

MODELO MATEMÁTICO PARA EL CÁLCULO DEL TIEMPO DE INYECCIÓN APLICABLE A UN SIMULADOR

MATHEMATICAL MODEL FOR THE CALCULATION OF THE INJECTION TIME APPLICABLE TO A SIMULATOR

Raúl Hidrobo Salazar¹, Angel Portilla Aguilar², Luis Corrales Paucar³, Wilson Morán Flores⁴

¹ Mecánica Express, Calle Japón N 37-96 y Avenida Naciones Unidas, ^{2,3,4} Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara E11•253

e – mail: ¹mecanica_express@yahoo.com, ²angel.portilla@epn.edu.ec, ³luis.corrales@epn.edu.ec, ⁴wilson.moran@epn.edu.ec

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro VI Edición 2017, No.1 (19)

RESUMEN

El objetivo del artículo es presentar el comportamiento de los diferentes sensores para el cálculo del tiempo de inyección utilizable en un sistema de inyección electrónica de combustible que permita determinar su comportamiento a diferentes condiciones de funcionamiento y de carga, la obtención de mapas de inyección para determinar el efecto de cada sensor en la inyección de gasolina, aire y en la corrección del mismo.

Con este objetivo se elaboró un modelo matemático aplicable a un software que calcule los tiempos de inyección, tiempos de chispa, funcionamiento en modo alterno de falla y control de los actuadores que pueden ser elementos reales o circuitos para simular los sensores más relevantes de la Unidad de Control Electrónico (ECU) para que pueda calcular la cantidad de combustible, determinar el orden de inyección, corregir los tiempos de retraso de chispa, determinar las correcciones por ancho de pulso y el comando a actuadores.

Las pruebas realizadas muestran que la simulación presenta un error de hasta el 10,82% al comparar los valores medidos con los valores obtenidos mediante el modelo matemático. Se logró obtener los mapas de inyección de combustible y se verificó con pruebas sobre sensores y actuadores reales.

Palabras clave

ECU, simulación, sensores, inyección electrónica, software para cálculo de tiempos.

ABSTRACT

The objective of the present article is to study the behavior of the different sensors for the calculation of the injection time usable in Electronic Fuel Injection Systems that allows the study of their behavior on different operating and loading conditions, we managed to get the fuel injection maps to determine the effect of each sensor on gasoline injection, air and correction for this systems.

With this objective, a mathematical model was developed applied to a software that calculates the injection times, spark-time, running in failure mode and actuators control that can be real elements or circuits to simulate the most relevant sensors of the Electronic Control Unit (ECU) so that you can calculate the fuel amount, determine the injection order, correct the spark times delay, determine the pulse width corrections and the command to actuators.

The performed tests show that the simulation presents an error of up to 10.82% when comparing the measured values with the values obtained by the mathematical model. The fuel injection maps were obtained and verified with tests on real sensors and actuators.

Keywords:

ECU, injection time, sensors simulation, electronic injection, time calculation software.

INTRODUCCIÓN

El modelo matemático diseñado está basado en un sistema de inyección electrónica de combustible, aplicado a un motor ciclo Otto de 4 tiempos a gasolina.

Se toma en cuenta los principales sensores, los cuales son simulados por medio de circuitos eléctricos y de software para entregar la información a una Unidad de Control Electrónica (ECU), la cual procesa la información recibida, calcula los tiempos de inyección y el control lógico de los actuadores. [1]

La simulación, permite analizar el funcionamiento en conjunto, la influencia de los sensores a diferentes condiciones de carga, obtener los mapas de inyección, verificar el funcionamiento en modo alterno de falla, comprobar el modelo matemático y determinar el comando a actuadores.

