



Caracterización del sistema actual de diagnóstico a los motores de combustión interna diésel en empresas cubanas y propuesta de modificación

Luis García
Segio J. Fernández

Recibido: Enero del 2008
Aprobado: Marzo del 2008

Resumen / Abstract

El diagnóstico es considerado una de las principales herramientas para garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los carros de transporte. En el presente trabajo se realiza un estudio de las principales limitaciones que posee el sistema actual de diagnóstico para las instalaciones motrices diésel, a partir del análisis de la información proveniente de diez empresas cubanas y la aplicación de técnicas del trabajo creativo con grupos de expertos. Además, se muestran las principales modificaciones a realizar a dicho sistema con el objetivo de superar estas limitaciones, mediante la aplicación de criterios del mantenimiento centrado en la confiabilidad y del basado en la condición, y las técnicas y métodos del diagnóstico integral.

Palabras clave: Diagnóstico, disponibilidad, confiabilidad, limitaciones

The technical diagnosis is considered one of the tools main to guarantee the availability and reliability of the cars of transport. Presently work is carried out a study of the main limitations that have the current system of technical diagnosis to the diesel motive installations, starting from the analysis of the information coming from 10 companies located in the western territory and the application of technical of the creative work with experts' groups. Also, the main modifications are shown to carry out to this system with the objective of overcoming these limitations, by means of the application of approaches of the reliability centered maintenance (RCM) and condition based maintenance (C B M), and the techniques and methods of the integral diagnosis.

Key words: Diagnosis, availability, reliability, limitations

INTRODUCCIÓN

Garantizar altos niveles de disponibilidad técnica durante la explotación de los medios de transporte resulta una ardua tarea, debido a que esto depende de un conjunto de factores estrechamente relacionados entre sí, dentro de los que juegan un importante papel las acciones del hombre y las condiciones en que se explota el medio.

Por ello se hace necesario garantizar el cumplimiento de los principios del aseguramiento técnico, dentro de los que se encuentra, el mantenimiento de una constante disposición técnica de los medios, expresada en la necesidad de mantener un elevado nivel de preparación técnica especial del personal e índices de disposición técnica, basados en un sistema de mantenimiento técnico y reparaciones que

garanticen estos objetivos. Un elemento de importancia dentro de este sistema lo constituye el diagnóstico técnico, el cual entre otros aspectos, proporciona los métodos, principios y equipos que permiten arribar a conclusiones sobre el carácter y la esencia de las irregularidades en el objeto de diagnóstico.¹⁻⁴ La instalación motriz es un agregado fundamental que determina la capacidad de trabajo del medio en su conjunto, lo que argumenta que su técnica de diagnóstico constituye una importante dirección de trabajo a seguir.

De ahí la importancia de este trabajo que está dedicado a caracterizar el sistema actual de diagnóstico y el de mantenimiento preventivo planificado (MPP) que lo sostiene, con la finalidad de lograr su mejoramiento o perfeccionamiento, a partir de la introducción de las técnicas del mantenimiento basado en la condición (MBC), siguiendo la metodología que ofrece el diagnóstico integral. Este será el primero de una trilogía de trabajos, publicados próximamente, los cuales completarán el diseño del sistema de diagnóstico a introducir en las instalaciones motrices que se utilizan en los medios de transporte.

DESARROLLO

Para abordar el objetivo final propuesto (diseño de un sistema de diagnóstico), se hace necesario realizar un estudio del estado actual del sistema de diagnóstico y mantenimiento que se le aplica a los carros de transporte, para conocer sus principales bondades y limitaciones, y trabajar en la introducción de las soluciones de estas últimas y la optimización del sistema.

Tareas técnicas a desarrollar

Con la finalidad de encontrar las limitaciones e imperfecciones que aparecen en el sistema de diagnóstico y de mantenimiento aplicado a los motores diésel, se hace necesario desarrollar una serie de tareas técnicas planteadas en la metodología anteriormente señalada, las cuales se presentan a continuación.⁴

1. Determinar los mecanismos, sistemas y/o elementos que más fallas aportan a dichas instalaciones a partir del estudio de un grupo de medios de transporte.
2. Caracterizar el sistema actual de diagnóstico de forma tal, que se puedan conocer sus principales bondades y limitaciones, y trabajar en la introducción de las soluciones de estas últimas y la optimización del sistema.
3. Desarrollar los diagramas de Ishikawa de dichas instalaciones, a partir del análisis de causa raíz.

