

MEZCLAS ETANOL- GASOLINA COMO COMBUSTIBLE DE MOTORES DE  
ENCENDIDO POR CHISPA

Luis Arnoby Rodriguez\*

Bill Ray Long\*\*

## COMPENDIO

En el Taller de Mecánica Agrícola de Texas A & T University en Kingsville (TX), se usaron seis mezclas etanol-gasolina (0, 20, 40, 60, 80 y 100 o/o etanol) para operar un motor de seis cilindros variando la razón aire-combustible, avance de encendido, carga y velocidad. Con cada combustible se usó una tobera principal para obtener su razón estequiométrica. De gasolina a etanol el diámetro de la tobera se aumentó 1.262 veces. El avance de la chispa se varió entre 0 y 26° APMS (Antes de Punto Muerto Superior). Se seleccionó como óptimo el avance al que el motor desarrolló máxima potencia. Los avances óptimos fueron 6, 6, 10, 14, 18 y 22° APMS. No fue necesario introducir modificaciones para operar el motor con mezclas que contenían hasta 20 o/o etanol. Para mezclas con más de 20 o/o etanol, el avance de encendido (Y) y el contenido de etanol (X), siguieron la relación  $Y = 2.0 + 0.2X$ . En la prueba final, el motor se sincronizó con el avance óptimo para cada combustible. En todos los casos, el motor se comportó en igual forma, siguiendo las mismas curvas características de potencia, par torsor, consumo específico de combustible y eficiencia, con las siguientes diferencias de gasolina a etanol: decrecieron la máxima potencia (10.6 o/o) y el máximo par torsor (8.7 o/o) y aumentaron el consumo específico de combustible (49 o/o) y la eficiencia (5.2 o/o).

## ABSTRACT

In the Agricultural Mechanics Shop at Texas A & T University in Kingsville (TX), six ethanol-gasoline blends (0, 20, 40, 60, 80 and 100 o/o ethanol), were used to operate a six-cylinder engine at different operating conditions of air-fuel ratio, timing, load and speed. A main jet the carburetor was used for each fuel to obtaining its stoichiometric air-fuel ratio. The main jet diameter was enlarged 1.262 times from gasoline to ethanol. To select the optimum timing, timing was varied from 0 to 26° BTDC (Before Top Dead Center) and the engine tested at maximum power. The optimum advance timings were respectively 6, 6, 10, 14, 18 and 22° BTDC. It was not necessary to introduce modifications to operate the engine with blends containing up to 20 o/o ethanol. For blends with more than 20 o/o ethanol, the advance timing (Y) and the ethanol content (X), followed the relation  $Y = 2.0 + 0.2X$ . In the last test, the engine was set at the optimum advance timing for each fuel. All the fuels performed in the same way. They followed the same characteristic curves for power, torque, specific fuel consumption and efficiency with the following differences from gasoline to straight ethanol: maximum power and torque decreased 10.6 o/o and 8.7 o/o respectively; specific fuel consumption and efficiency increased 49 o/o and 5.2 o/o.

---

\* Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia. A. A. 237, Palmira.

\*\*Ph. D. Profesor Asociado. Texas A & T University.

## 1. INTRODUCCION

La alta demanda que la creciente población del mundo y el incremento de la mecanización han ejercido sobre el consumo de combustibles derivados del petróleo, el consecuente incremento de precios y los cortes o embargos en el suministro; han incentivado el desarrollo de fuentes alternativas de energía, particularmente combustibles líquidos derivados de biomasa, de los cuales el alcohol es el más prominente.

Aunque el uso de alcohol combustible no es nuevo, su tecnología no está desarrollada. Es necesario estudiar sus propiedades y probar su uso en motores de combustión en diferentes condiciones operativas. Este trabajo contribuye a esa tecnología. Se ejecutó para evaluar la respuesta de un motor de gasolina operado con mezclas etanol gasolina de 0 a 100 o/o etanol con estos objetivos: introducir las modificaciones necesarias en el motor para operarlo con las diferentes mezclas; evaluar el efecto del contenido de etanol en el avance del encendido del motor y evaluar el efecto del etanol en el funcionamiento del motor en diferentes condiciones de carga y velocidad.

