

LA MEZCLA BUTANO-METANOL-CICLOHEXANO-TOLUENO COMO COMBUSTIBLE DEL MOTOR OTTO. PROPIEDADES, COMPORTAMIENTO Y EMISIONES.

Quaderns
d'enginyeria

1(1979) 2 p.113-131

Gabriel Morro Truyol

RESUMEN

El motivo principal de este trabajo es obtener un combustible para motor Otto formado por pocos componentes y de esta forma evaluar sus características fisicoquímicas, y estudiar su comportamiento en motor y vehículo junto con las emisiones de gases de escape: CO, CO₂, HC (hidrocarburos inquemados) y NO_x (óxidos de nitrógeno), comparándose siempre con una gasolina convencional de características conocidas.

Gracias a la presencia de un alcohol (Metanol) en la mezcla, este trabajo permite de forma aproximada evaluar el comportamiento de una mezcla gasolina-metanol.

Los componentes se han escogido en primer término atendiendo a la facilidad de obtenerlos puros en el mercado y luego a previos ensayos de laboratorio. La adición de butano se ha efectuado para mejorar la velocidad y acercar el punto inicial de la destilación al de las gasolinas comerciales.

Las condiciones fijadas para el buen funcionamiento del motor son: A/F (relación aire combustible) ≥ 12 e IOM (índice de octano Motor) ≥ 82 . Otra característica fijada es que la mezcla sea miscible para temperaturas superiores a - 15°C.

Comparando estas mezclas con las gasolinas, las mezclas empleadas tienen: relación A/F, potencia calorífica y punto final de destilación inferiores; tensión de vapor Reid e IOM similares; viscosidad cinemática ligeramente superior, y densidad e IOR (índice de octano Research) superiores.

Para evaluar el comportamiento de las mezclas se han realizado ensayos en banco motor y banco de rodillos para vehículos: en este último se ha efectuado el Ciclo Europa (con motor caliente) y esto permite predecir el comportamiento del conjunto motor-vehículo en recorrido urbano cuando en vez de gasolina se emplea una de las mezclas estudiadas.

Las conclusiones a que se ha llegado pueden resumirse:

- Marcada influencia del metanol en la curva de destilación, disminuyendo la temperatura media de destilación a medida que aumenta el contenido de metanol.

- Obtención de los valores IOR e IOM de las mezclas por fórmulas empíricas:

$$\text{IOR} = 123.43 (\% \text{ vol. met.}) + 91.4 (\% \text{ vol. ciclo.}) + (\% \text{ vol. tol.})$$

$$\text{IOM} = 92.17 (\% \text{ vol. met.}) + 66.61 (\% \text{ vol. ciclo.}) + (\% \text{ vol. tol.})$$

fórmulas que son válidas dentro de los límites que nos interesan.

- Posibilidad de obtener IOR elevados.

- Prácticamente la misma dispersión de la presión máxima de combustión en distintos cilindros que con gasolinas convencionales.

- Aumento en motor y vehículo de rendimientos totales con el metanol, debido a su carburación fría.

- Las emisiones de CO y HC disminuyen el aumentar el contenido de metanol, mientras que las de NO_x aumentan.

- Temperaturas de escape ligeramente elevadas debido al empobrecimiento de la mezcla.

- Perspectivas de utilización del metanol como combustible de motores Otto.

Los contenidos utilizados de cada uno de los componentes son:
Hexano 5%, Metanol 5-25%, Ciclohexano 10-40% y Tolueno 40-70%

SUMMARY

The main object of this work is to achieve a fuel composed of very few components, for Otto motor. Its physico-chemical characteristics are evaluated and its behaviour in motor and vehicle together with the exhaust gases like CO, CO₂, CH (unburnt hydrocarbons) is studied by comparing with conventional petrol of known characteristics.

Thanks to the presence of methanol in the mixture, this study allows to evaluate approximately the behaviour of a mixture of petrol-methanol.

Only those components of the mixture were selected which were available in the purest form in the market. Butane was added to improve the volatility and to reach the initial point of distillation of commercial petrols.

The fixed conditions for the good operation of the motor are: A/F (air-fuel ratio) > 12 , and IOM (index of octane motor) > 82 . The other condition fixed was that the mixture must be miscible at temperatures higher than 150 °C.

On comparing these mixtures with petrol, we find that they have: lower A/F ratio, calorific potential and final distillation point; similar Reid vapor pressure and IOM; slightly higher kinetic viscosity; and higher density and IOR (index of octane Research).

To evaluate the behaviour of mixtures, the tests were carried out in bench motor and bench rollers for vehicle; in the latter, the Europe cycle was also carried out (with hot motor) and this allows to predict the joint behaviour of motor-vehicle in the urban driving when one of these mixtures is used instead of petrol.

The following conclusions have been derived at:

- a marked influence of methane in the distillation curve, decreasing the mean temperature of distillation as the methane content increases.

- The values of IOR and IOM have been obtained by the empirical equations:

$$\begin{aligned} \text{IOR} &= 123,43 (\% \text{ met. vol}) + 91,4 (\% \text{ cycle vol}) + (\% \text{ total vol}) \\ \text{IOM} &= 92,17 (\% \text{ met. vol}) + 66,61 (\% \text{ cycle vol}) + (\% \text{ total vol}) \end{aligned}$$

these formulae being valid as they are within the limits of interest.

- Possibility of obtaining high IOR.

- Practically the same dispersion of maximum pressure of fuel in different cylinders as in the case of conventional petrol, is obtained.

- Increase in motor and vehicle total yields with methanol, due to its cold combustion.

- The exhaust of CO and CH decrease with increasing methane contents, while those of NO_x increase.

- Exhaust temperature slightly higher due to the degradation of the mixture.

- Prospect of employing methane as a fuel for Otto motors.

- The quantities of each component employed were: Butane 5%; Methane 5 ÷ 25%; Cyclohexane 10 ÷ 40%; and Toluene 40 ÷ 70%.

1 PLAN GENERAL DE LA INVESTIGACION

La idea inicial del trabajo era el estudio del comportamiento del motor ciclo Otto y de las emisiones de gases contaminantes en función de las características del combustible. Para ello se decidió que lo mejor sería partir de combustibles sintéticos formados por productos puros convenientemente mezclados, pues de esta forma se conocería la composición química del combustible. El plan general del trabajo puede observarse en el cuadro adjunto.

La elección de los componentes del combustible no han sido fáciles. Inicialmente se decidió incluir un aromático y un alcohol, el primero por formar los aromáticos un porcentaje importante en las gasolinas y el segundo para poder evaluar sus efectos tan diferentes a la mayoría de combustibles. El tercer componente se seleccionó entre una parafina saturada y una cicloparafina.

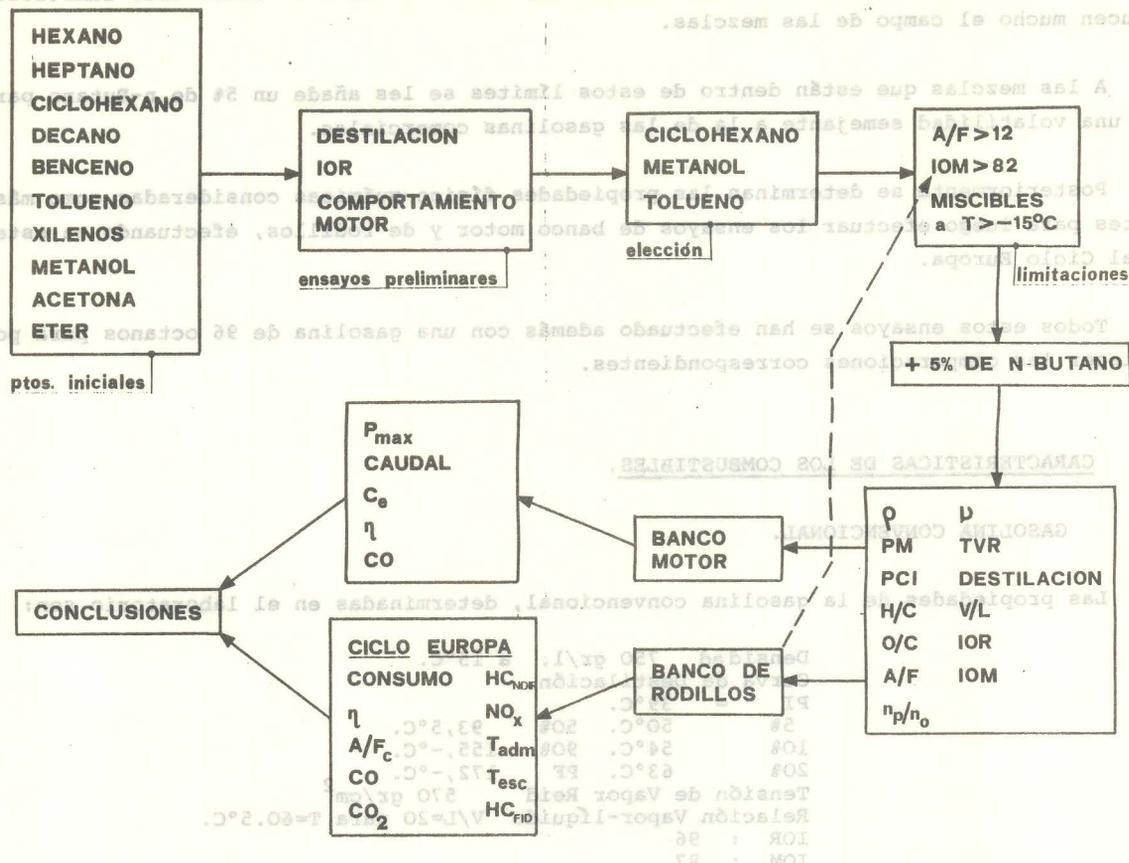
Los componentes que pueden encontrarse con facilidad (téngase en cuenta que vamos a utilizar cantidades muy importantes, y no deben ser caros) en el mercado nacional y que puedan satisfacer nuestras exigencias son:

| | |
|-------------|---------|
| Hexano | Tolueno |
| Heptano | Xilenos |
| Ciclohexano | Metanol |
| Decano | Acetona |
| Benceno | Eter |

Por lo que a alcoholes se refiere elegimos directamente el Metanol por su bajo precio, por su porvenir como combustible mezclado con gasolina, y por las anteriores experiencias realizadas con este producto en el laboratorio.