4. Obtener la relación falla-variables o parámetros de estado de diagnóstico, sus características y valor cuantitativo, que permita conocer de forma eficaz el estado o condición de las mismas.

5. Obtener las variables y parámetros de estado de diagnósticos fundamentales u óptimos a partir de la síntesis de la matriz de falla.

6. Algunos de los modos de fallas que permitan en un futuro cercano la creación de sistemas expertos.

7. Diseñar el sistema de diagnóstico propuesto a partir del desarrollo de la matriz de diagnóstico.

A continuación los autores desarrollan los dos primeros aspectos dejando los restantes para dos artículos que se publicarán posteriormente.

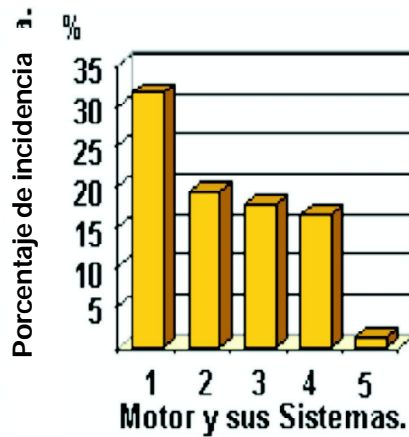
FALLAS MÁS IMPORTANTES EN LOS CARROS DE TRANSPORTE DURANTE SU EXPLOTACIÓN

El análisis de los datos de fallas disponibles, de 40 vehículos en un período comprendido entre los años 2000-2004, en diferentes empresas ubicadas en el occidente del país, permitió conocer que, del total de fallas presentadas por los vehículos, el 44,4% pertenece a la transmisión de fuerza, el 30,3% a la instalación motriz, el 21,6% al sistema eléctrico y el 3,7% al tren de rodaje y suspensión, como se muestra en la figura 1.

En dicha figura se observa, que las fallas correspondientes a la instalación motriz tienen un peso significativo en la indisponibilidad técnica de los vehículos (30,3%). De ahí la importancia de este trabajo, debido a que las fallas relacionadas con la instalación motriz, además de limitar la movilidad del vehículo, pueden provocar su paralización total. Del total de fallas correspondientes a la instalación motriz, las que más incidencias han presentado en la indisponibilidad técnica del medio, son las relacionadas con el mecanismo biela-manivela con un 31,5%, seguido por el sistema de enfriamiento con 19,2%, el sistema de lubricación con 17,8%, y el sistema de alimentación con 16,4% (figura 2).



Comportamiento de las fallas en los vehículos a partir de los datos disponibles.



Leyenda:

- | | |
|------------------------------|--|
| 1. Mecanismo biela-manivela. | 5. Mecanismo de distribución de los gases. |
| 2. Sistema de enfriamiento. | |
| 3. Sistema de lubricación. | |
| 4. Sistema de alimentación. | |

Mecanismos y sistemas que más inciden en la ocurrencia de fallas en la instalación motriz, de acuerdo con los datos de fallas disponibles.

2

El desgaste de superficies de trabajo, la manifestación de indicios de fatiga en los materiales, la alteración de las regulaciones y los salideros de materiales de explotación a través de mangueras y uniones, son fallas características de los carros de transporte en explotación, y pueden ser detectadas a partir de la aplicación de las técnicas de diagnóstico.^{1,2}

Principales factores que influyen en la aparición de fallas en la instalación motriz de los vehículos diésel

La acción del hombre juega un importante papel en el estado técnico de un mecanismo o sistema, por lo que en ocasiones aparecen fallas de forma inesperada, provocadas entre otras causas, por la realización de intervenciones programadas (incorrectas), en el MPP (mantenimiento preventivo planificado).^{3,4} Pero se presentan otros factores objetivos y subjetivos que hay que tener en cuenta y que a continuación se relacionan.

Factores objetivos:

- Condiciones de explotación.
- Características específicas del trabajo de los mecanismos del motor.
- Aspectos relacionados con la fabricación, diseño y materiales.
- Plazo de servicio de dichos elementos.