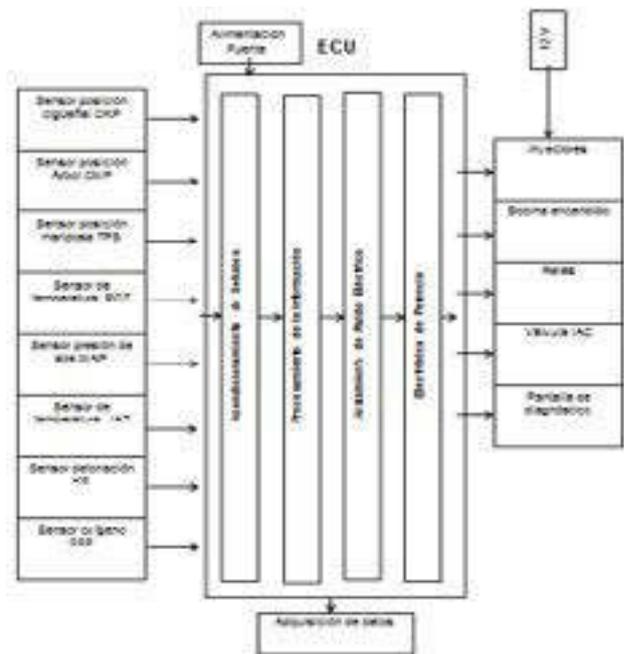
Los sensores entregan información de las condiciones de funcionamiento a la ECU por medio de señales eléctricas, al interior de esta se realiza inicialmente el acondicionamiento de señales, luego se pasa al procesamiento de la información, una etapa de aislamiento de ruido eléctrico y el control de la electrónica de potencia para comando de los actuadores. Adicionalmente la ECU tiene una salida para adquisición de datos. Estas funciones se pueden apreciar en el diagrama de bloques de la figura 1. [2]

Los sensores utilizados en la simulación son:

- Sensor posición cigüeñal (CKP).
- Sensor posición eje de levas (CMP).
- Sensor posición de mariposa (TPS).
- Sensores Temperatura (ECT e IAT).
- Sensor presión múltiple (MAP).
- Sensor detonaciones (KS).
- Sensor Oxígeno (O2S).

Los actuadores que comanda la ECU son:

- Inyectores.
- Bobina de encendido.
- Relés.
- Válvula IAC
- Pantalla de diagnóstico.



2. MATERIALES Y MÉTODOS

La ECU del simulador recibe las señales para convertirlas, procesarlas e interpretarlas de manera binaria. [3] Una vez digitalizada es procesada por otro microprocesador que se encarga de determinar los tiempos de apertura de inyectores, las modulaciones de ancho de pulso, y el comando a transistores de potencia para el control de actuadores. Este proceso se observa en la figura 2.

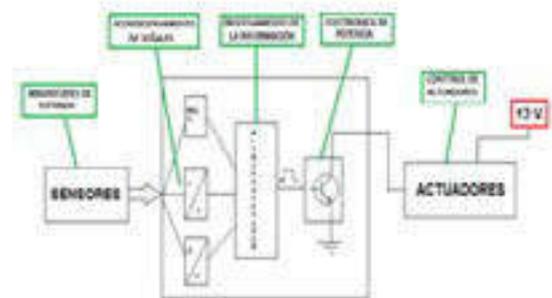


Figura 2. Acondicionamiento de señales

Para la simulación de las señales de los sensores TPS, MAP, IAT, ECT, SO₂, se utiliza divisores de tensión por medio de potenciómetros y resistencias variables con alimentación de 5V como voltaje de referencia proveniente de la fuente de alimentación. A la resistencia variable o potenciómetro se le conecta una resistencia de valor fijo, que sirve para hacer el divisor de tensión y para protección en caso de corto circuito.

Para determinar el momento de inyección, la secuencia y el salto de chispa, se necesita simular los sensores CKP y CMP (sensor de posición del cigüeñal y del eje de levas respectivamente), para lo cual se utiliza un microcontrolador ATMEGA8 programado para generar las dos señales que se envían a la unidad de control para el conteo de pulsos, determinación de rpm y secuencia de inyección.

La simulación de un sensor de detonaciones (KS), utiliza el microprocesador ATMEGA8 programado de tal forma que genere voltaje alterno variable para ser entregados a la ECU la cual se encarga de retardar el tiempo de encendido según el valor recibido del sensor.

ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES Y ELECTRÓNICA DE POTENCIA PARA ACTUADORES.

En el accionamiento de los actuadores se genera ruido eléctrico, intermitencia, transitorios y altos voltajes inducidos debido a la acción de las bobinas de los mismos. Por tanto, para su accionamiento, es necesario implementar una etapa de potencia, debidamente aislada de la etapa de control, que consiga adaptar las señales provenientes del microcontrolador a los niveles adecuados de voltaje y corriente que gobiernan estos elementos. El aislamiento eléctrico se lo realiza utilizando un opto-acoplador 6N136. Como se indica en la figura 3.

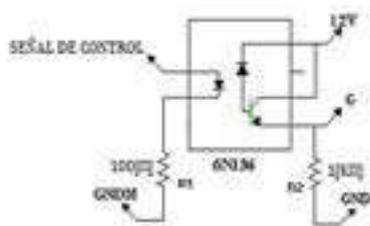


Figura 3. Opto-acoplador 6N136

Para la etapa de potencia de inyectores se seleccionó un transistor TIP122, dado su facilidad de control y los márgenes de tensión y corriente que maneja al tener configuración Darlington.

