

Efectos de la variación de la relación F/A sobre el desarrollo de presión en el interior del cilindro de un MECH

F/A variation effects on SI engine in cylinder pressure development

J. O. Araque M.

Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, ULA
Mérida 5101, Venezuela
jaraque@ing.ula.ve

K. Dager

Industrias Free Way
Mérida 5101, Venezuela
kdager@mipunto.com

J. P. Ricciardi

DIALCA C.A
paor Ricci@telcel.net.ve

Resumen

Se realizó un trabajo de investigación, con la finalidad de conocer los efectos que produce la variación de la riqueza de la mezcla combustible-aire (ϕ), sobre el desarrollo de la presión en el interior del cilindro de un motor de gasolina. Para esta investigación se utilizó un motor CFR monocilindrico de encendido por chispa, trabajando a velocidad constante, y manteniendo constante el ángulo de avance de encendido en 10° , variando la riqueza de la mezcla entre 0.88 y 1.33. Para la medición de los datos de presión se empleó un sensor piezoeléctrico montado en la cámara de combustión, el cual envía las señales de voltaje correspondiente a la presión dentro del cilindro hacia un sistema de adquisición de datos. El análisis de los datos permite observar como el funcionamiento del motor mejora en la medida que se alcanzan valores de riqueza cercanos a la mezcla estequiométrica ($\phi = 1.00-1.05$), con lo cual se obtienen mayor presión, mejor desarrollo de potencia y menor dispersión cíclica.

Palabras claves: Sistema de adquisición de datos, presión media indicada, motor de combustión interna alternativo, motor de encendido por chispa, punto muerto inferior, punto muerto superior, presión máxima, instrumento virtual, cuatro tiempos, transductor piezoeléctrico.

Abstract

An experimental work was done to know the effects of the equivalence ratio variations (ϕ) on a gasoline engine in cylinder pressure development. During this experiment a one cylinder, spark ignition CFR engine was used, running at constant speed, maintaining a 10 degree spark advance and firing the engine from 0.88 to 1.33 equivalence ratios. A piezoelectric transducer mounted on a combustion chamber was utilized to read the cylinder pressure and send it to the acquisition system. The analysis of the pressure data allowed to see how the engine operation improves at the time the fuel air equivalence ratio reaches the unity ($\phi = 1.00-1.05$), getting greater cylinder maximum pressure values, better power development and much less pressure cyclic variation.

Key words: Data acquisition system, indicated mean pressure, alternative internal combustion engine, spark ignition engine, bottom dead center, top dead center, maximum pressure, virtual device, four strokes, piezo electric transducer.

1 Introducción

En la actualidad se han logrado progresos significativos para mejorar el aprovechamiento de la energía del combustible en Motores de Encendido por Chispa (MECH), que sin duda alguna han representado mejoras en la eficiencia térmica. En lo referente al proceso de combustión los mayores problemas están asociados a su característica inestable y dinámica. La variación cíclica de la presión durante el proceso de combustión es bien conocida (Obert, 1968; Jójavaj, 1982); si se pudiera controlar, los MECH tendrían un mayor rendimiento económico y una potencia de salida estable. Esto significaría un incremento de un 10% á 20% en su eficiencia, y una reducción muy importante de elementos contaminantes en los gases de escape (Arnone y otros, 1997).

Se ha comprobado en anteriores estudios (Araque y col, 1999), que la fluctuación de la potencia de salida de un motor está íntimamente relacionada con el hecho de que la combustión no se desarrolla de igual forma en cada ciclo en un cilindro dado, y que a menudo se producen diferencias consistentes entre los cilindros, considerando que el cambio de composición de la mezcla de trabajo es el factor que más influye sobre tales irregularidades. Esta variación en la composición de la mezcla depende de factores como: dosificación del combustible y aire, variación del grado de turbulencia, etc.

Este trabajo está orientado a demostrar experimentalmente el efecto de la variación de la composición de la mezcla combustible/aire de un MECH sobre la presión en el interior del cilindro y las consecuencias que estas variaciones producen sobre el rendimiento del mismo. Los resultados de este estudio muestran que realmente la variación de riqueza modifica en gran medida el comportamiento $p-\phi$, y por ende esto afecta el aprovechamiento del calor del combustible.