## 2. MATERIALES Y METODOS

Para la ejecución de este trabajo se utilizó un motor Ford 6-240-66, con avance de encendido 6°, relación de compresión 9.2:1 y carburador Rochester (7025105). Inicialmente se determinaron las modificaciones necesarias en el carburador para operar el motor con mezclas etanol-gasolina que tenían de 0 a 100 o/o etanol. Para evaluar el efecto del contenido de etanol en el funcionamiento del motor, se realizaron dos pruebas. La primera se condujo para seleccionar el avance óptimo de encendido para cada combustible. La segunda prueba se realizó para evaluar el efecto de contenido de etanol en el funcionamiento del motor en diferentes condiciones de carga y velocidad.

### 2.1. Acondicionamiento del motor

Uno de los factores determinantes en la correcta operación de un motor de encendido por chispa es la cantidad de combustible suministrado y su relación con la cantidad de aire necesario para la combustión completa en el cilindro. La regulación de estos dos elementos es función del carburador; este debe ser ajustado para suministrar aire y combustible en una razón (A/C) determinada que muestra las porciones relativas que intervienen en la combustión. Se pretende que aire y combustible estén en una relación estequiométrica; que el combustible se convierta en productos completamente oxidados durante el proceso (Obert, 1968). Es determinada por la reacción entre el combustible y el oxígeno del aire. Las razones estequiométricas para las 6 mezclas etanol-gasolina variaron entre 15.1 y 9.0 (Cuadro 1).

La relación (A/C) en un motor, se puede variar ajustando la aguja dosificadora de la tobera principal o cambiando la tobera. En este trabajo, se calculó y cambió la tobera principal para cada mezcla. Su diámetro se calculó mediante la relación:

$$Dt = \sqrt{\frac{36.20}{(A/C) \sqrt{Wc}}}$$

donde, Dt = Diámetro de la tobera principal (mm).

A/C = Relación aire-combustible (Cuadro 1)

Wc = Gravedad específicas de las mezclas (Cuadro 1).

Los diámetros obtenidos se aproximaron a los diámetros comerciales de brocas (Dc) (Cuadro 1).

### 2.2. Prueba de avance de encendido

Utilizando un equipo electrónico de sincronización (Sun 320), el avance de encendido se varió alrededor del avance recomendado por el fabricante del motor (6° APMS). Cada com-

Cuadro 1

Diámetros de las toberas principales

Combustible	Etanol (o/o)	Gasolina (o/o)	Wc	A/C	Dt (mm)	Dc (mm)
1	0	100	0.750	15.1	1.664	1.6510
2	20	80	0.760	14.6	1.686	1.6510
3	40	60	0.765	13.8	1.732	1.7018
4	60	40	0.775	12.8	1.792	1.7780
5	80	20	0.785	11.3	1.902	1.9304
6	100	0	0.795	9.0	2.124	2.0828

bustible se probó con su propia tobera principal. Inicialmente el avance se varió 5 veces entre 0 y 14° APMS. Para las tres últimas mezclas fue necesario aumentar el rango hasta 26° APMS.

Mediante el uso de un dinamómetro hidráulico (Go -Power systems Modelo DA), se pudo observar que máxima potencia, máximo par torsor, mínimo consumo específico de combustible y máxima eficiencia ocurren con el mismo avance de encendido. Este se definió como el avance óptimo para cada combustible.

2.3. Prueba de carga y velocidad variables

Permitió observar el comportamiento y respuesta del motor en condiciones variables de carga y velocidad. Para cada combustible el motor se acondicionó con su correspondiente tobera y se sincronizó con su avance óptimo. La velocidad del motor se varió entre 1000 y 4200 rpm y la carga se ajustó para obtener máxima potencia en cada velocidad. Esta prueba permitió construir las curvas características que muestran la variación de potencia, par torsor, consumo específico de combustible y eficiencia respecto a la velocidad del motor. El efecto del contenido de etanol en la respuesta del motor, se analizó comparando las mezclas con la gasolina en cada parámetro de prueba. Para faci-

litar el análisis, se tomaron 3 rangos de velocidad: baja, menor a la de máximo par torsor, media, entre par torsor y potencia máximos, y alta, mayor a la de potencia máxima.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Prueba de avance de encendido

Para todos los combustibles, la potencia varió al variar el avance de encendido (Fig. 1).

