

ESTUDIO DEL DESGASTE Y LA DEGRADACIÓN DE ACEITES EN MOTORES VEHICULARES CONVERTIDOS A GNV

Andres Chiong.

andreschiong@hotmail.com

Dpto. Estudios Ambientales. Universidad Metropolitana.

Beatriz Leal.

bleal@unimet.edu.ve

Dpto. Estudios Ambientales. Universidad Metropolitana.

Resumen

El propósito de la siguiente investigación fue estudiar y comparar el desgaste y la degradación del aceite en circulación de un motor vehicular operando a gasolina y posteriormente convertido a gas natural vehicular (GNV). Se verificaron previamente las condiciones de operación de todos los sistemas periféricos al motor que aseguraran el buen funcionamiento del vehículo dado que se trataba de un motor con cerca de 10 años de uso; se evaluaron los aceites durante 1.500 Km bajo operaciones 100% a gasolina, y a 100% a GNV. Los análisis fueron realizados cada 150 Km para un total de 10 muestras para cada operación. Los resultados de los análisis por Infrarrojo (FTIR) evidencian que a régimen GNV se disminuyen significativamente los procesos de degradación del aceite y de contaminación por hollín y humedad evidenciados en la reducción del 50% de nitración/ oxidación, precursores de degradación, y en más del 90% de hollín y humedad que propician el desgaste abrasivo y la corrosión/herrumbre; se determinó un consumo de aditivos antidesgaste/ antioxidante significativamente inferior (50%) bajo operación a GNV. Los análisis espectrométricos de partículas por desgaste relevaron una reducción no significativa no pareciendo ser afectados por el combustible en uso, aunque las concentraciones de los elementos provenientes de los aditivos (calcio, fosforo, Zinc y Molibdeno) se mantuvieron cercanos al valor de formulación del lubricante durante en la operación a GNV. En tanto, se determinó una disminución del 63,94% de partículas de corte (abrasivo), del 39,29 % de deslizamiento severo y solo del 10,20% de partículas por fatiga aunque al evaluar los códigos de limpieza ISO 4406 se encontraron resultados superiores en los aceites del motor operando con gasolina en promedio (26/23/16 frente a 22/20/15 gasolina/ GNV). Estos resultados evidencian que el desgaste interno del motor operando a gas natural es menor que a gasolina, y que la fatiga de materiales no es afectada por el tipo de combustible que se utilice. Que la mayor proporción de partículas mayores a 4 y a 6 micrones puede estar asociada al mayor contenido de hollín producto de la combustión de la gasolina. Los resultados obtenidos sugieren que el uso del GNV como combustible alternativo de la gasolina supone desgastes propios de la operación, que los vehículos funcionando con gasolinas son más propensos al deterioro por oxidación que los vehículos funcionando con gas natural.

Palabras claves: gas natural vehicular, motores, análisis de aceites usados.

Introducción

Las nuevas y cada vez más severas regulaciones ambientales para controlar las emisiones de gases contaminantes han requerido la utilización de nuevas fuentes de energía para la locomoción [1], pero mientras ello se extiende, se dispone de un combustible seguro confiable, económico, y menos contaminante como lo es el Gas Natural comprimido (GNC), mejor conocido como Gas Natural Vehicular (GNV) en Venezuela [2]. La República Bolivariana de Venezuela en su Gaceta Oficial N° 38.864 de febrero 6 del 2008 publicó dos resoluciones en las cual establece que normas para la nueva implementación de este combustible en el sistema vehicular venezolano con la intención de garantizar a los venezolanos un sistema alternativo de combustible económicamente atractivo, menos contaminante y apegado a los estándares de protección medioambiental vigentes en el mundo, Petróleos de Venezuela reactiva el Programa de Gas Natural Vehicular (GNV) a partir de dicha fecha. Desde el 19 de mayo de 2010, fecha cuando fue publicada en Gaceta Oficial número 39.181 la resolución 064, que establece los lineamientos para la definitiva adopción del sistema de Gas Natural Vehicular (GNV) en Venezuela, para racionalizar el uso de los combustibles líquidos, como la gasolina y el gasoil. Para el 31 de diciembre de dicho año, el 30% de los vehículos que comercializarán en el territorio nacional tengan incorporado el sistema de GNV, y espera incrementarlo en un 50% para el 2011. [3 y 4].

