

Diseño e implementación del control electrónico de dosificación de combustible para un motor de motocicleta

Telmo X. Arévalo Santamaría, Hugo A. Banda Gamboa, Ángel A. Portilla Aguilar

Resumen.- El presente proyecto tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema de inyección electrónico de combustible para un motor de combustión interna a gasolina que funciona con carburador el mismo que es utilizado en una motocicleta de marca Sukida, la cual tiene similares características a las motocicletas de procedencia china que han tenido gran acogida en el país. En concordancia con el objetivo planteado, el alcance del proyecto ha sido definido en base a las siguientes actividades: Se realizó un estudio del comportamiento y funcionamiento de un motor de combustión interna a gasolina, de 150 cc y refrigerado por aire. Se identificó de las variables de control necesarias para realizar el sistema de control (posición del acelerador, velocidad, temperatura del motor e inyección de combustible). Se diseñó e implementó un sistema de control electrónico automático en la dosificación de la inyección de gasolina comercial en un motor que inicialmente trabajaba con carburador. Se mejoró el rendimiento de consumo de combustible en relación a un sistema típico de alimentación por carburador.

I. INTRODUCCIÓN

La concienciación actual de la sociedad en lo que concierne al rendimiento en el consumo de combustible en un vehículo automotor, la sensibilidad respecto a la contaminación ambiental además de las nuevas y estrictas normas anticontaminación hace que los distintos ámbitos de la ingeniería sean encaminados hacia el cumplimiento de estas necesidades por medio de soluciones tecnológicas.

El diseño e implementación de una unidad electrónica para el control de la inyección de combustible en motores de combustión interna permite desarrollar un proyecto que persiga estos objetivos.

La justificación de esta afirmación radica en el enorme potencial que presenta la electrónica para las aplicaciones que requieren de un control preciso, como es el caso que nos ocupa, al intentar alcanzar los requerimientos de par y potencia necesarios del motor de combustión con el mínimo consumo de combustible.

Los sistemas de inyección de gasolina ayudan a resolver los problemas de contaminación de mejor manera que el antiguo carburador, al mismo tiempo que mejoran de forma sensible el consumo de combustible.

X. Arévalo, desempeña el cargo de representante técnico de la empresa Assinfil Cía. Ltda. (e-mail: xavier_arevalo_84@hotmail.com)

H. Banda Gamboa, es profesor de Inteligencia Artificial, en el Departamento de Informática y Ciencias de Computación, de la Escuela Politécnica Nacional, Quito (e-mail: hugo.banda@epn.edu.ec).

A Portilla, es Director Ejecutivo del Centro de Capacitación e

Investigación en Control de Emisiones Vehiculares CCICEV, de la Escuela Politécnica Nacional (e-mail: angel.portilla@epn.edu.ec).

Debido al bajo precio con el cual se comercializan actualmente motocicletas ha hecho que aumente la circulación de las mismas en las calles las cuales, en su mayoría, tienen como sistema de alimentación de combustible el carburador, haciendo que sea una necesidad actualizar su sistema de dosificación de combustible por un control electrónico.

II. ESTUDIO DEL PROBLEMA

El Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (MDMQ) es la entidad dedicada de medición de emisiones de gases en los vehículos y motocicletas en la ciudad de Quito. En la capital ecuatoriana la preocupación ambiental juega un papel muy importante ya que, por su situación geográfica, presenta un 23% menos de oxígeno [1] propendiendo a la mayor concentración de contaminación.

El motor de combustión interna necesita, como se explicará más adelante, una mezcla de aire/combustible bastante precisa, para lo cual no debe haber exceso de aire (mezcla pobre) o exceso de gasolina (mezcla rica) para obtener un buen funcionamiento. A partir de los 1500 metros sobre el nivel del mar, la mezcla de aire/combustible se vuelve rica. En estas condiciones el motor incrementa el consumo de combustible, disminuye la potencia y aumenta las emisiones de hidrocarburos no combustiónados (HC) y monóxido de carbono (CO). [2]

El carburador puede ser calibrado para una región en particular, pero cuando la motocicleta cambia del ambiente al cual fue calibrado, sus emisiones y su rendimiento también varían. Debido a que en nuestro país se encuentran regiones desde el nivel del mar hasta ciudades a gran altura, se hace necesario, a causa de las situaciones antes expuestas, implementar un sistema que se ajuste automáticamente a las variaciones geográficas.

A. *Funcionamiento del motor de combustión interna de 4 tiempos de ciclo de Otto*

Primer tiempo o fase de admisión: cuando el pistón desciende dentro del cilindro origina un vacío gracias al cual aspira la mezcla de aire/combustible por medio de la válvula de admisión la cual se encuentra abierta. La válvula de escape permanece cerrada, como se indica en la Figura 1.

Segundo tiempo o fase de compresión: inmediatamente después de la admisión, la mezcla de

aire/combustible es comprimida por el cilindro en la cámara de combustión, manteniendo las válvulas de admisión y de escape cerradas, como está indicado en la Figura 2.