Con estos productos iniciales se han realizado unos ensayos preliminares utilizando mez-

clases binarias, ternarias y cuaternarias como combustible en un banco de pruebas, determinando además su índice de Octano Research y su Curva de Destilación. Esto nos ha permitido, junto con otros criterios que luego mencionaremos, elegir como más adecuada la mezcla Metanol-Ciclohexano-Tolueno.



De las parafinas elegimos el Ciclohexano ya que el Hexano y Heptano que podemos obtener son mezclas de isómeros y por lo tanto no son puros. Por otro lado el Heptano al estar en cantidad importante en forma lineal, es muy detonante para formar parte importante de la mezcla. El n-Decano se puede obtener bastante puro en cantidades importantes, pero al ser muy detonante debemos descartarlo.

De los aromáticos se elimina el Benceno por tener un punto de ebullición muy cercano al del Ciclohexano, lo que da lugar a puntos finales de la Curva de Destilación demasiado bajos. Los Xilenos por ser mezclas de isómeros también se descartan, por lo que solo nos queda el Tolueno, que además es el más económico de los aromáticos y esto es importante ya que vamos a utilizar grandes cantidades.

La Acetona y el Eter, que al principio utilizamos para aumentar la volatilidad del conjunto, se descartan por no ser su Tensión de Vapor todo lo elevada que se desearía (comparada con la del Butano que se utilizará posteriormente), y tendrían que formar parte muy importante de la mezcla para obtener la volatilidad de conjunto deseada.

El Metanol, Ciclohexano y Tolueno tienen unas propiedades físico-químicas muy diferentes; esto nos permite variar el porcentaje de cada uno de los tres componentes y obtener combustibles de características muy diferentes.

Esta mezcla ternaria no puede efectuarse para cualquier porcentaje de los productos constituyentes, sino que hay unas limitaciones debido a que las mezclas han de cumplir con

unas características determinadas. Para el buen funcionamiento del motor la relación estequiométrica debe ser superior a 12 debido a que por debajo de este valor obtenemos riquezas demasiado pobres y el funcionamiento del motor es muy irregular. En virtud de los experimentos en el banco de rodillos que luego se describirán, exigimos que el Índice de Octano Motor sea superior a 82. En cuanto a la estabilidad de mezcla, establecemos el criterio de que ésta ha de ser completamente miscible para temperaturas superiores a -15°C . Estas tres limitaciones nos reducen mucho el campo de las mezclas.

A las mezclas que están dentro de estos límites se les añade un 5% de n-Butano para obtener una volatilidad semejante a la de las gasolinas comerciales.

Posteriormente se determinan las propiedades físico-químicas consideradas como más importantes para luego efectuar los ensayos de banco motor y de rodillos, efectuando en este último el Ciclo Europa.

Todos estos ensayos se han efectuado además con una gasolina de 96 octanos para poder establecer las comparaciones correspondientes.

2 CARACTERISTICAS DE LOS COMBUSTIBLES.

2.1 GASOLINA CONVENCIONAL.

Las propiedades de la gasolina convencional, determinadas en el laboratorio son:

Densidad 750 gr/l. a 15°C .
 Curva de Destilación.
 PI = 39°C .
 5% 50°C. 50% 93,5°C.
 10% 54°C. 90% 155,-°C.
 20% 63°C. PF 172,-°C.
 Tensión de Vapor Reid 570 gr/cm²
 Relación Vapor-líquido V/L=20 para $T=60.5^{\circ}\text{C}$.
 IOR : 96.
 IOM : 87

2.2 MEZCLAS DE COMBUSTIBLES PUROS.

Unicamente describiremos las propiedades más importantes y que se determinan en ensayos de laboratorio

2.2.1 TENSION DE VAPOR REID.

Las TVR de los tres componentes principales o sea Ciclohexano, Metanol y Tolueno son bastante bajas comparadas con la TVR de una gasolina convencional; debido a esto una mezcla de estos tres componentes tiene una TVR baja, por lo que a todas las mezclas se les ha añadido un 5% de n-Butano, el cual por término medio aumenta en 50 gr/cm² la TVR de la mezcla por cada 1% añadido. De esta forma se obtienen valores entre 485 y 657 gr/cm² que son prácticamente iguales que las gasolinas (ver figura 1).

Si se calcula la TVR mediante la ley de Raoult en base a los valores de cada componente, obtenemos resultados que son aproximadamente la mitad de los obtenidos experimentalmente.

2.2.2 CURVA DE DESTILACION.

En las Curvas de Destilación (fig. 2), se puede observar que las mezclas tienen un Punto inicial muy cercano (varía de 42 a 46°C). El componente que influye más sobre este Punto es el n-Butano ya que de no ser por él obtendríamos Puntos iniciales más elevados, del orden de 10°C .

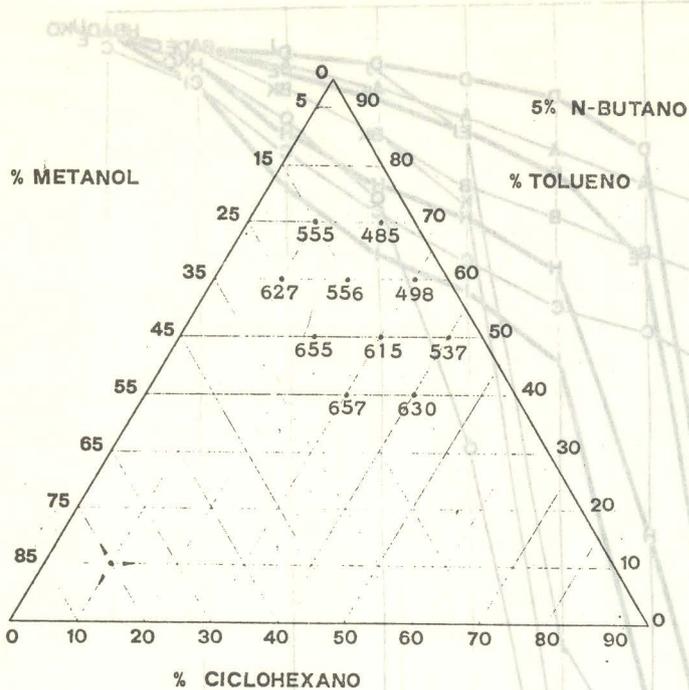


FIG. 1. TENSION DE VAPOR REID (gr/cm²)

Interesa que el Punto Final de la curva sea lo más bajo posible, y según se ve en estas mezclas es mucho más favorable que en las gasolinas.

2.2.3 LIMITES DE VOLATILIDAD.

Los límites de volatilidad son debidos a la congelación del carburador en invierno y a la formación de tampón de vapor en verano. Con el Metanol podemos evitar el problema de la congelación ya que al mezclarse con el agua baja el punto de congelación, por este motivo los alcoholes han sido utilizados como aditivos de gasolinas para impedir este inconveniente.

Para evaluar la posible formación de tampón de vapor, se ha calculado la temperatura en la cual la relación vapor-líquido V/L es igual a 20 y el valor de $x = (TVR \text{ (mbar)} + 7 \times (\% \text{ a } 70^\circ\text{C}))$. (Reglitzky)

Tomando la mezcla 5 B 15 M 20 C 60 T tenemos un valor de $x = 783, 4$, para el cual y a una temperatura ambiente de 35°C no se formaría tampón de vapor en un 90% de los vehículos. Por lo que podemos considerar que las cinco primeras mezclas serían válidas como combustible de verano y las cinco últimas como combustible de invierno, (según el orden en figura 2).

2.2.4 INDICE DE OCTANO RESEARCH.

El índice de Octano de una mezcla de combustibles no puede determinarse buscando su valor medio. En mezclas de gasolinas convencionales el IOR suele ser superior al valor de su media ponderada (depende del tratamiento sufrido en la refinería); en cambio en las mezclas objeto de este estudio, obtenemos un IOR inferior al que resultaría de aplicar la hipótesis lineal.

Las mezclas ensayadas tienen un Índice de Octano Research que oscila entre 95 y 105, por lo que la mayoría de mezclas tienen un IOR superior al de las gasolinas convencionales.

