

Evaluación de la disponibilidad de los motores en la central eléctrica Cayo Santa María, Cuba

Raúl A. Pérez Bermúdez¹ y Daryl Torna del Río²

¹Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central Marta Abreu de las Villas; Cuba. raulito@uclv.edu.cu

²Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central Marta Abreu de las Villas; Cuba. darylt@uclv.edu.cu

Recibido: 31 ene. 2015

Aceptado: 16 feb. 2015

RESUMEN

En este trabajo se realiza una evaluación de las posibilidades de modificar la estrategia de operación y los sistemas de mantenimiento de la Central Eléctrica Cayo Santa María, a partir de la caracterización energética del emplazamiento y del análisis de los regímenes de generación actual de las máquinas y la ocurrencia de fallas, con lo cual se estableció una línea de estudio al evaluar la generación diaria por máquinas y los sistemas de mantenimientos establecidos para los motores. Se determinó que existe una relación directa entre el exceso de horas de generación de las máquinas con el aumento del índice de incidencias (averías) ya que cuando se explota un motor por encima de las 6 horas diarias aumentan las fallas en los sistemas del grupo. Se realizó un análisis de las principales averías presentadas, sus causas, consecuencias y vías de solución. Se propuso un sistema de mantenimiento modificado al que se realizaba en la central para contrarrestar roturas. Adicionalmente se realizó un estudio de criticidad, dando como resultado que estos motores deben recibir un mantenimiento productivo total. Los componentes que más fallan son: generador con un alto índice de criticidad de 150; sistemas electrónicos con un índice de criticidad de 48; el sistema de líquido refrigerante presenta un índice de criticidad de 52; y el bloque del motor con un índice de criticidad de 49.

PALABRAS CLAVE: Generación distribuida; Disponibilidad; Mantenimiento; Criticidad; Motores

ABSTRACT

Assessment of the availability of the engines in Cayo Santa Maria power plant, Cuba. In this paper an evaluation of the possibilities of modifying the strategy of operation and maintenance systems in Cayo Santa María power plant is performed, from energy characterization site and analysis of current generation schemes of the machines and the occurrence of faults, whereby a line of study was established to evaluate the daily generation of machines and systems maintenance established for the engines. It was determined that there is a direct relationship between excessive hours of generation of machines with the increased rate of incidents (accidents) because when an engine works over 6 hours daily, group system failures increase. An analysis of the major failures presented, its causes, consequences and ways of solution was performed. A modified maintenance system different from performed in the central was proposed to counteract breakages. Additionally a criticality study was performed, resulting that these engines must receive a total productive maintenance. The components that fail the most are: generator with a high level of criticality 150; electronic systems with a criticality index of 48; the coolant system has a criticality index of 52; and an engine block criticality index of 49.

KEYWORDS: Distributed generation; Availability; Maintenance; Criticality; Engines

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el mundo se mueve a una velocidad vertiginosa en lo que a crecimiento tecnológico se refiere. Las tecnologías se encuentran en constante cambio y renovación, el crecimiento poblacional y la economía de mercado han aumentado la demanda de productos y energía, creciendo la huella ecológica de la humanidad. La base de la economía mundial se basa en el concepto de crecimiento infinito que requiere de un 3% de incremento anual. Dicho crecimiento implica que, en apenas un cuarto de siglo, las necesidades energéticas se habrán duplicado, y así sucesivamente. También hay que tener en cuenta el hecho de que el 85% de la población mundial

consume el 15% de la energía (AIAE, 2005). Es decir, si éstos últimos quisiesen unirse al consumo energético, entonces las necesidades energéticas se multiplicarían entre 4 y 9 veces, pero este rápido y ascendente crecimiento trae como consecuencia un aumento elevado del consumo de energía, la cual se obtiene en la actualidad de los combustibles fósiles fundamentalmente, como el carbón natural, el petróleo y sus derivados que son agotables.

Actualmente, el mundo se encuentra en un periodo de crisis energética, ya que dentro de algunos años, la producción mundial de petróleo convencional empezará a disminuir, al haber alcanzado actualmente el límite de producción. Mientras tanto, la demanda mundial no deja de aumentar, sumado a que al generar energía a partir de Petróleo se produce una contaminación ambiental severa y en aumento cada día. Lo que conlleva a una incansable búsqueda de energías renovables y limpias, con poca o ninguna contaminación. Los conocidos países del primer mundo dedican millones de dólares a esta búsqueda, logrando así la eficiencia y rentabilidad de estas nuevas formas de obtención de energía como pueden ser la eólica, la solar y la geotérmica entre otras, las cuales representan tan sólo el 0,5 % del total mundial, y su incipiente desarrollo ha sido posible gracias a la disponibilidad de petróleo, que es utilizado tanto en forma de materia prima como de energía para la fabricación de los costosos materiales necesarios, y para la construcción de las infraestructuras aparejadas. La energía que proporcionan es difícil de transportar y de almacenar y su cantidad varía en función de agentes externos, además cuenta con rendimientos no muy elevados. Si se aprovechase toda la energía eólica y se obtuviese su mayor rendimiento, elevando todos los aerogeneradores a 100 metros del suelo, la cantidad de energía obtenida tan sólo supondría el 75% de la energía primaria que los seres humanos consumimos en la actualidad, (DOE/EIA, 2013).