Factores subjetivos

Son aquellos que dependen de la acción directa del hombre y sobre los cuales es posible influir a partir de la toma de medidas de carácter organizativo, en-

tre ellos se encuentran: La explotación de los medios y el diagnóstico, así como el papel de ellos en el mantenimiento técnico.

La selección de los principales factores subjetivos asociados a la aparición de fallas en la instalación motriz fue realizada a partir de entrevistas con expertos⁵ de diferentes empresas. Estos factores constituyen los elementos a ponderar durante la encuesta a los expertos, con el objetivo de fundamentar la modificación estructural del sistema de diagnóstico actual, estos son:

1. Insuficiencias presentadas en la organización de los aseguramientos.
2. Aplicación incorrecta o no utilización de los procedimientos de diagnóstico.
3. Insuficiencias en la preparación del personal de diagnóstico.
4. Carencia de un sistema de diagnóstico eficaz y adecuado que posibilite determinar el estado técnico real de la instalación motriz.
5. Organización incorrecta de la explotación en condiciones difíciles.
6. Realización incorrecta o falta de trabajos de mantenimiento técnico.
7. Incumplimiento de las normas para la puesta en funcionamiento de los vehículos.
8. Insuficiencias en el control de la calidad de los trabajos del personal ejecutor.

Para establecer el peso relativo de los factores subjetivos se utilizó la técnica de reunión de expertos, ya que sus experiencias permiten evaluar los mismos

y ponderarlos, para poder establecer un índice de prioridad. Durante la aplicación de las técnicas del trabajo creativo con grupo de expertos, primeramente, se determinó el número de expertos mínimos a participar (22 expertos), así como el coeficiente de competencia de los mismos para garantizar una selección racional y autoritaria de los especialistas (0,85-1).

A partir del análisis de los resultados del procesamiento de las encuestas aplicadas, se determinó que los factores subjetivos que más negativamente inciden, por orden de prioridad, sobre la aparición de fallas inesperadas en la instalación motriz de los vehículos diésel en explotación son:

1. Carencia de un sistema de diagnóstico eficaz y adecuado, que posibilite determinar el estado técnico real de la instalación motriz.
2. Aplicación incorrecta o no utilización de los procedimientos de diagnóstico.
3. Insuficiencias en la preparación del personal encargado del diagnóstico.
4. Realización incorrecta o falta de los trabajos de mantenimiento técnico.
5. Incumplimiento de las normas para la puesta en funcionamiento de los motores.
6. Insuficiencias en el control de la calidad del trabajo del personal ejecutor.
7. Organización incorrecta de la explotación en condiciones difíciles.
8. Insuficiencias presentadas en la organización de los aseguramientos.

La influencia que ejerce el primer factor, sobre la aparición de fallas inesperadas, confirma el criterio de la necesidad de mejorar el sistema de diagnóstico actual, ya que no garantiza determinar el estado técnico real de dicha instalación y no evita las causas que provocan el surgimiento de estados defectuosos. Además, los dos aspectos que le siguen en importancia y que se encuentran relacionados entre sí, corroboran los resultados obtenidos durante la caracterización del sistema actual en las diez empresas seleccionadas, aspectos estos a tener en cuenta durante el diseño del nuevo sistema. Es por ello que la dirección fundamental de nuevas investigaciones debe estar orientada a diseñar un sistema de diagnóstico que permita conocer, el estado técnico de los mecanismos, sistemas y elementos menos confiables, y alargar la vida útil del motor, con el objetivo de garantizar la disponibilidad técnica de los vehículos.

Caracterización del sistema actual de diagnóstico para la instalación motriz de los vehículos en explotación

Para tratar de mejorar un sistema de diagnóstico y mantenimiento es necesario conocerlo, es decir, resulta imposible introducir nuevas técnicas sin antes

caracterizar el sistema que se quiere mejorar. Dentro de los factores a tener en cuenta para caracterizar el sistema actual de diagnóstico y mantenimiento para la instalación motriz de los vehículos en explotación, se encuentran:⁴

1. Si existe una política de culturización del mantenimiento.
2. Tipo de mantenimiento "declarado" que se desarrolla.
3. Organización general del sistema, estructura que lo conforma, organigrama de trabajo y medios técnicos y administrativos con que se cuenta.
4. Si existe o no un grupo dedicado al diagnóstico y mantenimiento.
5. Si existe un software de gestión del mantenimiento.
6. Como se desarrolla y controla el sistema.
7. Especialistas y personal de experiencia que conforman el sistema, su nivel de preparación y actualización de los mismos.
8. Equipamiento para realizar las pruebas de diagnóstico y software auxiliares.
9. Base documental que posee y grado de actualización de esta.
10. Bases de datos que posee y grado de automatización de estas.
11. Relación con otros departamentos de la empresa o con otras empresas.
12. Ubicación de la misma en el nivel de dirección de la empresa.

