



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



TESIS

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EMULADOR DE MOTOR
AUTOMOTRIZ PARA PRUEBAS A MÓDULO DE CONTROL
ELECTRÓNICO

Que para obtener el título de
INGENIERO EN ELECTRÓNICA

PRESENTA:

Alberto Sandoval Rodríguez

ASESOR DE TESIS

Maestro en ciencias en ingeniería electrónica
Félix Jiménez Pérez

MORELIA, MICHOACÁN
JUNIO 2015

Agradecimientos

Quiero agradecer al Ingeniero, maestro, amigo, asesor, Félix Jiménez Pérez , por su apoyo y enseñanza para llevar a cabo este trabajo, gracias a su experiencia y conocimientos fue posible la culminación de este trabajo, de verdad muchas gracias.

Agradezco a mis padres por todo el apoyo, porque a pesar de las adversidades nunca dejaron de apoyarme, para que yo pudiera terminar mis estudios.

Gracias a toda mi familia, SALVADOR, GUADALUPE, RICARDO, FABIAN, ADRIANA, MARCOS, JOSE, MARTINA, MAXIMILIANO, ALEJANDRO, OMAR, de verdad muchas gracias por su apoyo como quiera que haya sido este.

Gracias a mis amigos por todos los buenos momentos que pasamos durante la facultad.

Dedicatorias

Este trabajo los dedico a mi familia, Alverto, Silvia, Cindia, Oscar, Genaro, Guadalupe porque a pesar de todos mis errores siempre estuvieron a mi lado apoyándome para juntos poder lograrlo, ya que para mí siempre ha sido una responsabilidad mostrarles a mis hermanos que si se puede, gracias familia los quiero mucho...

Resumen

La inyección electrónica permite mejorar el rendimiento de los motores de combustión interna, así como reducir los contaminantes que producen, por este motivo en la actualidad los vehículos realizan el control de sus motores mediante componentes electrónicos que les permiten ser competitivos y cumplir la legislación vigente en materia de contaminación.

Debido al creciente número de vehículos automotores en el país y la poca capacitación del personal en el diagnóstico de fallas en vehículos de inyección electrónica, es necesario desarrollar herramientas de diagnóstico. Una de las principales herramientas para el diagnóstico es el “scanner”, sin embargo esta herramienta solo puede determinar fallas que previamente se analizaron y se consideraron en el software del módulo de control del motor del vehículo ó ECU. Sin embargo, existen fallas que la ECU no puede identificar ó es necesario determinar las condiciones de operación para generar la falla. Al diseñar una herramienta con estas características, es posible que sea utilizada no solo en el diagnóstico de fallas sino además en la caracterización bajo diferentes condiciones de operación e incluso como una herramienta didáctica.

Este trabajo presenta el desarrollo de una herramienta de emulación de señales de los sensores de automóvil. Este equipo permite variar los parámetros que controlan la inyección, y encendido de los motores de combustión interna, permitiendo la caracterización y diagnostico de computadoras automotrices.

Para obtener los rangos y el tipo de variable física a emular, se explica el funcionamiento básico de una ECU genérica y cómo intervienen los sensores para modificar las señales de control.

Esta herramienta permite modificar los parámetros de operación de la ECU y analizar el comportamiento de las señales de control de un motor de inyección electrónica en un vehículo a gasolina.

PALABRAS CLAVE :EMULADOR, MOTOR, AUTOMOTRIZ

Abstract

The electronic injection improves the performance of internal combustion engines and reduce pollutants that cause, which is why today the vehicles perform control of their engines with electronic components that allow them to be competitive and meet current legislation of pollution.

Due to the increasing number of motor vehicles in the country and little staff training in diagnosing faults in vehicles with electronic injection, it is necessary to develop diagnostic tools. One of the main tools for diagnosis is the "scanner", however this tool alone can determine faults that previously were analyzed and considered in the software control module or motor vehicle ECU. However, there are flaws that the ECU can not be identified or is necessary to determine the operating conditions for generating the fault. When designing a tool with these characteristics, it may be used not only in troubleshooting if not also in the characterization under different operating conditions and even as a teaching tool.

This paper presents the development of an emulation tool sensor signals automobile. This equipment allows to change the parameters controlling the injection and ignition of internal combustion engines, allowing the characterization and diagnosis of automotive computers.

For the range and type of physics to emulate variable, the basic operation of a generic ECU is explained and how involved the sensors to modify the control signals.

This tool allows you to modify the operating parameters of the ECU and analyze the behavior of the control signals of an electronic injection engine a gasoline vehicle.

KEYWORDS: EMULATION, MOTOR, AUTOMOBILE

Contenido

Agradecimientos	I
Dedicatorias	II
Resumen.....	III
Abstract.....	IV
Contenido	V
Lista de Figuras.....	IX
Lista de Tablas	XI
Lista de Abreviaturas	XII
Glosario.....	XIV
1 Introducción	1
1.1 Uso de la electrónica en el automóvil.....	1
1.2 Panorama general del uso de módulos de control en sistemas del automóvil	2
1.2.1 Módulo de control en la transmisión.....	2
1.2.2 Módulo de control en bolsas de aire	3
1.2.3 Módulo de control en sistemas auxiliares de seguridad (ABS, ASR, ESP, TCS)	4
1.2.4 Módulo de control en el motor.....	5
1.3 Sistema de pruebas de la ECU fuera del auto	6
1.3.1 Pruebas a la ECU	7
1.3.2 Emulación de sensores resistivos.....	7
1.3.3 Adaptación	7
1.4 Descripción de los capítulos.....	8
2 Descripción de sensores automotrices y módulo de control electrónico	9
2.1 Sensores con respuesta resistiva.....	9
2.1.1 Temperatura del Aire de Carga (ACT)	9
2.1.2 Temperatura del motor (ECT)	10
2.2 Sensores con respuesta en voltaje.....	12
2.2.1 Sensor de cantidad de aire que entra al múltiple de admisión	12
2.2.2 Sensor de posición del acelerador	13

2.3	Sensores con respuesta en frecuencia.....	15
2.3.1	Sensor de posición del cigüeñal	15
2.3.2	Sensor de Presión Absoluta del Múltiple (MAP).....	17
2.3.3	Sensor de combustión adecuada de combustible	18
2.4	Descripción del funcionamiento de la ECU del motor	19
2.4.1	Modo de operación marcha mínima.....	20
2.5	Sistemas a controlar de la ECU	20
2.5.1	Angulo de disparo de chispa	21
2.5.2	Tiempo de inyección de combustible	21
2.6	Sistema de control de marcha mínima	23
3	Construcción física del emulador.....	24
3.1	Conexión de la PC con el Emulador.....	25
3.2	Microcontrolador PIC18F458.....	25
3.2.1	Relevador principal	27
3.2.2	Comunicación serial	27
3.2.3	Comunicación SPI.....	28
3.2.4	Los potenciómetros digitales.....	29
3.2.5	Resolución de los potenciómetros digitales	29
3.2.6	Los sensores resistivos	30
3.2.7	Los sensores de voltaje	30
3.2.8	Adaptación de las señales a monitorear	31
3.3	Microcontrolador PIC18F2550	31
3.3.1	Comunicación serial.....	32
3.3.2	Sensores con respuesta en frecuencia.....	32
3.4	Led's indicadores	33
3.5	Características de la ECU bajo prueba.....	34
3.6	Emulador desarrollado.....	35
4	Desarrollo de software en la PC y microcontroladores	36
4.1	Software en la PC (LabView)	36
4.1.1	El puerto serie VISA.....	36
4.1.2	Protocolo de comunicación.....	37
4.2	Envío de información de LabView al puerto serie de los microcontroladores	38

4.2.1	Panel Frontal	38
4.3	Recepción de bloque de información en el microcontrolador.....	39
4.3.1	El puerto USART	40
4.3.2	El puerto SPI	41
4.3.3	Generación de la señal del sensor de Posición del Acelerador (TPS).....	42
4.3.4	Generación de la señal del sensor de Temperatura del Aire en el Múltiple de Admisión (ACT).....	42
4.3.5	Generación de la señal del sensor de Temperatura del Refrigerante del Motor (ECT)	43
4.3.6	Generación de la señal del sensor de Presión Absoluta del Múltiple de Admisión (MAF)	44
4.3.7	Relevador principal	45
4.3.8	Captura de datos	45
4.4	PIC18F2550	47
4.4.1	Generación de señales de sensores con respuesta en frecuencia.....	47
4.4.2	Configuración del puerto USART.....	47
4.4.3	Generación de la señal de chispa.....	48
4.4.4	Generación de la señal de sensor de presión absoluta.....	49
4.4.5	Generación de la señal del sensor de Oxígeno	50
5	Pruebas y resultados	53
5.1	Verificación de las señales generadas por el emulador	53
5.1.1	Sensor de Posición del Acelerador (TPS).....	54
5.1.2	Sensor de Temperatura del Aire en el Múltiple de Admisión (ACT)	55
5.1.3	Sensor de Temperatura del Refrigerante del Motor (ECT)	56
5.1.4	Sensor de Presión Absoluta del Múltiple de Admisión (MAP)	57
5.1.5	Sensor de Posición del Cigüeñal (CKP).....	58
5.1.6	Sensor de Flujo de Masa de Aire (MAF)	60
5.1.7	Sensor de Oxígeno	61
5.2	Comparación de resultados	63
5.3	Prueba en marcha mínima.....	66
5.3.1	Prueba de operación normal.....	67
5.3.2	Prueba de revoluciones máximas	68

5.4	Resultados	69
5.4.1	Pruebas en VW	69
5.4.2	Pruebas en Ford	69
	Conclusiones	70
	Trabajos futuros	71
	Bibliografía	72

Lista de Figuras

Figura 1.1 Cuerpo de válvulas de transmisión automática-----	3
Figura 1.2 Bolsas de aire activadas -----	4
Figura 1.3 Componentes del sistema de seguridad ABS -----	5
Figura 1.4 ECU de FORD 1992, 60 cavidades -----	6
Figura 2.1 Comportamiento del sensor ACT -----	10
Figura 2.2 Comportamiento del sensor ECT -----	12
Figura 2.3 a) Tabla de sensor MAF, b) Curva de diferentes sensores -----	13
Figura 2.4 Comportamiento del sensor TPS -----	15
Figura 2.5 a) Relación Frecuencia- RPM, b) Salida del sensor del efecto hall-----	17
Figura 2.6 a) Relación presión-Frecuencia, b) salida del sensor MAP -----	18
Figura 2.7 a) Respuesta del sensor lambda, b) señal del sensor. -----	19
Figura 2.8 Ángulo de ignición-----	21
Figura 2.9 Inyector de combustible -----	22
Figura 2.10 a) Operación en ralenti, b) con carga pesada. -----	22
Figura 2.11 Válvula By-pass de Ford -----	23
Figura 3.1 Diagrama de bloques del sistema -----	24
Figura 3.2 Adaptador USB-Serial TTL -----	25
Figura 3.3 Conexiones del microcontrolador PIC18F458 -----	26
Figura 3.4 Diagrama esquemático del relevador principal -----	27
Figura 3.5 Comunicación serial PC - PIC18F458 -----	27
Figura 3.6 Conexión para comunicación SPI modelo maestro/esclavo -----	28
Figura 3.7 Potenciómetro digital MCP4161 -----	29
Figura 3.8 Acondicionamiento de las señales de Inyección y chispa -----	31
Figura 3.9 Comunicación serie PC - PIC18F2550 -----	32
Figura 3.10 Diagrama esquemático del PIC18F2550 para emular señales de frecuencia -----	33
Figura 3.11 Led's indicadores de Inyección y Chispa -----	34
Figura 3.12 Hardware del emulador desarrollado -----	35
Figura 4.1 Configuración del puerto serial VISA -----	37
Figura 4.2 Construcción de bloque de información y envío -----	38
Figura 4.3 a) control del relevador principal, b) control del sensor ECT, c) control del sensor ACT, d) control del sensor TPS, e) control del sensor MAP, f) control del sensor de oxígeno, g) control del sensor MAF, h) control del sensor CKP, i) indicador de inyección, j) indicador de chispa. -----	39
Figura 4.4 Decodificación del bloque de información -----	40
Figura 4.5 a) Pseudocódigo de control del voltaje del TPS, b) diagrama esquemático. -----	42
Figura 4.6 Pseudocódigo para modificar la resistencia del sensor ACT, b) Diagrama esquemático de conexiones -----	43
Figura 4.7 a) Pseudocódigo de control de la resistencia del sensor ECT, b) diagrama esquemático de conexión a la ECU. -----	44
Figura 4.8 a) Pseudocódigo de control del MAF, b) conexión del sensor MAF -----	45

Figura 4.9 Protocolo de activación del relevador principal	45
Figura 4.10 a) Pseudocódigo de lectura de tiempo de inyección, b) gráfica de tiempo de inyección.	46
Figura 4.11 a) pseudocódigo de lectura de RPM's, b) grafica de RPM y/o chispa.	46
Figura 4.12 a) Diagrama de bloques del sensor CKP, b) señal generada del CKP.	48
Figura 4.13 Pseudocódigo de generación de señal CKP	49
Figura 4.14 a) Diagrama de bloques del sensor MAP, b) señal generada del sensor MAP.	49
Figura 4.15 Pseudocódigo de generación de señal MAP	50
Figura 4.16 a) Diagrama de bloques del sensor de oxígeno, b) señal generada del sensor de oxígeno.	51
Figura 4.17 Pseudocódigo de generación de la señal del sensor de Oxígeno	51
Figura 4.18 Software del emulador construido	52
Figura 5.1 a) Pines necesarios para comprobar el estado de la ECU Ford, b) conector construido para la ECU.	53
Figura 5.2 Señal de referencia del manual Ford para el sensor TPS	54
Figura 5.3 Control del sensor TPS	54
Figura 5.4 Resultado del emulador para el sensor TPS	54
Figura 5.5 Señal de referencia del manual Ford para el sensor ACT	55
Figura 5.6 Control del sensor ACT	55
Figura 5.7 Resultados del emulador para el sensor ACT	55
Figura 5.8 Señal de referencia del manual Ford para el sensor ECT	56
Figura 5.9 Control del sensor ECT	56
Figura 5.10 Resultados del emulador para el sensor ECT	56
Figura 5.11 Señal de referencia del manual Ford para el sensor MAP	57
Figura 5.12 Control del sensor MAP	57
Figura 5.13 Resultados del emulador para el sensor MAP	57
Figura 5.14 Resultados de la presión atmosférica dependiendo de la frecuencia	58
Figura 5.15 Señal de referencia del manual de Ford para el sensor CKP	58
Figura 5.16 Control del sensor CKP	59
Figura 5.17 Resultados del emulador para el sensor CKP	59
Figura 5.18 Resultados de las Revoluciones por minuto vs frecuencia	60
Figura 5.19 Señal de referencia del manual de Ford para el sensor MAF	60
Figura 5.20 Control del sensor MAF	61
Figura 5.21 Resultados del emulador para el sensor MAF	61
Figura 5.22 Señal de referencia del manual Ford para un sensor de Oxígeno	61
Figura 5.23 Control del sensor de Oxígeno	62
Figura 5.24 Resultados del emulador para el sensor de oxígeno	62
Figura 5.25 Tiempo de inyección y RPM's en Marcha mínima	66
Figura 5.26 Tiempo de inyección y RPM's de operación normal	67
Figura 5.27 Tiempo de inyección y RPM's a revoluciones máximas	68
Figura 5.28 Comparación de resultados	70

Lista de Tablas

Tabla 3.1 Periféricos usados del PIC18F458.....	26
Tabla 3.2 Periféricos utilizados del PIC18F2550	32
Tabla 3.3 Conexiones para la ECU 1992	34
Tabla 4.1 Protocolo de comunicación	37
Tabla 4.2 Configuración del puerto serial para el microcontrolador PIC18F458.....	41
Tabla 4.3 Configuración del puerto SPI para el microcontrolador PIC18F458.....	41
Tabla 4.4 Configuración del puerto serial para el microcontrolador PIC18F2550.....	47
Tabla 5.1 Resultados del sensor TPS	63
Tabla 5.2 Resultados del sensor ECT	63
Tabla 5.3 Resultado del sensor ACT	64
Tabla 5.4 Resultados del sensor MAF	64
Tabla 5.5 Resultados del sensor MAP	65
Tabla 5.6 Resultados del sensor de Oxígeno.....	65
Tabla 5.7 Prueba en marcha mínima	66
Tabla 5.8 Prueba de operación normal.....	67
Tabla 5.9 Prueba de operación a revoluciones máximas.....	68

Lista de Abreviaturas

ABS	Antilock Brake System
ACT	Air Charge Temperature
ASR	Anti- Slip Regulation
CKP	Crankshaft Position
DAC	Digital to Analog Converter
DIS	Distributorless Ignition System
ECT	Engine Coolant Temperature
ECU	Electronic Control Unit
EDL	Electronic Differential Lock
EEC-V	Electronic Engine Control- Generation Four
EGR	Exhaust Gas Recirculation
ESP	Electronic Stability Program
HMI	Human Machine Interface
IAT	Intake Air Temperature
IGT	Ignition Timing
In/HG	Inches of Mercury
MAF	Mass Air Flow
MAP	Manifold Absolute Pressure
MAT	Manifold Air Temperature
PWM	Pulse Width Modulation

RPM	Revolution Per Minute
SFI	Sequential Fuel Ignition
TCM	Transmission or Transaxle Control Module
TCS	Traction Control System
TPS	Throttle Position Sensor
TTL	Transistor Transistor Logic
VI	Virtual Instrument
VISA	Virtual Instrumen Software Architecture
VSS	Vehicle Speed Sensor
WOT	Wide Open Throttle

Glosario

Mezcla Rica: Poco aire y por lo tanto exceso de combustible.

Mezcla pobre: Exceso de aire, poco combustible en la cámara de combustión

Señal G: Señal generada por el árbol de levas

Señal NE: Señal generada por el sensor de posición de cigüeñal

Inyección por bancos: La mitad de los inyectores inyecta en el primer giro del cigüeñal y los restantes en el siguiente giro del cigüeñal en los puertos de admisión.

Inyección secuencial: Los inyectores entregan combustible uno a uno antes ó durante la fase de admisión en los puertos de en cada cilindro.

Carga del motor: Cantidad de trabajo que el motor está realizando.

Estequiometria: Cálculo de las relaciones cuantitativas entre reactivos y productos en el transcurso de una reacción química

1 Introducción

Los equipos de diagnóstico actuales con capacidad de graficar la respuesta de los sensores, son de costos elevados y solo permiten monitorear la respuesta del sensor. En muchas ocasiones es deseable modificar la respuesta de un sensor para validar la operación de la ECU. De aquí surge la inquietud de desarrollar una herramienta que proporcione un método para verificar la operación de la ECU al regular la respuesta de los sensores, con posibilidad de simular diferentes condiciones de operación.

Este documento presenta el diseño y construcción de un emulador de sensores y monitoreo de actuadores típicos de una ECU ó "Unidad de Control Electrónico", donde el objetivo del emulador es: verificar la operación adecuada, caracterización de la operación, simulación de fallas de sensores, entre otras.

En el diseño del emulador, se incluye una Interfaz Hombre Máquina (HMI) intuitiva, fácil de usar y enfocada a la simulación de los sensores para permitir la detección de fallas y su reparación sin necesidad de un automóvil. El emulador permite representar el comportamiento de los diferentes sensores desde su funcionamiento normal hasta una operación crítica.

1.1 Uso de la electrónica en el automóvil

La aparición de la electrónica y su aplicación en el sector automotriz ha permitido la evolución de los automóviles hasta lo que conocemos hoy en día. Los vehículos actuales incorporan la electrónica en todos sus sistemas de control, logrando con ello mayor seguridad y eficiencia en sus sistemas.

Básicamente, cualquier sistema electrónico aplicado en el automóvil consiste en un grupo de sensores que se encargan de detectar lo que está ocurriendo en el sistema, midiendo diferentes magnitudes físicas y químicas, estas magnitudes son convertidas a señales eléctricas que informan a la ECU lo que está pasando en el automóvil y con ello poder modificar la operación de los diversos actuadores para realizar acciones que mantengan la operación normal del vehículo.

El objetivo de los sistemas de inyección electrónica es optimizar la mezcla de combustible lo más cercano posible a la relación aire-combustible, estequiometría 14.7:1 (cálculo de las relaciones cuantitativas entre reactivos y productos en el transcurso de una reacción química) para lograr una combustión eficiente.

Los cambios más sobresalientes en los automóviles han sido la introducción de sensores, actuadores y un módulo de control digital que optimiza los sistemas de admisión, combustión, encendido y escape, lo que ha permitido mejorar el desempeño del motor obteniendo un menor consumo de combustible y reducción de emisiones contaminantes.

1.2 Panorama general del uso de módulos de control en sistemas del automóvil

Los módulos de control electrónico mejor conocidas como "computadoras" son las encargadas de procesar la información que está siendo capturada por los sensores ubicados en los diferentes sistemas del vehículo y controlando los actuadores para el correcto funcionamiento de los sistemas del auto. Los vehículos actuales vienen equipados con más de 5 módulos de control, las cuales utilizan comunicación CAN-BUS para compartir información del estado de sus sistemas y tener una operación óptima. El cerebro de un sistema de inyección electrónica de combustible es un módulo de control electrónico (ECU).

1.2.1 Módulo de control en la transmisión

La computadora de la transmisión ó TCM, toma información de diferentes sensores: temperatura, TPS, VSS, entre otros para controlar las electroválvulas que van montadas por lo general en el cuerpo de válvulas y seleccionar las velocidades adecuada, así como realizar el control de la presión del fluido de la transmisión.

El cuerpo de válvulas es el corazón del sistema y es controlado directamente por la TCM. El cual se encarga de habilitar las vías de presión de aceite mediante el control de los solenoides para habilitar el convertidos de par, embragues, etc.

En la Figura 1.1 se observa el cuerpo de válvulas con sus solenoides.