Una solución que se plantea son los biocombustibles que no tienen las prestaciones que presentan los gasóleos obtenidos del petróleo y, para incrementar su producción significativamente, se tendrían que dedicar una gran cantidad de tierras fértiles a su cultivo, lo que es complicado en un mundo en el que el hambre y la desertización son dos de sus problemas de más difícil solución. Además, nuevamente el petróleo aparece como el recurso que está detrás de su desarrollo, pues el proceso de siembra, tratamiento, fertilización, riego, cosecha, transporte y distribución requiere de energía que en la actualidad se obtiene del nombrado “oro negro” (Fernández, 2008).

Hoy en día la energía eléctrica en Cuba, al igual que en el resto del mundo, se genera fundamentalmente a partir de combustibles fósiles. Hasta hace pocos años en el país las centrales termoeléctricas llevaban todo el peso de esta generación, solo una pequeña parte le correspondía a la generación eólica e hidroeléctrica. A raíz de esta situación surgen problemas con la generación de electricidad, donde existían enormes pérdidas en el transporte y distribución de la energía desde las centrales termoeléctricas hasta el consumidor, debido a que entre ambos había cientos de kilómetros de distancia. Además las propias centrales comenzaron a deteriorarse obligando al país a realizarles reparaciones capitales. Comenzó entonces unido a estos problemas un crecimiento de la demanda de energía eléctrica que el país por su situación económica no podía satisfacer. Con la introducción en Cuba de la generación distribuida se disminuyeron de forma apreciable las dificultades del suministro estable de energía eléctrica, a partir de la instalación de emplazamientos diésel y posteriormente con emplazamientos de fuel oil, (Francisco, 2010). En Villa Clara existen un gran número de emplazamientos de generación distribuida, uno de los más importantes es Cayo Santa María, encargado de producir la energía que demanda la red hotelera con un sistema aislado donde no existe otras fuentes de energía. La central propiamente dicha, que tiene la función de servir de planta reguladora de la frecuencia en el sistema – isla de abastecimiento de energía eléctrica a toda el área habitada de la Cayería Norte de Villa Clara, consta de dos motores MAN modelo 18V28/32S que trabajan con fuel oil, de encendido por compresión sobrealimentados y de cuatro tiempos, que cuentan con 18 cilindros cada uno dispuestos en V, y están acoplados a sendos generadores eléctricos de 10 polos y 60 Hz que trabajan a una velocidad sincrónica de 720 rpm

Otra parte del suministro de energía eléctrica se satisface con (8 motores MTU de 1,7 MW de potencia cada uno) modelo 16V 4000 G81 que trabajan con diésel, con encendido por compresión y con cuatro tiempos, estos poseen 16 cilindros en V y se encuentran acoplados a generadores eléctricos marca Marelli, modelo MJB 5000 de cuatro polos y 60Hz que operan a 1800 rpm. Para el apoyo a estos grupos se instalaron cuatro máquinas Hyundai Himsen 9H21/32 de cuatro tiempos, con una potencia de 1,8 MW de nueve cilindros en línea, acoplado a un generador de 10 polos, con una frecuencia de 60 Hz y 900 rpm.

Para el control y monitoreo de la operación de todo el emplazamiento se cuenta con una sala que posee una consola de mando con una computadora que a través de su pantalla brinda acceso a los parámetros, mediciones, alarmas, señalizaciones, disparos y al mismo tiempo permite operar cualquier equipo. Cada consola de control está

diseñada para 16 grupos motor-generador, o sea, 4 baterías. Cada consola posee en su panel horizontal los botones de parada por emergencia de cada uno de los motores, las llaves para los modos de control y funcionamiento de frecuencia, voltaje y factor de potencia. En el panel vertical además del monitor de la computadora posee las lámparas de señalización de alarmas.

Los motores MTU de fabricación Alemana, fueron los primeros montados en el país y están compuestos por un motor diésel MTU 16V4000 G81, diseñado para trabajar seis horas al día, con una potencia de 1800 kW, 16 cilindros en V y 1800 rpm de velocidad nominal. Sus principales averías son: la quema del generador, fugas en el radiador y deterioro de los sistemas de control automático. A los motores MTU de la central se les aplicaron a lo largo de su explotación un sistema de mantenimiento preventivo planificado orientado por la propia firma. Se presentaron problemas de disponibilidad, no pudiéndose determinar con precisión las posibles causas que originan las fallas aun cuando los mantenimientos se realizan en los plazos planificados. Surge así la necesidad de confeccionar un sistema de mejoras de este mantenimiento mediante la aplicación del diagnóstico y un análisis de criticidad para determinar las principales causas de las fallas antes mencionadas.

Mantenimiento, filosofía del mantenimiento, mantenimiento de clase mundial.