El avance óptimo de encendido al que cada combustible desarrolló máxima potencia varió con el contenido de etanol (Cuadro 2) y se debe al efecto de la velocidad de propagación de la flama cuando el contenido de etanol se incrementa.

Cuadro 2

Avance óptimo de encendido para cada combustible

Combustible	Etanol (o/o)	AE (° APMS)
1	0	6
2	20	6
3	40	10
4	60	14
5	80	18
6	100	22

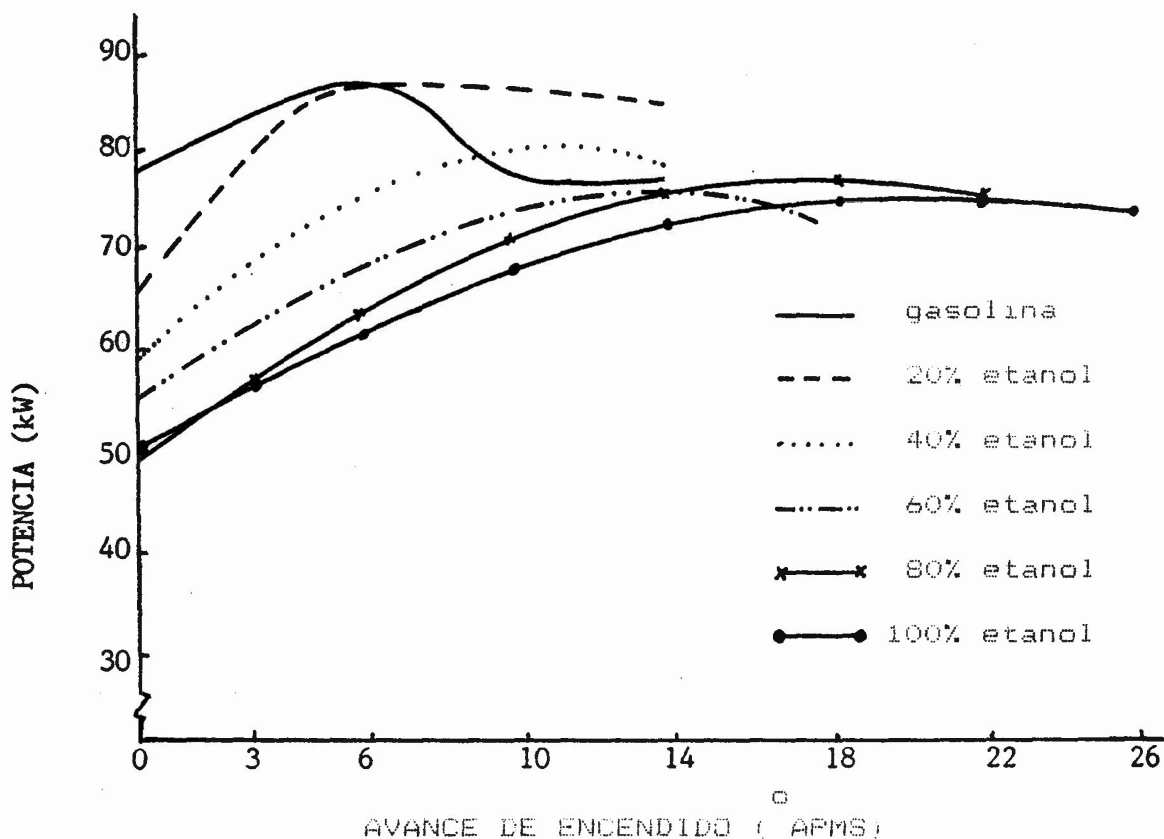


Fig.1. Efecto del avance de encendido sobre la potencia en mezclas etanolgasolina.

