



Diseño de un sistema de diagnóstico para la instalación motriz diésel de los carros de transporte en explotación

Luis García
Sergio J. Fernández

Recibido: Enero del 2008
Aprobado: Marzo del 2008

Resumen / Abstract

Se desarrolla la metodología propuesta para el diagnóstico integral en el diseño de un sistema de diagnóstico para las instalaciones motrices diésel de los vehículos en explotación con la finalidad de conocer el estado o condición de las mismas. De especial interés resulta la obtención del período de muestreo a partir de elementos de riesgo. Es de destacar que este artículo viene precedido por otro sobre la caracterización del sistema actual de diagnóstico establecido para ellas.

Palabras clave: Diagnóstico, mantenimiento, matriz de fallas, variables de estado de diagnóstico y período de muestreo, instalación motriz

In the following work the authors develop the methodology proposed by the Integral diagnosis in the design of a diagnosis system for the installation motive diesel of the vehicles in exploitation with the purpose of knowing the state or condition of the same ones. Of special interest it is the obtaining their period of sampling starting from elements of risk. It is of to highlight that this article comes preceded by another envelope the characterization of the current system of diagnosis settled down in them.

Key words: Maintenance, diagnosis, matrix of failures, variables of diagnosis state, period of sampling motive installation

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento predictivo, en forma general, es una de las corrientes del mantenimiento que más ha avanzado en los últimos 40 años.^{1,2} Basado en los adelantos de la ciencia y la técnica se han desarrollado una serie de equipos y métodos que permiten conocer el estado técnico o condición de los objetos de diagnóstico, a partir de la medición directa e indirecta de las variables de estado de diagnóstico.³ y pronosticar la ocurrencia de fallas en los mismos.

En la actualidad, el mantenimiento está considerado la principal área de oportunidad del mundo, a través del desarrollo e introducción del mantenimiento basado en la condición y al centrado en la confiabilidad.⁴ Un diagnóstico correcto y oportuno desempeña un importante papel en el aseguramiento del estado técnico del vehículo, aumentando su economía y seguridad durante la explotación.^{5,6} El diagnóstico integral, provee una metodología estructurada por niveles de aplicación, que se basa, en determinar el estado técnico de los medios, mediante la obtención,

procesamiento, análisis y control de las variables de estado (datos de pruebas), que relacionan las fallas más importantes, a partir del establecimiento adecuado de los períodos de muestreo de las pruebas que conforman el sistema, los cuales se corroboran con un estudio profundo de los datos de fallas, con el objetivo final de aumentar la confiabilidad y disponibilidad técnica.

Los datos presentados en este trabajo fueron recogidos del análisis efectuado a 40 vehículos pertenecientes a diferentes empresas en un período comprendido entre los años 2000-2004,

DESARROLLO

El presente trabajo es parte de una trilogía, el primero de los cuales fue dedicado a la caracterización del sistema de diagnóstico imperante en un grupo de empresas,⁷ a partir de lo cual se puede continuar desarrollando la metodología para diseñar y desarrollar un sistema de diagnóstico integral para los vehículos diésel, de forma tal que se puedan introducir los cambios necesarios en este sistema, partiendo de la determinación del estado o condición de la instalación motriz y la determinación de los períodos de muestreo del sistema, con la finalidad de garantizar: El aumento de vida útil, la disponibilidad y confiabilidad; lo cual constituye el objetivo principal de este trabajo.

Es imposible diseñar un sistema de diagnóstico integral de un objeto cualquiera sin conocer a profundidad el mismo y las relaciones dinámicas que este guarda con sus partes componentes y con el medio que lo rodea. Para estos fines y con el objetivo de lograr una mayor representatividad se tomó un motor con algunas características específicas las cuales permiten valorar la importancia de las técnicas y métodos a utilizar durante el desarrollo del nuevo sistema.