El mantenimiento en el mundo se encuentra en un ambiente tan competitivo como en el que se desenvuelven hoy las empresas, el conocimiento de las últimas técnicas de gestión del mantenimiento siempre constituyen un camino adecuado para alcanzar una mejora en la eficiencia y en la productividad, (ABB, 2011). La aplicación del modelo de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM, es una técnica que ha dado muy buenos resultados en el manejo de activos y se refleja en la gestión del mantenimiento de la Gerencia de Plantas y la de Servicios y Suministros, al realizar una gestión en RCM para que se puedan tomar decisiones con una mayor cantidad de información, lo que permitirá que las acciones sean más acertadas (Vásquez, 2008). La motivación central de este estudio se basa en que son equipos de alta criticidad, y la pérdida de sus funciones durante una situación de emergencia eléctrica causa serios problemas en los servicios básicos eléctricos en el sector hotelero. (Pinzón, 2011)

Sistema de mantenimiento en los motores MTU de la Central Cayo Santa María

A todos los componentes de los grupos electrógenos diésel, se les aplica un sistema de mantenimiento preventivo planificado, orientado por la MTU y ejecutado por GEYSEL. A estos se les realiza un diagnóstico visual muy superficial sin la aplicación de ninguna técnica moderna, lo cual no permite detectar las fallas ocultas. El mantenimiento preventivo planificado es el más utilizado en la actualidad. Su característica principal es la de inspeccionar los equipos, detectar las fallas en su fase inicial y corregirlas en el momento oportuno. Se puede definir como una serie de revisiones en cuanto al funcionamiento y seguridad del equipo que se basan en ajustes, reparaciones, análisis, limpiezas, lubricación, calibración, etc; y se ejecutan en forma periódica en base a una planificación con un 98% de fiabilidad y no a una demanda. Los mantenimientos preventivos planificados que se les aplican a los motores de la central son M2 y M3. (Fernández, 2008)

El mantenimiento M2 se basa en el cambio de aceite del motor a las 350 horas de trabajo y del cambio de filtros de aceite de este.

El mantenimiento M3 se realiza a las 1000 horas de trabajo del grupo y consiste en la calibración de las válvulas del motor, cambio de los filtros de combustible, líquido refrigerante y aire.

El mantenimiento preventivo planificado comprende atenciones técnicas como el asentamiento, el mantenimiento técnico o revisión diaria, los mantenimientos técnicos periódicos, los chequeos técnicos, la reparación compleja y la conservación. Particularmente el asentamiento se encarga de garantizar el ajuste de los rodamientos, las uniones y las superficies de trabajo de los equipos nuevos o terminados de reparar. El proceso se realiza mediante un estudio del comportamiento de estos elementos durante un aumento gradual de la carga de trabajo. Este régimen de asentamiento es confeccionado por el fabricante y sus instrucciones deben aparecer en la documentación que trae anexa el equipo cuando es comprado. El mantenimiento diario se realiza antes y después de haber finalizado el trabajo de los equipos y se encarga de revisar el estado técnico del objeto. Se realiza sin instrumentos de medición, o sea, mediante una inspección visual y una verificación auditiva. Las principales acciones que se realizan en este mantenimiento son el control de niveles de agua, combustible, lubricante, limpieza del equipo, etc. La inspección diaria se lleva a cabo por el propio operario del equipo y este debe eliminar las insuficiencias encontradas después

de la revisión. Los mantenimientos técnicos periódicos se cometen una vez que el equipo realiza un volumen de trabajo.

Otra de las atenciones técnicas que realiza en mantenimiento preventivo son las revisiones técnicas. Se realizan con el objetivo de controlar si los equipos se están explotando por los operarios correctamente. Además permite prevenir los mantenimientos correctivos y aumentar el tiempo de funcionamiento de la máquina. Estos chequeos técnicos los llevan a cabo personal técnico o especialistas de la propia empresa (Stanislaw e Iñaki, (2010). En general las revisiones técnicas consisten en revisar la correspondencia del estado técnico real del equipo con los requerimientos de la documentación técnica, y posteriormente determinar el grado de preparación del objeto para la realización del trabajo. La reparación general de un equipo es otra de las actividades que realiza el (MPP). Se encarga de garantizar mediante un grupo de medidas y actividades, la reparación y la disponibilidad del equipo, luego de haber sufrido un profundo desgaste físico debido a su tiempo de trabajo. Define esta atención si el desarme del equipo será total o parcial, incluyendo actividades como las revisiones de los sistemas hidráulicos, neumáticos, eléctricos, de aire comprimido, de rodaje, entre otros. Se ha demostrado que mediante esta reparación general se recupera hasta un 95% de la capacidad de trabajo del equipo, garantizando que esta recuperación nunca disminuya de un 85%.

Mantenimiento correctivo o mantenimiento contra averías en los motores MTU.

En la Central Eléctrica Cayo Santa María el mantenimiento se encarga fundamentalmente de corregir las fallas en los equipos en el momento que ocurren. Para llevar a cabo este tipo de mantenimiento se necesita sacar por completo de funcionamiento la máquina que haya presentado la avería. Si el equipo averiado pertenece a una cadena de producción, el extenso tiempo de reparación de la falla provoca que el costo de mantenimiento que no era alto, se incremente hasta valores importantes encareciendo todo el proceso. Dicho sistema de mantenimiento demanda un gran número de personal de mantenimiento y piezas, e impide el diagnóstico exacto de las causas de la falla. (López, 2012)

Se realizó un análisis de la disponibilidad de los grupos electrógenos MTU, teniendo en cuenta los datos obtenidos en la tabla de control de operadores y las incidencias ocurridas en el período evaluado del libro de control de averías, y los periodos de mantenimiento del libro de registro. Los datos recopilados se graficaron: generación, mantenimiento y tiempo de indisponibilidad de los grupos contra el tiempo, así como los intervalos de averías ocurridas. Del análisis de generación, mantenimiento y disponibilidad se evidencia que existe una mala programación de trabajo de los motores. Las averías se presentan después de un periodo de trabajo muy intenso, más de 10 horas, lo que provoca la falla en los generadores, sistema de refrigeración y otros componentes. Los planes de mantenimientos están concebidos para operación menor o igual a 6 horas/día, por lo que la alteración en el ciclo de trabajo del motor provoca averías en los sistemas, no existiendo correspondencia entre el sistema de mantenimiento y los regímenes de explotación.