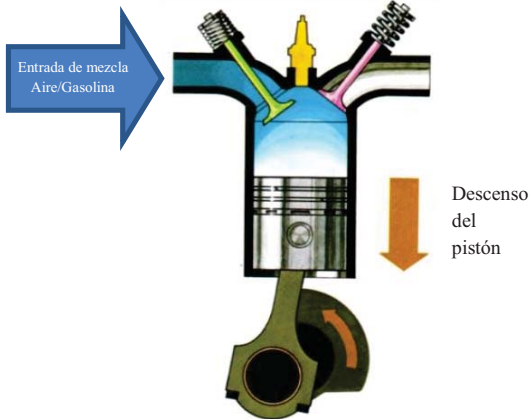


Fig. 1: Fase de admisión [3]

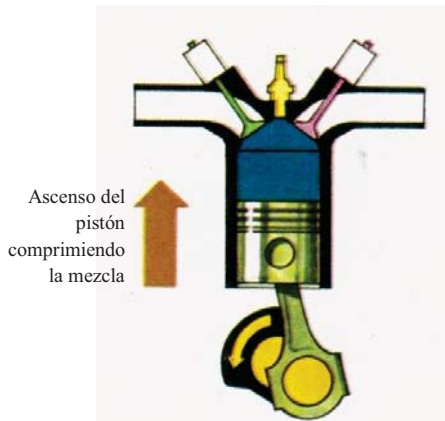


Fig. 2: Fase de compresión [3]

Tercer tiempo o fase de explosión: esta fase representa en realidad dos partes, la EXPLOSIÓN y la EXPANSIÓN. La explosión es producida por la compresión de la mezcla y provocada por la chispa eléctrica de la bujía. Dicha explosión ejerce una gran presión sobre el pistón que empieza su carrera descendente. Esta parte del ciclo es la que realiza el trabajo del motor.

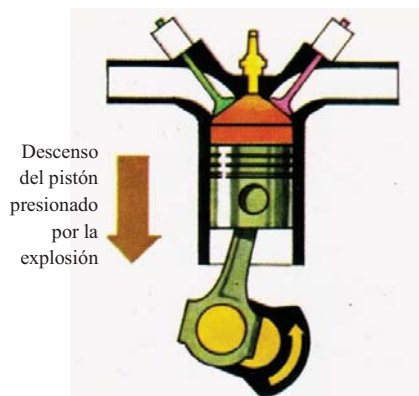


Fig. 3: Fase de explosión y expansión. [3]

Cuarto tiempo o fase de escape: en esta fase tiene lugar la expulsión de los gases quemados del cilindro. El escape sigue después de la carrera útil de expansión. El pistón realiza una carrera sin realizar trabajo útil moviéndose desde el punto muerto inferior al punto muerto superior, con la válvula de admisión cerrada y la válvula de escape abierta.

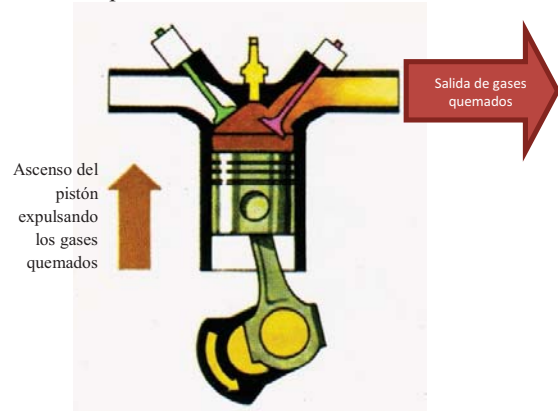


Fig. 4: Fase de escape [3]

B. Alimentación de combustible de un motor

1) *Dosificación por medio de Carburador:* Este sistema aprovecha el descenso del pistón, en la fase de admisión, en la cual aspira aire hacia el interior del cilindro. El aire, al pasar por el carburador, absorbe una pequeña cantidad de combustible y lo transporta hacia el cilindro. Esta cantidad de combustible es de 1 gramo de gasolina por cada 14,7 gramos de aire.

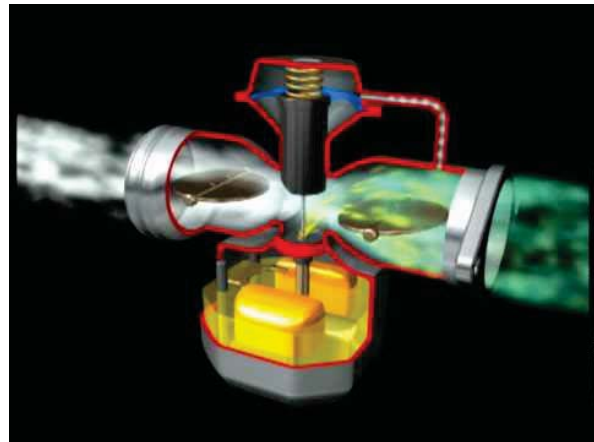


Fig. 5: Carburador, donde se ve que el aire (blanco) es absorbido por el motor y va "arrastrando" la gasolina (amarillo). [4]

2) *Dosificación por medio de inyección electrónica:* En este sistema, el aire y la gasolina siguen caminos independientes. El aire aspirado en la admisión es filtrado y medido en cuanto a cantidad que ingresa en el cilindro y, de acuerdo a esto se inyecta gasolina pulverizada a presión, abriendo el inyector electromagnético el tiempo (en milisegundos) necesario de descarga de gasolina, el cual es calculado por la unidad central o ECU de acuerdo

a factores como temperatura del motor, temperatura ambiental, presión atmosférica, presión en el colector de admisión, régimen del motor, estado de los gases de escape y demanda del conductor.