Las bobinas de encendido al conmutar generan un voltaje del orden de los 380 voltios en el primario, por tal razón se requiere un transistor que soporte este valor y que no tenga incremento de temperatura, por lo cual se seleccionó un

transistor de compuerta aislada tipo Mosfet IRF840, ya que por su configuración de compuerta permite tener una rápida conmutación sin circulación de corriente accionándose por medio de voltaje. Ver figura 4.

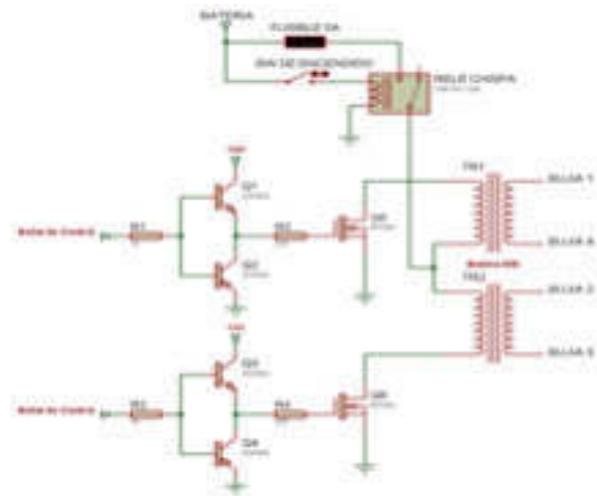


Figura 4. Circuito de potencia bobinas encendido

Los relés del simulador tienen alimentación de 12 V de fuente y el cierre de circuito por negativo se realiza por medio de un transistor TIP 122 que a su vez es comandado por la ECU para su activación, esta disposición se utiliza tanto para el control de relé de bomba de combustible como el de electro ventilador y su accionamiento está condicionado por la ECU. Su circuito se puede apreciar en la figura 5.

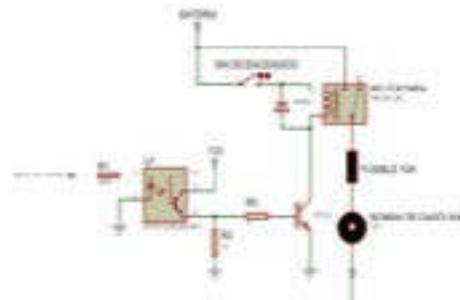


Figura 5. Circuito de potencia para relés.

OBTENCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO.

La ecuación 1[1] permite determinar el ancho de pulso (PW), la misma que considera las correcciones para determinar cuál es el tiempo de duración del pulso que debe dar l

$$PW = REQ\ GAS * \frac{VE}{100} * \frac{MAP}{100KPa} * \frac{AJUSTEMP}{100} * ACEL + TAI \quad (1)$$

Dónde:

REQ_GAS: Cantidad de combustible a inyectar (ms)

VE: Eficiencia volumétrica (asumido 85%)

MAP: Presión en múltiple de admisión (KPa).

AJUSTEMP: Factor de enriquecimiento basado en la temperatura del sensor ECT.

ACEL: Enriquecimiento extra para solicitudes de aceleración bajo demanda del TPS (de 0% a 90%)

TAI: Tiempo de apertura básico del inyector (ms)

REQ_GAS es el valor que indica la cantidad de combustible a inyectar para lograr la mezcla estequiométrica expresada en milisegundos (ms). El que se obtiene mediante la ecuación 2 [1]

$$REQ_GAS = \frac{CIL * DENAIR}{NCIL * AFR * FLUJ INY} * \frac{1}{NINY} \quad (2)$$

Dónde:

CIL: Cilindraje del motor en litros [l]

DENAIR: Densidad aire 1.185 [gr/l]

NCIL: Número de cilindros.

AFR: Relación aire/combustible.

FLUJINY: Flujo del inyector [gramos/segundo]

NINY: Número de inyecciones en 720 grados

El proceso de corrección se inicia con el establecimiento del ancho de pulso de la base obtenida de REQ_GAS. Los parámetros de ajuste tienen como finalidad controlar la cantidad de combustible, que en diferentes condiciones de funcionamiento del motor es necesario inyectar. Esta corrección del pulso de inyección se realiza debido a parámetros como la temperatura, eficiencia volumétrica, Presión del múltiple y aceleración.

