



TRABAJO TEORICO EXPERIMENTAL

Evaluación de un motor de encendido por chispa trabajando con mezclas etanol-gasolina

Evaluation of the spark-ignition engine fueled with ethanol-gasoline blends

Eliezer Ahmed - Melo Espinosa
Yisel - Sánchez Borroto

Nayvi - Ferrer Frontela
Noel - Ferrer Frontela

Recibido: Enero del 2012

Aprobado: Abril del 2012

Resumen/ Abstract

En la presente investigación se realiza un análisis del rendimiento de un motor de encendido por chispa (Lada 1300) al usar como combustible mezclas de etanol con gasolina en un 10%, 20% y 30%. Los parámetros analizados en cada experimento fueron el torque efectivo, la potencia efectiva, el consumo específico de combustible y las emisiones de monóxido de carbono. Los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente mediante una comparación de muestras múltiples en el software estadístico Statgraphics Centurion XV.II. Este análisis fue hecho con él con el objetivo de analizar las posibles diferencias entre los parámetros evaluados para cada combustible a una misma *rpm*. A partir de los resultados obtenidos se pudieron establecer satisfactoriamente dos porcentajes adecuados de la mezcla etanol-gasolina para ser utilizado en motores de encendido por chispa (Lada) en las condiciones de Cuba y sin hacer modificaciones en el motor.

Palabras clave: etanol, gasolina, mezclas.

In this investigation an analysis based on the performances of an engine when using blends of anhydrous ethanol with regular gasoline as fuels is carried out. The experiments of the Lada 1300 engine were carried out for different blends in 10%, 20% and 30% of ethanol in gasoline. The analyzed parameters for each experiment were the effective torque, the effective power, the specific fuel consumption and the carbon monoxide exhausts emissions. The obtained results were statistically analyzed through multiple-sample comparison in the software Statgraphics Centurion XV.II. This analysis was made with the objective of analyzing the possible differences among the evaluated parameters for each fuel to the same rpm. The appropriate percent of the anhydrous ethanol - regular gasoline blends for use in engine (Lada) under the Cuba conditions and without making modifications were satisfactorily established.

Keywords: ethanol, gasoline, blends.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los problemas medioambientales y los precios cada vez más elevados de los combustibles fósiles en el mercado internacional, condicionan la búsqueda de alternativas para paliar esta situación. Muchos gobiernos destinan importantes recursos y flexibilizan sus decisiones políticas en torno a estos temas.

Estudios relacionados con la disponibilidad actual de los combustibles fósiles demuestran la capacidad limitada de estos recursos y por tanto la vulnerabilidad a la que están sometidos todos los países dependientes energéticamente de este.

Numerosos investigadores [1-2], alertan sobre los efectos negativos que provoca al medio ambiente la utilización como combustibles de los hidrocarburos fósiles, responsables en su mayoría de los aumentos en la temperatura del planeta. Esta situación puede ser cambiada haciendo uso un racional de los recursos, fomentando el empleo de tecnologías y energías renovables, así como sustituyendo parcial o totalmente los combustibles basados en petróleo en el sector agrícola, el transporte y otros campos de la industria. Los alcoholes, aceites vegetales, hidrógeno, gas natural comprimido, etcétera, son usados como una buena alternativa de combustibles para motores de combustión interna [3]. De estas fuentes alternativas de energía son los biocarburantes hasta este instante los que llevan la vanguardia. En la actualidad se conoce, fundamentalmente, como biocarburantes: los alcoholes, los aceites vegetales, y sus derivados. Dentro de los alcoholes se encuentra el metanol y el etanol, los que a su vez se clasifican en hidratado y anhidro. El etanol anhidro es el requerido para mezclar con la gasolina [4]. El etanol es biodegradable y se evaporará rápidamente si es derramado [5].

