

Desgaste en un motor de encendido por chispa en condiciones de arranque y calentamiento usando gasolina y gas natural como combustible

Wear in a gasoline and natural gas spark ignition engine during starting and warming up conditions

H. Espinoza*, T. Antonio y M. Caraballo

Centro de Termofluidodinámica y Mantenimiento (CTYM). Instituto de Investigación y Desarrollo Anzoátegui, Universidad de Oriente, Puerto La Cruz., Venezuela. Fax: 0281-2676885.

* hespinoz@ci.udo.edu.ve

Resumen

Se presenta los resultados de un estudio experimental de comparación del desgaste en un motor de 1,3 litros usando gasolina y gas natural para vehículos (GNV). El desgaste se midió a partir del análisis del lubricante por espectrometría de emisión durante un lapso de 100 horas de ensayo. El estudio se realizó en banco de prueba de laboratorio con un motor con escasas horas de funcionamiento y en condiciones de operación controladas para que la velocidad de desgaste fuese normal. El procedimiento de arranque y calentamiento consistió en encender el motor sin carga y velocidad de ralentí y dejarlo operando hasta que la temperatura de salida del refrigerante se estabilizara, luego se dejaba operando por 15 minutos más en la velocidad de ralentí y se apagaba dejándolo que se enfriara para proceder con un nuevo ciclo de operación. Las muestras se tomaron a través del medidor de nivel de lubricante. Se tomaron muestras de aceite (5 ml.) cada 5 horas de funcionamiento y (100 ml) cada 20 horas. Los análisis espectrométricos se realizaron cada 5 hora de operación acumulada. Los resultados medidos se corrigieron para tomar en cuenta el efecto de la variación del volumen por la muestra tomada. Las velocidades de desgaste se calcularon utilizando el modelo de velocidad constante para sistemas con fuga y añadidos, desarrollado por Espinoza. El estudio del desgaste se basó en el análisis de las concentraciones de hierro, plomo, cobre, estaño, aluminio, y sílice. Los resultados demuestran que la velocidad de desgaste del Fe, Pb, Cu y Al es menor utilizando GNV en comparación con la gasolina en porcentajes de 191.59%, 471.50%, 162.96% y 192.79%, respectivamente, mientras que el Si fue superior en la gasolina con respecto al GNV en 8.56%.

Palabras claves: Desgaste, motores de encendido por chispa, motor dual, gas natural, análisis de aceite .

Abstract

The results of an experimental study of comparison of the wear in a 1.3 litres engine using gasoline and natural gas for vehicles (GNV). The wear evaluated from the analysis of the lubricant by emission spectrometry during a lapse of 100 hours of test is presented in this paper. The study was made in a laboratory engine rig with little running hours and in controlled conditions of operation in order to obtain normal rate of wear. The procedure of starting and warming consisted of igniting the motor without load and operated it until the temperature of exit of the coolant became stabilized maintaining minimum operation speed. Next of this condition the engine was left operating by 15 minutes more at the minimum operation speed. At this time the engine was turn off leaved to cool, before beginning with a new cycle of starting and warming. The samples were taking through the oil level gauge. Oil samples of 5 millilitres were taken every 5 running hours and of 100 millilitres every 20 hours. The spectrometric analyses were made every 5 hours of accumulative time. The measured results were corrected to take into account the effect of oil volume variation for the taken sample. The speed of wear was calculated using the model of constant speed of wear for systems with lost and oil added developed by Espinoza. The study of the wear was based on the analysis of the concentrations of iron, lead, copper, tin, aluminum, and silica. The results demonstrate that the speed of wear of the Fe, Pb, Cu and Al is smaller using GNV than gasoline in percentage of

191,59%, 471,50%, 162,96% and 192,79%, respectively, whereas the Si concentration was 8.56% superior in gasoline respect to GNV.

Key words: Wear, spark engine, dual engine, gas natural, used oil analysis.