Tareas técnicas a desarrollar

Después de haber caracterizado el sistema de diagnóstico utilizado en la actualidad en las referidas empresas, en el primer artículo de esta trilogía se da paso al desarrollo de las restantes tareas técnicas, a saber:

1. Análisis del objeto de diagnóstico en sus relaciones dinámicas con el resto de sus componentes y con el medio que lo rodea.
2. Realización del análisis de las fallas, a partir de una exhaustiva aplicación del método causa-raíz, para encontrar las causas que las producen, su modo de desarrollo y los efectos que provocan, así como el estudio estadístico de las mismas.^{8,9}

3. Determinación de la relación falla - efecto a partir de los diagramas de Ishikawa.

4. Determinación de las variables de estado de diagnóstico mínimas, a partir de encontrar la matriz de parámetros óptimos, que aporta el menor número de variables de estado de diagnóstico que toma en cuenta el mayor número de fallas.¹⁰

5. A partir de lo anterior, se debe utilizar la menor cantidad de métodos, instrumentos y pruebas posibles, para detectar la mayor cantidad de fallas, teniendo en cuenta su peso, tanto desde el punto de vista económico como para la disposición técnica (indicadores pesantes de la matriz de falla).

6. Establecimiento del período de muestreo necesario y suficiente que debe tener el sistema de diagnóstico a desarrollar.

7. Escalonamiento de las comprobaciones a realizar, orientando estas hacia los sistemas menos confiables, con el empleo de tecnologías universales (termografía y análisis químico del aceite lubricante).

Análisis del objeto de diagnóstico

Para evaluar un objeto de diagnóstico, se necesita conocer sus relaciones dinámicas como:⁴

- Un ente aislado (fallas propias).
- En su relación con el medio que lo rodea (fallas relacionadas).

Según la clasificación de los motores, en este caso, se está en presencia de un motor diésel rápido de transporte, de cuatro tiempos, sin sobrealimentación, de doce cilindros, ubicado en V, con un ángulo de 60° entre los bloques de cilindros. Su enfriamiento es con un sistema cerrado, por líquido, con inyección directa de combustible, y carrera larga ($S/D > 1$).^{11,12}

La instalación motriz se encuentra formada por el motor y un conjunto de sistemas entre los que se encuentran:

1. Sistema de alimentación por combustible.
2. Sistema de alimentación por aire del motor.
3. Sistema de lubricación del motor.
4. Sistema de enfriamiento del motor.
5. Sistema de arranque por aire.

Las fallas que se producen en estos sistemas, en su mayoría afectan el funcionamiento de la instalación motriz de forma general y, específicamente, al motor. Conociendo las características de montaje del motor y el acceso a sus principales agregados, aspectos estos que influyen indudablemente a la hora de seleccionar los métodos de diagnóstico que conformarán el sistema a diseñar, se pasa a analizar las características que debe presentar el sistema a proponer.

Agregados, mecanismos o grupos que limitan la confiabilidad de la instalación motriz analizada

En cada elemento pueden tener lugar fallas, que influyen en la capacidad de trabajo de los elementos independientes y del objeto de diagnóstico en su conjunto. Del análisis de la frecuencia de ocurrencia de las fallas (a partir de los datos recogidos, se pudieron determinar los grupos, mecanismos, agregados y/o elementos que más limitan la confiabilidad de la instalación motriz (figura 1).

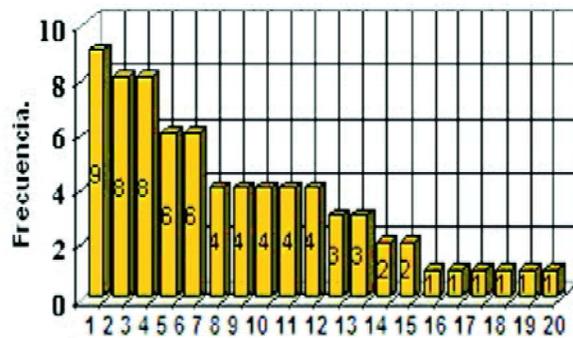
Durante el análisis del mecanismo biela-manivela, este fue dividido en sus partes fundamentales, con el objetivo de determinar con mayor facilidad las causas que provocan el surgimiento de las fallas en el mismo. Teniendo en cuenta estos aspectos, se procede a diseñar el nuevo sistema de diagnóstico.

Para el desarrollo de este punto se tuvo en cuenta, además de los datos de falla recogidos en las empresas, todas las posibles causas de surgimiento de las mismas, de acuerdo con los criterios expuestos en la literatura especializada,^{13,14} así como el criterio del personal experimentado en la explotación y/o reparación. Es de destacar que toda esta búsqueda estuvo regida por la aplicación del método de análisis causa-raíz para llegar a conclusiones acertadas.