Su uso ha sido ampliamente utilizado en Motores de combustión interna (MCI) de vehículos encendidos por chispa (ciclo Otto) a gasolina donde, el 100% de este último es sustituido por GNV, experiencia exitosa realizada en Venezuela en la década de los 90 aunque desde sus inicios del programa en el año 1996 a la fecha, los usuarios, han mostraron resistencia ya que existe la concepción de que el GNV daña los motores, razón de la importancia de esta investigación. [5]

El Gas Natural, es una fuente de energía abundante en muchos países del mundo, siendo Venezuela el 7° país con reservas probadas de gas natural. [1] Es un combustible con precio muy inferior al resto de los combustibles fósiles (1 metro cúbico de gas equivalente a 1 litro de combustible diesel tiene un costo de 1/3) debido a que es un producto que se extrae directamente de la destilación atmosférica del petróleo y no requiere de procesamientos de relevancia. Debido a que está compuesto de un 90% mínimo de metano (CH_4) su combustión es completa y limpia, así como su seguridad en operación ya que es más ligero que el aire y se disipa rápidamente en la atmosfera. Por tanto, considerado una alternativa actual para reemplazar los combustibles fósiles como la gasolina en este siglo XXI.

Numerosos autores han establecido la disminución de procesos de desgaste al utilizar Gas natural ya que los motores encendidos por chispa (gasolina y gas) pueden aceptarlo y funcionar de forma dual eficientemente. En la conversión se utilizan, básicamente, dos piezas, el *mezclador aire/gas* (establece el grado de riqueza de la mezcla) y el *variador de avance* (ajusta el tiempo de encendido del motor). [6, 7]

El lubricante en un motor de combustión interna trabaja en un ambiente muy hostil, la temperatura es muy alta y el lubricante está en contacto con productos de combustión y expuesto a contaminantes externos e internos. Si bien los aceites para motores vehiculares han sido formulados por un tiempo finito es importante determinar si

existen cambios en su composición que puedan reducir o incrementar su vida útil operando bajo ambos regímenes.

Por otra parte, existe la creencia de que es la falta de combustible líquido pueda producir mayor desgaste de las piezas móviles de la cámara de combustión de los motores

Marco teórico.

Los análisis de aceites usados envuelven a todas aquellas pruebas científicas y evaluaciones realizadas sobre el aceite lubricante con la finalidad de determinar el estado de desgaste generado por la fricción de las superficies metálicas en movimiento relativo de las unidades evaluadas y el estado de contaminación / deterioro de un lubricante en uso. Existe una gran variedad de pruebas que se utilizan para evaluar lubricantes, entre las que destacan el análisis por conteo y clasificación de partículas que permite establecer el tipo, severidad y tasa del desgaste presente en las piezas y componentes de la unidad así como el número de partículas presentes en distintos rangos de tamaño. [8,9]

En Estados Unidos de Norteamérica, el Programa de Análisis Conjunto del Aceite del Departamento de Defensa estadounidense “Joint Oil Analysis Program” (JOAP) ha existido por más de 50 años proporcionando servicios técnicos en el Mantenimiento Basado en Condición de todos los sistemas (equipos) lubricados de del programa DoD “DoD Joint Oil Analysis Program”. [10] Durante más de 40 años, la técnica principal analítica del JOAP ha sido el análisis de aceites usados por espectrometría de emisión “Atomic emission spectroscopy” (AES) utilizando un electrodo de disco rotativo “Rotating disc electrode” (RDE) debido a su excelente sensibilidad a bajas concentraciones en partes por millos (ppm) facilidad de operación y diseño que le permite gran movilidad.”. [11] En todo sistema mecánico existirá contacto metal- metal entre las superficies metálicas en movimiento relativo, especialmente en los momentos de inicio y finalización de movimiento (arranque y parada) generándose partículas metálicas de diferentes tamaños desde muy pequeñas producto del contacto metálico en las etapas señaladas (desgaste adhesivo/ deslizantes suaves), a procesos de corrosión/ herrumbre por exposición prolongada al ambiente (desgaste por corrosión), y hasta de gran tamaño, consecuencia de la acción en cadena de tales partículas en circulación (desgastes abrasivos, fatiga, entre otros). Como reflejan Espinoza y Lara (2007) y Altmann (2005), cualquier condición que incremente la fricción normal entre las piezas en movimiento, generalmente acelerará la tasa o velocidad de desgaste incrementará la cantidad de partículas metálicas de desgaste producidas. Por lo tanto, toda la información necesaria se encontrara en el aceite lubricante en circulación y podrá determinarse a través de los análisis de aceites que permitirán diagnosticar y predecir fallas que pueden disminuir la vida útil del motor, constituyendo en sí misma una nueva herramienta en cualquier programa de mantenimiento que se desee implementar sobre todo cuando la confiabilidad y seguridad de operación. [5,12]. Los análisis espectrométricos son constituyen una herramienta diagnóstica de mantenimiento utilizada para determinar concentraciones metálicas en partes por millón de partículas de tamaño inferior a los 8 micrones que se acumulan en el aceite durante su operación y empleada ampliamente como herramienta del mantenimiento preventivo. [13, 14].