1 Introducción

El gas natural ha sido ampliamente utilizado como combustible alternativo a la gasolina en los motores de combustión interna (Rousseau et al, 1999). Diversos estudios ha demostrado las ventajas del uso del gas natural como sustituto de los combustibles líquidos por las reducciones en las emisiones de contaminantes y los bajos costos (Varde y Patro, 1995)(Hanaki,1996). En cuanto al desgaste, Beck et al (1997) realizaron una investigación sobre el desempeño, durabilidad del motor y análisis de vida del aceite en un motor de inyección piloto de gas natural durante 1000 horas, sometiendo el motor a cuatro velocidad constantes diferentes durante el tiempo de prueba, llegando a la conclusión que el motor dual (Diesel-gas) podría experimentar una larga vida de operación, extender los intervalos de servicios, y reducir los costos por servicio de los cambios de aceite comparado con un motor Diesel. Han realizado pocos trabajos específicos donde se estudie el desgaste del motor dual en condiciones específicas de funcionamiento, por lo que se requiere más investigación sobre el desgaste del motor gas natural

Rigaux (1961), Pérez (1976), Espinoza (1990, 1995) y otros autores han desarrollado modelos de corrección que tomen en cuenta los factores que afectan las concentraciones medidas produciendo errores en la evaluación del desgaste del motor, como fugas y añadidos de aceite, retención del filtro de aceite y capacidad de detección del equipo de medida.

En el presente trabajo se presentan un trabajo realizado para estudiar el desgaste de motores duales gasolina-gas natural en condiciones de arranque y calentamiento, midiéndose el desgaste indirectamente por análisis de la contaminación del aceite por las partículas de desgaste del motor y utilizando la técnica de espectrometría de emisión. La justificación del presente método se basa en que la velocidad de desgaste del expresada en miligramos de material por unidad de tiempo es igual a la velocidad de contaminación del aceite, siempre que no haya aporte externo, tal como lo define Espinoza (1990).

2 Descripción de la instalación experimental

Banco de prueba esta conformado por un motor de combustión interna con alimentación de combustible dual (gasolina- gas natural) y un freno Dinamómetro tipo Eddy Current (figura 1). El motor tiene las siguientes especificaciones: modelo Toyota 2E, 4 cilindros en línea. 1296cc de cilindrada, diámetro del pistón: 73 mm, Carrera: 77.4 mm, Potencia Máxima: 72 Hp, Torque máximo: 101 NM alimentado mediante carburador dos bocas para

gasolina con mezclador de gas natural colocado encima.

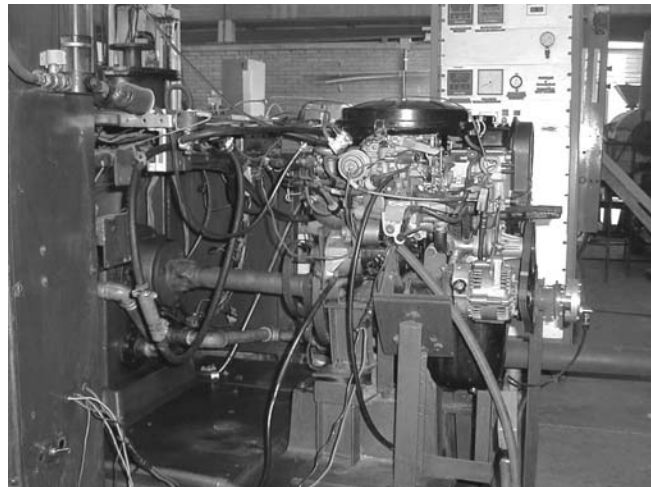


Fig. 1 Banco de prueba

3 Metodología utilizada

3.1 Preparación del motor para funcionamiento con cada combustible

Antes de iniciar las pruebas se realizaba el cambio de aceite, filtro de aceite, filtro de aire y bujías. Se entonaba el motor para garantizar que cumpliera con todas los requerimientos establecidos por el fabricante y su funcionamiento fuese estable. Se utilizo como lubricante aceite comercial SF, SAE 20W-50, con TBN 7.

