

USO DE ETANOL CARBURADO EN MOTORES DIESEL

Luis A. Rodríguez *

COMPENDIO

Este trabajo se ejecutó en el Taller de Maquinaria Agrícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Colombia, Seccional Palmira. Un motor diesel de 2 cilindros, 1260 cm³ y relación de compresión 23:1, fue alimentado mediante un sistema dual formado por el sistema de inyección para ACPM y un sistema de carburación para etanol y mezclas etanol-agua. En primer término se varió el avance de la inyección entre 18 y 26° APMS (Antes de Punto Muerto Superior) con el fin de determinar el avance óptimo de inyección en el motor original y el motor alimentado con el sistema dual. Con base en el punto de máxima potencia, se seleccionaron 20 y 22° como avances óptimos. En la segunda prueba, al operar el motor con carga y velocidad variables y alimentarlo con cuatro combustibles (ACPM, etanol y mezclas etanol-agua con 20 y 40 o/o agua), se incrementaron la velocidad en 10 o/o, la potencia máxima en 6.5 o/o, y el torque máximo en 3.73 o/o, desde el motor original al sistema dual alimentado con la mezcla carburada de 40 o/o agua. La mayor sustitución de combustible se presentó a alta velocidad donde se reemplazó hasta el 32 o/o de ACPM por etanol. Solo a alta velocidad se justifica la sobrealimentación con etanol carburado. En este rango se presentaron aumentos de potencia, velocidad, par torsor y sustitución de combustible.

ABSTRACT

This work was performed in the Agricultural Mechanics Shop of the Universidad Nacional of Colombia in Palmira. A two-cylinder, 1260 cm³ diesel engine with a compression ratio of 23:1 was fueled by a dual system formed by its injection system for diesel oil and a carburation system for ethanol and ethanol-water blends. In a first test, the injection advance was varied between 18 and 26° BTDC (Before Top Dead Center) to determine the optimum injection advance in the original engine and the engine fueled with the dual system. According to the maximum power point, 20 and 22° BTDC were selected as the optimum advances. In the second test, the engine was operated at variable load and speed with four fuels (diesel oil, ethanol and ethanol-water blends with 20 and 40 o/o water) with the next results: the speed increased 10 o/o, the maximum power increased 6.5 o/o, the maximum torque increased 3.73 o/o, since the original engine to the dual system fueled with the ethanol-water blend 40 o/o water, the maximum replacement of diesel oil was in the high speed range where 32 o/o diesel oil was replaced by ethanol, and overfueling the engine with carburated ethanol was justified in the high speed range. Power, speed, torque and fuel replacement increased in this range.

1. INTRODUCCION

Las dificultades en el suministro de petróleo y el hecho de ser una fuente energética no renovable, han inducido la evaluación y búsqueda de nuevos combustibles como alternativa a los productos tradicionales, gasolina y ACPM. Los alcoholes y los aceites vegetales han atraído la atención como posibles sustitutos. El uso del alcohol en motores no es nuevo, Nicolás Otto lo utilizó en su primer motor de cuatro tiempos de encendido por chispa (Miller et al, 1981) y en ensayos más recientes, motores de gasolina han operado par-

cial o totalmente con etanol. En motores diesel, se han ensayado alternativas como la mezcla de combustibles y sistemas duales para inyectar, carburar o fumar etanol.

Mezclar etanol y ACPM es el método más sencillo, fue probado en 1954 por Haveman y Rao (Shropshire y Goering, 1982) pero presenta algunos problemas. Uno de ellos es la separación de los componentes cuando se presenta agua en la mezcla. Un 0.05 o/o de agua, causa separación (Strait y Boedicker, 1979). Otro problema es la pérdida de viscosidad de la mezcla, al aumentar el contenido de etanol. Solo

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

USO DE ETANOL CARBURADO EN MOTORES DIESEL

Luis A. Rodríguez *

COMPENDIO

Este trabajo se ejecutó en el Taller de Maquinaria Agrícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Colombia, Seccional Palmira. Un motor diesel de 2 cilindros, 1260 cm³ y relación de compresión 23:1, fue alimentado mediante un sistema dual formado por el sistema de inyección para ACPM y un sistema de carburación para etanol y mezclas etanol-agua. En primer término se varió el avance de la inyección entre 18 y 26° APMS (Antes de Punto Muerto Superior) con el fin de determinar el avance óptimo de inyección en el motor original y el motor alimentado con el sistema dual. Con base en el punto de máxima potencia, se seleccionaron 20 y 22° como avances óptimos. En la segunda prueba, al operar el motor con carga y velocidad variables y alimentarlo con cuatro combustibles (ACPM, etanol y mezclas etanol-agua con 20 y 40 o/o agua), se incrementaron la velocidad en 10 o/o, la potencia máxima en 6.5 o/o, y el torque máximo en 3.73 o/o, desde el motor original al sistema dual alimentado con la mezcla carburada de 40 o/o agua. La mayor sustitución de combustible se presentó a alta velocidad donde se reemplazó hasta el 32 o/o de ACPM por etanol. Solo a alta velocidad se justifica la sobrealimentación con etanol carburado. En este rango se presentaron aumentos de potencia, velocidad, par torsor y sustitución de combustible.

