

# Control de cuerpo de aceleración para pruebas con mezclas de combustible en MCI

G. Becerra, \* N. Chi-San, \*\* J.D. Avilés, \*\*\* E. Osorio, \*  
J.O. Aguilar, \*\* J. Hernandez \*\* V. M. Sánchez \*\*

\* CONACYT - Universidad de Quintana Roo,  
guillermobec@gmail.com,

\*\* Universidad de Quintana Roo, Boulevard bahía S/N, esq. Ignacio  
Comonfort, Col. del Bosque, Chetumal, Quintana Roo, México

\*\*\* Facultad de Ingeniería y Negocios Tecate, Universidad Autónoma  
de Baja California, México.

---

## Resumen

En el presente trabajo se describen algunos experimentos de un motor de combustión interna (MCI) ante mezclas de combustible, mediante la aplicación de un controlador en el carburador del motor de combustión, que modifica la posición de un servomotor integrado en el cuerpo de aceleración. Con el objetivo principal de mantener el motor en ciertos rangos de velocidad, para contabilizar el consumo de combustible y con ello analizar la diferencia entre combustible convencional a base de petróleo y mezclas con etanol (biocombustible).

*Palabras clave:* Control del cuerpo de aceleración, motor de combustión interna, mezclas de combustible.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas que van ligados con el desarrollo del autotransporte y la generación de energía eléctrica, es el consumo excesivo de los combustibles fósiles. Una de las preocupaciones actuales está relacionado con el empleo de energía en movilidad, la cual, hace que nuestra capacidad de suministro de combustible disminuya. En especial, los motores de combustión interna (MCI), que resalta una problemática actual, se enfoca al cuidado del entorno que habitamos, con respecto a las emisiones contaminantes que se producen por los vehículos y el consumo de energía, los cuales, están ligados completamente. Hoy en día el medio ambiente es fundamental para nuestra calidad de vida y desde luego para las generaciones futuras.

Una solución emergente, con respecto al ambiente y afecciones a la salud humana, que puede ser un ejemplo muy notable, es la contingencia ambiental en la Ciudad de México. Donde, con el intento de reducir los niveles de contaminación en el aire, se emplea el programa urbano Hoy No Circula, para restringir la circulación vehicular El-Universal (2019).

Una sección importante del uso de energía, con respecto al consumo de combustibles, que apoya la solución de las problemáticas mencionadas anteriormente, es el uso de bio-combustibles (Salinas-Callejas y Gasca-Quezada (2009); Guo et al. (2014); Morales-Gómez (2016)), ya sean

una fracción del volumen del combustible habitual con el que opera la máquina o sustitución total. En cuanto a los motores de combustión, que aun no cuentan con tecnologías de sistemas de combustibles variables (FLEX FUEL), es posible realizar enriquecimiento al hidrocarburo usual, con estos nuevos bio-combustibles. Los cuales, además de ser utilizados en el sector autotransporte, se pueden emplear en la producción de energía eléctrica, mediante un motor de combustión - generador eléctrico.

Por tales motivos, se desarrollan algunos estudios como en Perez-Sanchez et al. (2015), sobre la simulación del comportamiento en cuanto a gases de salida y potencia para diesel y mezclas con biodiesel, en un motor Kubota D600-B. Otro estudio interesante y muy acercado al del presente trabajo, se desarrolló en Vietnam por Nguyen-Duca et al. (2018), donde se experimenta con gasolina y etanol en una motocicleta, con modificaciones del carburador que inyecta la mezcla aire y combustible, en el cual, le agregan la inyección de etanol. La diferencia principal con nuestro trabajo es por mezclar el combustible antes de la inyección.

Por otro lado, algunos trabajos enfocados al control de velocidad en motores de combustión interna describen controladores como en Guzman et al. (2014), basados en modos deslizantes y en Meza-Aguilar et al. (2013) por backstepping, sin embargo también hay estudios sobre la inyección de combustible, como Orlov et al. (2009).

Sin embargo, en el presente trabajo la preocupación del controlador consiste en regular la velocidad, para evaluar el consumo de combustible ante diferentes mezclas y se utiliza el control de un servomotor para el cuerpo de aceleración.