Para realizar dicha caracterización, se utilizó la información proveniente de diez empresas pertenecientes a varios ministerios, la cual fue obtenida mediante inspecciones y entrevistas con personal experimentado. De este análisis se obtuvo el sistema de diagnóstico y mantenimiento real que cada empresa posee, así como sus ventajas y desventajas. Durante este trabajo solo se presentan algunos aspectos de forma condensada.

Análisis del aspecto organizativo en el sistema actual de diagnóstico

En las empresas estudiadas, el diagnóstico y el mantenimiento se encuentran tecnológicamente relacionados al mantenimiento preventivo planificado, realizándose en plazos fijos durante:¹

- El mantenimiento técnico diario (diagnóstico rápido).
- El mantenimiento técnico planificado.
- La reparación en vallas.
- El control de la reparación.

Las deficiencias generales detectadas en este aspecto están dadas fundamentalmente por la no existencia de una política de culturización del mantenimiento que permita el desarrollo y control del sistema actual (MPP) y, por tanto, la introducción de nuevas técnicas como las del MCC y la del MBC, lo cual provoca que el diagnóstico experimente poco desarrollo, encontrándose por una parte, que no existen planes

para su aplicación en muchas empresas encuestadas (solo se encontraban elaborados en el 30% de las mismas), y por otra, la falta de objetividad de los que se realizan.

Desde el punto de vista específico se tiene que:

- No se han incorporado nuevos métodos y técnicas de diagnóstico para este tipo de instalación.
- Se mantienen períodos de muestreo fijos.
- No se cuenta con una estructura que permita introducir nuevos métodos y equipos para mejorar de forma paulatina el sistema actual establecido.

Análisis del personal que conforma el sistema y su nivel de preparación

Los elementos analizados y que conforman este aspecto son:

1. Cantidad de personal experimentado, por niveles dedicados al diagnóstico.
2. Nivel cultural, técnico y grado de actualización (cursos recibidos sobre el tema).
3. Dominio de herramientas generales (detección de fallas y técnicas de análisis causa-raíz).

El número de personal experimentado dedicado al diagnóstico es bajo; de las diez empresas analizadas, el 40 % no posee ninguno dedicado a esta función, el 40 % posee uno y solo el 20 % (dos empresas) tiene más de uno. Esto está dado fundamentalmente por las dificultades relacionadas con el completamiento de las plantillas producto de la emigración de este tipo de personal calificado a otras esferas. De los disponibles, diez provienen de la enseñanza media superior (técnicos medios) y solo tres de nivel superior, los cuales no han recibido ningún curso (posgrado) de herramientas generales de diagnóstico y/o mantenimiento. Solo han recibido cursos de operación con determinadas herramientas específicas, aspecto este que dificulta el trabajo e impide introducir nuevos métodos de medición y técnicas de análisis de fallas.

Como se aprecia, el comportamiento de este aspecto es deficiente y atenta contra el buen funcionamiento del sistema de diagnóstico actual, el conocimiento del estado de las instalaciones motrices y lo que es aún peor impide los nuevos cambios a implementar.

Análisis de pruebas, resultados, equipamiento utilizado y bases de datos que las respaldan

Los elementos analizados y que conforman este aspecto son:

1. Equipamiento para realizar las pruebas.
2. Sistema de pruebas establecido por niveles de aplicación (pruebas que se realizan).
3. Software de bases de datos existentes y grado de actualización de estas.

Del análisis de los aspectos que componen este factor, se determinó que:

1. El completamiento con equipos es bajo, solo el 37,3%.
2. Ninguna de las empresas controladas posee bases de datos de diagnóstico (manual o automatizada). Solo se controlan las cantidades de reparaciones y mantenimientos técnicos realizados.