Mediante este análisis se detectan, la acumulación progresiva y lenta de los metales de desgaste así como incrementos rápidos en la concentración. No es capaz de detectar, Fallas catastróficas (Son fallas repentinas no precedidas por la presencia de metales de desgaste adhesivo o de deslizamiento suave sino por partículas muy grandes, como son las fallas por fatiga de materiales), o por partículas que pasan a través de los sistemas de filtración cuya tasa de retención permita el paso de partículas de tamaños superiores al límite de detección de la espectrometría. Por su parte, los contadores de partículas a laser como el utilizado en esta investigación permiten clasificar las partículas a través del análisis morfológico de las siluetas, así como la distribución de tamaño de las mismas. [15,16]. Mediante esta técnica se detecta acumulación progresiva de partículas en el rango de 4 a 100 micras por lo que cubre el espectro de partículas detectables por espectrometría por RDE dando información de algunos modos o tipos de desgaste tales como: cortante, fatiga, deslizamiento severo, óxidos, fibras y gotas de agua. Imágenes de partículas de desgaste, identifica y distingue entre burbujas de aire y gotas de agua. No es capaz de determinar elementos metálicos presentes. [17,18, 19]

Los análisis de los aceites lubricantes por medio de la técnica de FT-IR, proveen de importante información acerca de la evolución de la degradación a nivel molecular del aceite. Todo esto hace que sea una técnica útil para los programas de mantenimiento. Muchos autores entre los cuales caben destacar Van de Voort et al (2008), Aranzabe y Ciria (2004) y Bilbao (2004) entre otros, exponen que en el funcionamiento de esta técnica, el equipo realiza un barrido de longitud de onda de la muestra entre 400 y 4000 cm^{-1} . La cantidad de radiación transmitida a cada longitud de onda es entonces usada para identificar el tipo y concentración de cada componente presente en el lubricante. Mediante el seguimiento periódico del aceite se controlan características tales como presencia de contaminantes tales como refrigerante, combustible y agua, consumo de aditivos e incluso permite determinar presencia de compuestos de oxidación/ nitración/ sulfatación que en gran medida son responsables de la acidificación y degradación de los lubricantes en servicio. [20-27]

Resultados

Para realizar esta investigación se utilizó como vehículo de prueba un Neón 2002 de 4 cilindros (2,0 litros) de 16 válvulas, al cual se le realizó un servicio completo previo al inicio de las pruebas que incluyó cambios de fluidos/ filtros y revisión general. Se utilizó como lubricante un aceite multigrado SL (20W-50). Se operó en recorridos de 1500 Km bajo cada régimen, captando muestras a intervalos regulares de aproximadamente 150 Km. Se registraron los consumos de aceite y de gasolina en cada periodo aunque no pudo registrarse el GNV dado que se requería recargas frecuentes dado que la bombona era solo de 20 m^3 . Los análisis de aceites usados fueron realizados mediante técnicas de espectrometría por emisión por Disco rotativo (RDE) Marca Spectro modelo Spectroil que evalúa concentraciones metálicas en partes por millón (ppm) de partículas inferiores a las 8 micras (μ), y por un contador de partículas que determina población de partículas de (4-100) μ así como la concentración en número de partículas por ml (partículas/ ml) por modos de desgaste, marca Spectro modelo LaserNet Fines (LNF) según normas de la ASTM D 6595 – 00 y D7596-10. [11, 19]. Paralelamente se analizaron las muestras de aceites usados en un equipo