ABSTRACT

This work was performed in the Agricultural Mechanics Shop of the Universidad Nacional of Colombia in Palmira. A two-cylinder, 1260 cm³ diesel engine with a compression ratio of 23:1 was fueled by a dual system formed by its injection system for diesel oil and a carburation system for ethanol and ethanol-water blends. In a first test, the injection advance was varied between 18 and 26° BTDC (Before Top Dead Center) to determine the optimum injection advance in the original engine and the engine fueled with the dual system. According to the maximum power point, 20 and 22° BTDC were selected as the optimum advances. In the second test, the engine was operated at variable load and speed with four fuels (diesel oil, ethanol and ethanol-water blends with 20 and 40 o/o water) with the next results: the speed increased 10 o/o, the maximum power increased 6.5 o/o, the maximum torque increased 3.73 o/o, since the original engine to the dual system fueled with the ethanol-water blend 40 o/o water, the maximum replacement of diesel oil was in the high speed range where 32 o/o diesel oil was replaced by ethanol, and overfueling the engine with carburated ethanol was justified in the high speed range. Power, speed, torque and fuel replacement increased in this range.

1. INTRODUCCION

Las dificultades en el suministro de petróleo y el hecho de ser una fuente energética no renovable, han inducido la evaluación y búsqueda de nuevos combustibles como alternativa a los productos tradicionales, gasolina y ACPM. Los alcoholes y los aceites vegetales han atraído la atención como posibles sustitutos. El uso del alcohol en motores no es nuevo, Nicolás Otto lo utilizó en su primer motor de cuatro tiempos de encendido por chispa (Miller et al, 1981) y en ensayos más recientes, motores de gasolina han operado par-

cial o totalmente con etanol. En motores diesel, se han ensayado alternativas como la mezcla de combustibles y sistemas duales para inyectar, carburar o fumar etanol.

Mezclar etanol y ACPM es el método más sencillo, fue probado en 1954 por Haveman y Rao (Shropshire y Goering, 1982) pero presenta algunos problemas. Uno de ellos es la separación de los componentes cuando se presenta agua en la mezcla. Un 0.05 o/o de agua, causa separación (Strait y Boedicker, 1979). Otro problema es la pérdida de viscosidad de la mezcla, al aumentar el contenido de etanol. Solo

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

hasta 25 o/o etanol la mezcla conserva los requerimientos mínimos de viscosidad, 2.0 mm²/s (Goering, 1980).

Aunque el uso de motores diesel en agricultura difícilmente cambiará por su menor consumo y características de trabajo, el etanol es una alternativa no solo por llenar ciertos requisitos sino porque puede llegar a obtenerse en la granja en instalaciones pequeñas y sencillas (Paul, 1978). Pero su uso necesita estudios para mejorar su tecnología. Este trabajo es una contribución a esa tecnología y se realizó con los siguientes objetivos: evaluar el comportamiento del etanol como combustible para motores diesel; evaluar el funcionamiento de un motor diesel con alimentación dual; ACPM inyectado y etanol carburado; evaluar el efecto del etanol en el avance de la inyección, y evaluar el efecto del contenido de agua del alcohol en el funcionamiento del motor.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Materiales

Este trabajo se realizó utilizando un dinamómetro hidráulico HIEFF TAYLOR, para probar a la toma de fuerza un tractor Allis Chalmers 5020 con motor Toyosha de 2 cilindros y 1263 cm³ de cilindrada. El motor diesel fue operado con un sistema dual, alimentando ACPM a través de sus sistema de inyección y mezclas etanol-agua por un sistema de carburación montado a la entrada del múltiple de admisión. Las proporciones y algunas propiedades de las mezclas alimentadas se presentan en el Cuadro 1.

Se utilizó alcohol impotabilizado, desnaturado con dietil-ftalato (5 ml/l) según normas Incontec (Cuadro 2).

2.2. Dimensiones del carburador

La razón aire: combustible es de gran importancia en la combustión. En motores carburados se puede variar cambiando la tobera principal o ajustando la aguja dosificadora. La relación suministrada por el carburador, se

varió para eliminar la sobrealimentación de combustible ocasionada al mantener el sistema de inyección operando en su condición original.

Al variar la relación aire: combustible se varia también la razón de equivalencia (RE), que es la razón entre la relación estequiométrica y la relación aire: combustible que entrega el carburador. Si RE < 1, se tienen mezclas pobres en combustible y se obtienen utilizando toberas principales de menor diámetro.