El resto del documento está dividido como sigue; en la sección 2 se describe el sistema, que además del motor de combustión original, se agrega un sistema de control para el mismo. La sección 3 describe las características de los combustibles utilizados. En la sección 4 se muestran los principales resultados obtenidos y por último se presentan las conclusiones del trabajo.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

### *Motor de combustión utilizado*

El motor de combustión interna que es utilizado para realizar las pruebas es de una motocicleta scooter, encendido por chispa, de 4 tiempos o ciclo Otto, enfriado por aire, mono cilíndrico, con sistema de arranque eléctrico y por pedal. Cuenta con una transmisión automática acoplada al motor mediante una banda y con un sistema de lubricación de bomba húmeda.

El motor de tipo Single Overhead Camshaft (SOHC), es un tipo de motor de combustión interna que usa un árbol de levas, ubicado en la culata, para operar las válvulas de escape y admisión del motor. En la Tabla 1 (Suzuki-Motors, 2019) se describe las características técnicas del motor empleado para los experimentos de enriquecimiento de combustible. El motor es desmontado del vehículo para una evaluación más controlada del mismo.

Tabla 1. Especificaciones del motor.

Marca	Suzuki
Modelo	AN Burgman
No. de Cilindros	Monocilindro
Diámetro del pistón	51.701 mm
Longitud de carrera	59.84 mm
Desplazamiento	125 cc
Relación de compresión	10.2:1
Potencia	9.5 CV a 7500 RPM

Para el control teórico de la velocidad, comunmente se emplea un modelo dinámico de la forma Meza-Aguilar et al. (2013)

$$\frac{d\omega}{dt} = b_1(\omega, P_m)P_m - f_1(\omega, P_m) \quad (1)$$

$$\frac{dP_m}{dt} = \frac{RT}{V_m}(f_2(\omega, P_m) + b_2(\beta_1(\alpha))) \quad (2)$$

donde  $\omega$  es la velocidad,  $P_m$  la presión en el múltiple de admisión, las cuales, son las variables principales que modifican las dinámicas del motor, además  $b_1$  también es función del poder calórico, eficiencia, temperatura  $T$ ,

volumen  $V$ , y relación aire/combustible,  $f_1$  de la potencia de carga,  $R$  es la constante universal de gases,  $f_2$  función del flujo de masa de aire que sale del múltiple,  $T$ ,  $V$ ,  $R$  y  $P_m$ , por otro lado,  $b_2$  depende del flujo de masa de aire que entra al múltiple, la presión del ambiente,  $T$  y  $P_m$ . Para terminar  $\beta_1$ , depende principalmente del ángulo de apertura de la válvula  $\alpha$  que permite el ingreso de aire al carburador.

Con lo cual, para el presente trabajo resulta en un acoplamiento de la mencionada válvula de aire que ingresa al carburador, con un motor eléctrico, para el sistema de control.

### *Sistema de control*

Se considera un sistema de control para mantener la velocidad de salida del motor de combustión, sin embargo, la aceleración o velocidad, como se mencionó en la descripción del modelo, depende del flujo aire/combustible que ingresa a la cámara de combustión.

Este flujo mencionado, lo regula un carburador mecánico mediante una válvula (también conocida como mariposa), en la cual, se acopla un servomotor controlado por el microcontrolador de arduino, como se muestra en la Fig. 1.

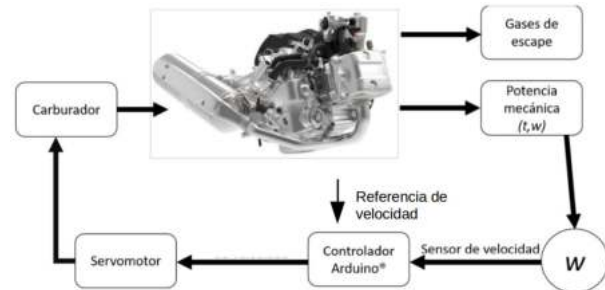


Figura 1. Sistema en lazo cerrado.

## 3. COMBUSTIBLES PARA EL MOTOR DE COMBUSTIÓN

Para realizar las pruebas experimentales de funcionamiento en el motor, se utilizaron dos tipos de combustibles, el convencional gasolina de 87 octanos y etanol de grado comercial para motores de combustión, para enriquecimiento del mismo. En la Tabla 2 se muestran las características principales de ambos combustibles. Las cuales, son relevantes para cuando se ingresa a quemar en el motor y más aun cuando se mezclan.