3.2 Procedimiento de prueba de arranque y calentamiento

El procedimiento de arranque y calentamiento consistió en encender el motor sin carga y velocidad de ralenti y dejarlo operando hasta que la temperatura de salida del refrigerante se estabilizara, luego se dejaba operando por 15 minutos más en la velocidad de ralenti y se apagaba dejándolo que se enfriara para proceder con un nuevo ciclo de operación. Las condiciones de prueba fueron las siguientes:

- Velocidad de Ralenti: 1100 RPM.
- Combustible Utilizado: Gasolina de 91 octanos o GNV dependiendo del ensayo.
- Temperatura de Salida del Refrigerante: 91°C y 89° para GNV.
- Temperatura del Ambiente: 27° a 31° C

- Presión Barométrica: 760 mm de Hg.

Se realizó primero la prueba con el motor usando gasolina y luego gas natural al finalizar la anterior. Para realizarlas comparaciones se realizaron verificaciones para garantizar el funcionamiento del motor sin fallas, el punto de encendido para gasolina se utilizó el recomendado por el fabricante y para gas el establecido por el equipo de conversión en forma automática. Esto ultimo, garantiza que las condiciones son similares a las de los motores en condiciones reales de funcionamiento.

En el estudio se supone que el poco intervalo de tiempo entre una prueba y otra no tiene influencia significativa sobre el desgaste, ya que en ambos caso el motor el motor se encontraba en perfectas condiciones, el aceite utilizado se cambió al inicio de cada prueba. Por lo que no pudo haber cambio de las tolerancias, dimensiones como para establecer que el motor y las condiciones de prueba son diferentes, salvo las establecidas por el sistema de cambio de combustible.

3.3 Técnica de medición indirecta del desgaste

Para el estudio de la velocidad de desgaste se utilizó el análisis de aceite por espectrometría de emisión, debido a su rapidez, gran economía por muestra, no necesita agua ni gases especiales para su refrigeración y sobre todo es fácil de operar. Además, el equipo utilizado puede medir 19 elementos por análisis.

La toma de muestra se realizó a través de la varilla para la medición del nivel de lubricante. Se tomaron muestras de aceite (5 ml.) cada 5 horas de funcionamiento y (100 ml) cada 20 horas. Los análisis espectrométricos se realizaron cada 5 horas. Los resultados medidos corrigieron para tomar en cuenta el efecto de la perdida por la muestra tomada y las velocidades de desgaste se calcularon experimentalmente y con el modelo. Aunque se midieron los 19 elementos, el estudio comparativo se basó en el análisis de las concentraciones de elementos representativos del motor: hierro, plomo, cobre, estaño, aluminio, y silice.

3.4 Corrección de los datos obtenidos por efectos la toma de muestra y añadidos de Aceite.

Tanto la corrección de los resultados de concentración medida para tomar en cuenta el efecto de la pérdida de partículas en la muestra tomada, se utilizó el modelo de velocidad constante para sistemas con fuga y añadidos, desarrollado por Espinoza (1990) expresado por la Ec. 1 para velocidad de contaminación constante, donde $C_m(t)$ es la concentración medida en un instante t , C_{mo} es la concentración medida en el momento del inicio de la prueba, S es el caudal másico de fuga de partículas, Q_a es el caudal de fuga, $m(t)$ es la masa de contaminantes sólidos en el instante t , V_o es el volumen total de lubricante en el cárter, T es el intervalo de tiempo del aceite y Z esta dado

por la ecuación 2. Siendo Q_a igual al flujo promedio de extracción de aceite.

$$C_m(t) = \frac{P}{Z * V_o} \left(C_{mo} - \frac{P}{Z * V_o} \right) Exp^{Z.t} \quad (1)$$

$$Z = \frac{Q_a}{V_o} \quad (2)$$

Una vez calculada la velocidad de desgaste (P) las concentraciones corregidas (C_c) se calculan con la ecuación 3 o 4. La concentraciones corregidas representan el numero de partículas que existieran en el cárter si no hay fugas, añadidos ni filtros en el tiempo t .

$$C_c = C_o + \frac{P}{V_o} (t_2 - t_0) \quad (3)$$

Si t_0 es el instante de cambio del aceite, por lo que es igual a cero, la ecuación anterior queda:

$$C_c = C_o + \frac{P}{V_o} (t) \quad (4)$$

4 Resultados

Analizando los resultados mostrados en la Fig. 2 se puede observar que la velocidad de desgaste del elemento hierro es mayor utilizando gasolina que GNV. El valor de la pendiente para la prueba con gasolina es de $0.84 \mu\text{gr/l}^*\text{h}$ y $0.29 \mu\text{gr/l}^*\text{h}$ para GNV siendo el primer valor 1.96 veces mayor que el primero, por lo tanto existe mayor desgaste de este elemento utilizando gasolina como combustible.