Los sensores MAP y TPS presentan una función lineal de la cual se tiene la ecuación 3:

$$y=mx+b \quad (3)$$

Para el MAP:

X = P (Presión en el múltiple de admisión)

Y = V (Voltaje que genera el sensor)

$$V=mP+b \quad (4)$$

Con dos valores experimentales conocidos (P =

71 Kpa y V = 2,9) se obtiene:

$$MAP = \frac{V - 0.1}{0.0395} \quad (5)$$

Para el sensor TPS los valores serian:

X = % Apertura del acelerador

Y = Voltaje del sensor

$$V = m * \% AP + b \quad (6)$$

Reemplazando con dos valores conocidos (% AP = 39 y V = 2.43) se obtiene:

$$\%AP = \frac{V-0.6}{0.0469} \quad (7)$$

Para demandas de aceleración se realiza la corrección porcentual, para 1.01% la corrección será de 1,01, para 99% será de 1,99 (corrección mínima y máxima respectivamente) y cuando no hay aceleración la corrección será un factor multiplicador de 1 considerado en la fórmula 1 como el valor ACEL.

Los sensores de temperatura ECT e IAT son del tipo NTC y tienen una respuesta exponencial negativa de su resistencia interna con respecto a la variación de la temperatura. Se obtiene la ecuación que relaciona la temperatura del sensor en función del voltaje y es la fórmula que se empleará para la programación del microcontrolador. Esta relación esta expresada en la fórmula 8.

$$T = \frac{4034.9558}{12.918172 - \ln\left(\frac{5V}{V_{RT1}} - 1\right)} - 273 \quad (8)$$

Para determinar el número de moles de aire que ingresan en el proceso de combustión al cilindro, se considera al aire como gas ideal, por lo cual obedece la siguiente Ley de Gases Ideales:

$$P * V = n * R * T \quad (9)$$

Dónde:

P: Presión del aire en atmósferas (atm)

V: Volumen del aire en litros (l)

n: Número de moles (mol)

T: Temperatura (°K)

R: Constante universal de los gases: 0.082 atm*l/°K*mol

Se conoce también que el número de moles se puede determinar con la siguiente expresión:

$$n = \frac{m_{\text{aire}}}{mm_{\text{aire}}} \quad (10)$$

Dónde:

m_{aire} Masa de aire en gramos

$mm_{\text{(aire)}}$ Masa molar del aire = 28.9 gr./mol.

Finalmente se obtiene:

$$m_{\text{aire}} = 3.482 * \frac{MAP * V}{IAT + 273} [gr_{\text{aire}}] \quad (11)$$

SELECCIÓN DEL TIPO DE PROGRAMACIÓN Y LENGUAJE.

El programa implementado en el microcontrolador para el control de los actuadores del sistema de inyección electrónica de combustible se realiza en base a la herramienta BASCOM AVR, desarrollado por la empresa MCS Electronics, el cual es un compilador disponible para la familia de microcontroladores 8051s, AT89Cx051, Atmel AVR.

La memoria interna de la ECU tiene valores preestablecidos de los voltajes de variación de los sensores tomando como limites los siguientes:

- Sensores TPS, MAP, ECT, IAT: valores comprendidos entre 0,5 a 4,5 V.
- Sensor de oxigeno (O2): de 0 a 1 V.
- Sensor KS: de 2, 4 y 6 V AC.

La estrategia de control del simulador depende de la ausencia o no de diferentes señales de sensores y de sus valores para determinar el funcionamiento en lazo cerrado o lazo abierto, los tiempos y secuencia de inyección, las correcciones y las estrategias de control de actuadores en general, como se puede apreciar en el diagrama de flujo de la figura 6.