El bioetanol puede ser usado directamente en automóviles diseñados para trabajar con etanol puro o mezclado con gasolina para hacer "gasohol". Ninguna modificación del motor es típicamente necesaria para usar esta mezcla [4]. Uno de los argumentos básicos para el enriquecimiento de la gasolina con etanol es el hecho de la reducción en las emisiones de contaminantes atmosféricos [6-9]. El etanol introduce más oxígeno a la mezcla combustible mejorando la eficiencia de la combustión debido a la presencia de un átomo de oxígeno por molécula. Sin embargo, el proceso de combustión real es mucho más complejo y tales conclusiones podrían ser bastante apresuradas. Se ha demostrado que el uso de combustibles oxigenados en motores de combustión interna generalmente reduce las emisiones de hidrocarburos totales y monóxido de carbono (CO) a condiciones normales de temperatura, aunque en varios estudios se reporta que la magnitud global de la reducción puede ser poco significativa [9].

El uso reciente de etanol como combustible ha incrementado su producción [4]. En la actualidad, el etanol es usado como combustible, principalmente en Brasil, y como un aditivo de gasolina para el aumento del número de octano y mejorar la combustión en Estados Unidos, Canadá e India [1]. En países como Brasil y Estados Unidos, dos de los principales consumidores del mismo a nivel mundial, representa entre los dos más del 30% de las ventas anuales de combustibles. Tras el primer gran premio de Bahrein, compañías como la Shell, el suministrador oficial de carburantes de la escudería Ferrari de Fórmula 1, dio a conocer que los monoplazas que quedaron primero y segundo en esa primera cita utilizaron bioetanol de segunda generación procedente de paja de trigo [10]. En Cuba, se han estado realizando en los últimos años investigaciones importantes en temas de biocombustibles, en especial el bioetanol y el biodiesel [11]. Actualmente, diferentes instituciones continúan investigando en este sentido con el objetivo de determinar las proporciones óptimas en la mezcla alcohol-gasolina y la viabilidad de su empleo en el transporte automotor. Utilizando para las mezclas, distintos tipos de alcoholes y gasolinas, en especial la gasolina del tipo regular y el etanol anhidro, ya que según estudios anteriores en Cuba la miscibilidad del etanol, favorece la estabilidad de las mezclas y con la gasolina regular se obtiene un mejor efecto antidetonante. Por los motivos antes explicados es que el objetivo fundamental de esta investigación consiste en evaluar el desempeño de un motor Lada 1300, al utilizar como combustible mezclas en un 10%, 20% y 30% de etanol anhidro en gasolina regular.

DESARROLLO

Materiales y métodos

Los experimentos se realizaron en un banco de pruebas para motores como se muestra en la figura 1, similar a un banco de propósito general. En este se encuentra parte del equipamiento técnico de medición que se utiliza en las pruebas de motores. El banco de pruebas está compuesto por dos salas, la sala de pruebas y la sala de control.

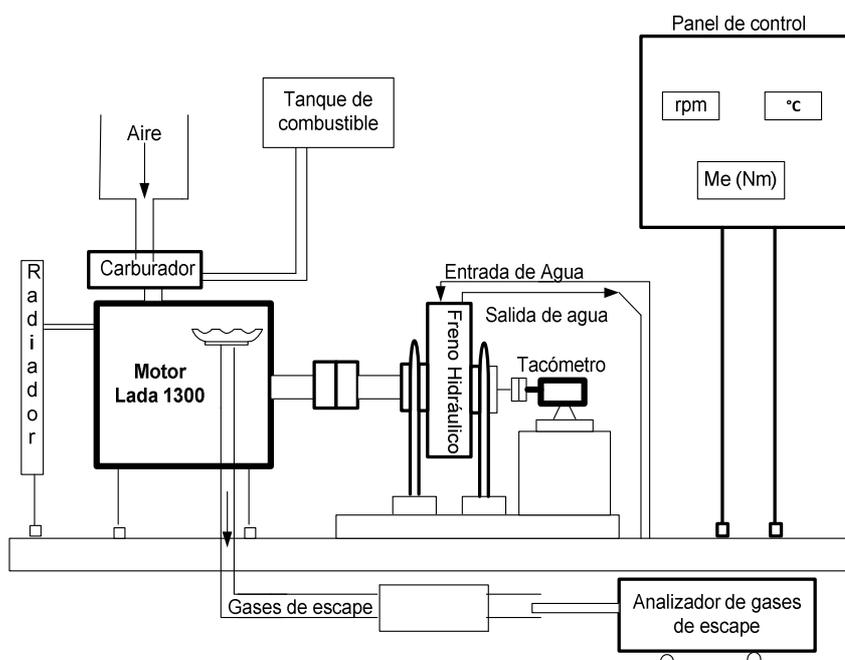


Fig. 1. Diagrama esquemático del motor y su instrumentación.