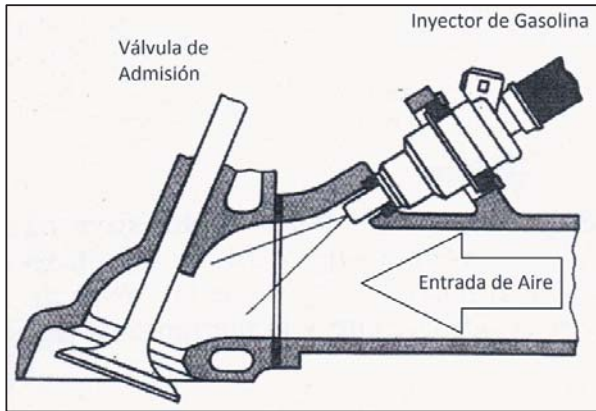


Fig. 6: Inyección de gasolina [5]

III. DISEÑO DEL PROTOTIPO

A. Medición de la masa de aire aspirada

El aire que es aspirado por el motor es controlado por medio de una Válvula de Mariposa que está situada antes de la válvula de admisión. Este aire debe ser medido en peso para determinar la cantidad de combustible a ser inyectado. El aire se puede asemejar a un gas ideal, por lo tanto obedece a la Ley de Gases Ideales [6]:

$$P * V = \eta * R * T \quad (1)$$

Donde:

P: es la presión del aire en atmósferas [atm]

V: es el volumen del aire en litros [l]

η: es número de moles en [mol]

R: es constante universal de los gases ideales que es $0.082 \frac{atm * l}{°K * mol}$

T: es la temperatura absoluta en grados Kelvin [°K]

Por otra parte se tiene que la *masa molar del aire* (mm_{aire}) es $28,9 \frac{gr}{mol}$ [6]. Además la mm_{aire} es una relación entre la *masa del aire* (m_{aire}) (en gramos) y el número de moles n del aire:

$$mm_{aire} = \frac{m_{aire}}{\eta} \quad (2)$$

Despejando el número de moles n :

$$\eta = \frac{m_{aire}}{28,9} \quad (3)$$

Reemplazando el número de moles n en la Ecuación (1) y despejando la *masa del aire* (en función de la presión P, volumen V y temperatura T) se obtiene:

$$m_{aire}(P, V, T) = 352,44 * \frac{P * V}{T} \quad [gr_{aire}] \quad (4)$$

B. Cálculo de la masa de gasolina

Una vez medido la masa de aire, es necesario calcular el tiempo de apertura del inyector que descargue la masa de gasolina necesaria que cumpla con la relación de aire/combustible. La masa de aire es 14,7 veces la masa de gasolina ($m_{gasolina}$), por tanto:

$$14,7 * m_{gasolina} = 352,44 * \frac{P * V}{T} \quad (5)$$

Por medio del caudal másico (Q) del inyector de combustible se obtiene una relación de masa y tiempo:

$$Q_{inyector} = \frac{m_{gasolina}}{t} \quad \left[\frac{gr_{gasolina}}{seg} \right] \quad (6)$$

Despejando la masa de gasolina de la Ec. (6), replazándola en la Ec. (5) y despejando el tiempo, se obtiene la duración del tiempo de inyección de gasolina:

$$t_{gasolina}(P, V, T) = \frac{23,98 * P * V}{Q_{inyector} * T} \quad [seg] \quad (7)$$

Por facilidad de cálculos se determina el tiempo base de inyección (t_{base}). El tiempo base se calcula en condiciones ideales: P = 1 [atm], V= 0,15 [l] (que corresponde a la cilindrada del motor), $Q_{inyector} = 1,12$ [gr/seg] y temperatura del aire T = 293 [°K] (20 [°C]), se obtiene:

$$t_{base} = \frac{23,98 * 1 * 0,15 * 1}{1,12 * 293} = 0,01096[seg] = 10,96[ms] \quad (8)$$

A este tiempo de inyección se debe adicionar el *tiempo de apertura del inyector* (t_{open}). Debido a que es un elemento electromecánico, se demora una cantidad de tiempo en abrirse y empezar a descargar la gasolina. Este tiempo depende directamente del voltaje de la batería.

En un motor estacionario, el tiempo base de inyección es el único tiempo necesario para inyección de gasolina, pero el motor de motocicleta debe responder a las necesidades del conductor las cuales varían de acuerdo a las demandas del mismo, por ende a este t_{base} debe variar en función de los diferentes requerimientos del motor. Estas variaciones en los tiempos de inyección se realizan haciendo un escalamiento del tiempo base para lo cual se utiliza un multiplicador adimensional de base 1, siendo 1

el 100% del tiempo base. En este valor se toman en cuenta los siguientes valores:

$$E = O2_{CORR} * BARO_{CORR} * EV * \dots * MOTOR_TEMP * AFR \quad (9)$$

En donde cada factor corrige en base a los gases de escape, corrección barométrica, eficiencia volumétrica (la cual depende del régimen del motor), temperatura del motor y relación aire/combustible respectivamente. Adicionalmente a estos valores, existe un valor de corrección que está relacionado directamente con el arranque del motor y su temperatura en el momento de arranque. Además, la variación del tiempo de inyección depende directamente (y principalmente) de la presión en el múltiple de admisión o MAP la cual relaciona la posición del acelerador (o de la mariposa de gases de admisión) y la cantidad de aire que aspira el motor. Esta variable es controlada por el conductor y también es adimensional unitaria. El ancho de pulso final (pulse width, PW) queda así:

$$PW(E, MAP, U_{bat}) = t_{open}(U_{bat}) + 0,01096 * \dots * MAP * E[seg] \quad (10)$$

C. Cálculo del mapa de inyección

El mapa de inyección de un sistema de inyección de gasolina, es una o varias tablas de tiempos de inyección previamente calculados o determinados experimentalmente, en el cual se indica el tiempo de inyección bajo determinadas condiciones de trabajo del motor, siendo las más comunes en función del caudal másico de aire aspirado, la presión en el colector o la posición de la mariposa de aceleración y las RPM del motor. Para este caso se realizó una tabla en función de la mariposa de gases de admisión y la eficiencia volumétrica del motor.