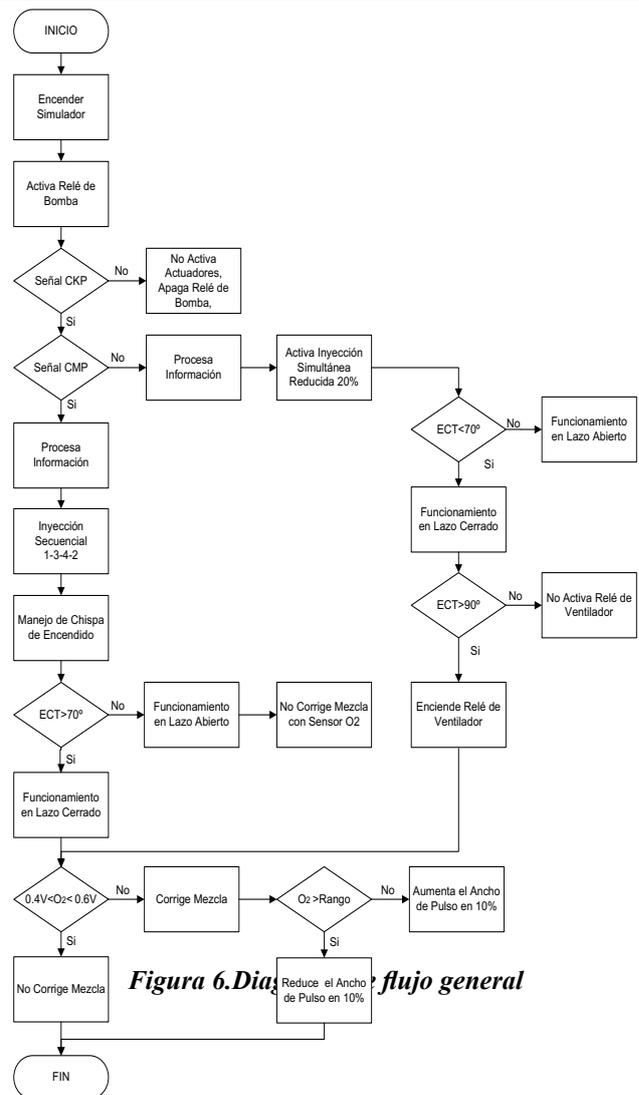


Figura 6. Diagrama de flujo general

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Verificación de ancho de pulso:

Para comprobar el funcionamiento del equipo simulador se realiza inicialmente una prueba de medición del ancho de pulso y se compara con los tiempos obtenidos con el modelo matemático a diferentes condiciones de carga. En esta prueba se encuentra valores de error de hasta el 10.82% como se observa en la tabla 1 y en la figura 7.

Tabla 1. Verificación ancho de pulso.

CONDICION IAT A 25 GRADOS CENTIGRADOS										
RPM	TEMP	Req_Fuel	EV	MAP	Accel	ECT	TAI [ms]	PW calc	PW med [ms]	% Error
800	90	8.89	0.73	0.21	1.01	1	1	2.38	2.6	9.41
800	25	8.89	0.73	0.21	1.01	1.2	1	2.65	2.9	-9.36
1300	30	8.89	0.61	0.54	1.15	1	1	4.37	4.01	8.19
1300	90	8.89	0.61	0.54	1.15	1.2	1	5.04	4.6	8.75
2400	90	8.89	0.41	0.83	1.75	1	1	6.29	6.1	3.09
2400	30	8.89	0.41	0.83	1.75	1.2	1	7.35	7.34	0.18
3500	30	8.89	0.34	0.88	1.9	1	1	6.05	6.6	-9.02
3500	90	8.89	0.34	0.88	1.9	1.2	1	7.06	6.3	10.82
5100	90	8.89	0.29	0.95	2	1	1	5.90	6.2	-5.11
5100	25	8.89	0.29	0.95	2	1.2	1	6.88	7.4	-7.59

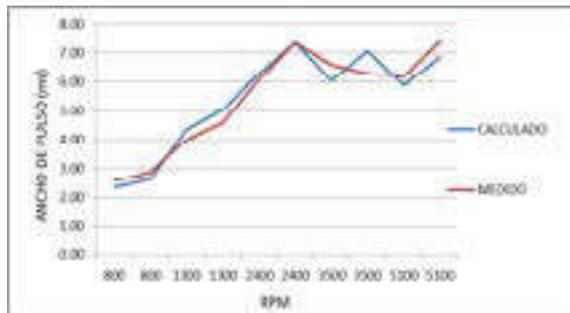


Figura 7. Ancho de pulso medido vs. Calculado

Prueba en modo alterno de falla:

Se verifica los tiempos de inyección en simulación de modo alterno de falla. Esta prueba sirve para estimar el comportamiento del simulador al tener fallas o ausencia de sensores. El detalle de esto en la Tabla 2.

Tabla 2. Pruebas en modo alterno de falla.

800 RPM, MAP = 22 KPA, TPS = 3%		
SENSOR ECT	ANCHO PULSO ms	
90 °C	1,90	
DESCONECTADO	2,47	
800 RPM, MAP = 22 KPA, ECT=90°, TP DESCONECTADO		
SENSOR ECT	ANCHO PULSO ms	PULSO CORREGIDO
90 °C	1,90	3,47
PRUEBA CON SENSOR CKP DESCONECTADO	NO ACTIVA ACTUADORES	
PRUEBA CON CMP DESCONECTADO	REALIZA INYECCION SIMULTANEA	

Obtención de mapas de inyección

Es posible obtener mapas bidireccionales de la variación independiente de sensores para determinar su influencia en el ancho de pulso.