	Disponibilidad
Motor 1	Disponibilidad total, afectada por las paradas de mantenimiento (6-M2 y 2-M3). Con un promedio de trabajo 11 horas al día. (Figura1)
Motor 2	Disponibilidad media, afectada por los ciclos de mantenimientos (5-M2 y 2-M3) y con la avería en el generador. Con un promedio de trabajo de 9 horas al día. (Figura 1)
Motor 3	Disponibilidad alta, afectada por los ciclos de mantenimientos (7-M2 y 2-M3). Presentó avería en el radiador, después de dos meses de un trabajo intenso con un promedio de 17 horas al día. El promedio de trabajo del grupo es 8,57 horas al día. (Figura1)
Motor 4	Disponibilidad alta, se afectó solamente con los ciclo de mantenimientos (8-M2 y 3-M3) y 10 horas de trabajo al día. (Figura2)
Motor 5	Disponibilidad alta, se afectó con los ciclo de mantenimientos (7-M2 y 3-M3) y por la roturas de la Excitatriz. El promedio de trabajo fue de 9, 16 horas. (Figura2)
Motor 6	Disponibilidad baja, se afectó con los ciclo de mantenimientos (4-M2 y 2-M3), por averías presentadas en el radiador y el generador quemado. El promedio de trabajo en general es de 5 horas al día. (Figura2)
Motor 7	Disponibilidad baja, se afectó con los ciclo de mantenimientos (5-M2 y 2-M3), la quema del generador y una avería del radiador, después de un periodo de trabajo de 15 horas al día como promedio. El trabajo total de este es 6,19 horas al día. (Figura 3)