Características del sistema de diagnóstico a diseñar

Con el objetivo de garantizar el conocimiento del estado o condición de la instalación motriz y dirigir los trabajos de mantenimiento (mantenimiento basado en la condición, MBC), hacia aquellos mecanismos, sistemas o elementos menos confiables. El sistema a proponer debe tener en cuenta, los siguientes criterios:

- Superar las limitaciones del sistema de diagnóstico actual, para determinar con mayor exactitud, el estado o condición de la instalación motriz con la finalidad de evitar fallas inesperadas.
- Introducir las técnicas del mantenimiento basado en la condición (MBC) y del mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC), de forma tal que la optimización paulatina del sistema actual de mantenimiento preventivo planificado (MPP) a partir de un enfoque proactivo.
- Dirigir los trabajos de mantenimiento hacia los sistemas y mecanismos más importantes, más vulnerables y menos confiables.
- Alargar la vida útil del motor y disminuir los costos de su ciclo de mantenimiento, al introducir un sistema de diagnóstico y mantenimiento basado en la condición y en la confiabilidad.
- Aumentar la confiabilidad y disponibilidad técnica de la instalación motriz.



Grupos, mecanismos, agregados y/o elementos

Leyenda:

- | | | |
|--------------------------------------|---|--|
| 1. Grupo cilindro-pistón. | 9. Compresor (AK-150CB). | 16. Bomba de suministro de combustible (BHK-12TK). |
| 2. Cojinetes del cigüeñal. | 10. Embrague del ventilador. | 17. Válvula electroneumática (EK-48). |
| 3. Mangueras (Sistema lubricación). | 11. Tuberías (Sistema de arranque por aire). | 18. Bomba de lubricación previa (MZH-2). |
| 4. Mangueras (Sistema enfriamiento). | 12. Bomba de agua. | 19. Válvula vapor-aire. |
| 5. Junta de la culata. | 13. Automático de presión (ADY-2C). | 20. Válvulas (Mecanismo de distribución de los gases). |
| 6. Inyectores. | 14. Tuberías (Sistema de combustible). | |
| 7. Bomba de cebado (PHM-1). | 15. Bomba de combustible de alta presión (HK-10). | |
| 8. Bomba de aceite del motor. | | |

Frecuencia de falla de los grupos, mecanismos, agregados y/o elementos de la instalación motriz.

Diseño del sistema de diagnóstico

Para garantizar que el sistema a diseñar posea las características planteadas con anterioridad, así como lograr el cumplimiento de los objetivos trazados, se desarrollan los pasos explicados a continuación

Tablas parciales causa-efecto

A partir de un trabajo profundo y estructurado, aplicando el método de análisis causa-raíz y teniendo en cuenta los criterios obtenidos en consultas y entrevistas con expertos, así como la información proveniente de la literatura, se construyeron las tablas parciales causa-efecto; una de ellas se expone de forma sintética (tabla 1).

Este proceso fue realizado por interacciones sucesivas que permitió llegar a resultados exitosos.

A partir de estos resultados se desarrollaron los diagramas de Ishikawa parciales y totales.

Construcción de los diagramas causa-efecto (Ishikawa) para la instalación motriz

Para la construcción del diagrama del motor, se partió de la identificación realizada de los grupos, mecanismos y sistemas causantes de las principales indisponibilidades de la instalación motriz (categorías principales), conformando el diagrama general, teniendo en cuenta el peso y la frecuencia de ocurrencia de las fallas relacionadas con cada categoría (figura 2), garantizando que las de mayor peso se encuentren más cerca de la cabeza del diagrama.

Tabla 1 Tabla parcial de relación causa-efecto (fragmento)			
No	Causa	Efecto	Posible Síntoma
Grupo Cilindro - Pistón			
1	Tiempo en explotación Factor Humano Filtrado incorrecto del aire	Juego entre aros y las ranuras de alojamiento en el pistón	Aumento del consumo de aceite. Variación de la composición química de los gases de escape Pérdida de la presión al finalizar el tiempo de compresión Aumento del consumo de combustible Dilución del aceite Contaminación del aceite con aluminio Presencia de ruidos Aumento de las vibraciones
2	Tiempo en explotación. Filtrado incorrecto del aire Lubricación deficiente Mala combustión	Aros desgastados	Aumento del consumo de aceite Variación de la composición química de los gases de escape Pérdida de la presión al finalizar el tiempo de compresión Dilución del aceite Contaminación del aceite con Hierro Aumento de la presión de los gases en el cárter Dificultades para el arranque Disminución de la potencia. Disminución de las revoluciones del árbol cigüeñal Aumento de las vibraciones



Diagrama causa-efecto de la instalación motriz.

