

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



Diseño e Implementación de un simulador de sensores para fines de entrenamiento de personal técnico mecánico en maquinaria Caterpillar

Tesis para optar el Título de **Ingeniera Electrónica**, que presenta la
Bachiller:

Nydia Sonia Romero Garrido

ASESOR: Dr. Ing. José Dávalos Pinto

Lima, Mayo del 2015

Resumen

Hoy en día, la industria de maquinaria pesada ha desarrollado una mejora en la tecnología de sus motores; antes se tenía motores con accionamiento solo mecánico pero las diversas normas sobre el cuidado del medio ambiente y el uso efectivo de los combustibles han obligado a empresas como Caterpillar a desarrollar motores con controles electrónicos que permitan cumplir con tales normas.

En tal sentido, se requiere capacitar al personal técnico mecánico en electrónica básica, lectura de planos electrónicos; entre otros, para luego brindar el servicio de mantenimiento a la maquinaria pesada.

El objetivo del trabajo de tesis es el diseño e implementación de un sistema simulador de sensores para fines de entrenamiento de personal técnico mecánico.

El método desarrollado para implementar el sistema consiste en un estudio sobre el funcionamiento de los sensores del sistema electrónico, el desarrollo de circuitos de acondicionamiento de señales, la selección del microcontrolador, la elaboración de un programa de aplicación para la interface y comunicación.

El resultado más saltante es la simulación de las señales de los sensores con potenciómetros; las cuales se grafican en una interfaz desarrollada con el software Visual Basic donde se pueden visualizar los códigos de falla, en caso los hubiera.

Teniendo en cuenta los resultados alcanzados, se concluye que este sistema es una herramienta didáctica que posibilita a los técnicos mecánicos entender el funcionamiento de los sensores y como la variación de sus señales generan códigos de falla que afectan el rendimiento de los motores electrónicos Caterpillar.

<u>Índice</u>	
Lista de figuras	iii
Lista de tablas.....	vi
Introducción.....	1
Capítulo 1. Los Motores Diesel y los Sistemas Electrónicos	2
1.1 Asunto de estudio.....	2
1.2 Justificación.....	5
1.3 Delimitación.....	6
1.4 Formulación del asunto	6
Capítulo 2. Sistema de Control Electrónico de los Motores Caterpillar.....	8
2.1 Estado del arte	8
2.2 Modelo teórico.....	9
2.3 Objetivos	14
Capítulo 3. Diseño e Implementación de un Sistema Simulador	15
3.1 Descripción del sistema	15
3.2 Requerimientos del sistema	15
3.2.1 Requerimientos funcionales	15
3.2.2 Requerimientos técnicos	19
3.3 Diseño del sistema simulador.....	21
3.3.1 Diseño del circuito electrónico para el microcontrolador.....	21
3.3.2 Programación del microcontrolador	29
3.3.3 Programación de la interfaz de usuario	32
Capítulo 4. Resultados	39
4.1 Construcción de las tarjetas electrónicas.....	39
4.2 Ensayos realizados	41

4.3 Análisis de Resultados	44
4.4 Costos	45
Conclusiones	46
Recomendaciones	47
Bibliografía	48
Anexos	50



Lista de figuras

Fig.1.1: Esquema de conexión entre una computadora y ECM. < http://www.maxginez3.com/2011/03/what-is-cat-et_8.html >.....	3
Fig.1.2: Modulo de control electrónico de un motor Caterpillar. Manual de dispositivos electrónicos – Fining.....	3
Fig.1.3: “Electronic Technician”, software de diagnóstico de los motores Caterpillar. < http://cdn1.clasificados.com/pe/pictures/photos/000/033/411/original_imag_2.jpg >.....	4
Fig. 2.1: Pitchar® tester 600. < http://www.electronicapitarch.com.ar/manual_t600_definitivo.pdf >.....	8
Fig. 2.2: Troubleshooting - sensors and electrical connectors. Número de media: RENR9318.....	10
Fig. 2.3: Diagrama eléctrico del cargador 966h – sensor de temperatura del aire de admisión. Número de media: RENR6332.....	11
Fig. 2.4: Diagrama eléctrico del cargador 966h – sensor de presión del aire de admisión. Número de media: RENR6332.....	12
Fig. 2.5: Diagrama eléctrico del cargador 966h – sensor de posición del acelerador. Número de media: RENR6332.....	12
Fig. 2.6: Códigos de falla que muestra el software ET. < http://autorepman.com/en/programmy-po-diagnostike-remontu/3453-caterpillar-electronic-technician-2010a-2011a.html >.....	13

Fig. 2.7: Modelo Teórico del Simulador de Señales.....	14
Fig. 3.1: Forma de la señal del sensor de presión del aire de admisión.....	16
Fig. 3.2: Forma de la señal del sensor de temperatura del aire de admisión.....	17
Fig. 3.3: Forma de la señal del sensor de posición del pedal del acelerador. Número de media: RENR9318.....	18
Fig. 3.4: Distribución de pines del PIC18F2550. Hoja de datos del PIC 18F2550.....	20
Fig. 3.5: Diagrama esquemático de la alimentación del PIC.....	21
Fig. 3.6: Diagrama esquemático de la conexión USB al PIC.....	22
Fig. 3.7: Diagrama de bloques de la circuitería interna del oscilador del PIC. Manual Técnico del PIC 18F2550.....	24
Fig. 3.8: Diagrama esquemático del circuito oscilador.....	25
Fig. 3.9: Diagrama esquemático del pin MCLR.....	26
Fig. 3.10: Diagrama esquemático del generador de señales.....	27
Fig. 3.11: Diagrama esquemático completo de la tarjeta simuladora de señales....	28
Fig. 3.12: Diagrama de proceso de la interfaz de usuario.....	32
Fig. 3.13: Segmentación de la señal del sensor de presión de admisión.....	35

Fig. 4.1: Circuito impreso de la tarjeta simuladora de señales.....	39
Fig. 4.2: Vista inferior de tarjeta la simuladora de señales.....	40
Fig. 4.3: Vista superior de la tarjeta simuladora de señales.....	40
Fig. 4.4: Ventana de inicio del sistema simulador de señales.....	41
Fig. 4.5: Valores aceptados de las señales de los sensores.....	42
Fig. 4.6: Simulación de la variación de las señales de los sensores.....	42
Fig. 4.7: Código de falla FMI04 en el sensor de presión.....	43
Fig. 4.8: Código de falla FMI03 en el sensor de presión.....	43
Fig. 4.9: Código de falla FMI08 en el sensor de posición del pedal.....	44

Lista de tablas

Tabla 3.1:	Tensión en función a la presión del sensor de presión del aire de admisión.....	15
Tabla 3.2:	Tensión en función a la temperatura del sensor de temperatura del aire de admisión.....	16
Tabla 3.3:	Valor de los condensadores de desacoplo. Manual técnico del PIC 18F2550.....	22
Tabla 3.4:	Selección de la capacidad de los condensadores de estabilidad. Manual técnico del PIC 18F2550.....	25
Tabla 3.5:	Distribución de pines en el puerto A.....	30
Tabla 3.6:	Variables de las señales de adquisición en Visual Basic.....	33
Tabla 4.1:	Costos estimados de la implementación del proyecto.....	45

Introducción

Las empresas que brindan servicio de mantenimiento de maquinaria pesada se han visto en la necesidad de capacitar al personal técnico mecánico en temas de electrónica pues los motores utilizados en estos equipos tienen un sistema de control electrónico que permite mejorar el rendimiento del motor y cumplir con las diferentes normas internacionales relacionadas al medio ambiente.

El presente trabajo de tesis busca facilitar la tarea de capacitación ya que actualmente no es fácil conseguir los módulos o sensores electrónicos de los equipos; por ende se busca diseñar e implementar un sistema simulador de sensores que permita a los técnicos entender cómo funcionan las señales eléctricas que provienen de los diversos sensores con el fin de facilitar su trabajo al momento de diagnosticar fallas en el sistema.

En el capítulo 1 se da a conocer cómo funciona el sistema electrónico de los motores y cuáles son los componentes principales .

En el capítulo 2 se revisa el estado del arte de las tecnologías actuales en relación a simuladores de señales y dispositivos electrónicos de propósito general que permitan mediante una programación cumplir con esa tarea.

En el capítulo 3 se realiza el diseño usando un microcontrolador y se muestra el desarrollo tanto a nivel de circuito como programación que se trabajó para lograr implementar un sistema simulador de señales de sensores.

En el capítulo 4 se muestra la tarjeta simuladora y pantallas de la interfaz de usuario, el costo de la implementación y los resultados.

Finalmente se encuentran las conclusiones y recomendaciones sobre el proyecto de simulación de señales.

Capítulo 1: Los Motores Diesel y los Sistemas Electrónicos

1.1 Asunto de estudio

El motor diesel de cuatro tiempos es el equipo más utilizado en la industria de maquinaria pesada pues es pieza fundamental de equipos como cargadores, tractores, excavadoras, entre otros [1]. La implementación de un sistema electrónico de control en los motores es consecuencia de una mejora tecnológica para regular las emisiones de gases al medio ambiente y se puedan cumplir con las normativas internacionales como la EPA (Agencia de Protección del Medio Ambiente) [2].

En la actualidad los motores diesel como por ejemplo los de la marca Caterpillar poseen un sistema electrónico propietario que tiene como función principal el control de la inyección de combustible, esta nueva línea de motores forman parte de la tecnología ACERT (Tecnología avanzada de combustión para la reducción de emisiones) [3].

El sistema electrónico de los motores diesel CAT comprende parte hardware y software y su costo es elevado; por ejemplo un ECM (módulo de control electrónico) ó un *comm adapter* (hardware para comunicar una computadora con la máquina) cuesta aproximadamente \$2000.00 dólares americanos. La licencia anual del programa de diagnóstico Cat Electronic Technician, en donde se muestran los códigos de falla de los sensores entre otros, tiene costo de \$2500.00. En la figura 1.1 se observa un esquema de conexión entre una computadora y un ECM de motor, en donde el *comm adapter* permite la comunicación entre ambos elementos.

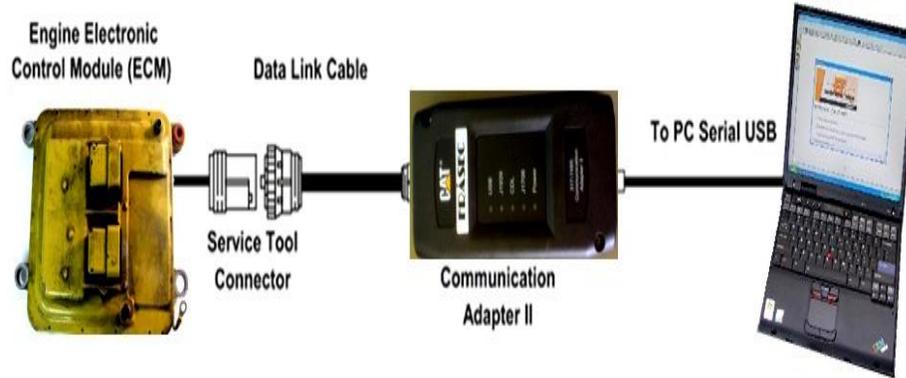


Figura 1.1: Esquema de conexión entre una computadora y ECM.

En la figura 1.2 se observa un módulo de control electrónico de motor que guarda dentro de su memoria los datos de operación del equipo para luego transmitirlos a través de un cable de comunicaciones a un computadora.

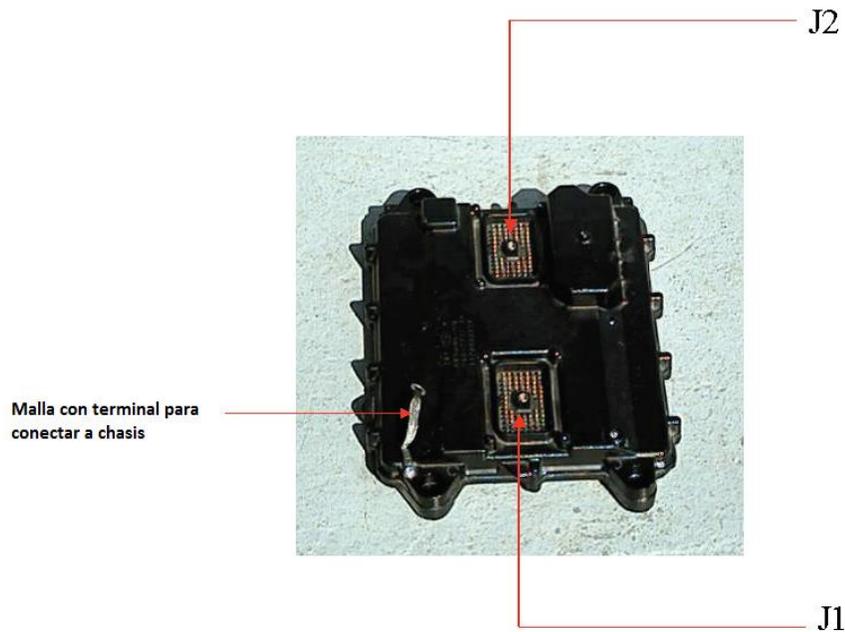


Figura 1.2: Módulo de Control Electrónico de un motor Caterpillar

En la figura 1.3 se muestra la pantalla de inicio del software de monitoreo Electronic Technician, el cual permite; entre otras tareas, monitorear las condiciones de los equipos para asegurar un buen funcionamiento.