2 Medición de presión

Para ello se utilizó un motor de combustión interna alternativo (tipo ASTM-CFR), de un solo cilindro con relación de compresión de 8.5; un carburador sin válvula mariposa y con tres depósitos, con tornillo ajustable individualmente para variar la riqueza de la mezcla.

El motor CFR está conectado a un sistema hidráulico, de 30 HP, que se utiliza como sistema de arranque y frenado. El banco de ensayo está dotado de un sistema de adquisición de datos (ADQDA) para realizar toma de datos de presión en el cilindro del motor, mediante un sensor piezoeléctrico (PCB, 1998) que toma la señal de presión y la envía a los terminales de entrada de la tarjeta de ADQDA.

El equipo que forma parte del sistema ADQDA está constituido por una tarjeta de ADQDA (AT-MIO-16E1), construida por National Instruments (NI) conectada a un

computador PC y manejada por medio del software LAB VIEW de NI. Para la toma de datos de presión en el cilindro del motor se necesita una referencia (Greene, 19;Calderón, 1997) respecto al eje el motor y una señal de excitación para iniciar la toma de datos. Para ello es necesario colocar un sensor de tipo magnético en el volante del motor o en el árbol de levas de manera que con la rotación del eje se consiga una señal que se pueda colocar en fase con la señal de presión. Se utilizó el sensor magnético para iniciar la toma de datos cuando el pistón se ubicará justo en la posición PMI, al principio de la carrera de admisión.

3 Metodología

El experimento fue diseñado para hacer lectura de presión en el cilindro de un motor 4T, CFR de encendido por chispa (ASTM, 1993), trabajando con gasolina y con relación de compresión de 8.5. Para este estudio el motor fue puesto a trabajar a 1000 RPM. Para la configuración de motor con carburador existente en este ensayo se realizaron varias pruebas, a fin de determinar el ángulo de avance que asegurara un funcionamiento con combustión libre de golpeteo, encontrándose que el ángulo de avance al encendido debe ser 10° antes del PMS. Los datos de presión fueron tomados usando un sensor piezoeléctrico enfriado por agua y colocado en la cámara de combustión en el lado opuesto a la bujía.

La señal detectada por el transductor fue amplificada y luego enviada al sistema de adquisición de datos. La señal de variación de presión junto con la señal de excitación (referencia para la toma de datos) proveniente del sensor magnético, montado próximo al eje del árbol de leva fueron procesadas por la tarjeta de adquisición de datos mediante un instrumento virtual, diseñado para adquirir datos cuando la señal de excitación lo indicara, y luego almacenarlos en un archivo.

Para llevar a cabo el experimento se varió la riqueza de la mezcla de trabajo entre 0.88 y 1.33. Estas variaciones se lograron empleando un carburador de tres depósitos con altura ajustable. Al desplazar en sentido vertical el depósito seleccionado, éste varia la dosificación de la gasolina al venturi del carburador. Este carburador no posee válvula de mariposa por lo que la cantidad de aire que aspira a unas RPM dadas es aproximadamente constante. Cada depósito tiene un cilindro visor calibrador, por medio del cual es posible medir el flujo volumétrico de combustible V_c . Utilizando la densidad de la gasolina se determinó el consumo másico de combustible como se indica en la Ec. (1):

$$m_c = \rho_c V_c \quad (1)$$

donde m_c : consumo másico de combustible

ρ_c :densidad del combustible

V_c :flujo volumétrico de combustible

Para medir el flujo másico real de aire m_{ar} , se utilizó la presión de vacío a la entrada de la válvula de admisión. La variación de la temperatura en la admisión fue medida para calcular la densidad del aire a la entrada. Usando estos datos reales se calculó la masa que llena el cilindro del motor a partir de las Ec. (2) y (3):