En la sala de pruebas se encuentra una bancada de vigas y cimientos reforzados para disminuir la vibración del motor, sobre la estructura está montado un motor Lada 1300, cuyas especificaciones técnicas se muestran en la tabla 1. El motor está acoplado a una transmisión cardánica y esta a su vez a un freno hidráulico (*tipo Froude*), con el cual se simulan las condiciones de explotación del motor. En el colector de los gases de escape se encuentra conectado un conducto que los traslada a la chimenea, este proceso ocasiona en la sala una recirculación del aire de ventilación. En la sala de control se encuentra el control del freno y el panel de control con el cual se toman las lecturas de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), torque efectivo (T_e) y revoluciones por minuto del motor (rpm).

Tabla 1. Especificaciones Técnicas del Motor Lada 1300.	
Detalles generales	Motor de gasolina, cuatro tiempos. Sistema de alimentación por carburación.
Cantidad y disposición de los cilindros	4 en línea
Cilindrada	1,3 L
Potencia nominal a 5600 rpm	48 KW
Torque máximo a 3400 rpm	96 Nm
Frecuencia de rotación mínima del cigüeñal en régimen de ralentí	850-900 rpm
Contenido de CO en lo gases de escape en régimen de ralentí.	1,5 %

Durante la realización de los experimentos en el banco de pruebas de motores las condiciones experimentales de referenciase comportaron como se muestra a continuación: La temperatura ambiente se mantuvo entre 25°C y 26°C , la presión atmosférica entre 1002 hPa y 1006 hPa , y la humedad relativa alrededor del 71%. Una vez verificado estos parámetros, el motor fue encendido y llevado a un período de asentamiento con el objetivo lograr un régimen térmico óptimo.

En la ejecución de los ensayos para la realización de la característica exterior de velocidad, una vez encendido el motor se llevó al régimen óptimo de trabajo, aproximadamente 70°C en el agua de enfriamiento a la entrada y 85°C a la salida del motor. Esto se logra manteniendo el motor a media velocidad con ligera carga aproximadamente de 5 a 10 minutos. La mariposa se lleva al 70% de trabajo y luego se aumenta la carga externa del motor disminuyendo sus rpm , hasta lograr las mínimas rpm donde el motor trabaja estable. Una vez en estas condiciones se espera aproximadamente un tiempo prudencial para lograr estabilidad del mismo, y así poder tomar la lectura de los datos necesarios a estas rpm . De igual forma se

disminuye y aumenta según el caso, la carga al freno hasta lograr las *rpm* establecidas en este estudio (5 valores), y así tomar las nuevas lecturas; todo ello sin descuidar que se logre la estabilidad térmica al pasar de un punto de medición a otro.

Las pruebas fueron realizadas a velocidades de 1200, 2000, 3000, 4000 y 5000 *rpm*. Los parámetros estudiados fueron la potencia efectiva (N_e) en *KW*, torque efectivo (T_e) en *Nm*, consumo específico de combustible (g_e) en *g/KW.h*, y las emisiones de monóxido de carbono (*CO*). Como combustible fue utilizada una muestra de gasolina regular como patrón de comparación, así como mezclas de gasolina con etanol en 10%, 20% y 30%. Para la medición de cada parámetro se hicieron 3 corridas para cada *rpm*, obteniéndose como resultado final el promedio de estas mediciones. Los resultados obtenidos en esta prueba fueron analizados estadísticamente mediante una comparación de muestras múltiples en el software estadístico Statgraphics Centurion XV.II. Este análisis fue hecho con el objetivo de analizar las posibles diferencias entre los parámetros evaluados (T_e , N_e , g_e y *CO*) para cada combustible a una misma *rpm*.

