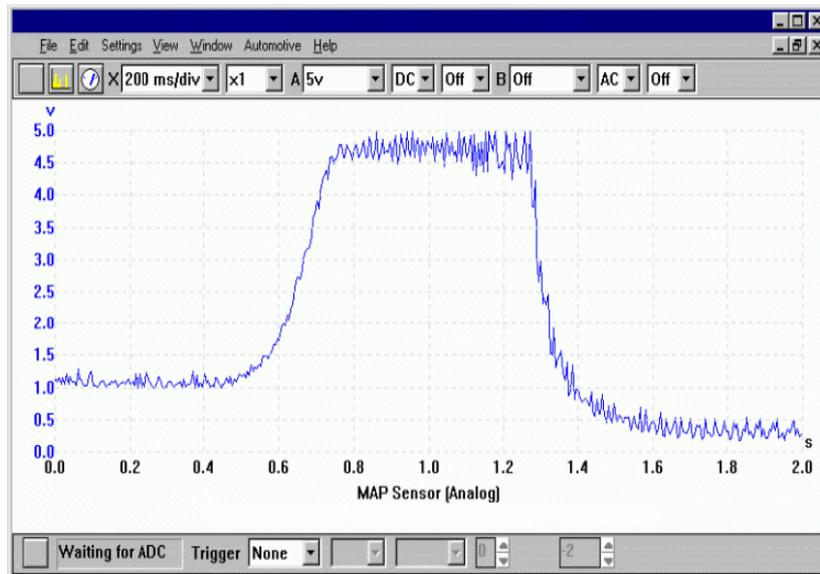


Figura A.1 Curva característica del sensor MAP

2.- SENSOR CKP

Está compuesto por una bobina e imanes y un rotor generador de señales a medida que el rotor gira se produce un voltaje AC cuando el diente del rotor de señales coincide con el diente generador de señales

Se usa para calcular la velocidad del motor en RPM

Al ECU se transmitirá 4 pulsos/seg

En 200mVac menos de 600 rpm

En 120Vac mas de 600 rpm

Para el monitoreo de este sensor se tomo como referencia la señal que genera uno de los inyectores, ya que el período de la onda sinusoidal que describe este

sensor es de 58 veces (número de diente del disco del cigüeñal) el periodo del inyector.

Para el cálculo de velocidad en RPM, se aplica la siguiente ecuación:

$$V(RPM) = f * 30 \quad (2.1)$$

Donde: f es el período del inyector $f = 1/T$.

30 es una constante de proporcionalidad.

El sensor de posición del cigüeñal CKP, cumple con el principio de un generador, es decir a medida que aumenta la velocidad del disco la frecuencia y la tensión generada aumenta proporcionalmente, la amplitud de la tensión inducida, se calcula con la siguiente formula

$$E = K * V \quad (2.2)$$

Donde: K es la constante de proporcionalidad.

V es la velocidad en RPM.

La constante de proporcionalidad $K = E / V$, se determina experimentalmente registrando valores de velocidad vs. Voltaje, que se muestran en la tabla

Tabla A.2 Datos experimentales del sensor CKP

VOLTAJE RMS (V)	VOLTAJE PICO	VELOCIDAD (RMP)	CONSTANT E (V/RPM)
4,1 2	5.8265	470	0,0124

6,50	9,1924	736	0,0125
10	14.1421	990	0,0143
20	28.2842	2100	0,0135

Obteniendo el promedio de los valores de constante, se determina K es aproximadamente igual 0,0132.

A continuación se indica la ecuación del cálculo del tiempo de inyección:

$$t_i = \frac{60000}{rpm * i} \quad (2.3)$$

Donde:

t_i = tiempo de inyección

rpm = revoluciones por minuto

i = numero de cilindros del motor

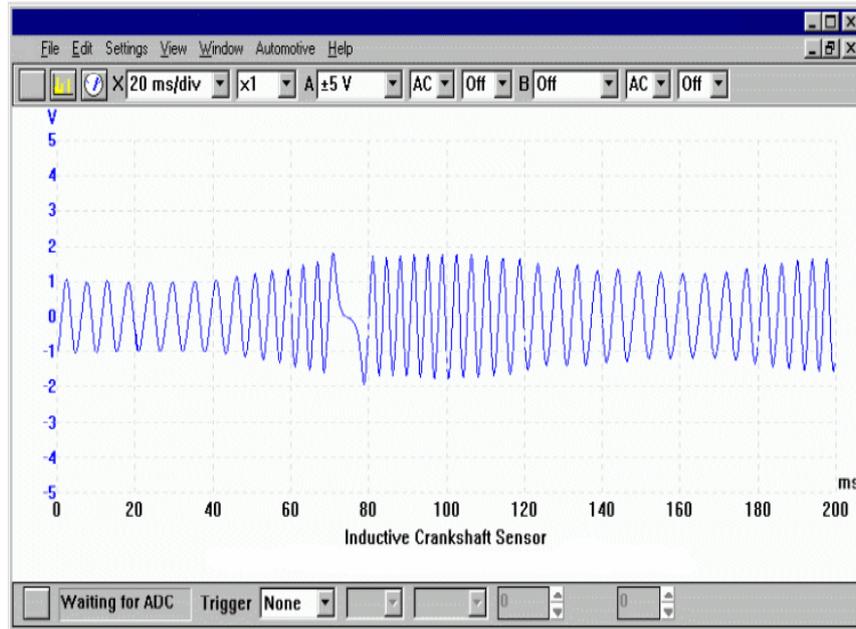


Figura A.2 Curva característica del sensor CKP

3.- SENSOR TPS

Este sensor está conformado por un potenciómetro alimentado por 5V, a medida que aumenta la aceleración aumenta el voltaje. La señal generada por este sensor es de el tipo analógica.