Tabla 1. Análisis de disponibilidad de los motores

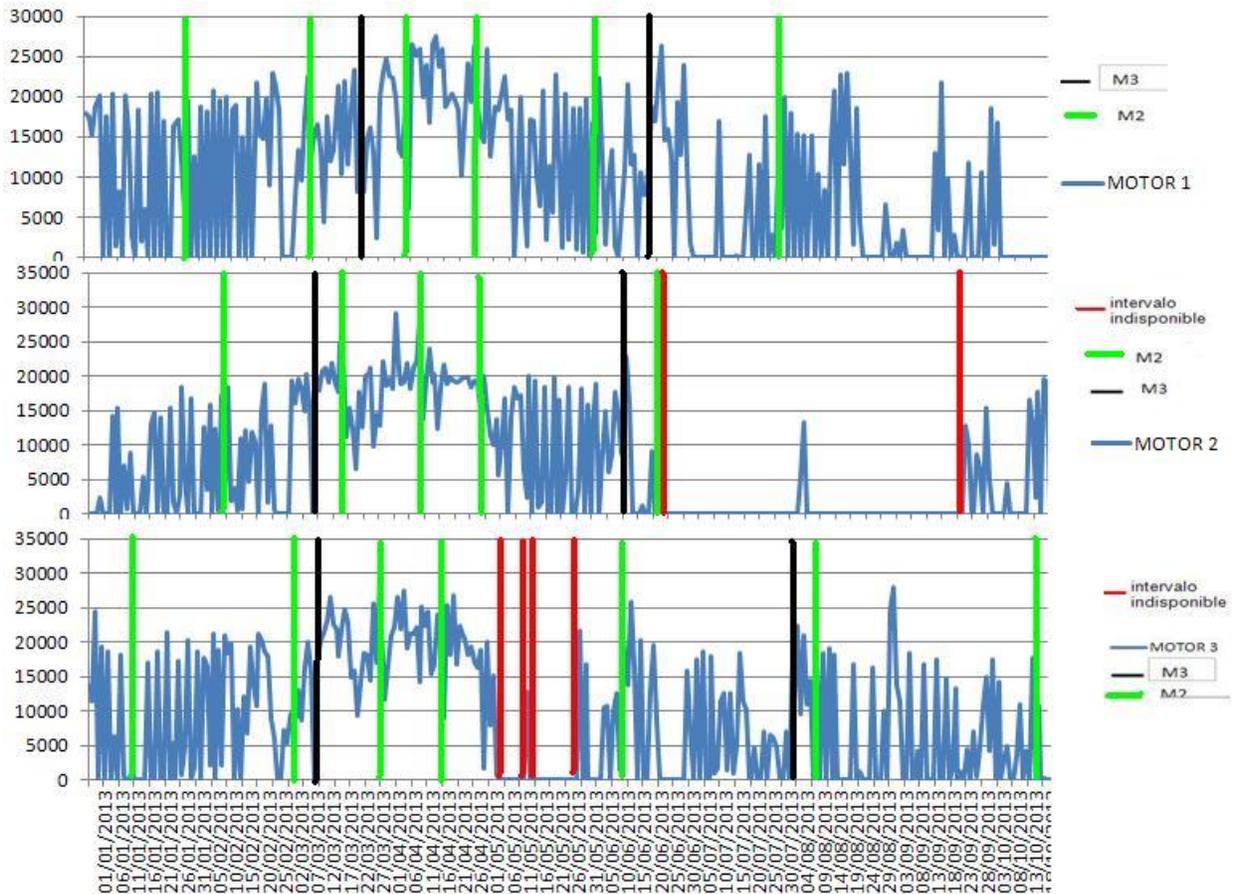


Figura 1. Generación, disponibilidad y mantenimientos de los motores 1 al 3

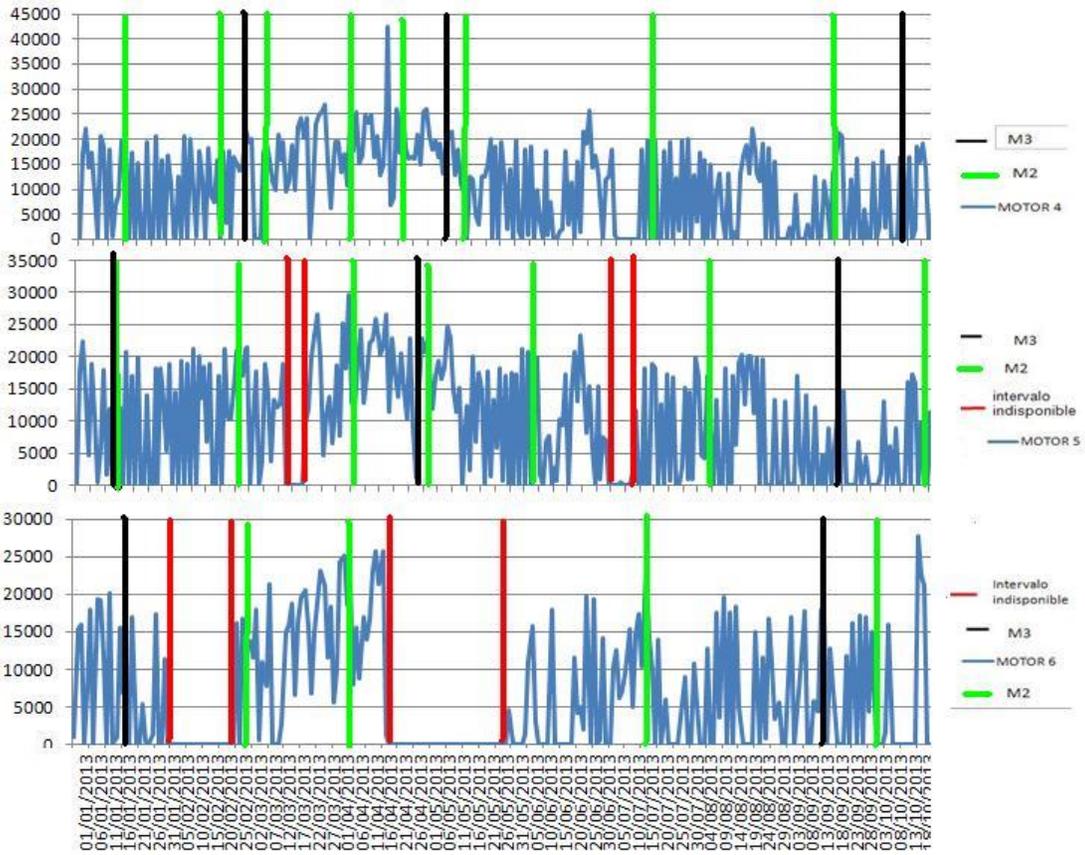


Figura 2. Generación, disponibilidad y mantenimientos de los motores 4 al 6

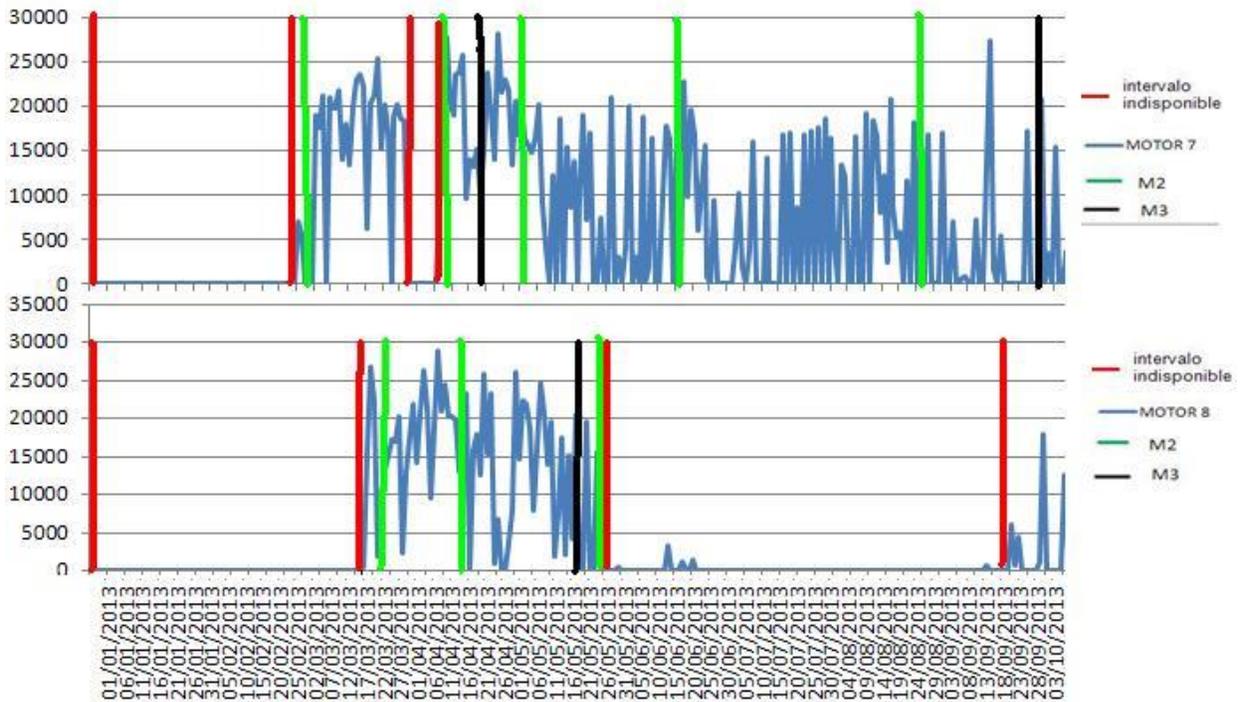


Figura 3. Generación, disponibilidad y mantenimientos de los motores 7 y 8

En el segundo periodo de este estudio se pudo apreciar que las salidas de los motores MTU por avería desaparecieron producto a la puesta en marcha de cuatro motores Hyundai Himsen de 1,8 MW de generación y con esto los MTU solo cubren el pico que es para lo que se encuentran diseñados.

Análisis de criticidad

Debido al número de equipos que operan en el centro de generación, es necesario establecer hacia qué equipos se deben dirigir todos los esfuerzos y metodologías de mantenimiento para atender las áreas o subsistemas más críticos. El Análisis de Criticidad, es una metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la Confiabilidad Operacional, basado en la realidad actual. El mejoramiento de la Confiabilidad Operacional de cualquier instalación o de sus sistemas y componentes, está asociado con cuatro aspectos fundamentales: confiabilidad del proceso, confiabilidad humana, confiabilidad de los equipos y mantenimiento de los equipos. (Bárbara, 2012).



Figura 4. Modelo básico de criticidad

Inicialmente se recolecta un grupo de información que ayude a identificar qué tan crítico puede ser cada equipo. Entre los datos a recolectar están la frecuencia de fallas, el impacto operacional que le puede causar a la operación la falta de este equipo, la flexibilidad operacional del equipo, el costo de mantenimiento del equipo y el impacto en la Seguridad, el Ambiente y la Higiene (SAH) en el momento de