### *Mezcla de combustibles*

Para los experimentos primero se caracterizó el motor mediante el hidrocarburo convencional, posteriormente se mezclan diferentes porcentajes de los mencionados.

Se realizaron tres diferentes tipos de mezclas: E5 se produce mezclando gasolina con el 5% de etanol, sobre

Tabla 2. Características del combustible.

Combustible	Gasolina	Etanol
Densidad	680 $\frac{kg}{m^3}$	837 $\frac{kg}{m^3}$
Poder Calorífico	42 $\frac{MJ}{kg}$	37 $\frac{MJ}{Kg}$
Autoignición	456 $^{\circ}C$	215 $^{\circ}C$

el volumen total. Las etiquetas E10 y E15 corresponden al 10% - 15% del volumen de etanol y 90% - 85% del volumen de gasolina, respectivamente.

La idea general es analizar el funcionamiento del motor para las respectivas proporciones gasolina-etanol, sin modificaciones mecánicas o de materiales de construcción.

#### 4. RESULTADOS

##### *Desempeño convencional*

El primer experimento consiste en evaluar el motor de combustión en cuanto al consumo de combustible y temperatura, al intentar mantener la velocidad de este en cierto valor. La fig. 2 muestra el comportamiento de la evolución de velocidad y temperatura después de que arranca el motor.

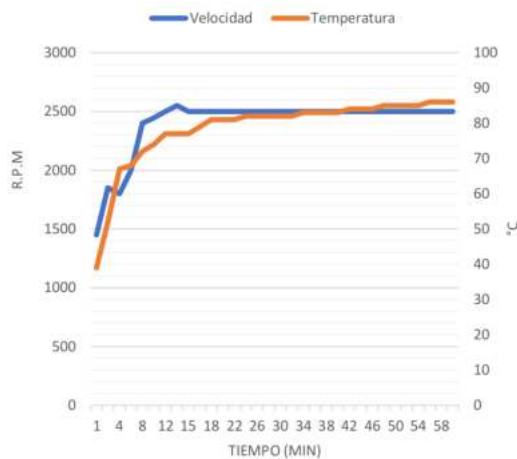


Figura 2. Velocidad y temperatura después del arranque.

Por otro lado, la fig. 3 muestra el rendimiento del combustible ante la velocidad del motor, obtenido mediante la medición de la cantidad de combustible y velocidad, por tiempo de funcionamiento.

El rendimiento se expresa en segundos por mililitro, que representa cuanto tiempo se tarda el motor en consumir un mililitro de combustible a cierto valor de velocidad.

##### *Comparación con mezcla*

Para realizar la comparación, se trata de mantener el motor operando a la misma velocidad. Por tal motivo, la Fig. 4 muestra la velocidad de la máquina para la

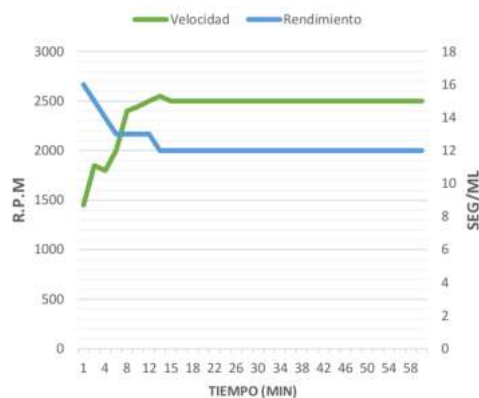


Figura 3. Velocidad y rendimiento del MCI.

operación solo con gasolina E0, mezcla de gasolina con etanol al 5%, representado por E5, así como E10 y E15 al 10% y 15%, respectivamente.

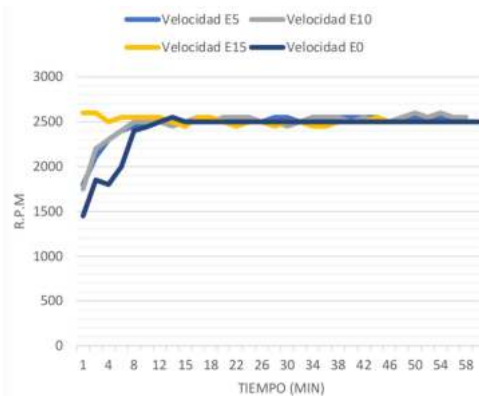


Figura 4. Velocidad del MCI con diferentes mezclas.