	0	2	5	10	20	40	60	80	100
4750	0	0	2	2	5	1	-2	-9	-10
5000	0	0	2	4	6	8	1	-5	-8
5250	0	0	1	2	6	8	3	-4	-7
5500	0	0	3	2	6	7	3	-4	-6
5750	0	0	2	4	8	9	5	-3	-6
6000	0	0	2	3	8	8	5	-3	-6
6250	0	0	4	4	9	8	4	-1	-5
6500	0	0	3	3	9	8	4	-6	-9
6750	0	0	3	4	7	9	4	-5	-8
7000	0	0	2	3	6	9	4	-4	-7
7250	0	0	2	2	2	8	4	-4	-7
7500	0	0	2	2	2	9	5	-3	-6
7750	0	0	2	1	2	8	2	-4	-7
8000	0	0	1	1	2	9	3	-6	-8
8250	0	0	1	2	2	10	1	-7	-10
8500	0	0	1	1	2	10	0	-8	-11
8750	0	0	1	1	0	0	0	-8	-11
9000	0	0	0	0	0	0	0	-8	-12

Fig. 7: Mapa de inyección de una ECU comercial, marca POWERCOMANDER

Los valores de la tabla obedecen la siguiente ecuación:

$$t_{inyección}[i,j] = t_{open} + E * t_{base} * MAP[i](TPS) * EV[j](RPM) \quad (11)$$

Donde:

t_{base}: es el tiempo base de inyección previamente calculado.

MAP[i](TPS): es el valor de MAP en función de la posición del acelerador en la posición **i**.

EV[j](RPM): es el valor de la eficiencia volumétrica en función de las RPM del motor en la posición **j**. Este valor depende directamente de la curva de potencia característica del motor.

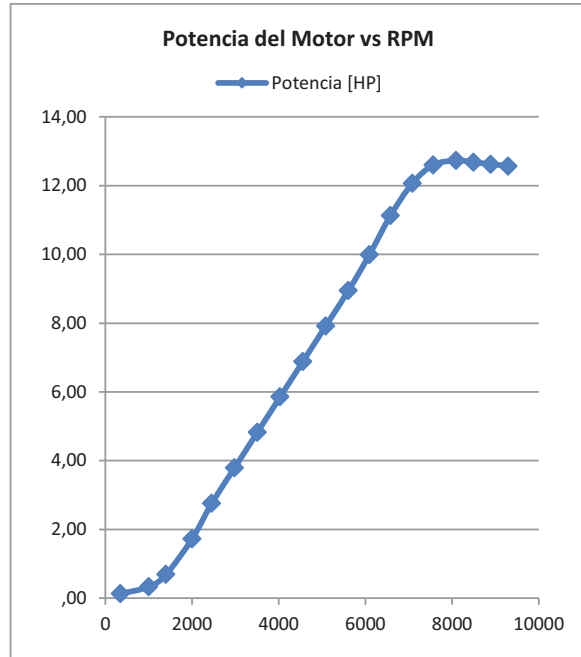


Fig. 8: Curva de Potencia del motor. Fuente: Fabricante

Para obtener la eficiencia volumétrica en distintos puntos de la curva (generando una tabla), se utiliza la siguiente fórmula [8] [9] [10]:

$$EV = \frac{Potencia * 792001,6}{AP * CR * CID * RPM} \quad (12)$$

Donde:

Potencia: está expresada en HP a un número de RPM dada

AP: es la presión atmosférica a nivel del mar en [psi]

CR: es la relación de compresión

CID: es la cilindrada del motor en pulgadas cúbicas

Por ejemplo, para obtener la eficiencia volumétrica a potencia máxima, con los siguientes datos de la curva del motor:

Potencia= 12.73 [HP]

AP= 14.7 [psi]

CR= 9.2:1

CID= 9.09 [in³]

RPM= 8000

$$EV = \frac{12.73 * 792001.6}{14.7 * 9.2 * 9.09 * 8000} = 1.03 \quad (13)$$

$$EV = 1.03 \quad (14)$$

Repitiendo el cálculo para los diferentes puntos de la curva de potencia, se obtiene la Tabla 1 de eficiencia volumétrica del motor.

Tabla 1: Tabla de EV en función de las RPM del motor

RPM	EV
1000	0,22
1400	0,32
2000	0,56
2454	0,72
2980	0,82
3506	0,89
4032	0,94
4558	0,97
5084	1,00
5610	1,03
6095	1,06
6579	1,09
7084	1,10
7568	1,07
8095	1,01
8495	0,96
8895	0,91
9295	0,87