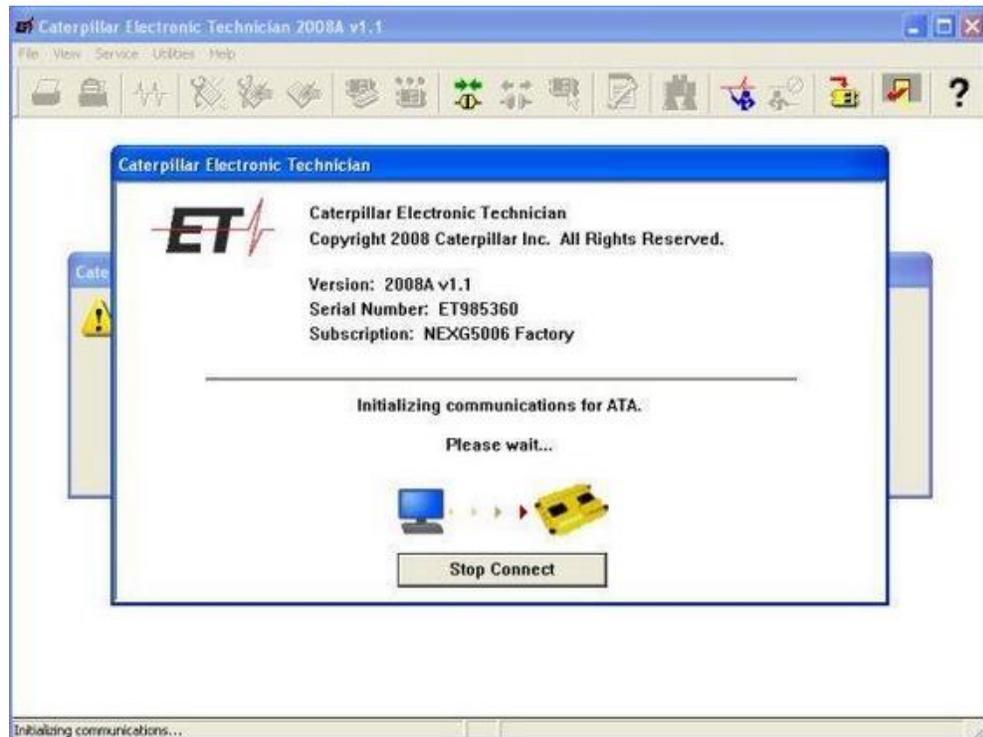


Figura 1.3: “Electronic Technician”, software de diagnóstico de los motores Caterpillar.

Las empresas representantes de la marca Caterpillar como Ferreyros en Perú ó Finnig en Chile tienen áreas de desarrollo técnico que se encargan de capacitar al personal técnico en temas de electrónica. Para dicho fin se tiene una currícula de cursos que entrena al personal en el funcionamiento de los sistemas electrónicos para que luego se logre dar un buen servicio de reparación o mantenimiento a las máquinas con motores electrónicos que se han vendido o alquilado.

Actualmente el desarrollo de la parte práctica de dichos cursos es difícil pues la disponibilidad del préstamo de una máquina para fines de entrenamiento es casi nulo ya que el costo de reposición de componentes en caso algún incidente ocurra es alto; por otro lado no se cuenta con un módulo simulador de señales de sensores que facilite el aprendizaje por medio de la práctica a los participantes.

Gracias al avance de la tecnología se tienen microcontroladores, estos son dispositivos electrónicos de propósito general que permiten mediante una programación adecuada e implementación de un hardware simple (como un potenciómetro) simular señales de sensores. Además, estos microcontroladores permiten una comunicación mediante un protocolo serial o USB (Universal Serial Bus) con una computadora, lo que facilita desarrollar una interfaz de usuario que permita ver la forma de las señales simuladas de los sensores y también presente los avisos de falla de manera similar a un software de diagnóstico.

Por lo mencionado anteriormente, es importante diseñar e implementar un sistema simulador de señales de sensores para facilitar el aprendizaje de los técnicos de servicio de las empresas que dictan cursos de entrenamiento en electricidad aplicada a maquinaria pesada.

1.2 Justificación

El desarrollo de los cursos de capacitación en electricidad para técnicos mecánicos de las empresas que brindan servicio de mantenimiento de maquinaria pesada necesita de recursos que permitan que los participantes puedan entender el funcionamiento de los sensores de la máquina; el aprendizaje sería el óptimo si se contará con los sensores, un ECM y un osciloscopio a fin de realizar la conexión entre sensores y ECM y poder visualizar la forma de las señales de los sensores en el osciloscopio para tener un conocimiento más objetivo.

Si bien es cierto existen generadores de onda que pueden realizar este trabajo, el costo de adquirir uno de ellos es alto (aproximadamente \$2000.00 dólares americanos)

además este costo aumenta si se usa un adaptador que permita visualizar las señales generadas en una computadora.

El impacto de la presente tesis en diseñar e implementar un simulador de señales de sensores radica en: primero desarrollar una herramienta de capacitación que no dependa del préstamo o alquiler de algún componente original; segundo, su costo es reducido en comparación con los generadores de señales del mercado y por último, la portabilidad del hardware y software para capacitar en cualquier lugar del país.

1.3 Delimitación

El presente proyecto simulador de señales de sensores toma como referencia el sistema de control electrónico Caterpillar de un motor C11 y su implementación será tanto circuital como de programación.

Las señales a simular corresponden a las siguientes variables:

- Temperatura del aire de admisión.
- Presión del aire de admisión.
- Posición del acelerador.

Las fallas eléctricas en estos sensores son: voltaje sobre lo normal, voltaje por debajo de lo normal y señal anormal; estas fallas serán simuladas mediante hardware y visualizadas en el entorno gráfico desarrollado en la computadora.

1.4 Formulación del asunto

¿Cómo desarrollar un sistema simulador de señales de sensores para maquinaria pesada que posibilite el entrenamiento del personal técnico mecánico?

Primero se debe recolectar información sobre cómo operan los sensores en los sistemas electrónicos de los motores y los modos de falla más frecuentes de los mismos.

El costo de los sensores es elevado y la circuitería interna no se conoce por eso la generación de una señal analógica o digital se implementará en un circuito que contenga un microcontrolador, esto es la parte del hardware. Las señales de sensores simuladas serán visualizadas en una aplicación para computadora, cada vez que se mueve un potenciómetro en la tarjeta electrónica, un parámetro (por ejemplo el voltaje) variará y podrá ser observado en la interfaz de usuario.



Capítulo 2: Sistema de Control Electrónico de los motores Caterpillar

2.1 Estado del arte

En la actualidad se encuentran en el mercado diversos simuladores de señales de sensores como por ejemplo el que se muestra en la figura 2.1 modelo TESTER 600 de la marca PITARCH®, el cual es un emulador universal de funciones y señales, entre las señales de sensores que simula están las de temperatura, presión absoluta, inductivos y de efecto hall. Permite conexión con los módulos de control electrónicos de las diferentes marcas de autos como Subaru, Susuki ó Mazda para diagnosticar el funcionamiento de los mismos [4].



Figura 2.1: “Simulador Universal T600”

Si bien es cierto este equipo permite simular señales de sensores, no permite visualizar la forma de onda de las señales, para tal fin se necesitaría un osciloscopio lo que incrementa el costo y la cantidad de componentes al momento del traslado de los equipos para dictar las capacitaciones.

En conclusión, el mercado tecnológico ofrece simuladores de señales de automóviles o de propósito general; sin embargo lo que se propone desarrollar en este trabajo de tesis es un equipo que simule señales y fallas de sensores de los sistemas electrónicos de los motores Caterpillar usados en maquinaria pesada; además de visualizar la forma de la señal en una interfaz de computadora.

Este requerimiento lleva a buscar información sobre componentes que permiten generar señales de sensores ó construir con dispositivos del mercado un simulador.

El PLC (controlador lógico programable) es un equipo electrónico programable utilizado en la mayoría de los casos para cumplir funciones de control y automatización de procesos, sin embargo revisando el manual de uso del PLC S7200, este nos permite conectar sensores de temperatura, presión y posición del acelerador a sus entradas analógicas y digitales para luego ser visualizadas en una computadora por medio de un protocolo de comunicación como es el RS485 [5].

LabView es un software de National Instruments que permite mediante una programación adecuada y el uso de servidores OPC (OLE for process control) poder visualizar en una computadora las señales provenientes de los sensores que procesa el PLC. Así se puede crear una interfaz de usuario de manera sencilla [6].

Los microcontroladores de los fabricantes Microchip o Atmel son componentes electrónicos de propósito general que permiten con una programación en un lenguaje C simular señales de sensores utilizando potenciómetros y sus módulos ADC. Además gracias a su versatilidad para la comunicación USB ó serial con la PC, se puede crear una interfaz de usuario utilizando un el programa Visual Basic [7].

2.2 Modelo teórico:

El proyecto simulador de señales de sensores se basa en el sistema electrónico para un motor C11 de la marca Caterpillar, como se puede observar en la figura 2.2, el

sistema electrónico está formado por una serie sensores, actuadores y un módulo de control electrónico ó ECM.

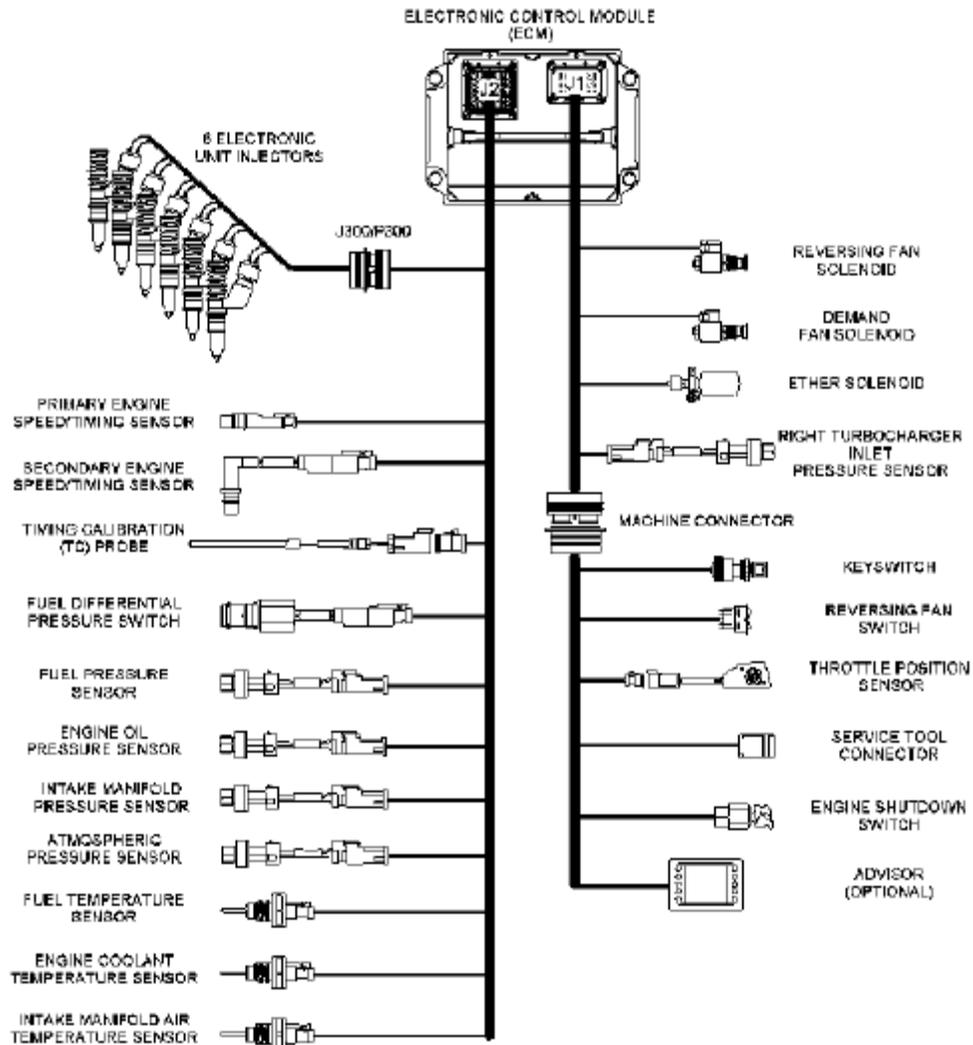


Figura 2.2: “Sistema Electrónico de un Motor Diesel Caterpillar C11”

Los sensores son componentes electrónicos que envían información de temperatura o presión en forma de señales de voltaje al ECM con la finalidad de que este determine el momento exacto en el cual se debe inyectar combustible y el tiempo de duración de la inyección.

Los dispositivos de salida del sistema de control electrónico son los solenoides, estos dispositivos reciben señales de corriente continua para abrir o cerrar el paso del combustible a cada uno de los cilindros del motor.

A continuación se describe el comportamiento de las señales de los sensores a simular y las fallas eléctricas recurrentes:

- Sensor de temperatura del aire de admisión: es un sensor pasivo; es decir no necesita alimentación para funcionar, de acuerdo al valor de temperatura que mide manda una señal analógica de voltaje al ECM del motor por el pin 1, el pin 2 es la tierra del sensor. La figura 2.3 muestra el diagrama de conexión eléctrica del sensor de temperatura del aire de admisión.