un daño (Díaz y otros, 2012). Con esta información se aplica la ecuación de la criticidad y el método de factores ponderados basados en el concepto de riesgo, donde los costos de mantenimiento anual son críticos cuando iguala o sobre pasa el 5% del costo del equipo, (Aguilar-Otero y otros, 2010).

Ecuaciones matemáticas de la criticidad

$$C = Frec. fallo * [(Impacto operacional * flexibilidad) + Costo Rep. + Impacto SMA]$$

ESTUDIO DE CRITICIDAD POR LOS FACTORES PONDERADOS BASADOS EN EL CONCEPTO DE RIESGO		CÓDIGO: PR-GE 10-F02
		VERSIÓN: 01
		FECHA:
EQUIPO: _____ MARCA: _____ Fecha: _____		
FRECUENCIA DE FALLAS	OPCIONES	SELECCIONADO
Pobre mayor a 4 fallas/año	4	
Promedio 2 - 4 fallas/año	3	
Buenas 1-2 fallas/año	2	
Excelente menos de 0,5 fallas/año	1	
IMPACTO OPERACIONAL	OPCIONES	SELECCIONADO
Perdida de todo el despacho	10	
Parada del sistema o subsistema y tiene reparaciones en otros sistemas	7	
Impacto en niveles de inventarios o calidad	4	
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	1	
FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	OPCIONES	SELECCIONADO
No existe opciones de producción y no hay función de repuestos	4	
Hay opciones de repuesto compartidos/almacén	2	
Función de repuesto disponible	1	
COSTO DE MANTENIMIENTO	OPCIONES	SELECCIONADO
Costo de mantenimiento anual mayor o igual al 5% del costo del equipo	2	
Costo de mantenimiento anual menor al 5% del costo del equipo	1	
IMPACTO DE SEGURIDAD AMBIENTE E HIGIENE (S.A.H)	OPCIONES	SELECCIONADO
Afecta la seguridad humana tanto interna como externa y requiere la notificación a entes externos de la organización	8	
Afecta el ambiente/instalaciones	7	
Afecta las instalaciones causando daños severos	5	
Provoca daños menores (ambiente - seguridad)	3	
No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente	1	
Realizado por: _____		