Los combustibles 1 y 2 se probaron con la misma tobera y dieron su máxima potencia con el mismo avance (6° APMS), sin diferencia apreciable en su valor. La potencia descendió sólo el 0.34 o/o de gasolina a la mezcla con 20 o/o etanol. Esto muestra que mezclas conteniendo hasta el 20 o/o etanol no requieren modificación alguna en el motor para obtener máxima eficiencia. Por esta razón, en países donde el gasohol (mezcla de gasolina con 20 o/o etanol) ha llegado a ser un combustible comercial, los motores de autos pueden alimentarse indistintamente con gasolina o gasohol.

Al comparar la variación de potencia, se notó que la pendiente de las curvas disminuyó al aumentar el contenido de etanol. Esto muestra que variar el avance de encendido tiene más afecto en mezclas con bajo contenido de etanol. El reglaje o sincronización

de la chispa es más riguroso en estos combustibles.

Los resultados mostraron relación directa entre el avance de encendido ( $Y_i$ ) y el contenido de etanol ( $X_i$ ) para mezclas entre 20 y 100 o/o etanol (Fig. 2).

### 3.2. Prueba de carga y velocidad variable

Todos los combustibles siguieron las curvas características en los cuatro parámetros evaluados.

#### 3.2.1. Torque y Potencia

A baja velocidad no hubo diferencia notable entre las 6 mezclas. Todos siguieron la misma curva (Fig. 3). El torque presentó ligera diferencia al final del intervalo por efecto del menor calor disponible cuando se incrementó el contenido de etanol.

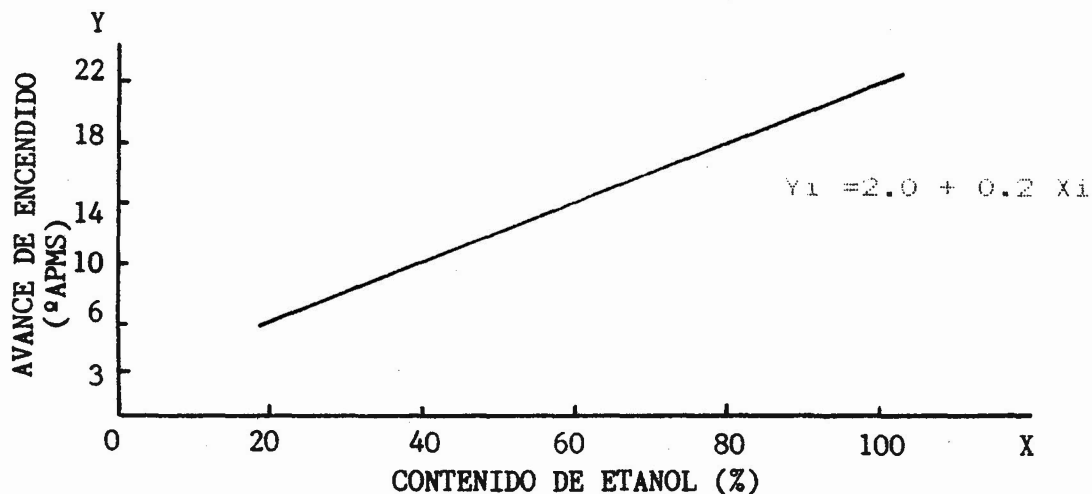


Fig 2. Relación entre el contenido de etanol y el avance óptimo de encendido para mezclas desde 20 a 100% etanol.

En el punto de máximo torque el mayor valor correspondió a gasolina (25.2 kg . m) y el menor a etanol (23.0 kg . m). El torque máximo se redujo 8.7 o/o de gasolina a etanol.

La velocidad a la que se obtuvo el torque máximo no varió con el contenido de etanol, 1800 rpm.

A velocidad media se presentó un pequeño efecto del contenido de etanol al disminuir la potencia y el torque que además presentó alta reserva. Esto indica que alimentados con mezclas etanol -gasolina, los motores de gasolina también presentan sus mejores condiciones de operación a velocidades medias.

En el punto de máxima potencia se presentó un descenso de 85 a 76 kW, de gasolina a las mezclas con 60, 80 y 100 o/o etanol. Esto es un descenso de 10.6 o/o en la potencia de gasolina a etanol.

Todos los combustibles desarrollaron la máxima potencia a igual velocidad, 3600 rpm.