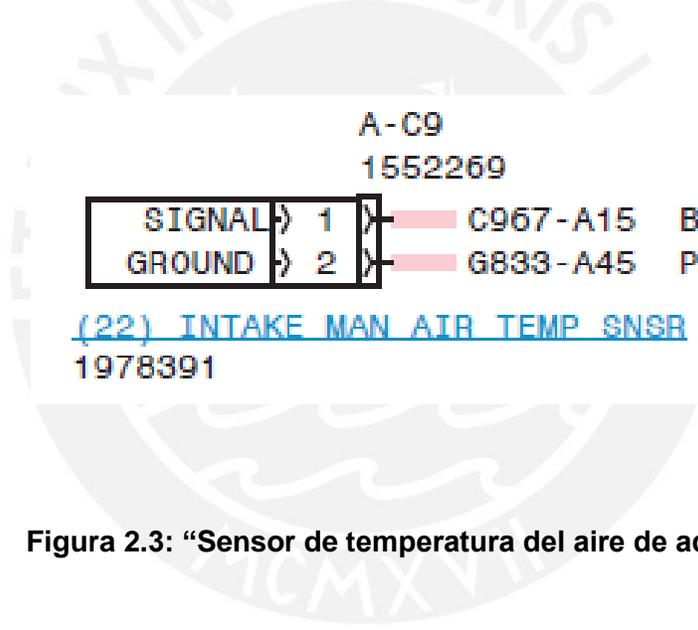


Figura 2.3: “Sensor de temperatura del aire de admisión”

- Sensor de presión del aire de admisión: es un sensor activo ya que necesita alimentación entre 5 ± 0.25 VDC (pin A), de acuerdo a la variación de presión manda una señal analógica de voltaje al ECM de motor por el pin C. El pin B es el retorno a tierra del sensor. La figura 2.4 muestra el diagrama de conexión eléctrica del sensor de presión del aire de admisión.

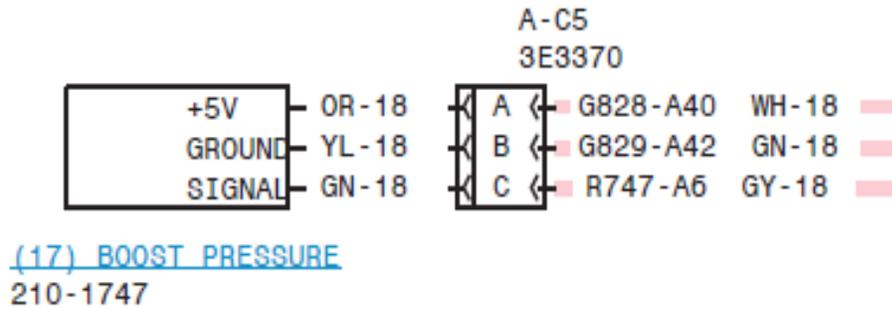


Figura 2.4: “Sensor de presión del aire de admisión”

- Sensor de posición del acelerador: es un sensor activo que se alimenta desde 9 VDC a 32 VDC (pin A). El rango de temperatura de operación del sensor es de -40 °C a 85 °C. El tipo de señal que envía por el pin C es PWM (ancho de pulso modulado); es decir el ciclo de trabajo de la señal varía de acuerdo a la rotación del pedal del acelerador. El pin C es el retorno a tierra del sensor hacia el ECM del motor. La figura 2.5 muestra el diagrama de conexión eléctrica del sensor de posición del acelerador.

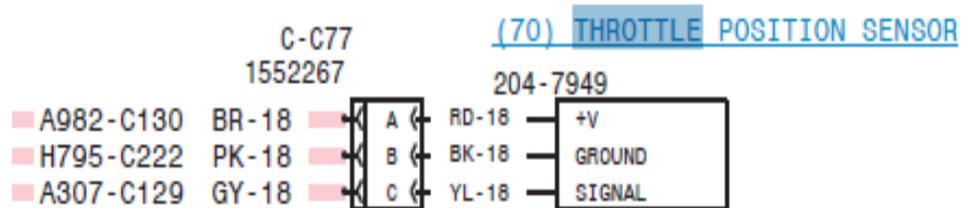


Figura 2.5: “Sensor de posición del acelerador”

En la mayoría de los casos, el mal funcionamiento de los motores electrónicos se debe a un problema en el sistema electrónico del mismo; estas fallas eléctricas se conocen como códigos de falla; y aparecen por ejemplo cuando el voltaje de la señal que envía un sensor al ECM está fuera de su rango de operación normal.

La figura 2.6 es una captura de pantalla del software de diagnóstico ET que muestra por ejemplo el valor de la velocidad del motor en funcionamiento; en la parte inferior

aparece un cuadro que detalla 3 códigos de fallas activos encerrados en color rojo. A continuación se va a explicar cómo interpretar un código de falla.

- 110-3: el número 110 representa al componente sensor de temperatura del refrigerante y el número 3 es el código de falla (FMI) que indica que el sensor esta enviando una señal por encima de su valor normal al ECM.

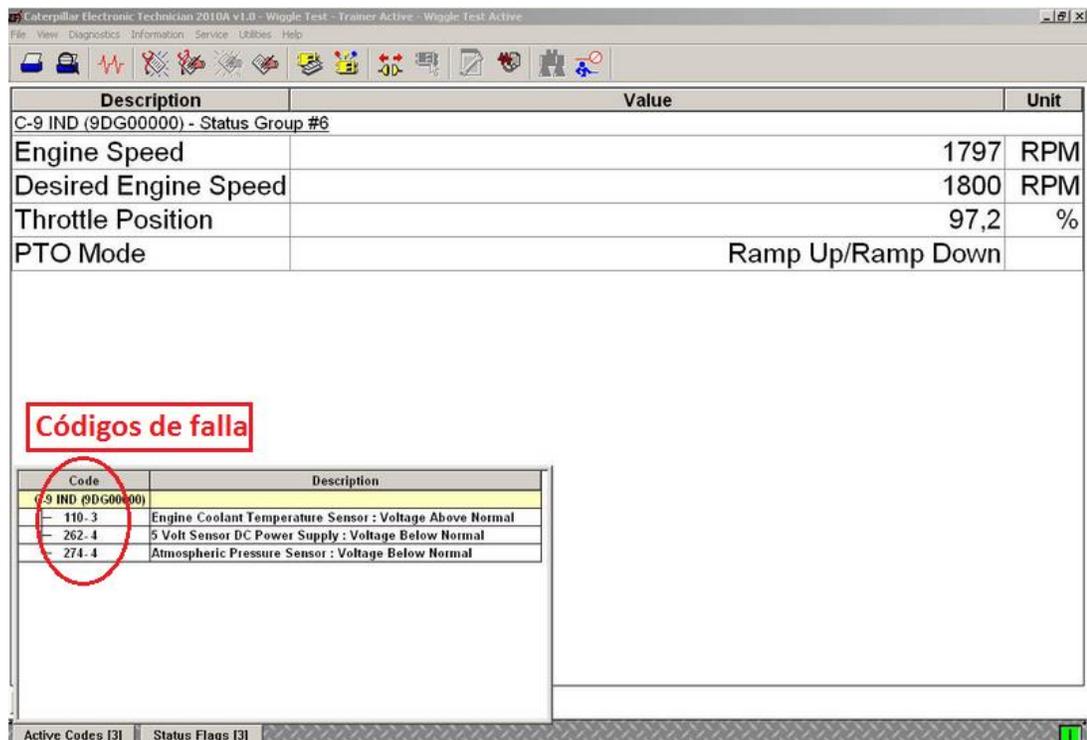


Figura 2.6: Códigos de falla que muestra el software ET

Los códigos de falla comunes son:

- FMI 03: conocido con el nombre de voltaje sobre lo normal; el valor de la señal es mayor a 4.8 VDC
- FMI 04: conocido con el nombre de voltaje bajo lo normal; el valor de la señal es menor a 0.2 VDC
- FMI 08: conocido como frecuencia anormal o ciclo de trabaja fuera del rango

El modelo teórico que se propone en este trabajo se muestra en la figura 2.7, donde se tiene un circuito que es la tarjeta simuladora de señales que se conecta a una computadora para visualizar la forma de las señales y los códigos de falla que se pueda generar.

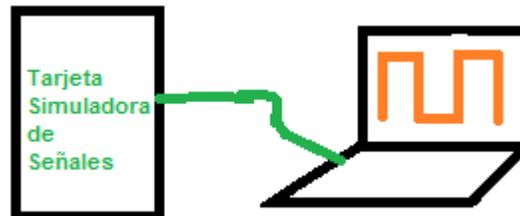


Figura 2.7: Modelo Teórico del Simulador de Señales.

2.3 Objetivos

Objetivo principal:

El objetivo principal del proyecto es diseñar e implementar un simulador de señales de sensores del sistema de control electrónico para un motor diesel Caterpillar C11 para fines de entrenamiento de personal técnico mecánico.

Objetivos específicos:

1. Realizar un estudio sobre el funcionamiento de los sensores del sistema electrónico para simular y revisar las fallas típicas del sistema.
2. Diseñar el circuito para generar las señales de los sensores de temperatura del aire de admisión, presión del aire de admisión y posición del acelerador.
3. Desarrollar una interfaz gráfica de usuario que permita visualizar las señales y mostrar una advertencia de código de falla cuando la señal se encuentre fuera de sus valores nominales

Capítulo 3: Diseño e Implementación de un Sistema Simulador

3.1 Descripción del sistema:

La implementación de un sistema simulador de señales de sensores de un motor diesel Caterpillar C11 debe generar señales y simular la detección de códigos de fallas de manera semejante al Sistema de Control Electrónico de los motores de maquinaria pesada Caterpillar, a fin de utilizar dicho sistema en los cursos de capacitación que se brindan a los técnicos mecánicos; además debe tener un bajo costo en comparación con el sistema Caterpillar.

El propósito de diseñar e implementar un simulador de señales de sensores es mejorar el aprendizaje de los técnicos en los cursos de capacitación que tienen programados a fin de que mejore el nivel de conocimiento técnico para ofrecer una mejor atención al cliente.

3.2 Requerimientos del sistema:

3.2.1 Requerimientos funcionales

El sistema a implementar simula las señales de 3 tipos de sensores diferentes que se encuentran en el sistema electrónico del motor diesel Caterpillar C11 de un cargador frontal de modelo 966H. Las señales que generan estos sensores son analógicas y digitales.

La tabla 3.1 muestra la relación entre los valores de presión y el voltaje que genera el sensor. La figura 3.1 muestra una gráfica de la señal analógica de presión del aire de admisión que proviene de un sensor activo que necesita de alimentación para operar.

k(Pa)	0	2	28	35	140	151
V	0,9	0,97	1,1	1,17	1,6	2

Tabla 3.1: “Tensión en función a la presión del sensor de presión del aire de admisión”

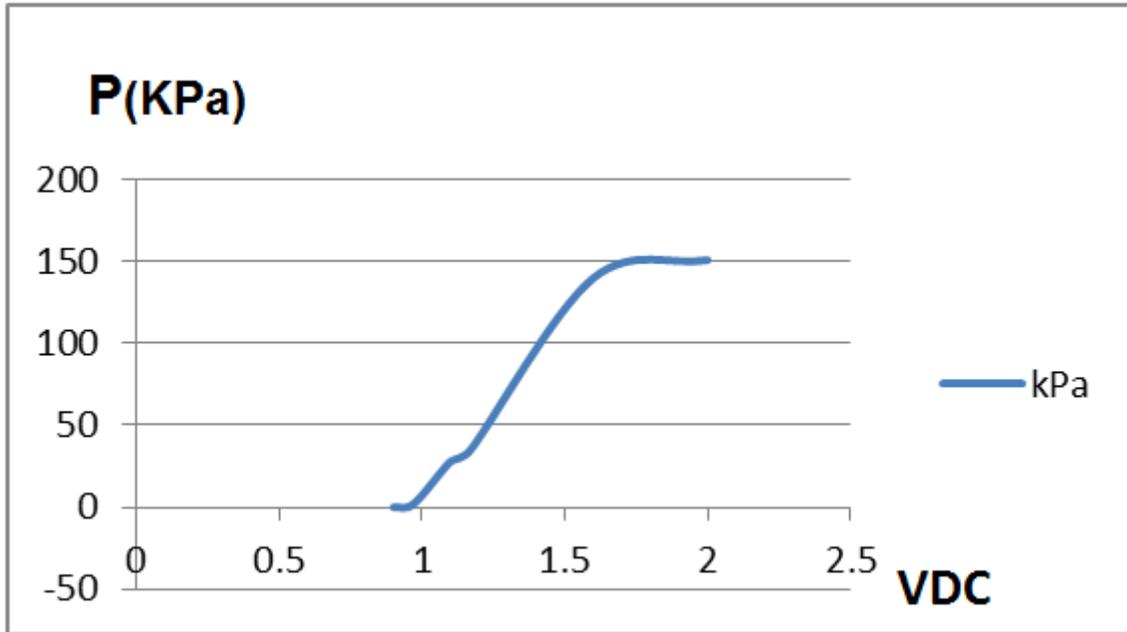


Figura 3.1: “Señal del sensor de presión del aire de admisión”

La tabla 3.2 muestra la relación entre los valores de temperatura y el voltaje que genera el sensor. La figura 3.2 muestra una gráfica de la señal de temperatura del aire de admisión, esta es una señal analógica que proviene de un sensor pasivo.