Tabla 2. Estudio de Criticidad por factores ponderados basados en el concepto de riesgo

EQUIPOS	CRITERIOS					Criticidad Total
	Frecuencia de fallas	Impacto operacional	Flexibilidad	Costos de Mtto	Impacto en SHA	
Bloque motor	1	10	4	2	7	49
Sistema de combustible	1	10	1	1	8	19
Sistema de escape	1	10	2	1	7	28
Sistema de aceite lubricante	1	10	2	1	8	29
Circuito de líquido refrigerante	2	10	2	1	5	52
Unidad de control ECU	2	10	2	1	3	48
Generador	3	10	4	2	8	150

Tabla 3. Criterios bajo el método de factores ponderados basados en el concepto de riesgos

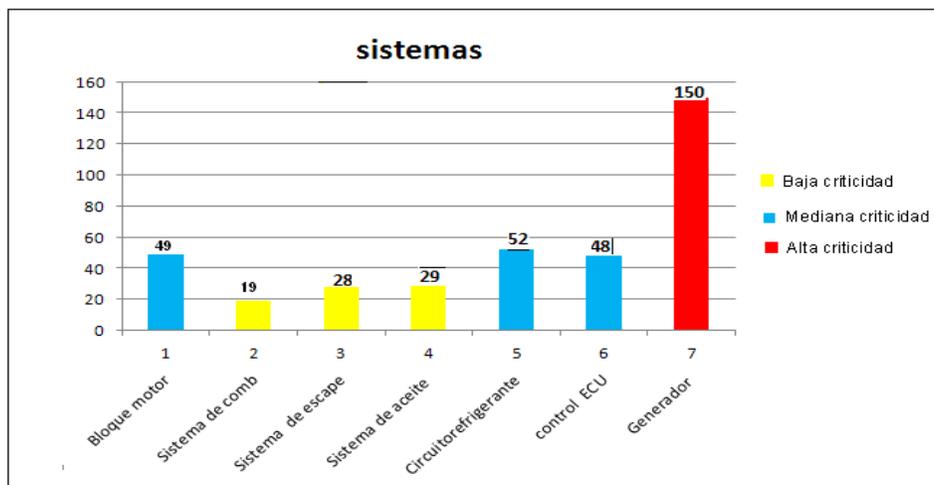


Figura 5. Modelo básico de criticidad

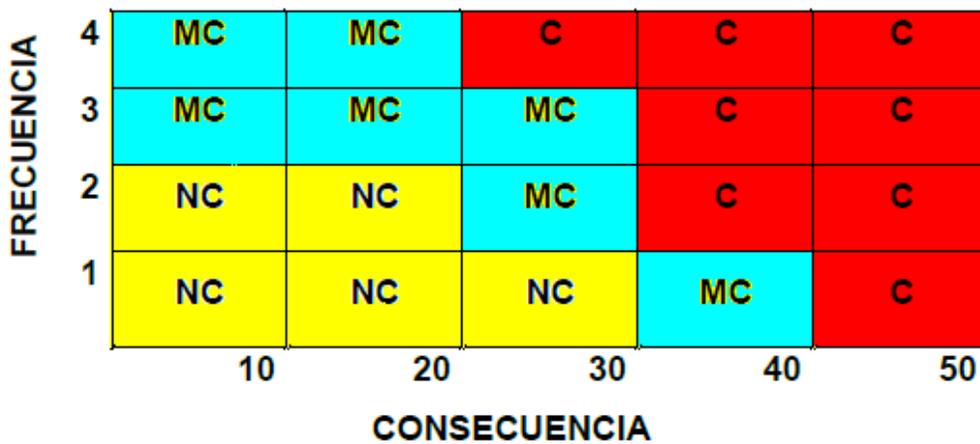


Figura 6. Matriz de criticidad

Principales causas de las averías en los motores

Baja Potencia: Inyectores defectuosos, debido a agua en el combustible diésel. Filtro de combustible obstruido. Filtro de aire obstruido. No llega suficiente combustible a los inyectores.

Baja compresión: Combustible diluido con agua, las camisas, pistones, aros y guías de las válvulas se encuentran desgastados.

Falla en el Circuito Electrónico, debido a desajuste en el tope del acelerador. Turbocompresor defectuoso, ya que las empaquetaduras se encuentran dañadas. Mala sincronización de las válvulas. Conducciones de retorno de gasoil obstruido.

Baja presión de aceite: Viscosidad de aceite incorrecta. Consumo excesivo de aceite, debido a desgaste en aros, camisas y guías de las válvulas. El nivel de aceite es incorrecto por fugas en las conexiones de lubricación del motor. Juegos de cojinetes incorrectos, debido a una falla en la reparación del motor.

Alta Temperatura: Las correas del ventilador y de la bomba de agua están inadecuadamente tensadas o dañadas. Obstrucción en el radiador, refrigerante con exceso de uso lo que provoca moho y corrosión en el radiador. Nivel de refrigerante muy bajo, debido a fugas en las conexiones de refrigeración. Bomba de agua dañada. Termostato no funciona. El sistema de refrigeración se encuentra con aire. Las juntas de la tapa del radiador no se encuentran enteras y por el empuje hay fuga de refrigerante.