Posteriormente se conformaron los diagramas individuales para cada mecanismo y sistema, (figura 3).

Aunque estos diagramas permiten obtener las relaciones causa-efecto de las fallas más importantes de la instalación motriz, dejan un vacío entre las causas que las originan y las variables o parámetros de estado de diagnóstico, que son necesarios conocer para evaluar el estado técnico o condición del objeto de diagnóstico. Para encontrar esta relación se desarrolla la matriz de falla o matriz S.

Desarrollo de la matriz de falla (matriz S)

La matriz de falla o matriz S (tabla 2), es una matriz bidireccional, que permite relacionar las fallas "pesadas" con las variables de estado de diagnóstico, que deben ser cubiertas por la instrumentación necesaria para la medición de las mismas, a fin de cumplimentar el diagnóstico del estado de un equipo o sistema.⁴ Esta matriz, propia del diagnóstico integral, significa un salto cualitativo y cuantitativo en los métodos de diagnóstico existentes, ya que logra concretar la condición o estado técnico de cualquier dispositivo. En dicha matriz también se refleja, el peso de la falla (desde el punto de vista económico), el cual se determina, según la ficha de costo utilizada durante la reparación y/o sustitución de la pieza o sistema fallado (relación costo-beneficio). Además, aparece un indicador de confiabilidad que está relacionado con la importancia de la ocurrencia de la falla para la disposición técnica y el factor de cubrimiento de la matriz, que permite relacionar la importancia de los métodos de medición con el peso de la falla a controlar.

La matriz de falla, se desarrolló a partir de un estudio riguroso, ya que en la misma no solo interviene la relación causa- efecto, sino la relación falla - variable de estado de diagnóstico, lo cual conlleva un profundo conocimiento del objeto de diagnóstico y de las variables que permiten conocer su estado técnico o condición. Del desarrollo de la misma depende el sistema de diagnóstico a emplear, de ahí su importancia (tabla 2).

Cálculo del factor de cubrimiento de la matriz de falla

Durante el cálculo del factor de cubrimiento de la matriz se tuvieron en cuenta aquellas variables de estado que están relacionadas con una falla determinada y que son afectadas desde el instante en que esta comienza a desarrollarse. A partir de aquí y aplicando el análisis de Pareto - Lorenz (figura 4), se pudieron determinar aquellas que más influencia reciben de la mayor cantidad de fallas, las cuales ocupan el orden que a continuación se presenta.

Análisis de las variables de estado de diagnóstico

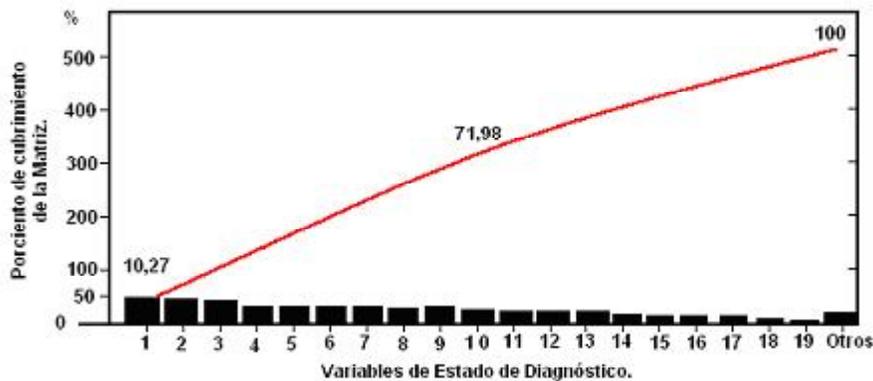
La obtención de forma cuantitativa del menor número de variables de estado de diagnóstico que relacionan el mayor número de fallas (factor de cubrimiento), no permite determinar definitivamente las variables que conformarán el sistema de diagnóstico, ya que se necesita realizar un estudio profundo de la relación de estas variables con el objeto de diagnóstico y las características de las mismas (análisis cualitativo), para establecer aquellas que verdaderamente puedan ser tomadas como tal.



Diagrama causa-efecto del cilindro.