°C	34,3	29,8	26,7	26,2	25,8	25,7
V	2,87	3,08	3,26	3,28	3,29	3,3

Tabla 3.2: “Tensión en función de la temperatura del sensor de temperatura del aire de admisión”

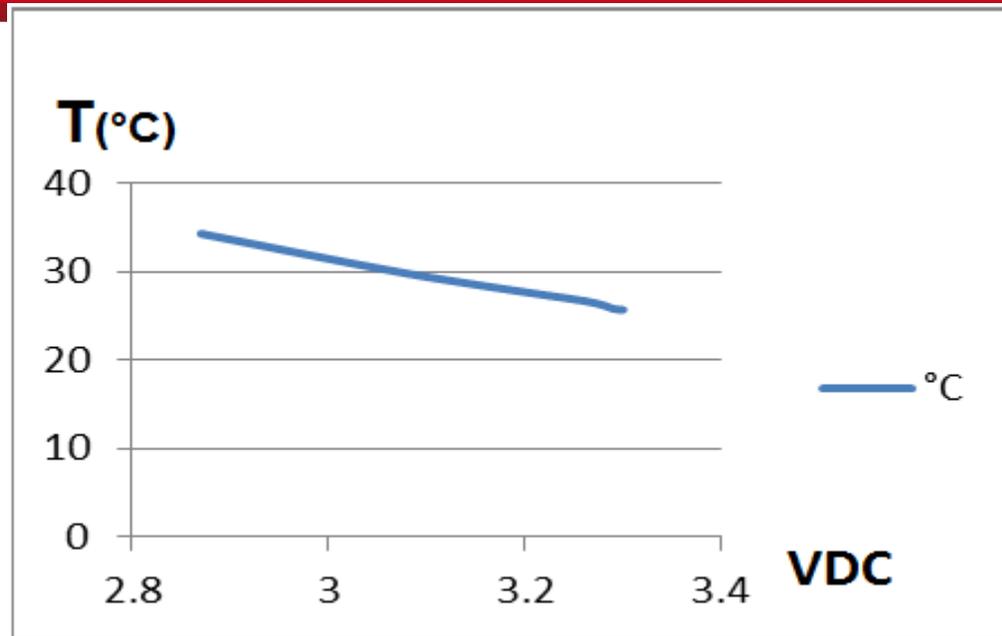


Figura 3.2: “Señal del sensor de temperatura del aire de admisión”

La figura 3.3 muestra una gráfica de la señal de posición del pedal, esta señal es digital pues solo toma dos valores; la variación de la posición del pedal varía el valor de ciclo de trabajo de la señal.

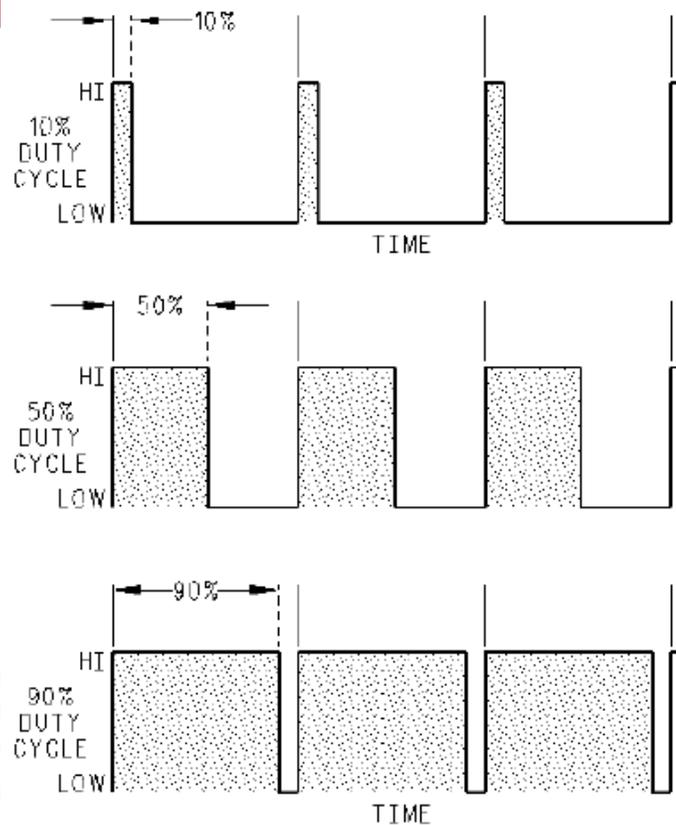


Figura 3.3: “Forma de señal del sensor de posición del pedal”

Las señales de la temperatura y presión del aire de admisión trabajan entre los rangos de 0.2 y 4.8 Vdc, los valores de voltaje menores a 0.2 Vdc detectados por el ECM generan un mensaje de error FMI 04 y los valores de voltaje mayores a 4.8 Vdc detectados por el ECM generan un mensaje de error FMI 03.

La señal del sensor de posición del pedal es del tipo PWM, el ciclo de trabajo o duty cycle varía entre el 7% y 95% de acuerdo a la posición del pedal del acelerador. La frecuencia a la cual trabaja es única y está comprendida entre 150 a 1000 Hz. Si el ciclo de trabajo o frecuencia no está dentro de los parámetros especificados, el ECM genera un mensaje de error FMI 08.

Por tal motivo, se necesita de un componente electrónico que permita generar señales que varíen en el tiempo en proporción al giro de un potenciómetro, es requisito del componente electrónico contar con un mínimo de 4 entradas que representen la

variable temperatura, la variable presión y la variable posición del pedal (en este punto se necesita una entrada para variar la frecuencia y otra para variar el ciclo de trabajo).

Las señales generadas deben ser visualizadas en una aplicación de computadora a fin de que el participante pueda observar la forma de onda y el comportamiento de la señal cuando se simule una variación en el parámetro que mide el sensor.

Además, cada vez que una señal simulada esta fuera del rango normal de operación; debe aparecer el modo de falla (FMI) que presenta en la pantalla para que el participante relacione los valores de voltaje detectados por el ECM con las fallas del mismo.

3.2.2 Requerimientos técnicos

De acuerdo a lo expuesto anteriormente es necesario el uso de conversores A/D ; por eso para la implementación del circuito generador de señales se va a utilizar un microcontrolador PIC (Peripheral Interface Controller), son fabricados por Microchip Technology Inc. Estos microcontroladores son de 8 bits; es decir la palabra que utilizan para representar un dato es de 8 bits. La arquitectura que presenta es Harvard RISC modificada; quiere decir que tiene un bus independiente para la memoria de datos y otro para la memoria del programa, adicional a esto tiene una pequeña porción de memoria entre la memoria de datos y la unidad de control de procesos para agilizar las operaciones que recibe el nombre de CACHE; lo mismo sucede con la memoria del programa.

Las razones para utilizar este microcontrolador además de tener ADCs, tiene un bajo costo económico, su ubicación en el mercado local es fácil, el consumo de energía es bajo ya que implementa la tecnología nanoWatt TECHNOLOGY; además se ha utilizado en el desarrollo de cursos de proyectos y laboratorios de la carrera.

Para el proyecto se utilizará el microcontrolador PIC18F2550 que tiene las siguientes características:

- Tres puertos (A, B y O) para configurar como entrada o salida.
- Hasta diez canales de convertidores ADC de 10 bit.

- Módulo USB v2.0 con una velocidad de hasta 480 Mb/s (60 MB/s) para la comunicación con la PC a diferencia de una comunicación serial o paralelo que llegan a velocidades de hasta 1Mb/s.
- Posee una memoria RAM de 1 Kb de acceso dual para USB
- Cuatro de modos de osciladores de cristal para usar con el USB
- Hasta dos módulos para generar ondas PWM con resolución de 1 a 10 bit
- Arquitectura optimizada para utilizar compiladores C.
- Alimentación del circuito desde los 2.0 v hasta 5.5 v.

La figura 3.4 muestra la distribución de pines del microcontrolador PIC18F2550 a utilizar en la implementación del proyecto.

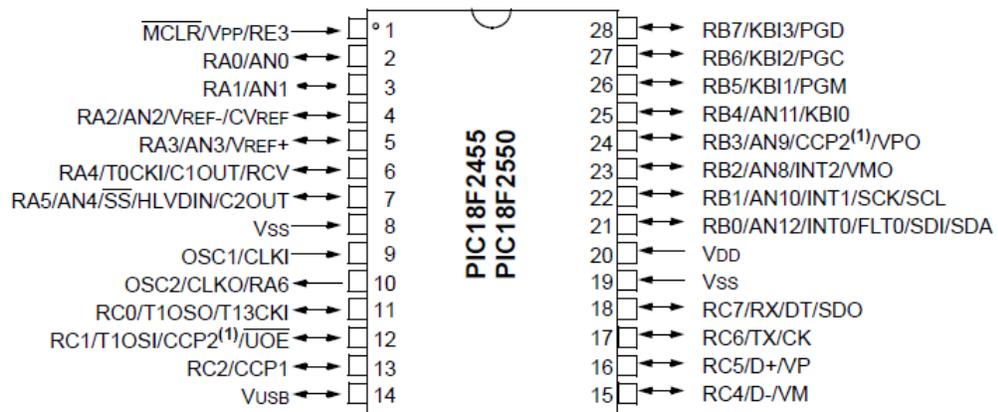


Figura 3.4: “Distribución de pines del PIC18F2550”

3.3 Diseño del Sistema Simulador

3.3.1 Diseño del circuito electrónico para el microcontrolador

Para la alimentación del PIC se utiliza el modo BUS POWER ONLY, toda la energía viene del puerto USB (Vbus). El led se prende cada vez que el microcontrolador es alimentado. El pin 1 y 2 del conector SV1 están unidos.

La figura 3.5 muestra el diagrama de conexiones para la alimentación del microcontrolador.

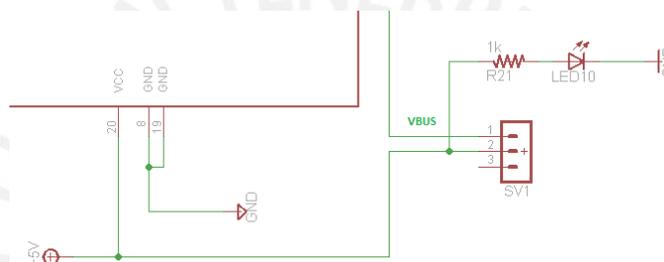


Figura 3.5: “Diagrama esquemático de la alimentación del PIC”

La figura 3.6 muestra el diagrama de conexiones del circuito USB del microcontrolador a fin de que pueda enviar los datos almacenados a una computadora a través de ese puerto.

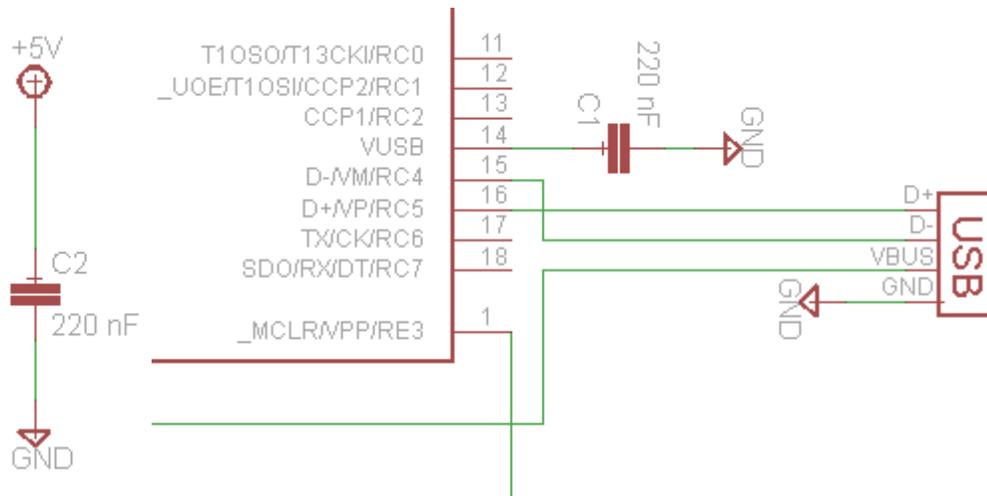


Figura 3.6: “Diagrama esquemático de la conexión USB del PIC”

El microcontrolador tiene un regulador interno de 3.3 v para alimentar al *transceiver* interno del módulo USB; la hoja de datos del fabricante recomienda el uso de un condensador a la salida del pin Vusb para asegurar la estabilidad del regulador. En la figura 3.6 se muestra la conexión del condensador de 220nF, este valor de condensador es tomado de la tabla 3.3 que se encuentra en el manual técnico del microcontrolador,

USB INTERNAL VOLTAGE REGULATOR SPECIFICATIONS

Operating Conditions: -40°C < TA < +85°C (unless otherwise stated).

Param No.	Sym	Characteristics	Min	Typ	Max	Units	Comments
D323	VUSBANA	Regulator Output Voltage*	3.0	—	3.6	V	
D324	CUSB	External Filter Capacitor Value*	220	—	—	nF	Must hold sufficient charge for peak load with minimal voltage drop

* These parameters are characterized but not tested. Parameter numbers not yet assigned for these specifications.

Tabla 3.3: “Valor de los condensadores de desacoplo”

El módulo USB necesita tener una señal estable de reloj; por eso a los microcontroladores PIC se les provea de una señal de reloj separada. La velocidad del USB 2.0 es de 48 MHz; se utiliza el modo de oscilador HS (High-Speed Crystal Resonator) y un oscilador de cristal de 8 MHz. En la figura 3.7 se muestra un gráfico que indica el camino (color rojo) para convertir los 8 MHz del oscilador de cristal externo a la señal de 48 MHz que necesita el módulo USB para operar de manera correcta.