Del estudio de las pruebas que se realizan para determinar el estado técnico de la instalación motriz de los vehículos diésel,^{1,6} se definió que estas se aglutinan en tres grupos fundamentales:

1. Pruebas que se realizan sin utilizar equipos de diagnóstico, ni los instrumentos de medición y control del vehículo.
2. Pruebas que se realizan utilizando los instrumentos de medición del propio vehículo.
3. Pruebas que se realizan utilizando equipos de diagnóstico especializados.

Es conocido que los sistemas de diagnóstico en la actualidad se estructuran por niveles de aplicación, que tienen que cubrir una función determinada. La detección prematura de las fallas en cada uno de ellos, dependerá de los métodos, los equipos y calidad de los mismos (exactitud y precisión), así como de la formación del personal que los aplican, y por tanto la introducción de métodos reactivos o proactivos.⁷⁻⁹ El sistema de diagnóstico que se analiza tiene establecido tres niveles de aplicación, como se vio anteriormente, el cual presenta las siguientes características:

- El sistema establecido no cubre un grupo de fallas de acuerdo con su importancia en la disponibilidad técnica y costo de las mismas, a partir de los métodos a emplear, equipamiento necesario y formación del personal en cada nivel.
- La selección de los equipos y pruebas para determinar el estado técnico del objeto de diagnóstico se realiza a partir de los síntomas que identifican el proceso de fallas, los cuales en la mayoría de los casos, son detectados tardíamente, cuando la falla ya posee magnitudes considerables.
- Independientemente de haberse realizado la introducción de equipos modernos que permiten determinar la condición o estado técnico del objeto de diagnóstico no se utilizan métodos proactivos de mantenimiento.
- No se establece el control desde el punto de vista estadístico del comportamiento de las variables de estado, ni de la aparición de las fallas, lo cual dificulta la posibilidad de dar un enfoque predictivo a la determinación del estado técnico o condición del objeto de diagnóstico y la aparición de los distintos tipos de fallas, así como a la modelación de las mismas.
- No se utilizan métodos que posibiliten determinar la causa-raíz que provoca el surgimiento de las fallas

de mayor peso económico y no se establecen estas pruebas a partir de criterios de confiabilidad y teniendo en cuenta la condición de la variable de estado (enfoque proactivo). Esto contribuye notablemente al alargamiento de la vida útil del motor ni a la disminución del costo de las reparaciones de dicho agregado.

Los resultados arrojados por el trabajo de caracterización demuestran la necesidad de mejorar el sistema de diagnóstico actual, ya que no garantiza determinar el estado técnico real de dichas instalaciones y no evita las causas que provocan el surgimiento de estados defectuosos. Es por ello que la dirección fundamental de este trabajo está orientada a diseñar un sistema de diagnóstico que permita conocer, el estado técnico de los mecanismos, sistemas y elementos menos confiables y alargar la vida útil del motor, con el objetivo de garantizar la disponibilidad técnica de los vehículos.

Otro de los aspectos a tener en cuenta a la hora de pretender modificar el sistema de diagnóstico actual, lo constituye el conocimiento de los principales métodos de diagnóstico utilizados en el mundo para determinar el estado técnico de los motores de combustión interna, los cuales no se pueden ver de forma aislada, sino en su relación con los principales sistemas de mantenimiento técnico establecidos.

Métodos de diagnóstico más empleados en el mundo para determinar el estado técnico de los motores diésel

Los métodos o técnicas para el diagnóstico a los motores diésel, han evolucionado en los últimos años y los más empleados son: Diagnóstico basado en el análisis del aceite usado, aplicación de la termografía y medida de las vibraciones del motor.

Diagnóstico basado en el análisis del aceite

Este método se apoya en pruebas de laboratorio que permiten evaluar las características físico-químicas de los aceites lubricantes y determinar indirectamente el estado técnico de los componentes del motor. Al observar los resultados del análisis de aceite, es posible realizar el diagnóstico del estado técnico del motor, empleando la relación causa-efecto (diagrama de Ishikawa) existente entre las propiedades físico-químicas y las concentraciones de metales en el aceite lubricante, obtenidas en el análisis de laboratorio, con las condiciones del estado técnico de los componentes del motor diésel.¹⁰⁻¹⁶

Principales ventajas de este método:

- Constituye una herramienta del mantenimiento predictivo, al establecer las tendencias del desgaste

y su control estadístico clasificando estos, en normales, progresivos o acelerados.