Se pueden buscar unos valores del IOR de cada componente en la mezcla de forma que en ca

El Punto Final es prácticamente el mismo en todas las mezclas: 109°C , y esto es debido al Tolueno que es el componente de temperatura de ebullición más elevada.

La parte central de la Curva está fuertemente influenciada por el Metanol. Observando las curvas, en el porcentaje destilado a 70°C vemos que aumenta al hacerlo el contenido de Metanol en la mezcla, y para un contenido de éste constante, el porcentaje recogido a 70°C aumenta al hacerlo el Ciclohexano en la mezcla.

Las mezclas se pueden agrupar en tres familias, cada una de ellas determinada por el contenido de Metanol, y trazando las curvas separadamente para cada familia se observa que dichas Curvas no se cortan.

y la ecuación anterior queda:

$$IOR_C = 123.43 M_i + 91.4 C_i + 109.52 T_i$$

ecuación que junto a la relación de volúmenes:

$$M_i + C_i + T_i = 0.95$$

permite obtener la relación:

$$IOR_C = 117.26 + 32.03 C_i + 13.91 T_i$$

con lo cual ya podemos trazar las líneas de IOR constante (fig. 3), dichas líneas son casi perpendiculares al eje del Ciclohexano. Esto significa que al movernos sobre una de estas líneas hacia arriba, el Ciclohexano y el Metanol disminuyen aproximadamente la misma cantidad mientras que el Tolueno aumenta aproximadamente el doble, lo cual es debido a que el IOR_T es aproximadamente el valor medio de IOR_C e IOR_M .

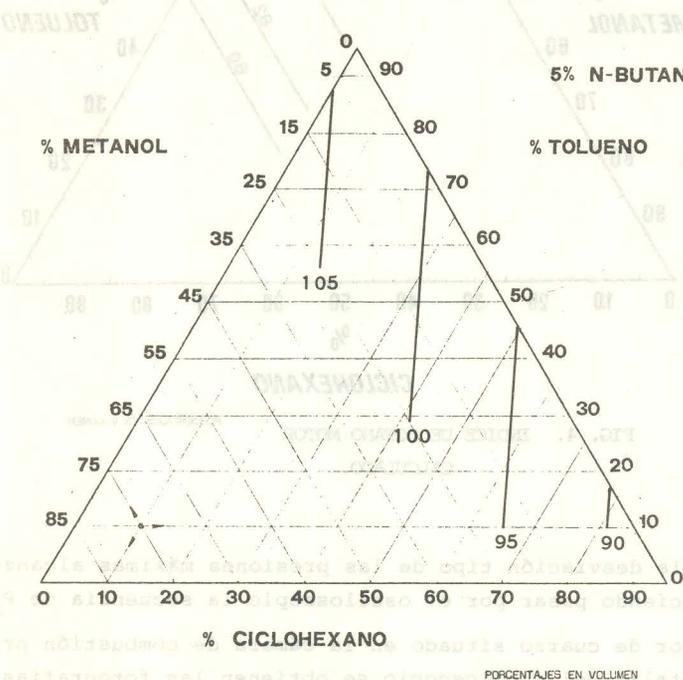


FIG. 3. INDICE DE OCTANO RESEARCH CALCULADO.

paración mucho más fácil que la cuaternaria, ya que añadir n-Butano a la mezcla implica enfriar los componentes a -20°C con el fin de que el n-Butano esté en estado líquido y así poder determinar con precisión su volumen.

Las mezclas estudiadas tienen un IOM que oscila entre 80 y 90, por lo que algunas mezclas tienen un IOM insuficiente.

Tal como hemos hecho con el IOR, con el IOM podemos efectuar un ajuste por mínimos cuadrados con los valores obtenidos experimentalmente y obtenemos la ecuación:

$$IOM_C = 92.17 M_i + 66.61 C_i + 92.16 T_i$$

o sea que:

$$IOM_M = 92.17$$

$$IOM_C = 66.61$$

$$IOM_T = 92.16$$

siendo la relación de volúmenes:

$$M_i = C_i + T_i = 1$$

Si recordamos los valores de los IOR del Ciclohexano, Metanol y Tolueno que son respectivamente 83, 106 y 120 y los comparamos con los valores de los coeficientes obtenidos anteriormente, se observa que la influencia de Ciclohexano y la del Metanol son superiores a la que cabría esperar, mientras que la del Tolueno es inferior.

2.2.5 INDICE DE OCTANO MOTOR

Al comprobarse que el IOM de la mezcla cuaternaria era prácticamente el mismo que la ternaria Ciclohexano-Metanol-Tolueno sustituyendo el 5% de n-Butano por 5% de Metanol, se efectuarán los ensayos con la mezcla ternaria por ser su preparación mucho más fácil que la cuaternaria, ya que añadir n-Butano a la mezcla implica enfriar los componentes a -20°C con el fin de que el n-Butano esté en estado líquido y así poder determinar con precisión su volumen.

obtenemos la relación:

$$IOM_c = 92.17 + 25.56 Ci + 0.01 Ti$$

con lo que podemos trazar las líneas de IOM constante (fig. 4), las cuales tal como puede observarse en la ecuación anterior dependen casi exclusivamente del contenido en Ciclohexano. Esto es debido a que los coeficientes IOM calculados anteriormente para el metanol y el tolueno son prácticamente iguales.

Siendo los Indices de Octano Motor del Metanol, Ciclohexano y Tolueno respectivamente 86, 77 y 104, y comparándolos con los valores obtenidos anteriormente, la influencia del Metanol en la mezcla es superior a lo que cabría esperar mientras que las influencias del Ciclohexano y Tolueno son inferiores.

Al igual que ocurre con el IOR, el IOM de una mezcla es inferior a la media ponderada.

3 ENSAYOS EN BANCO MOTOR.

Estos ensayos se han efectuado con un motor de 767 cm³ acoplado a un freno dinámico y cuyas características de ambos están descritas en el capítulo de aparatos y material.

3.1 DISPERSION DE PRESIONES MAXIMAS

Este experimento consiste en obtener la desviación tipo de las presiones máximas alcanzadas en la combustión, y se ha realizado haciendo pasar por el osciloscopio la secuencia de P_{max} obtenidas por la señal que da un transductor de cuarzo situado en la cámara de combustión previamente amplificada, fotografiando la pantalla del osciloscopio se obtienen las fotografías de [de las figuras 5 y 6.

1000 rpm

| Cilindro | Carga | Gasolina | Mezcla |
|----------|-------|----------|--------|
| 1 | 1 | 1 | 2 |
| | | 35.73 | 35.24 |
| | 3.10 | 3.44 | |
| | 1/2 | 3 | 4 |
| 32.46 | | 32.49 | |
| 2.78 | 3.43 | | |
| 2 | 1 | 5 | 6 |
| | | 35.07 | 30.27 |
| | 2.04 | 2.15 | |
| | 1/2 | 7 | 8 |
| 31.99 | | 30.03 | |
| 1.88 | 2.24 | | |

| |
|---------------------------------------|
| n° |
| foto |
| Media (Kg/cm ²) |
| Desviación tipo (Kg/cm ²) |

Tabla 1. Medidas y desviaciones de la P_{max} correspondientes a las fotografías.

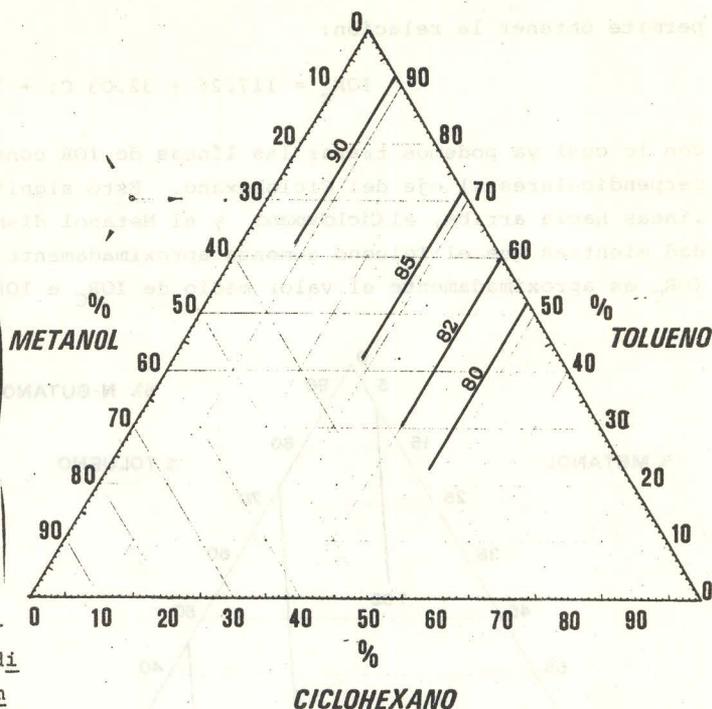


FIG. 4. INDICE DE OCTANO MOTOR CALCULADO.