Las dimensiones del carburador se calcularon con base en las características del motor; cilindrada (1263 cm³) y velocidad nominal (2300 rpm). Estos datos permiten calcular masa de aire por unidad de tiempo que entra al cilindro, dimensiones del vénturi y dimensiones de la tobera principal.

$$Ma = (D * n * Wa)/120 \quad (\text{Cruz et al, 1982}) \quad (1)$$

$$Av = Ma / (Cv \sqrt{2g Wa Hv}) \quad (2)$$

$$dv = \sqrt{4 Av / \pi} \quad (3)$$

$$dt = \sqrt{4 Av Cv \sqrt{Wa/Wc} / (\pi (A/C) Ct)} \quad (4)$$

Ma = Masa de aire requerida por el motor (cm³/s)

D = Cilindrada del motor = 1263 cm³

Wa = Gravedad específica del aire = 0.0012

Wc = Gravedad específica del combustible (Cuadro 1).

Av = Area del vénturi (cm²)

Cv = Coeficiente de descarga del vénturi = 0.83 (Urich y Fisher, 1972).

Ct = Coeficiente de descarga de la tobera principal = 0.97 (Urich y Fisher, 1972)

g = Constante de gravedad

Hv = Caída de presión en el vénturi = 8.5 kpa (Cruz et al, 1982)

dv = Diámetro del vénturi (mm)

dt = Diámetro de la tobera principal (mm)

A/C = Relación aire-combustible

Las dimensiones del carburador se relacionan en el Cuadro 3. Los valores calculados

Cuadro 1

Propiedades del ACPM y mezclas etanol-agua

Combustible		o/o en volumen			Wc	Q (kj/kg)
No.	Tipo	ACPM	Etanol	Agua		
1	ACPM	100			0.859	41740
2	Etanol		100		0.811	25640
3	Etanol - agua		80	20	0.868	20240
4	Etanol - agua		60	40	0.912	14575

Wc = Gravedad específica

Q = Poder calorífico

Cuadro 2

Especificaciones técnicas del Etanol

Fuerza real (G. L.)	96.0
Acidez (ppm como ácido acético)	7.0
Aldehidos (ppm como acetaldehido)	7.0
Esteres (ppm como acetato de etilo)	30.0
Tiempo de decoloración (minutos mínimos)	12.0
Gravedad específica	0.809
Alcoholes superiores	44.0
Color	Incoloro

Cuadro 3

Dimensiones del carburador

RE	A/F	Av(cm ²)	dt(mm)	dc(mm)
1.0	9.0	2.67	1.117	1.092
0.9	10.0	2.67	1.060	1.067
0.8	11.3	2.67	0.007	0.991
0.5	18.0	2.67	0.790	0.794

se aproximaron a los diámetros comerciales de brocas (dc). Se utilizó un carburador con $w = 284 \text{ mm}^2$ y $dv = 19 \text{ mm}$.

2.3. Modificaciones al sistema de admisión

Al sobrealimentar etanol carburado se hizo difícil el arranque del motor, especialmente por las dificultades de vaporización del etanol cuando el motor está frío. Es necesario montar un sistema de admisión en derivación (Fig. 1). Durante el arranque opera la válvula de derivación mientras se cierra la de aceleración. Durante la operación del motor, la posición de las válvulas se invierte y el aire pasa a través del vénturi del carburador. El sistema de arranque puede mantenerse operando a baja velocidad.

2.4. Modificaciones al carburador

La razón de equivalencia se disminuyó hasta 0.5 cambiando la tobera principal. En todos los diámetros utilizados para la tobera principal se presentó exceso de combustible manifestado por abundante humo en el tubo de escape. El motor debe funcionar con relaciones aire: combustible mayores que 18:1. Comer-

cialmente no se encontraron brocas más pequeñas y fue necesario adaptar una aguja dosificadora a una tobera de 1.180 mm (Fig. 1). La aguja dosificadora permitió graduar el flujo de combustible hasta eliminar su exceso de humo. Este fue el punto de partida para cada prueba y se graduó para cada mezcla de etanol.

2.5. Pruebas

Con cada combustible utilizado se ejecutaron dos pruebas: en la primera se determinó el avance óptimo de la inyección para evaluar el efecto del etanol carburado en el avance del encendido. En la segunda prueba se determinó la respuesta del motor a cargas y velocidades variables.

Las pruebas se realizaron a la toma de fuerza del tractor y en cada oportunidad se toma el dinamómetro, volumen de ACPM (V_1), volumen de alcohol (V_2), tiempo para consumir el volumen de ACPM (s), tiempo para consumir el volumen de alcohol (s), temperatura de bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$), temperatura de bulbo húmedo ($^{\circ}\text{C}$), y presión atmosférica (mm Hg).