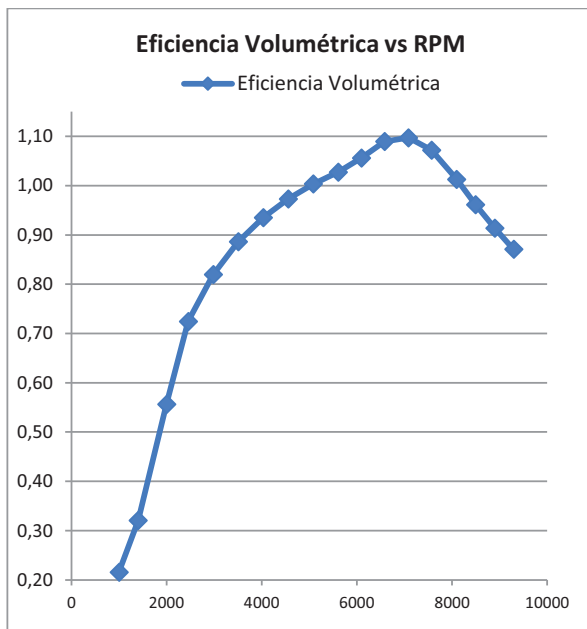


Fig. 9: Gráfica de la eficiencia volumétrica en función de las RPM del motor

Si se tomara en cuenta una tabla con todos los valores obtenidos de la eficiencia volumétrica, la tabla sería numerosa, por lo cual se eligió 6 valores entre los cuales la variación de la EV sea lineal.

Los valores tomados en cuenta son los siguientes:

Tabla 2: Tabla final de EV

RPM	EV
1000	0,22
1400	0,32
2500	0,72
3500	0,89
7100	1,1
8900	0,87

Tabla 3: Mapa principal de tiempos de inyección en milisegundos

Posición de la mariposa en grados	RPM						
	1000	1400	2500	3500	7100	8900	
2	599	871	1960	2423	2994	2368	
3	619	901	2026	3069	3096	2449	
14	849	1235	2779	4209	4246	3359	
32	1208	1757	3953	5986	6040	4777	
42	1404	2042	4596	5681	7021	5553	
51	1600	2328	5238	6474	8002	6329	
61	1803	2623	5902	7296	9017	7132	
71	2000	2909	6544	8090	9999	7908	
80	2196	3194	7187	8884	10980	8684	
90	2396	3484	7840	9691	11978	9473	

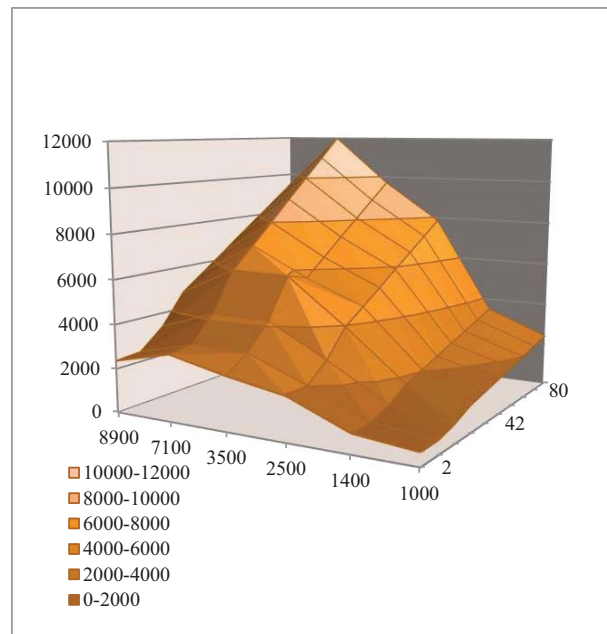


Fig. 10: Mapa de inyección tridimensional

D. Tablas de corrección

Las tablas de corrección son las tablas en donde se encuentran los valores con los cuales se escalará el tiempo de inyección determinado anteriormente. Estos valores obedecen a otros factores anteriormente indicados.

1) *Tabla de corrección por arranque:* indica el tiempo de los pulsos de inyección de gasolina que son utilizados únicamente el momento del arranque del motor, son independientes al mapa principal de inyección y su duración es inversamente proporcionales a la temperatura del motor.

2) *Tabla de corrección por temperatura y post – arranque:* una vez que el motor ha arrancado, necesita una mezcla rica mientras se estabiliza en su funcionamiento, durante un número determinado de revoluciones del motor. Este enriquecimiento disminuye gradualmente mientras aumenta el conteo de revoluciones del motor, hasta ya no surtir efecto. Es inversamente proporcional a la temperatura del motor.

Además, la tabla de corrección por temperatura del motor corrige el tiempo de inyección calculado en la tabla de inyección principal, enriqueciendo la mezcla para temperaturas menores a 70°C.

3) *Tabla de corrección por presión barométrica:* la presión barométrica afecta proporcionalmente la cantidad de oxígeno en el aire, por lo cual se debe corregir midiendo la presión del aire en el ambiente en donde esté funcionando el motor.

4) *Tabla de corrección por voltaje de batería:* indica los tiempos de apertura del inyector de acuerdo al voltaje de la batería. Estos valores son independientes al estado del motor y vienen dados por el fabricante del inyector.

E. Arquitectura del sistema

El diagrama o esquema de circuitos obedece a la arquitectura indicada en la Fig. 11.