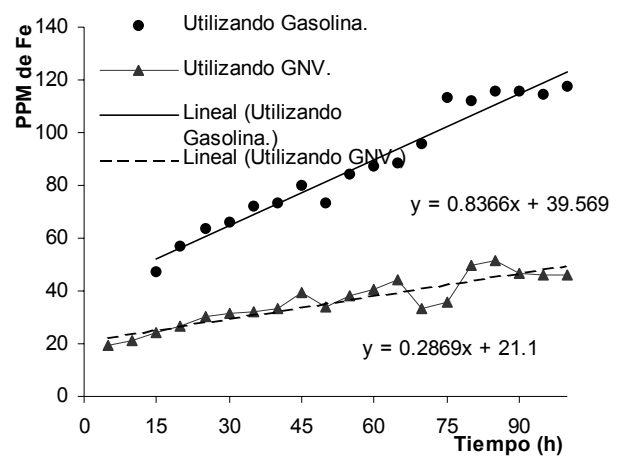


Fig. 2 Comparación de las concentraciones corregidas del Fe en función del tiempo.

En la Fig. 3 se observa claramente una mayor concentración del plomo en función del tiempo del aceite utilizando gasolina. Este exceso también es producido por la trazas de combustible (gasolina con plomo) que pasan, de

la cámara de combustión al cárter, por el efecto del soplado de los humos de una combustión incompleta. La velocidad de desgaste del plomo media para el aceite utilizando gasolina es de $7.48 \mu\text{gr/l}^*\text{h}$ y $1.31 \mu\text{gr/l}^*\text{h}$ para GNV siendo la primera cantidad 4.71 veces mayor.

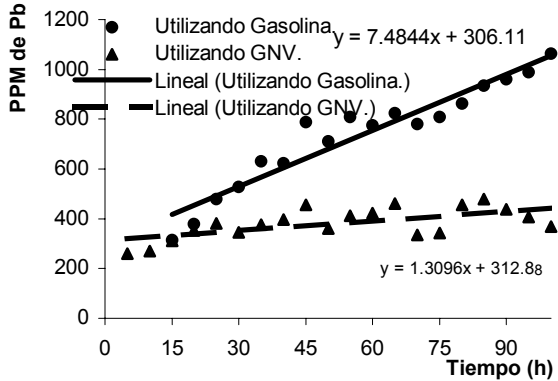


Fig. 3 Comparación de las concentraciones corregidas del Pb en función del tiempo

En el caso del cobre (Fig. 4) también la velocidad de desgaste utilizando gasolina es mayor que utilizando gas natural vehicular como combustible alternativo. La velocidad de desgaste para el caso con gasolina es de $0.0284 \mu\text{gr/l}^*\text{h}$ y $0.0108 \mu\text{gr/l}^*\text{h}$ para el caso con GNV observándose que el primer valor es 1.62 veces mayor que el segundo valor y por lo tanto el desgaste de cobre utilizando GNV es de 162% menor que utilizando gasolina.

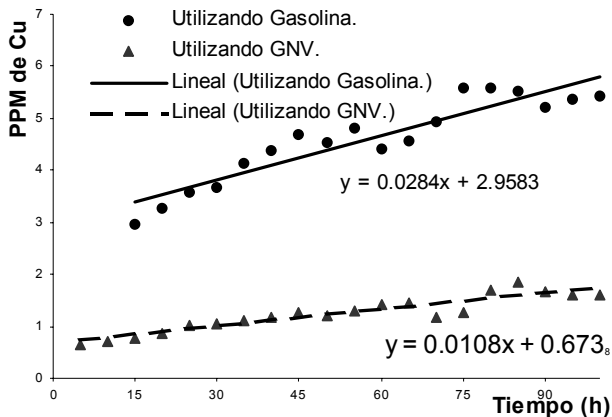


Fig. 4 Comparación de las concentraciones corregidas del Cu en función del tiempo.