El rango de operación está entre 0.25 V y 4.75 V.

Cuando La mariposa esta totalmente:

- Cerrada el voltaje esta entre 0.45 – 0.55 V
- Abierta el voltaje esta entre 4.8 V

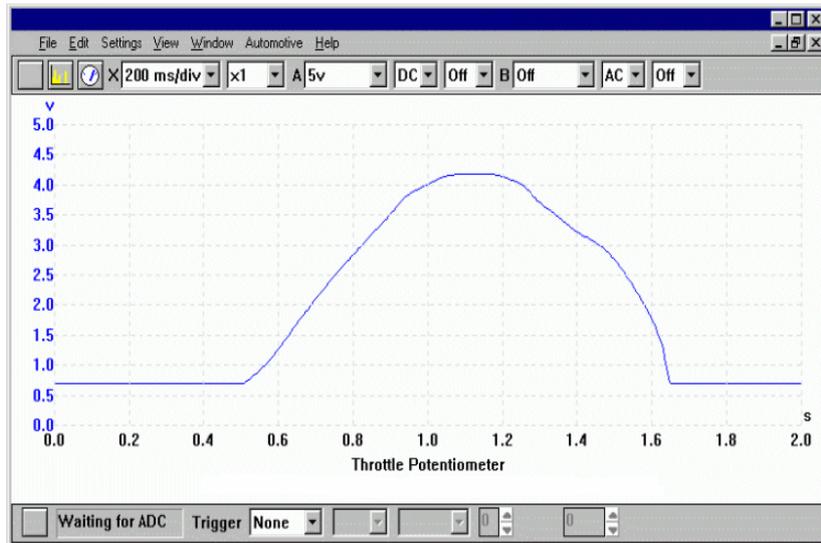


Figura A.3 Curva característica del sensor TPS

4.- SENSOR WTS

Este sensor es un termistor de coeficiente negativo (NTC). Alimentado con 5V, a medida que aumenta la temperatura disminuye la resistencia y por consecuencia el voltaje.

El rango de operación está entre 0.25 V y 4.75 V

Cuando el motor se encuentra:

- Frío se produce un voltaje alto 500mV
- Caliente se produce un voltaje bajo 4.5 V

Tabla A.3 Datos experimentales del sensor WTS

TEMPERATURA	VOLTAJE
20,8 °C	2,3V
31 °C	2,02V
40 °C	1,62V
48 °C	1,33V
52 °C	1,14V
55 °C	1V
57 °C	092V

Graficando estos valores, y realizando el respectivo análisis de interpolación, se obtiene la gráfica que se observa en la figura :

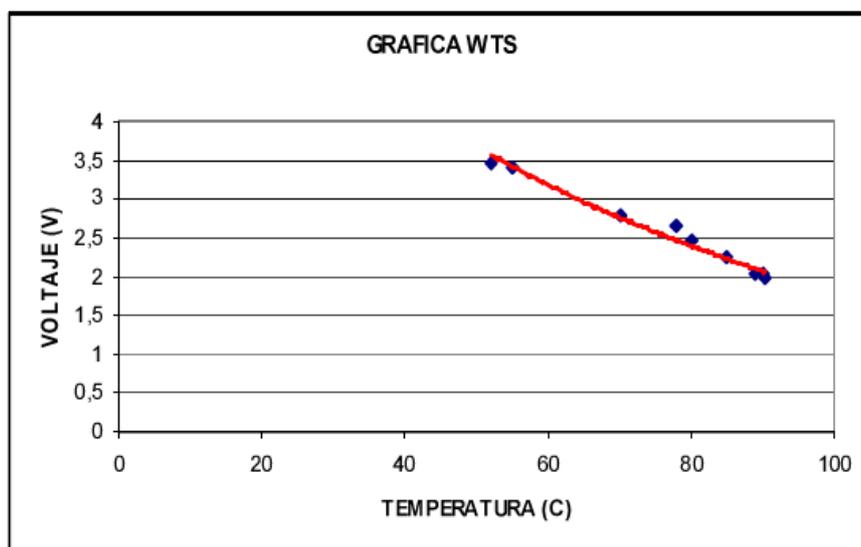


Figura A.4 Curva característica sensor WTS

La ecuación que se muestra a continuación, describe esta gráfica:

$$V = 7.4825e^{-00142T} \quad (4.1)$$

Con esta información, se deduce que la ecuación, mostrada a continuación relaciona el voltaje con la temperatura de la siguiente manera.

$$T = \frac{\ln \frac{V}{7.4825}}{-0.0142} \quad (4.2)$$

5.- SENSOR IAT

Este sensor se aplica únicamente para el vehículo corsa, es un termistor de coeficiente negativo (NTC), alimentado con 5V, a medida que aumenta la temperatura disminuye la resistencia y por consecuencia el voltaje.