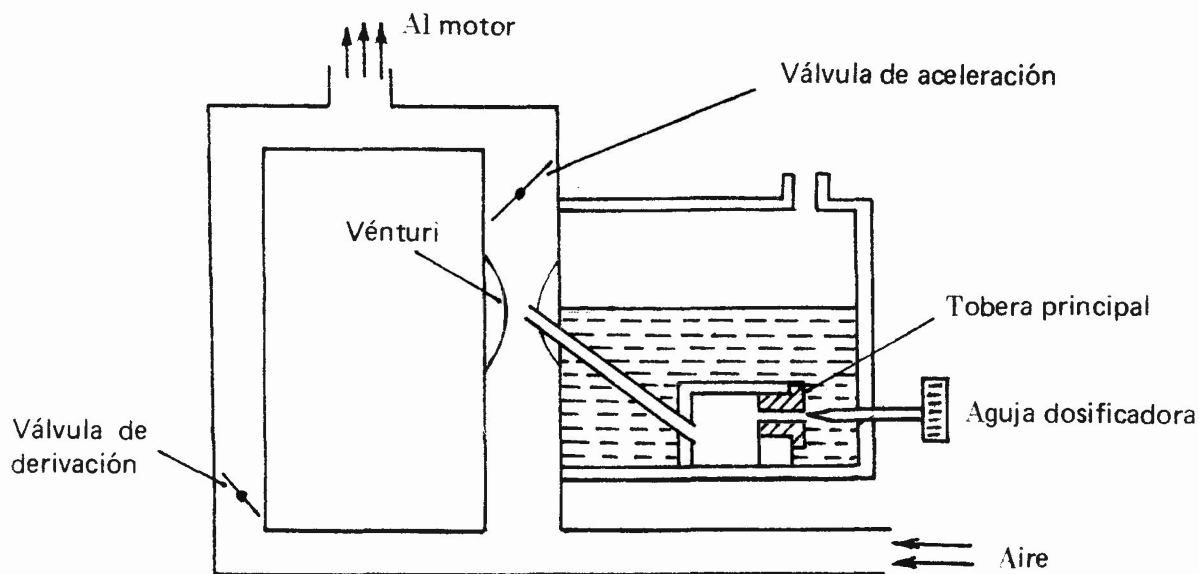


Fig. 1. Sistema de Admisión

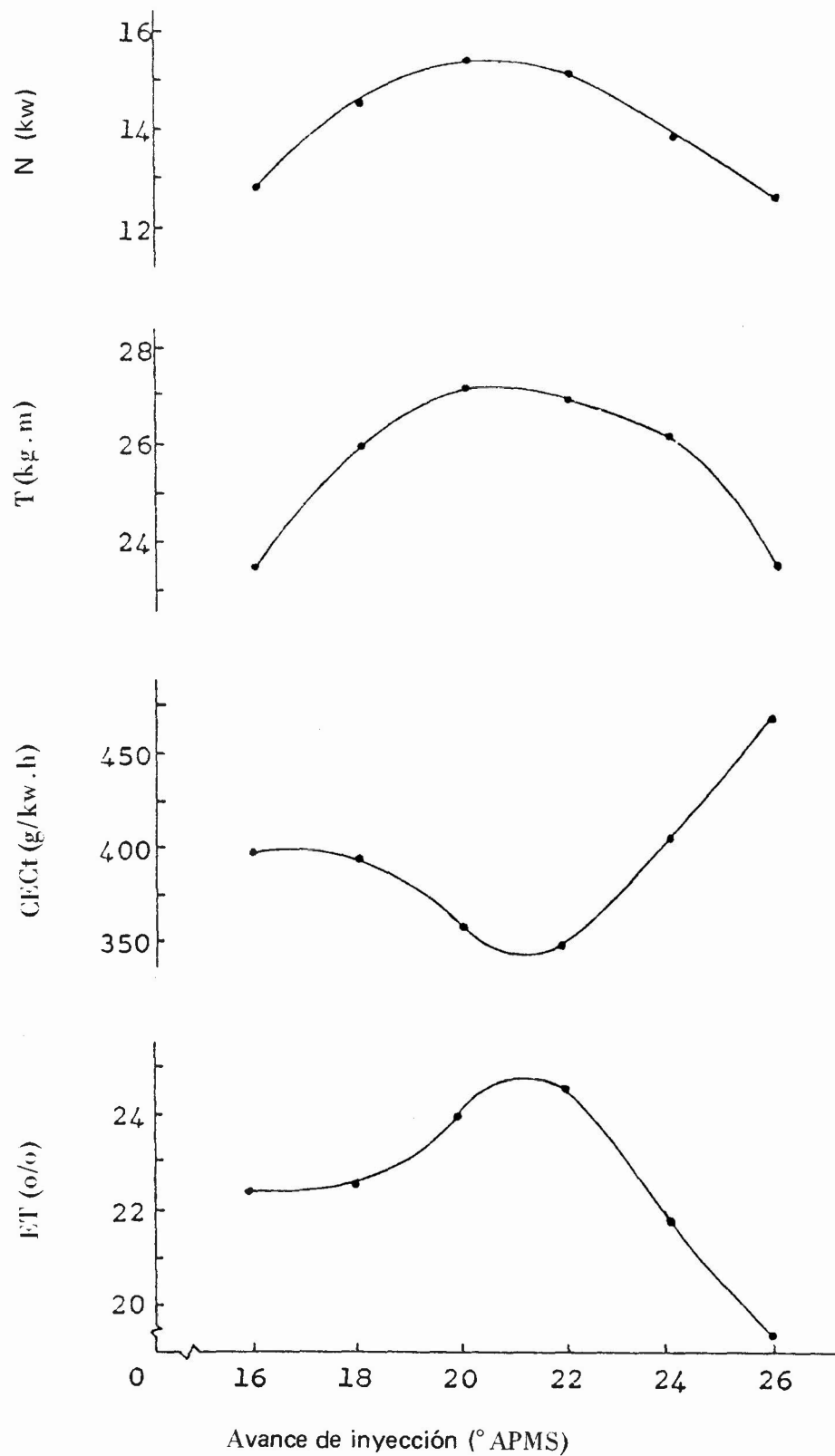


Fig. 2. Avance de inyección, motor diesel original

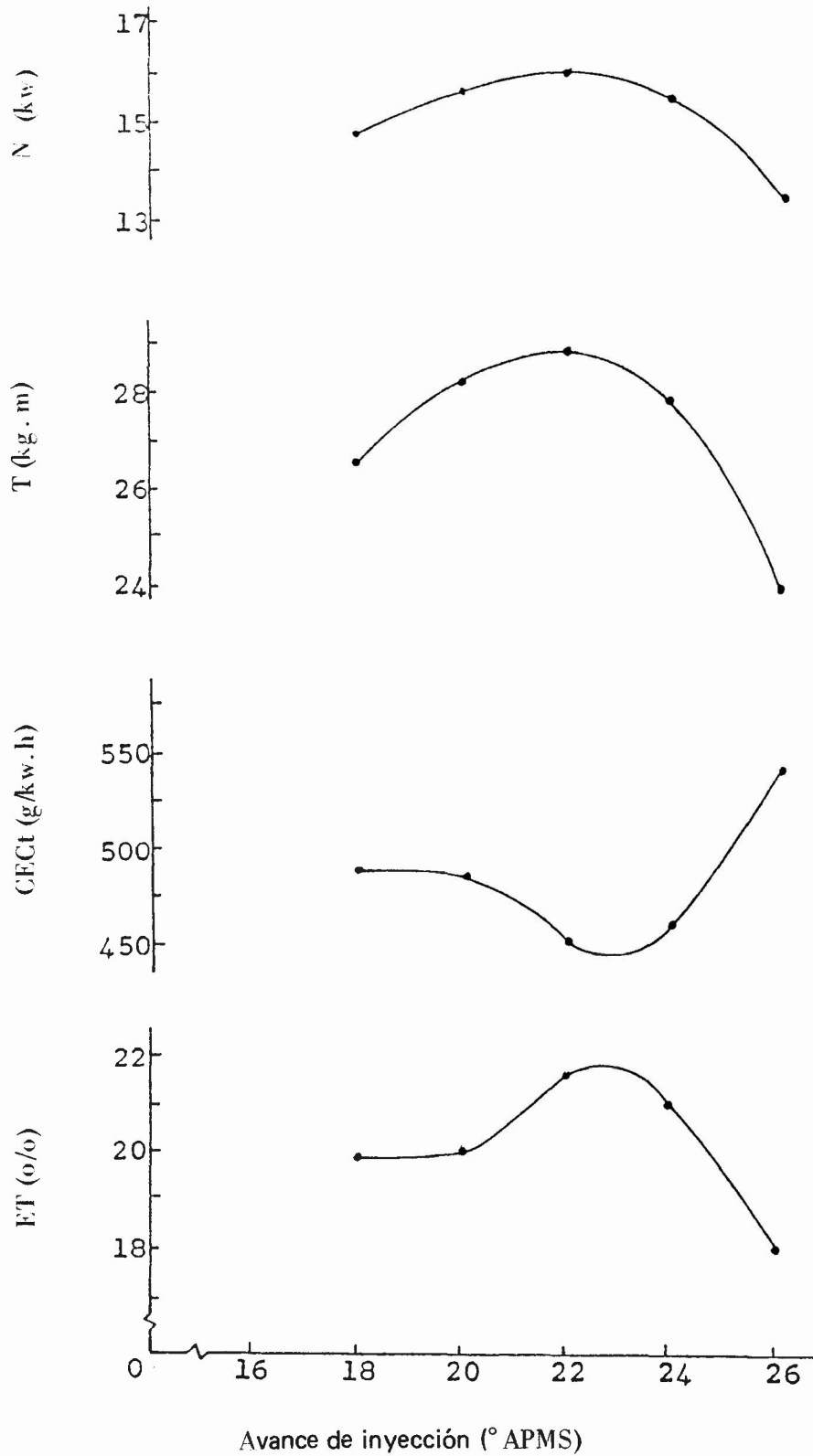


Fig. 3. Avance de inyección para el sistema dual

Con estos datos se calcularon los parámetros de evaluación; torque (T), potencia (N), consumo específico de ACPM (CECd), consumo específico de etanol (CECa), consumo específico total (CECt) y eficiencia (ET).