$$\tilde{n}_r = \frac{P_{adm}}{RT_{adm}} \quad (2)$$

$$\dot{m}_{ar} = \tilde{n}_r V_d \frac{n}{30j} \quad (3)$$

donde ρ_r : densidad del aire en la admisión

P_{adm} : presión del aire en la admisión

R : constante de los gases

T_{adm} : temperatura del aire en la admisión

m_{ar} : flujo másico real de aire

ρ_r : densidad del aire

V_d : volumen desplazado

n : RPM

j : tiempos del motor

Con el ajuste del nivel de los depósitos del carburador, para las diferentes riquezas, las RPM eran modificadas y por lo tanto para mantener la velocidad del motor en 1000 RPM se hizo necesario aumentar o disminuir la carga (según fuera el caso). Con cada ajuste era necesario esperar un tiempo para que el motor se estabilizara antes de la siguiente toma de datos.

4 Resultados y discusión

4.1 Análisis de resultados basados en el desarrollo del diagrama p-t.

En la Fig. 1 se observa el efecto que tiene la composición de la mezcla en el desarrollo del proceso de combustión; se presenta un ciclo promedio correspondiente a cada riqueza. Se observa que la influencia de mezclas muy pobres ($\phi = 0.88$) y muy ricas ($\phi = 1.33$) sobre el crecimiento de presión es muy similar, inclusive los valores de p_{max} son aproximadamente iguales. Por otro lado la tendencia general del diagrama p- ϕ presenta mucha similitud.

En el gráfico los valores mas elevados de presión se consiguen para valores de riqueza ligeramente por encima del valor teórico. En comparación con el comportamiento p- ϕ de mezclas sobreempobrecidas o sobreenriquecidas se observa en éstos una tendencia mas acelerada en el crecimiento de la presión (mayor $dp/d\phi$) con presiones máximas mayores y menor redondeamiento en el diagrama, tendencia ésta que corresponde con la observada por muchos autores. Estos resultados prueban que la

máxima potencia que se alcanza en MECH esta alrededor de $\phi = 1.06$.

En Heywood se señala que este valor debe estar entre $\phi = 1.01$ y $\phi = 1.08$. Se infiere de estos resultados que el empleo en el motor de mezclas más pobres o ricas ocasiona problemas de combustión relacionados con la disminución de la velocidad de propagación de la llama, lo que debe aumentar la duración del proceso de combustión. Lo anterior explica la tendencia redondeada de los diagramas de presión mencionada en el párrafo anterior.

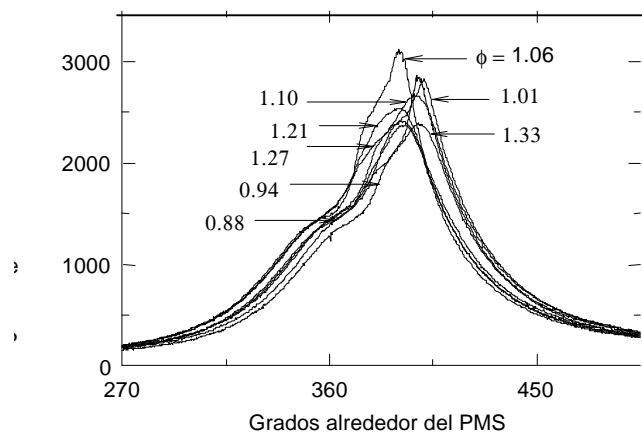


Fig. 1. Variación de la presión en el cilindro del motor en función de la riqueza

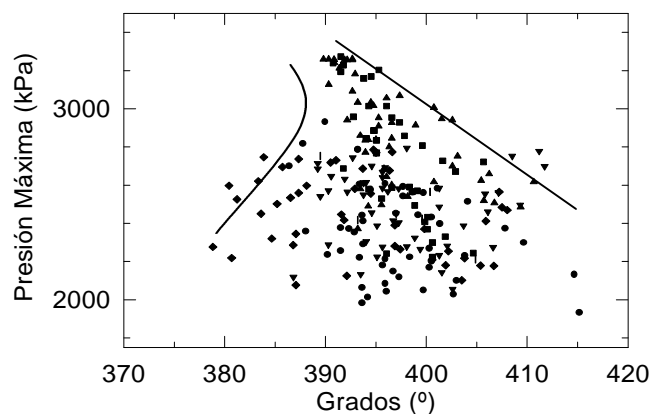


Fig. 2. Variación de la presión máxima y su ángulo de ocurrencia en función de la riqueza