El rango de operación está entre 0.25 V y 4.75 V

Uno de los requerimientos del sistema de monitoreo para este sensor, es la obtención de la ecuación característica que define el valor de la temperatura en base al voltaje que adquiere el microcontrolador, por lo que se obtuvo los siguientes datos :

Cuando el motor se encuentra:

- 500 mV Motor caliente
- 4.5 V Motor frío

Tabla A.4 Datos experimentales del sensor IAT

TEMPERATURA (°C)	VOLTAJE (V)
50	1.835
40	1.980
39	2.036
38	2.086
37	2.133
36	2.179
30	2.449
25	2.760

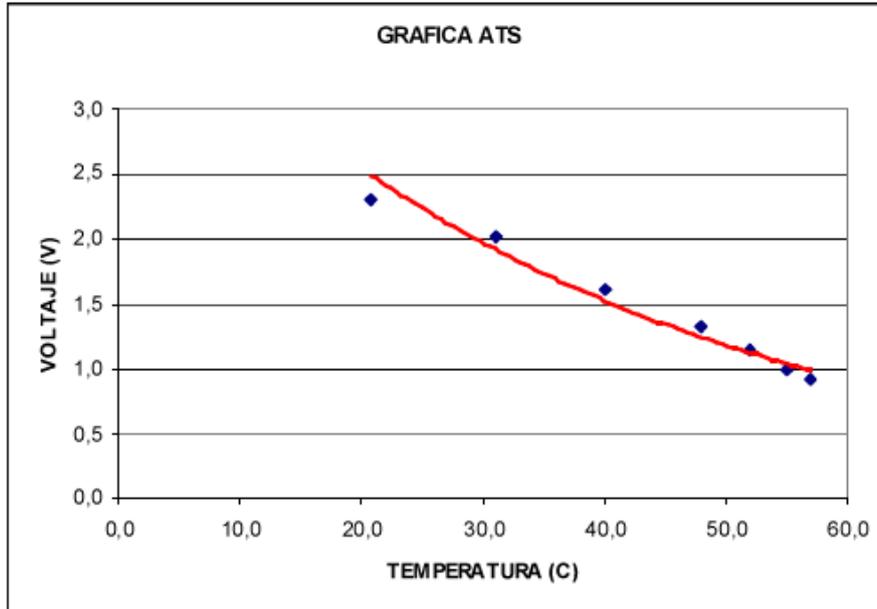


Figura A.5 Curva característica del sensor IAT

La siguiente ecuación describe esta gráfica:

$$v = 4.2425e^{-0.0256T} \quad (5.1)$$

Despejando la temperatura obtenemos de expresión la ecuación:

$$T = \frac{\ln \frac{v}{4.2425}}{-0.0256} \quad (5.2)$$

6.- SENSOR EGO

Este sensor determina la cantidad de contaminación del ambiente, es alimentado por 5V, a mayor cantidad de oxígeno, menor índice de contaminación.

El rango de operación esta entre 0,2V Y 1,2V.

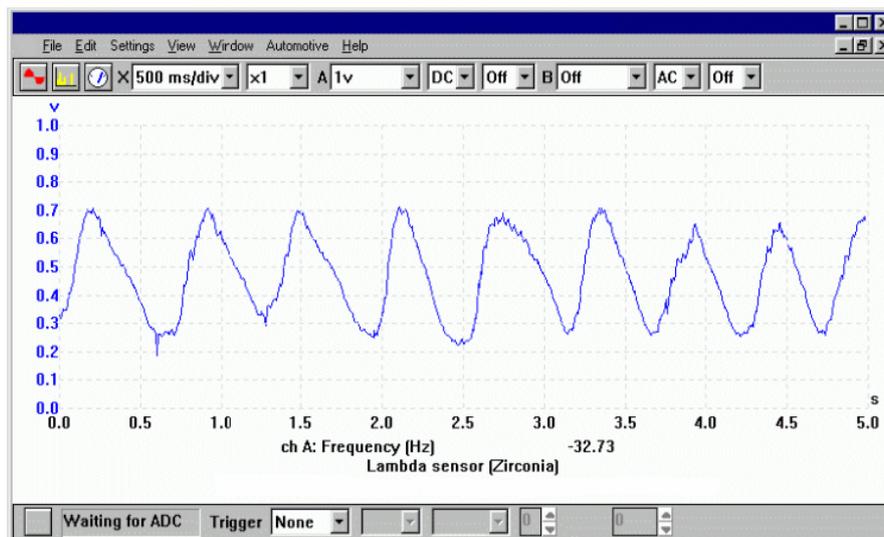


Figura A.6 Curva característica sensor EGO

7.- INYECTORES

Estos actuadores se encargan de suministrar el combustible y aire adecuado a los cilindros. Genera una señal de 12 V y cada cierto intervalo de tiempo produce un pulso que indica el tiempo de trabajo del inyector.