- Mejora la confiabilidad y disponibilidad técnica de los motores, al detectar fallas ocultas.
- Disminuye el costo del ciclo de mantenimiento.

Desventajas:

La técnica del análisis de aceite se debe respaldar en una serie de análisis, lo cual implica el uso de una instrumentación adecuada de laboratorio y terreno, así como de un control sobre los períodos de muestreo para realizar las pruebas.

Diagnóstico termográfico

Este método aprovecha la capacidad de los cuerpos de irradiar la temperatura, realizando la comparación de esta entre motores en buen estado con la proveniente de motores con funcionamiento incorrecto, lo cual permite llegar a conclusiones sobre su posible estado técnico.¹⁷

Entre las principales ventajas del método se encuentran:

- Facilidad de aplicación.
- No invasivo.
- Mejora la confiabilidad y disponibilidad técnica de los motores, al detectar fallas ocultas.
- Los medios para realizar el diagnóstico técnico a partir de este método son relativamente económicos.

Diagnóstico de máquinas alternativas a partir de análisis de vibraciones

Entre las principales ventajas de la aplicación del método se encuentra que, partiendo de las causas que provocan el surgimiento de vibraciones,¹⁸⁻²⁰ las fallas pueden ser detectadas desde el comienzo de su desarrollo. Su principal desventaja está en la necesidad de repetir con exactitud las condiciones de medición para cada comprobación, referidas a la ubicación de los puntos de medición y condiciones del objeto de diagnóstico. Además, el equipamiento para realizar las pruebas por lo general es costoso y necesita de especialistas altamente calificados para realizar el procesamiento y análisis de los resultados que se obtienen.¹

Estos son algunos de los principales métodos de diagnóstico técnico que se aplican a los motores diésel, los cuales, como se puede apreciar, brindan un número considerable de posibilidades para determinar el estado técnico de los motores.

Hasta aquí se han tratado la caracterización del sistema actual de diagnóstico a las instalaciones motrices de los carros de transporte en explotación. Además, se han determinado los principales métodos de diagnóstico utilizados en la actualidad para determinar el estado o condición de dichas instalaciones.

CONCLUSIONES

1. El análisis de las fallas presentadas en 40 vehículos en explotación entre los años 2000-2004, pertenecientes a diferentes empresas del occidente del país, confirma la importancia de modificar el sistema actual de diagnóstico a la instalación motriz de los carros de transporte, ya que el 30,3% del total de las fallas que se producen en el vehículo se encuentran relacionadas con la misma.

2. La caracterización del sistema de diagnóstico actual para determinar el estado técnico de la instalación motriz, arrojó que sus principales deficiencias son:

- No se establecen los equipos mínimos necesarios para determinar el estado técnico de la instalación motriz, lo cual impide dar un enfoque proactivo al sistema de mantenimiento técnico establecido.
- Las pruebas de diagnóstico se realizan en plazos fijos, lo cual está dado por la relación tecnológica existente entre ella y el sistema de mantenimiento establecido.
- No ha existido una formación constante del personal encargado de diagnóstico que permita la introducción de nuevas técnicas.

3. La aplicación de las técnicas del trabajo creativo en grupo de expertos corroboró lo planteado anteriormente, obteniéndose que los factores subjetivos que más negativamente influyen en la aparición de fallas inesperadas en la instalación motriz son:

- La carencia de un sistema de diagnóstico eficaz, que posibilite determinar el estado técnico real de la instalación motriz.
- Aplicación incorrecta o no utilización de los procedimientos de diagnóstico.
- Insuficiencias en la preparación del personal encargado del diagnóstico.

4. A partir del estudio de las tendencias del mantenimiento y el diagnóstico, así como de las deficiencias encontradas durante la caracterización del sistema para la instalación motriz, se propone la introducción de un sistema de diagnóstico y mantenimiento capaz de:

- Optimizar el sistema de diagnóstico actual.
- Controlar el estado técnico o condición de dicha instalación, a partir de la introducción de nuevos métodos de diagnóstico y técnicas del mantenimiento basado en la condición.
- Obtener períodos de muestreo variables en el tiempo a partir de las técnicas del mantenimiento centrado en la confiabilidad y del mantenimiento basado en la condición.