### 3.2.2. Consumo específico de Combustible (CEC)

La tendencia general mostró incremento en el consumo de combustible al aumentar el

contenido de etanol (Fig. 4 ) y se debe al mayor suministro de combustible al variar la relación aire- combustible de 15.1 a 9.0.

En el punto de mínimo consumo, la máxima diferencia fue entre gasolina (0.255 kg / kWh) y etanol (0.380 kg / kWh); lo cual representó incremento de 49 o/o en consumo específico a baja y media velocidad, valor intermedio al que registra la literatura y que oscila entre 43 (Cruz *et al*, 1981) y 60 o/o (Bashford *et al*, 1981).

A velocidad media el CEC presentó ligero aumento pero conserva bajos valores con todas las mezclas. Esto indica que operados con etanol, los motores de gasolina deben trabajar en este rango (velocidad de régimen) para operación más económica.

A alta velocidad el CEC de los combustibles con 0, 20 y 40 o/o etanol fue mayor a la caída más rápida de la potencia a alta velocidad.

### 3.2.3. Eficiencia

La eficiencia de conversión de la energía del combustible en trabajo mecánico aumentó con el contenido de etanol (Fig. 4).

A baja velocidad el etanol presentó mayor eficiencia y alcanzó máximo valor del 35 o/o.