PORCENTAJES EN VOLUMEN

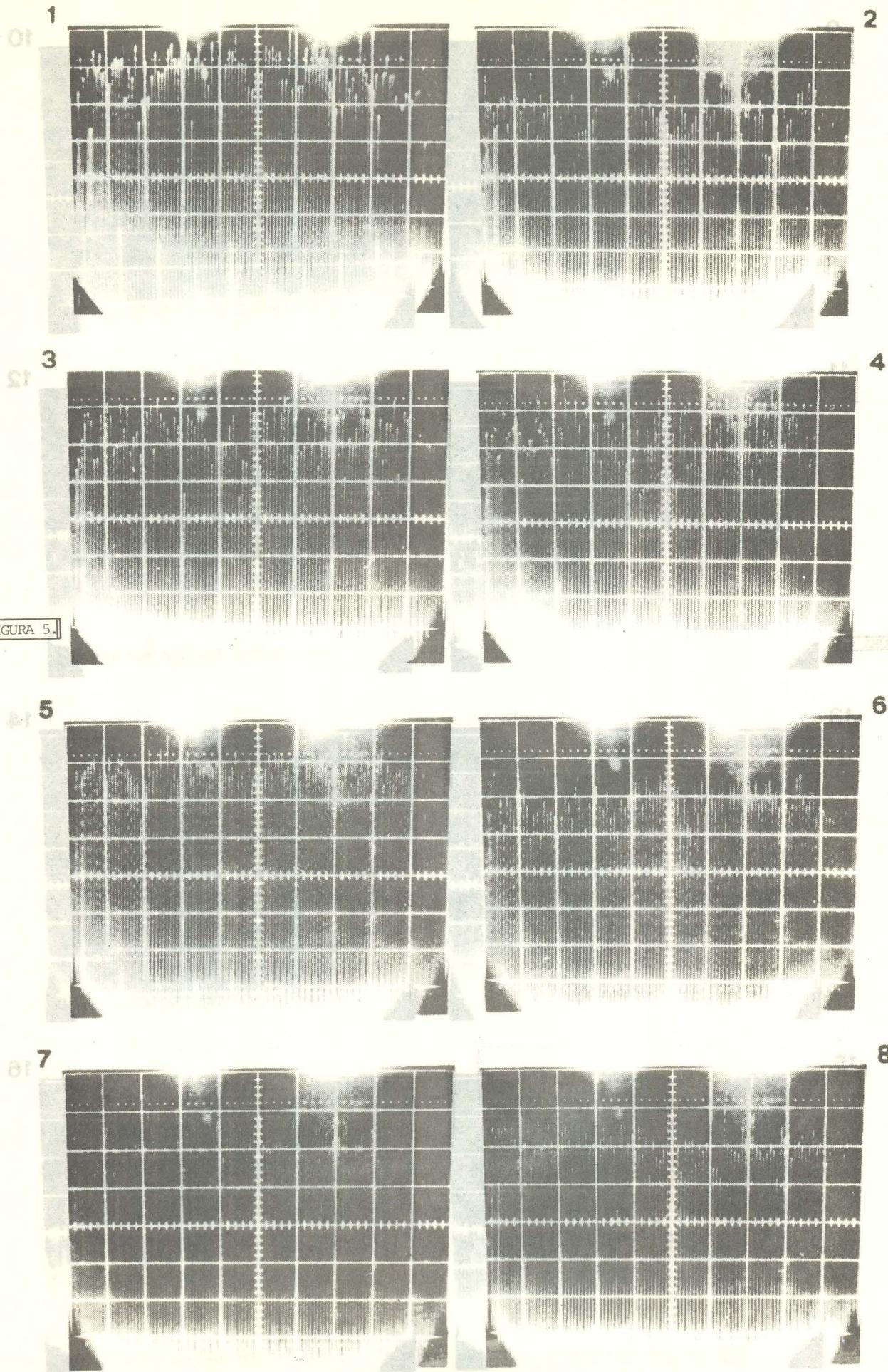
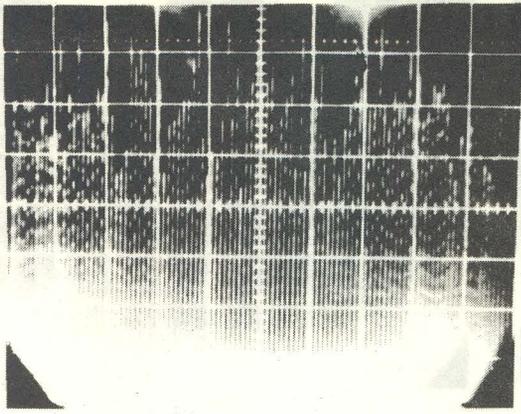
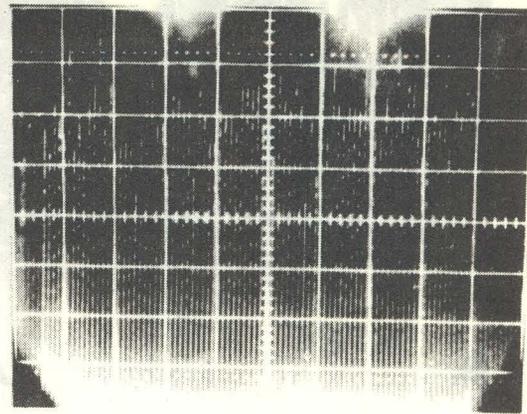


FIGURA 5.

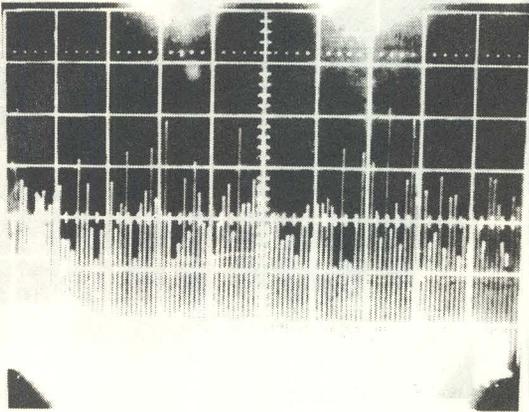
9



10



11



12

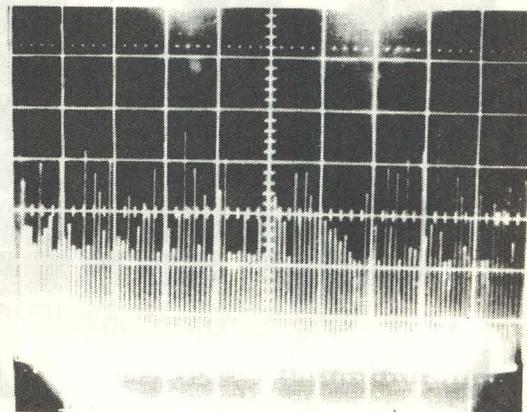
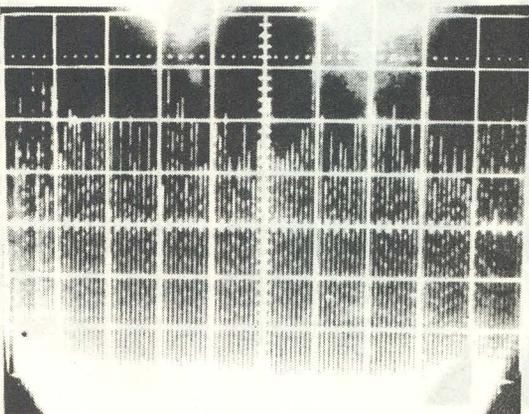
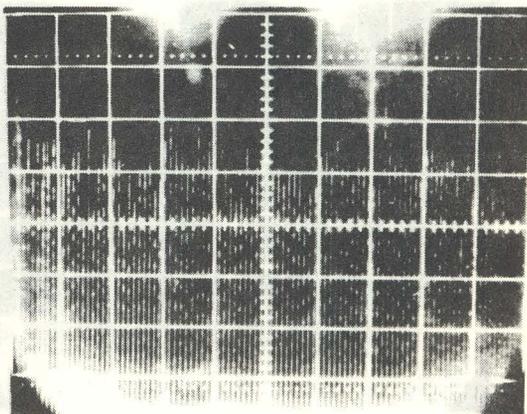


FIGURA 6.

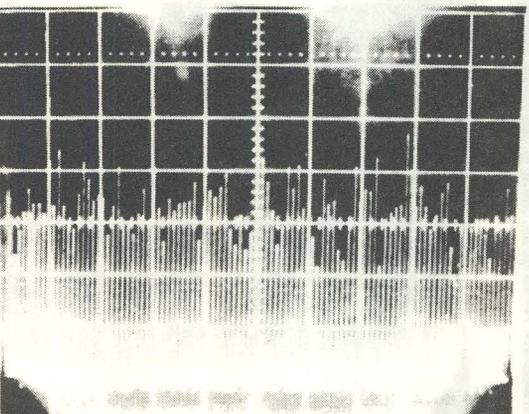
13



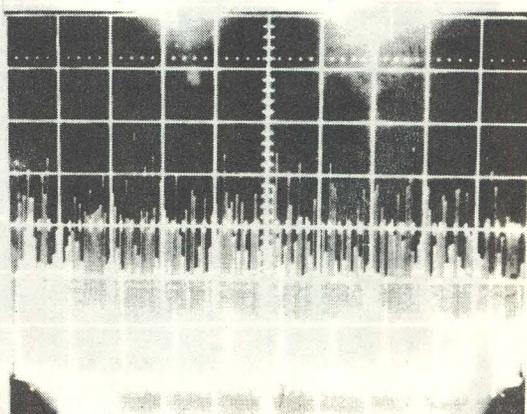
14



15



16



Experimentalmente se ha demostrado que cuando más homogénea es la mezcla carburada, menor es la desviación de las presiones máximas.