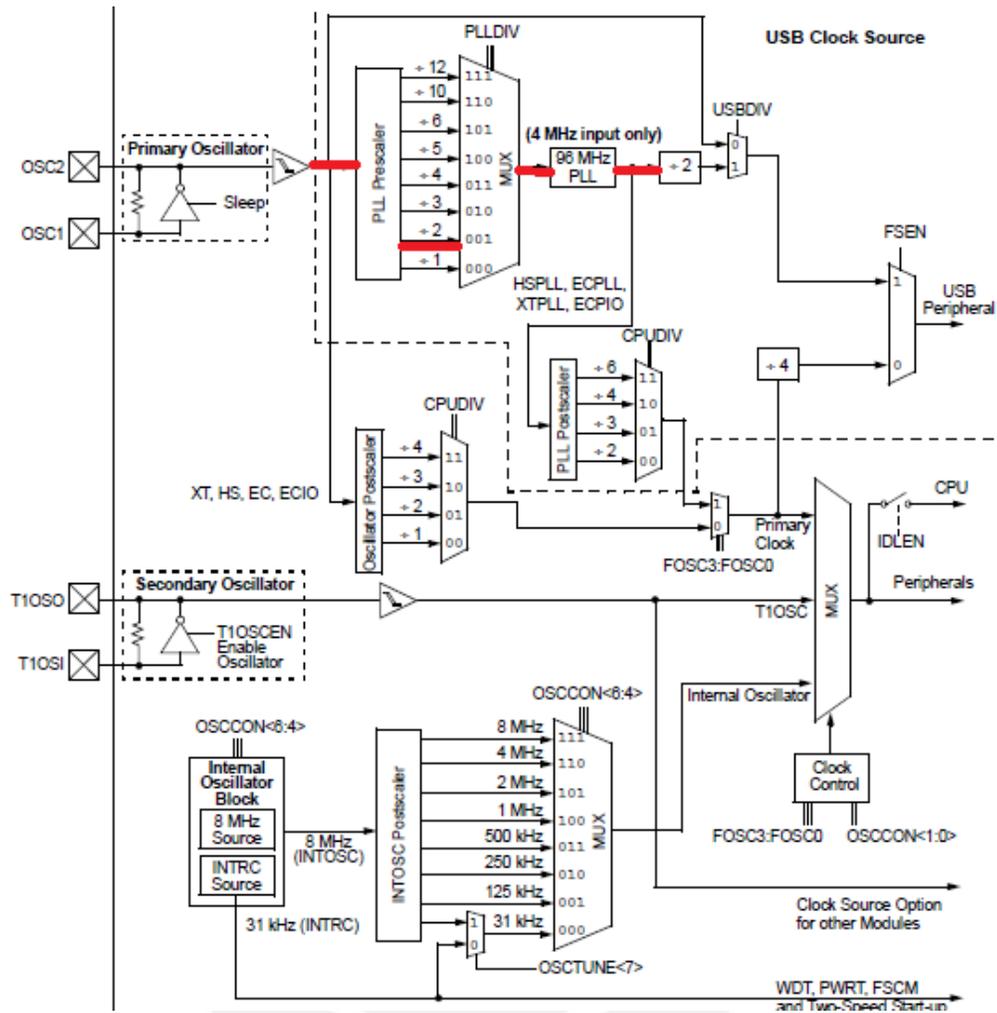


Figura 3.7: “Diagrama de bloques de la circuitería interna del oscilador del PIC”

La figura 3.8 muestra el diagrama esquemático del oscilador de cristal de 8 MHz conectado entre los pines 9 y 10; los 2 capacitores de 22 pF son para estabilizar la señal de salida del cristal. El valor de estos condensadores son determinados por la tabla 3.4 que se encuentra en el manual técnico del microcontrolador,

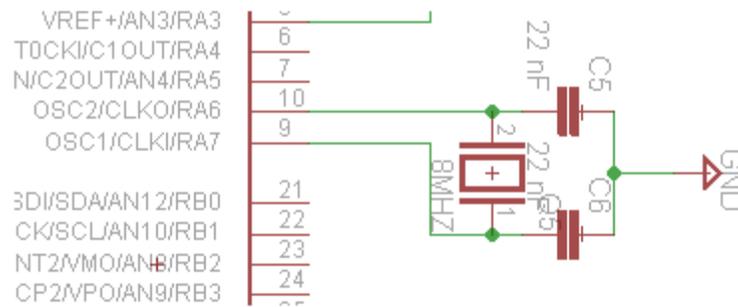


Figura 3.8: “Diagrama esquemático del circuito oscilador”

CAPACITOR SELECTION FOR CRYSTAL OSCILLATOR

Osc Type	Crystal Freq	Typical Capacitor Values Tested:	
		C1	C2
XT	4 MHz	27 pF	27 pF
HS	4 MHz	27 pF	27 pF
	8 MHz	22 pF	22 pF
	20 MHz	15 pF	15 pF

Tabla 3.4: “Selección de la capacidad de los condensadores de estabilidad”

Cada vez que el microcontrolador se alimenta, ocurre un reset en el mismo, todos los registros vuelven a su configuración original. Otra manera de reinicializar el equipo es implementar un circuito en el pin MCLR (Master Clear Reset). En la figura 3.9 se muestra la conexión del pin de reinicio MCLR, el reset del microcontrolador ocurre cuando al pin MCLR le llega una señal de nivel bajo (GND).

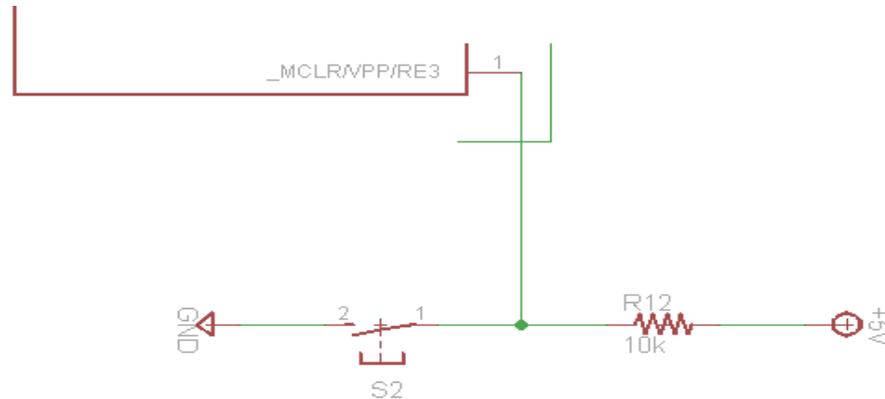


Figura 3.9: “Diagrama esquemático del pin MCLR”

La simulación de señales se basa en un divisor de voltaje con un potenciómetro de 100 kΩ. Según la hoja técnica del microcontrolador, la corriente máxima que admiten los pines de entrada es de 200 mA; en tal sentido se aplica la siguiente fórmula:

$$V_{\max} / R_{\min} < I_{\max} ; \text{ entonces } 5\text{V}/R_{\min} < 200\text{mA} \rightarrow R_{\min} > 25 \Omega$$

Así se demuestra que el valor de 100 kΩ del potenciómetro cumple el requerimiento del microcontrolador.

El puerto que se utiliza es el A, en la figura 3.10 se muestra la conexión entre los potenciómetros y las entradas del ADC. La distribución de pines es como sigue:

- RA0: Señal de temperatura
- RA1: Señal de presión
- RA2 y RA3: forman la señal digital PWM (RA2 sirve para variar el ciclo de trabajo y RA3 para variar la frecuencia)

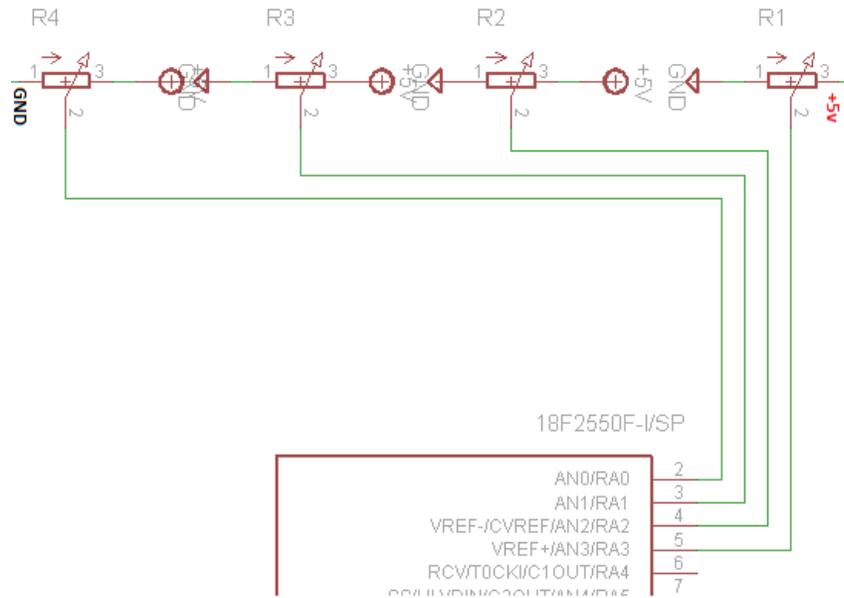


Figura 3.10: “Diagrama esquemático del generador de señales”

En la figura 3.11 se muestra el diagrama esquemático completo de la tarjeta de señales diseñado con el software de libre descarga Eagle. Al circuito se le ha añadido un diodo emisor de luz (LED) con un resistor de 1k que se enciende cada que se alimenta el microcontrolador.

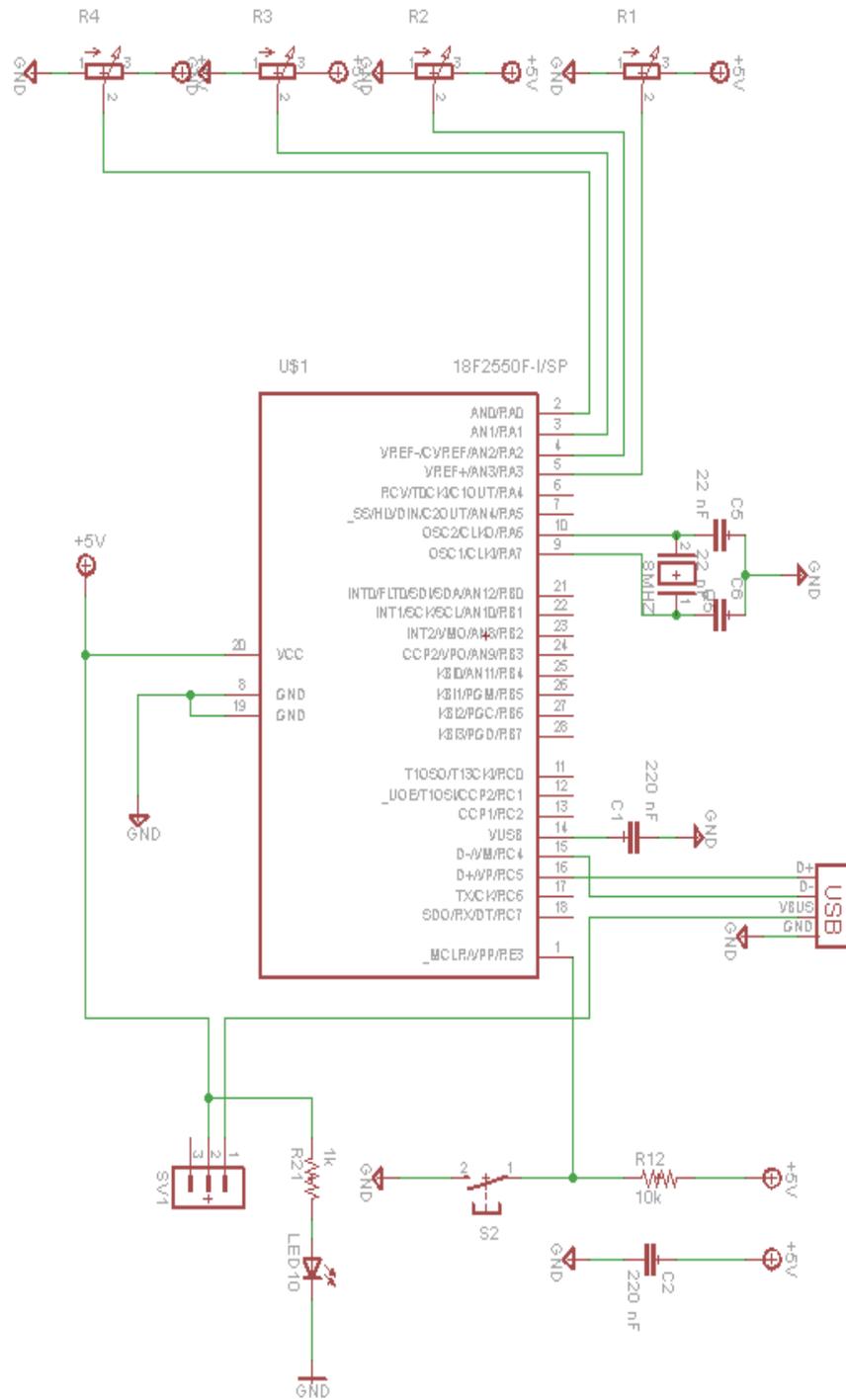


Figura 3.11: “Diagrama esquemático completo de la tarjeta simuladora de señales”

3.3.2 Programación del microcontrolador del Sistema Simulador

Para la programación del microcontrolador se utiliza un compilador que es un programa informático que traduce un programa escrito en lenguaje de alto nivel como el lenguaje C a otro, usualmente al lenguaje máquina; para este caso se utilizó el compilador Mikrobasic de la empresa MikroElektronika, está basado en lenguaje basic lo que facilita la programación pues la sintaxis usada es entendible de manera rápida por las personas.