- Aumentar la vida útil y disponibilidad técnica de la instalación motriz.

REFERENCIAS

1. **Colectivo de autores:** Manual de diagnosis, Centro de Investigación y Desarrollo de la Diagnósis, Conservación y Modernización del Transporte, Ciudad de La Habana, Cuba, 2004.
2. **Ollet Nerey, Manuel:** "Fundamentos del diagnóstico técnico", en M. O. Solobiov, Explotación de la técnica blindada. Ediciones Academia de las Fuerzas Blindadas de la URSS, 1975.
3. **Fernández García, Sergio J.:** "Metodología del diagnóstico integral" (Folleto), Texto de la Especialidad de Diagnóstico Integral de Centrales y Subestaciones, Ciudad de La Habana, Cuba, 1987.
4. ———: "Diagnóstico integral (folleto), Texto de la Especialidad de Diagnóstico Integral de Centrales y Subestaciones Eléctricas, Ciudad de La Habana, Cuba, 1996.
5. **García Abreu, Luis y Sergio J. Fernández García:** "Procedimiento de aplicación del trabajo creativo en grupo de expertos", Revista Ingeniería Energética, Vol. XXIX, No. 2, Ciudad de La Habana, Cuba, 2008.
6. **Boroukij, Yu; V. Klénnikou and A. Nikiforov:** Entretenimiento y reparación de automóviles", pp. 19-22, Editorial Mir, Moscú, 1987.
7. **Sexto, Luis Felipe:** El modelo de mantenimiento proactivo- reactivo ¿Jugar con fuego? <http://www.cujae.edu.cu/centro/ceim/index.htm>. Abril, 2004.
8. **Fernández García, Sergio J.; Ovidio Ramírez Fiallo y Rómulo Pérez Barrio:** "Modernos métodos de diagnóstico", Revista EDELCA, Año XXV, No 4, 2002.
9. **Trujillo, Gerardo:** Mantenimiento predictivo, una de las últimas herramientas de análisis para la anticipación a las averías, <http://www.Predic.com/>. 1999.
10. **Jefferies, A.:** "Ingeniería de lubricación", Castrol Int. Reino Unido. 1998.
11. **Lukas, Malte and Daniel P. Anderson:** "Máquina y monitoreo de la condición del aceite para extender la vida del equipo y mantenimiento predictivo a plantas". Ingeniería Mecánica, Conferencia Internacional, de Fuerza, Procedimientos de la Institución de Massachusetts", Estados Unidos, Diciembre 4-6, 1996.
12. ———.: Rot rode Filter Spectroscopy, Does It Have a Place in the Commercial or Military Oil Analysis Laboratory, Littleton, Estados Unidos, 1992.
13. **Messe, S.:** "Procedimientos de la institución de ingeniería mecánica", Inst. Nati. Sci. Appl. Lyon, Francia, 2000.
14. **McClelland, J. F.:** Ingeniería de lubricación, Mtec Photoacoust Inc. Estados Unidos, 2001.

15. **Marcel, Rueda:** "Tutorial de ferrografía directa, Análisis de elementos presentes y ferrografía analítica", A-MAQ S.A, Análisis de maquinaria, enero 2005.
16. **Valderrama Romero, Andrés y Willian López Miranda:** "Diagnóstico de motores diésel mediante el análisis estadístico del aceite lubricante" UNMSM.
17. **Rakopoulos, C. D.:** "Ingeniería térmica aplicada", Natl. Tech. Univ. Atenas, Grecia. 2004.
18. **Bruel and Kjaer:** Medición de vibraciones, 1982.
19. -----: Detección de fallos en máquinas recíprocas, World Headquarters, 1990.
20. -----: Monitoreo de las máquinas usando análisis de vibraciones, 1994.

AUTORES

Luis García Abreu

Ingeniero Mecánico, Doctor en Ciencias Técnicas, Instructor, Escuela Interarmas General Antonio Maceo, La Habana, Cuba
e-mail: cid4@reduim.cu

Sergio J. Fernández García

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Asistente, Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba
e-mail: sfg@electrica.cujae.edu.cu
sergiofernandez@yahoo.com

FÁBRICA DE TRANSFORMADORES