Se ha estudiado el comportamiento de dos combustibles: la gasolina y la mezcla 5B, 15M, 40C 40T en dos cilindros de motor, el nº1 (extremo) y el nº2 (central) bajo diferentes condiciones de funcionamiento, a plena y media carga y a 1000 y 2000 rpm. Los resultados obtenidos son las fotografías de las figuras 5 y 6 cuya numeración se corresponde con la Tabla 1 en la cual están los valores medios de las P_{max} y sus desviaciones.

| Cilindro | Carga | Gasolina | Mezcla |
|----------|-------|----------|--------|
| 1 | 1 | 9 | 10 |
| | | 32.09 | 31.08 |
| | 1/2 | 4.45 | 3.27 |
| | | 32.07 | 29.06 |
| 2 | 1 | 11 | 12 |
| | | 3.31 | 3.32 |
| | 1 | 13 | 14 |
| | | 28.86 | 26.08 |
| | 1 | 3.03 | 2.24 |
| | | 15 | 16 |
| 32.47 | 30.24 | | |
| | 2.69 | 3.23 | |

A 1000 rpm la gasolina tiene una dispersión menor que la mezcla; esto puede ser debido a su mayor temperatura de admisión que da más homogeneidad.

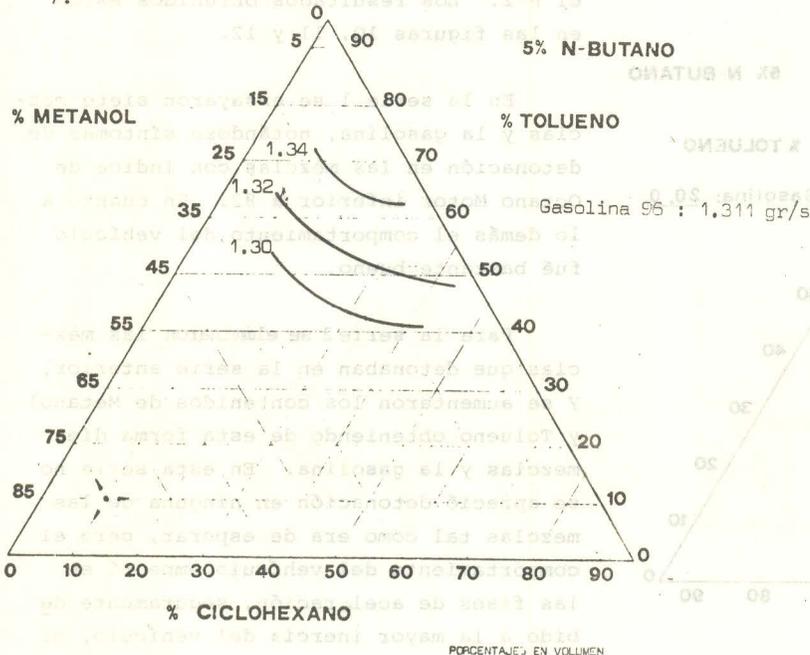
A 2000 rpm la gasolina tiene mayor dispersión que la mezcla; esto puede deberse a que su temperatura media de destilación es superior a la de la mezcla y a velocidades elevadas no tiene tiempo de vaporizarse completamente.

El cilindro extremo tiene mayor dispersión que el central.

La mezcla tiene un comportamiento más regular bajo diferentes condiciones de funcionamiento que la gasolina.

3.2 CAUDAL MASICO

Se ha medido el caudal máximo de combustible en un carburador 28 ICP 11 que alimenta el motor girando a 2500 rpm y a plena carga. Los resultados obtenidos se han representado en la fig 7.



El hecho de que el caudal aumenta a medida que lo hace el contenido de Tolueno, es debido al aumento de la densidad y a la disminución de la viscosidad cinemática que además aumentará debido al enfriamiento producido por el Metanol.

3.3 RENDIMIENTO

El rendimiento total del motor se ha calculado en función del consumo específico (C_e) y de la potencia calorífica inferior del combustible (PCI) mediante la fórmula:

$$\eta_T = \frac{632.000}{PCI \text{ (kcal/kg)} \cdot C_e \text{ (gr/CV h)}}$$

FIG. 7. CAUDAL MASICO (gr/s) DE COMBUSTIBLE EN EL CARBURADOR.

En la figura 8 se han representado los valores de los rendimientos obtenidos para cada una de las mezclas.

El componente que influye de forma total sobre el rendimiento del motor es el Metanol. El aumento de rendimiento con el Metanol, es debido al empobrecimiento de la mezcla carburada y el aumento del rendimiento volumétrico producido por las bajas temperaturas alcanzadas en los colectores de admisión.

3.4 EMISION DE MONOXIDO DE CARBONO

Para evaluar las emisiones de CO del motor en el freno dinámico - seguimos el siguiente procedimiento: funcionando el motor a plena carga, se toma nota del % de CO emitido a 2500 rpm, 1500 rpm, y al ralentí: repitiendo otra vez el ensayo obtenemos un total de seis lecturas de CO y a su suma le llamamos $\Sigma\%CO$.

Situando los valores obtenidos en la figura 9, se puede observar cómo a medida que aumenta el contenido de Metanol disminuyen las emisiones de CO, lo cual es debido al empobrecimiento de la mezcla.

4 CICLO EUROPA

Se han efectuado dos series de ensayos con dos vehículos bastante diferentes en cuanto a motor y carrocería (Renault 7 y Seat 124); a la primera serie le damos el n°1 y a la segunda el n°2. Los resultados obtenidos están en las figuras 10, 11 y 12.

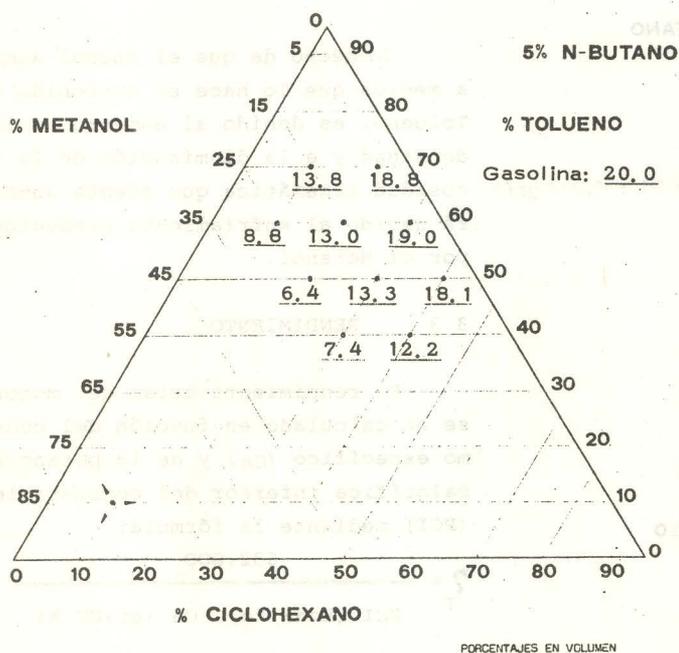


FIG. 9. EMISIONES DE OXIDO DE CARBONO (%CO)

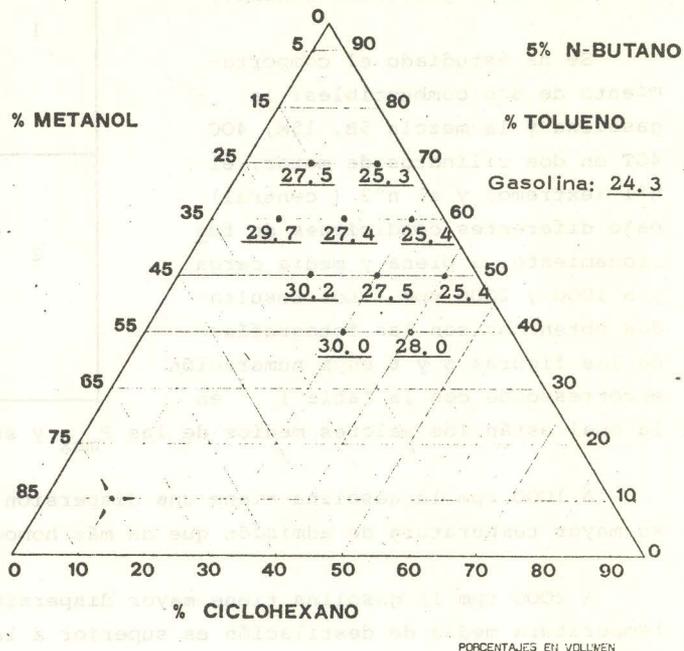


FIG. 8. RENDIMIENTO TOTAL DEL MOTOR (%).

En la serie 1 se ensayaron siete mezclas y la gasolina, notándose síntomas de detonación en las mezclas con Índice de Octano Motor inferior a 82. En cuanto a lo demás el comportamiento del vehículo fué bastante bueno.