Las emisiones de monóxido de carbono fueron medidas usando un analizador de gases "Hermann" modelo HGA 400, con capacidad de medición entre 0 y 10% en volumen. La medición del gasto de combustible horario (G_h) se realizó mediante el método gravimétrico. A través de este método se determina el peso de la cantidad de combustible que se consume en un tiempo determinado, luego con estos valores de G_h se estima el consumo específico a través de la ecuación (1). Los valores de T_e fueron tomados del Panel de control de la sala, el mismo se encuentra acoplado a una celda de carga colocada en un extremo del freno hidráulico. Con los valores de T_e fue estimada la N_e mediante la ecuación (2).

$$g_e = \frac{1000 \cdot G_h}{N_e} \left[\frac{g}{KW \cdot h} \right] \quad (1)$$

$$N_e = \frac{n \cdot T_e}{9550} \quad [KW] \quad (2)$$

El motor empleado en las pruebas de banco fue diagnosticado a través del aceite lubricante mediante el ensayo de la mancha, siguiendo la metodología propuesta por Borjas en [12]. Los resultados de este análisis mostraron que en el aceite no hay presencia de contaminantes sólidos, carbón, combustible y agua ya que no se confunde la zona de difusión con la aureola y esta no presenta un contorno irregular. Además aún se conserva el poder detergente ya que se observa muy poco la zona central, apareciendo prácticamente sólo la zona de difusión y la traslúcida. Con estos resultados del aceite lubricante del motor se llegó a la conclusión de que el motor se encuentra en buenas condiciones técnicas, por lo que puede ser empleado como referencia en las pruebas.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Las mezclas preparadas para ser evaluadas fueron 10%, 20% y 30% de etanol anhidro en gasolina regular, debido a que mantienen una estabilidad relativamente buena [13]. Las mismas se prepararon justo antes de empezar los ensayos en el motor, para asegurar que la mezcla del combustible fueran homogénea y prevenir la reacción del etanol con vapor de agua [14]. Los términos E10, E20 y E30 representan las mezclas de 10%, 20% y 30% respectivamente, de etanol en gasolina. El término E0 significa que no existe mezcla con etanol o sea gasolina regular 100%. Según reportes de CUPET el número de octanos de la gasolina regular utilizada para esta investigación es 90. El grado Gay Lussac del alcohol empleado para formar las mezclas carburantes es 98,7 GL.

Luego de realizar los experimentos en el banco de pruebas de motores se obtuvo como resultado el comportamiento del torque efectivo, la potencia efectiva, el consumo específico de gasolina, así como las emisiones de monóxido de carbono, para los combustibles ensayados (E0, E10, E20 y E30), a 1200, 2000, 3000, 4000 y 5000 *rpm*. Estos resultados se analizaron estadísticamente mediante una comparación de muestras múltiples, cuyo procedimiento consiste en comparar los datos de cada combustible a una misma *rpm*. El método utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher, con un nivel de confianza del 95%. Además se empleó las pruebas de Rangos Múltiples, las cuales indican las medias que son significativamente diferentes unas de otras. Con este método, hay un 5,0% de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a 0.

En la tabla 2, se muestra el valor medio de los resultados obtenidos para el torque efectivo, la potencia efectiva, el consumo específico y las emisiones de monóxido de carbono, así como el valor de probabilidad para cada *rpm* durante cada corrida experimental.

Tabla 2. Resumen estadístico del torque efectivo (T_e), la potencia efectiva (N_e), el consumo específico (g_e) y las emisiones de monóxido de carbono (CO).						
rpm	Combustible	Valor medio T_e	Valor medio N_e	Valor medio g_e	Valor medio CO	Valor de probabilidad
1200	E0	62,5	7,9	468	3,5	0,0000
	E10	67,5	8,5	425	2,0	
	E20	65,0	8,2	456	1,8	
	E30	52,4	6,6	546	1,5	
2000	E0	72,5	15,2	306	2,3	0,0000
	E10	78,8	16,5	282	1,5	
	E20	75,0	15,7	293	1,2	
	E30	62,4	13,1	348	1,0	
3000	E0	80,0	25,1	263	1,4	0,0000
	E10	87,5	27,5	237	1,0	
	E20	82,5	25,9	255	0,9	
	E30	70,0	22,0	298	0,8	
4000	E0	85,0	35,6	283	2,0	0,0000
	E10	95,0	39,8	252	1,8	
	E20	87,5	36,7	278	1,7	
	E30	72,5	30,4	336	1,5	
5000	E0	80,0	41,9	336	3,0	0,0000
	E10	90,0	47,1	302	2,5	
	E20	82,5	43,2	327	2,3	
	E30	70,0	36,7	385	2,0	