Figura 1.1 Cuerpo de válvulas de transmisión automática

1.2.2 Módulo de control en bolsas de aire

El Airbag se acciona por orden de un microcontrolador, el objetivo de la bolsa es proteger al conductor y al acompañante en casos de accidentes frontales a más de 30 km/h.

El microcontrolador, es el que da la orden de inflar la bolsa cuando los sensores verifican la desaceleración repentina (estos sensores son instalados en lugares estratégicos de la carrocería ó dentro de la computadora).

La bolsa de aire está hecha de una tela de nylon muy delgada la cual esta doblada dentro del volante, tablero, puertas, techo, etc. La bolsa de aire se infla por la reacción química de ácido de sodio con nitrato de potasio para producir gas nitrógeno. La explosión de nitrógeno es lo que hace que se inflen desde su depósito a una velocidad de más de 300 km/h. un segundo después de que activan las bolsas de aire, el gas comienza a disiparse rápidamente a través de unas pequeñas perforaciones en la bolsa, para que el pasajero se pueda mover una vez ocurrido el accidente.

De manera continua el microcontrolador compara las variables, con los valores previamente almacenados en la base de datos que contiene simulacros de accidentes, En la Figura 1.2 se muestra las bolsas de aire activadas en un vehículo.



Figura 1.2 Bolsas de aire activadas

1.2.3 Módulo de control en sistemas auxiliares de seguridad (ABS, ASR, ESP, TCS)

ABS(Antilock Brake System) El principio de operación es quitar presión al líquido de frenos que se aplica con el pedal, aunque el conductor no levante el pie para poder tener control sobre la dirección del vehículo y no bloquear las ruedas, para ello se tienen en el circuito de frenos unas electroválvulas que al recibir una señal eléctrica desde el microcontrolador que opera el ABS, abre el paso de líquido a un canal distinto al de la rueda, de forma que el frenado de esa rueda se libera. La unidad de control tiene que saber cuándo debe abrir ó cerrar las válvulas. Para tomar la decisión es necesario conocer si las ruedas están girando.

ASR(Anti- Slip Regulation) y **TCS (Traction Control System)** estos sistemas son diseñados para prevenir la pérdida de adherencia en las ruedas y que estas patinen cuando el conductor se excede en la aceleración del vehículo en cualquier velocidad. Estos sistemas hacen uso del sistema ABS para saber la velocidad de las ruedas y así poder aplicar el control adecuado.

ESP (Electronic Stability Program) El sistema ayuda a mantener el vehículo estable cuando se maneja a altas velocidades. Si se hace un movimiento brusco en el volante éste interviene en el sistema de frenos, a veces en el motor y en casos extremos hace cambios en

la transmisión para estabilizar el automóvil. Hace uso del sistema ABS para saber a qué velocidad giran las ruedas al momento de librar un obstáculo para evitar que una de las llantas derrape.

El sistema también incorpora el bloqueo electrónico del diferencial (EDL) que forma parte del programa electrónico de estabilidad (ESP)

En la Figura 1.3 se muestran los sistemas de seguridad descritos con anterioridad.

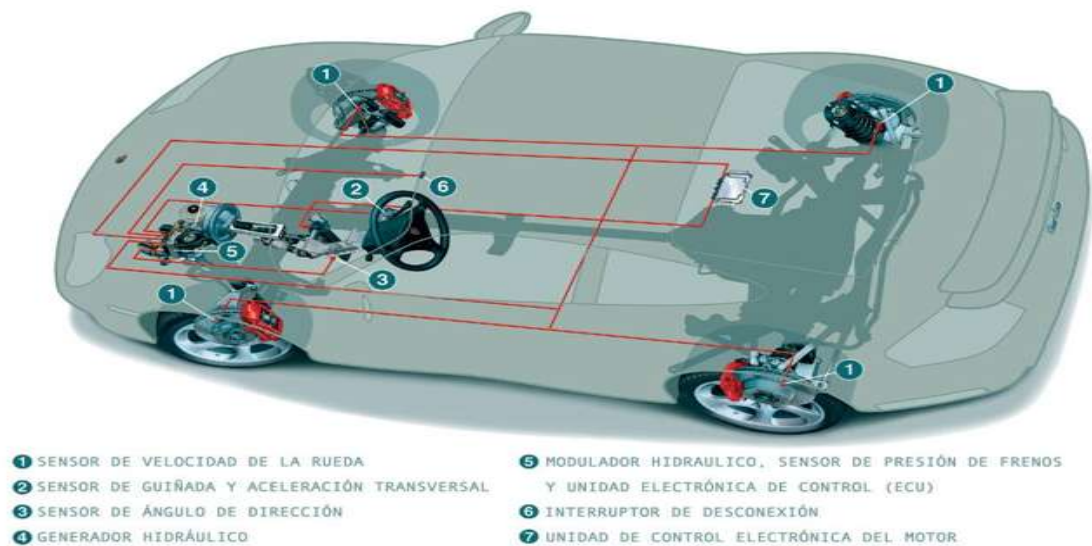


Figura 1.3 Componentes del sistema de seguridad ABS

1.2.4 Módulo de control en el motor

La computadora central del motor (ECU): es el caso de estudio de este trabajo y por lo tanto se muestra una lista de las principales funciones de este módulo. La ECU recibe señales de tipo físicas, eléctricas, químicas de entrada procedente de los sensores, procesa la información y produce diversas salidas a los actuadores. Entre las funciones que realiza se encuentra:

- Regular el voltaje de alimentación de la batería (a través de un regulador de voltaje).
- Proporcionar un voltaje de 5 ó 12v a la mayor parte de los sensores.
- Recibir información de las condiciones de operación del motor por los diferentes sensores (señales de entrada).

- Controla diferentes componentes de actuadores (inyectores, bobina de encendido, bomba de combustible, válvula de marcha mínima, aire acondicionado, bolsas de aire, sistema de frenos, cambios en la transmisión, etc.)
- Controla modos adicionales de control de combustible, por ejemplo modo de arranque, motor ahogado, corte por desaceleración, etc.

En la Figura 1.4 se muestra una de las computadoras marca Ford utilizada en este proyecto.



Figura 1.4 ECU de FORD 1992, 60 cavidades

1.3 Sistema de pruebas de la ECU fuera del auto

Debido a la gran importancia que tienen las ECU's para el funcionamiento adecuado de los sistemas de inyección electrónica, es importante tener un método para verificar su operación de manera simple y que proporcione información confiable para realizar un buen diagnóstico, ya que de ello depende que el motor del vehículo opere de manera adecuada.

El emulador diseñado ofrece un entorno gráfico, que lo hace fácil de operar. Esto permite emular los sensores de manera rápida y poder comparar la información con los manuales de servicio, para verificar que se encuentren dentro de los rangos especificados.

Adicionalmente, el emulador puede ser empleado para la capacitación de alumnos que estudian carreras de técnico-mecánico e ingeniería automotriz, para incrementar las habilidades en la operación así como la detección de fallas de una ECU entre otras.

1.3.1 Pruebas a la ECU

Las pruebas realizadas consisten en verificar que la ECU tenga la alimentación de 12v y líneas de tierra, ya que si llega a faltar una alimentación la ECU no podrá operar de manera correcta. El diseño del emulador considera realizar pruebas a los sensores de una ECU Ford 1992, de 60 cavidades, con posibilidad de cambiar de ECU de manera sencilla.

Mediante los controles de la aplicación desarrollada en la plataforma LabView se emula el funcionamiento de los sensores. Los controles en la aplicación emulan las variables físicas como son: la posición del acelerador, temperatura del motor, temperatura del aire en el múltiple de admisión, mezcla rica ó pobre de combustible (oxígeno), flujo de masa de aire, presión atmosférica, etc. Los ajustes en los indicadores de LabView se ven reflejados en las salidas del módulo de control electrónico (ECU): Específicamente en el avance de la Chispa y tiempo de inyección de combustible. Adicionalmente para verificar la operación del emulador, es posible utilizar el scanner adecuado.

1.3.2 Emulación de sensores resistivos

Los sensores que representan una variable física en función de resistencia eléctrica se pueden emular utilizando un potenciómetro. En este caso el valor de resistencia del potenciómetro representa un valor de temperatura, la posición del acelerador, la cantidad del flujo de aire, etc. Controlando el valor de resistencia es posible seleccionar el punto de operación del vehículo. Los diferentes valores de resistencia permiten someter al vehículo a diferentes condiciones de operación y determinar si la ECU responde a cada sensor emulado y determinar su operación. El potenciómetro digital permite controlar el valor de resistencia mediante un puerto de comunicación serie.

1.3.3 Adaptación

Los motores requieren una mezcla de oxígeno-combustible que entra a la cámara de combustión, en los motores equipados con carburador esta mezcla se ajusta modificando los parámetros del carburador. En los sistemas de inyección electrónica, es necesario de un elemento que indique la cantidad de aire/combustible que debe entrar al motor, el sensor Lambda (sensor de oxígeno) situado en el múltiple de escape informa a la ECU si la combustión se realiza de manera correcta. En caso contrario modifica la mezcla de aire/combustible que entra al múltiple de admisión.

El motor debe operar con la relación ideal 14.7:1 para producir la menor cantidad de emisiones contaminantes aunque en la práctica estos valores varían en un rango de 12:1 y 16:1 lo cual nos habla de una baja cantidad de aire ó de abundancia de aire, lo que se conoce como mezcla rica y mezcla pobre.

Mezcla Rica: Poco aire y por lo tanto mucho combustible en la cámara de combustión, lo que provoca que el combustible no se queme totalmente y aparezca en forma de monóxido de carbono (CO) en el escape.

Mezcla pobre: Es el exceso de aire con poco combustible y el auto expulsa óxidos de Nitrógeno (NOx)

Para tener una característica de mayor potencia ó menor consumo de combustible, se puede modificar el software de ECU para que opere bajo las condiciones especificadas.

1.4 Descripción de los capítulos

En el capítulo 1 se presenta brevemente la aplicación de la electrónica en los sistemas de inyección de combustible, así como los sistemas que cuentan con un módulo de control electrónico ó “computadora” para su operación.

En el capítulo 2 se presenta una descripción detallada de los sistemas a monitorear en la ECU del motor, así como los rangos de operación de cada sensor.

En el capítulo 3 se aborda el diseño e implementación del hardware del emulador con la descripción de los circuitos integrados utilizados para emular los sensores. Se presenta el funcionamiento de cada uno de los módulos necesarios para la implementación del emulador.

El capítulo 4 se enfoca en el software desarrollado en la PC utilizando la plataforma de desarrollo LabView, así como el software desarrollado para los microcontroladores utilizados.

En el capítulo 5 se presentan las pruebas, resultados al utilizar el emulador desarrollado en dos ECU's.

Finalmente se presentan las conclusiones del trabajo y posibles trabajos futuros.

2 Descripción de sensores automotrices y módulo de control electrónico

Un sistema de inyección electrónico de combustible tiene siete tareas esenciales para el buen funcionamiento del motor de combustión interna: enriquecimiento del arranque, enriquecimiento de funcionamiento en frío, velocidad de marcha mínima, control de relación aire combustible, control de la relación de aire-combustible en marcha, enriquecimiento con carga y enriquecimiento en la aceleración.

Para lograr estas tareas se hace uso de la unidad de control electrónico (ECU) apoyándose en la información proveniente de los sensores. Cada vehículo viene equipado con diversos sensores. En este capítulo se obtiene la respuesta de la mayoría de los sensores con los que cuenta una computadora marca Ford 1992.

2.1 Sensores con respuesta resistiva

La industria automotriz utiliza sensores tipo resistivo para medir la temperatura del aire dentro del múltiple de admisión y la temperatura del refrigerante del motor para conocer la temperatura media del motor, esto se hace mediante termistores de coeficiente negativo de temperatura los cuales se describen en las siguientes secciones.

2.1.1 Temperatura del Aire de Carga (ACT)

Los motores controlados electrónicamente necesitan conocer la temperatura del aire dentro del múltiple de admisión para calcular el tiempo de inyección (accionamiento de los inyectores de combustible, mediante una señal modulada en ancho de pulso).

Esto se debe a que el aire caliente contiene menos oxígeno que el aire frío independientemente del volumen. Algunos ajustes que se modifican debido a la temperatura del aire del múltiple son:

- Avance de encendido de la chispa
- Tiempo de inyección
- Operación de la válvula EGR (Regulación de los Gases de Escape)

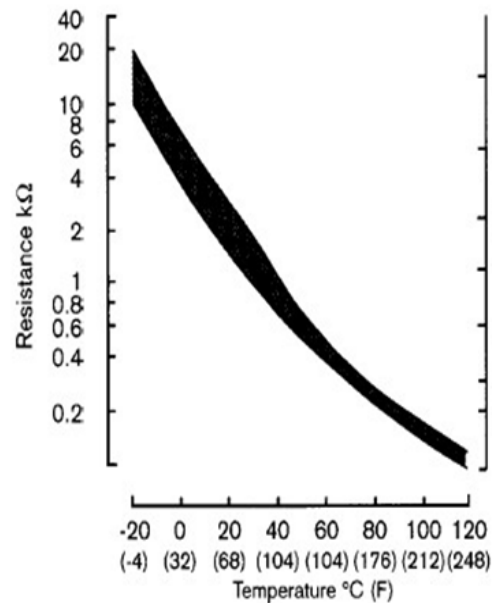
La computadora suministra al sensor ACT un voltaje de referencia de 5 volts a través de una resistencia limitadora de corriente y mide el voltaje en el divisor resistivo.

Existen diferentes nombres para los sensores de temperatura dentro del múltiple de admisión como pueden ser, ACT, MAT, IAT, MAF, esto depende de la marca del vehículo pero todos los sensores cumple con la misma función.

En la Figura 2.1 a) se muestra la tabla de comportamiento de un sensor ACT de la marca Ford, en Figura 2.1 b) se observa la curva de de referencia de un sensor ACT para Ford. que es un termistor de coeficiente negativo de temperatura, si el sensor esta fuera de estos rangos la ECU presentará fallas.

Resistencia del sensor ACT	Temperatura °C
58.750 kΩ	10°
40.500 kΩ	18°
3600 Ω	82°
1850 Ω	104°

a)



b)

Figura 2.1 Comportamiento del sensor ACT

2.1.2 Temperatura del motor (ECT)

El sensor ECT es responsable de medir la temperatura del refrigerante del motor y con ello conocer la temperatura media del motor, el sensor ECT suele estar situado en una de las tuberías del refrigerante. Este sensor es fundamental para los sistemas equipados con inyección electrónica.

La computadora suministra al sensor ECT un voltaje de referencia de 5 volts a través de una resistencia limitadora de corriente y mide el voltaje en el divisor resistivo. Cuando el motor esta frio el voltaje es alto y cuando el motor está caliente el voltaje es bajo.

Al medir el voltaje, la ECU puede conocer cuál es la temperatura del refrigerante, a temperatura de operación normal del motor entre 95° y 100° el voltaje esta en el rango de 0.65 a 1.0 volts, a temperaturas bajas entre 10° y 5°, la señal del voltaje esta en el rango de 3.5 volts. La información de este sensor es utilizada por la computadora, lo cual permite determinar los cálculos necesarios para:

- Ajustar la cantidad de combustible.
- La velocidad del motor en marcha mínima.
- El control del tiempo de encendido.
- La recirculación de los gases de escape. (sistema EGR)
- La operación del moto-ventilador (en la mayoría de los vehículos).

En la Figura 2.2 a) se muestra la tabla de comportamiento de un sensor ECT de la marca Ford, en la Figura 2.2 b) se observa la curva de operación de un sensor ECT. que es un termistor de coeficiente negativo de temperatura, si el sensor esta fuera de estos rangos la ECU presentara fallas.

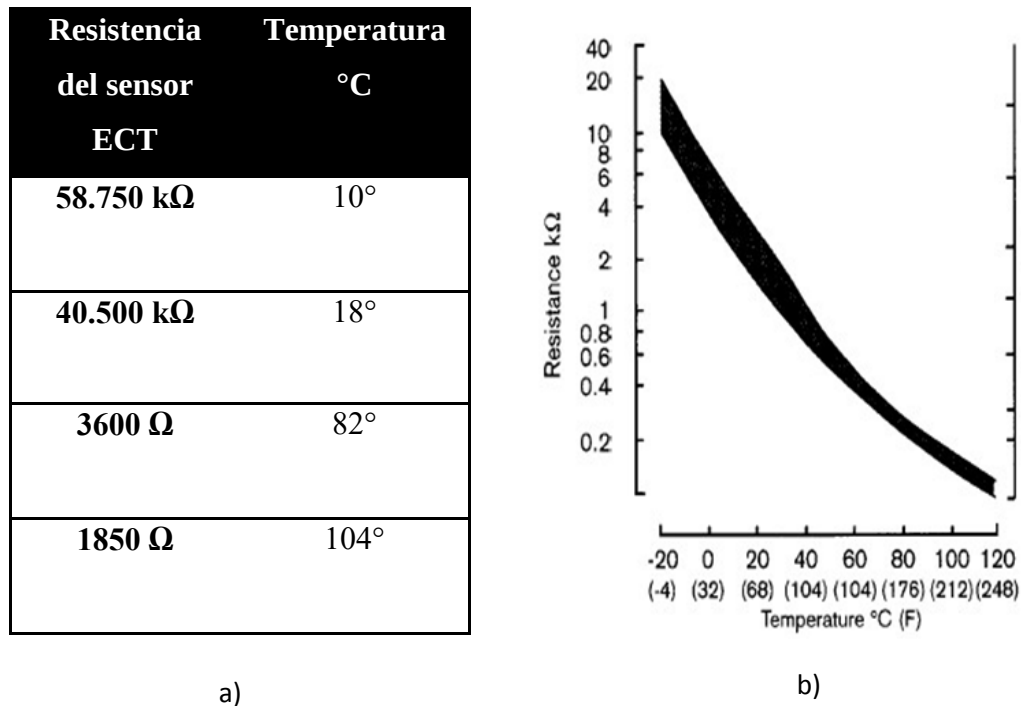


Figura 2.2 Comportamiento del sensor ECT

2.2 Sensores con respuesta en voltaje

Dentro de los sensores que manejan señales de voltaje se encuentran el sensor TPS y el sensor MAF los cuales se describen a continuación.

2.2.1 Sensor de cantidad de aire que entra al múltiple de admisión

El sensor MAF convierte la cantidad de aire que entra al motor en una señal de voltaje ó frecuencia dependiendo del tipo de sensor. La ECU necesita conocer el volumen de aire que entra para calcular la carga del motor, y determina la cantidad de combustible a inyectar, en qué instante encender la chispa y cuando hacer el cambio de velocidad en la transmisión. El sensor de flujo de aire se encuentra directamente entre el filtro de aire y el cuerpo de aceleración.

El tipo de sensor más común es del tipo de alambre caliente, su funcionamiento se describe a continuación.

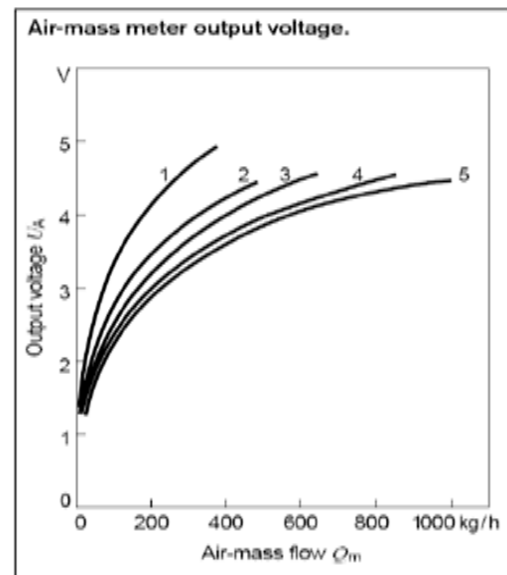
Un termistor mide la temperatura del aire entrante. Un hilo (resistencia) se mantiene caliente a una temperatura constante en relación con el termistor del circuito de control, al

aumentar el flujo de aire que entra al múltiple de admisión, provoca que el hilo pierda calor esto es compensado por la ECU, enviando una corriente mayor a través del hilo para tratar de mantenerlo constante. La ECU al mismo tiempo mide el flujo de corriente y envía la señal de flujo de corriente, que es proporcional al flujo de aire.

El rango del voltaje de salida del sensor en la mayor parte de los sensores MAF varia de 0.5 a 4.0V. En la Figura 2.3 a) se muestra la tabla de comportamiento del sensor -MAF de la marca Ford en la Figura 2.3 b) se observa la operación de un sensor MAF

Flujo de masa de aire	Rango de voltaje
0 kg/h	0.5 -1 V
900kg/h	4 - 4.5 V

a)



b)

Figura 2.3 a) Tabla de sensor MAF, b)Curva de diferentes sensores

2.2.2 Sensor de posición del acelerador

Sensor TPS (Throttle Position Sensor), este sensor es un potenciómetro que tiene las características de linealidad y grados de accionamiento, según el fabricante del motor, sus características están incluidas en el módulo del sistema, esto quiere decir que no opera igual un TPS de Ford y uno de Chrysler, pues cambian las condiciones y rangos en la operación del motor.

El potenciómetro está conectado como divisor de tensión, esto es, la ECU entrega un voltaje de referencia de 5v y tierra en los extremos del potenciómetro teniendo en el cursor del TPS un voltaje que proporcione la condición de operación del motor.

Para el caso de marcha mínima la mariposa se encuentra cerrada y el voltaje en el cursor del sensor será mínimo por lo general 0.5V y durante la aceleración a fondo la mariposa se encuentra completamente abierta y el potenciómetro está en el máximo, presentando en el cursor del TPS un voltaje máximo, que es el de referencia (5v).

La operación de este sensor es muy importante debido a que informa a la ECU cuándo se está acelerando y en qué medida, es decir, acelera y desacelera. Cuando el sensor reporta 5.0 volts significa que se está acelerando a fondo y la computadora asume que el conductor requiere toda la potencia del motor por ejemplo: durante un rebase enriquece la mezcla aire/combustible y modifica el tiempo de encendido para hacer más eficiente la combustión.