El microcontrolador se comunica con la PC utilizando el puerto de comunicación USB. En este tipo de comunicación tenemos un host que es la computadora que se encarga de detectar la conexión y desconexión de algún dispositivo; el tipo de comunicación es half dúplex, siendo el host quien inicia la comunicación con los distintos periféricos conectados [8].

La comunicación via USB define diferentes tipo de dispositivos que se agrupan en diferentes clases que comparten características y tienen requisitos de transporte de datos similares. Esta es una ventaja para los fabricantes de dispositivos genéricos pues no necesitan desarrollar un driver específico, el sistema operativo utiliza drivers genéricos para una determinada clase [9].

La clase HID (Human Interface Device) está formada por dispositivos como teclados o lectoras de código de barras que sirven para controlar o enviar datos a una computadora; esta característica la hace ideal para utilizar este protocolo en el proyecto de tesis [9].

En la programación del microcontrolador se utiliza la librería “USBdsc” que permite la comunicación con la computadora.

Primero se selecciona el puerto A como entrada para el convertidor ADC, según la tabla 3.5.

Señal de temperatura	AN0 / RA0
Señal de presión	AN1 / RA1
Modulación PWM	AN2 / RA2
Modulación de frecuencia	AN3 / RA3

Tabla 3.5: “Distribución de pines en el puerto A”

En la rutina de interrupción se habilita el procedimiento “HID_InterruptProc” para que realice la comunicación entre el microcontrolador y la PC por el puerto USB. Luego, se procede a configurar los registros principales:

1. Se configura el registro de control del ADC: “ADCON1 = ADCON1 or 0x0F”

Bit7

Bit0

-----	-----	VCFG1	VCFG2	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
-----	-----	0	0	1	1	1	1

Bit5: VCGF1=0, significa que Vref negativo es igual a VSS

Bit4: VCGF2=0, significa que Vref positivo es igual a VDD

Bit3-0: PCFG3-1=1111, significa que se configura las entradas del ADC como digitales

Para esta configuración, la resolución del ADC es 4.88mV.

2. Se configura el registro de control ADC: “ADCON2 = 0”

Bit7

Bit0

ADFM	-----	ACQT2	ACQT1	ACQT0	ADCS2	ADCS1	ADCS0
-----	-----	0	0	0	0	0	0

Bit7: ADFM=0, significa que el resultado esta justificado a la izquierda y solo nos interesan los 8 bits más significativos

Bit5-3: ACQT2-0=0, significa que el Tad (tiempo de adquisición o de espera luego de seleccionar un canal) es igual a 0

Bit2-0: ADCS2-0=0, significa Fosc/2

Según esta configuración nuestro Tad es cero, entonces dentro del código incluimos un delays (4) que reemplaza al Tad configurado como 0.

Si nuestro delay es de 4 ms → nuestra Fmuestreo = 250 Hz ; este valor es suficiente para mostrar la gráfica de las variables de temperatura, presión y posición del acelerador.

3. Se configura el registro TRISA = 0xFF (puerto A como entrada).

La trama de datos a enviar por el USB se definen en el byte “userWR_buffer”:

userWR_buffer[0] = userRD_buffer[0] //byte que envía el identificador del microcontrolador

userWR_buffer[1] = usbReadADC //bit de confirmación de envío.

userWR_buffer[2] = ADC_A //valor digital del canal

userWR_buffer[3] = userRD_buffer[1] //identificador del canal digitalizado

El programa completo del microcontrolador se ubica en el anexo 1.

3.3.3 Programación de la interfaz de usuario:

La interfaz para visualizar las señales simuladas por los potenciómetros se implementó en Visual Basic, para ello se utilizó la librería ZedGraph que permite realizar gráficos en 2D.

La figura 3.12 muestra el diagrama de flujo del programa desarrollado.

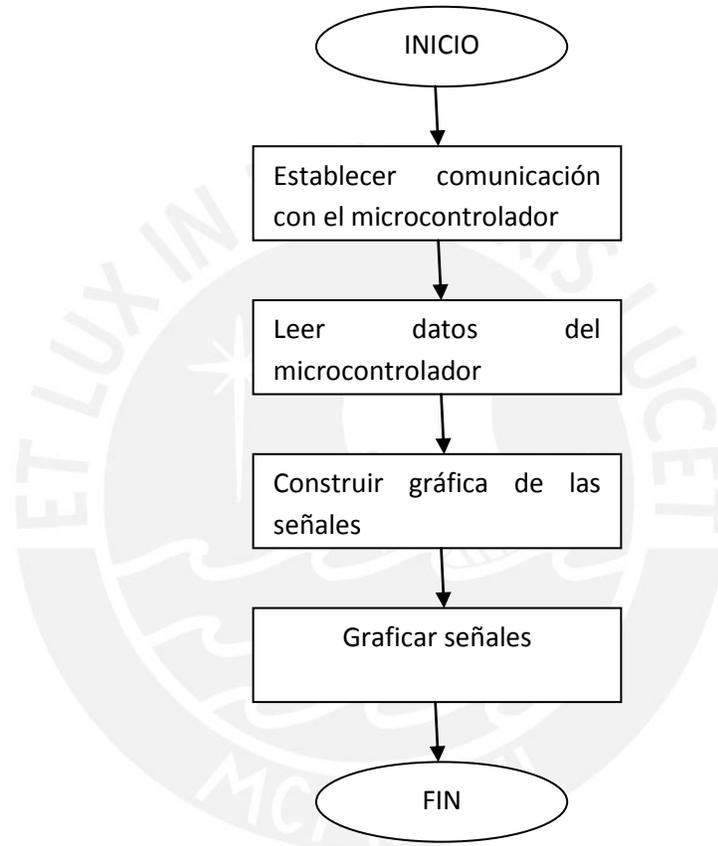


Figura 3.12: “Diagrama de proceso de la interfaz de usuario”

El envío de datos del microcontrolador hacia la PC se obtienen con esta rutina :
“ExchangeInputAndOutputReports()”

Se definió las siguientes variables para cada una de las señales simuladas, las cuales se muestran en la tabla 3.6.

m_ADCValue_Ch00	Señal de temperatura
m_ADCValue_Ch01	Señal de presión
m_ADCValue_Ch02	Modulación PWM
m_ADCValue_Ch03	Modulación de frecuencia

Tabla 3.6: “Variables de las señales de adquisición en Visual Basic”

Para simular la curva de la señal de temperatura se escaló la variable m_ADCValue_Ch00 de acuerdo a los valores medidos en una prueba real, el gráfico de la curva real se muestra en el capítulo 3 (página 18).

Signal_0 = (m_ADCValue_Ch00 * 40.00) / 1024.00; // Canal 0, valor máximo 40 en el eje Y, 1024 tamaño de la variable

El valor de voltaje que se muestra en el cuadro de texto se calcula mediante la expresión:

VoltageCH0 = 4.585 - Signal_0 / 20.00; // ecuación calculada con los datos de la tabla 3.2

En esta parte del código se compara los valores de voltaje que almacena la variable VoltageCH0 para mostrar el código de falla correspondiente:

```

if (VoltageCH0 > 4.8)
{
myPanelCh00.Title.Text = "FMI 03";
System.Media.SystemSounds.Beep.Play();
}
else
{

```

```

if (VoltageCH0 < 0.2)
{
myPanelCh00.Title.Text = "FMI 04";
System.Media.SystemSounds.Beep.Play();
}
else
myPanelCh00.Title.Text = " ";
}

```

Se configura la escala y las características de la gráfica de la señal de temperatura:

```

APP_VIEWER_0.GraphPane.CurveList.Clear();
myPanelCh00 = APP_VIEWER_0.GraphPane;
myPanelCh00.XAxis.Scale.Min = 0;
myPanelCh00.XAxis.Scale.Max = 200;
myPanelCh00.YAxis.Scale.Min = 0;
myPanelCh00.YAxis.Scale.Max = 40;
myPanelCh00.YAxis.MajorGrid.IsVisible = true;
myPanelCh00.YAxis.MinorGrid.IsVisible = true;
myPanelCh00.XAxis.Title.Text = "Tiempo (Segundos)";
myPanelCh00.YAxis.Title.Text = "Temperatura °C";
myPanelCh00.Title.Text = " ";

```

Para simular la curva de la señal de presión se escaló la variable `m_ADCValue_Ch01` de acuerdo a los valores medidos en una prueba real, la gráfica real se muestra en el capítulo 3 (página 17).

```

Signal_1 = (m_ADCValue_Ch01 * 200.00) / 1024.00; // Canal 1, valor máximo 200 en
el eje Y, 1024 tamaño de la variable.

```

La curva de la señal de presión se puede dividir en tres zonas (ver figura 3.13) para facilitar su gráfica, para eso se define la variable “VoltageCH1”

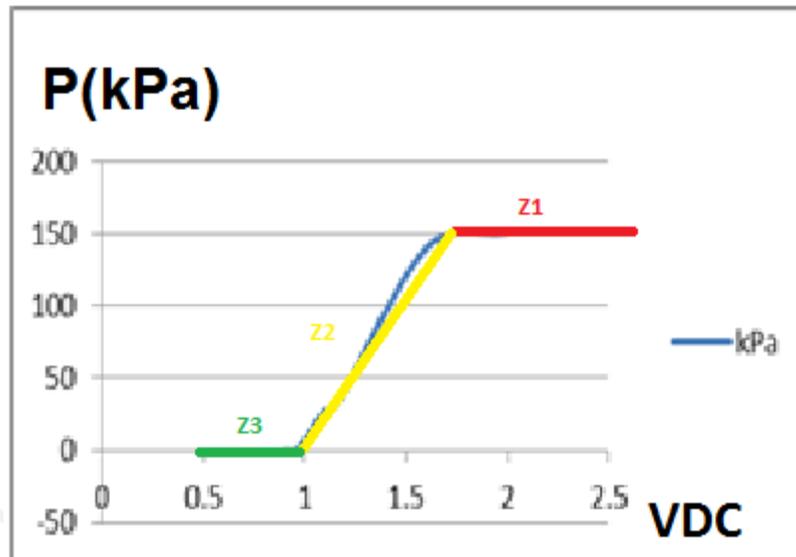


Figura 3.13: “Segmentación de la señal del sensor de presión de admisión”

Para graficar la zona 2 de color amarillo, se utiliza la siguiente expresión:

```
VoltageCH1 = (m_ADCValue_Ch01 * 5.00) / 1024.00; // lo multiplico por 5 por ser el
máximo valor de voltaje, 1024 tamaño de la variable
```

Para graficar las zonas 1 y 2 se compara el valor de la variable “VoltageCH1” con los valores 2 y 0.90 de acuerdo a la señal real que se muestra en la figura 3.13.

```
if (VoltageCH1 > 2.00)
Signal_1 = 151;
else
{
if (VoltageCH1 < 0.90)
Signal_1 = 0;
Else
{
```

```
Signal_1 = 151.00 * (VoltageCH1 - 0.90) / 1.1;  
}  
}
```

Los valores 2.00, 0.90 y 151.00 son tomados de la figura 3.13.

En esta parte del código se compara los valores del voltaje que almacena la variable VoltageCH1 para mostrar el código de falla correspondiente:

```
if (VoltageCH1 > 4.8)  
{  
    myPanelCh01.Title.Text = "FMI 03";  
    System.Media.SystemSounds.Beep.Play();  
}  
else  
{  
    if (VoltageCH1 < 0.2)  
    {  
        myPanelCh01.Title.Text = "FMI 04";  
        System.Media.SystemSounds.Beep.Play();  
    }  
    else  
        myPanelCh01.Title.Text = " ";  
}
```

Se configura la escala y las características de la gráfica de la señal de presión:

```
APP_VIEWER_1.GraphPane.CurveList.Clear();  
myPanelCh01 = APP_VIEWER_1.GraphPane;  
myPanelCh01.XAxis.Scale.Min = 0;  
myPanelCh01.XAxis.Scale.Max = 200;  
myPanelCh01.YAxis.Scale.Min = -50;  
myPanelCh01.YAxis.Scale.Max = 200;
```

```
myPanelCh01.YAxis.MajorGrid.IsVisible = true;  
myPanelCh01.YAxis.MinorGrid.IsVisible = true;  
myPanelCh01.XAxis.Title.Text = "Tiempo (Segundos)";  
myPanelCh01.YAxis.Title.Text = "Presión kPa";  
myPanelCh01.Title.Text = " ";
```

La señal de la posición del pedal tiene dos potenciómetros, uno para variar el ciclo de trabajo y otro para variar la frecuencia. A continuación se escribe parte del código empleado para generar estas gráficas:

```
PWM_Freq = (int)(1500.00*m_ADCValue_Ch03/1024.00) // lo multiplico por 1500 por  
ser el máximo valor de F, 1024 tamaño de la variable
```

```
PWM_Duty = (m_ADCValue_Ch02 * 100) / 1024.00; // lo multiplico por 100 por ser el  
máximo valor en %, 1024 tamaño de la variable
```

Se compara los valores del voltaje para mostrar el código de falla correspondiente.

```
if ((PWM_Duty > 95) || (PWM_Freq > 1000))  
{  
myPanelCh02.Title.Text = "FMI08";  
System.Media.SystemSounds.Beep.Play();  
}  
else  
{  
if ((PWM_Duty < 7) || (PWM_Freq < 150))  
{  
myPanelCh02.Title.Text = "FMI08";  
System.Media.SystemSounds.Beep.Play();  
}  
else  
myPanelCh02.Title.Text = " ";
```

Se configura la escala y las características de la gráfica de la señal de posición del pedal:

```
APP_VIEWER_2.GraphPane.CurveList.Clear();  
myPanelCh02 = APP_VIEWER_2.GraphPane;  
myPanelCh02.XAxis.Scale.Min = 0;  
myPanelCh02.XAxis.Scale.Max = 200;  
myPanelCh02.YAxis.Scale.Min = 0;  
myPanelCh02.YAxis.Scale.Max = 20;  
myPanelCh02.YAxis.MajorGrid.IsVisible = true;  
myPanelCh02.YAxis.MinorGrid.IsVisible = true;  
myPanelCh02.XAxis.Title.Text = "Tiempo (mS)";  
myPanelCh02.YAxis.Title.Text = "Pos. del Pedal";  
myPanelCh02.Title.Text = " ";
```

El vendor ID es la identificación del fabricante del dispositivo a conectar a un módulo USB y el product ID es la identificación del producto y sirve para que la computadora identifique al dispositivo cuando este se conecte. Estos valores se configuran al momento de desarrollar el programa.

```
txtVendorID.Text = "0001";  
txtProductID.Text = "0020";
```

El desarrollo completo de la interfaz de usuario se encuentra en el anexo 2.