Como se puede observar en la tabla 2, tanto para T_e , N_e , g_e y CO existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias para cada *rpm*, esto es debido a que los valores de probabilidad son inferiores a 0,05 para un nivel de confianza del 95%. Estadísticamente existen diferencias significativas entre las medias de T_e , N_e , g_e y CO en general, pero para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de las otras se empleó las pruebas de Rangos Múltiples. Los resultados de esta prueba indican que existen diferencias estadísticamente significativas entre cada grupo y par de medias (E0-E10, E0-E20, E10-E20, E0-E30, E10-E30, E20-E30).

El T_e y N_e es para las mezclas E10 y E20 superior en todos los casos al obtenido con E0, no obstante los mayores valores se obtienen con E10. Sin embargo para la mezcla E30 se observa una disminución respecto a E0 para todos los puntos experimentales evaluados. Consultando los valores de la tabla 2 y figura 3, se puede apreciar que a 1200, 2000 y 3000 *rpm* las diferencias numéricas entre los valores de potencia efectiva para E0 y E20 a pesar de ser pequeñas, son estadísticamente significativas. Además la figura 2, muestra que el T_e máximo tanto para E0, E10, E20 y E30 se encuentra alrededor de las 4000 *rpm*, en contraposición al valor de T_e máximo aportado por el fabricante el cual se logra a 3600 *rpm*. Nótese que el máximo valor de T_e , a pesar de ser a 4000 *rpm*, es el que alcanza E10, valor este bien próximo al reportado por el fabricante. Respecto al comportamiento de N_e mostrado en el figura 3, el N_e máximo tanto para E0, E10, E20 y E30 se encuentra alrededor de las 5000 *rpm*, valor este un poco inferior al establecido por el fabricante.

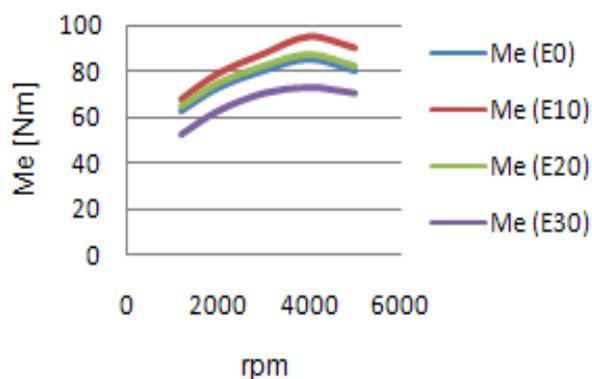


Fig. 2. Comportamiento del momento efectivo.

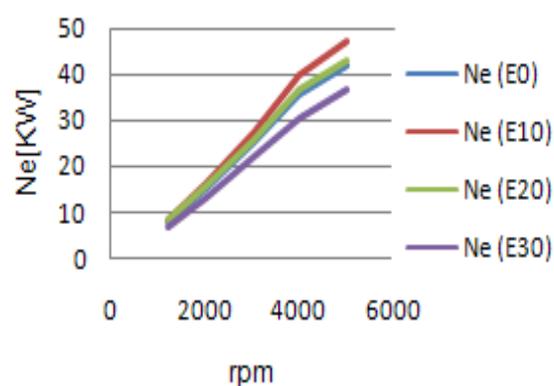


Fig. 3. Comportamiento de la potencia efectiva.

Los resultados obtenidos con los combustibles ensayados demuestran una tendencia para el comportamiento de la potencia efectiva y el torque efectivo. En todos los puntos experimentales se observa que los valores aportados por E10 son los valores que más se aproximan a los establecidos por el fabricante, en contraposición a E0. Este fenómeno es en contradicción a principios ya establecidos que refieren que el poder calórico del etanol anhidro por unidad de volumen es inferior al de la gasolina regular, de modo que, en principio la adición de etanol en la formación de E10, debiera restar torque y potencia al motor. Sin embargo, a raíz de la mejora del octanaje por la adición de etanol a la gasolina, un mejor llenado de la cámara de combustión (gracias a una menor temperatura de la mezcla) y al aporte de oxígeno de la molécula de etanol, que permite una mejor combustión y por tanto más energía de este proceso, se compensa en parte esta desventaja, y es por lo cual para algunas proporciones, dentro de las que se destaca E10, los resultados del T_e y N_e son superiores a los obtenidos en iguales condiciones con E0. Este resultado se corresponde a los planteamientos de un grupo de investigaciones [5].