Cuando se acelera a fondo y no hay referencia del sensor de RPM, la ECU detecta que el motor está apagado o ahogado, en este momento empobrece la mezcla por completo y no inyecta gasolina. La condición de aceleración a fondo se denomina WOT (Wide Open Throttle)

En la Figura 2.4 a) se muestran la tabla de los rangos de operación del sensor TPS, en la Figura 2.4 b) se muestra la gráfica de operación del sensor TPS de la marca Ford.

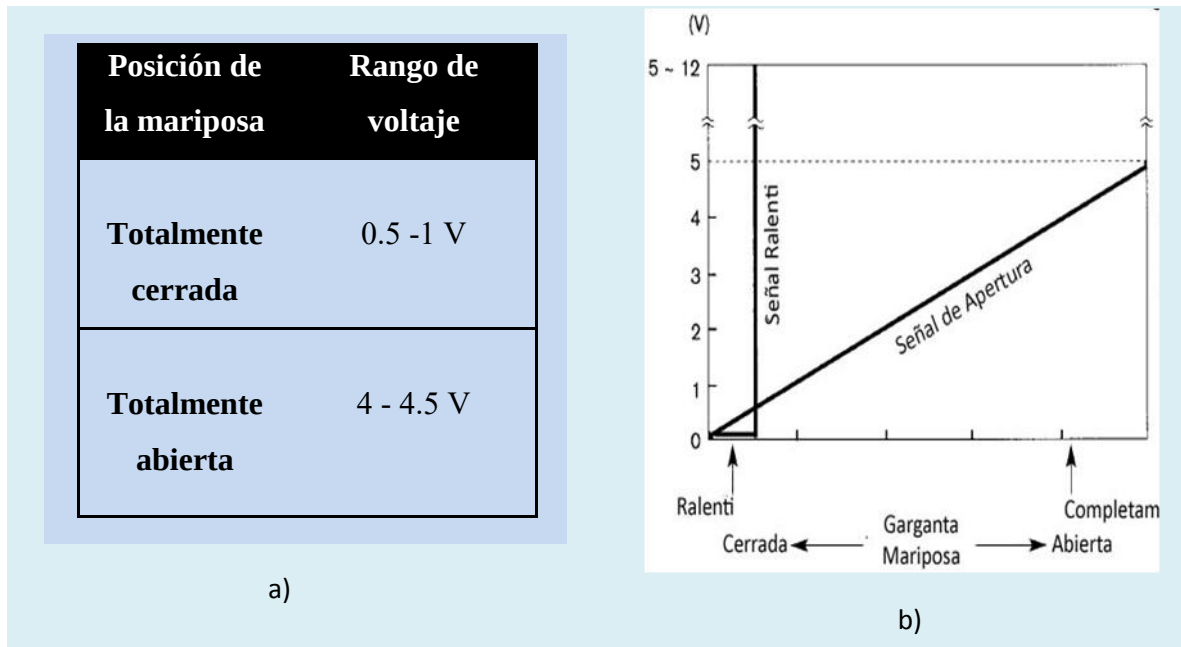


Figura 2.4 Comportamiento del sensor TPS

Los valores no mostrados en la tabla dependen directamente de la posición del pedal que es accionada por el conductor.

2.3 Sensores con respuesta en frecuencia

Dentro de los sensores que generan una señal digital de frecuencia variable están el sensor CKP, sensor MAP y el sensor de Oxígeno en este apartado se detalla el funcionamiento de cada sensor.

2.3.1 Sensor de posición del cigüeñal

Los sensores de velocidad del cigüeñal (CKP) se utilizan para medir la velocidad de rotación del cigüeñal, esta información es utilizada por la ECU para controlar los requerimientos del motor y los sistemas de sincronización de encendido.

La información de temporización es enviada desde el sensor de velocidad del cigüeñal a la ECU, las revoluciones por minuto del motor, el tiempo de encendido y orden de encendido son determinados por la información que se recibe desde el sensor del cigüeñal, esta información la interpreta la ECU para ajustar el encendido de chispa para ser adelantado o retrasado.

La señal de posición del cigüeñal (NE), es conocida como posición del cigüeñal por la ECU. Esta información es útil para determinar la posición del pistón 1 en el PMS (Punto Muerto Superior), RPM (Revoluciones Por Minuto) del motor, fallo de encendido del motor, etc. Esta señal es la más importante para determinar el tiempo de encendido de la chispa.

Una marca de referencia en la cremallera se representa por un diente que falta, el cual es el punto de referencia para la posición del cigüeñal.

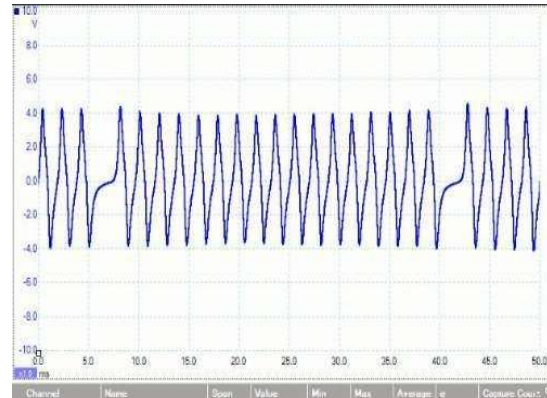
Existen dos tipos de sensores de velocidad de cigüeñal, los que generan una señal digital (Sensor de Efecto Hall) y los que generan una señal de frecuencia utilizando una bobina, los sensores de efecto Hall generan una señal en conjunto con la tensión pull-up de la computadora, esta señal es captada en la cremallera (Rueda dentada con una marca de referencia) al momento de pasar el diente por el sensor este genera una inversión de polaridad en la tensión Hall ocasionando que la tensión pull-up proveniente de la computadora interprete ese dato como cero, los CKP generadores de frecuencia por lo general cuentan con dos líneas, muchas de las veces este tipo de sensor no cuenta con una línea de alimentación, esto depende del fabricante, ya que a la ECU solo le interesa la frecuencia generada

$$RPM = frecuencia * 60 \quad (1)$$

En la Figura 2.5 a) se muestran la tabla de los rangos de operación del sensor del sensor CKP, de efecto hall, en base a los cálculos realizados en (1). En la Figura 2.5 b) se muestra la gráfica de operación del sensor CKP de la marca Ford. Para cumplir con nuestro objetivo no es necesario crear la señal como se muestra en dicha figura basta con generar un pulso negativo marcado por la muesca faltante de la cremallera para que la ECU sea capaz de identificar el pistón número 1 en el PMS

Frecuencia Hz	RPM
15	900
41	2460
75	4500
108	6480
133	7980

a)



b)

Figura 2.5 a) Relación Frecuencia- RPM, b) Salida del sensor del efecto hall

2.3.2 Sensor de Presión Absoluta del Múltiple (MAP)

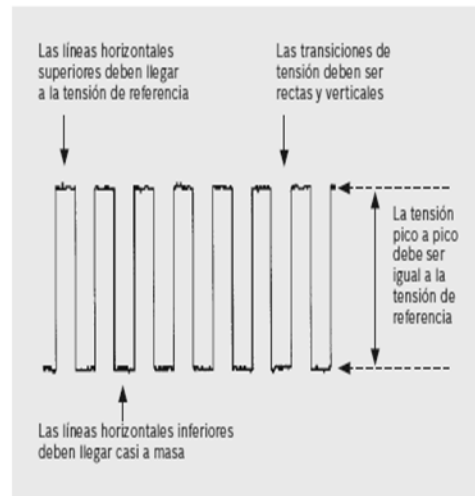
El sensor de presión absoluta del múltiple de admisión, está localizado en el compartimiento del motor y está conectado a través de una manguera al múltiple de admisión. La función de este sensor es medir la presión existente cuando el motor está funcionando y detecta los cambios de presión en el múltiple de admisión. La información de este sensor es utilizada por la ECU para controlar el avance, retraso del tiempo de encendido y la amplitud del pulso de inyección. Cuando la presión en el múltiple de admisión es de aproximadamente 14 in/hg durante la marcha mínima, La señal del sensor de admisión estará en un rango de 90 a 100hz y durante una máxima aceleración la presión en el múltiple provoca que la señal de salida este aproximadamente entre 140 a 150 Hz, la señal que genera el sensor MAP de Ford tienen un ciclo de trabajo del 25%, si se presenta una falla en este sensor el motor opera de manera inadecuada.

En la Figura 2.6 a) se muestran la tabla de los rangos de operación del sensor MAP, en la Figura 2.6 b) se muestra la gráfica de operación del sensor MAP de la marca Ford. Estos rangos pueden variar dependiendo del modelo del vehículo.

In/Hg	Frecuencia (Hz)
0	150
1	147
2	141
3	135
4	130
5	125
6	120
7	114
8	109
9	104
10	99
12	95
14	90

a)

Sensor de presión absoluta en el colector (MAP) digital



b)

Figura 2.6 a) Relación presión-Frecuencia, b) salida del sensor MAP

2.3.3 Sensor de combustión adecuada de combustible

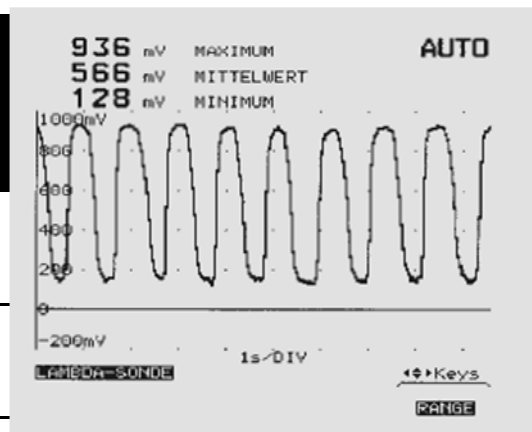
El sensor lambda es el único sensor que le indica a la ECU el tipo de mezcla que se ha llevado a cabo. En caso de una mezcla incorrecta la ECU hace la corrección unas 30 veces por minuto. Con el objetivo de tener la relación Aire/Combustible ideal y garantizar la mayor potencia y la menor contaminación posible.

El sensor de oxígeno genera una señal promedio cuando alcanza una temperatura mínima de 600°C. Para que el sensor se caliente rápidamente y se mantenga caliente tanto en ralenti como en altas RPM's. El sensor de oxígeno tiene una resistencia calefactora en su interior. Este calefactor también es controlado por la ECU.

Dependiendo del contenido de oxígeno en el puerto de escape, la ECU puede determinar la composición de aire/combustible que está entrando a los cilindros, si la mezcla resulta ser "pobre" el voltaje producido por el sensor será bajo (0.1-0.4 Volts), si este es el caso la ECU se encarga de inyectar mas gasolina.

En la Figura 2.7 a) se muestra el comportamiento de un sensor de Oxígeno para la marca Ford, En la Figura 2.7 b) se muestra la forma de onda para un sensor de oxígeno, para lograr nuestro objetivo es perfectamente válido probar la ECU con una señal cuadrada con amplitud de 1 volt con frecuencia máxima de 1Hz

Condición de la mezcla	Cantidad de gasolina	Cantidad de Oxígeno	Frecuencia
Mezcla rica	Mucha gasolina	Poco oxígeno	100mhz
Mezcla pobre	Poca gasolina	Mucho oxígeno	1hz



a)

b)

Figura 2.7 a) Respuesta del sensor lambda, b) señal del sensor.

2.4 Descripción del funcionamiento de la ECU del motor

En un sistema de inyección electrónica que funciona adecuadamente, los sistemas de avance de chispa y control de inyección, deben operar de manera adecuada permitiendo mejorar el desempeño del automóvil y reduciendo las emisiones contaminantes.

Para una máxima eficiencia del motor, la mezcla aire/combustible debe ser encendida a la máxima presión, esto se obtiene aproximadamente a 10° después del PMS(Punto Muerto Superior). Conforme aumenta la velocidad del motor, se reduce el tiempo para que la mezcla aire combustible complete su combustión en el momento adecuado; Esto se debe a que el pistón se desplaza más rápido. Aquí es donde entra la función de la ECU, al estar

controlando el momento en que se produce la señal IGT (Ignition Timing), al modificar el tiempo en que se apaga la señal IGT la ECU cambia el tiempo de encendido de la chispa.

La ECU calcula la señal IGT basada en los modos de operación y las condiciones de operación del motor. La señal IGT está basada principalmente en la señal de posición del cigüeñal, carga y temperatura del motor.

2.4.1 Modo de operación marcha mínima.

Durante el arranque, la velocidad del motor todavía está por debajo de las RPM's de marcha mínima y es inestable durante e inmediatamente después del arranque, el tiempo de encendido se empieza a controlar hasta que la operación del motor se estabiliza.

La ECU es informada cuando el motor esta estable, esto ocurre cuando se alcanzan las revoluciones de marcha mínima y además se reciben las señales G (señal generada por el árbol de levas) y NE (señal generada por el sensor de posición de cigüeñal), en algunos modelos se utiliza la señal de Start.

Una vez encendido y estabilizado el motor, el control de ignición calcula y ajusta la sincronización de encendido de la mezcla, basándose en las condiciones actuales de operación del motor. El cálculo y ajuste de tiempo de encendido de la mezcla se lleva a cabo en una serie de pasos, empezando con el control básico del avance de encendido; varias *correcciones* son agregadas al ángulo del encendido inicial y al ángulo de encendido básico durante el funcionamiento normal del motor.

Las correcciones basadas en las señales de los sensores correspondientes (TPS, OXIGENO, CKP etc...) se añaden al ángulo del encendido inicial y al ángulo de avance de encendido básico que es determinado por el sensor MAF y MAP.

2.5 Sistemas a controlar de la ECU

Todos los sensores analizados con anterioridad son entradas a la ECU, para obtener un control en dos factores que son de suma importancia para el funcionamiento del automóvil, obtener el máximo rendimiento y reducción de las emisiones contaminantes. Control de ángulo de disparo de chispa y la cantidad de combustible a inyectar en los cilindros.

2.5.1 Ángulo de disparo de chispa

Este parámetro tiene como base de tiempo la señal del sensor del cigüeñal, los demás sensores aportan información para la estimación del tiempo de encendido de la chispa pero quien determina la referencia es el PMS utilizando el sensor de cigüeñal.

La ignición ocurre a un ángulo del cigüeñal entre 5° y 10° (dependiendo del motor) Antes del PMS, sin importar las condiciones de funcionamiento del motor y esto se llama ángulo inicial de tiempo.

El rango que maneja la ECU para la variación del Ángulo de la chispa es de 0° a 20° este rango es justo cuando termina la etapa de ignición. En este momento el pistón se encuentra en el PMS y la mezcla debe estar lista para ser encendida en el momento que la ECU mande la señal al sistema de disparo.

En la Figura 2.8, se observa el Ángulo de avance de ignición.

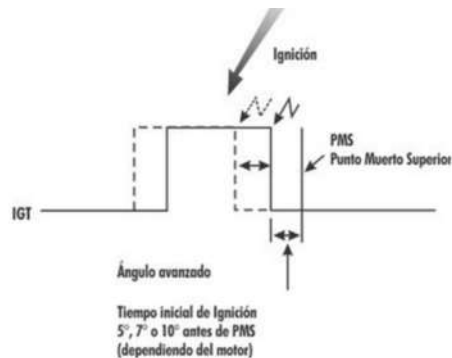


Figura 2.8 Ángulo de ignición

2.5.2 Tiempo de inyección de combustible

Esta señal es generada por la ECU y se encarga de calcular cuánto combustible necesita para que el motor responda de acuerdo a las exigencias del conductor. Este sistema dosifica la gasolina que deben entregar los inyectores de acuerdo a distintas señales que la ECU recibe de sensores como el TPS (Throttle Position Sensor), CKP (Crankshaft Position), MAP (Manifold Absolute Pressure), MAF(Mass Air Flow), ECT (Engine Coolant Temperature) y sensor Lambda.

En la Figura 2.9 se muestra el actuador encargado de pulverizar el combustible dentro del múltiple de admisión ó directamente en la cámara de combustión, esto depende del sistema con que viene equipado el vehículo.



Figura 2.9 Inyector de combustible

En la Figura 2.10 a) se muestra el tiempo de inyección para el modo de operación Ralentí en la Figura 2.10 b) se observa el tiempo de inyección cuando el motor tiene carga pesada.

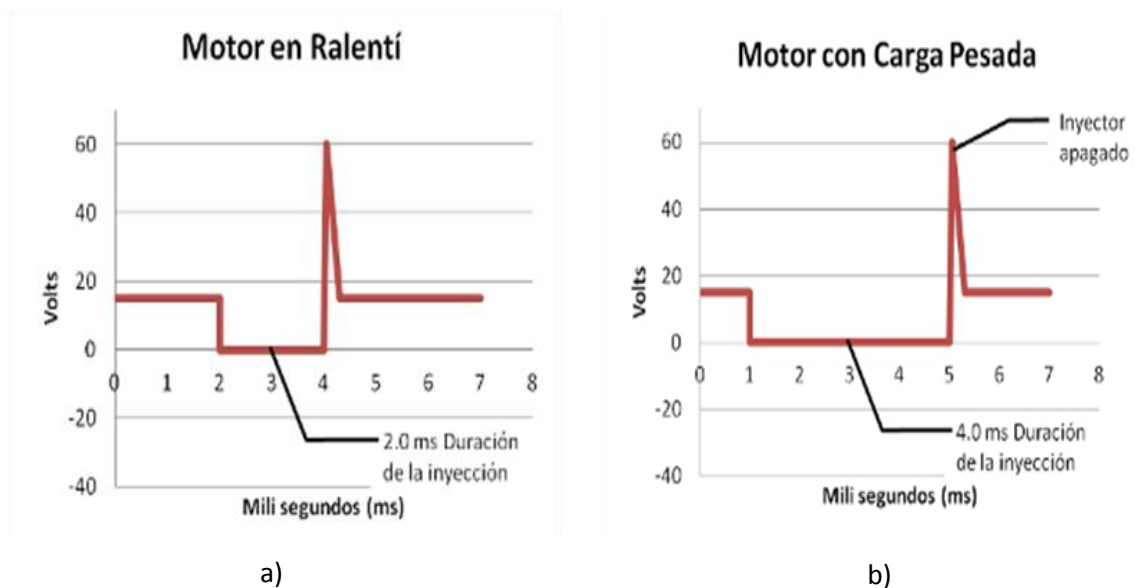


Figura 2.10 a) Operación en ralenti, b) con carga pesada.

2.6 Sistema de control de marcha mínima

Sin un sistema de marcha mínima ó (ralenti) no sería posible controlar las RPM's mínimas de un motor, además el ralenti es el modo de operación más sensible al que un motor puede estar sometido.

El sistema de control de marcha mínima se utiliza para estabilizar la velocidad ralenti del motor durante arranques en frío y después de condiciones de operación tras un periodo de calentamiento. La estabilización de la velocidad ralenti se necesita debido al efecto que los cambios de requerimientos de trabajo y esfuerzo que se ejercen sobre el motor tienen un efecto directo sobre las emisiones contaminantes y calidad de la marcha mínima del vehículo en general.

El sistema By-pass utiliza a la ECU para controlar la Válvula de Control de Aire de Marcha Mínima (Válvula By-pass) que regula el volumen de aire que se desvía alrededor del papalote cerrado del cuerpo de aceleración. La ECU controla la Válvula By-pass al aplicarle varias señales eléctricas de control que gobierna a la válvula By-pass. En la Figura 2.11 se muestra el sistema que controla el modo ralenti del vehículo.



Figura 2.11 Válvula By-pass de Ford

3 Construcción física del emulador

En la interfaz grafica de la PC se tienen distribuidos sensores y actuadores. La señal de los sensores se aplican a la ECU bajo prueba y la respuesta de ECU se visualiza en indicadores y en un juego de leds. En la Figura 3.1 se muestra el diagrama de bloques del sistema.