2.5.1. Prueba de avance óptimo de inyección

El avance de la inyección se varió alrededor del avance estipulado por el fabricante del motor, 20 ° APMS. El avance se varió de 2 en 2 ° desde 18 a 26 ° APMS. En cada punto se tomaron datos para calcular los parámetros de evaluación.

2.5.2. Prueba de carga y velocidad variable

La velocidad de la toma de fuerza del tractor se varió entre 250 y 600 rpm (800 y 2500 rpm del motor). En cada punto la carga se ajustó para máxima potencia y se tomaron datos para calcular los factores de evaluación.

3. RESULTADOS

3.1. Prueba de avance de inyección

Con etanol carburado, los parámetros evaluados presentaron variación similar al ACPM (Fig. 2 y 3). En ambos casos se presentó desfase entre los puntos óptimos de trabajo realizado (torque y potencia) y máxima economía (consumo de combustible). Los primeros deben ser máximos mientras el último es mínimo. Para pruebas a velocidad constante los puntos máximos de potencia y torque se presentaron en el mismo avance de inyección, mientras el consumo mínimo coincidió con la máxima eficiencia térmica. En los motores de gasolina alimentados con alcohol los parámetros presentan sus puntos óptimos en el mismo avance de la chispa.

El punto de máximo torque y máxima potencia se escogió como avance óptimo de inyección. Es el punto de máxima capacidad de trabajo del motor. En el motor original se obtuvo máxima potencia con 20° APMS. Al sobrealimentar el motor con etanol carburado el

avance óptimo varió a 22° APMS. Este es el efecto del bajo cetanaje del etanol. Es un efecto similar al que tiene en motores a gasolina en los que se debe avanzar la chispa con respecto al avance original al alimentar con mezclas etanol-gasolina.

3.2. Pruebas a carga y velocidad variable

3.2.1. Torque y potencia

Estos parámetros presentaron diferencia apreciable a alta velocidad (Fig. 4), donde además hubo ampliación del rango de velocidad que se incrementó 10 o/o por la sobrealimentación dual. En el motor diesel la máxima potencia, 15.4 KW, se presentó a 510 rpm de la toma de fuerza (2 200 rpm del motor). En los ensayos con etanol, la máxima potencia llegó a 16.4 KW a 550 rpm de la TDF (2 350 rpm del motor). Esto representó 6.5 o/o de aumento en la potencia máxima. El máximo torque se presentó a 350 rpm para todos los ensayos y varió de 30.6 kgm con ACPM a 31.74 kgm para la sobrealimentación con la mezcla carburada de 60 o/o etanol. Es un incremento de 3.73 o/o en torque máximo. Los resultados mostraron que el etanol carburado en el motor diesel, solo surtió efectos a alta velocidad.

3.2.2. Consumo específico de combustible y eficiencia

Al sobrealimentar el motor con etanol disminuyó el consumo específico de ACPM, pero aumentó el consumo total (Fig. 5). Igual que en la potencia y el torque, la mayor justificación de esta sobrealimentación fue a alta velocidad donde se presentó la mayor sustitución de ACPM y el consumo específico total llegó a ser menor que el de ACPM en el motor original, que presentó incremento rápido a alta velocidad.

La eficiencia también mostró mejor respuesta a alta velocidad. A alta y baja velocidad el ACPM mostró mayor eficiencia térmica con un valor máximo de 26.3 o/o en el punto de máxima potencia. La mezcla carburada más eficiente (40 o/o agua) alcanzó 25.3 o/o.