La razón fundamental de las diferencias entre las prestaciones obtenidas con E0 y las establecidas por fabricante pueden estar en el hecho de que el motor Lada 1300 fue diseñado para trabajar con gasolinas cuyo número de octanos fuera superior a 90. Motivo por el cual al mejorar el octanaje con la adición del 10% de etanol a la mezcla con gasolina regular, los efectos de mejora sobre las prestaciones se hacen notar. Los resultados obtenidos con las mezclas E20 y E30 se atribuyen a su menor poder calórico a pesar de que el número de octanos de estas es mayor que E0, por lo cual en estas mezclas sí se afecta el rendimiento del motor. Sin embargo esta situación puede ser mejorada si se varía el momento en el cual ocurre el encendido.

Consultando los valores del comportamiento del consumo específico de combustible en la tabla 2 y figura 4, se puede apreciar que las diferencias numéricas entre el consumo específico de E0 y E20, a pesar de ser pequeñas, son estadísticamente significativas. En la figura 4, se puede apreciar que el menor consumo de combustible tanto para E0, E10, E20 y E30 se encuentra alrededor de la 3000 rpm. Además el consumo de combustible para las mezclas E10 y E20 es inferior en todos los casos al obtenido con E0, sin embargo con E30 se obtienen los peores rendimientos en cuanto a consumo. Los menores valores de consumo se alcanzan con E10. Este comportamiento es atribuido al hecho de que al realizarse la mezcla E10, aumenta el octanaje, el rendimiento térmico y volumétrico; como consecuencia se obtiene una mejora en la combustión y por consiguiente se reduce el consumo de combustible.

Apoyados en los análisis antes comentados se puede establecer que usando E10 se requiere una menor cantidad de combustible para alcanzar las mismas prestaciones en el motor si se usara E0. La posible causa para que con E0 no se alcance los mejores resultados es el hecho de que no es precisamente la gasolina utilizada en esta investigación la recomendada por el fabricante para usar en este motor, o sea que el número de octanos de la misma es inferior al óptimo requerido para alcanzar prestaciones similares, con una tolerancia aceptable, a las del fabricante. Trabajar con E0 provoca que para alcanzar iguales prestaciones que el fabricante se deba gastar más combustible. Sin embargo una muestra de que un aumento del número de octanos no conduce necesariamente a una mejora de las prestaciones son los resultados que se obtienen en esta investigación con E20 y E30. Considerando estas disyuntivas es que se recomiendan un análisis más detallado del consumo específico de combustible, ya que los resultados obtenidos por otros investigadores en [5], a pesar de ser en condiciones experimentales diferentes, refieren que el consumo aumenta a medida que se le adiciona más alcohol a la mezcla con gasolina.

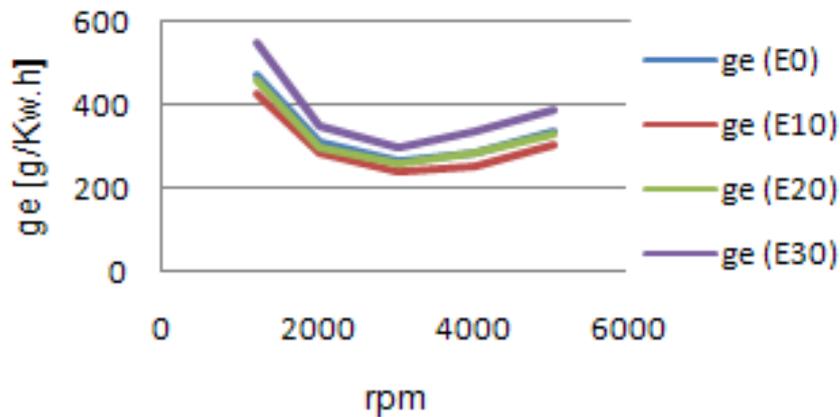


Fig. 4. Comportamiento del consumo específico de combustible.