Se realiza la variación en modo independiente del MAP y del TPS a 90 ° C. (Tabla 3) obteniéndose el mapa de la figura 8.

Tabla 3. PW con Variación independiente del MAP y TPS

MAP	TPS A90°C									
	0	12	20	30	40	50	60	70	80	85
10	1.82	1.83	1.84	2.00	2.48	2.99	3.35	3.50	3.56	
30	1.96	1.97	1.97	2.00	2.40	3.57	3.40	3.60	3.70	
50	2.20	2.23	2.23	2.29	2.45	3.10	4.43	4.80	4.85	
80	2.47	2.48	2.40	2.66	3.37	4.20	5.00	5.31	5.40	
95	2.90	2.90	3.00	3.10	3.84	5.10	6.01	6.47	6.60	

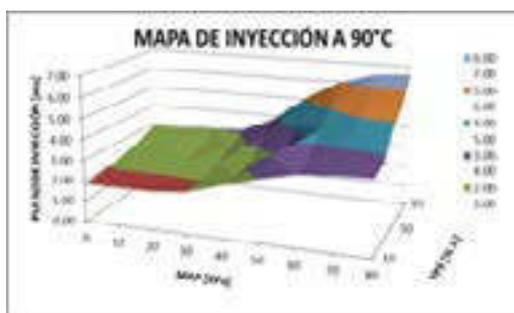


Figura 8. Mapa de inyección MAP y TPS

Adicionalmente, se obtiene el mapa de inyección en simulación de modo real de funcionamiento del motor. Se puede determinar el ancho de pulso obtenido al variar el TPS que varía simultáneamente con el MAP del simulador en rangos normales de operación (tabla 4 y figura 9).

Tabla 4. Ancho de pulso real a 90° C

MAP	TPS	0	22	30	40	50	60	70	80	90	95
0.5	18	2.71									
18	35		2.74								
35	50			3.10							
50	66				3.51						
66	81					4.60					
81	97						5.72				
97	97							6.23			
97									6.4		

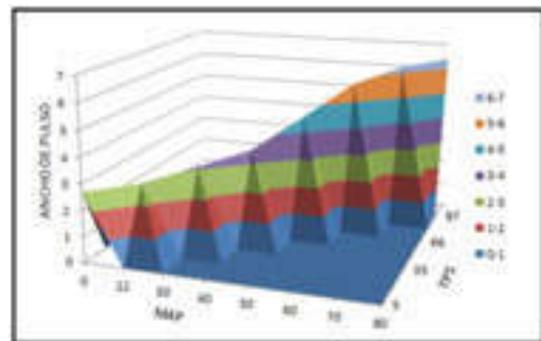


Figura 9. Mapa de inyección lineal modo real.

Obtención de formas de onda:

Es posible la obtención de las formas de onda de inyectores y de bobinas de encendido con ayuda de un osciloscopio en tiempo real.

En la simulación dinámica al verificar las formas de onda de los actuadores como inyectores y bobinas de encendido, se observa que las formas de onda obtenidas, son iguales a las formas de onda de un motor real de un vehículo en funcionamiento permitiendo analizar el estado del actuador.