1) *Selección del microcontrolador:* Para el desarrollo de este trabajo se seleccionó el microcontrolador DSPIC30F4013, el cual tiene 40 pines, 5 puertos: PORTA, PORTB, PORTC, PORTD, PORTE; trabaja con datos de 16 bits, 30 MIPS (instrucciones por segundo), 33 fuentes diferentes de interrupción con 8 niveles de prioridad, conversor analógico de 12 bits en 13 entradas con un búfer de 16 words de profundidad, 5 timers de 16 bits, módulo de comunicación serial

asíncrono con búfer de datos de recepción y envío de 4 bytes de profundidad. [11]

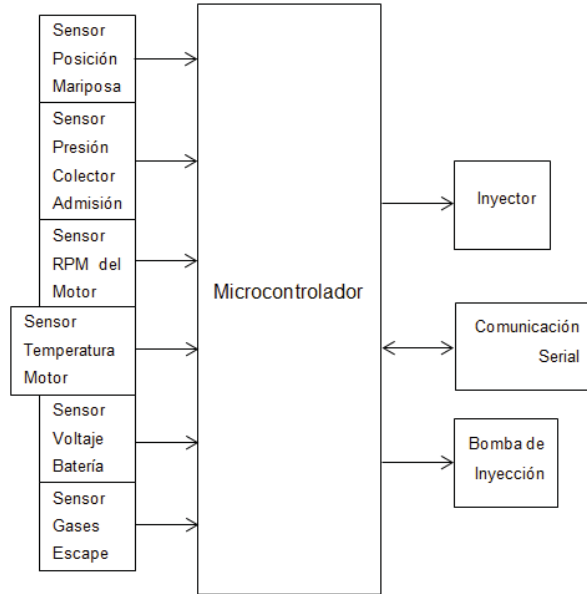


Fig. 11: Arquitectura del sistema.

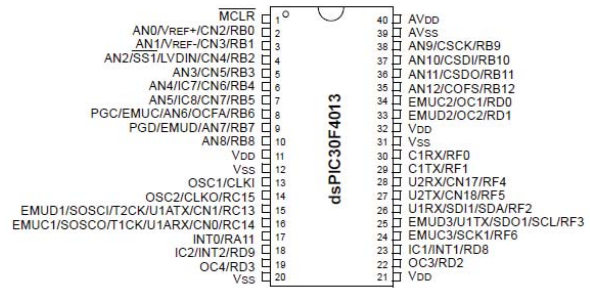


Fig. 12: Distribución de pines del microcontrolador [11]

2) *Sensor de posición de la mariposa:* o sensor TPS es un potenciómetro cuya alimentación es de 5[V] y su señal varía proporcionalmente entre 0 y 5 voltios de acuerdo con la posición de la mariposa



Fig. 13: Sensor TPS

3) *Sensor de la temperatura del motor:* este sensor se encuentra formado por una resistencia eléctrica variable por temperatura o termistor el cual está en contacto directo con el cabezote el motor. Es un termistor

tipo NTC, acondicionado por un divisor de voltaje con una resistencia limitadora alimentada por 5 voltios.

4) *Sensor de voltaje de la batería*: se trata de un divisor de voltaje alimentado directamente desde la batería de la motocicleta.

5) *Sensor MAP*: mide la presión del aire en el colector de admisión y la presión barométrica del ambiente en el cual está funcionando el motor. Es un sensor MPX4115AS el cual mide presiones absolutas, su alimentación es de 5V y puede medir presiones desde los 15 kPa hasta los 115kPa, teniendo una salida proporcional de 0,2 a 4,8 voltios.

6) *Sensor de las RPM del motor*: para la detección de las rpm del motor se aprovechó el sistema de encendido propio de la motocicleta que consta de un volante magnético que está unido directamente al cigüeñal, y un sensor inductivo (conocido como púlsor), que envía un pulso eléctrico por cada vuelta del motor el cual es acondicionado para generar una señal cuadrada entre 0 y 5 voltios.

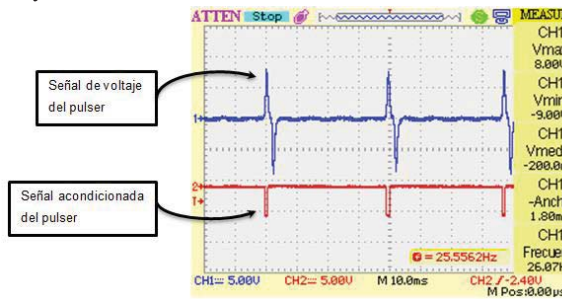


Fig. 14: Señal del púlsor y señal acondicionada del púlsor @1500 RPM

7) *Sensor de gases de escape*: El sensor de gases de escape es en realidad un sensor de oxígeno, ubicado en el tubo de escape del motor. Como su nombre lo indica, mide la cantidad de oxígeno en los gases del escape, envía una señal eléctrica a la ECU, la cual varía el ancho de pulso de acuerdo a la señal recibida. El voltaje generado varía de 0,1 a 0,9 voltios, indicando mezclas pobres o ricas respectivamente.

8) *Bomba de combustible*: es la encargada de transportar la gasolina desde el tanque hasta el inyector y su presión es regulada a 3 [bar] por medio de un regulador de presión. Su activación y desactivación es controlada por la ECU por medio de un relé. Se activa cuando el motor entra en funcionamiento y se desactiva cuando el motor se apaga.

9) *Inyector de combustible*: Es el encargado de pulverizar la gasolina gotas lo más pequeñas posibles. Se encuentra ubicado justo antes de la válvula de admisión,

apuntando su espray directamente a ésta. Este dispositivo es alimentado directamente desde la batería por medio de un relé y es controlado, desde la ECU, por medio de su conexión a masa con un mosfet IRFZ44N.

10) *Comunicación Serial*: para la comunicación con el computador en el cual se desarrolló un Panel de Visualización en donde se indican los valores más importantes de los parámetros del motor. Para el acondicionamiento de los niveles de voltaje, se utilizó un MAX232.