Las emisiones de monóxido de carbono para las mezclas E10, E20 y E30 es inferior en todos los casos al obtenido con E0, no obstante los menores valores se obtienen con E30, lo cual sugiere como tendencia que a medida que se aumenta el porcentaje de etanol en la mezcla con gasolina regular, disminuye las emisiones de monóxido de carbono.

En la figura 5, se puede apreciar que a 3000 rpm es que el motor emite menos CO. Un análisis de los valores obtenidos y presentados en la tabla 2 y la figura 5, muestra que de forma general, las pequeñas diferencias numéricas entre las emisiones de monóxido de carbono de E0, E10, E20 y E30 son estadísticamente significativas. Por lo cual podemos referir que la adición de pequeñas cantidades de etanol a la gasolina, para formar mezclas carburantes, contribuye notablemente en la reducción de las emisiones de CO. Este comportamiento, al igual que en análisis anteriores, puede ser atribuido a las mejoras que se logran con la adición de etanol a la gasolina, así como a fenómenos relacionados con el llenado del cilindro, el aporte de oxígeno de la molécula del etanol y las mejoras de la combustión que ello conlleva, según el caso.

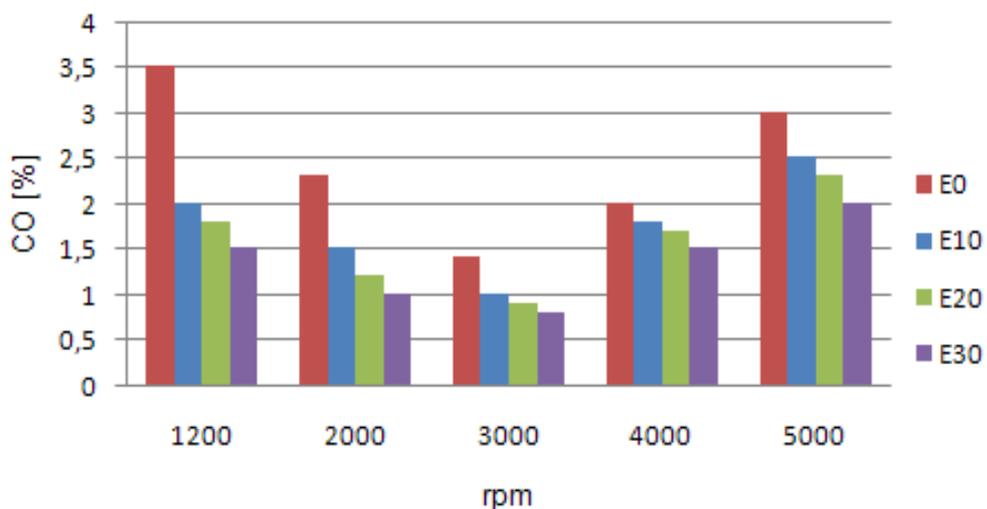


Fig. 5. Comportamiento de las emisiones de CO.