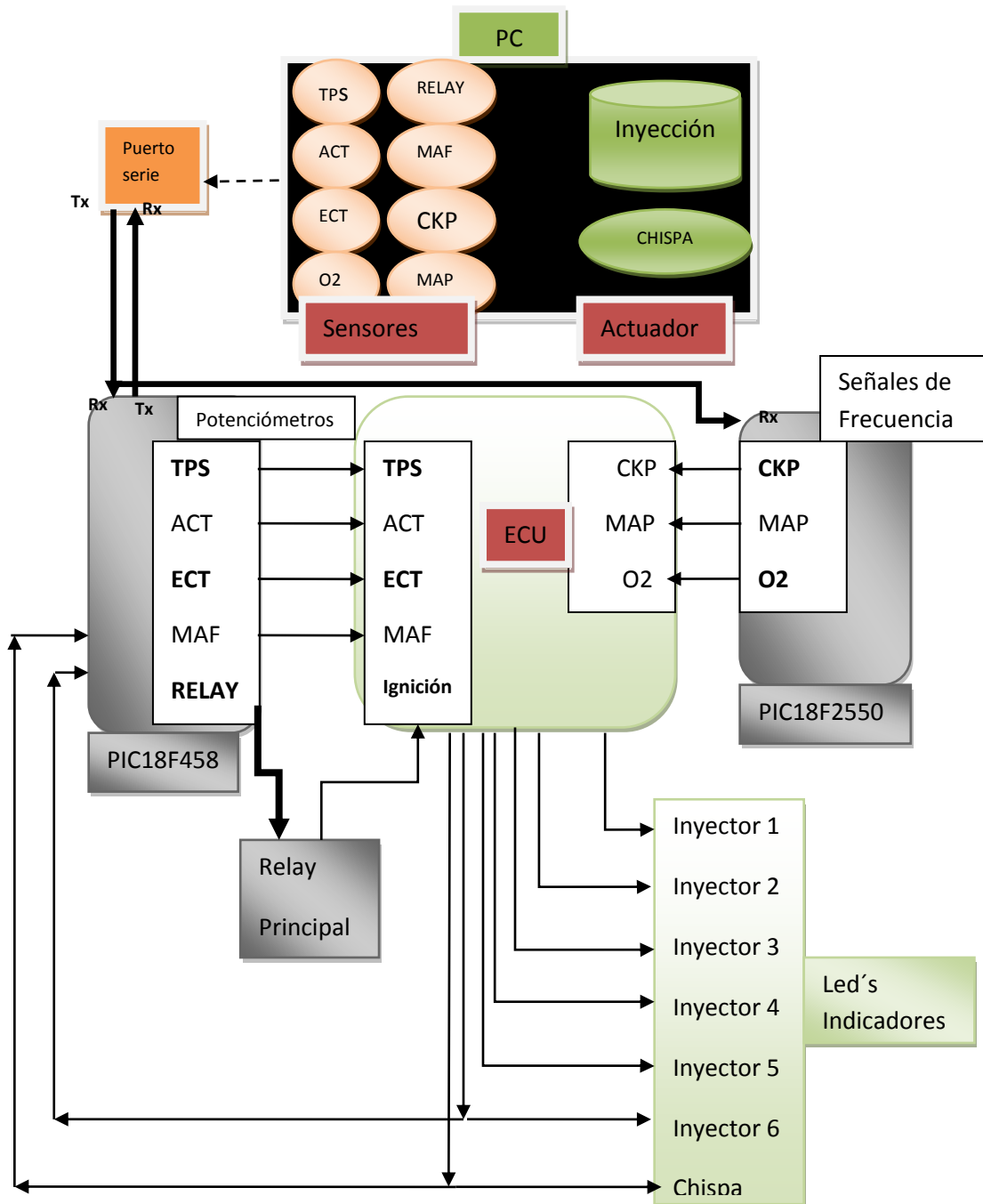


Figura 3.1 Diagrama de bloques del sistema

Un solo microcontrolador no es suficiente para generar todas las señales necesarias para emular el funcionamiento de un vehículo es por esto que se utilizan dos microcontroladores para generar las señales necesarias para el funcionamiento de la ECU. La PC requiere de un puerto serial para conectar el emulador y ambos microcontroladores reciben la información necesaria para generar los rangos adecuados de cada variable dependiendo del tipo de señal que maneja los sensor Ford.

La conexión de dos microcontroladores a una misma señal de recepción hace indispensable la implementación de un protocolo de comunicación que permita identificar el parámetro a modificar así como su magnitud. Este protocolo permite identificar además posibles errores en la transferencia de información.

3.1 Conexión de la PC con el Emulador

La mayoría de las computadoras actuales no cuentan con un puerto de conexión serie, entonces es necesario un convertidor USB-Serial para realizar la conexión entre el emulador y la PC para poder transferir información de la PC al microcontrolador y viceversa, En la Figura 3.2 se muestra el convertidor utilizado.



Figura 3.2 Adaptador USB-Serial TTL

3.2 Microcontrolador PIC18F458

Para el desarrollo del proyecto se utilizan los microcontroladores PIC18F458 y PIC18F2550 los cuales son utilizados para monitorear y controlar las señales de entrada/salida cumpliendo la función de una DAC. Las señales de entrada de la ECU, son controladas en la interface de usuario.

Este es un microcontrolador de 40 pines el cual se alimenta de 5volt y tierra, se trabaja con un cristal de 20Mhz, los periféricos del microcontrolador que se utilizan en la construcción del proyecto se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Periféricos usados del PIC18F458

PIC18F458
USART
CCP1
CCP2
TIMER 1
TIMER 3
TIMER 2
SPI
PUERTO D
PUERTO B

En las Figura 3.3 se muestra el diagrama de conexiones del microcontrolador PIC18F458 así como la función de cada uno de los pines. Este microcontrolador tiene la función de enviar la señal de activación al relevador principal el cual energiza a la ECU y a la bomba de combustible .

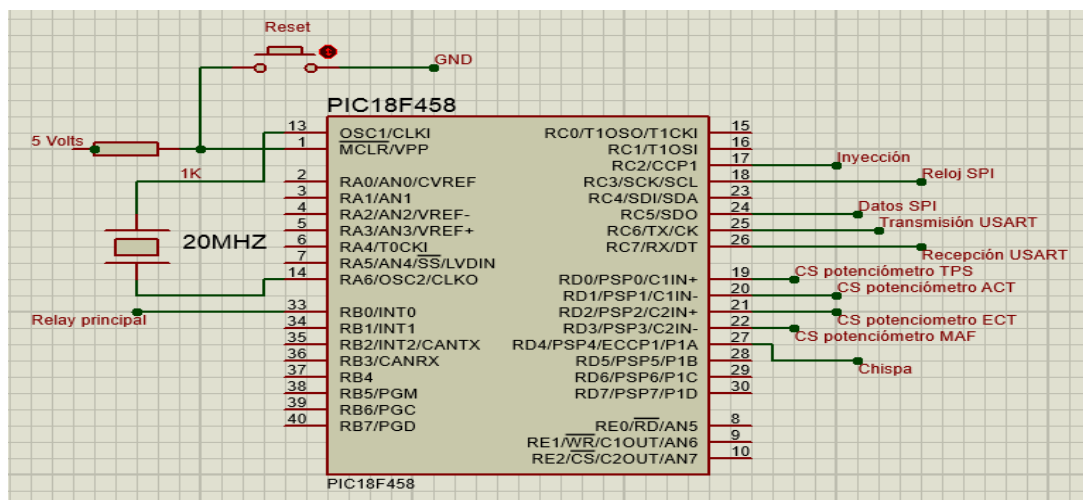


Figura 3.3 Conexiones del microcontrolador PIC18F458

3.2.1 Relevador principal

El relevador principal es el responsable de alimentar con 12 volts a la ECU así como al sistema de inyección (Bomba de gasolina) si este relevador presenta alguna irregularidad todo el sistema de inyección y chispa no funcionara. En la Figura 3.4 se muestra el diagrama esquemático del circuito del relevador.

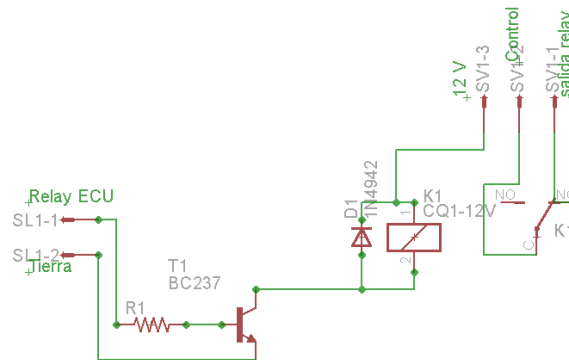


Figura 3.4 Diagrama esquemático del relevador principal

3.2.2 Comunicación serial

El puerto USART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) comúnmente conocido como puerto serie, permite compartir información con otro microcontrolador, una PC u otro dispositivo, en este caso si la PC no cuenta con un puerto serie, es necesario un convertidor USB- SERIAL.

La comunicación serie consiste en el envío de información de manera secuencial, esto es, un bit a la vez y a una velocidad establecida entre el transmisor y el receptor, esta velocidad debe ser la misma entre los dispositivos conectados.

Para el microcontrolador PIC18F458 se utilizan las dos líneas de comunicación (Tx y Rx) como se muestra en la Figura 3.5.

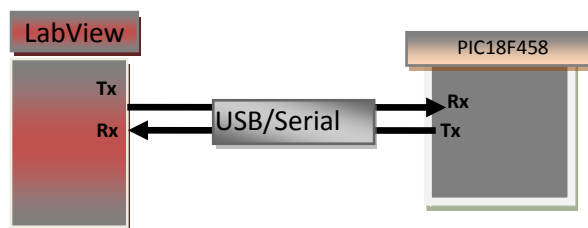


Figura 3.5 Comunicación serial PC - PIC18F458

3.2.3 Comunicación SPI

La familia de los PIC18 dispone de varias opciones de comunicaciones serie. Además del puerto serie USART tiene un puerto dedicado a comunicaciones síncronas serie, SSP (Serial Synchronous Port). Este puerto está dedicado a los protocolos SPI e I2C. El SSP solo puede operar en modo SPI ó I2C.

El protocolo SPI se utiliza para realizar comunicación entre los potenciómetros digitales (MCP4161) y modificar los parámetros de resistencia de cada potenciómetro.

La comunicación se realiza siguiendo el modelo maestro/esclavo donde el maestro selecciona al esclavo y comienza el proceso de transmisión de información.

La interface SPI en el microcontrolador permite la transmisión y recepción síncrona simultanea (Full Duplex) de datos de 8 bits. En este caso se tiene al microcontrolador como un dispositivo Maestro que genera la señal de reloj y varios esclavos que reciben la señal de reloj.

En la Figura 3.6 se muestran los potenciómetros conectados al microcontrolador mediante el modelo maestro/esclavo.

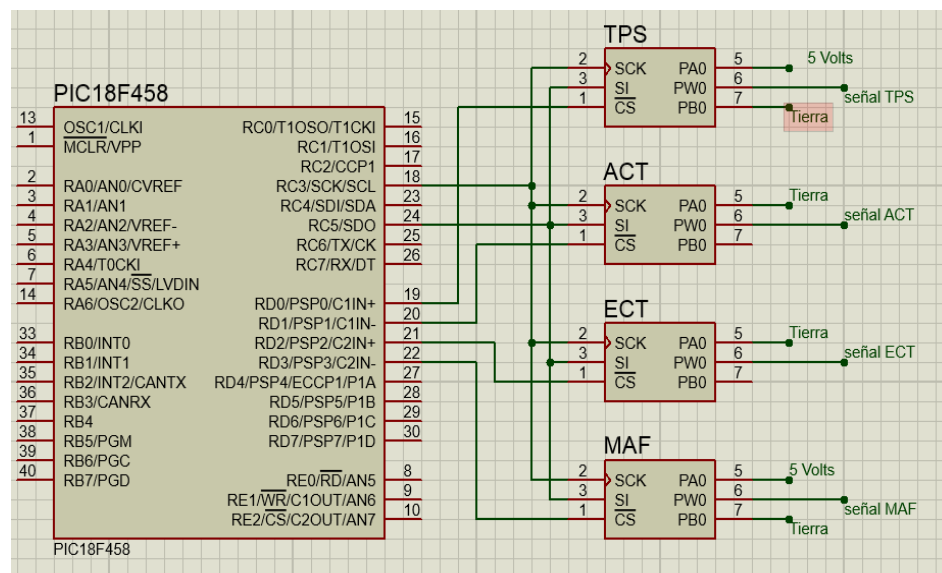


Figura 3.6 Conexión para comunicación SPI modelo maestro/esclavo

3.2.4 Los potenciómetros digitales

El funcionamiento de los potenciómetros mecánicos está basado en el movimiento de una perilla, al girar la perilla la resistencia se modifica. El principio de operación de un potenciómetro digital es conmutar una serie de interruptores conectados en paralelo de una serie de resistencias, la diferencia principal es que para variar la resistencia se hace utilizando interruptores digitales que se encuentran dentro del potenciómetro

En Figura 3.7 se muestra el diagrama de pines del potenciómetro digital MCP4161 de microchip.

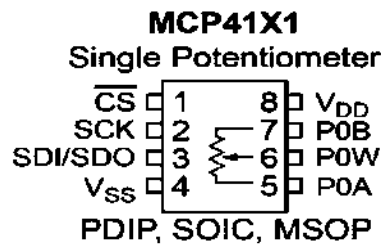


Figura 3.7 Potenciómetro digital MCP4161

3.2.5 Resolución de los potenciómetros digitales

El potenciómetro digital seleccionado MCP4161 es utilizado para:

- El voltaje del sensor TPS este potenciómetro tiene un valor de 5kΩ.
- La resistencia del sensor ACT este potenciómetro tiene un valor de 50kΩ.
- La resistencia del sensor ECT este potenciómetro tiene un valor de 50kΩ.
- El voltaje del sensor MAF este potenciómetro tiene un valor de 5kΩ.

Este potenciómetro tiene 8 bits de resolución para seleccionar el paso del potenciómetro, lo que nos permite tener 256 pasos en el rango del valor del potenciómetro (señal de entrada a la ECU).

La (2) muestra el incremento en Ω para potenciómetros de 5KΩ.

$$1 \text{ paso} = \frac{5k\Omega}{256} = 19.5\Omega \quad (2)$$

En (3) se muestran los incrementos para los potenciómetros de 50KΩ.

$$1 \text{ paso} = \frac{50k\Omega}{256} = 195.3\Omega \quad (3)$$

3.2.6 Los sensores resistivos

Los sensores de temperatura de tipo resistivo se utilizan para medir la temperatura del Anti-congelante del motor (ECT), Temperatura del Aire de Admisión (ACT).

El sensor ECT responde a los cambio que se presentan en la temperatura del anticongelante del motor. Con este dato, la ECU obtienen el promedio de temperatura del motor. El sensor ECT usualmente se localiza en la toma de agua.

El sensor ACT es utilizado para detectar la temperatura promedio del aire a temperatura ambiente en un arranque en frío y continua midiendo los cambios en la temperatura del aire a medida que el motor se comienza a calentar.

Una estrategia que utiliza la ECU para determinar si el vehículo está encendiendo en una condición de arranque en frío, es comparando las dos señales, tanto la señal del ECT como la señal ACT. Si ambas señales están dentro de un rango de 8° C una de la otra, entonces la ECU asume que el clima esta frío y que se trata de una condición especial de arranque en frío y por lo tanto el tiempo de inyección necesita ser más grande para tener más combustible y poder mantener el motor en funcionamiento.

Para emular las señales de estos sensores de temperatura se utilizan potenciómetros digitales MCP4161 de 50KΩ para obtener los rangos de referencia que se muestran en los manuales de Ford. Los valores de estos potenciómetros cambian dependiendo del tipo de sensor y de la marca del vehículo.

3.2.7 Los sensores de voltaje

El sensor TPS ó sensor de garganta-mariposa indica la posición del papalote en el cuerpo de aceleración y convierte el ángulo del papalote del cuerpo de aceleración en una señal eléctrica, a medida que el papalote se abre el voltaje de la señal se incrementa.

El sensor de flujo de masa de aire MAF se localiza en el ducto de entrada de aire, entre el filtro de aire y el cuerpo de aceleración este sensor convierte la cantidad de aire que el

motor aspira hacia el múltiple de admisión en un voltaje en función del flujo de masa de aire. La ECU necesita saber el volumen de aire para calcular la carga del motor.

Estos dos sensores son necesarios para calcular cuánto combustible inyectar, cuando iniciar la chispa en cada uno de los cilindros y cuando realizar los cambios en la transmisión automática. Para poder emular estas dos señales se utiliza el potenciómetro digital MCP4161 de 5k Ω .

3.2.8 Adaptación de las señales a monitorear

Debido a que las señales de inyección y chispa van directamente a los actuadores, los voltajes superan los 10 volts. Es necesario acondicionar la señal de la ECU para limitar el voltaje al máximo permitido por el microcontrolador. El circuito diseñado incluye un diodo Zener de 5.1 volts y una resistencia para acondicionar las señales y evitar dañar el microcontrolador. Las señales de entrada se muestran en la Figura 3.3 , con las etiquetas de inyección y chispa.

En la Figura 3.8 se muestra el diagrama para acondicionar la señal.

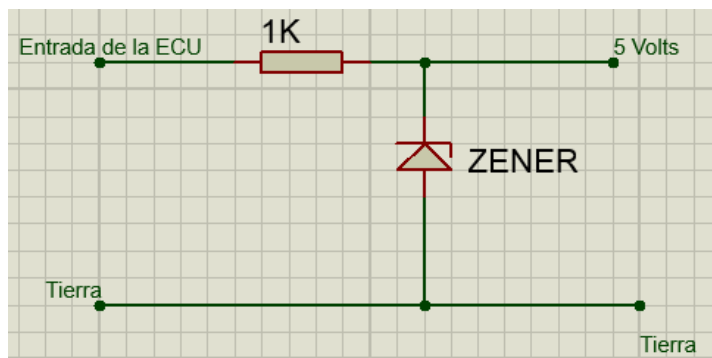


Figura 3.8 Acondicionamiento de las señales de Inyección y chispa

3.3 Microcontrolador PIC18F2550

Este es un microcontrolador de 28 pines el cual requiere una fuente de 5volt y tierra, se trabaja con el oscilador interno de 1Mhz, los periféricos del microcontrolador que se utilizan en el desarrollo del proyecto se muestran en la Tabla 3.2

Tabla 3.2 Periféricos utilizados del PIC18F2550

PIC18F2550
TIMER 0
TIMER1
TIMER 2
PUERTO C

3.3.1 Comunicación serial

Para el microcontrolador PIC18F2550 se utilizan únicamente la línea de comunicación (Rx) como se muestra en la Figura 3.9. Debido a que este microcontrolador no transmite información a la interfaz de usuario solamente recibe información para generar señales de los sensores con respuesta en frecuencia.

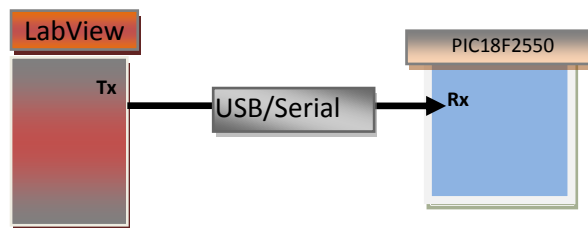


Figura 3.9 Comunicación serie PC - PIC18F2550

3.3.2 Sensores con respuesta en frecuencia

Los sensores de cigüeñal (CKP) se utilizan para medir la velocidad de rotación del cigüeñal, esta información es utilizada por la ECU para controlar los requerimientos del motor y los sistemas de sincronización de encendido; mediante este sensor la ECU detecta el PMS del pistón número 1. Este sensor tiene un rango de frecuencia entre 15 y 133 hz.

La función del sensor MAP, es medir la presión atmosférica existente en el múltiple de admisión. Durante la operación del motor este sensor detecta los cambios de presión. La información de este sensor es utilizada por la ECU para controlar el avance-retraso del tiempo de encendido y la amplitud del pulso de inyección. Este sensor maneja un rango de frecuencia entre 90. y 180hz dependiendo de la presión atmosférica existente en el múltiple de admisión.

La función del sensor de Oxígeno es informar a la ECU la calidad de la combustión, este sensor maneja un rango de frecuencia de 100mh a 1hz. Dependiendo si la mezcla en el múltiple de escape fue rica ó pobre en combustible.

Estas tres señales son generadas en el microcontrolador PIC18F2550 y su diagrama se muestra en la Figura 3.10.

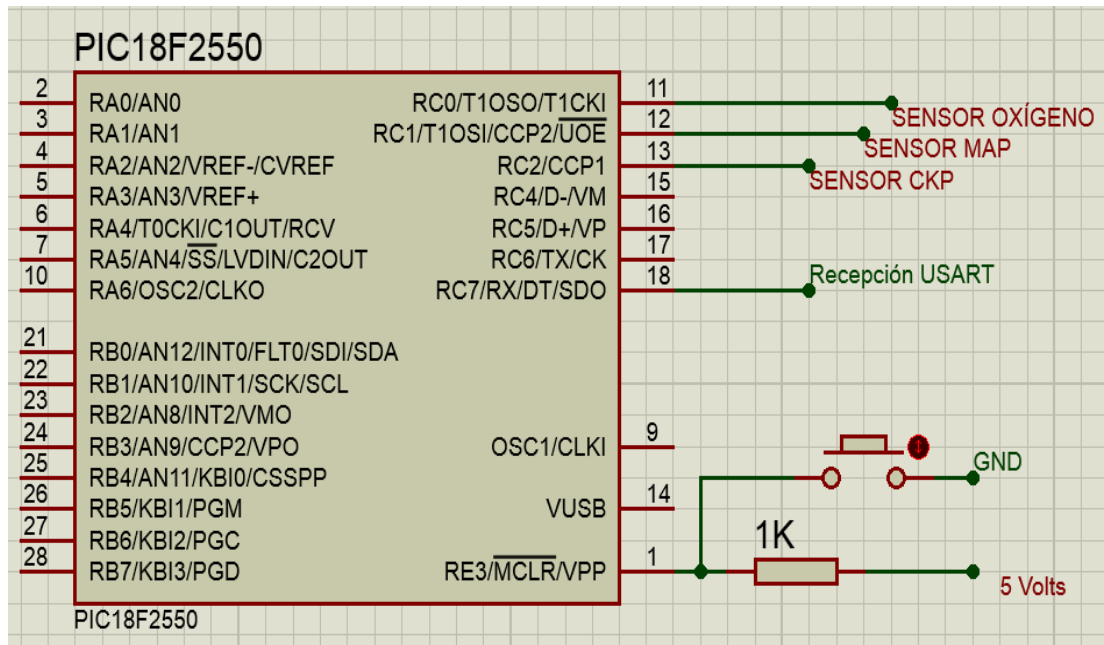


Figura 3.10 Diagrama esquemático del PIC18F2550 para emular señales de frecuencia

3.4 Led's indicadores

Para visualizar de manera rápida si la ECU está generando las señales de Inyección y chispa, se colocan leds indicadores utilizando una conexión en ánodo común debido a que la salida de la ECU es de colector abierto para la activación de los inyectores y generación de chispa.

En la Figura 3.11 se muestra el diagrama esquemático de los led's indicadores.

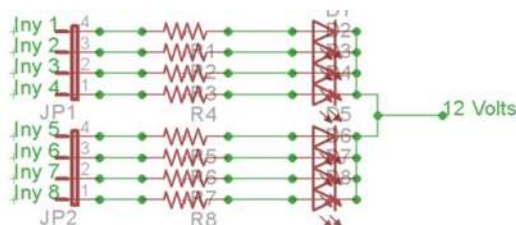


Figura 3.11 Led's indicadores de Inyección y Chispa

3.5 Características de la ECU bajo prueba

Los dos módulos de control caracterizados en este trabajo, cuentan con el sistema EEC-V (Electronic Engine Control) desarrollado por Ford en el año 1978, las características de cada ECU se describen a continuación. ECU Ranger 1989, 6 cilindros, conector de 60 cavidades, sistema de inyección SFI (Sequential Fuel Ignition). ECU Ranger 1992, 6 cilindros, conector de 60 cavidades, sistema de inyección por bancos.