Para la serie 2 se eliminaron las mezclas que detonaban en la serie anterior, y se aumentaron los contenidos de Metanol y Toluene obteniendo de esta forma diez mezclas y la gasolina. En esta serie no se apreció detonación en ninguna de las mezclas tal como era de esperar, pero el comportamiento del vehículo empeoró en las fases de aceleración, seguramente debido a la mayor inercia del vehículo, al mayor desarrollo de las marchas y al carburador más frío. Para las mezclas con

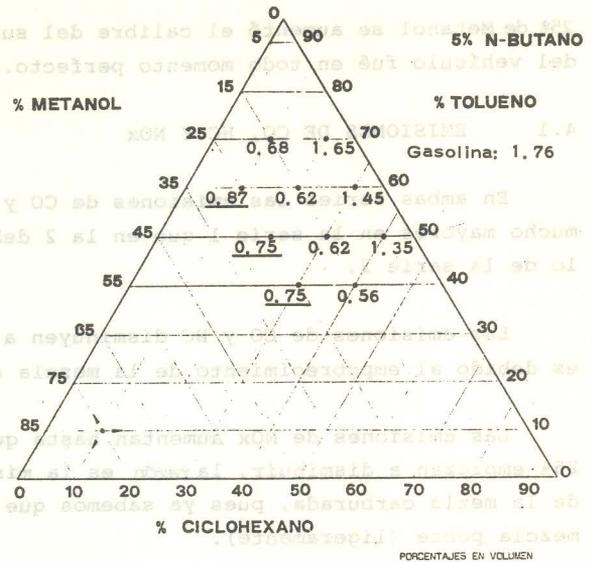
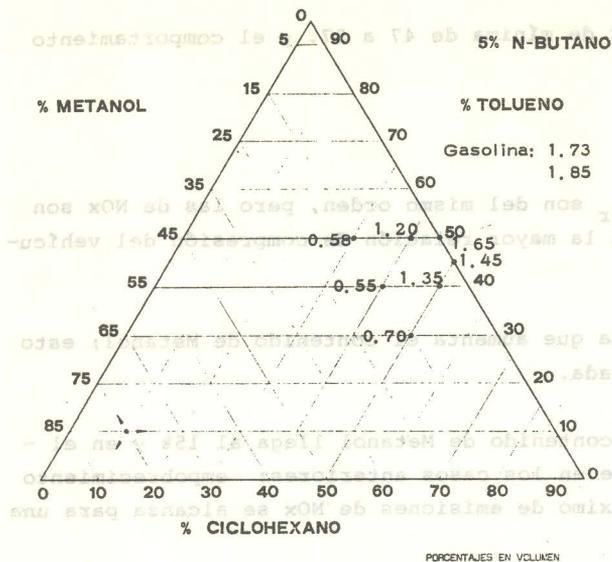


FIG.10. EMISIONES DE CO (%), DURANTE EL CICLO EUROPA.S-1 IZQ., S-2 DER.

Los valores subrayados han sido obtenidos con un surtidor de mínima de 57 en lugar del de 47.

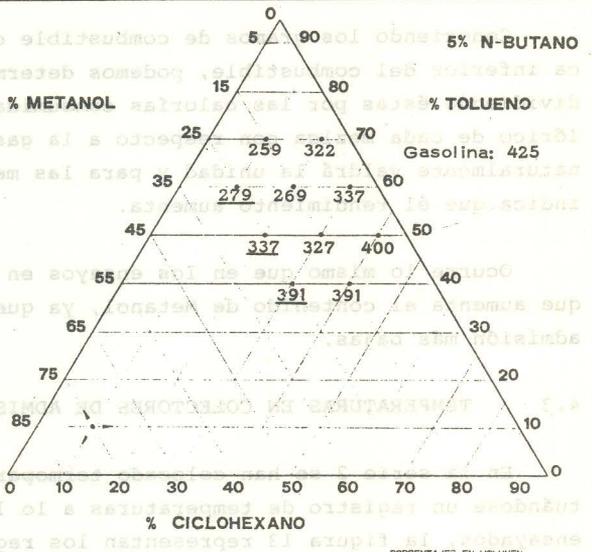
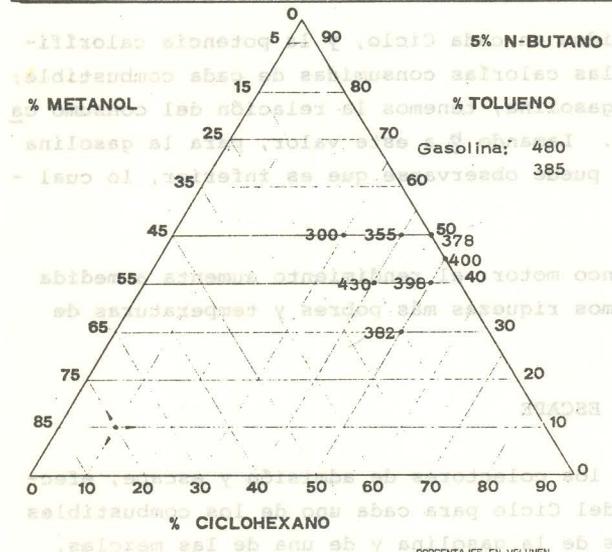


FIG.11. EMISIONES DE HC (ppm) DURANTE EL CICLO EUROPA, S-1 IZQ., S-2 DER.

Los valores subrayados han sido obtenidos con un surtidor de mínima de 57 en lugar del de 47.

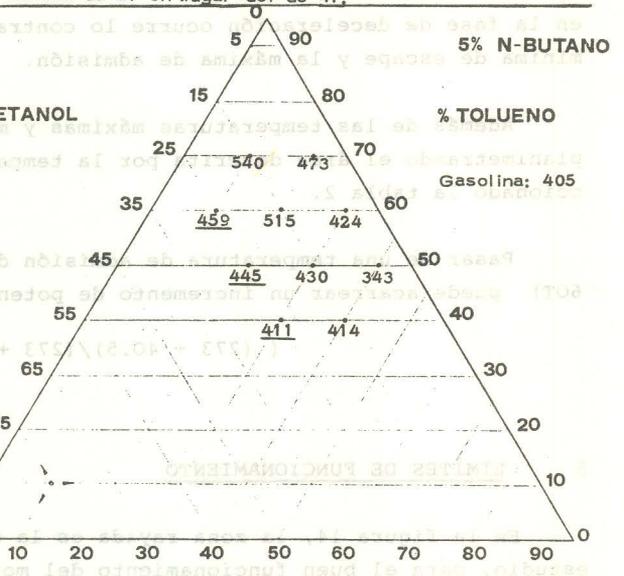
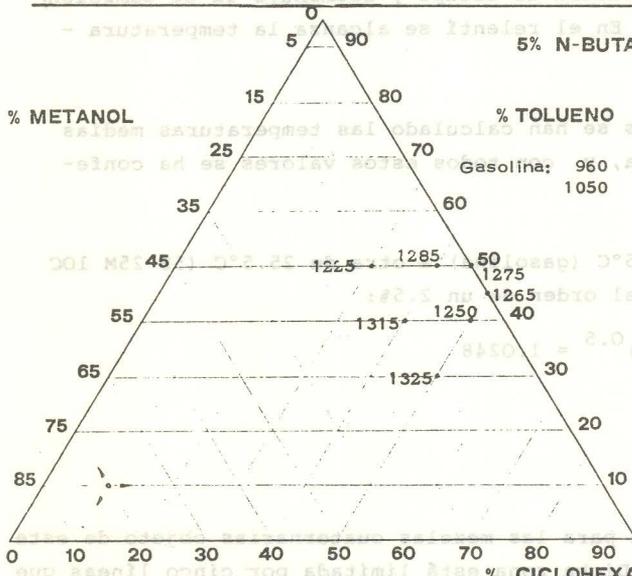


FIG.12. EMISIONES DE NO_x (ppm), EN EL CICLO EUROPA, S-1 IZQ., S-2 DER.

25% de Metanol se aumentó el calibre del surtidor de mínima de 47 a 57, y el comportamiento del vehículo fué en todo momento perfecto.

4.1 EMISIONES DE CO, HC Y NOx

En ambas series las emisiones de CO y HC ^{ndir} son del mismo orden, pero las de NOx son mucho mayores en la serie 1 que en la 2 debido a la mayor relación de compresión del vehículo de la serie 2.

Las emisiones de CO y HC disminuyen a medida que aumenta el contenido de Metanol; esto es debido al empobrecimiento de la mezcla carburada.

Las emisiones de NOx aumentan hasta que el contenido de Metanol llega al 15% y en el - 25% empiezan a disminuir, la razón es la misma que en los casos anteriores: empobrecimiento de la mezcla carburada, pues ya sabemos que el máximo de emisiones de NOx se alcanza para una mezcla pobre (ligeramente).

4.2 RENDIMIENTOS

Conociendo los gramos de combustible consumidos en cada Ciclo, y la potencia calorífica inferior del combustible, podemos determinar las calorías consumidas de cada combustible; dividiendo éstas por las calorías consumidas de gasolina, tenemos la relación del consumo calórico de cada mezcla con respecto a la gasolina. Lamando η a este valor, para la gasolina naturalmente valdrá la unidad y para las mezclas puede observarse que es inferior, lo cual indica que el rendimiento aumenta.

Ocurre lo mismo que en los ensayos en el banco motor: el rendimiento aumenta a medida que aumenta el contenido de Metanol, ya que tenemos riquezas más pobres y temperaturas de admisión más bajas.