La Fig. 2 muestra como el proceso de combustión mejora (máximas presiones, menor dispersión) en la medida en que el motor consume mezclas con ϕ cercanas a 1.0. Al estudiar los puntos de presión máxima y su respectivo ángulo para diferentes composiciones de mezcla desde $\phi = 0.88$ (mezcla pobre) hasta $\phi = 1.33$ (mezcla rica), se observa como los puntos correspondientes a las presiones máximas tienden a ubicarse en la parte baja de diagrama y con una distribución muy dispersa con respecto al PMS; a medida que la mezcla alcanza relaciones de riqueza estequiométrica, los puntos de presión máximo no solo se elevan y alcanzan máximos valores de presión, sino que presentan menor dispersión con respecto al PMS, lo

cual sucede gracias al comportamiento óptimo de la combustión dentro del cilindro para dicha composición de mezcla.

5 Conclusiones

Existe una marcada dispersión cíclica de la presión ciclo a ciclo en el cilindro de MECH, la cual está afectada principalmente por la variación de la composición de la mezcla aire/combustible (Krieger y otros, 1975), y se puede apreciar que esta dispersión disminuye a medida que la riqueza de dicha mezcla se aproxima a su valor estequiométrico.

Como consecuencia de lo anterior, el crecimiento de la presión respecto al ángulo de giro ($dp/d\phi$) aumenta en aquellos ciclos correspondientes a mezclas cercanas a la estequiométrica.

La dispersión cíclica de la presión en el cilindro es mucho más marcada para las condiciones de riqueza de mezcla lejana a la estequiométrica. Se observa que este comportamiento es muy similar para mezclas muy ricas y muy pobres y con mayor dispersión respecto al caso de riqueza óptima.

El trabajo con mezcla estequiométrica conlleva a un aumento de la velocidad del proceso de combustión, lo que infiere una mayor velocidad de propagación de la llama y por lo tanto una mayor potencia producida.

Es indispensable tener en cuenta que la señal de referencia proveniente del sensor magnético para definir los grados de giro del cigüeñal al que corresponde cada dato de presión debe ser confiable pues indica el inicio de la toma de datos, un desfase muy grande de la presión máxima respecto al PMS puede dar una idea errónea respecto al desarrollo del proceso de combustión y no debido a errores

en la referencia

Es recomendable mejorar la metodología para la medición del consumo de aire real, pues de esta forma se garantiza que los valores leídos de composición de mezcla corresponden a los correctos.

Referencias

- Araque J, Fygueroa S y Martín M, 1999, Evolución de la combustión en un motor de encendido por chispa, III Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica - I Congreso Bolivariano de Ingeniería Mecánica. Mérida, Venezuela.
- Arnone CM y Rodríguez T, 1997, Estudio de la variación de presión máxima dentro del cilindro de un motor CFR de gasolina, Proyecto de grado de Ingeniería Mecánica, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- ASTM Standards, 1993, Petroleum products, lubricants and fossil fuels, Sección 5, Volumen 05.04.
- Calderón VJ, 1997, Sistemas de adquisición de datos con un PC, Gibie-ULA, Departamento de circuitos y medidas, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Greene AB y Lucas GG, The testing of internal combustion engines.
- Heywood JB, 1998, Internal combustion engine fundamentals, Editorial McGraw - Hill.
- Jóvaj MS, 1982, Motores de automóvil, Editorial Mir.
- Krieger R, Lancaster D y Lienesch J, 1975, Measurement and analysis of engine pressure data, SAE paper N° 750026.
- National Instruments, 1998, Instrumentation catalogue.
- Obert FE, 1968, Internal combustion engines, Tercera edición, Pennsylvania, USA.
- PCB, 1998, Engine combustion sensor - Operator's manual.