La señal característica de un inyector está conformada por un ancho de pulso que determina el tiempo que el inyector entrega combustible a los cilindros, y por picos de voltaje hasta 80V, como se observa en la figura

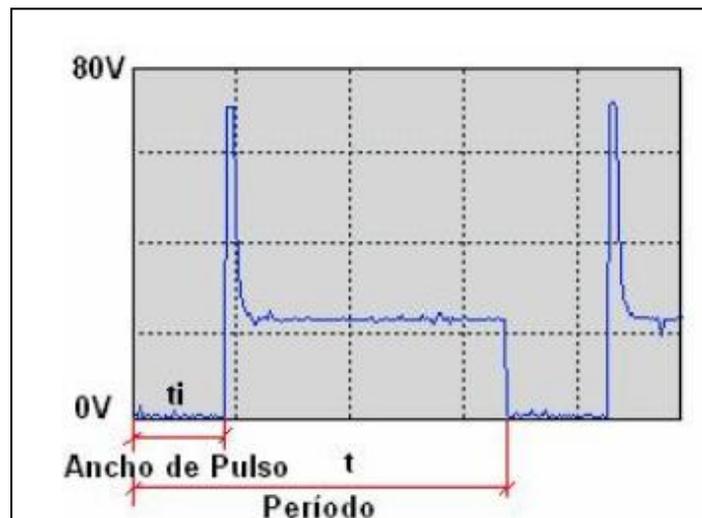


Figura A.7 Señal característica del inyector de combustible

El ciclo de trabajo se determina mediante la siguiente ecuación y en condiciones normales debe mantenerse en un rango entre 20 – 30%.

$$\% \text{Ciclo de Trabajo} = \frac{t_i}{t} \quad (7.1)$$

El tiempo de inyección está medido en milisegundos, es el tiempo durante el cual el inyector tiene la válvula abierta, dejando pasar el combustible e introduciéndolo en el colector de admisión de cada cilindro. Para abrir el inyector, la unidad de control del motor conecta uno de sus dos polos a masa, estableciéndose así una diferencia de potencial que levanta la carcasa con la aguja de su asiento y deja fluir el combustible, con lo que el tiempo de inyección coincide con el tiempo en que la señal generada por la unidad de control se encuentra a nivel bajo.

El actuador es de comportamiento inductivo, al abrir su circuito genera un pico de tensión de unos +80V aproximadamente. Funciona valiéndose de una computadora instalada dentro del vehículo, en cuanto se abre el switch los inyectores reciben 12 voltios en el lado positivo; el lado negativo o tierra lo controla la computadora la cual se vale de un monitoreo constante de sus sensores instalados en diferentes partes del motor y su compartimiento, para ajustar la entrega de combustible, tratando siempre, de mantener una mezcla perfecta de aire y gasolina (14.7 partes de aire por 1 de gasolina).

8.- ENCENDIDO

Como es usual en muchos motores de 4 cilindros, la secuencia de encendido es 1-3-4-2, y transcurre durante dos vueltas completas de cigüeñal. Conociendo el diseño del motor, se sabe que el PMS del pistón del cilindro 1 se encuentra 78° después del hueco de la rueda fónica (fig. A.8), lo que corresponde al flanco número 26 de la señal del sensor de giro del cigüeñal. A partir de este dato podemos conocer la posición del PMS para el resto. El PMS del pistón del cilindro 4 se encuentra también a 78° después del hueco (flanco 26), aunque el encendido sucede una vuelta después que el del cilindro 1. El pistón del cilindro 3 tiene el PMS 180° (60 flancos) después del PMS del cilindro 1, lo que corresponde al flanco número 86 de la señal del

sensor de giro del cigüeñal. Finalmente, el pistón del cilindro 2 tiene el PMS 180° después del PMS del cilindro 4, lo que también corresponde al flanco 86.

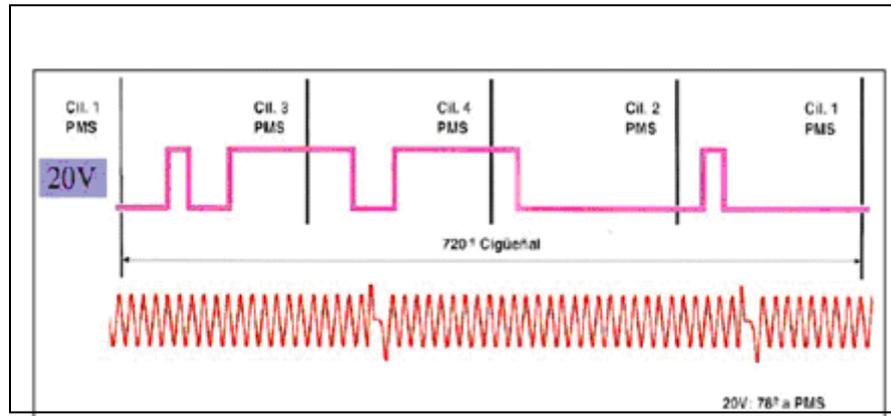


Figura A.8 Secuencia de encendido y posición del PMS para cada cilindro

PROGRAMA DE CONTROL PIC 16F819 PARA EL PROTOTIPO DE INYECCIÓN GASOLINA

list p = 16f819

radix hex

include "p16f819.inc"