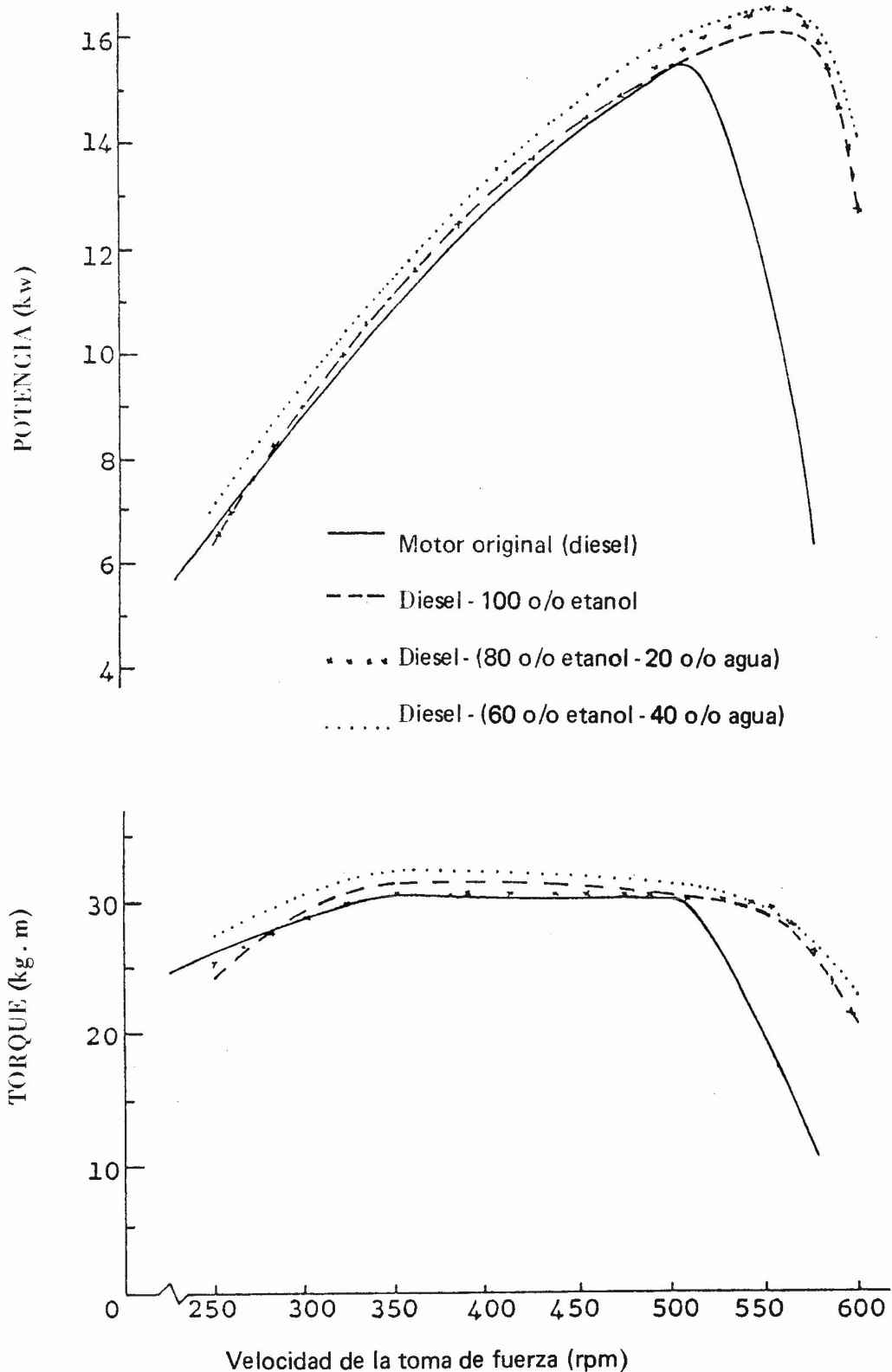


Fig. 4. Efecto del etanol sobre la potencia y el torque

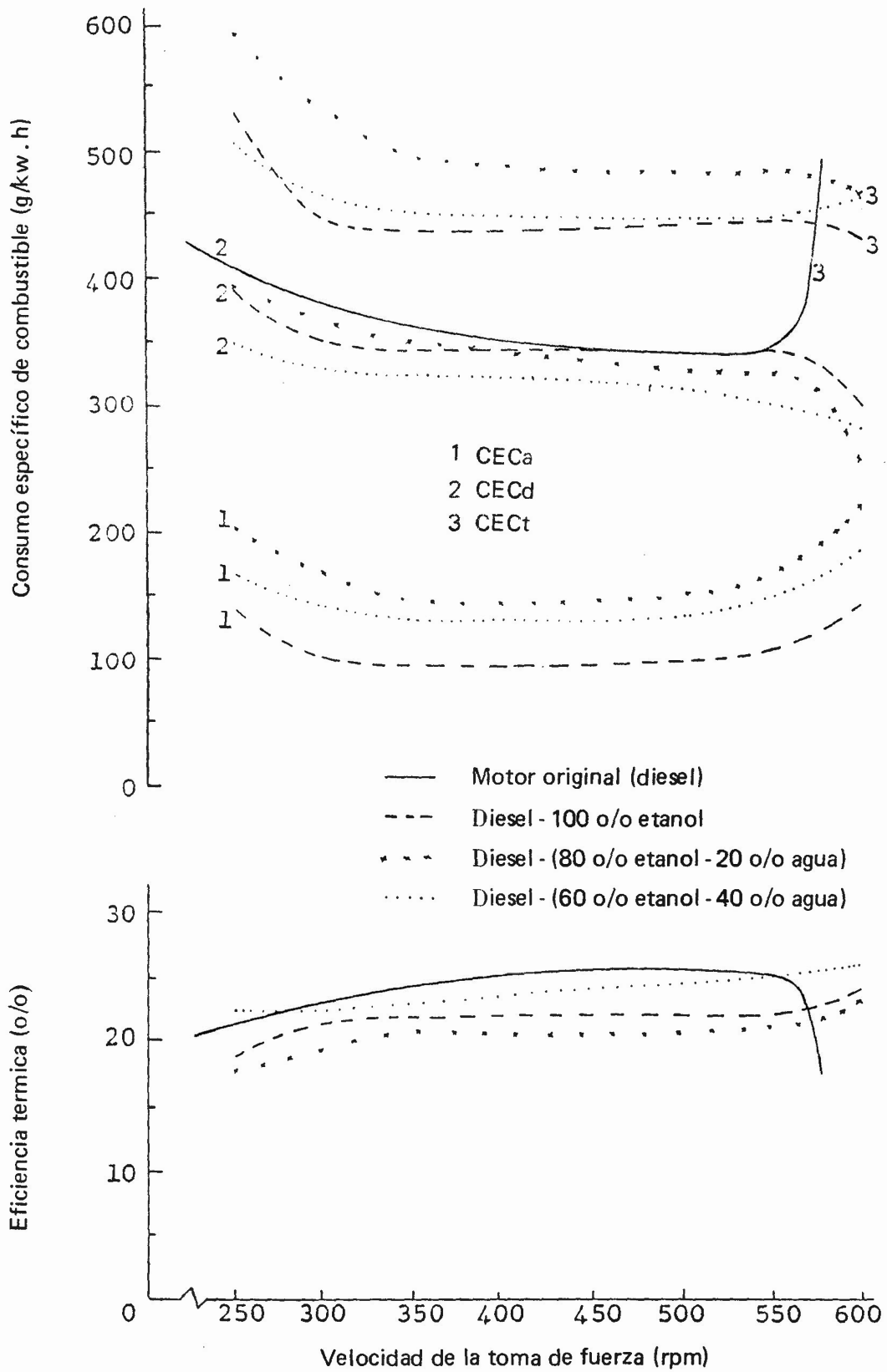


Fig. 5. Efecto del etanol sobre el consumo y la eficiencia

Es importante observar el efecto del grado del alcohol. Al usar mezclas con 20 y 40 o/o agua en volumen, no se presentó reducción de par torsor y potencia pero aumentó el consumo total. Además del combustible alimentado hay otros factores que afectan al motor. Los más notables, relación de compresión, velocidad y posiblemente cilindrada del motor.

El primero es el más influyente por el bajo cetanaje del etanol. Al incrementar el porcentaje de etanol, se produce detonación por la alta compresión. Este efecto se manifiesta inclusive en motores con relaciones del orden de 16:1 donde se llegó a sustituir hasta 60 o/o de ACPM por etanol (Goering y Wood, 1982). En este caso, la relación de compresión del motor es 23:1 y la máxima sustitución fue 32 o/o a 2450 rpm del motor. La velocidad se menciona porque los resultados permiten prever que motores más rápidos, pueden responder mejor al etanol carburado.

Los rangos de baja y media velocidad pueden presentar mejores resultados en torque, potencia y eficiencia si se introducen modificaciones al sistema de inyección.

4. CONCLUSIONES

- 4.1. Al sobrealimentar etanol se debe adelantar la inyección para contrarrestar el efecto del bajo cetanaje del etanol.
- 4.2. La velocidad es un factor determinante en la sustitución eficiente del ACPM por etanol. La mejor respuesta se observó en el rango de alta velocidad y se manifestó en 5 aspectos: la velocidad se incrementó 10 o/o; la potencia máxima se incrementó 6.5 o/o; la caída del torque a alta velocidad es más leve al sobrealimentar el etanol, esto indica que el motor conserva mayor capacidad para realizar trabajo en este rango.