Situación similar ocurre con el aluminio donde el desgaste del aluminio utilizando GNV es 192.79% menor que utilizando gasolina. (ver Fig. 5)

En cuanto al desgaste del silicio encontramos que las líneas presentan un paralelismo de tal manera que podemos decir que la contaminación por este elemento se presenta de una manera muy parecida para ambos casos. La pendiente

con gasolina es 0.085 veces mayor que la pendiente de la prueba con GNV.(ver Fig. 6)

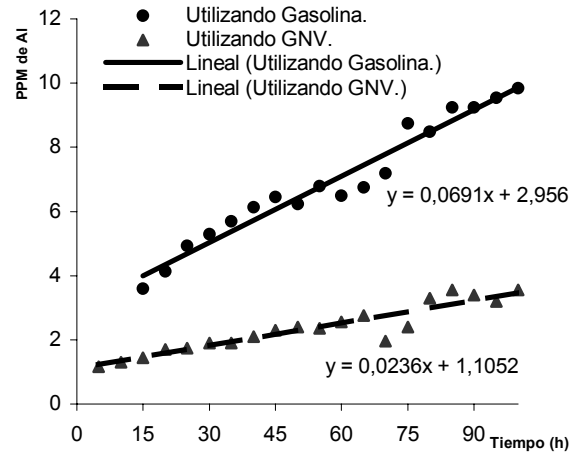


Fig. 5 Comparación de las concentraciones corregidas del Al en función del tiempo.

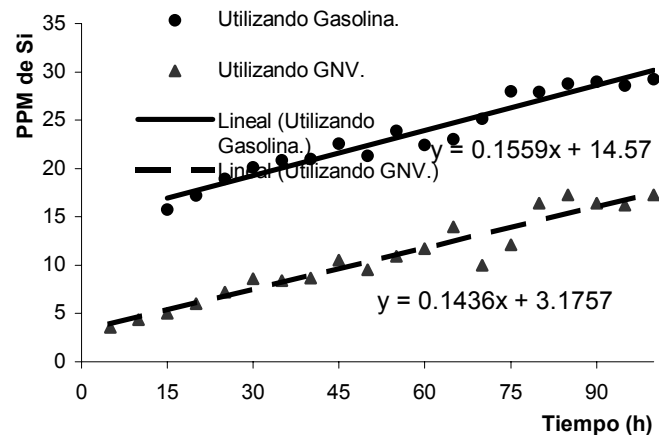


Fig. 6 Comparación de las concentraciones corregidas del Si en función del tiempo.

5 Una explicación del fenómeno observado

Los mecanismos de desgaste que se presentan en el motor son:

(1) La abrasión producida por partículas contaminantes duras. En el conjunto pistón, anillos y el cilindro el afecta es mas importante cuando el pistón se encuentra en los puntos muertos donde la velocidad es baja y la película de lubricante es muy delgada (Eyre et al, 1983).

(2) El gripado (Scuffing) el cual causa una elevada tasa de desgaste llevando el motor rápidamente a la fugas de gas y aceite de compresión por el cambio de la topografía de la superficie.

(3) El mecanismo de corrosión originado por el ataque condensados corrosivos a las superficies del motor (Schwartz, 1986).

(4) Mecanismo de lavado de las paredes que se

produce el el cilindro cuando hidrocarburos líquidos que transportados por el soplado (blow-by) remueven la capa lubricante produciéndose el desgaste.

(5) Mecanismo de consumo de aditivos, que consiste en que el lubricante pierde su capacidad de protección contra la corrosión y la fricción cuando los aditivos se consumen o degradan.

(6) El mecanismo de la formación de huecos, originados por la vaporización del combustible líquido sobre la capa lubricante desplazándolo y dejando un espacio sin lubricante y desprotegido contra el desgaste y la fricción.