Debido a que las dos ECU son de camioneta tipo pick up y con el mismo arnés. Solo se muestra una tabla, en la Tabla 3.3 se muestra las conexiones necesarias para probar la ECU así como los sensores caracterizados.

Tabla 3.3 Conexiones para la ECU 1992

Función del pin	Numero de pin
Corriente de ignición	1
Relay principal (12v)	37,57
Tierra	20,40,60
Tierra	46
TPS,ACT,ECT,MAF,MAP	
Señal TPS	47
Señal ACT	25
Señal MAP	45
Idle	21
Señal CKP	56
5 volts para los sensores	26

Señal del ECT	7
Salida de chispa	36
Señal MAF	14
Señal OXIGENO	29
Salida de inyectores	58-59

En este caso el Relevador principal alimenta a la bomba de combustible, no siempre es así, algunas marcas manejan dos los relevadores de manera independiente.

3.6 Emulador desarrollado

En la Figura 3.12 se observa el emulador desarrollado, en esta versión del emulador su construcción se realizó en ProtoBoard.

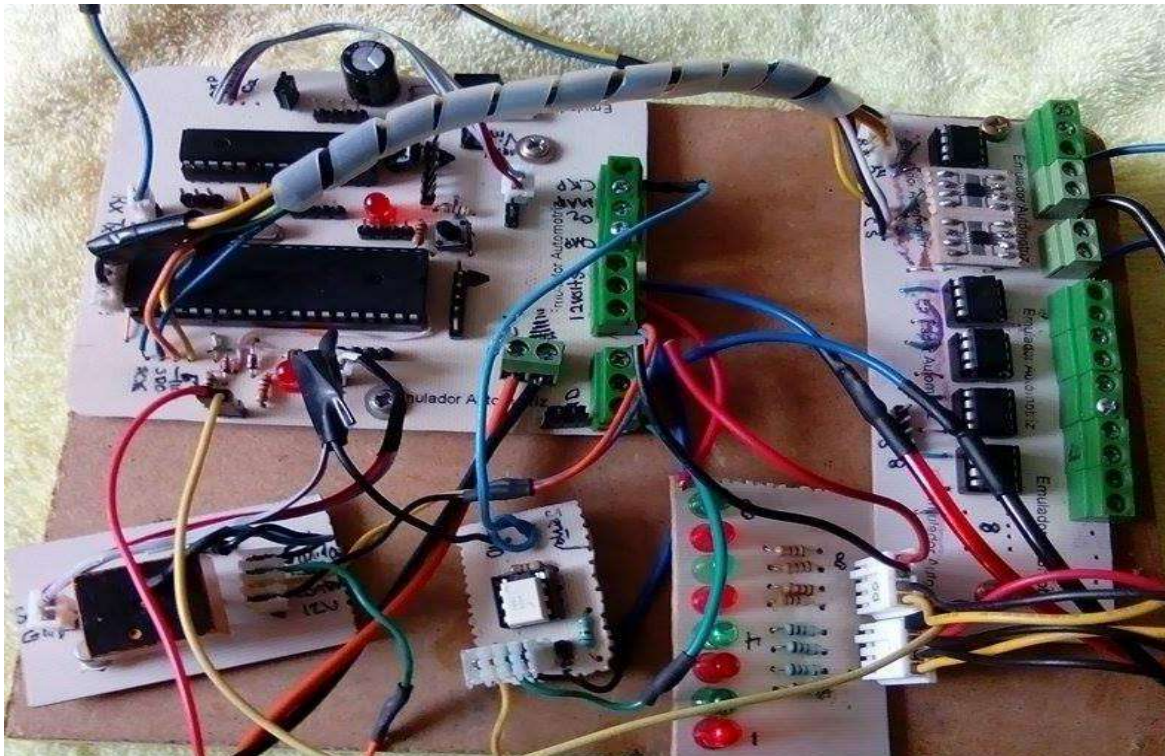


Figura 3.12 Hardware del emulador desarrollado

4 Desarrollo de software en la PC y microcontroladores

En este capítulo se presenta el software de interface con el usuario, es desarrollado en la plataforma LabView, El software de interfaz con el usuario se ejecuta en conjunto con el software del microcontrolador y el hardware que se presentó en el capítulo 3. Es necesario explicar el funcionamiento del software de la PC y los microcontroladores en conjunto para comprender la operación del sistema y generar las señales de cada uno de los sensores descritos en el capítulo 2.

4.1 Software en la PC (LabView)

La plataforma en la cual se desarrolla el software para el proyecto es un entorno de desarrollo para diseñar sistemas con un lenguaje de programación visual gráfico. El lenguaje se denomina lenguaje G. Consta de dos ventanas principales.

Front Panel.- Esta ventana es la interfaz de usuario y es donde el usuario tiene acceso a la aplicación e interactuar con la ECU, así como presentar las variables que se están controlando y monitoreando.

Block Diagram.- Esta es la ventana de programación, donde se desarrolla el algoritmo para la aplicación dependiendo de cuál sensor se debe emular.

4.1.1 El puerto serie VISA

VISA (Virtual Instrument Software Architecture) permite la operación entre instrumentos serie. Un recurso VISA permite interactuar con los dispositivos que tienen interfaz serie (en este caso los microcontroladores). Para hacer uso de los recursos VISA, se requiere instalar el software correspondiente.

Dentro del software LabView es necesario hacer la configuración del puerto serial, en la Figura 4.1 se muestra en pseudocódigo la configuración de puerto serie (VISA Configure Serial Port, VISA Write, VISA Read, VISA close)

Descripción: Este código se ejecuta en LabView para configurar el puerto serial VISA y realizar comunicación serial con los microcontroladores.

Configurar el Puerto Serial (9600)

Configurar el Puerto virtual (VISA Configure Serial Port "COM3")

Configurar la vel. Baud Rate

Configurar datos que maneja el puerto serie

Habilitar la escritura del puerto serial(VISA Write)

Habilitar la lectura del Puerto serial(VISA Read)

Cerrar la comunicación serial y mandar un mensaje de error en caso de que exista .

Figura 4.1 Configuración del puerto serial VISA

4.1.2 Protocolo de comunicación

Para la comunicación entre la PC y los microcontroladores se implementó un protocolo de comunicación que permite realizar la decodificación de la información procedente de la interface de usuario. A continuación se describe el protocolo implementado.

La transferencia de información se realiza utilizando bloques de información ó frames, la información de cada paquete es auto-contenida, esto permite procesar la información de manera independiente en cada uno de los bloques de información. Otra característica adicional es la capacidad de verificar cada paquete, esto se realiza mediante un byte de suma de verificación (checksum), que determina la integridad de la información. en la Tabla 4.1 , se muestra cada uno de los componentes de un bloque de información.

Tabla 4.1 Protocolo de comunicación

1 byte	2 bytes	1 byte	1 byte	1byte
Inicio	Longitud	Comando	Información	CheckSum
0x07E	0xNhNl	0xcmd	0xInfo	0xCS

A continuación se da una descripción de la operación de los bloque de información.

Byte inicio: Todos los bloques de información inician con 0x7E, en caso contrario no es un inicio de bloque de información y no inicia la decodificación del bloque. Después de recibir el byte de inicio, se esperan 2 bytes que indican la longitud del bloque, la longitud en bytes incluye el byte de comando. El siguiente paso es esperar los Nh:Nl (donde Nh es el byte MSB y Nl es el byte LSB), es decir puede ser desde 1 hasta 65535 bytes de información. Se programó un periodo de un segundo para esperar la información de un bloque. En caso contrario es un bloque de información NO valido y NO se procesa. Al finalizar la transferencia de información de Nh:Nl bytes, se realiza la suma de los bytes de información incluyendo el byte comando y se calcula el complemento a1 de la suma, este resultado debe ser igual al byte CheckSum.

4.2 Envío de información de LabView al puerto serie de los microcontroladores

En la, Figura 4.2 se muestra el protocolo en LabView para enviar información a los microcontroladores, de esta manera envía la información a los siete sensores a emular así como también el botón del relevador principal, el microcontrolador también realiza la decodificación mediante el mismo protocolo de comunicación.

Codificación del bloque de transmisión de información

Manda el inicio de la trama de información . send--> 0x7E

Manda los dos bytes de información send-->0x02

Envía el comando correspondiente a cada uno de los sensores a caracterizar.

TPS=0x11; Relevador principal =0x15; MAF= 0x21; ACT=0x41; ECT0x42 ; estos comandos los interpreta el microcontrolador PIC18F458.

CKP=0x51; MAP=0x52; OXÍGENO=0x53; estos comandos los interpreta el microcontrolador PIC18F2550.

Envía la información

Se realiza la suma de los bytes de información más el comando .

Al total se le resta a 0xFF y se envía al microcontrolador.

Se envía toda la cadena de información.

Figura 4.2 Construcción de bloque de información y envío

4.2.1 Panel Frontal

Esta ventana es la interfaz de usuario y es donde el usuario tiene acceso a la aplicación e interactuar con la ECU, como se muestra en la Figura 4.3.

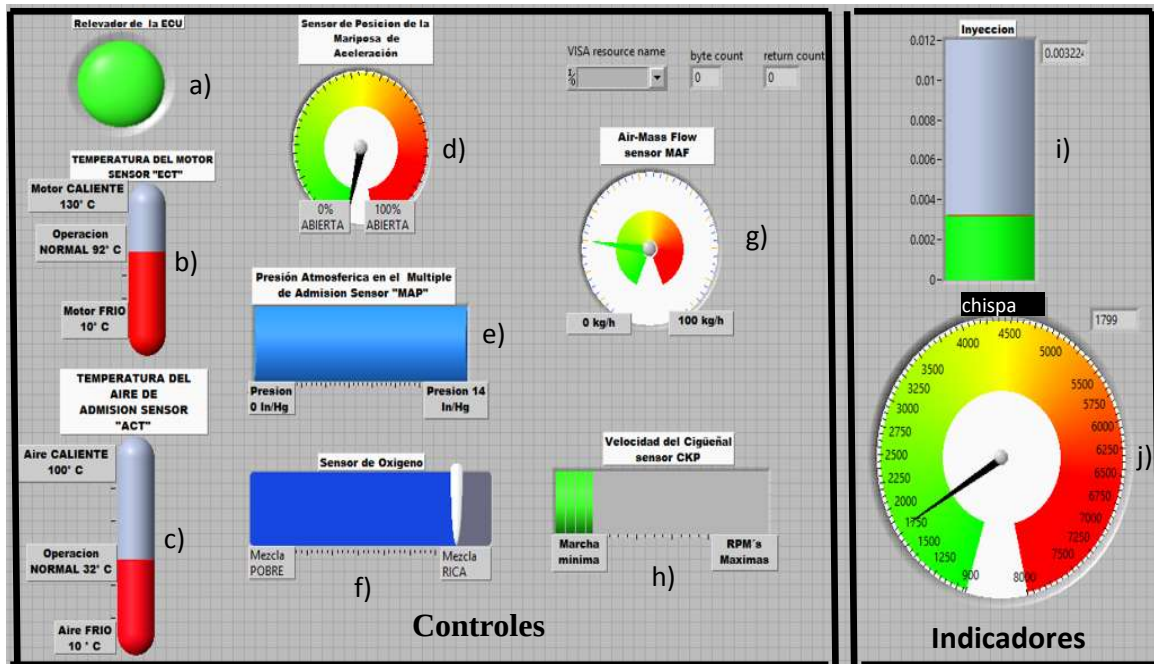


Figura 4.3 a) control del relevador principal, b) control del sensor ECT, c) control del sensor ACT, d) control del sensor TPS, e) control del sensor MAP, f) control del sensor de oxígeno, g) control del sensor MAF, h) control del sensor CKP, i) indicador de inyección, j) indicador de chispa.

4.3 Recepción de bloque de información en el microcontrolador

Cuando los microcontroladores reciben información de la interfaz de usuario el microcontrolador debe identificar el dato para actuar sobre los diversos sensores en el emulador. En la Figura 4.4 se muestra el pseudocódigo de decodificación del protocolo de comunicación implementado en los microcontroladores. Este código está implementado en ambos microcontroladores.

Descripción: Este código se ejecuta cada vez que llega un dato por el puerto serie, y dependiendo de la variable "Estado" decodifica la información que llega.

Variable de entrada: Dato
 Variables locales estáticas: Estado, Longitud, CheckSumLocal, pos
 Variables globales: DatoValido

```

Si Estado es START
    Si el Dato es 0x7E Estado = ZERO
Si Estado es ZERO
    Si el dato es 0x00
        Estado = SIZE
    En caso contrario
        Estado es START
Si Estado es SIZE
    Estado = Datos
    Longitud = Dato
    CheckSumLocal = 0
    Pos = 0
Si Estado es Datos
    Longitud - -
    Buffer[pos] = dato
    CheckSumLocal = CheckSumLocal + Dato
    Si Longitud es cero
        Estado = CheckSum
Si Estado es CheckSum
    Estado = START
    Si dato es igual a CheckSumLocal
        datoValido = TRUE
  
```

Cuando se verifica que el dato que llegó es Valido se obtiene el "comando de control", para actualizar la señal del sensor entrante a la ECU.

Figura 4.4 Decodificación del bloque de información

Para usar cualquiera de los periféricos de los microcontroladores, se requiere de una configuración previa de los registros asociados a cada periférico. A continuación se presenta la configuración de cada periférico de los microcontroladores así como los pseudocódigos que se utilizaron.

4.3.1 El puerto USART

Para poder hacer uso del periférico de comunicación serial del microcontrolador PIC18F458 es necesario hacer la configuración del puerto como se muestra en la Tabla 4.2

Tabla 4.2 Configuración del puerto serial para el microcontrolador PIC18F458

PIC18F458	
Registro	Descripción
TRISC	Rx como entrada Tx como salida
SPBRG	Vel. Transmisión =9600
TXSTA	Modo asíncrono
RCSTA	Modo de 8 bits asíncrono, Modo continuo de recepción "CREN"

El cálculo de la velocidad para el microcontrolador PIC18F458 para modo asíncrono(SYNC=0) alta velocidad (BRGH=1) Baut Rate =9600, Fosc=20Mhz. El cálculo del valor del registro SPBRG se obtiene con (4):

$$SPBRG = \frac{F_{osc}}{16 * BAUD} - 1 \rightarrow 129 \quad (4)$$

4.3.2 El puerto SPI

Como se menciona en el capítulo 3, la comunicación SPI se utiliza para comunicar el microcontrolador con los potenciómetros digitales y así poder variar los parámetros de voltaje ó resistencia de los sensores.

En la Tabla 4.3 se muestra la configuración del puerto SPI para el microcontrolador PIC18F458.

Tabla 4.3 Configuración del puerto SPI para el microcontrolador PIC18F458

Terminal	Pines	Descripción
SDO (Serial Data Out)	RC5/SDO	Salida de datos serie
SDI (Serial Data Input)	RC4/SDI/SDA	Entrada de datos
SCK (Serial Clock)	RC3/SCK/SCL	Reloj de sincronización
SS (Slavel select)	RA5/AN4/SS/LVDIN	Selección del esclavo

4.3.3 Generación de la señal del sensor de Posición del Acelerador (TPS)

Al modificar el control del TPS en la interfaz de usuario de la Figura 4.3 el microcontrolador tiene programada una función que decodifica el comando TPS que se muestra en la Figura 4.5 a) esta función permite ajustar el valor del potenciómetro y al conectar los extremos del potenciómetro a un voltaje como se muestra en la Figura 4.5 b) es posible modificar el voltaje del sensor TPS

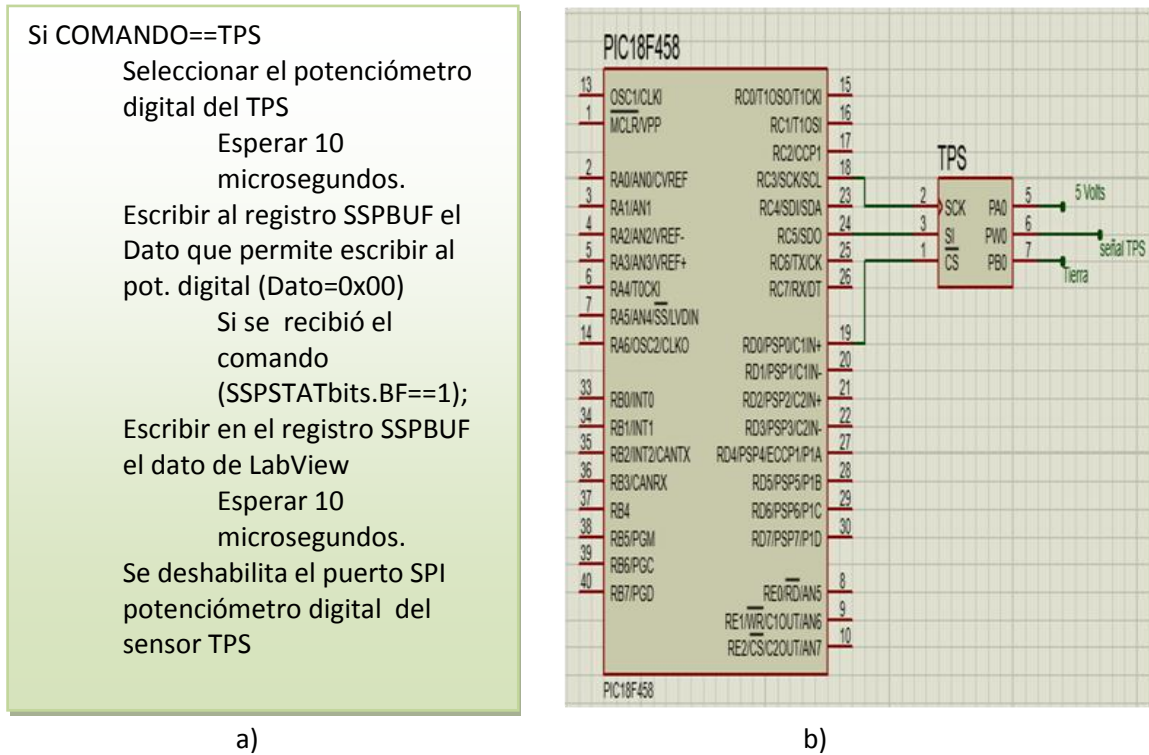


Figura 4.5 a) Pseudocódigo de control del voltaje del TPS, b) diagrama esquemático.

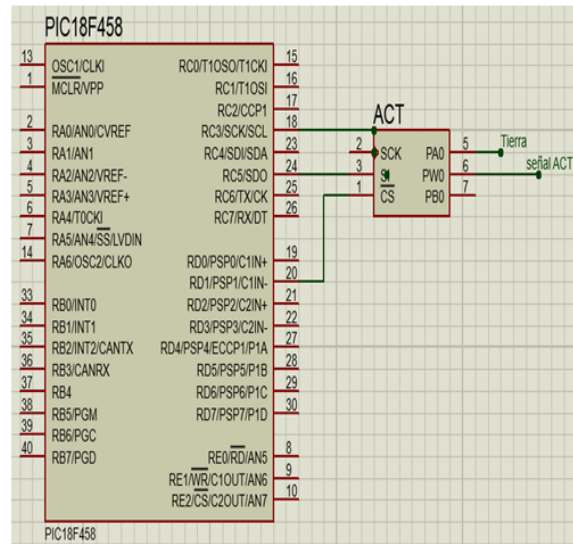
4.3.4 Generación de la señal del sensor de Temperatura del Aire en el Múltiple de Admisión (ACT)

Al modificar el control del ACT en la interfaz de usuario de la Figura 4.3 el microcontrolador tiene programada una función que decodifica el comando ACT que se muestra en la Figura 4.6 a) esta función permite ajustar el valor del potenciómetro y al conectar los extremos del potenciómetro a la entrada de la ECU como se muestra en diagrama esquemático de la Figura 4.6 b) es posible modificar el voltaje del sensor ACT

```

Si COMANDO==ACT
    Se selecciona el potenciómetro
    digital del ACT
        Esperar 10
        microsegundos.
    Escribir al registro SSPBUF el
    Dato que permite escribir al
    pot. digital (Dato=0x00)
        Si se recibió el
        comando
        (SSPSTATbits.BF==1);
    Escribir en el registro SSPBUF
    el dato de LabView
        Esperar 10
        microsegundos.
    Se deshabilita la comunicación
    SPI del potenciómetro digital
    del sensor ACT.
  
```

a)



b)

Figura 4.6 Pseudocódigo para modificar la resistencia del sensor ACT, b) Diagrama esquemático de conexiones

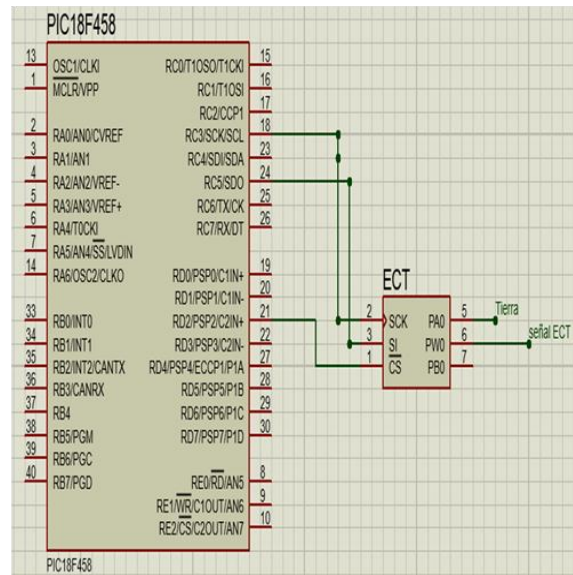
4.3.5 Generación de la señal del sensor de Temperatura del Refrigerante del Motor (ECT)

Al modificar el control del ECT en la interfaz de usuario de la Figura 4.3 el microcontrolador tiene programada una función que decodifica el comando ECT que se muestra en la Figura 4.7 a) esta función permite ajustar el valor del potenciómetro y al conectar los extremos del potenciómetro a la entrada de la ECU como se muestra en el diagrama esquemático de la Figura 4.7 b) es posible modificar la resistencia del sensor ECT.

```

Si COMANDO==ECT
    Se selecciona el
    potenciómetro digital del ECT
    Esperar 10
    microsegundos.
    Escribir al registro SSPBUF el
    Dato que permite escribir al
    pot. digital (Dato=0x00)
    Si se recibió el
    comando
    (SSPSTATbits.BF==1);
    Escribir en el registro SSPBUF
    el dato de LabView
    Esperar 10
    microsegundos.
    Se deshabilita la comunicación
    SPI del potenciómetro digital
    del sensor ECT
  
```

a)



b)

Figura 4.7 a) Pseudocódigo de control de la resistencia del sensor ECT, b) diagrama esquemático de conexión a la ECU.