Espectrofotómetro de Infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) Marca Perkin Elmer modelo Spectrum 100, con una celda de 0,100617 mm para la determinación de contaminantes y compuestos de degradación en dichas muestras según la norma ASTM E 2412 – 04. [27]

Resultados de los análisis espectrométricos por RDE.

Se obtuvo que a régimen a GNV se registraron concentraciones de metales por desgaste similares a las obtenidas con el motor a gasolina; siendo importante destacar que los aceites evaluados en la etapa de pre conversión (100% a gasolina) pueden estar diluidos con combustible a través del conjunto cilindros/ anillos/ pistones, lo cual no sucede con el combustible gaseoso. En cuanto a las concentraciones de los aditivos organometálicos a base de zinc/ fosforo y Molibdeno (antidesgastes/ antioxidantes) y calcio (dispersantes/ detergentes) se determinó que en el motor operando a GNV se mantuvieron concentraciones superiores y cercanas a las obtenidas en el aceite sin uso. Estos resultados sugieren que la operación con un el combustible gaseoso no incrementa el desgaste, de partículas de tamaño inferior a 8 micras, de las piezas de los componentes de partículas, y en operación a GNV se mantienen las concentraciones de los aditivos organometálicos, probablemente asociado a la menor probabilidad de ingreso de contaminantes a la cámara de combustión

Resultados del análisis por contador de partículas laser (LNF)

Se determinó el nivel de limpieza de los lubricantes en circulación para ambos regímenes detectando que las muestras de la etapa de pre conversión (operando a gasolina) presentaban niveles superiores en sus códigos de limpieza en función de los kilómetros recorridos excepto en la muestra correspondiente a los 1050 Km ya que se había rellenado con aceite virgen. 26/23/16 a gasolina (pre conversión) y 22/20/15 a GNV (post conversión). Dado que los resultados de metales por desgaste obtenidos en el análisis espectrométrico eran similares se presume que la mayor concentración de partículas en este análisis debe provenir de contaminantes no metálicos de tamaño inferior a los 8 micrones. Se estudiaron las concentraciones de partículas/ ml de tamaño superior a las 20 micras determinando que se presentó una disminución del 63,94% de partículas de corte (abrasivo), del 39,29 % de deslizamiento severo y solo del 10,20% de partículas por fatiga. Lo que hacía presumir la presencia de contaminantes externos que estaban propiciando desgaste.

Resultados del análisis de la Degradación del lubricante por medio de FT-IR

Se determinó que a régimen operando a gas natural se disminuye significativamente el consumo de aditivos especialmente los antidesgaste/ antioxidante, por tanto disponibles por mayor tiempo para la protección de los componentes del motor ante el desgaste por deslizamiento suave que genera partículas menores a los 10 micrones. A pesar de que la combustión a gas natural ocurre a temperaturas superiores a las registradas a gasolina, se obtuvo un menor grado de oxidación del aceite así como de hollín; este último es altamente abrasivo y por tanto promotor de desgaste lo que estaría en concordancia con los resultados obtenidos previamente. Por otra parte, para los aceites en la etapa post conversión (100% a GNV) se registró una menor nitración con ausencia de sulfatación, contaminantes que en presencia de humedad conducen a la formación de ácidos

corrosivos para el motor, por tanto menor probabilidad de generación de partículas de desgaste deslizando severo.

Conclusiones

En este es el primer trabajo de investigación que se realiza utilizando metodologías de análisis recientes (LNF y FTIR), se determinó que la operación de un vehículo utilizando Gas Natural disminuye los procesos de degradación del aceite, y de los niveles de partículas de desgaste.

Estos resultados sobre un motor con cerca de 10 años de operación sugieren que la conversión a GNV no conduce al deterioro del mismo. Que es posible convertir unidades de transporte siempre y cuando todos los equipos que lo conforman estén en buenas condiciones de operación.