Haciendo un análisis comparativo de la influencia del GNV y de la gasolina sobre los mecanismos anteriormente descritos se puede establecer lo siguiente: Se puede suponer que no existen diferencias de desgaste importantes por el mecanismo de degradación de aditivos entre ambos combustibles ya que el lubricante utilizado esta recomendado para ambos combustibles. Igualmente, la intensidad de los mecanismo de abrasión y gripado deben ser similares. Por lo que el mayor desgaste con gasolina se debe a que el gas natural no se producen los mecanismos de formación de huecos y lavados de las paredes por ser un combustible gaseoso, mecanismos que si se pueden presentar en el caso de la gasolina. Y la gasolina produce mayor cantidad de condensado corrosivos en el soplado.

6 Conclusiones

Los resultados demuestran que la velocidad de contaminación del aceite por partículas de desgaste de Fe, Pb, Cu y Al es menor utilizando GNV en comparación con la gasolina en porcentajes de 191.59%, 471.50%, 162.96% y 192.79%, respectivamente, mientras que el Si solo se observó un ligero crecimiento de la velocidad de desgaste de la gasolina con respecto al GNV de 8.56%, lo que hace suponer que el sílice provino fundamentalmente del exterior con la admisión del aire, ya que en ambos, tanto para el GNV como para la gasolina se comportó de manera similar.

El uso de GNV como combustible en motores duales produce considerablemente menor desgaste que la gasolina para las condiciones de arranque y calentamiento.

El uso de GNV produce menor desgaste del motor y da mayor vida útil al motor y al lubricante.

7 Agradecimientos

El presente estudio fue realizado gracias:

- Al financiamiento del CONICIT, a través de

cofinanciamiento del Laboratorio de Usos Múltiples de Ingeniería Mecánica, N° (F-96000645)

- A la Planta Toyota de Venezuela por donar el motor utilizado.
- A PDVSA-GNV por suministrar el equipo de conversión a GNV
- Al INTEVEP por donar el freno dinámico

Referencias

- Asseff P, (1997), Used Engine Oil Analyses-Review, SAE, # 770642. Tulsa, USA.
- Breck P, (1997), Performance, Engine Durability and Oil Life Analysis of Pilot Ignition Natural Gas Engines, SAE 972664.
- Espinoza H, (1990), Diagnostico de Motores de Encendido por Compresión Mediante Análisis del Aceite, Editorial Servicio de Publicaciones, España.
- Espinoza H, (1995), Estudio de la Contaminación del aceite y Desarrollo de un Método de Diagnostico de Motores de Combustión Interna, Trabajo de Ascenso, Dpto. de Ing. Mecánica, UDO, Puerto la Cruz.
- Eyre T, Dent N y Dale P, (1983), Wear characteristics of piston rings and cylinder lines, Lubrication Engineering, PP. 216-220.
- Hanaki Y, (1996), Research on emission control characteristics of a natural gas vehicle, Elsevier JSAE 9631588.
- Lukas A and Anderson D, (1992), Machine and Lubricant Condition Monitoring for Extended Equipment Life Times and Predictive Maintenance, Paper Presented ant Int. Symp. Mining, South Africa.
- Pérez R (1976), Control de desgaste y diagnosis anticipada de averías en motores por medio del análisis de aceite, Tesis doctoral, Universidad politécnica de Madrid, Madrid.
- Rigaux J, (1961), Le controle des moteurs diesel par la spectrographie des huiles de graissage, Ed Dunod, París.
- Rousseau S, Lemoult B and Tazerout M, (1999), Combustion characterization of natural gas in a lean burn spark-ignition engine, Proc. Instn Mech Engrs., Vol 213, Part D, pp. 481-489.
- Schwartz SE, (1986), An analysis of upper cylinder Wear Whit fuel containing Methanol, Lubrication Engineering, May. pp. 292-299.
- Varde K and Patro N, (1995), Lean Burn Natural Gas Fueled S.I. Engine and Exhaust Emissions, University of Michigan, SAE International, Paper N0 952499.