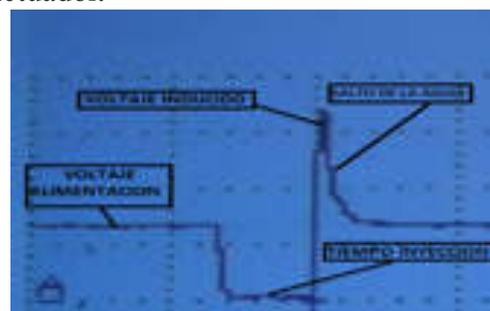


Figura10. Forma de onda del inyector

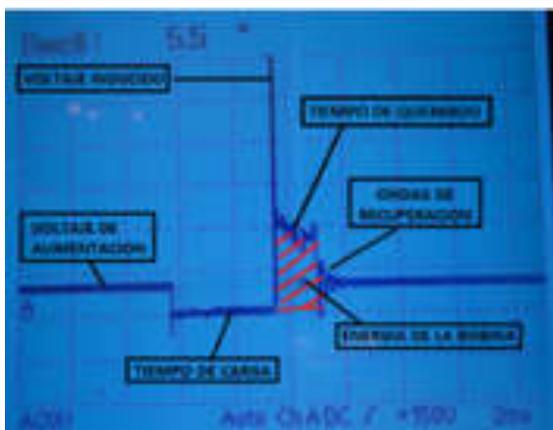


Figura 11. Forma de onda de la bobina de encendido

CONCLUSIONES

Disponer de un equipo de simulación es importante porque permite entender el comportamiento de los diferentes sensores, el procesamiento de su información y el comportamiento de los actuadores, así como de la electrónica para el acondicionamiento de las diferentes señales y control de potencia en la Unidad Electrónica de Control (ECU), a la vez facilita el aprendizaje de los sistemas de inyección electrónica de combustible.

La utilización de circuitos de simulación para varios sensores, facilita la construcción de equipos con comportamientos sean semejantes.

El modelo matemático permite realizar la simulación adecuada del sistema de inyección electrónica de combustible y los resultados experimentales obtenidos son muy semejantes a los calculados, presentando un error absoluto comprendido entre el 0.18 % y 10.82%, observándose los errores en diferentes partes de la curva debido al comportamiento logarítmico de los potenciómetros utilizados.

Los parámetros considerados en el diseño del simulador corresponden a los de funcionamiento de un motor real. Lo que se verifica al incrementar las RPM y MAP con el accionamiento del TPS y la mariposa de aceleración, esto facilita la comprensión del comportamiento del sistema de inyección electrónica de combustible en su conjunto.

Con el equipo simulador es posible obtener diagramas de tablas bidireccionales de comportamiento de los sensores y visualizar

como afectan en la corrección del tiempo de inyección.

Se establece múltiples pruebas del funcionamiento del sistema de inyección electrónica de combustible que permite verificar la incidencia de cada elemento por separado en la corrección de los tiempos de apertura de los inyectores.

Los potenciómetros del mercado local utilizados en los circuitos para la simulación de sensores, presentan un contacto defectuoso entre la pista interna y el curso del mismo, por lo que generan excesivo ruido eléctrico y fallas en la lectura de los microprocesadores dando errores en el procesamiento de la información, en el cálculo los tiempos de inyección y valores de las señales simuladas de sensores. Estos errores no se presentan con la utilización de los potenciómetros implementados en el software, ya que las señales no pasan por etapas de potencia y trabaja de manera ideal.

En la simulación del sensor TPS, al tener el potenciómetro una respuesta logarítmica, no permite una variación constante de la aceleración presentando señales bruscas ya que no presenta un comportamiento lineal en la curva de la aceleración.

El simulador no tiene de una óptima condición de la instalación a tierra de las bobinas de encendido por no disponer de un área metálica extensa en el equipo, lo que no permite una saturación correcta de la bobina en el tiempo de carga para obtener una chispa de mejor calidad en las bujías.

Los circuitos de simulación son de gran utilidad en la comprobación del funcionamiento del sistema de inyección electrónica de combustible, ya que es posible verificar el comportamiento de actuadores sin necesidad de colocar el motor en funcionamiento, estos circuitos permiten reemplazar temporalmente sensores de un sistema real.

RECOMENDACIONES:

Tener precaución al momento de medir valores

de la bobina de encendido ya que estas generan voltajes altos tanto en primario como en secundario. Para las mediciones se debe utilizar puntos de prueba debidamente señalados.

No manipular las conexiones internas del equipo simulador ya que se puede causar daños personales y daños a los elementos electrónicos internos del equipo debido a interferencias y ruido eléctrico.

Habilitar la etapa de potencia con el interruptor indicado en el tablero del simulador para activar inyectores, bobinas y válvula IAC, sólo cuando se requiera observar funcionamiento real de los mismos. Caso contrario realizar las pruebas regulares con los LEDS indicadores de inyección, chispa y válvula IAC.

Para futuras aplicaciones el reemplazo de potenciómetros logarítmicos por otros de respuesta lineal adquiribles solo bajo importación ya que estos minimizan el ruido eléctrico y las interferencias hacia los microprocesadores.

El uso de un bastidor metálico como mueble soporte del equipo simulador para mejorar el área de aterrizaje de bobinas de encendido para la obtención de una mejor calidad de chispa en las bujías.

Para filtrar y minimizar el ruido eléctrico producido por los altos voltajes generados por las bobinas de encendido y bobinas de inyectores se recomienda la utilización de condensadores en los pines de entrada del microprocesador y cables con blindaje mallado.