Los resultados espectrométricos obtenidos para un motor operando a gas natural (post conversión) registran concentraciones de metales por desgaste similares a las obtenidas bajo operación con gasolina por tanto el GNV como combustible alternativo no incrementa el desgaste de las piezas del motor. El mayor grado del nivel de limpieza (ISO 4406) sugiere la presencia de partículas no metálicas en el aceite del motor operando a 100% a gasolina.

La presencia de sulfatación en el análisis por FTIR puede ser producto del alto contenido de azufre de los combustibles venezolanos que por reacción química ingresan al sistema de lubricación bajo la forma de ácido sulfúrico propiciando la corrosión/ herrumbre bajo la forma de gases blow-by generando mayor número de partículas, generando mayor desgaste a su paso. La disminución de los niveles de estos contaminantes también disminuye la probabilidad de formación de depósitos de barnices y lacas, productos finales de la descomposición/degradación de los aceites que restringen el flujo de aceite dada su adherencia a las superficies metálicas

En futuros trabajos se evaluarán un mayor número de unidades por periodos de operación extendidos y bajo distintos regímenes de operación (desde suaves en carreteras hasta severos en condiciones de parada/ arranque frecuente)

Agradecimientos.

Este trabajo de investigación contó con la colaboración de los Ingenieros Sarah Sabouh S y Gustavo Medina, así como por el coordinador del laboratorio de “Combustibles y Lubricantes de la UNIMET, Msc Ronald Torres y, muy especialmente, por el apoyo del Laboratorio de Servicios de Industrias Venoco C.A.

Bibliografía

- [1] Méndez, A. *Aliento de Piedra*. (2ª ed) Caracas, Venezuela: Vita Arte Producciones CA.
- [2] Leal B. *Funcionamiento y Lubricación de motores a gas natural*, En línea, consultado en octubre 2009 en <http://www.noria.com.mx>.
- [3] Gaceta Oficial 38.967 del 7 de julio 2008. Resolución Conjunta N° DM 191, DM 2083, DM 423 y DM 060, mediante la cual se establecen las normas conforme a las cuales las empresas importadoras, fabricantes, ensambladoras y concesionarias de vehículos automotores a ser comercializados en el territorio nacional, cumplirán con su participación en el Programa de Incentivos para el Uso del Gas Natural Vehicular GNV. Republica Bolivariana de Venezuela. 2008.
- [4] Gaceta Oficial 5.873. mediante la cual se establecen las Normas para la Construcción, Modificación, Desmantelamiento y Operación de Establecimientos, Instalaciones y/o Equipos Destinados a