4.3 TEMPERATURAS EN COLECTORES DE ADMISION Y ESCAPE

En la serie 2 se han colocado termopares en los colectores de admisión y escape, efectuándose un registro de temperaturas a lo largo del Ciclo para cada uno de los combustibles ensayados, la figura 13 representan los registros de la gasolina y de una de las mezclas.

En la fase de aceleración aumenta la temperatura de escape y disminuye la de admisión, en la fase de deceleración ocurre lo contrario. En el relenti se alcanza la temperatura mínima de escape y la máxima de admisión.

Además de las temperaturas máximas y mínimas se han calculado las temperaturas medias planimetrando el área descrita por la temperatura, y con todos estos valores se ha confeccionado la tabla 2.

Pasar de una temperatura de admisión de 40.5°C (gasolina) a otra de 25.5°C (5B 25M 10C 60T) puede acarrear un incremento de potencia del orden de un 2.5%:

$$\left(\frac{273 + 40.5}{273 + 25.5} \right)^{0.5} = 1.0248$$

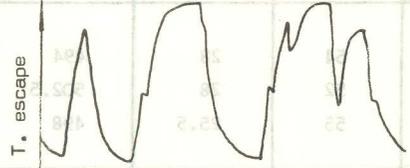
5 LIMITES DE FUNCIONAMIENTO

En la figura 14, la zona rayada es la óptima para las mezclas cuaternarias objeto de este estudio, para el buen funcionamiento del motor. Dicha zona está limitada por cinco líneas que son debidas a los límites de funcionamiento propiamente dichos y a los límites impuestos de an

| ESCAPE | | ADMISION | | T | C | M | 102 |
|------------------|------------------|------------------|------------------|---|----|---|-----|
| T _{med} | T _{max} | T _{min} | T _{med} | | | | |
| 613.2 | 758 | 303.2 | 59.2 | 0 | 10 | 2 | 12 |
| 653 | 734 | 303.2 | 59.2 | 0 | 30 | 2 | 12 |
| 679 | 730.2 | 303.2 | 59.2 | 0 | 40 | 2 | 12 |
| 696.2 | 713 | 303.2 | 59.2 | 0 | 50 | 2 | 12 |
| 694 | 704.2 | 303.2 | 59.2 | 0 | 60 | 2 | 12 |
| 698 | 700.2 | 303.2 | 59.2 | 0 | 70 | 2 | 12 |
| 693 | 700.2 | 303.2 | 59.2 | 0 | 80 | 2 | 12 |
| 693 | 700.2 | 303.2 | 59.2 | 0 | 90 | 2 | 12 |



Gasolina 96
 $T_{max} = 56^{\circ}C$
 $T_{min} = 24^{\circ}C$
 $T_{med} = 40,5^{\circ}C$



$T_{max} = 700,5^{\circ}C$
 $T_{min} = 494^{\circ}C$
 $T_{med} = 593^{\circ}C$

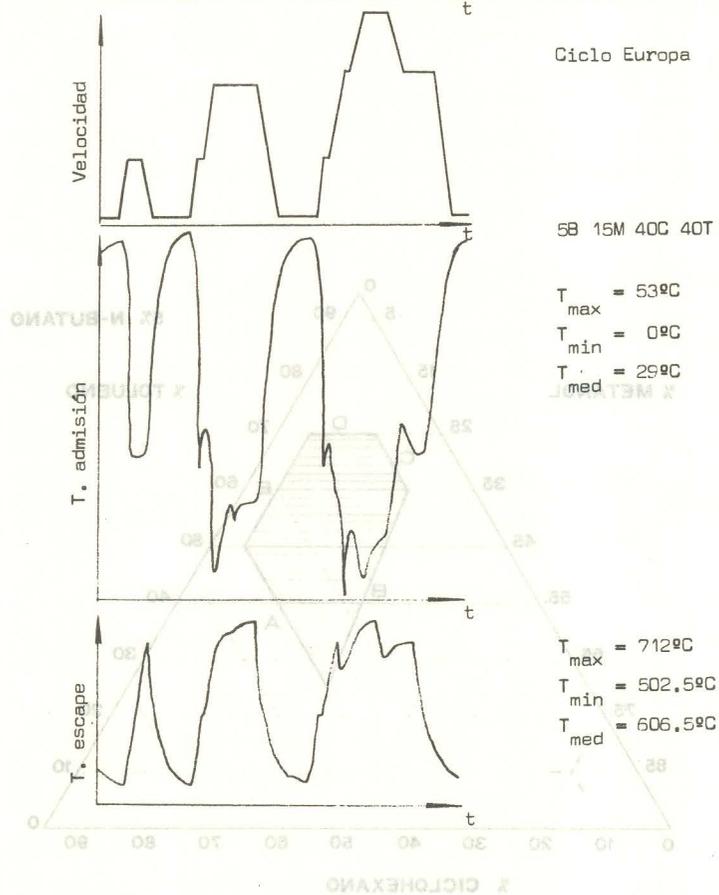


FIG. 13. VARIACION DE LAS TEMPERATURAS EN LOS COLECTORES DE ADMISION Y ESCAPE A LO LARGO DEL CICLO EUROPA. SERIE 2.

TABLA 2. TEMPERATURAS EN LOS COLECTORES EN EL CICLO EUROPA.

| B | M | C | T | AMISION | | | ESCAPE | | |
|-------------|----|----|----|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | | T _{min} | T _{max} | T _{med} | T _{min} | T _{max} | T _{med} |
| Gasolina 96 | | | | 24 | 56 | 40.5 | 494 | 700.5 | 593 |
| 5 | 5 | 40 | 50 | 0 | 55 | 34 | 494 | 700.5 | 598 |
| 5 | 5 | 30 | 60 | 3.5 | 55 | 34 | 498 | 704.5 | 604 |
| 5 | 5 | 20 | 70 | | 56.5 | | 507 | 704.5 | 604 |
| 5 | 15 | 40 | 40 | 0 | 53 | 29 | 502.5 | 712 | 606.5 |
| 5 | 15 | 30 | 50 | 0 | 54 | 30.5 | 502.5 | 720.5 | 619 |
| 5 | 15 | 20 | 60 | 0 | 52 | 27 | 502.5 | 724 | 623 |
| 5 | 15 | 10 | 70 | 0 | 53 | 29.5 | 502.5 | 728 | 613.5 |
| | | | | | | | | | |
| 5 | 25 | 30 | 40 | -2 | 54 | 28 | 494 | 708.5 | 597 |
| 5 | 25 | 20 | 50 | 3.5 | 52 | 28 | 502.5 | 716 | 610.5 |
| 5 | 25 | 10 | 60 | 0 | 55 | 25.5 | 498 | 720.5 | 606.5 |

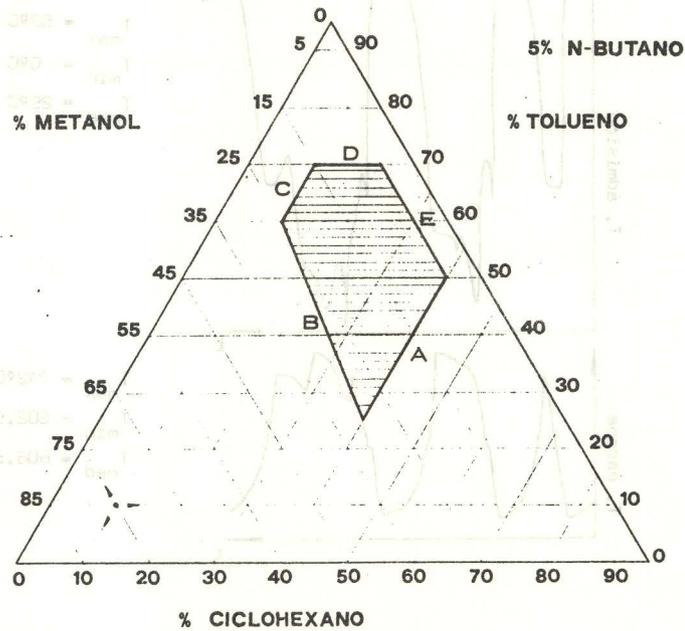


FIGURA 14. ZONA DE UTILIZACION DE LAS MEZCLAS.

temano por obtenerse mezclas no deseadas.

- Límites de funcionamiento.

A : por debajo de esta línea el índice de Octano Motor es inferior a 82 y el motor puede detonar.

B : a la izquierda de esta línea la relación estequiométrica es inferior a 12 por lo que da riquezas que hacen irregular el funcionamiento del motor.

- Límites impuestos.

C y E : ir más allá de estas líneas haría casi desaparecer uno de los componentes principales (Ciclohexano o Metano) obteniéndose una curva de destilación no deseable.

D : más arriba de esta línea, el Tolueno aumenta en una proporción considerada excesiva (superior al 70%) obteniéndose una densidad muy elevada.