Un detalle interesante es la evolución de temperatura, por las recomendaciones generales en motores de combustión, para que opere en un rango recomendable. En la Fig. 5 se ilustra la evolución de temperatura, con respecto al tiempo de operación, ante las mezclas respectivas, intentando que el motor iniciara a la temperatura ambiente, es decir, entre cada experimento se dejaba enfriar.

Se debe notar, que la menor temperatura de operación es cuando se emplea gasolina y la mayor temperatura para la etiqueta de mezcla E10.

Por otro lado, la Fig. 6 muestra los rendimientos para las mezclas y uso convencional, como se mencionó previamente, las unidades de (SEG/ML), representa el tiempo que tarda en consumir un mililitro de líquido el motor.

Como era de esperarse, la etiqueta E0 para funcionamiento sin enriquecimiento, tiene el mínimo rendimiento o consumo base. Sin embargo, no necesariamente el mayor enriquecimiento produce más rendimiento, lo cual se puede comparar entre las etiquetas E10 y E15, donde se observa que el mayor rendimiento se obtiene con al 10% de etanol.

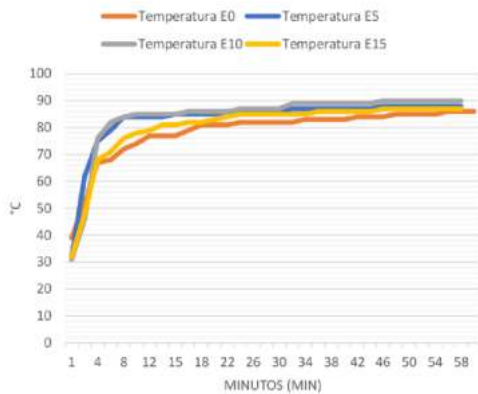


Figura 5. Temperatura del MCI para las mezclas.

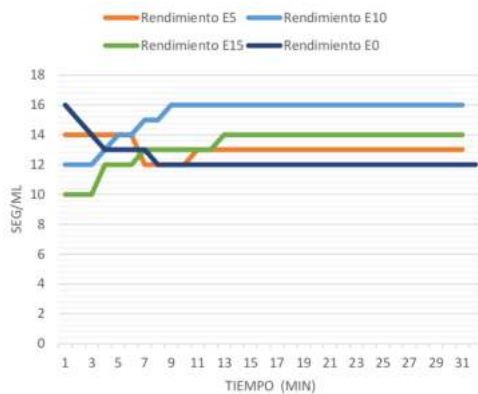


Figura 6. Rendimiento del MCI ante diferentes mezclas.

## 5. CONCLUSIONES

Se describe la aplicación de un sistema de control, con el objetivo de mantener la velocidad en un motor de combustión interna y con ello analizar el desempeño del mismo. El mencionado objetivo se logra y con ello la evaluación del rendimiento en el motor, al agregar combustible convencional y enriquecimiento con etanol.

A pesar de que se incrementó gradualmente el porcentaje de etanol, no necesariamente el valor mayor, produce el mejor rendimiento. La mezcla con E10 (10% de etanol), produce hasta 33% más rendimiento que la gasolina, mientras que la etiqueta E15 (15% de etanol), fructifica solo con el 16% de rendimiento mayor al hidrocarburo usual. Cabe resaltar que se experimentó con mezcla del 50% de etanol - gasolina, pero la manguera se dañó y no se logró el análisis de rendimiento. Otro experimento realizado es la mezcla diesel-gasolina al 50%, que obtiene rendimiento y temperatura similar al E10, sin embargo, el motor no logra arrancar en frío.

Se muestran tres características principales que se lograron medir y son representadas en las gráficas. Primero la velocidad obtenida por un sensor infrarojo Fig. 7, insertado cerca del generador eléctrico, con el cual se identifica la variable y se ingresa al sistema de control para que

el motor se mantenga operando ahí. La segunda variable de interés es la temperatura, la cual preocupaba por las modificaciones al funcionamiento habitual del sistema, ya que se montó en un banco de pruebas. Primero se identificó el punto más caliente mediante una cámara termográfica en el cabezal del motor fig. 8, para colocar un termopar, y en caso que incrementara demasiado la temperatura, se interrumpe el experimento, para evitar daños en el motor. Por último, se mide el consumo de combustible por unidad de tiempo, mediante un cronómetro y una pipeta graduada, conectada al cargador mediante una manguera.