IV. PRUEBAS DEL SISTEMA

A. Pruebas de Consumo de Combustible

Para realizar la prueba de consumo de combustible se procedió a establecer una ruta en la que se pueda obtener diferentes tipos de carretera que van desde vías horizontales, cuestas pronunciadas y cambios de velocidad para poder analizar las diferentes respuestas de la motocicleta. La ruta establecida tiene un recorrido comprendido de 20 Km de distancia (de ida y vuelta), que va desde la ubicación de la empresa en Capelo, San Rafael (Punto A) hasta la entrada a Amaguaña (Punto B), por medio de la vía que une Conocoto con Amaguaña.

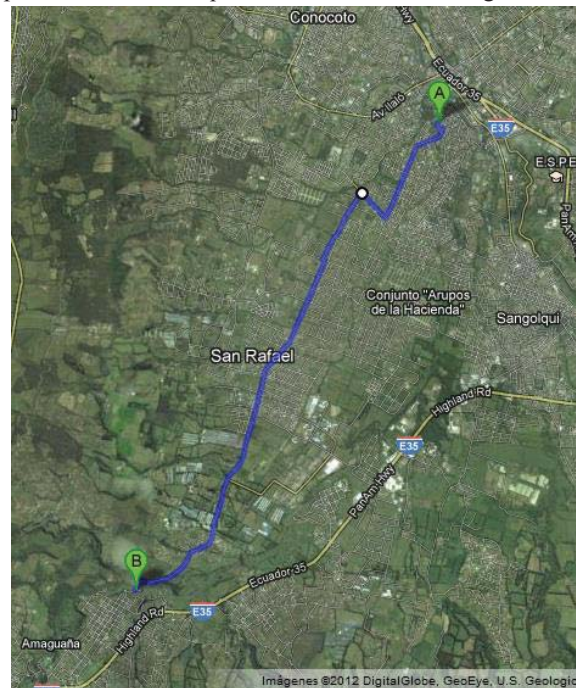


Fig. 15: Ruta establecida para el recorrido de la prueba. Fuente: Google Maps.

1) *Comparativa de resultados de rendimiento*: el procedimiento para medir el rendimiento fue el siguiente: Se vació totalmente el tanque de gasolina, se llenó el tanque con 4 litros de gasolina, se realizó el recorrido de ida y vuelta. Al finalizar el recorrido se vacía nuevamente

el tanque de combustible y se midió el volumen de gasolina restante. La diferencia entre la gasolina inicial y la restante sería el consumo realizado por el motor. La gasolina utilizada es la Súper que se comercializa en las gasolineras de todo el país.

En la Fig. 16 se muestra la comparación entre el rendimiento del combustible entre los 2 sistemas de alimentación. Está expresado en [km/gal] a 3 velocidades máximas distintas.

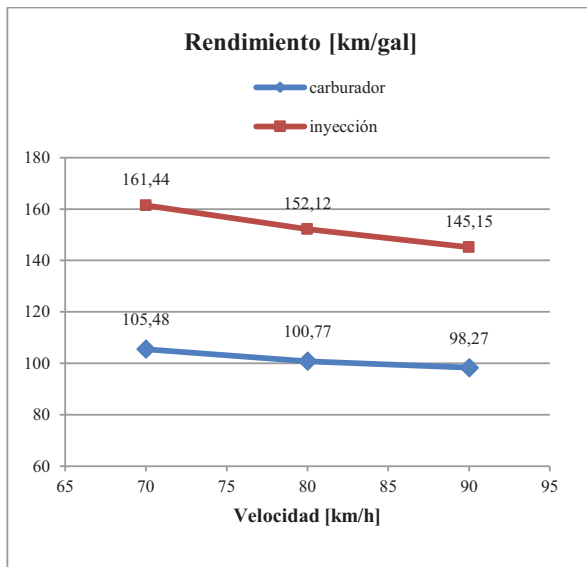


Fig. 16: Gráfica comparativa del rendimiento de combustible entre el sistema de carburador e inyección electrónica

B. Pruebas de Consumo de Emisión de Gases

Las pruebas de emisión de gases fueron realizadas en las instalaciones del Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (CCICEV) de la Escuela Politécnica Nacional. Para la medición de los gases de escape, se realizaron 2 pruebas para cada sistema de alimentación: Marcha mínima o ralentí a 1500 RPM, y marcha a 5000 RPM para carburador y 9000 RPM para inyección.

Para el análisis de los resultados, en la Tabla 4 se presenta los parámetros de referencia de los valores más importantes que son tomados en cuenta del análisis de gases en motocicletas y su nivel gravedad, siendo 0 el más bajo (no necesita corrección) y 3 el más alto (necesita mayor atención para la corrección).

Los parámetros tomados en cuenta son: HC o Hidrocarburos no Combustionados en bajas y altas revoluciones; CO es el monóxido de carbono (corregido) en bajas y altas revoluciones; y, O2 es la cantidad de oxígeno emitida en bajas y altas revoluciones.

Tabla 4: Parámetros de referencia de valores de emisión de gases. Fuente: CCICEV.

Parámetro	0	1	2	3
HC – Baja	0<=x<2000	2000<=x<4000	4000<=x<6000	x>=6000
CO – Baja	0<=x<4%	4%<=x<6%	6%<=x<8%	x>=8%
O2 – Baja	0<=x<3%	3%<=x<4%	4%<=x<5%	x>=5%
HC – Alta	0<=x<2000	2000<=x<4000	4000<=x<6000	x>=6000
CO – Alta	0<=x<4%	4%<=x<6%	6%<=x<8%	x>=8%
O2 – Alta	0<=x<3%	3%<=x<4%	4%<=x<5%	x>=5%

Tabla 5: Comparación de resultados de los parámetros principales de las pruebas realizadas.