; internal clock 4 Mhz

; power-on reset

.*****
,

__CONFIG _CONFIG1,_CP_OFF & _BODEN_OFF & _MCLR_OFF &
_PWRTE_ON & _WDT_OFF & _INTRC_IO;_INTRC_CLKOUT

cblock 0x20

CONFI_AD

DATO

TIEMPO

DATO_RC

DATO_R

CONTA

CONTA_Z

DIRECCJ

PUSH

DATO_BCD3

DATO_BCD2

DATO_BCD1

CONTADOR

CONTADOR1

CONTADOR2

LINEA

TEMP

TEMPORAL

Unidad

Decena

Centena

Mil

Diez

Cien

temp_2

temp_1

BYTE_L

BYTE_H

BYTEL

BYTEH

MULCND

MULPLR

COUNT1

VALOR

DATO1

TEMP4

BAND

VALOR_ADH

VALOR_ADL

BYTE_H_P

BYTE_L_P

BYTE_H_AD

BYTE_L_AD

ESTADO

BCD_H

BCD_L

ACCaLO

ACCaHI

ACCbHI

ACCbLO

ACCcLO

ACCcHI

ACCdLO

ACCdHI

temp

Flags

AD_1_H

AD_1_L

AD_2_H

AD_2_L

AD_3_H

AD_3_L

AD_4_H

AD_4_L

AD_5_H

AD_5_L

AD_6_H

AD_6_L

BAN_AD

PUNTERO

CONT_INY

TIE_INY

RPM

endc ;ESTE BLOQUE

ORG 0X00

GOTO INICIO

ORG 0X04

GOTO IDENTI

.*****
,

TABLAS VISUALIZACION EN LCD

.*****
,

```
tabla MOVWF PCL
```

```
Mens_1 equ $
```

```
retlw ""
```

```
retlw 'E'
```

```
retlw 'S'
```

```
retlw 'P'
```

```
retlw 'E'
```

```
retlw 'L'
```

```
retlw ""
```

```
retlw 0x00
```

```
.*****  
,
```

```
Mens_2 equ $
```

```
retlw 'S'
```

```
retlw 'I'
```

```
retlw 'M'
```

```
retlw 'U'
```

```
retlw 'L'
```

```
retlw 'A'
```

```
retlw 'D'
```

```
retlw 'O'
```

```
retlw 'R'
```

```
retlw ''
```

```
retlw 'A'
```

```
retlw 'U'
retlw 'T'
retlw 'O'
retlw 0x00
```

```
.*****
;
```

```
Mens_3 equ $
```

```
retlw 'T'
retlw 'E'
retlw 'M'
retlw 'P'
retlw ' '
retlw 0x00
```

```
.*****
;
```

```
Mens_4 equ $
```

```
retlw '0'
retlw 'C'
retlw 0x00
```

```
.*****
;
```

```
Mens_5 equ $
```

```
retlw 'P'
retlw 'R'
```

```
retlw 'E'

retlw 'S'

retlw 'I'

retlw 'O'

retlw 'N'

retlw ' '

retlw 0x00
```

```
.*****
,
```

```
Mens_6 equ $
```

```
retlw 'm'

retlw 'b'

retlw 'a'

retlw 'r'

retlw 0x00
```

```
.*****
,
```

```
Mens_7 equ $
```

```
retlw 'T'

retlw 'I'

retlw 'P'

retlw 'O'

retlw 'D'

retlw 'E'
```

```
retlw  ' '  
retlw  'E'  
retlw  'N'  
retlw  'C'  
retlw  'E'  
retlw  'N'  
retlw  'D'  
retlw  'I'  
retlw  'D'  
retlw  'O'  
retlw  0x00
```

```
.*****Mens_  
,
```

```
8  equ  $  
  
retlw  '0'  
  
retlw  0x00
```

```
.*****Mens_  
,
```

```
9  equ  $  
  
retlw  'T'  
retlw  'I'  
retlw  'E'  
retlw  'P'  
retlw  'O'  
retlw  ' '  
retlw  'D'
```

```
retlw 'E'
retlw ' '
retlw 'l'
retlw 'N'
retlw 'Y'
retlw 'E'
retlw 'C'
retlw 'C'
retlw 0x00
```

```
.*****Mens_
```

```
10 equ $
retlw 'm'
retlw 'm'
retlw 0x00
```

```
.*****
```

```
Mens_11 equ $
retlw 'm'
retlw 'm'
retlw 0x00
```

```
.*****
```

```
Mens_12 equ $
retlw 'm'
```

```
retlw 'm'
retlw 0x00
```

```
.*****Mens_
,
```

```
13 equ $
retlw 'm'
retlw 'm'
retlw 0x00
```

```
.*****Mens_
,
```

```
14 equ $
retlw 'm'
retlw 'm'
retlw 0x00
```

```
.*****
,
```

```
Mens_15 equ $
retlw 'V'
retlw 'E'
retlw 'L'
retlw 'O'
retlw 'C'
retlw 'I'
retlw 'D'
retlw 'A'
retlw 'D'
```

```
retlw ' '  
retlw 'M'  
retlw 'O'  
retlw 'T'  
retlw 'O'  
retlw 'R'  
retlw 0x00
```

```
.*****  
,
```

```
Mens_16 equ $
```

```
retlw 'R'  
retlw 'P'  
retlw 'M'  
retlw 0x00
```

```
.*****  
,
```

```
Car_ASCII
```

```
addwf PCL,F  
nop  
retlw '0' ;posición 0  
retlw '1'  
retlw '2'  
retlw '3'  
retlw '4'
```

```
retlw '5'

retlw '6'

retlw '7'

retlw '8'

retlw '9'
```

```
.*****
;
```

```
INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
```

```
.*****
;
```

```
.*****
;
```

; CONFIGURACIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS

```
.*****
;
```

INICIO

```
BANKSEL OSCCON
```

```
MOVLW .110
```

```
MOVWF OSCCON ;RELOJ INTERNO, FREC 4 MHz
```

```
BANKSEL OSCTUNE
```

```
CLRF OSCTUNE
```

```
BANKSEL ANSEL
```

```
MOVLW B'00000001' ;TODO EL PUERO A COMO I/O
```

```
MOVWF ANSEL
```

```
BANKSEL ADCON1 ; SELECCIONO EL BANCO 1
```

```
MOVLW B'11000000' ;RA0,RA1,RA2,RA3 Y RA4 COMO
```

ENTRADA A/D Y ADFM=1 (JUSTIFICADO
A LA DERECHA)

```
MOVWF   ADCON1      ;LOS DEMAS RAs Y REs: DIGITAL I/O
BANKSEL  ADCON0
MOVLW   B'10000000'
MOVWF   ADCON0
MOVLW   B'00000100' ;
BANKSEL  TRISA
MOVLW   B'00000001'
MOVWF   TRISA
MOVLW   B'11000101'
MOVWF   TRISB
```

.*****
,

; CONFIGURACIÓN DE COMUNICACIÓN SERIAL

.*****
,

```
BANKSEL TXSTA
MOVLW  B'10100100' ; CONFIGURACIÓN MASTER, 8 BITS,
                        HABILITADA LA TRANSMISIÓN, MODO
                        ASINCRONICO, ALTA VELOCIDAD
MOVWF  TXSTA      ; REGISTRO DE ESTADO Y DE CONTROL
                        DE TRANSMISION
MOVLW  D'25'     ; SE COLOCA EL VALOR CALCULADO EN
                        EL REGISTRO SPBRG
MOVWF  SPBRG
BANKSEL RCSTA
```

MOVLW B'10010000' ; REGISTRO DE ESTADO Y CONTROL DE
RECEPCIÒN

MOVWF RCSTA ; CHABILITADA RECEPCION, 8 BITS, MODO
ASINCRONICO RECEPCIÒN CONTINUA, NO
ERRORES, NO PERIEDAD

.*****
,

; CONFIGURACION DE INTERUPCIONES

.*****
,

MOVLW B'11100000' ;HABILITO TODAS LAS INTERRUPTIONES, DE
LOSPERIFERICOS

MOVWF INTCON

BANKSEL PIE1

MOVLW B'01100000' ;SE HABILITAN LOS REGISTROS
INVOLUCRADOS EN LA COMUNICACIÒN SERIAL

MOVWF PIE1 ;RCIE, TXIE, SSPIE HABILITADOS

.*****
,

; LIMPIO PUERTOS Y VARIABLES

.*****
,

BANKSEL PORTA

CALL DELRAM

GOTO PRINCIPAL

.*****
,

; SUBROUTINA DE INTERRUPCIÒN

.*****
,

IDENTI

BANKSEL PORTA ; SUBROUTINA DE IDENTIFICACCIÒN

DE INTERRUPCIÒN

MOVWF PUSH

MOVF STATUS,W

MOVWF ESTADO

BCF INTCON,GIE ;DESHABILITO TODAS Las

INTERUPCIONES

BANKSEL PIR1

BTSS PIR1,ADIF

BTSS INTCON,T0IF

GOTO LEER

AD_CONV

BANKSEL PIR1

BTSS PIR1,ADIF ;INTERRUP. POR CONV A/D

GOTO FININTER

BCF PIR1,ADIF

BCF ADCON0,ADON ;APAGO CONVERSOR

MOVF ADRESH,W

MOVWF ACCaHI

```
BANKSEL ADRESL
MOVF  ADRESL,W
BANKSEL PORTA
MOVWF ACCaLO
      CALL  SUMAR
GOTO  FININTER
```

LEER

```
      BANKSEL PIR1
BTFSS PIR1,RCIF
GOTO  FININTER
BCF   PIR1,RCIF
BCF   PIR1,TXIF
BANKSEL RCREG          ;CAMBIO DE BANCO
MOVF  RCREG,W
      DECFSZ  CONT,F
      GOTO  DAT_SE1
      GOTO  DAT_SE2
```