La sustitución más eficiente de ACPM se presentó a alta velocidad. El consumo de aceite diesel cae más rápido y el consumo

total llega a ser menor que el de ACPM. La máxima sustitución de ACPM fue de 32 o/o.

La eficiencia térmica incrementa cuando etanol o mezclas etanol-agua se sobrealimentan carburados al motor.

- 4.3. No se requieren alcoholes de alta pureza. Mezclas de etanol 40 o/o de agua mantienen la capacidad de trabajo del motor.
- 4.4. En los rangos de baja y media velocidad no es recomendable el uso del sistema dual. En estos rangos no hay beneficio en potencia y se pierde el etanol sobrealimentado.

5. BIBLIOGRAFIA

1. CRUZ, J. M.; ROTZ, C. A. and WATSON, D. H. Dual fueling turbocharged diesel engine with ethanol. Transactions of the ASAE. Vol. 25. No. 5. 1982.
2. GOERING, C. E. Ethanol and diesel fuel. Alcohol fuel workshop. Cooperative Extension Service. Kansas State University. 1980.
3. GOERING, C. E. and WOOD, D. R. Overfueling a diesel engine with carburated ethanol. Transactions of the ASAE. Vol. 25, No. 2.
4. MILLER, G. L.; SMITH, J. L. and WORKMAN, J. P. Engine performance using butanol fuel blends. Transactions of the ASAE. Vol. 24. No. 3. 1981.
5. PAUL, J. K. Ethyl alcohol production and use as a motor fuel. Noyes Data Corporation, 1978.
6. SHROPSHIRE, G. J. and GOERING, C. E. Ethanol injection into a diesel engine. Transactions of the ASAE. Vol. 25, No. 3. 1982.
7. STRAIT, J. and BOEDICKER, C. E. Diesel-ethanol fuel blends investigated. Automotive Engineering. Vol. 87, No. 9. 1979.
8. URICH, M. and FISHER, B. Holly carburetors. H. P. Books, 1972.