CONCLUSIONES

- Se observa una tendencia al aumento del torque efectivo y la potencia efectiva para las mezclas E10 y E20 en comparación a E0, siendo E10 la de mejores resultados. Sin embargo para la mezcla E30 se observa que el momento efectivo es menor a E0 para todos los puntos experimentales evaluados.
- El consumo de combustible específico para las mezclas E10 y E20 es inferior en todos los casos al obtenido con E0, no obstante los menores valores se obtienen con E10.
- A medida que aumenta el porcentaje de etanol en la mezcla con gasolina, el consumo de combustible aumenta para todos los puntos experimentales evaluados.
- El porcentaje de las emisiones de monóxido de carbono disminuyen a medida que aumenta el porcentaje de etanol en la mezcla con gasolina, siendo E30 la de mejores resultados.
- Las mezclas E10 y E20 de etanol anhidro-gasolina regular pueden ser usadas como combustible en un motor Lada 1300, ya que ambas disminuye las emisiones de Monóxido de Carbono, además no producen deterioro significativo de las prestaciones del motor, por el contrario mejoran su rendimiento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. Ramón Piloto Rodríguez, así como al Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ), Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) y al Centro de Investigaciones de Petróleo (CEINPET), por proporcionar parte de los medios para el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] AGARWAL, A.K. "Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines". *Journal Progress in Energy and Combustion Science*. 2007, vol.33, n.3, p. 233–271, ISSN 0360-1285.
- [2] BARROSO, J.; *et al.*, "Some considerations about bioethanol combustion in oil-fired boilers". *Journal Fuel Processing Technology*. 2010, vol.91, n.11, p. 1537–1550, ISSN 0378-382.
- [3] SENTHIL KUMAR, M.; *et al.*, "Experimental investigations on the use of preheated animal fat as fuel in a compression ignition engine". *Journal Renewable Energy*. 2005, vol.30, n.9, p. 1443–1456, ISSN 1757-398X.
- [4] DEMIRBAS, A., "Competitive liquid biofuels from biomass". *Journal Applied Energy*. 2011, vol.88, n.1, p. 17-28, ISSN 0306-2619.
- [5] EYIDOĞAN, M.; *et al.*, "Impact of alcohol–gasoline fuel blends on the performance and combustion characteristics of an SI engine". *Journal Fuel*. 2010, vol.89, n.10, p. 2713-2720, ISSN 0016-2361.
- [6] MANZINI, F., "Inserting renewable fuels and technologies for transport in Mexico City Metropolitan Area". *International Journal of Hydrogen Energy*. 2006, vol.31, n.3, p. 327-335, ISSN 0360-3199.
- [7] KIM, S., DALE, B. E. "Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: Bioethanol and Biodiesel". *Journal Biomass and Bioenergy*. 2005, vol.29, n.6, p. 426-439, ISSN 0961-9534.
- [8] WAHLUND, B.; *et al.*, "Increasing biomass utilization in energy systems: A comparative study of CO2 reduction and cost for different bioenergy processing options". *Journal Biomass and Bioenergy*. 2004, vol.26, n.6, p. 531-544, ISSN 0961-9534.
- [9] OCAMPO DUQUE, W.A., "¿Es la biogasolina una alternativa ambiental en Colombia?". *Revista Facultad de Ingeniería*. 2006, vol.38, n.1, p. 7-19, ISSN 0120-6230.
- [10] MERINO, L.; MOSQUERA, P.; *et al.*, "Anuario de energías renovable". *Revista Energías Renovables*. 2011, vol.96, n.1, p. 80, ISSN 1578-6951.
- [11] PILOTO RODRÍGUEZ, R.; *et al.*, "Evaluación del funcionamiento de motores de combustión interna trabajando con biodiesel". *Revista Ingeniería Mecánica*. 2008, vol.11, n.3, p. 33-38, ISSN 1815-5944.
- [12] BONET BORJAS, C.M., "Combustibles y Lubricantes en el transporte". [Monografía], La Habana: ISPJAE, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2010, 148 p., ISBN 978 959 261 3348.

- [13] CRUZ ARENCIBIA, J.; LLOVERA GONZÁLEZ, J.; *et al.*, "Determinación de la estabilidad en mezclas de gasolina y alcohol". *Revista Ecosolar*. 2005, vol.14, n.4, p. 2, ISSN 1028-6004.
- [14] AL-HASAN, M., "Effect of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission". *Journal Energy Conversion and Management*. 2003, vol.44, n.9, p. 1547-1561, ISSN 0196-8904.

AUTORES

Eliezer Ahmed Melo Espinosa

Ingeniero Mecánico, Profesor Instructor, Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER). Facultad de Ingeniería Mecánica, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría". Cujae, La Habana, Cuba.

e-mail: emelo@ceter.cujae.edu.cu

Yisel Sánchez Borroto

Ingeniero Mecánico, Profesor Instructor, Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER). Facultad de Ingeniería Mecánica, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría". Cujae, La Habana, Cuba.

Nayvi Ferrer Frontela

Ingeniero Mecánico, Máster en Ciencias, Profesor Asistente, Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER). Facultad de Ingeniería Mecánica, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría". Cujae, La Habana, Cuba.

Noel Ferrer Frontela

Ingeniero Mecánico, Profesor Instructor, Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER). Facultad de Ingeniería Mecánica, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría". Cujae, La Habana, Cuba.