DAT_SE1

```
MOVWF DATO_SER1
      CLRF  STATUS
      SUBLW .50
      BTFSS STATUS,Z
      GOTO FININTER
```

CALL PASA_TX

GOTO FININTER

DAT_SE2

MOVWF DATO_SER2

GOTO FININTER

FININTER

BANKSEL PIE1

MOVLW B'01100000' ;SE HABILITAN LOS REGISTROS
INVOLUCRADOS EN LA COMUNICACION
SERIAL

MOVWF PIE1 ; RCIE, TXIE, SSPIE HABILITADOS

MOVLW B'11100000' ; HABILITO TODAS LAS INTERRUPTACIONES,
Y LA DE LOS PERIFERICOS

MOVWF INTCON

BANKSEL PORTA

MOVF ESTADO,W

MOVWF STATUS

MOVF PUSH,W

RETFIE

.*****
,

; TRANSMISION DE DATOS

.*****
,

PASA_TX

```
BANKSEL PORTA
MOVF  BYTE_H,W
MOVWF VALOR
CALL  TRANSMITIR
BANKSEL PORTA
MOVF  BYTE_L,W
MOVWF VALOR
CALL  TRANSMITIR
RETURN
```

TRANSMITIR

```
BANKSEL PIR1
BCF   PIR1,TXIF
BCF   PIR1,RCIF
MOVF  VALOR,W
MOVWF TXREG
BANKSEI PIE1
BSF   PIE1,TXIE
BANKSEI PIR1
BTFSS PIR1,TXIF
GOTO  $-1
BCF   PIR1,TXIF
RETURN
```

.*****
;

; SUBROUTINA DE SUMA

.*****
;

SUMAR

```
BANKSEL  PORTA

DECFSZ   CONT_PROM,F

GOTO ADISION

GOTO PROME
```

ADISION

```
BCF      Flags,C           ;Clear temp Carry bit

MOVWF   ACCaLO,W          ;Addition ( ACCb + ACCa -> ACCb )

ADDWF   ACCbLO,F         ;add lsb

BTFSC   STATUS,C         ;add in carry

INCF    ACCbHI,F

BTFSC   STATUS,C

BSF     Flags,C

MOVWF   ACCaHI,W

ADDWF   ACCbHI,F         ;add msb

BTFSC   Flags,C

BSF     STATUS,C

RETURN
```

PROME

```

MOVF  ACCbHI,W

MOVWF REGA1

MOVF  ACCbLO,W

MOVWF REGA0

movlw .5                                ;Divide para 192

movwf REGB0

movlw H'00'    ;B'00000000'           ;ResultHHI

movwf REGB1

CALL  DIVIDE

MOVF  REGA1,W

MOVWF BCD_H

MOVF  REGA0,W

MOVWF BCD_L

CALL  Bin_BCD

MOVLW .6

MOVWF  CONT_PROM

;CLRF ACCaHI

CLRF  ACCbHI

;CLRF ACCaLO

CLRF  ACCbLO

```

```

.*****
,

```

; SUBROUTINA PARA DIVIDIR

```

.*****
,

```

DIVIDE

BANKSEL PORTA

CLRF REGA2

CLRF REGA3

CLRF REGB2

CLRF REGB3

clrf MTEMP ;Reset sign flag

movf REGB0,w ;Trap division by zero

iorwf REGB1,w

iorwf REGB2,w

iorwf REGB3,w

sublw .0

skpc

call absa ;Make dividend (REGA) positive

skpc

call absb ;Make divisor (REGB) positive

skpnc

return ;Overflow

clrf REGC0 ;Clear remainder

clrf REGC1

clrf REGC2

clrf REGC3

```
call slac          ;Purge sign bit
```

```
movlw D'31'       ;Loop counter
```

```
movwf MCOUNT
```

```
dvloop
```

```
call slac          ;Shift dividend (REGA) msb into remainder (REGC)
```

```
movf REGB3,w      ;Test if remainder (REGC) >= divisor (REGB)
```

```
subwf REGC3,w
```

```
skpz
```

```
goto dtstgt
```

```
movf REGB2,w
```

```
subwf REGC2,w
```

```
skpz
```

```
goto dtstgt
```

```
movf REGB1,w
```

```
subwf REGC1,w
```

```
skpz
```

```
goto dtstgt
```

```
movf REGB0,w
```

```
subwf REGC0,w
```

```
dtstgt
```

```
skpc              ;Carry set if remainder >= divisor
```

```
goto dremlt
```

```
movf  REGB0,w      ;Subtract divisor (REGB) from remainder (REGC)
subwf  REGC0,f
movf  REGB1,w
skpc
incfsz REGB1,w
subwf  REGC1,f
movf  REGB2,w
skpc
incfsz REGB2,w
subwf  REGC2,f
movf  REGB3,w
skpc
incfsz REGB3,w
subwf  REGC3,f
clrc
bsf   REGA0,0      ;Set quotient bit
```

dremIt

```
decfsz MCOUNT,f      ;Next
goto  dvloop
btfsc MTEMP,0         ;Check result sign
call  negatea         ;Negative
return
```