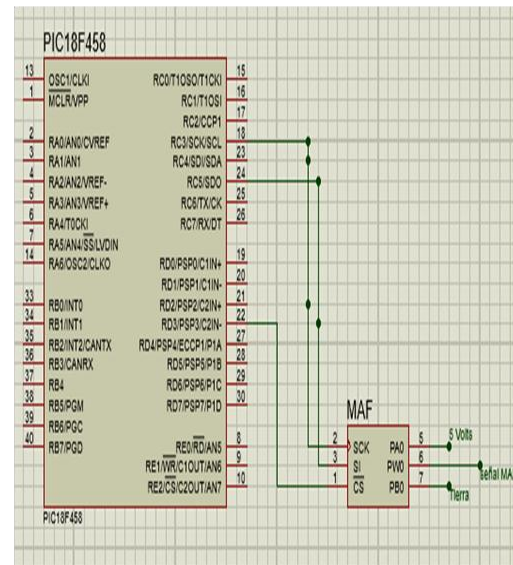
4.3.6 Generación de la señal del sensor de Presión Absoluta del Múltiple de Admisión (MAF)

Al modificar el control del MAF en la interfaz de usuario de la Figura 4.3 el microcontrolador tiene programada una función que decodifica el comando MAF que se muestra en la Figura 4.8 a) esta función permite ajustar el valor del potenciómetro y al conectar los extremos del potenciómetro a un voltaje como se muestra en el diagrama esquemático de la Figura 4.8 b) es posible modificar el voltaje del sensor MAF

```

Si COMANDO==MAF
    Se selecciona el
    potenciómetro digital del MAF
    Esperar 10
    microsegundos.
    Escribir al registro SSPBUF el
    Dato que permite escribir al
    pot. digital (Dato=0x00)
    Si se recibió el
    comando
    (SSPSTATbits.BF==1);
    Escribir en el registro SSPBUF
    el dato de LabView
    Esperar 10
    microsegundos.
    Se deshabilita la comunicación
    SPI del potenciómetro digital
    del sensor MAF
    
```

a)



b)

Figura 4.8 a) Pseudocódigo de control del MAF, b) conexión del sensor MAF

4.3.7 Relevador principal

Desde la interfaz de usuario se presiona el botón virtual, Figura 4.3 a) que activa el relevador, que permite suministrar los 12 volts a la ECU para poder iniciar con la emulación de los sensores, el microcontrolador decodifica el comando relevador que se encuentra en la Figura 4.9.

```

Si COMANDO==Relevador
    Poner a nivel alto el
    PIN RB1
Si no
    Poner el PIN RB1 en un
    nivel bajo
    
```

Figura 4.9 Protocolo de activación del relevador principal

4.3.8 Captura de datos

La información que recibe la ECU por medio de todos los sensores, los interpreta para poder hacer la corrección en las variables de inyección y chispa. Estas dos variables las captura el microcontrolador PIC18F458 haciendo uso de los periféricos CCP para captura

el dato de inyección y ECCP para capturar el dato de chispa. en la Figura 4.10 se muestra el pseudocódigo para la captura del dato de inyección y en

Figura 4.11 se muestra el pseudocódigo para los datos de la chispa.

Medición del tiempo de inyección

El dato de inyección se obtiene de la interrupción del periférico CCP del microcontrolador PIC18F458.

En caso de flanco de bajada

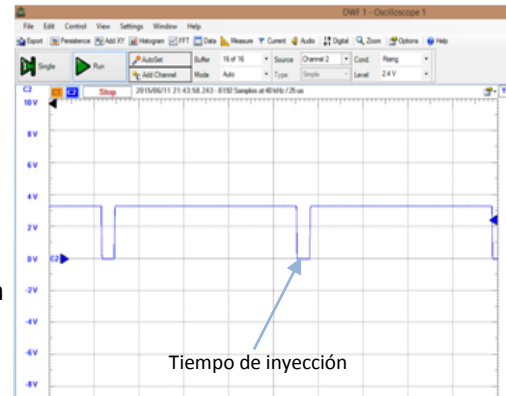
Iniciar la cuenta del Timer 1
Configurar para detectar
Flanco de subida.

En flanco de subida

Leer los registros del CCP en la
variable "Inyección".
Configurar para detectar
flanco de bajada

El dato de "inyección" se envía por el puerto
serie por petición.

a)



b)

Figura 4.10 a) Pseudocódigo de lectura de tiempo de inyección, b) gráfica de tiempo de inyección.

Medición de la frecuencia de la chispa (RPM's)

EL dato de Chispa se obtiene con la interrupción del periférico ECCP del microcontrolador pic18F458.

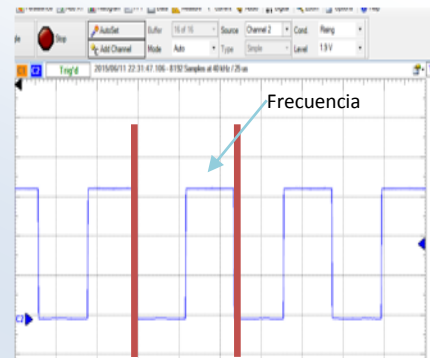
Configurar captura de flanco de subida

Si se detecta subida

Iniciar cuenta del Timer 3
Leer los registros del ECCP en
la variable "chispa"

EL dato de "Chispa" se manda por el puerto
serie por petición.

a)



b)

Figura 4.11 a) pseudocódigo de lectura de RPM's, b) grafica de RPM y/o chispa.

4.4 PIC18F2550

4.4.1 Generación de señales de sensores con respuesta en frecuencia

Algunas señales generadas por los sensores, son señales de frecuencia con ciclo de trabajo constante, estas señales son generadas por los Timer's del microcontrolador PIC18F2550.

Los sensores Ford que tienen una respuesta en frecuencia son CKP, MAP y el sensor de OXÍGENO ó sonda lambda, el microcontrolador se encuentra operando con su oscilador interno a una frecuencia de 1Mhz debido a que cada ciclo de operación del microcontrolador requiere 4 ciclos, obtendremos una frecuencia de operación de 250khz. Esta es la misma frecuencia de operación de los Timer's. El cálculo de la frecuencia de operación debe realizarse para cada uno de los Timers's utilizados para obtener la configuración de las señales a las diferentes frecuencias requeridas para la operación de cada sensor.

$$F_{osc} \frac{1Mhz}{4} = 250Khz \quad (5)$$

En (5) se obtiene el periodo de los TIMER's.

4.4.2 Configuración del puerto USART

Para hacer uso del periférico de comunicación serial del microcontrolador PIC18F2550 es necesario realizar la configuración de los registros del puerto serial como se muestra en la Tabla 4.4

Tabla 4.4 Configuración del puerto serial para el microcontrolador PIC18F2550

PIC18F2550	
TRISC	Rx como entrada
SPBRGH:SPBRG	Vel. recepción =9600
RCSTA	Modo de 8 bits, asíncrono, Modo continuo de recepción "CREN"

Para calcular la velocidad de transmisión para el microcontrolador PIC18F2550 se considera lo siguiente: modo asíncrono (SYNC=0), alta velocidad de 16bits(BRGH=1,

BRGH16=1) Baut Rate 9600, Fosc=1Mhz se aplica (6): y se obtiene el valor de los registros SPBRGH:SPBRG.

$$SPBRGH:SPBRG = \frac{f_{osc}}{BAUD * 4} - 1 \rightarrow 25 \quad (6)$$

4.4.3 Generación de la señal de chispa

La señal de la chispa del cigüeñal (CKP) sirve como referencia para la generación de señales en diversos componentes. Este sensor proporciona información de la posición del cigüeñal que permite generar la señal de chispa.

Existen diferentes tipos de señales para la chispa dependiendo si tiene una bobina por cada cilindro, un par de bobinas ó solo una bobina. El caso que nos ocupa es el de una bobina, este sistema requiere generar 1 pulso por cada cilindro. Los pulsos no van directamente a la bujía pasan por el módulo DIS, el cual proporciona el voltaje y potencia necesaria a bobina. Esto permite que no se requiera una señal de potencia generada por el emulador, y solo se requiere de una señal de frecuencia variable que representa señal de la chispa. En la Figura 4.12 a) se muestra el diagrama de bloques con las características de la señal y en la Figura 4.12 b) se muestra la señal generada.

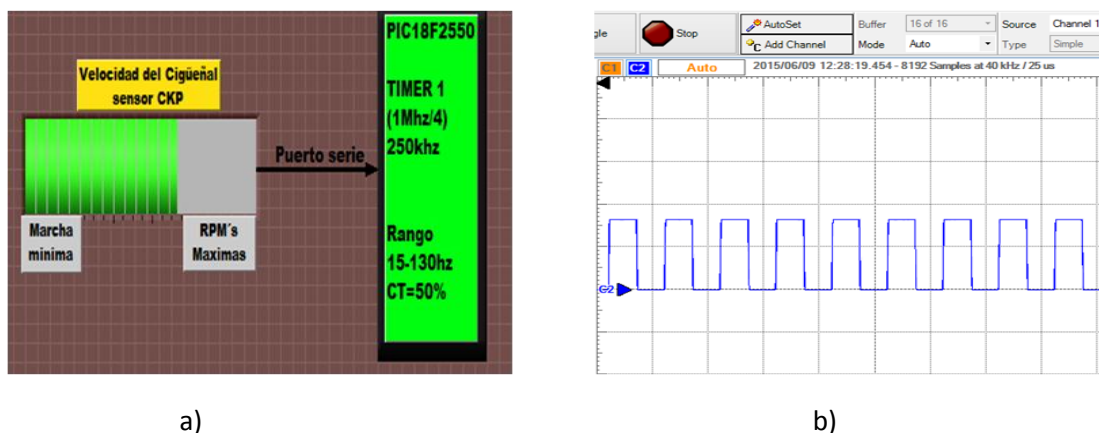


Figura 4.12 a) Diagrama de bloques del sensor CKP, b) señal generada del CKP.

En la Figura 4.13 se muestra el pseudocódigo para decodificar el dato que llega de la interfaz de usuario y genera la señal.

Al modificar la perilla del CKP en la interfaz de usuario, se obtiene el valor del control "CKP".

Este valor se transmite por el puerto serie al microcontrolador.

Programación en el Microcontrolador

El dato se recibe en formato de 1(byte) y se escala a los números de pulsos de acuerdo a (7)

$$ecu_{CKP} = 65535 - \frac{F_{osc}}{F} \quad (7)$$

donde:

65535 Timer 1 de 16 bits para que el timer realice incrementos en el intervalo (57202-64574) para generar el rango de frecuencias (15hz-130hz)

F Valor de frecuencia que llega desde LabView

Fosc=250khz/2 =125khz

Figura 4.13 Pseudocódigo de generación de señal CKP

4.4.4 Generación de la señal de sensor de presión absoluta

Para generar la señal del sensor MAP obtenemos la frecuencia del TIMER 2. La señal del sensor MAP tiene un rango de frecuencia de 90hz a 180hz para la generación de esta señal se hace uso del TIMER 2. El timer 2 es la base de tiempo del módulo PWM se requiere un ciclo de trabajo de 25% para la generación de la señal del sensor MAP. En la Figura 4.14 a) se muestran el diagrama de bloques con las características de la señal y en la Figura 4.14 b) se muestra la señal generada.

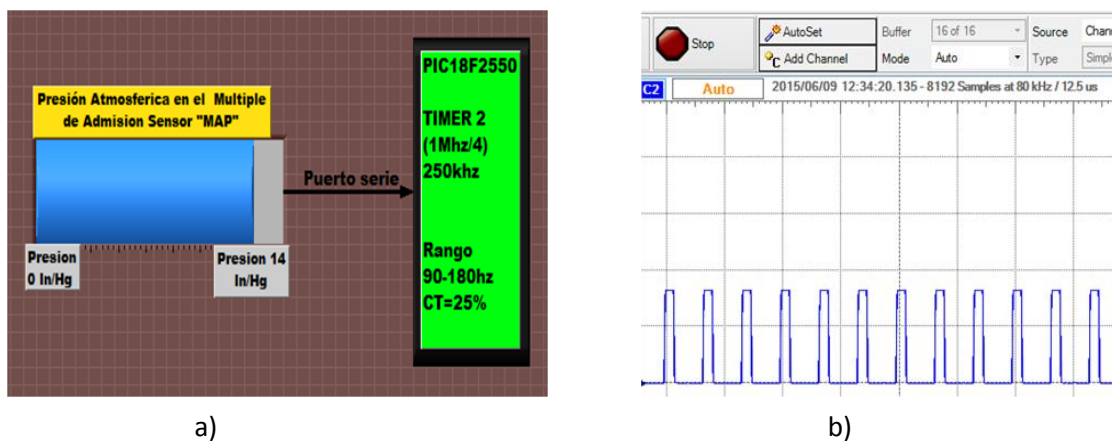


Figura 4.14 a) Diagrama de bloques del sensor MAP, b) señal generada del sensor MAP.

En la

Figura 4.15 se muestra el pseudocódigo para decodificar el dato que llega de la interfaz de usuario y genera la señal.

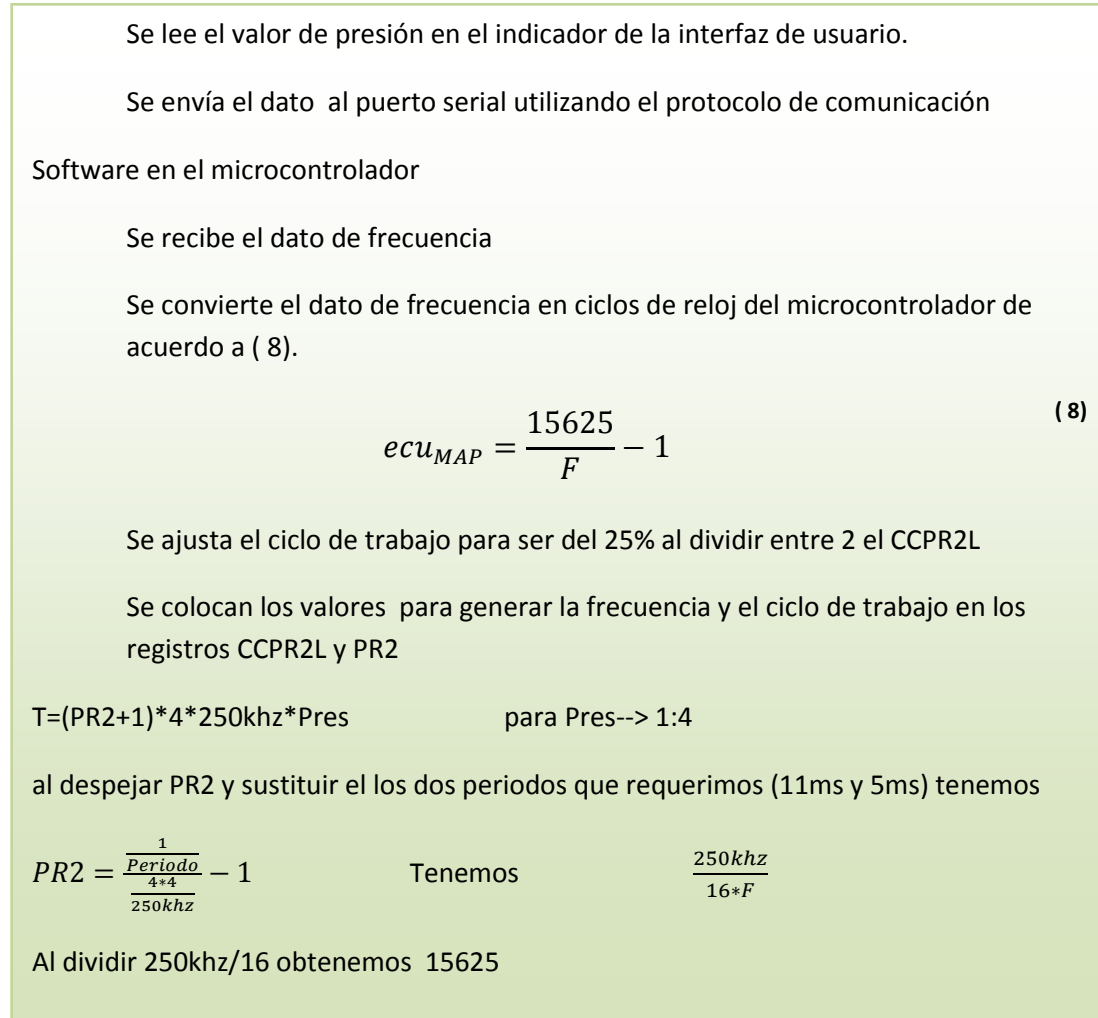


Figura 4.15 Pseudocódigo de generación de señal MAP

4.4.5 Generación de la señal del sensor de Oxígeno

La velocidad de la señal del sensor de oxígeno es baja, es decir, la respuesta del sensor a los cambios de la mezcla oxígeno/combustible se dan entre 1 vez por segundo y 10 segundos. En la Figura 4.16 a) se muestran el diagrama de bloques con las características de la señal y en la Figura 4.16 b) se muestra la señal generada.

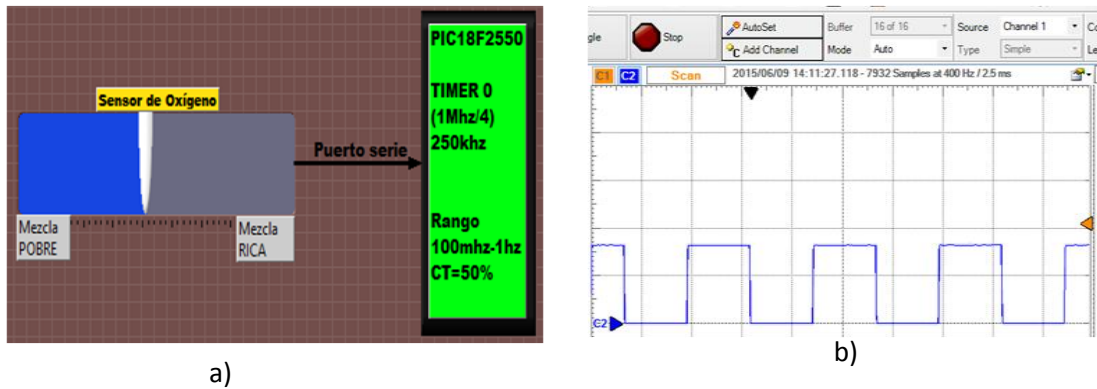


Figura 4.16 a) Diagrama de bloques del sensor de oxígeno, b) señal generada del sensor de oxígeno.

En la Figura 4.17 se muestra el pseudocódigo para decodificar el dato que llega de la interfaz de usuario y poder genera la señal.

Se lee el dato del control de LabView
 Se coloca el dato en el protocolo de transferencia
 Se envía el dato
 Programación en el microcontrolador
 Se lee el dato del puerto serie
 Se convierte a ciclos de reloj de acuerdo a (9)

$$ecu_{o_2} = 65535 - \frac{195300}{F * 100} \quad (9)$$

Se coloca en el registro del Timer 0.
 Tenemos Fosc=250khz con un preescaler=1:64 esto nos da 250khz/64=3906
 al dividir 3906/2=1953
 Para aumentar la resolución multiplicamos la fosc y F por 100

Figura 4.17 Pseudocódigo de generación de la señal del sensor de Oxígeno

En la Figura 4.18 se muestra el software desarrollado en LabView así como el hardware implementado para la emulación de sensores de la marca FORD.

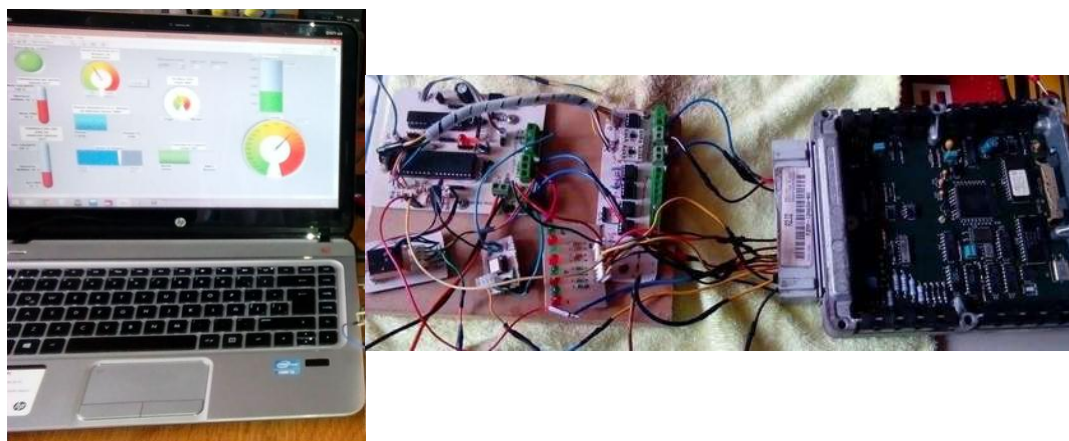


Figura 4.18 Software del emulador construido

5 Pruebas y resultados

En este capítulo se realizan las pruebas al sistema desarrollado para validar la operación del emulador. Se realizan mediciones en cada uno de los sensores implementados para verificar los valores y rangos de las señales emuladas, y poder hacer el diagnóstico de las computadoras bajo prueba de la marca FORD

5.1 Verificación de las señales generadas por el emulador

Se hacen las conexiones correspondientes como se indican en la Figura 5.1 a). Para realizar las pruebas en cada sensor y obtener el estado de la ECU y determinar si las salidas de inyección y chispa están funcionando.