Capítulo 4: Resultados

4.1 Construcción de las tarjetas electrónicas:

Los circuitos electrónicos del sistema simulador fueron diseñados en el software de libre descarga Eagle 6.1.0, se generaron las pistas y luego se construyeron las tarjetas de circuito impreso. Se hizo las pruebas necesarias que verificar el funcionamiento del sistema.

En la figura 4.1 se muestra el diagrama de pistas de la tarjeta simuladora de señales.

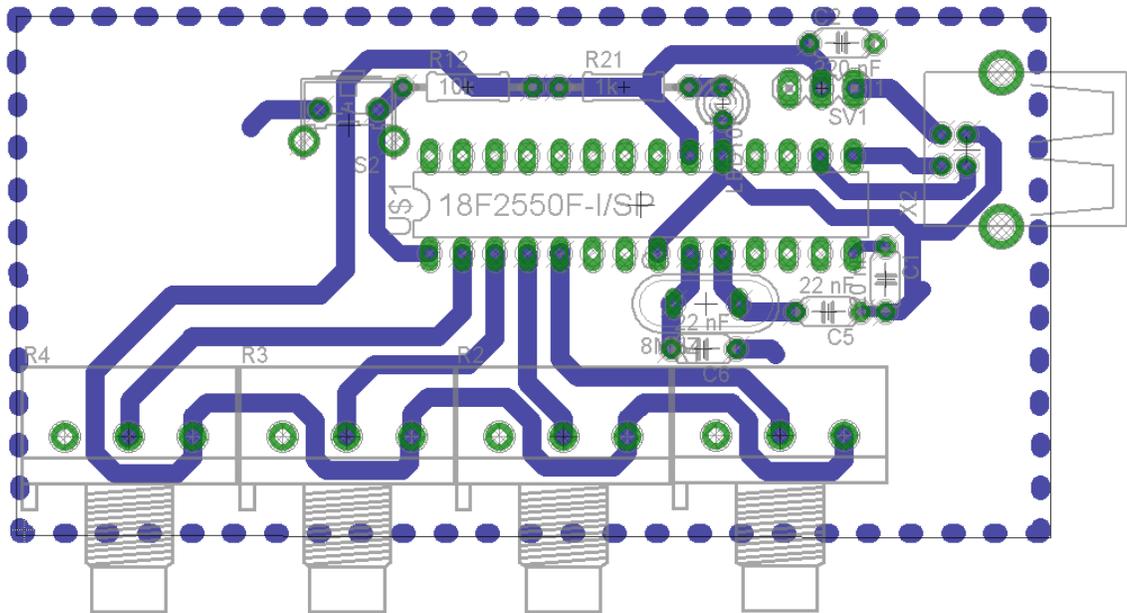


Figura 4.1: “Circuito impreso de la tarjeta simuladora de señales”

En la figura 4.2 se muestran las pistas del circuito final del sistema simulador, se ve la posición de los 4 potenciómetros.

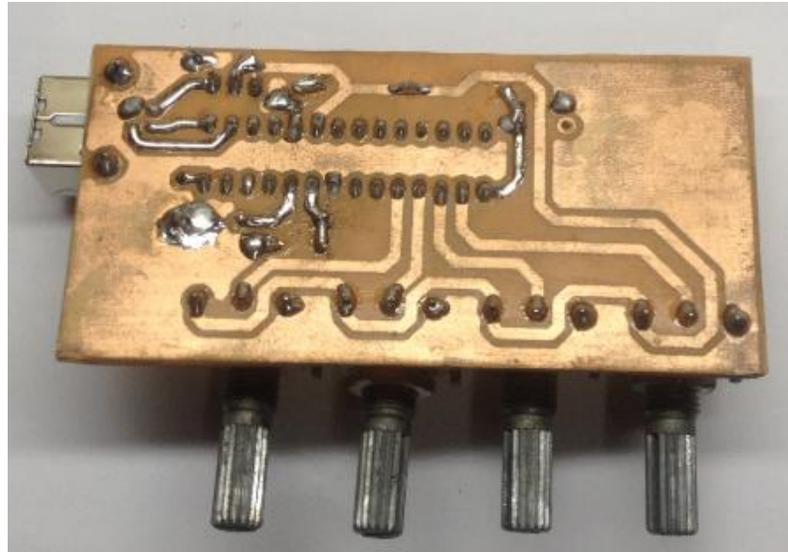


Figura 4.2: “Vista inferior de la tarjeta simuladora de señales”

En la figura 4.3 se muestra la tarjeta final utilizada en el sistema simulador de señales.

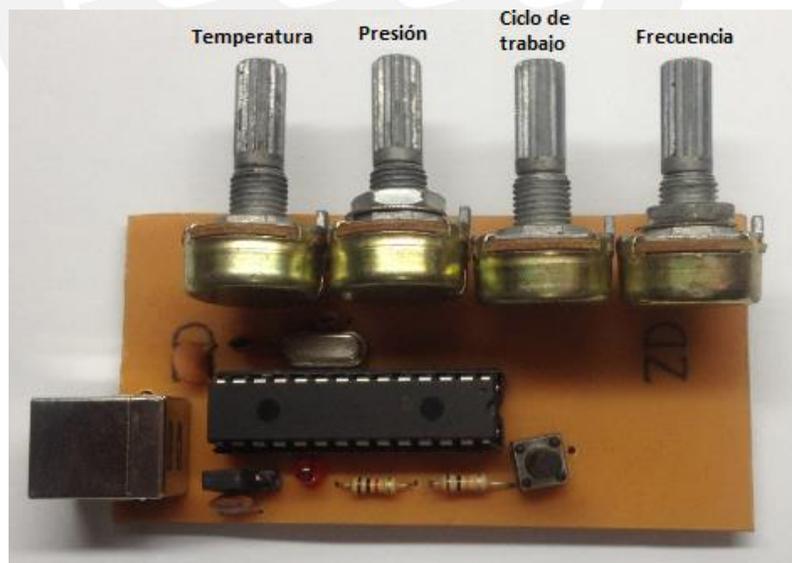


Figura 4.3: “Vista superior de la tarjeta simuladora de señales”

4.2 Ensayos realizados:

El resultado del programa se muestra en la figura 4.4; para observar las señales se debe presionar la opción “Iniciar monitoreo”.

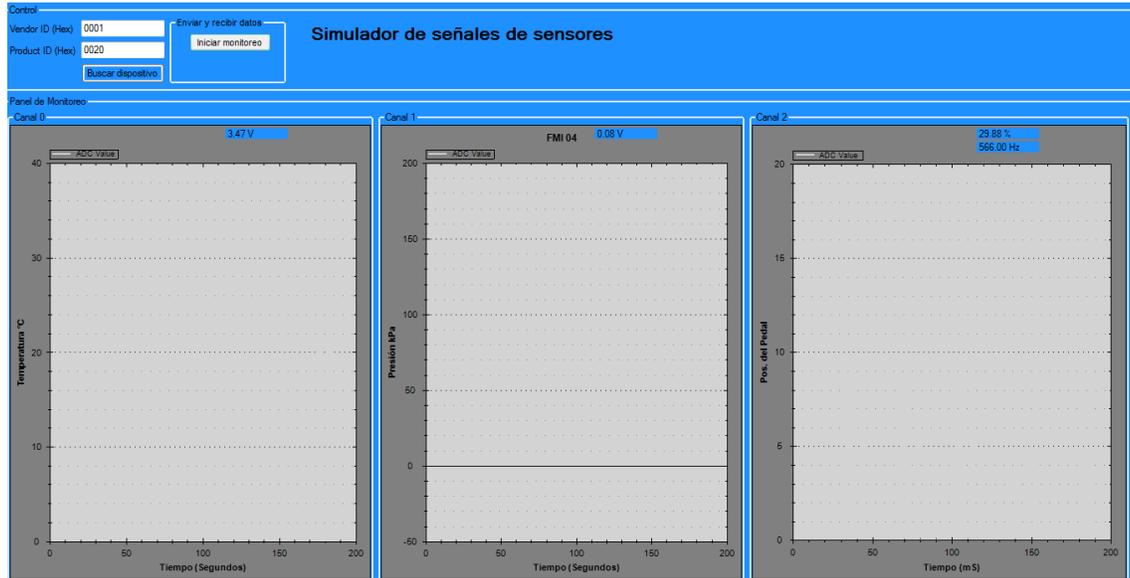


Figura 4.4 Ventana de inicio del Sistema Simulador de Señales

En la figura 4.5 se ha iniciado el monitoreo y se observa que los valores de las tres señales de los sensores se encuentran dentro de los rangos de trabajo, no se ha generado ningún código de falla.

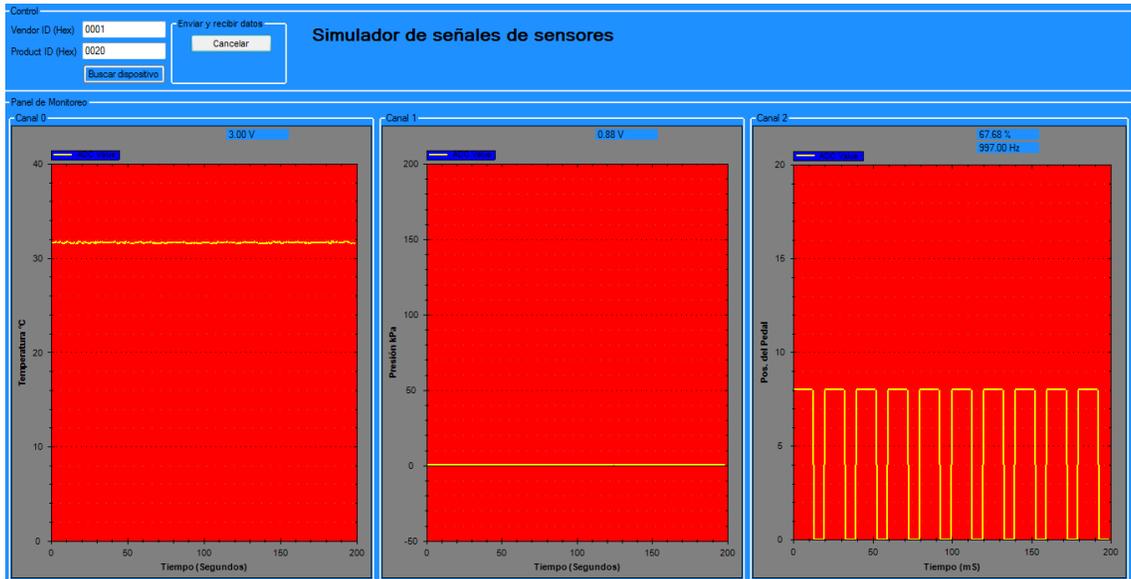


Figura 4.5: “Valores aceptados de las señales de los sensores”

En la figura 4.6 se muestra la simulación de la variación de los valores de las señales de los sensores, esto se logró moviendo las perillas de los potenciómetros.