.*****
,

; ROUND RESULT OF DIVISION TO NEAREST INTEGER

.*****
,

round

clrf MTEMP ;Reset sign flag

call absa ;Make positive

clrc

call slc ;Multiply remainder by 2

movf REGB3,w ;Test if remainder (REGC) >= divisor (REGB)

subwf REGC3,w

skpz

goto rtstgt

movf REGB2,w

subwf REGC2,w

skpz

goto dtstgt

movf REGB1,w

subwf REGC1,w

skpz

goto rtstgt

movf REGB0,w

subwf REGC0,w

rtstgt

```

skpc                                ;Carry set if remainder >= divisor

goto  rremlt

incfsz REGA0,f                      ;Add 1 to quotient

goto  rremlt

incfsz REGA1,f

goto  rremlt

incfsz REGA2,f

goto  rremlt

incf  REGA3,f

skpnz

return                               ;Overflow,return carry set

rremlt

btfsc MTEMP,0                      ;Restore sign

call  negatea

return

absa

rlf  REGA3,w

skpc

return                               ;Positive

negatea

movf  REGA3,w                      ;Save sign in w

andlw 0x80

comf  REGA0,f                      ;2's complement

comf  REGA1,f

```

```

    comf  REGA2,f
    comf  REGA3,f
    incfsz REGA0,f
    goto  nega1
    incfsz REGA1,f
    goto  nega1
    incfsz REGA2,f
    goto  nega1
    incf  REGA3,f
nega1
    incf  MTEMP,f          ;flip sign flag
    addwf REGA3,w         ;Return carry set if -2147483648
    return

```

;Check sign of REGB and convert negative to positive

;Used by multiply, divide

absb

```
    rlf  REGB3,w
```

```
    skpc
```

```
    return          ;Positive
```

;Negate REGB

;Used by absb, subtract, multiply, divide

negateb

```
movf REGB3,w ;Save sign in w
```

```
andlw 0x80
```

```
comf REGB0,f ;2's complement
```

```
comf REGB1,f
```

```
comf REGB2,f
```

```
comf REGB3,f
```

```
incfsz REGB0,f
```

```
goto negb1
```

```
incfsz REGB1,f
```

```
goto negb1
```

```
incfsz REGB2,f
```

```
goto negb1
```

```
incf REGB3,f
```

negb1

```
incf MTEMP,f ;flip sign flag
```

```
addwf REGB3,w ;Return carry set if -2147483648
```

```
return
```

;Shift left REGA and REGC

;Used by multiply, divide, round

slac

```
rlf REGA0,f
```

```
rlf REGA1,f
```

```
rlf REGA2,f
```

```
rlf REGA3,f
```

```
slc
```

```
rlf REGC0,f
```

```
rlf REGC1,f
```

```
rlf REGC2,f
```

```
rlf REGC3,f
```

```
return
```

```
;Set all digits to 0
```

```
;Used by bin2dec
```

```
clrdig
```

```
clrf DSIGN
```

```
clrf DIGIT1
```

```
clrf DIGIT2
```

```
clrf DIGIT3
```

```
clrf DIGIT4
```

```
clrf DIGIT5
```

```
clrf DIGIT6
```

```
clrf DIGIT7
```

```
clrf DIGIT8
```

```
clrf DIGIT9
```

```
clrf DIGIT10
```

```
return
```

.*****
;

; Bin_BCD: RUTINA DE CONVERSIÓN DE BINARIO DE 16 BITS A BCD

.*****
;

Bin_BCD

BCF STATUS,C

CLRF CONTADOR

BSF CONTADOR,4

CLRF DATO_BCD1

CLRF DATO_BCD2

CLRF DATO_BCD3

LAZO16

RLF BCD_L,F

RLF BCD_H,F

RLF DATO_BCD3,F

RLF DATO_BCD2,F

RLF DATO_BCD1,F

DECFSZ CONTADOR,F

GOTO AJUSTE

RETURN

AJUSTE

MOVLW DATO_BCD3

MOVWF FSR

```
CALL AJUSTE_BCD
INCF FSR,F
CALL AJUSTE_BCD
INCF FSR,F
CALL AJUSTE_BCD
GOTO LAZO16
```

```
AJUSTE_BCD
```

```
MOVF INDF,W
ADDLW 0X03
MOVWF TEMPORAL
BTFSC TEMPORAL,3
MOVWF INDF
MOVF INDF,W
ADDLW 0X30
MOVWF TEMPORAL
BTFSC TEMPORAL,7
MOVWF INDF
RETURN
```

```
.*****
;
```

```
; SUBROUTINA PARA ENCERAR RAM
```

```
.*****
;
```

```
DELRAM
```

```
CLRF STATUS
```

movlw 0x20 ;initialize pointer

movwf FSR ;to RAM

NEXT

clrf INDF ;clear INDF register

incf FSR,F ;inc pointer

movlw 0x7F

subwf FSR,W

btfss STATUS,Z

goto NEXT

RETURN

.*****
,

; PROGRAMA PRINCIPAL

.*****
,

PRINCIPAL

BANKSEL PORTB

END