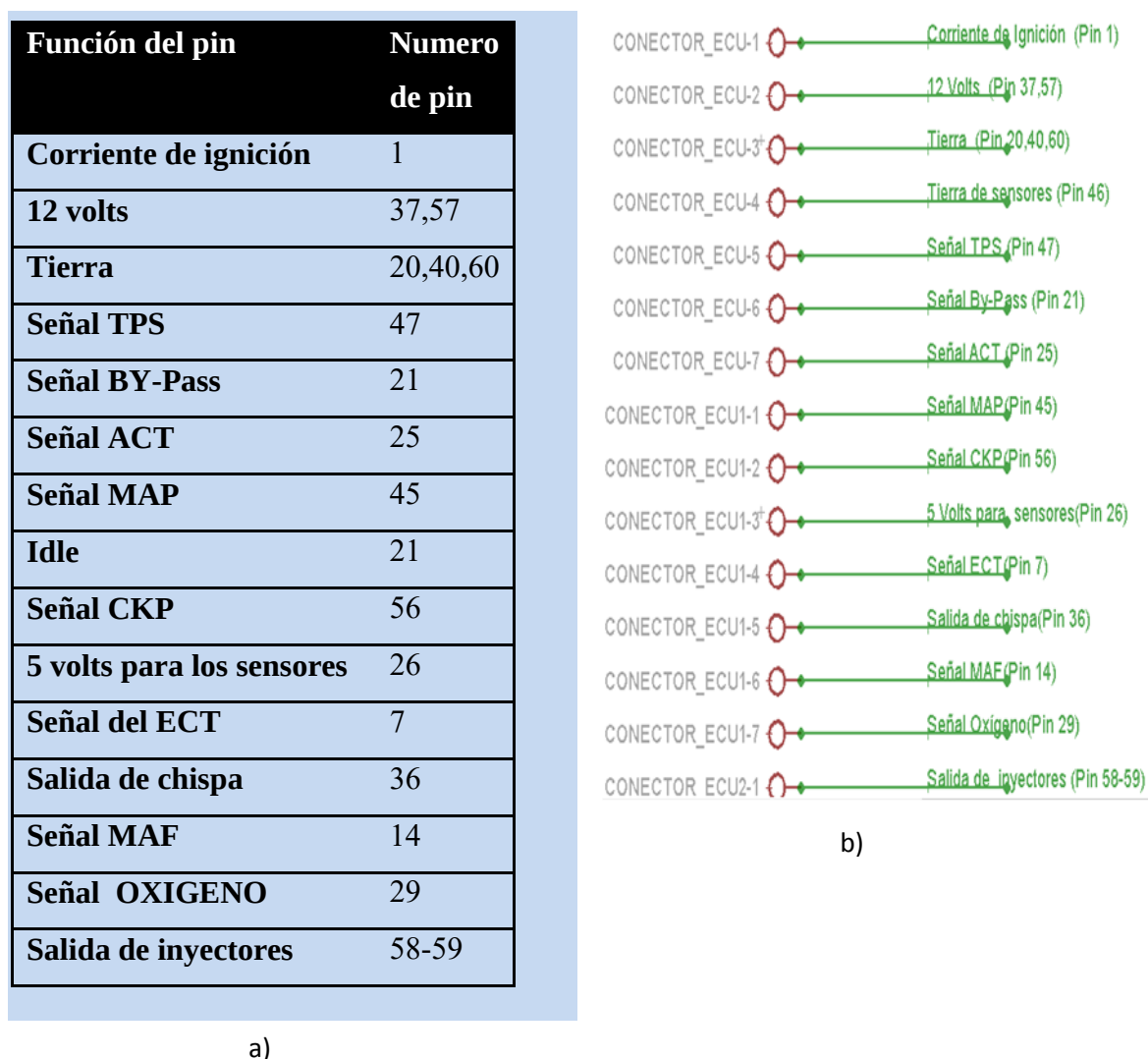


Figura 5.1 a) Pines necesarios para comprobar el estado de la ECU Ford, b) conector construido para la ECU.

5.1.1 Sensor de Posición del Acelerador (TPS)

En la Figura 5.2 se muestra el comportamiento típico de un sensor TPS Ford

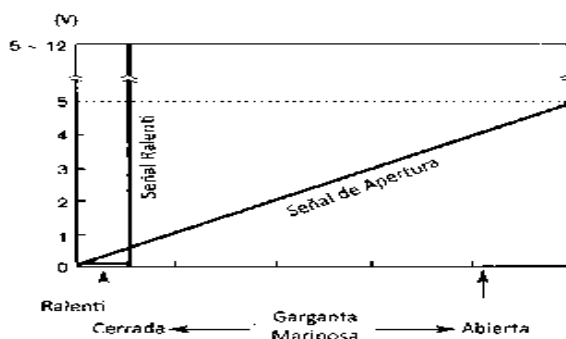


Figura 5.2 Señal de referencia del manual Ford para el sensor TPS

En la Figura 5.3 se muestra el control correspondiente en LabView para el sensor TPS



Figura 5.3 Control del sensor TPS

En la Figura 5.4 se muestra los resultados obtenidos para el sensor TPS del emulador diseñado.

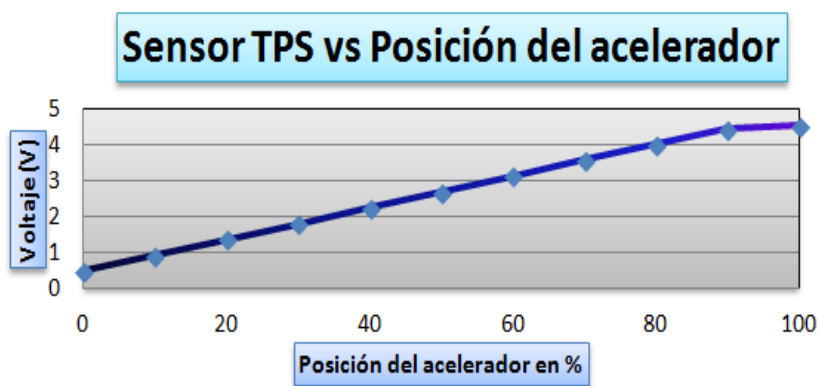


Figura 5.4 Resultado del emulador para el sensor TPS

5.1.2 Sensor de Temperatura del Aire en el Múltiple de Admisión (ACT)

En la Figura 5.5 se muestra el comportamiento típico de un sensor ACT de Ford

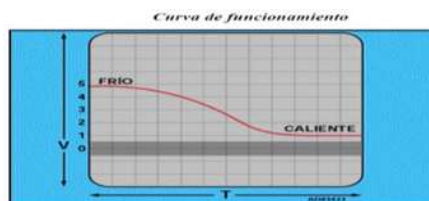


Figura 5.5 Señal de referencia del manual Ford para el sensor ACT

En la Figura 5.6 se muestra el control correspondiente en LabView para el sensor ACT

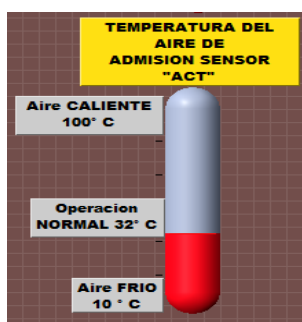


Figura 5.6 Control del sensor ACT

En la Figura 5.7 se muestra los resultados obtenidos para el sensor ACT del emulador diseñado.

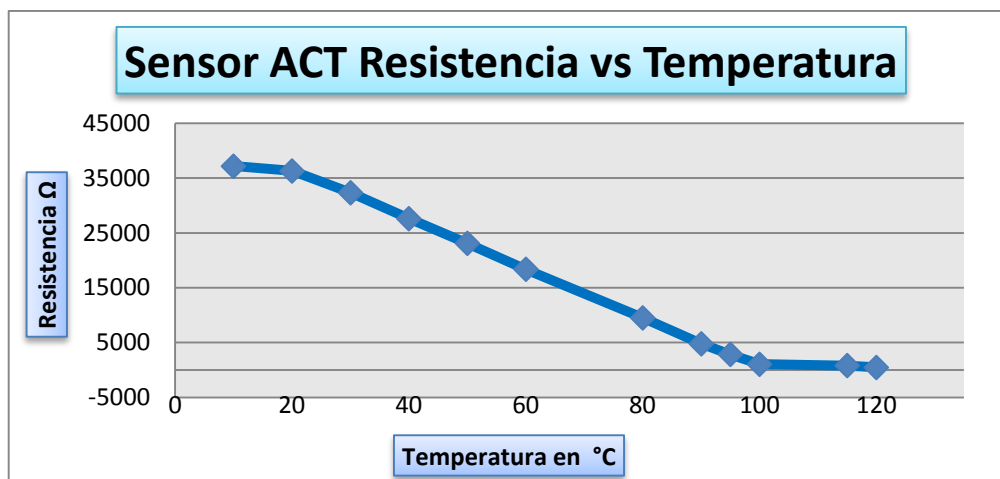


Figura 5.7 Resultados del emulador para el sensor ACT

5.1.3 Sensor de Temperatura del Refrigerante del Motor (ECT)

En la Figura 5.8 se muestra el comportamiento típico de un sensor ECT.

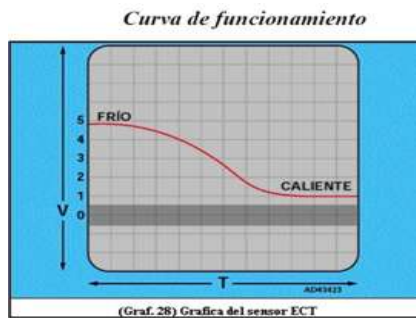


Figura 5.8 Señal de referencia del manual Ford para el sensor ECT

En la Figura 5.9 se muestra el control correspondiente en LabView para el sensor ECT

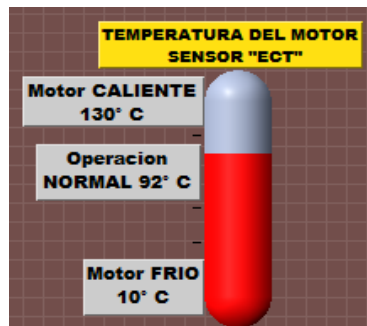


Figura 5.9 Control del sensor ECT

En la Figura 5.10 se muestra los resultados obtenidos para el sensor ECT del emulador diseñado.

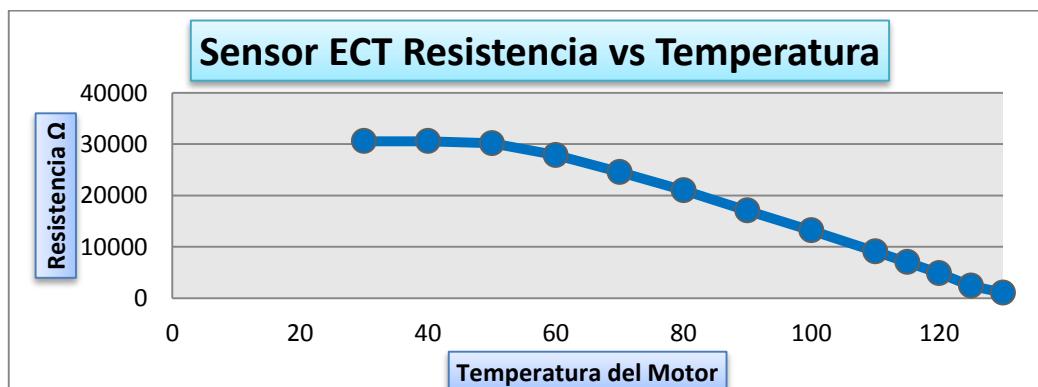


Figura 5.10 Resultados del emulador para el sensor ECT

5.1.4 Sensor de Presión Absoluta del Múltiple de Admisión (MAP)

En la Figura 5.11 se muestra el comportamiento típico de un sensor MAP Ford

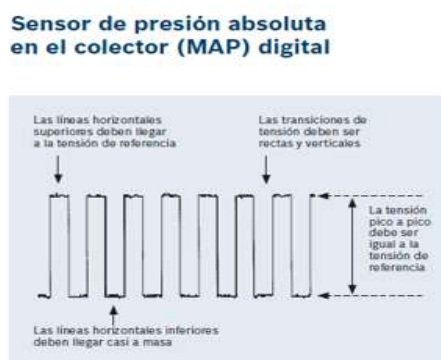


Figura 5.11 Señal de referencia del manual Ford para el sensor MAP

En la Figura 5.12 se muestra el control correspondiente en LabView para el sensor MAP

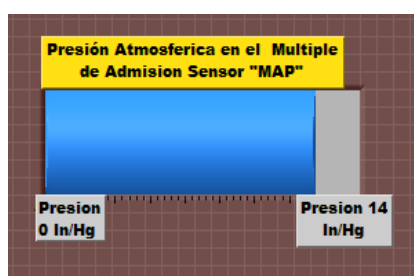


Figura 5.12 Control del sensor MAP

En la Figura 5.13 se muestra los resultados obtenidos para el sensor MAP del emulador diseñado.

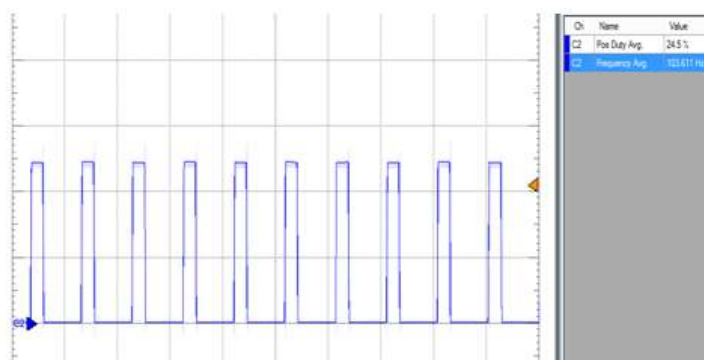


Figura 5.13 Resultados del emulador para el sensor MAP

En la grafica de la Figura 5.14 se muestra como la ECU determina el valor de la presión dependiendo del valor de la frecuencia.

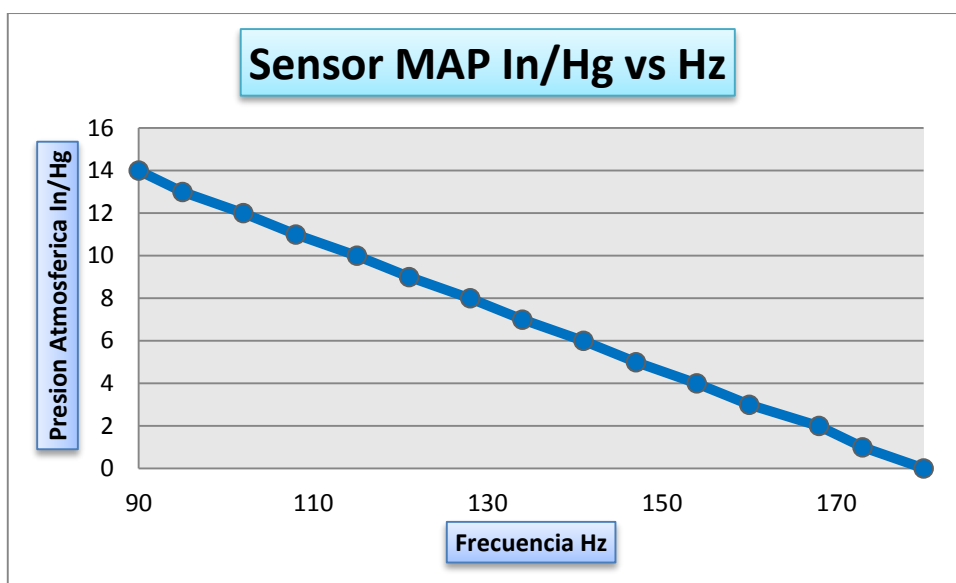


Figura 5.14 Resultados de la presión atmosférica dependiendo de la frecuencia

5.1.5 Sensor de Posición del Cigüeñal (CKP)

En la Figura 5.15 se muestra la señal del sensor CKP donde nos indica la posición del pistón número uno, ya que a partir de esta señal se obtiene la referencia para el ajuste de la dosificación de combustible así como la excitación de la chispa..

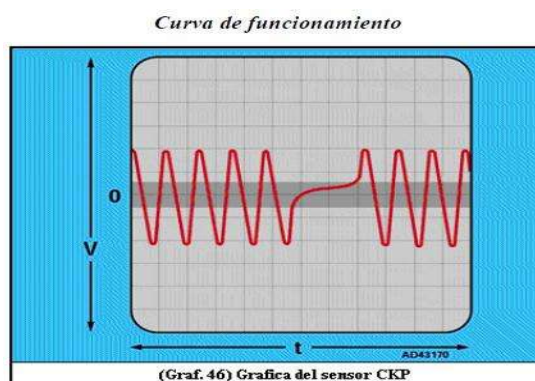


Figura 5.15 Señal de referencia del manual de Ford para el sensor CKP

Como se puede ver en la Figura 5.15 el sensor CKP genera una señal de corriente alterna, la cual la ECU debe convertir a una señal digital para poder reconocer la posición del pistón número uno.

La muesca faltante en la cremallera nos da la referencia. En el diseño del emulador se toma como referencia esa señal para generar un pulso digital en el rango de frecuencia y ciclo de trabajo de acuerdo a la Figura 5.18.

En la Figura 5.16 se muestra el control correspondiente en LabView para el sensor CKP



Figura 5.16 Control del sensor CKP

En la Figura 5.17 se muestra los resultados obtenidos para el sensor CKP del emulador diseñado.

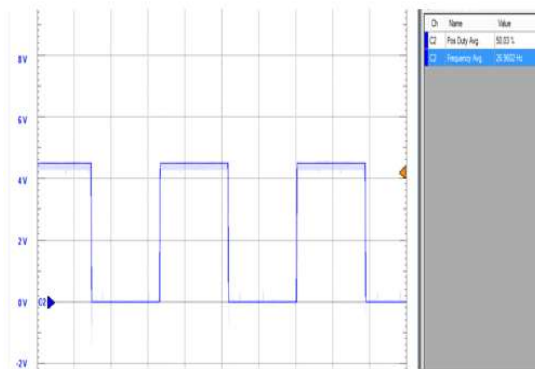


Figura 5.17 Resultados del emulador para el sensor CKP

En la grafica de la Figura 5.18 se muestra como la ECU determina las revoluciones por minuto dependiendo del valor de la frecuencia utilizando la frecuencia .

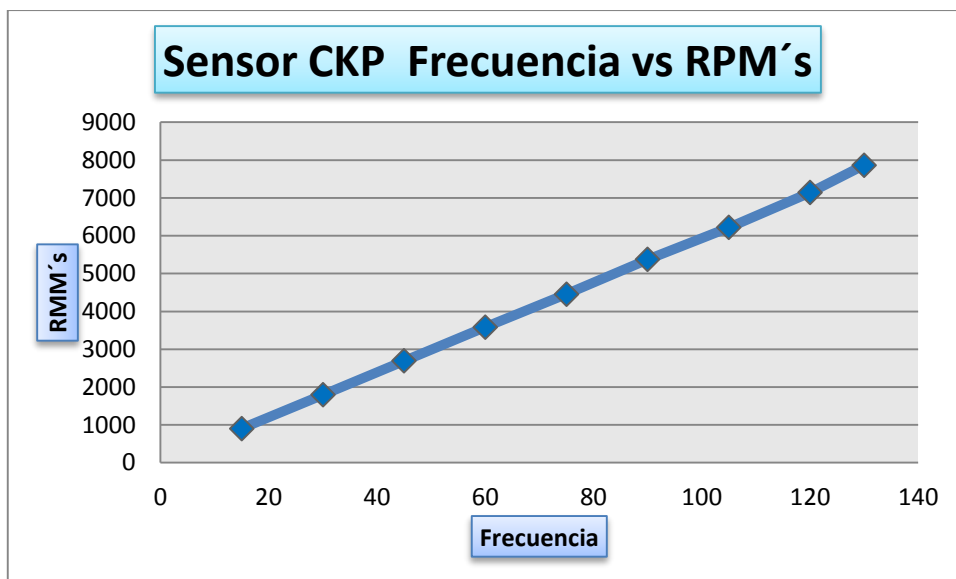


Figura 5.18 Resultados de las Revoluciones por minuto vs frecuencia

En la Figura 5.18, se muestra el comportamiento del sensor CKP el cual muestra una relación lineal al incrementar la frecuencia generada en la marca en la cremallera la cual nos indica la posición del PMS del pistón numero uno (de acuerdo al orden de encendido de cada vehículo) nos da una señal en el rango de 15hz -130hz con un CT=50%. como lo muestra la Figura 5.17.