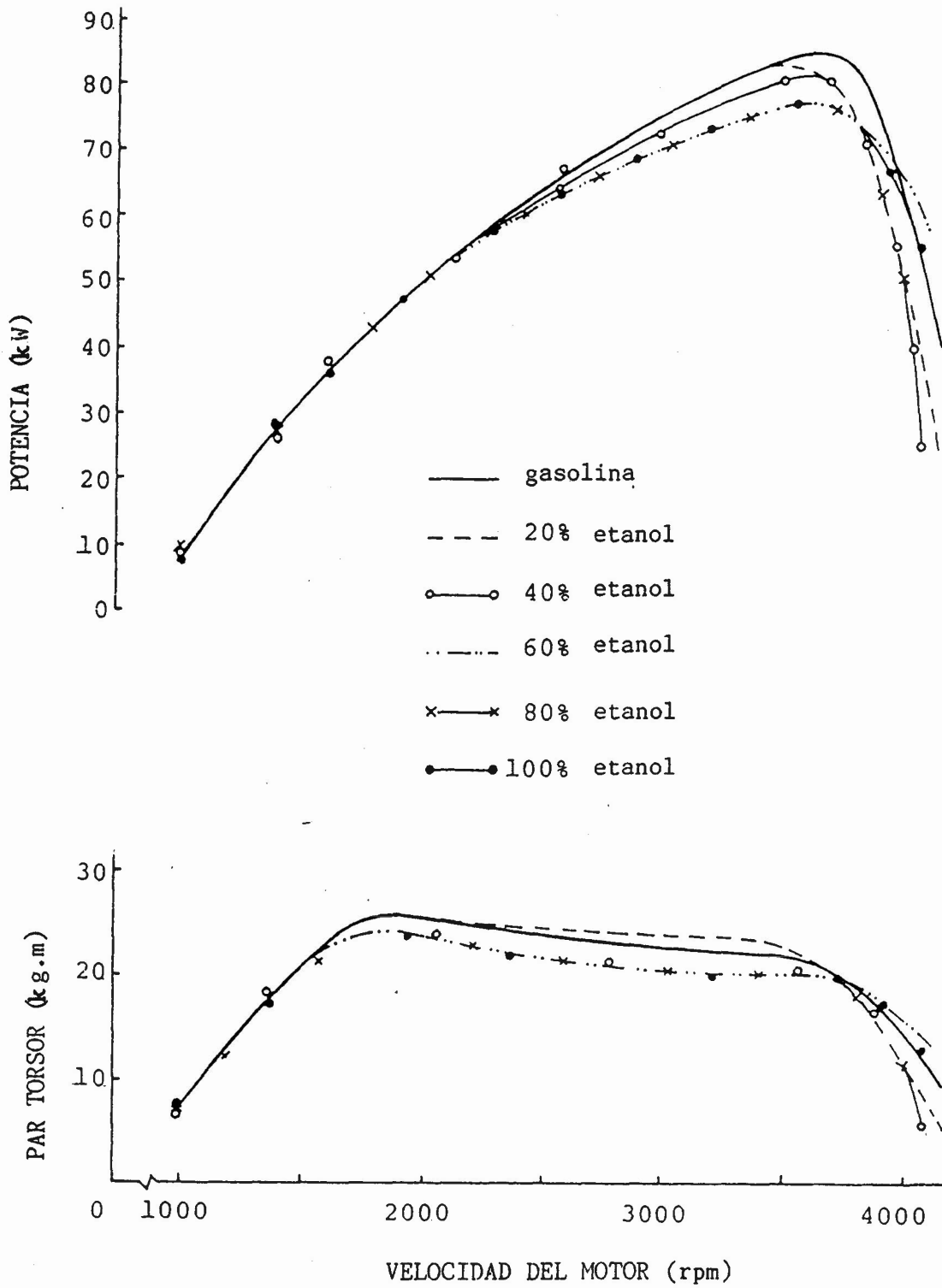


Fig. 3. Variación de la potencia y el par torsor para mezclas etanol-gasolina.