El uso de los circuitos de simulación para generar señales en motores con sensores y actuadores de difícil acceso, elementos faltantes o de difícil adquisición.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] <http://www.megamanual.com/MSFAQ.htm#create> [Último acceso: 15 agosto 2017]
- [2] <http://www.msextra.com/feature-xref.html> [Último acceso: 12 Julio 2017]
- [3] <http://www.cisettraining.com/mod/resource/>

[4] Obregón Santana, Julio George. Análisis de Wave forms en sensores y actuadores del sistema de control electrónico sobre la inyección de combustible del motor S4A del vehículo chevrolet sail. BS thesis. GUAYAQUIL/UIDE/2016.

[5] Campoverde Toledo, Pablo Vinicio. Determinación de la eficiencia de un motor ciclo Otto de inyección electrónica respecto de la temperatura y presión de inyección del combustible. MS thesis. Quito, 2016.

[6] AREVALO SANTAMARIA Telmo Javier. Tesi EPN: Diseño e Implementación del Control Electrónico de Dosificación de Combustible para un Motor de Combustión Interna de la Empresa A&S Custom Bikes 2012, página 34.

RAUL HERNAN HIDROBO SALAZAR

Nacionalidad Colombiano, Tecnólogo Electromecánico e Ingeniero Eléctrico Escuela Politécnica Nacional, Master en Ingeniería en Ciencias Automotrices, Mención Summa Cum Laude, Escuela Politécnica Nacional- Quito, 2014. Estudios de especialización como Master Technician en electrónica gasolina, electrónica diésel, sistemas Híbridos en CISE Electronics Coop Miami,



Técnico Certificado ASE (Automotive Service Excellence) en electrónica automotriz (Virginia EEUU), soporte técnico a varias empresas petroleras, trabajó del 2007 a 2010 como Ingeniero Técnico de Launch China Para Latinoamérica, Ingeniero de soporte para Brain Bee Italia, Empresa GIT Corea, instructor técnico Internacional para CISE Electronics Coop programa Técnicos Master. Conferencista en Argentina, Chile, Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia, Brasil, México, Honduras, Miami, Gerente propietario de Mecánica Express. Amplias investigaciones en el área de sistemas Híbridos y electrónica aplicada desde el año 2009.

**ANGEL ADALBERTO PORTILLA WILSON LEOPOLDO MORAN FLORES
AGUILAR**

Ingeniero Mecánico de la Escuela Politécnica Nacional-Quito en 1986. Master en Ingeniería Mecánica-Sistemas Automotrices, Escuela Politécnica Nacional-Quito, 2010.



Ha trabajado como Auxiliar y Ayudante de Laboratorio en la Facultad de Ingeniería Mecánica. Ha coordinado

varios estudios en el país en las áreas de energías alternativas, de combustibles alternativos, tecnologías para motores, contaminación ambiental de origen automotriz, entre otros. Profesor Principal en la Facultad de Ingeniería Mecánica, Jefe de los Laboratorios de Motores de Combustión Interna y Transferencia de Calor. Director Ejecutivo del Centro de Transferencia Tecnológica en Control de Emisiones Vehiculares.

Ingeniero Mecánico Cum Laude en la Escuela Politécnica Nacional-Quito en 1986. Se recibe como Magíster en Sistemas Automotrices en la EPN con la mención Summa Cum laude 2104. Trabajo en AYMESA, ensambladora de vehículos multimarca. Posteriormente ingresa a Quito Motors, concesionario



FORD en el Ecuador, obtuvo el título de Master Technician con mención en Electrónica por parte de Ford Motor Company USA y Título de Technical Trainer. Actualmente es gerente de Talleres SERVICENTRO en Quito y profesor de la EPN desde el año 1997.

LUIS ANIBAL CORRALES PAUCAR

Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones Escuela Politécnica Nacional. En la Universidad



de Strathclyde, en Gran Bretaña, sigue sus estudios de post grado donde, desde 1984 a 1988, hace su Maestría en Ciencias (MSc) y su PhD. en la especialidad de Bioingeniería. Trabajó por diez años como Consultor en el Área de Sistemas en el

Banco Interamericano de Desarrollo, es Profesor Principal en la EPN y es también Instructor CCNA de la Academia de CISCO en la EPN. Conferencista en varias Instituciones Educativas del País, así como para varias empresas públicas y privadas, en temas relacionados con Redes LAN, WAN, Redes Digitales Industriales, Instrumentación Biomédica, Bioingeniería, Instrumentación Industrial.