- Consumo Propio y/o Venta de Combustible Gas Natural Vehicular (GNV), en el Mercado Interno.- (Véase N° 5.873 Extraordinario de la GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA, de esta misma fecha).
- [5] Espinoza H., Lara Y. y Tineo A. (2007). *Desgaste en un motor de encendido por chispa en condiciones de velocidad variable usando gasolina y gas natural como combustible*. Trabajo presentado en el 8vo. Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Cusco.
- [6] Haeng M, Bang H. *Spark Ignition natural gas engines. Energy conversion and management*. Vol. 48-2. pag 608-618. February 2007.
- [7] Macian V, Tormos B, Olmeda P, Montoro L. *Analytical approach to wear rate determination for internal combustion engine condition monitoring based on oil analysis*, Tribology Internacional 2003. Vol. 36, pp. 771 – 776.
- [8] Thibault R. *Proactive Maintenance Practices Through Condition Monitoring of Used Oils*. Lubricant Fluid Power. Pp. 28 – 31. November – December. 2005.
- [9] Yan, X.P., Zhao, C.H., Lu, Z.Y., Zhou, X.C. and Xiao, H.L. (2005). *A study of information technology used in oil monitoring*. Tribology International. Vol. 38, Issue 10. October 2005. Pp. 879 – 886.
- [10] Departments of the Army, the Navy, and the Air Force. Washington, DC. Joint Oil Analysis Technical Support Center” (JOAP-TSC)- JOAP-TSC. 2008.
- [11] ASTM, D 6595 – 00. *Standard Test Method for Determination of Wear Metals and Contaminants in Used Lubricating Oils or Used Hydraulic Fluids by Rotating Disc Electrode Atomic Emission Spectrometry*. (2000).
- [12] Altmann. C *El análisis de aceite como herramienta del mantenimiento proactivo en flotas de Maquinaria Pesada*. 1er Congreso Uruguayo de Mantenimiento, Gestión de Activos y Confiabilidad. 21-22 de Abril, 2005. Montevideo – Uruguay. 2005.
- [13] LUBRICATION & FLUID POWER. *Introduction To The Use Of Atomic Emission Spectroscopy As Predictive Maintenance tool*. SEPTEMBER-OCTOBER 2006. Pag 30-35.
- [14] Sperring T.P, Tucker J , Reintjes J , A. Schultz A , Lu C and B. J. Roylance, B J. *Wear Particle Imaging and Analysis – a contribution towards monitoring the health of military ships and aircraft*. International Conference on Condition Monitoring, pp. 539-546, University of Wales, Swansea, UK, April 1999.
- [15] Anderson, D.P., *Wear Particle Atlas (Revised)*. prepared for the Naval Air Engineering Center, Lakehurst, NJ 08733, 28 June 1982, Report NAEC-92-163,
- [16] Reintjes J. y Tucker J. (2001). *Applicatyon of Lasernet Fines to Mechanical Wear and Hydraulic Monitoring*. Trabajo presentado en DSTO International Conference on Health and Usage Monitoring, Melbourne, 19 – 20 febrero, 2001
- [17] Barraclough, T. P. Sperring and B. J. Roylance, *Generic-based Wear Debris Identification – the First Step Towards Morphological Classification*, International Conference on Condition Monitoring, University of Wales, Swansea, UK April (1999).
- [18] M. Lukas M and Anderson D P, *Analytical Tools to Detect and Quantify Large Wear Particles in Used Lubricating Oil*. Estados Unidos: Spectro Incorporated. (2006).
- [19] ASTM D7596-10. *Standard Test Method for Automatic Particle Counting and Particle Shape Classification of Oils Using a Direct Imaging Integrated Tester*. (2010).
- [20] Van de Voort, F.R. Ghetler, A., García-González, D. L and Li, Yue D. (2008). *Perspectives on Quantitative Mid-FTIR Spectroscopy in Relation to Edible Oil and Lubricant Analysis: Evolution and Integration of Analytical Methodologies*. Food Analytical Methods. 1: 153-163.
- [21] Van de Voort, F.R., Sedman, J. and Sherazi, S.T.H. (2008). *Correcting for underlying absorption interferences in FTIR trans analysis of edible oils using 2D correlation techniques*. J. Agric. Food Chem.; (Article); 2008; 56(5); pp 1532-1537. DOI: 10.1021/jf0725068.
- [22] Aranzabe, A. y Ciria, J. (2004). *Procesos de degradación de un lubricante y técnicas de análisis*. Wearcheck Iberica [en línea], N° 6. Recuperado el 8 de diciembre de 2009,de: <http://www.wearcheckiberica.es>
- [22] Barrett, M. (2000). *FT-IR Spectroscopy*. The new practical guide to oil analysis, 4, 14-15.
- [23] Bilbao, M. (2004). *Estudio de un lubricante mediante espectroscopia infrarroja* Wearcheck Iberica [en línea], N° 10. Recuperado el 8 de diciembre de 2009, de: <http://www.wearcheckiberica.es>

- [24] Bilbao, M. (s.f). *Espectroscopia Infrarroja como herramienta de control de la degradación de los aceites de motor usados*. Wearcheck Iberica [en línea], N° 2. Recuperado el 18 de diciembre de 2011, de: <http://www.wearcheckiberica.es>
- [25] Bowman, J. y Garry, M. (1998). FT-IR Analysis of used lubricating oils. Nicolet Application Note TN 9698. *Nicolet Instrument*.
- [26] Higgins, F. y Seelenbinder, J. (2008). On-Site Infrared Analysis For Lubrication Condition Monitoring. *Maintenance Technology*, 19-23.
- [27] ASTM, E 2412 – 04. *Standard Practice for Condition Monitoring of Used Lubricants by Trend Analysis Using Fourier Transform Infrared (FT-IR)*. (2004).