Tabla 2
Matriz de falla o matriz S (fragmento)

No.	Falla	Variables de estado de diagnóstico relacionadas									
		T. agua	Cons. agua	Cons. combust.	Temp. aceite	Pres. aceite	C. O. aceite	Opacidad	T. escape	Pot.	Vibrac.
1	Desgaste del cojinete de apoyo					X	X				
10	Fibras del embrague	X	X		X						
34	Cigüeñal partido					X				X	



Leyenda:

1. Composición química del aceite (C.O.aceite)
2. Potencia del motor (pot.)
3. Vibraciones (Vibrac.)
4. Revoluciones del cigüeñal (Rv.)
5. Consumo de combustible (Cons.Combust.)
6. presión al finalizar el tiempo de compresión (P. Compr.)
7. Tiempo de caída de la presión en el cilindro (T.C.P.C.)
8. Presión de los gases en el cárter (P.G.Cart.)
9. Opacidad de los gases (Opacid.)
10. Temperatura de los gases de escape (T.escape)
11. Temperatura el agua (T. agua)

12. Consumo de agua (Cons. agua)
13. Presión de aceite (Pres. aceite)
14. Ruidos
15. Presión de aire (P.aire)
16. Concentración e CO en los gases de escape (Concent.)
17. Variación de la temperatura superficial (ΔT Superf.)
18. Variación de la presión en el cigüeñal (ΔP . Cigüeñal)
19. Temperatura de aceite (T. aceite)
20. Momento de patinaje del embrague del ventilador (M.Pat.Vent)
21. Presión de inyección
22. Consumo de aceite (Cons. aceite)
23. Presión de la válvula vapor-aire (Pres. V-A)

Análisis de Pareto para determinar las variables de estado que más influencia reciben de la mayor cantidad de fallas.

Para esto y partiendo del análisis del objeto de diagnóstico, se llevaron a cabo diferentes actividades las cuales se relacionan a continuación:

- Estudio de literatura sobre el tema.¹⁻¹⁴
- Entrevistas con especialistas y expertos en la materia.
- Comprobación experimental de aquellas variables que por su complejidad fue necesario realizar.

También se tuvieron en cuenta:

- Nivel de formación de los especialistas encargados del sistema de diagnóstico.
- El equipamiento disponible y el costo del mismo respecto a las fallas que son capaces de detectar (relación costo-beneficio).

Una vez concluido este trabajo se pudieron determinar las variables de estado de diagnóstico mínimas

necesarias para conocer el estado o condición de la instalación analizada, las cuales son:

1. Composición química del aceite (C. Q. aceite).
2. Presión al finalizar el tiempo de compresión (P. Compr.).
3. Presión de los gases en el cárter (P. G. cart.).
4. Consumo de combustible (Cons. comb.).
5. Variación de la temperatura superficial (ΔT . superficie).
6. Presión del aire (P. aire).
7. Presión de inyección de los inyectores (P. inyectores).
8. Presión de la válvula vapor-aire (Pres. V-A).
9. Momento de patinaje del embrague del ventilador (M. pat. vent.).
10. Presión de aceite (Pres. aceite).

Cálculo de los períodos de muestreo del sistema de diagnóstico

Con el objetivo de determinar en qué momento se deben realizar las pruebas, lo cual posibilita disminuir la cantidad de fallas inesperadas y poder pasar del mantenimiento correctivo al mantenimiento preventivo, aspectos estos que influyen directamente sobre la disponibilidad del medio, se proceden a calcular los períodos de muestreo del sistema a proponer.

Existen varios métodos para encontrar el período de muestreo a partir de la relación del tiempo medio entre fallas (TMEF) y la disponibilidad¹⁵ que han sido utilizados por los autores en otros trabajos y que constituyen una forma válida de evaluar los mismos, pero en esta ocasión los autores quieren "presentar en la metodología" uno más novedoso donde está involucrado el elemento "riesgo". La aplicación de este método aparecerá en otro artículo, en el cual se presentan diferentes métodos de obtención del período de muestreo.

Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Se realiza el análisis de fallas de cada uno de los elementos componentes de la instalación matriz.
2. Se determinan en cada caso los TMEF correspondientes a cada uno de ellos por separado, seleccionándose el menor de ellos en tiempo o su equivalente en kilómetros recorridos (en este caso es de 500 km).
3. Se determinan los sistemas o mecanismos que más inciden en la indisponibilidad de dicha instalación desde el punto de vista probabilístico y teniendo en cuenta el tiempo o kilómetros equivalentes de aparición de las mismas de acuerdo con la expresión:^{16,17}

$$P_{(f)} = 1 - e^{-\lambda t}$$

donde:

$$\lambda (\text{Tasa de falla}) = 1/\text{TMEF}$$

$$\lambda t = \sum \lambda \Delta t$$

$$\Delta t = d / 2$$

$$d (\text{Ancho del intervalo de cálculo}) = \frac{X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}}{k}$$

$$k (\text{Cantidad de intervalos}) = \sqrt{N}$$

N = Cantidad de fallas

4. Se determinan los mecanismos o sistemas de mayor probabilidad de fallas (50 % o más) que tienen un mayor riesgo de ocurrencia de fallas para una disponibilidad dada de la instalación en su conjunto según la expresión 2.

$$\text{Riesgo (Disp.Téc.)} = P_{f(t)} \cdot T \cdot \text{Reparación} \quad \dots(2)$$

De lo anterior se obtiene la tabla 3.

No.	No. fallas	Riesgo (disp. téc.) (h)
1	Desgaste de los cojinetes del cigüeñal	146,2
2	Desgaste del grupo cilindro-pistón	141,4
3	Juntas de la culata del motor en mal estado	132,1
4	Inyectores fuera de regulación	22,7

5. Se encuentran los plazos mínimos de ocurrencia de fallas en estos mecanismos como se observa en la tabla 4. Estos darán el menor tiempo (o su equivalente en kilómetros) de aparición de una falla y que determinará el menor período de muestreo general posible, si se quiere evitar que en estos mecanismos tan riesgosos ocurra una falla.

6. Por último, se pasa a determinar, por medio de la expresión 3, el plazo medio de operación (PMO) de los mecanismos o sistemas de la instalación que aportan un mayor riesgo a la misma, de donde se obtendrá el período de muestreo máximo de cada uno de ellos.

$$PMO = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N} \quad \dots(3)$$

donde:

t_i : Plazo de trabajo sin falla del i -ésimo elemento.

N : Número de elementos con que se experimenta.

De lo anterior se obtiene la tabla 5.

No.	Fallas	Plazos mínimos (km)
1	Desgaste del grupo cilindro-pistón	531,75
2	Inyectores fuera de regulación o tupidos	534,38
3	Desgaste de los cojinetes de poyos y/o biela de cigüeñal	538,87

No.	Sistema, mecanismo o grupo	Periodo medio de operación (km)
1	Grupo cilindro-pistón	1 496,5 2
2	Sistema de alimentación	2 120,8 3
3	Sistema de enfriamiento	2 705,6 4
4	Apoyo del cigüeñal	2 809,6 5
5	Sistema de lubricación	3 130,6

Este método permite encontrar los límites en que se puede mover el período de muestreo del la instalación completa lo cual no está dado por otros métodos. El período de muestreo principal del sistema de diagnóstico será cada 500 km, de acuerdo con los resultados de los plazos mínimos de ocurrencia de las fallas de mayor riesgo y más críticas de los mecanismos y sistemas de mayor probabilidad de falla. Este período podrá ser disminuido o aumentado de acuerdo con los resultados de las pruebas de diagnóstico y en correspondencia con los niveles

establecidos en los gráficos de control para cada variable. En el caso de aumento se realizará hasta 1400 km, que es el plazo medio más pequeño de los mecanismos y sistemas de mayor peso económico.

Elementos básicos del sistema de diagnóstico
Para desarrollar este sistema de diagnóstico se tienen en cuenta los siguientes elementos:

- La probabilidad de ocurrencia de las fallas y el peso de estos desde el punto de vista económico y de la disponibilidad.
- Las variables de estado de diagnóstico y el costo del equipamiento para medirlas.
- El sistema de gestión y de control que lo respalda, así como su base documental.
- Los períodos de muestreo del sistema y las bases de datos que lo rigen.
- El personal que lo respalda.

De la estructura seleccionada y de las técnicas aplicadas en cada uno de los niveles a establecer dependerá, en gran medida, el éxito del sistema de diagnóstico a introducir. El sistema de diagnóstico diseñado está compuesto por dos niveles.