6 CONCLUSIONES

Las conclusiones que pueden sacarse del trabajo se resumen así:

1. Posibilidad de formar con mezclas cuaternarias un combustible que se adapte a las exigencias del motor y vehículo.
2. Una marcada influencia del Metanol en la Curva de Destilación.
3. Los índices de Octano Research y Motor pueden obtenerse de forma muy aproximada por unas fórmulas empíricas que se han encontrado.
4. Posibilidad de obtener sin aditivos Índices de Octano Research muy elevados aunque la Sensibilidad también aumenta puesto que los Índices de Octano Motor no son muy altos. El Delta - Research es generalmente muy bajo.
5. Prácticamente la misma dispersión de la presión máxima de combustión en distintos cilindros que con gasolinas convencionales.
6. Aumento de los rendimientos en motor y vehículo con el Metanol.
7. Las emisiones de CO y HC dependen de la riqueza de la mezcla y disminuyen al hacerlo ésta (al aumentar el contenido de Metanol).
8. Las emisiones de NO_x aumentan con la riqueza al disminuir ésta, pasando por un máximo a un 15% de Metanol.
9. Las temperaturas de admisión bajan debido al contenido de Metanol, y las temperaturas de escape suben ligeramente debido a la disminución de la riqueza.

NOMENCLATURA

| | |
|---|--|
| A/F _c : relación aire-combustible calculada | tion detector". |
| A/F _e : relación aire-combustible estequiométrica | HC _{ndif} : hidrocarburos según "non dispersive infrared" |
| A/F _r : relación aire-combustible real | IOM : índice de octano motor. |
| B : butano | IOR : índice de octano research. |
| C : ciclohexano | L : Límite de inflamación de la mezcla |
| C/H : relación carbono-Hidrógeno en peso | M : metanol |
| c : calor específico | m : caudal másico |
| C _e : consumo específico | NO _x : óxidos de nitrógeno |
| C _v : calor latente de vaporización | n _p /n _o : expansión molar |
| f : presión parcial del combustible en fase vapor | P : presión |
| HC : Hidrocarburos | PCI : potencia calorífica inferior |
| HC _{fid} : hidrocarburos según "flame ionization detector" | PCS : potencia calorífica superior |
| | PM : peso molecular |

| | | | |
|------------------|---|------------|-------------------------|
| r | : riqueza | Y | : H/C molar |
| S | : sensibilidad | z | : O/C molar |
| T | : tolueno, temperatura | ΔR | : delta research |
| t | : tiempo | h_T | : rendimiento total |
| TVV _T | : tensión de vapor verdadera a la temperatura T | ν | : Viscosidad cinemática |
| TVR | : tensión de vapor Reid | ρ | : densidad |
| V | : volumen | σ | : tensión superficial |
| V/L _T | : relación vapor-líquido a la temperatura T | | |

BIBLIOGRAFIA

1. American Petroleum Institute Research Project 44 (1.952): Selected values of physical and thermodynamic properties. Carnegie Press.
2. American Society for Testing and Materials (1.974): Standard specifications for automotive gasoline. Part 23, D-439, 222-234.
3. Anderson, P.C., Sharkey, J.M., and Walsh, R. P. (1.972): Calculation of the Research Octane number of the motor gasolines from gas chromatographic data and a new approach to motor gasoline quality control. Journal of the Institute of Petroleum. Vol. 58, n°560, 83-94.
4. Bolt, J. A., Derezincki, S. J., and Harrington, D. L. (1.971): Influence of fuel properties on metering in carburetors. Paper SAE n°710207.
5. Bundesministerium für Forschung und Technologie. (1.974): Neuen Kraftstoffen auf der Spur. Bonn.
6. Durier, Y. (1.971): Caracteristiques des carburants et combustibles et leur influence sur le fonctionnement des moteurs. Ed. Technip, IFP, Paris.
7. Duval, A., Guibet, J.C., (1.971): Contribution a l'étude du préallumage dans les moteurs d'automobiles. Rev. Ingenieurs de l'Automobile. N°8-9, 403-428.
8. Eltinge, L. (1.968): Fuel-air ratio and distribution from exhaust gas composition. - Paper SAE n°680114.
9. Ellis, J.C. (1.972): Future automotive fuels. Rev. Automotive Engineering, vol. 80, n°6, 36-41.
10. Eyzat, P. and Guibet, J.C. (1.976): Comportement des carburants sur moteurs. Rev. ingenieurs de L'Automobile, Sept. 1.976, 407-417.
11. Francis, W. (1.965): Los combustibles y su tecnología. Ed. Urmo, Bilbao.
12. Ghezzi, U., Ortolani, C. (1.976): Determinazione del rapporto di miscela in base all'analisi dei gas di scarico nei motori a due ed a quatro tempi. Rev. La Termotecnica, Vol. XXX, n°12, 633-641.
13. Goodeger, E.M. (1.975): Hydrocarbon fuels. Mac Millan Press, Londres.
14. Harrington, J. A. and Shishu, R.C. (1.973): A single cylinder engine estudy of the effects of fuel type, fuel stoichiometry, and hidrogen to carbon ratio on CO, NO and HC exhaust emissions. Paper SAE n°730476.
15. Holl, W.H. (1.973): Variables for emission test data analysis. Paper SAE n°730533.
16. Ingamells, J. C. and Lindquist, R.H. (1.975): Another look at methanol. Rev. Automotive Engineering, Vol. 83, n°4, 39-44.
17. Johnson, R.T. (1.974): Energy and synthetic fuels for transportation: A summary. Paper SAE n°740599.
18. Johnson, R.T. and Riley, R.K. (1.976): Single cylinder spark ignition engine study of the octane, emissions, and fuel economy characteristics of methanol-gasoline blends. Paper SAE n°760377.
19. Khovakh, M. (1.976): Motor vehicle engines. Ed. Mir, Moscu.
20. Lange, K. (1.976): A procedure of calculating the A/F based on exhaust emission components. Rev. MTZ, Vol. 37, n°5, 75-77.
21. Lee, W., Konig, A. and Bernhard, W. (1.976): Tests with methanol and gasoline-methanol blends. Rev. MTZ, Vol. 37, n°5, 181-186.
22. Lee, W. and Reders, K.H. (1.976): Laboratory and road tests with methanol-gasoline mixtures. Rev. ATZ, Vol. 78, n°11, 499-501.
23. Lestz, S. S. and Meyer, W.E. (1.976): Toward ultralean operation. FISITA, XVI Congress, Tokyo.
24. Levine, D. G. and Longosz, E. J. (1.972): Future gasoline quality. Rev. Automotive Engineering, Vol. 80, n°11, 17-21.
25. Lichty, L.C. (1.967): Procesos de los motores de combustión. Ed. del Castillo, Madrid.
26. Mecanismos de formation et moyens de reduction des polluants dus a la combustion. Ed. Technip, (1.973), Paris.

27. Menrad, H., Lee, W. and Bernhardt, W. (1.977): Development of a pure methanol fuel car. Rev. Automotive Engineering, Vol. 85, n°12, 49-51.
28. Ministerio de Industria (1.975): Características, calidades y condiciones de empleo de los combustibles y carburantes. B.O.E. n°225, 19861-19867.
29. Ninimiya, J. S., Golovoy, A. and Labans, S. S. (1.970): Effect of methanol on exhaust composition of a fuel containing toluene, n-heptane, and isooctane. Journal of the air pollution control association, Vol. 20, n°5, 314-317.
30. Nouven, A. (1.971): La carburación. IFP, Ed. Technip, Paris.
31. Oblander, E. H. K., Abtnoff, J. and Nagel, A. B. (1.976): Methanol as alternative fuel for Otto engines. Rev. ATZ, Vol. 78, n°3, 113-114.
32. Reglitzky, A. (1.976): Hot weather gasoline specifications for european cars. Rev. MTZ, Vol. 37, n°5, 197-202.
33. Sieg, L. (1.950): Flüssigkeit-Dampf-Gleichgewichte in binaren Systemen von Kohlenwasserstoffen verschiedenen Typs. Rev. Chem. Ing. Technik, Vol. 22, n°15, 322-326.
34. Simanaitis, D. J. (1.977): Emission test cycles around the world. Rev. Automotive Engineering, Vol. 85, n°8, 34-43.
35. Sirtori, S., Garibaldi, P. ed Vicenzetto, F. A. (1.974): Calcolo delle caratteristiche di combustione delle benzine in base alla loro composizione. Rev. ATA, Jul. 1.975, 320-333.
36. Vaerman, J. Labofina (1.976): Octane requirement of recent cars models and influence of gasoline composition. III Congress AGELFI European Automotive Simposium.
37. Van Tiggelen, A. (1.968): Oxydations et combustions. IFP, Ed. Technip, Paris.
38. Weissmann, J. (1.970): Carburants et combustibles pour moteurs a combustion interne. IFP, Ed. Technip, Paris.
39. Wigg, E. E. and Lunt, R. S. (1.974): Methanol-gasoline blends: how promising are they?. Rev. Automotive Engineering, Vol. 82, n°12, 38-42.
40. Wuithier, P. (1.971): El petróleo, refino y tratamiento químico, IFP, Ed. Cepsa.
41. Yoshida, M., Tsuruga, T., Iwal, N.m Kobayashi, S. and Suto, H. (1.976): A study on the automotive engines for Water-methanol blends. FISITA, WVI Congress, Tokyo.

NOTA: El presente trabajo es el resumen de una tesis Doctoral realizada en el Laboratorio de Motores Térmicos de la E.T.S.I.I.B. y dirigido por el Profesor Enrique Freixa Pedrals. Algunos ensayos se han efectuado en las empresas SEAT y SOLEX.