5.1.6 Sensor de Flujo de Masa de Aire (MAF)

En la Figura 5.19 se muestra el comportamiento típico de un sensor MAF Ford

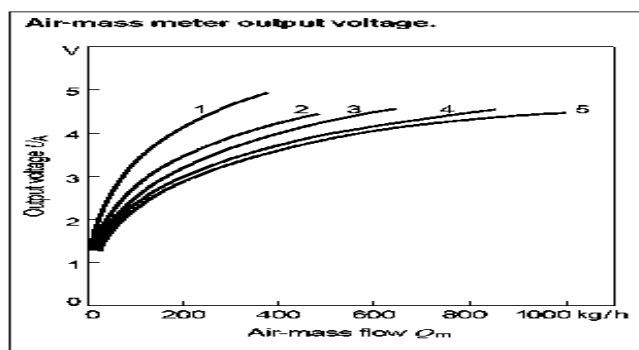


Figura 5.19 Señal de referencia del manual de Ford para el sensor MAF

En la Figura 5.20 se muestra el control correspondiente en LabView para el sensor MAF

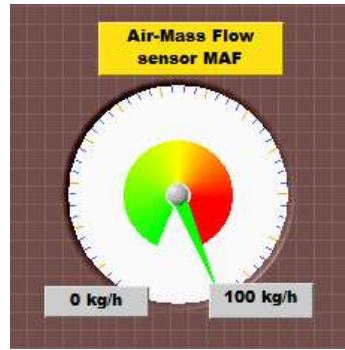


Figura 5.20 Control del sensor MAF

En la Figura 5.21 se muestra los resultados obtenidos para el sensor MAF del emulador diseñado.

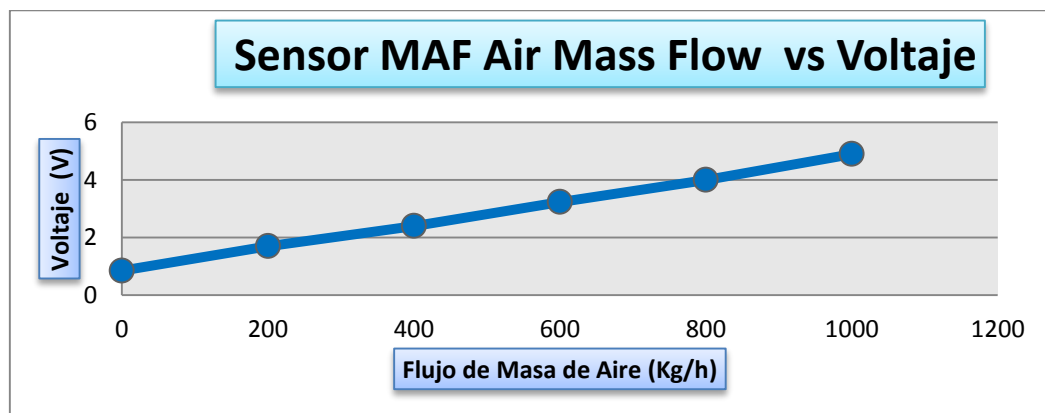


Figura 5.21 Resultados del emulador para el sensor MAF

5.1.7 Sensor de Oxígeno

En la Figura 5.22 se muestra el comportamiento típico de un sensor de Oxígeno Ford

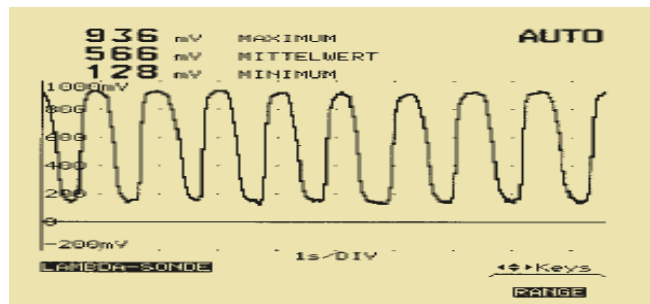


Figura 5.22 Señal de referencia del manual Ford para un sensor de Oxígeno

En la Figura 5.23 se muestra el control correspondiente en LabView para el sensor de Oxígeno

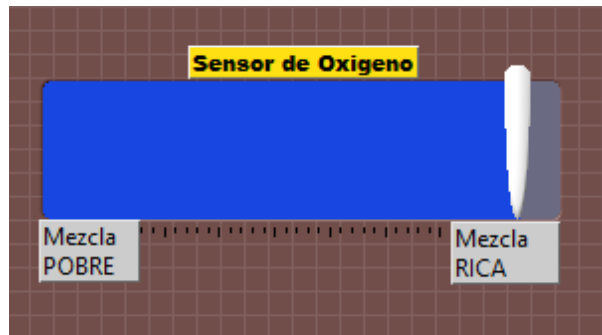


Figura 5.23 Control del sensor de Oxígeno

En la Figura 5.24 se muestra los resultados obtenidos para el sensor de Oxígeno del emulador diseñado.

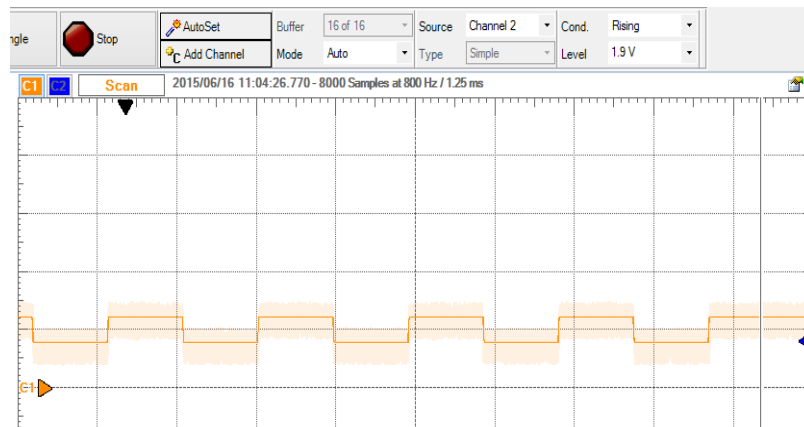


Figura 5.24 Resultados del emulador para el sensor de oxigeno

5.2 Comparación de resultados

En este apartado se hacen la pruebas por separado a cada uno de los sensores conectados a la ECU, para comparar los resultados con la información contenida en el manual de referencia de la ECU bajo prueba.

Pruebas al sensor TPS en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Resultados del sensor TPS

Sensor TPS		
Condición del Motor	Dato obtenido emulador	Dato del manual de referencia
Marcha mínima	0.5V	0.5V
50% de la mariposa abierta	3.4V	3.4V
Revoluciones Máximas	5.0V	5.0V

Pruebas al sensor ECT en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Resultados del sensor ECT

Sensor ECT				
Condición del Motor	Dato obtenido emulador	Dato del manual de referencia	Voltaje obtenido	Voltaje de referencia
Motor Frio	36.3k Ω	58.750k Ω	3.5V	3.5V
Temperatura de operación	3.6k Ω	3.6k Ω	2.0V	
Motor sobre calentado	1850 Ω	1850 Ω	600mV	600mV

Pruebas al sensor ACT en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3 Resultado del sensor ACT

Sensor ACT				
Condición del Motor	Dato obtenido emulador	Dato del manual de referencia	Voltaje obtenido	Voltaje de referencia
Aire frio	30.58k Ω	58.750k Ω	3.5V	3.5 V
Temp. normal 25°	3.6k Ω	3.6k Ω	2.860V	
Aire Caliente	1850 Ω	1850 Ω	600mV	600mV

Prueba al sensor MAF en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4 Resultados del sensor MAF

Sensor MAF		
Condición del Motor	Dato obtenido emulador	Dato del manual de referencia
Poco aire en el Múltiple admisión	0.4	0.4V
Flujo de aire normal	2.67V	
Exceso de aire en el Múltiple de admisión	3.6V	3.6V

Prueba al sensor MAP en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5 Resultados del sensor MAP

Sensor MAP		
Condición del Motor	Dato obtenido	Dato del manual de referencia
Vacio Total en el Múltiple de admisión 0 In/hg	180Hz	180Hz
Sin vacio en el múltiple de admisión 14 In/Hg	90Hz	90-100Hz

Prueba al sensor de Oxígeno de la Tabla 5.6.

Tabla 5.6 Resultados del sensor de Oxígeno

Sensor de Oxígeno		
Condición del Motor	Dato obtenido	Dato del manual de referencia
Mezcla rica	0V	0.1V
Mezcla Pobre	1.2 V	1.0V

5.3 Prueba en marcha mínima

Prueba en Marcha Mínima se obtiene con los parámetros de los sensores como se muestra en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7 Prueba en marcha mínima

Marcha mínima	
Sensor TPS	Mariposa 0% abierta
Sensor ACT	Aire Frio 10°C
Sensor ECT	Motor Frio 10°C
Sensor MAP	Alta presión en el múltiple de admisión 14 In/Hg
Sensor MAF	Flujo de aire en el múltiple de admisión casi NULO
Sensor CKP	Adecuado para 900RPM's
Sensor de Oxígeno	Mezcla Pobre (Poca gasolina)

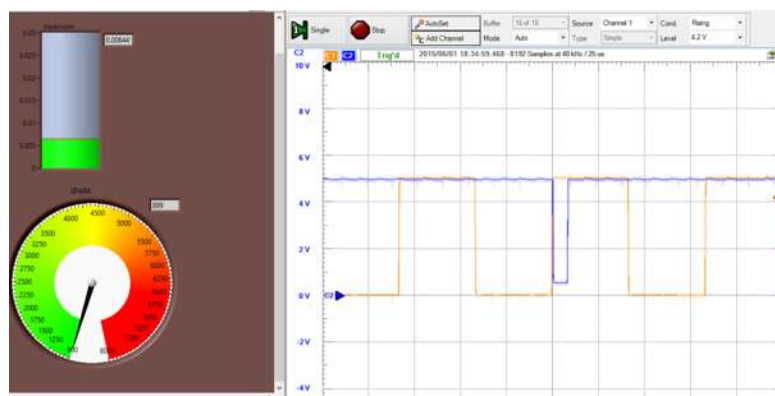


Figura 5.25 Tiempo de inyección y RPM's en Marcha mínima

5.3.1 Prueba de operación normal

Prueba en Operación Normal se obtiene con los parámetros de los sensores como se muestra en la Tabla 5.8:

Tabla 5.8 Prueba de operación normal

Operación Normal	
Sensor TPS	Mariposa 50% abierta
Sensor ACT	Aire Frio 32°C
Sensor ECT	Motor Frio 92°C
Sensor MAP	Presión en el múltiple de admisión 7 In/Hg
Sensor MAF	Flujo de aire en el múltiple de admisión Normal
Sensor CKP	Adecuado para 3000RPM's
Sensor de Oxigeno	Mezcla estequiometrica ideal "14.7:1"

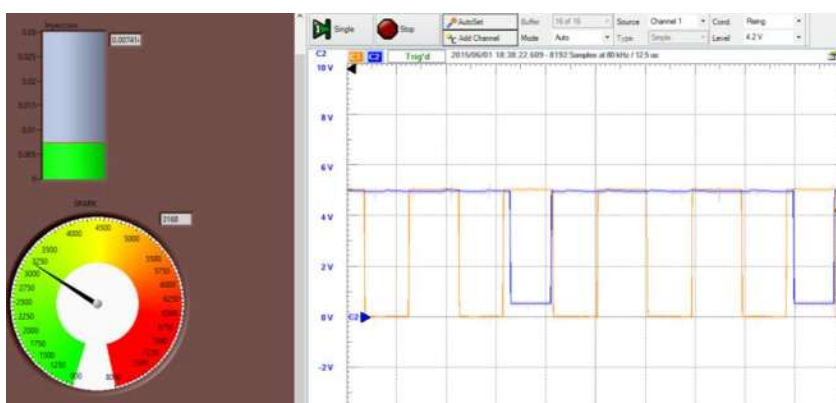


Figura 5.26 Tiempo de inyección y RPM's de operación normal

5.3.2 Prueba de revoluciones máximas

Prueba en Revoluciones Máximas se obtiene con los parámetros de los sensores como se muestra en la Tabla 5.9 :

Tabla 5.9 Prueba de operación a revoluciones máximas

Operación Normal	
Sensor TPS	Mariposa 100% abierta
Sensor ACT	Aire Frio 100°C
Sensor ECT	Motor Frio 130°C
Sensor MAP	Vacio total en el múltiple de admisión.
Sensor MAF	Flujo de aire en el múltiple de admisión Excesivo
Sensor CKP	Adecuado para 7500RPM's
Sensor de Oxigeno	Mezcla RICA

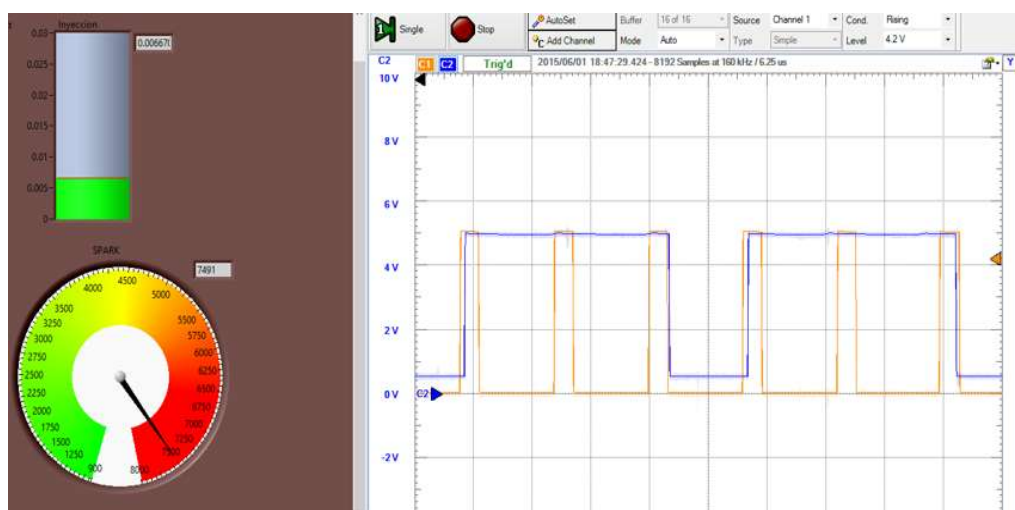


Figura 5.27 Tiempo de inyección y RPM's a revoluciones máximas

5.4 Resultados

Para el sensor de voltaje: Los datos obtenidos para el sensor TPS, en el emulador son muy parecidos a los que muestra el manual de referencia de Ford, solamente en la parte final de la grafica se puede observar un comportamiento diferente en el emulador pero esto se debe a que el potenciómetro digital está llegando al punto de saturación y por lo tanto ya no muestra cambio significativo en la señal de voltaje. Por su parte el sensor MAF presento un comportamiento lineal al ir incrementando el voltaje, lo cual difiere de la curva característica del sensor MAF de la marca Ford.

Para el sensor de temperatura: Se puede notar que en los límites de operación de los sensores de temperatura emulados (caliente, frio) se tiene un comportamiento adecuado, mientras que en la región media se tiene un comportamiento similar al de la curva característica de los sensores de temperatura de la marca Ford.

Para los sensores de frecuencia: En cada uno de los sensores de frecuencia se observo un comportamiento lineal al incremento ó decremento de la frecuencia dependiendo del sensor. Para el sensor de oxígeno se genero una señal de frecuencia y amplitud descritos en el capítulo 4 para emular las condiciones de mezcla rica/pobre.

5.4.1 Pruebas en VW

Se probó la ECU sistema digifant 1, de VW 25 cavidades (combi 1991), la cual presentaba salida de spark correcta, pero se diagnosticó fallas en el sistema de inyección, ya que no contaba con los transistores de salida.

5.4.2 Pruebas en Ford

Se probó la ECU con tipo de inyección SFI, EEC-IV generación de FORD 1989 la cual mostraba un comportamiento normal ya que se podía apreciar de manera rápida en los Led's indicadores la salida de inyección y chispa. así como el monitoreo correcto en el software desarrollado en LabView.

Pero durante el desarrollo de las pruebas para ver como afectaba el comportamiento de cada uno de los sensores se produjo un corto con una lámpara de pruebas directo al microcontrolador principal de la ECU y se dañó, antes de que esto ocurriera se pudo ver que el sensor que mas afectaba el comportamiento de la ECU era el sensor MAP, ya que si

este sensor se modificaba en rangos límites a la ECU le resultaba difícil tener el control sobre la inyección y la chispa, (no se tienen fotografías de los resultados debido a que se dañó la ECU antes de poder hacer las capturas)

Se probó la ECU con tipo de inyección por bancos, EFI, EEC-IV generación de FORD 1992 para la cual se muestran los resultados a continuación en la Figura 5.28.

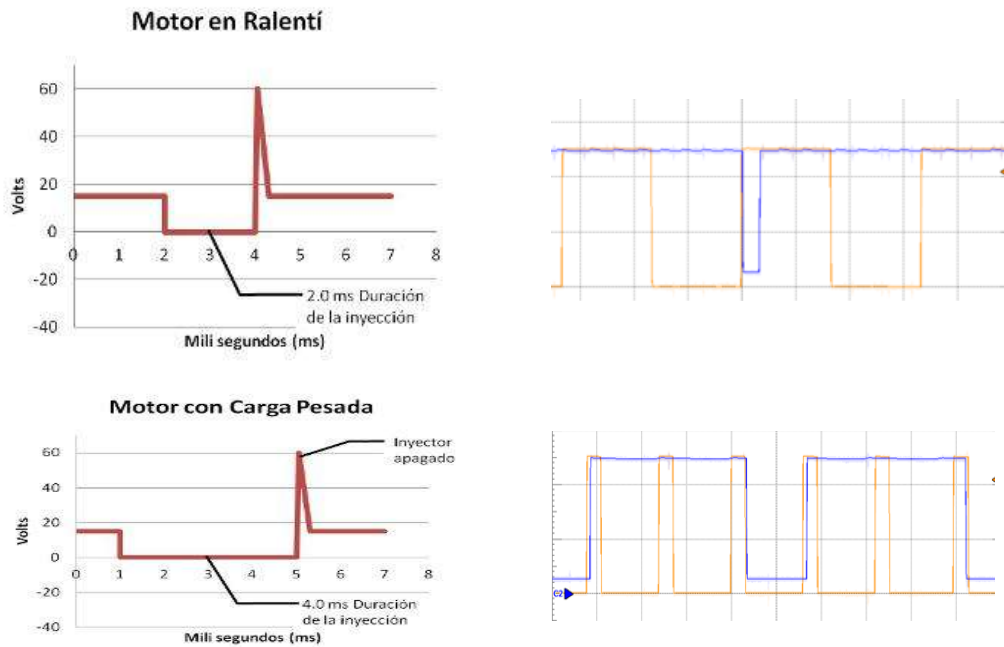


Figura 5.28 Comparación de resultados

Conclusiones

La principal señal para excitar la ECU y poder comprobar si las señales de inyección y chispa operan de manera adecuada es la señal del sensor CKP.

LA señal del árbol de levas debe de estar sincronizada con la señal del CKP para que la ECU pueda funcionar, para este caso el vehículo no maneja señal CMP (sensor del árbol de levas) por lo cual funciona solamente con la señal del sensor CKP.

Debido a que el sistema se encuentra en lazo abierto resulta complicado poder visualizar el efecto que tiene cada señal de los diversos sensores sobre la dosificación de combustible.

Para ver un comportamiento similar al que tendría la ECU si estuviera funcionando en el vehículo no se podría, ya que se emulan los sensores de forma independiente y en el vehículo solo se manipula el sensor TPS.

Si se conecta una ECU de la cual no se tiene información sobre las características de sistema, con la ayuda de un osciloscopio se puede determinar:

- Número de cilindros
- Tipo de inyección.
- Sistema de encendido por distribuidor ó por modulo DIS.

Los tiempos de inyección en marcha mínima y con carga varían solo por 1ms pero al poner el emulador en revoluciones máximas el tiempo de inyección se mantiene y tiene una variación muy drástica el ángulo de disparo de la chispa.

Trabajos futuros

- Eliminar la comunicación serie y sustituir por comunicación Bluetooth, para proteger la Pc de cortos circuitos por alguna mala conexión.
- Implementar el software LabView/Microcontrolador para medir el ángulo de disparo de chispa.
- Desarrollar el emulador lo más genérico posible para la marca Ford.
- Hacer una baquelita para el emulador genérico de Ford.
- Desarrollar un emulador para cada una de las diferentes marcas.

Bibliografía

Antonio (Junio 2012).Tutoriales PIC, *Comunicación puerto serie (UART)*. Recuperado el 28 de octubre de 2014 de:

<http://picfernalialia.blogspot.mx/2012/06/comunicaciones-puerto-serie-uart.html>

Antonio (Junio 2012).Tutoriales PIC, *Uso de temporizadores (timers)*. Recuperado el 30 de octubre de 2014 de:

<http://picfernalialia.blogspot.mx/2012/06/uso-de-temporizadores-timers.html>

Antonio (Junio 2012).Tutoriales PIC, *Interrupciones (conceptos básicos)*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2014 de:

<http://picfernalialia.blogspot.mx/2012/06/interrupciones-conceptos-basicos.html>

Antonio (2011).Tutoriales PIC, *Modulación PWM*. Recuperado el 10 diciembre de 2014 de:

<http://picfernalialia.blogspot.mx/2012/06/modulacion-pwm-pulse-width-modulation.html>

Beto Booster (s/d) *Sistema de encendido electrónico, esquemas, diagramas, circuitos, módulos y bobinas de encendido*. Recuperado el 5 de Febrero de 2015 de:

<http://www.encendidoelectronico.com/index.php>

Carlos Manuel Sánchez(2001) Tesis de titulación, *Desarrollo y construcción de un herramienta de diagnostico de fallas automotrices (ESCANER)*.

Centro Educativo Grupo CEDVA (2007) *Manual de información de inyección electrónica de FORD*.

National Instruments (Mayo 2010) *Diseño y Prueba de ECU usando productos de National Instruments*. Recuperado 14 de Enero de 2015 de:

<http://www.ni.com/white-paper/3312/es/#toc2>

Contreras Pérez José (Mayo 2012) *Sistemas de inyección electrónica, mediciones de sensores y actuadores en automóviles*. Recuperado 27 enero de 2015 de:

<http://es.slideshare.net/jolupeco/sistemas-de-inyeccion-electronica-mediciones-de-sensores-y-actuadores-en-automoviles>

Volkswagen. Glosario técnico, control electrónico de tracción (ASR), Recuperado 3 de Febrero de 2015 de:

<http://www.volkswagenlatinoamerica.com/es/technik-lexikon/antriebsschlupfregelung.html>