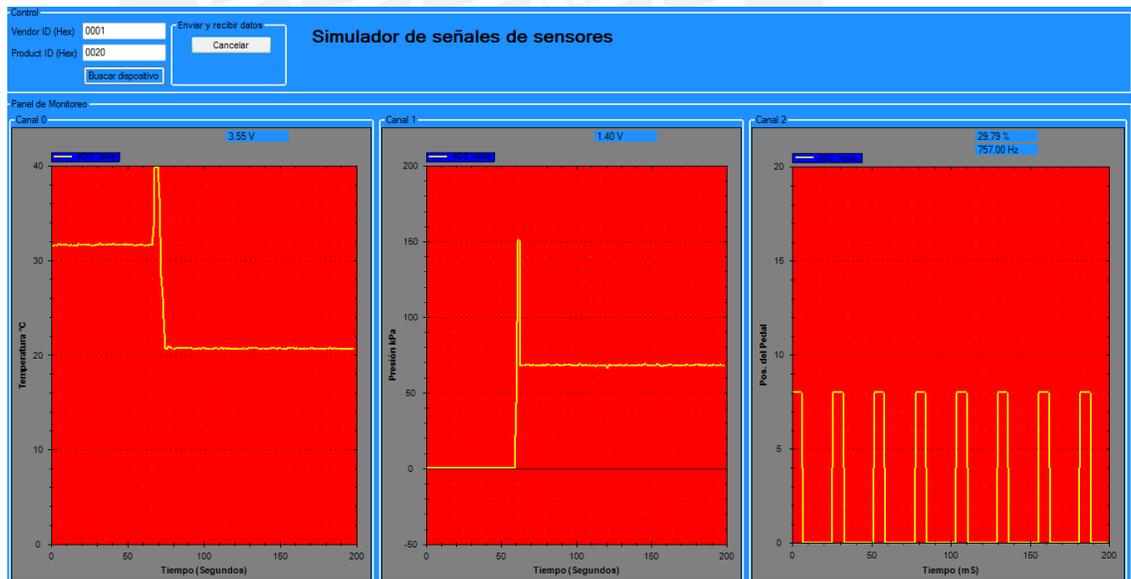


Figura 4.6: “Simulación de la variación de las señales de los sensores”

En la figura 4.7 se observa que el valor de la señal del sensor de presión ha alcanzado un valor menor a su valor mínimo que es 0.2 Vdc; por eso aparece el código de falla FMI 04.

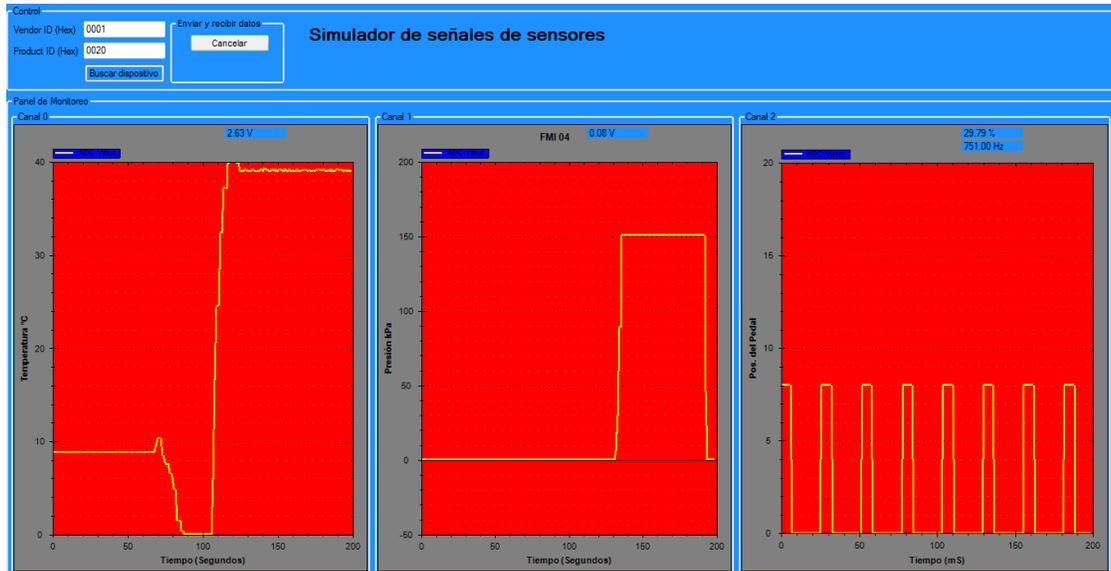


Figura 4.7: “Código de falla FMI 04 en el sensor de presión”

En la figura 4.8, se muestra que la señal del sensor de presión es mayor al valor de 4.8 VDC por eso se muestra en la pantalla el código de falla FMI 03.

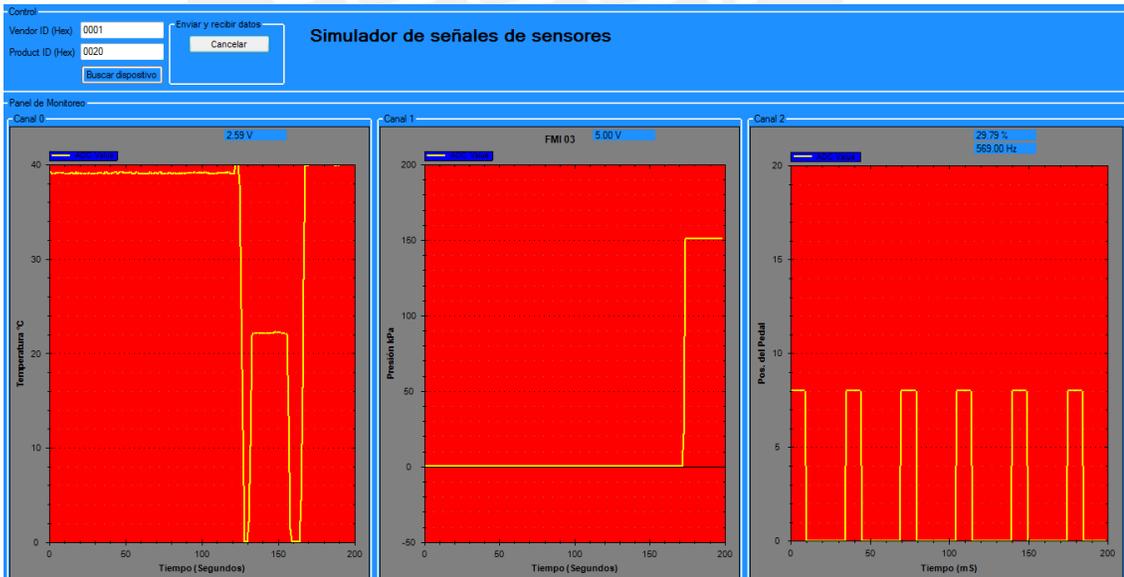


Figura 4.8: “Código de falla FMI 03 en el sensor de presión”

La figura 4.9 muestra una falla eléctrica FMI08 ya que la señal del sensor de posición del pedal marca es 5.18% y los valores aceptados están en el rango de 7 al 95%.

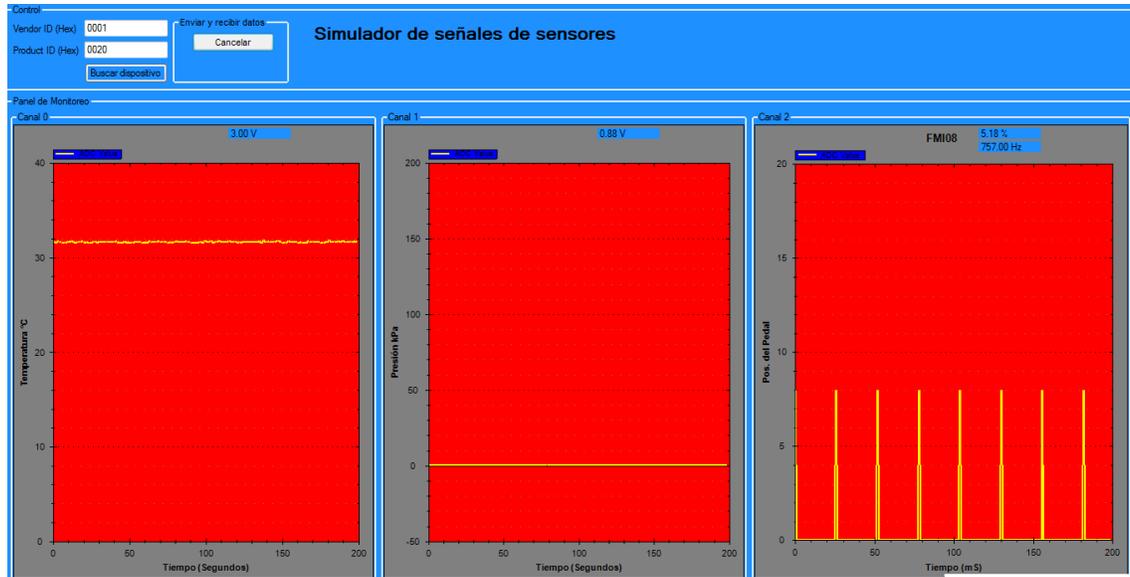


Figura 4.9: “Código de falla FMI 08 en el sensor de posición del pedal”

4.3 Análisis de resultados:

El estudio previo de las señales de los sensores sirvió para conocer la forma de onda que tenían y así definir que microcontrolador usar y como poder implementarlas en una interfaz gráfica de usuario.

Las gráficas de las señales originales de los sensores se aproximaron mediante ecuaciones lineales a fin de poder generarlas con el software Visual Basic, como se observa en las imágenes anteriores se logró generar los códigos de falla recurrentes como el FMI 03, FMI 04 y FMI 08.

El microcontrolador PIC utilizado permitió instalar los cuatro potenciómetros en los puertos de entrada del ADC para generar las señales de temperatura del aire de admisión (una entrada), de presión del aire de admisión (una entrada) y de posición del pedal (dos entradas).

4.4 Costos:

El costo del proyecto considera los precios de los dispositivos electrónicos, de la tarjeta y la ingeniería involucrada para el diseño del firmware y la interfaz de usuario. La tabla 4.1 muestra los costos del mismo.

Item	Descripción	Cantidad	Precio s/.
1	Costo del firmware de la tarjeta simuladora	1	250.00
2	Costo del hardware de la tarjeta simuladora	1	50.00
3	Costo del desarrollo de la interfaz de usuario gráfica	1	450.00
4	Honorarios del tesista (*)	1	7500.00
Precio Total			8250.00

Tabla 4.1: “Costos estimados de la implementación del proyecto”

(*) Estos cálculos se basaron en las horas de desarrollo empleadas durante el proyecto tomando en cuenta un Ingeniero recién egresado con un salario mínimo contratado por un período de 5 meses. Los costos de firmware y hardware abarcan asesorías y búsquedas de información para desarrollar los programas.

Conclusiones

1. El sistema simulador de señales de sensores de un motor Caterpillar diesel C11 cumple con el requerimiento de simular las fallas eléctricas más comunes en los sistemas electrónicos Caterpillar que son FMI03, FMI04 y FMI08.
2. Se usaron 4 puertos del ADC del microcontrolador PIC para instalar los potenciómetros que permiten simular las variaciones de las señales de los sensores y las fallas eléctricas.
3. Las observaciones al comportamiento de las señales de los sensores sirvió para implementarlas en la interfaz gráfica de usuario desarrollada para computadora.
4. La interfaz de usuario muestra la variación de las señales de los sensores lo que facilita entender como a partir de un cambio en el parámetro medido por el sensor, el valor de su voltaje también varía. La interfaz de usuario permite simular fallas eléctricas de los sensores de temperatura del aire de admisión, presión del aire de admisión y la posición del pedal.
5. Se redactó un manual de usuario del sistema simulador de señales dirigido para los facilitadores de las capacitaciones técnicas. Ver Anexo 3.

Recomendaciones

La implementación de un sistema simulador de señales tanto analógicas como digitales no debe ser exclusivo para la capacitación de técnicos mecánicos de maquinaria pesada Caterpillar, sino que, puede también servir para cursos básicos de electrónica para electricistas de mantenimiento de otras empresas del sector de maquinaria pesada. Así como también puede ser utilizado en institutos técnicos, universidades y colegios que tengan en su curricula cursos relacionados con la ingeniería electrónica.

Para trabajos futuros se puede agregar la simulación de otras variables que se consideren importantes pues la capacidad del microcontrolador utilizado lo permite.



Bibliografía

- [1] SANZ, Santiago
2007 *Motores. Mantenimiento de vehículos autopropulsados*. Editex.
Consulta: 9 de diciembre del 2013.
<http://books.google.es/books?id=jrwSvhtlVhkC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>
- [2] MARTÍ, Albert
1996 *Inyección electrónica en motores de diésel*. Barcelona: Marcombo. Consultada: 9 de diciembre del 2013.
<http://books.google.com.pe/books?id=gn8cyPMWDSUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>
- [3] CATERPILLAR
Cat® Engines with ACERT™ Technology [diapositivas].
Consultada: 9 de diciembre del 2013.
<<http://www.cormabiobio.cl/6accionar/ferias/Produccion/cat-simatel.pdf>>
- [4] PITCHAR® TESTER 600
Consultada: 25 de febrero del 2014
<http://www.electronicapitarch.com.ar/manual_t600_definitivo.pdf>
- [5] Manual del sistema de automatización del s7-200
Consultada: 25 de febrero del 2014
<<https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S7200ManualSistema.pdf>>

- [6] Tesis “Sistema de control scada para el proceso de obtención de biocombustible utilizando un plc s7-200 y el software Labview”
Consultada: 20 de febrero del 2014
<<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4121/1/UPS-GT000376.pdf>>
- [7] Tesis “Construcción de prototipo de un brazo robótico controlado por un ordenador”
Consultado: 22 de febrero del 2014
<<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4642/1/CD-4273.pdf>>
- [8] Tesis “Diseño y desarrollo de un programador usb para microcontroladores PIC”
Consultado: 28 de febrero del 2014
<http://132.248.9.195/ptd2009/agosto/0647243/0647243_A1.pdf>
- [9] Tesis “Diseño e implementación de una tarjeta de sensorización usb con hasp basada en HID”
Consultado: 20 de abril del 2014
<<http://mural.uv.es/miexsan/pfc/pfc.pdf>>