En el presente banco de pruebas, se experimentó con enriquecimiento de hidrógeno en el mismo motor de combustión. Sin embargo, a pesar de ingresarlo y notar aceleración, no se logró medir el flujo del mismo para determinar el rendimiento. Por lo tanto, queda pendiente la medición del desempeño del motor de combustión, ante el ingreso de gas carburante en la combustión.

Por otro lado, se están adaptando los parámetros para corroborar en simulación un esquema de control del tipo Meza-Aguilar et al. (2013), así como otros esquemas de control, que se logren adaptar. Por el momento ha resultado una acción proporcional entre el error de velocidad y la referencia de esta cuando el motor opera cerca de la temperatura permanente.

## ANEXO

### Mediciones del experimento

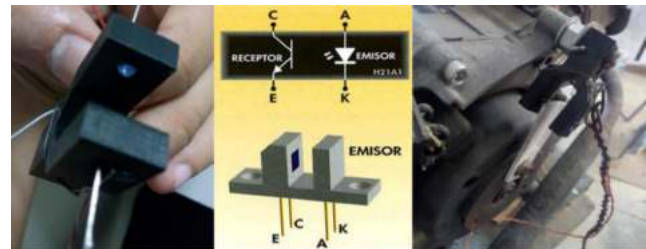


Figura 7. Medición de velocidad en el MCI.

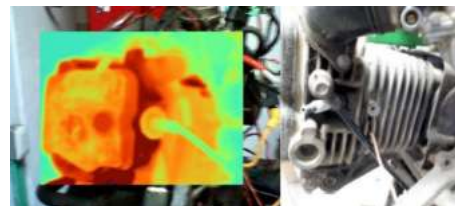


Figura 8. Medición de temperatura del MCI

## REFERENCIAS

El-Universal (2019). <https://www.eluniversal.com.mx/metropoli/actualizaran-programa-hoy-no-circula-tras-contingencia-ambiental>.

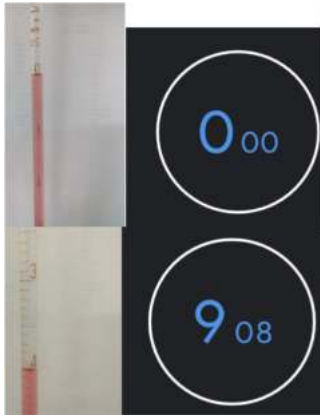


Figura 9. Medición del rendimiento en el MCI.

- Guo, M., Song, W., y Buhain, B. (2014). Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective. *Sustainable Energy Reviews*, 42(1), 712–725.
- Guzman, E., Becerra, G., Moreno, J., y Alvarez-Icaza, L. (2014). Controladores para motores diesel con incertidumbres paramétricas. In *Congreso Latinoamericano de Control Automático*, 965–970. Cancún, Q.Roo, Mexico.
- Meza-Aguilar, M., Navarrete-Guzmán, A., Loukianov, A., y Rivera, J. (2013). Adaptive backstepping controller for internal combustion engine with actuator dynamics. In *Congreso Nacional de Control Automático*, 315–320. Ensenada, B.C, Mexico.
- Morales-Gómez, J. (2016). Análisis de la variación de la eficiencia en la producción de biocombustibles en américa latina. *Estudios Gerenciales* 120–12, (32), 120–126.
- Nguyen-Duca, K., Nguyen-Tien, H., y Nguyen-Duy, V. (2018). Performance enhancement and emission reduction of used motorcycles using flexible fuel technology. *Energy Institute*, 91(1), 145–152.
- Orlov, Y., Kolmanovsky, I., y Gomez, O. (2009). Adaptive identification of linear time delay systems: From theory toward application to engine transient fuel identification. *Journal of Adaptive Control and Signal Processing*, 23, 150–165.
- Perez-Sanchez, A., Montero-Alpirez, G., Ayala-Bautista, R., Coronado-Ortega, M., Campbell-Ramírez, H., y García-González, C. (2015). Aspen simulation of diesel-biodiesel blends combustion. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 16(1), 83–92.
- Salinas-Callejas, E. y Gasca-Quezada, V. (2009). Los biocombustibles. *El cotidiano*, 157(1), 75–82.
- Suzuki-Motors (2019). <https://www.eluniversal.com.mx/metropoli/actualizaran-programa-hoy-no-circula-tras-contingencia-ambiental>.