Las pruebas de diagnóstico en cada nivel se realizarán por etapas, obteniendo en cada una de ellas un nivel de información, que permite decidir los siguientes pasos. Además, las pruebas se encuentran organizadas de forma tal que la primera forme parte de la preparación de la segunda, y así sucesivamente, con lo cual se logra el ahorro de tiempo y recursos.

La gestión y control de los datos, así como la base documental y de datos que la respaldan es de importancia vital en el nuevo sistema, ya que sin ellos no será posible el análisis de los resultados. De igual forma, cada uno de estos niveles debe estar conformado con personal de experiencia creciendo esta según el nivel.

CONCLUSIONES

1. Se obtienen las pruebas y equipos mínimos necesarios para determinar el estado técnico de la instalación motriz de un carro diésel en explotación, para lo cual:

- Se utiliza la matriz de falla, que establece la relación falla- variable de estado de diagnóstico.
- Se realiza un análisis teórico-práctico, que permite determinar las variables de estado de diagnóstico óptimas que conformarían la matriz del mismo nombre, lo que posibilita la utilización del menor número de variables para conocer el estado técnico de dicha instalación.

2. Se diseñó el sistema de diagnóstico para la instalación motriz de los que usan este tipo de instalación.

REFERENCIAS

1. Trujillo, Gerardo: Mantenimiento predictivo, una de las últimas herramientas de análisis para la anticipación a las averías. [http:// www.Predic.com/](http://www.Predic.com/). 1999.
2. Aranda A., Sergio y otros: "Sistema computarizado para el apoyo del mantenimiento predictivo en centrales termoeléctricas de la Comisión Federal de Electricidad", Boletín IIE, marzo-abril del 2002.
3. Fernández García, Sergio J.: "Metodología para la introducción del diagnóstico integral en las centrales y subestaciones eléctricas (folleto), texto de la especialidad de Diagnóstico Integral de Centrales y Subestaciones Eléctricas, Ciudad de La Habana, 1997.
4. -----: "Metodología del diagnóstico integral" (folleto), Ciudad de La Habana, 1989.
5. Colectivo de autores: Manual de diagnosis. Técnica de los carros, Centro de Investigación y Desarrollo de la Diagnosis, Conservación y Modernización del Transporte, Ciudad de La Habana, 2004.
6. Ollet Nerey, Manuel: "Fundamentos del diagnóstico técnico", en M.O. Solobiov, Explotación de la técnica blindada, URSS, 1975.
7. García Abreu, Luis y Sergio J. Fernández García: "Caracterización del sistema actual de diagnóstico a los motores de combustión interna diésel y propuestas de modificación", Revista Ingeniería Energética, No. 2, Vol. XXIX, Ciudad de La Habana, 2008.
8. Sojo B., Luis A.: El proceso de análisis causa raíz PROA. Metodología y Software [http:// www.reliability.com/](http://www.reliability.com/). Publicado por [http:// www.klaron.net/](http://www.klaron.net/) Feb del 2005.
9. Amendola, Luís: Modelos mixtos en la gestión del mantenimiento, Departamento de Proyectos de Ingeniería e Innovación, Universidad Politécnica de Valencia, España, 2003.
10. Fernández García, Sergio J.: "Metodología del diagnóstico integral" (Folleto), Ciudad de La Habana, 1989.
11. Jovaj M., S.: "Motores de automóviles". Editorial Mir, Moscú, 1982.
12. Arjangelskji, V. M. and M. M. Vijert: Motores automotores, Editorial Mashisnostroienic Moscú. 1983.
13. Borouskij, Yu; V. Klénnikou and A. Nikiforov: Entretenimiento y reparación de automóviles, Editorial Mir, Moscú, 1987.

14. Arias Paz, Manuel: Manual de automóviles, Impresiones Gráficas Muriel S.A. Actualización de la edición, CIE.SL DOSSAT, Madrid, España, 2000.
15. Optimización del mantenimiento preventivo, a partir de la introducción del mantenimiento basado en la condición, en activos fundamentales de una central termoeléctrica, utilizando las técnicas de diagnóstico integral. Resultados finales y evaluación económica, Ciudad de La Habana, s/f.
16. Norma Cubana. 92-10 1978. Control de la Calidad. Fiabilidad. Términos y definiciones.
17. Amendola, Luís: Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión de mantenimiento, Departamento de proyectos de ingeniería. Universidad Politécnica <http://www.klaron.net>. 1/2006.

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
sergiojfernandez@yahoo.com