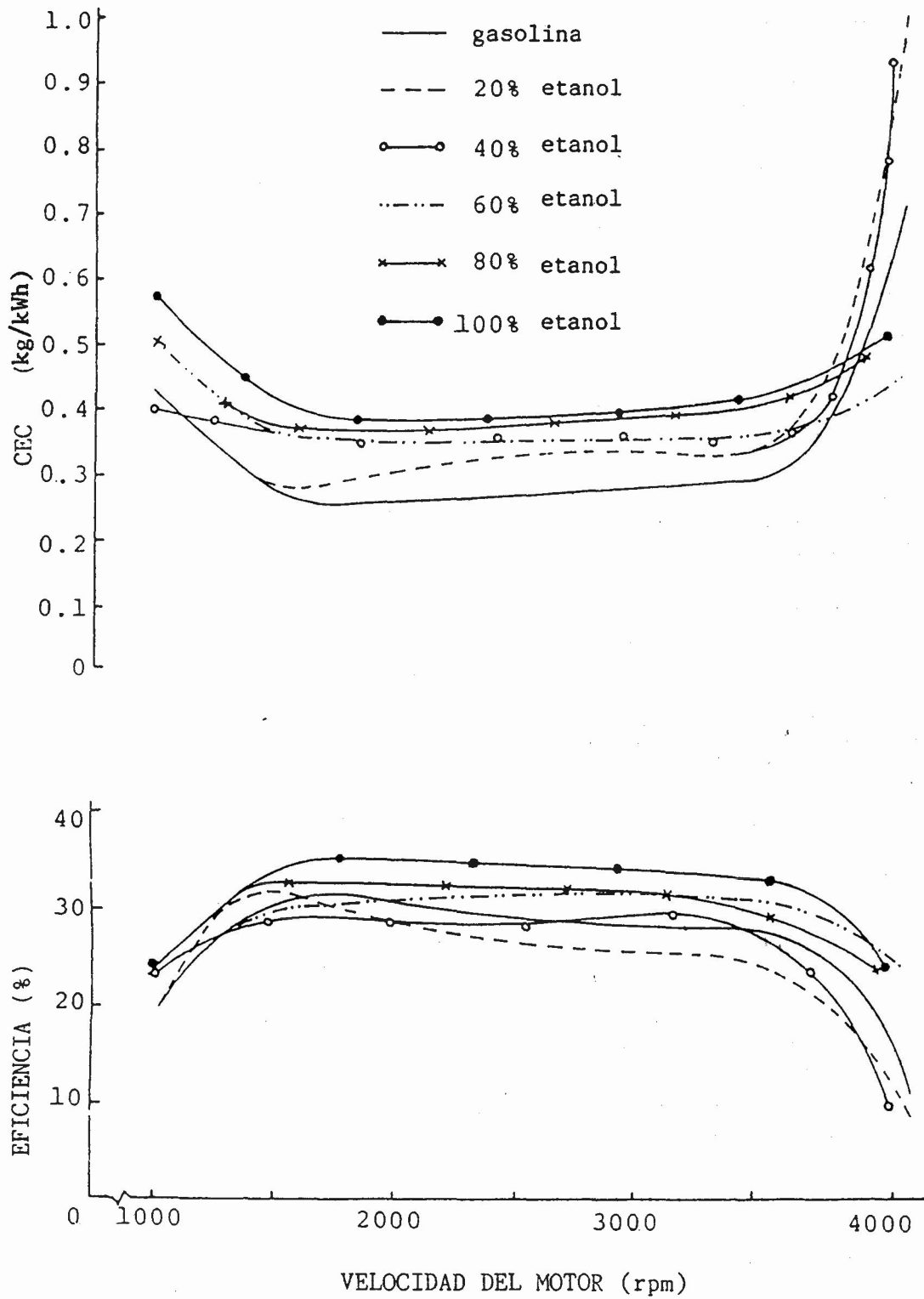


Fig. 4. Variación del consumo específico de combustible y la eficiencia para mezclas etanol - gasolina.

A velocidad media todas las mezclas mantuvieron alta eficiencia, especialmente aquellas con alto contenido de etanol que además presentaron menor variación. En este rango la eficiencia promedio 34 o/o para etanol y 28.8 o/o para gasolina. Diferencia que se debe a dos ventajas del alcohol: la combustión más limpia del etanol, con menores emisiones de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, significa combustión más completa que proporciona eficiencias hasta 5 o/o mayores que la gasolina (Thring, 1983). Otra ventaja es la razón de compresión del motor utilizado, 9.2: 1, favorece al etanol que por su mayor octanaje, permite uso más eficiente y con menor consumo, en motores de alta compresión (Stephenson, 1980).

El ligero descenso en la eficiencia a velocidades medias muestra que con mezclas etanol-gasolina, los motores de encendido por chispa deben operar en este rango de velocidad para lograr alta eficiencia y bajos niveles de emisiones.

A velocidades altas, la eficiencia decreció como resultado del incremento en CEC. Las mezclas con alto contenido de etanol conservaron alta eficiencia debido a la combustión más completa del etanol.

#### 4. CONCLUSIONES

- 4.1. El avance óptimo de encendido varió con el contenido de etanol. Mezclas conteniendo hasta 20 o/o etanol no requirieron modificaciones en el motor para obtener máxima potencia. Para mezclas con más de 20 o/o de etanol, el avance de encendido (Y) se sincronizó de acuerdo al contenido de etanol (X), siguiendo la relación  $Y = 2.0 + 0.2 X$ .
- 4.2. Pequeñas variaciones en el avance de encendido produjeron mayores caídas de potencia en las mezclas con menos etanol.

- 4.3. Todas las mezclas conteniendo etanol se comportaron en la misma forma que la gasolina, siguiendo las curvas características.
- 4.4. La potencia y el torque máximo decrecieron 10.6 o/o y 8.4 o/o respectivamente desde gasolina a las mezclas con 60, 80, y 100 o/o de etanol.
- 4.5. El consumo específico de combustible se incrementó con el contenido de etanol. Este incremento fue de 49 o/o de gasolina a etanol y permaneció casi constante a baja y media velocidad. Esta es una desventaja grande del etanol e incide directamente en los costos de operación.
- 4.6. La eficiencia presentó un incremento de 5.2 o/o de gasolina a etanol.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

1. BASHFORD, L. and SULLIVAN, N.W. Conversion of a gasoline engine to alcohol fuel. ASAE Paper 81 - 3583. 1981.
2. CRUZ, J. M., SWARR, H; RÖTZ, C. and WILKINSON, R. Engine conversion for alcohol fuel. ASAE paper 81 - 1052. 1981.
3. GO-POWER SYSTEMS. Operation and installation of the DA dynamometer. Go-Power Systems. 1972.
4. OBERT, E. F. Internal combustion engines. International Texbook Co. 1968.
5. STEPHENSON, K. O. Alcohol fuel blends and small engines performance. ASAE paper 80 - 1033. 1980.
6. THRING, R. Alternative fuels for spark-ignition engines. Automotive Engineering. Vol. 91, No. 2, p. 30-33. 1983.