Parámetro	Carburador		Inyección	
	Valor	Nivel	Valor	Nivel
HC – Baja [ppm]	540	0	297	0
CO – Baja [%]	9,31	3	3,91	0
O2 – Baja [%]	8,65	3	3,03	1
HC – Alta [ppm]	296	0	706	0
CO – Alta [%]	6,52	2	2,69	0
O2 – Alta [%]	0,54	0	2,25	0

V. CONCLUSIONES

- Se pudo demostrar de manera práctica que un sistema de inyección electrónica de gasolina es factible en motores de baja cilindrada alimentados por carburador.
- El rendimiento de combustible en un sistema de inyección es superior, llegando a un 50% de ahorro de combustible, aunque éste podría variar dependiendo del manejo y de las condiciones viales.
- De las pruebas de emisión de gases contaminantes, se puede concluir que existe una ventaja en el uso de la inyección electrónica ya que disminuyen los gases tóxicos como el monóxido de carbono y de las HC en ralentí. El factor lambda se mantiene constante alrededor del valor teórico de 1 que significa que hay un quemado eficiente del combustible.
- Para ésta aplicación fue necesario el uso de un microcontrolador dsPIC30f4013, el cual presentó un funcionamiento más eficiente en relación a otros microcontroladores de menor rango como son los pertenecientes a la serie 16F y 18F de la empresa Microchip, principalmente por la velocidad de procesamiento, manejo de periféricos y de datos.
- Para poder hacer un desarrollo máximo de la aplicación, es necesario contar con un centro de pruebas dedicado a motocicletas, el cual no existe disponible en el país.

- Para obtener un sistema más eficiente, se podría implementar el control del encendido desde la ECU, con lo que se tendría un control total del funcionamiento del motor.

RECONOCIMIENTOS

El autor agradece a la empresa A&S Custom Bikes por las facilidades y apertura brindada para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] (2005, Julio) Ecuador Inmediato. [Online]. <http://goo.gl/7cjcj>
- [2] Ángel PORTILLA. Experiencias en calibración de motores a gasolina para disminuir emisiones en altura. [Online]. <http://goo.gl/9sOOK>
- [3] Juan SALVAT, *Enciclopedia SALVAT del AUTOMÓVIL*. Pamplona, España, 1974, vol. I.
- [4] <http://www.youtube.com/watch?v=7cb2CbIfDeA>
- [5] José Manuel ALONSO PÉREZ, *Técnicas del Automóvil: Inyección de gasolina y dispositivos anticontaminación*.: Paraningo, 1998.
- [6] Geocities. [Online]. <http://goo.gl/JXV7j>
- [7] EcuRed. EcuRed. [Online]. <http://goo.gl/WaQ79>
- [8] Spider. (2003, Agosto) ProbeTalk. [Online]. <http://goo.gl/qryaq>
- [9] Tech. (2007, Enero) MPForum. [Online]. <http://goo.gl/IDOFw>
- [10] Édgar Joel PÉREZ CARVAJAL, Julio Orozco SANTOS COY, and Rodolfo Moisés LEMUS FLORES, "Transmisión electrónica dual," Instituto Politécnico Nacional, México D. F., Trabajo Terminal 2005.
- [11] Microchip Technology Inc., *dsPIC30F3014/4013 Data Sheet*, 2010.

BIOGRAFÍA



Matemático.

Posteriormente realizó sus estudios en la Facultad de Ingeniería Electrónica y Control de la Escuela Politécnica

Nacional recibiendo el título de Ingeniero en Electrónica y Control en el año 2012. Actualmente desempeña el cargo de representante técnico de la empresa Assinfil Cía. Ltda.



Hugo Banda, nació en Quito, el 7 de Julio de 1950. Realizó sus estudios superiores y se graduó de Ing. en Electrónica y Telecomunicaciones en la Escuela Politécnica Nacional, en 1975. Estudios superiores los realizó en la Universidad de Bradford, Inglaterra, en donde obtuvo el grado de MSc. en Power Electronics; y en 1990, la Universidad de Dundee, Escocia le confirió el grado de PhD. en Computer Science (Artificial Intelligence).

Actualmente es profesor principal en el Departamento de Informática y Ciencias de Computación de la Escuela Politécnica Nacional; y, desde Julio 2007, es Presidente de la Corporación Ecuatoriana para la Innovación Científica y Tecnológica (CORDICYT).



Ángel Portilla Aguilar, nació en Tulcán-Ecuador el 13 de Marzo de 1961. Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Superior Técnico "Vicente Fierro", obteniendo el título de Bachiller Técnico en Mecánica Automotriz y Diesel. Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero Mecánico. Obtuvo su título en Maestría en Sistemas Automotrices en la Escuela Politécnica Nacional.

De Octubre 2008 a Marzo 2009 fue Coordinador del Proyecto Estudio Que Permita Establecer La Necesidad Y Características Del Proceso De Constatación Técnico Mecánico En Las Unidades Que Prestan El Servicio De Transporte Público Que Permita Garantizar La Circulación De Los Vehículos Por Las Vías, Minimizando Los Impactos Medioambientales Y Reduciendo La Siniestralidad, Enfocado En La Necesidad De Disponer De Centros De Revisión Vehicular A Nivel Nacional (CNTTTSV – Comisión Nacional del Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial).

Actualmente desempeña el cargo de Director Ejecutivo del Centro de Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares CCICEV.