Eléctrico: Bornes de la batería corroídos, baja carga. Cables rotos, sueltos o quemados. Defecto de funcionamiento de los componentes del circuito de arranque, lo que ocasiona que el sistema bendix no funcione. Alternador dañado por exceso de horas de trabajo (18) o por altos niveles de humedad en el arranque.

Vibración: Deterioro de los soportes del motor. Desgaste de los cojinetes del motor.

Principales medidas para prevenir las averías detectadas.

Baja Potencia: Se debe analizar los combustibles usados para evaluar sus parámetros fundamentales como el índice de azufre y partículas en suspensión, para evaluar los niveles de desgaste en los componentes de inyección del motor y la contaminación en el aceite del mismo. Revisar con periodicidad los filtros de combustible y/o sustituir la bomba. El uso de llaves certificadas para el apriete de la culata del motor, para lograr el ajuste recomendado por el fabricante y evitar la pérdida de compresión por salideros en la junta.

Baja presión de aceite: Recomendar el análisis de los lubricantes. Verificar el estado de los filtros de aceite.

Alta Temperatura: Analizar del uso del refrigerante en cuanto a tiempo y verificar el nivel del mismo. Analizar la corrosión en el impelente en la bomba de agua. Analizar funcionamiento del Termostato.

Eléctrico: Revisar los aprietes en los bornes en la batería. Revisar las conexiones, cables rotos, sueltos o quemados. Analizar el funcionamiento de los sistemas del circuito electrónico en el grupo. Modificar las variantes de arranque y trabajo del generador, aumentar las resistencias de pre-caldeo para evitar la humedad en el generador. Analizar las horas de trabajo del alternador dañado por exceso de horas de trabajo.

Vibración: Analizar el deterioro de los soportes y el desgaste de los cojinetes del motor.

Análisis de resultados

Se pudo constatar que el nivel de preparación de los operadores es bajo, no existe una estrategia de operación adecuada en los motores y además no se analizan las incidencias registradas en el libro de control para realizar mejoras en la operación y el mantenimiento del emplazamiento. No existe una debida correlación entre las empresas encargadas de la operación (Geysel, ENGEF, GDECU) y las encargadas de mantener la disponibilidad.

El análisis de la generación dio como resultado que las principales averías ocurren después de un largo periodo de trabajo continuo, las roturas más importantes consisten en el pérdida del aislante del devanado (quemado) del generador, problemas de aislamiento y fallos en la excitatriz, sistemas de combustible con fallas en la presión de

trabajo, el sistema electrónico presenta roturas en las tarjetas que gobiernan el grupo, sistema de líquido refrigerante con rotura en los fluses de los radiadores y mangueras de líquido refrigerante, en el bloque del motor presenta roturas en las camisas, así como los pistones y en la culata.

En el generador existe desajuste en los devanados de la excitatriz, pérdida del aislamiento de este y rotura de las resistencias de pre caldeo, debidas todas a los excesos de horas de trabajo y la mala planificación de los mantenimientos. En el sistema de refrigeración existen fugas por la junta de la tapa del radiador y en los fluses del radiador.

A partir del estudio de la generación, estrategia de operación y mantenimiento del emplazamiento de grupos electrógenos se propone una modificación del mantenimiento que se realiza en el emplazamiento, teniendo en cuenta un análisis de criticidad, específicamente se propone un mantenimiento productivo total. Al generador presentar un elevado índice de criticidad se propone un mantenimiento predictivo con técnicas especializadas. Los sistemas de refrigeración, combustible, controles electrónicos y el bloque del motor presentan una criticidad media, por tanto se propone mantenimiento preventivo planificado con un monitoreo continuo para la detección de irregularidades en el funcionamiento del motor. A los demás componentes del grupo se les recomiendan un mantenimiento correctivo por el bajo índice de criticidad presentado.

CONCLUSIONES

- La Central Eléctrica Cayo Santa María con motores MTU de Diésel presenta un inadecuado manejo de los porcentajes de carga de los motores, existiendo una relación directa entre el exceso de horas de generación de las máquinas con el aumento del índice de incidencias (averías). Toda vez que se explota un motor por encima de las 6 horas diarias establecidas por el fabricante, aumentan las fallas en los distintos sistemas del grupo. Teniendo en cuenta que de acuerdo a las especificaciones del fabricante los MTU no deben trabajar más de seis horas seguidas, pues estos grupos están concebidos para la reposición del sistema después de una caída de generación, por su rápida capacidad de general en poco tiempo.
- La propuesta de modificación del mantenimiento preventivo planificado mediante el diagnóstico técnico” disminuirá el riesgo de accidentes o destrucciones de los equipos debido a intervenciones innecesarias de mantenimiento, incrementará la disponibilidad y la vida útil de los motores, acortará el tiempo de parada por mantenimiento y se reducirá la frecuencia de averías inesperadas.
- El estudio de criticidad muestra que los componentes que más fallan son: generador con un alto índice de criticidad de 150 (roturas más frecuentes son: quema de los devanados en el enrollado, rotura en el puente de diodos y el desajuste de los devanados de la excitatriz); sistemas electrónicos con un índice de criticidad de 48 (averías más frecuentes: el control del generador (AVR) y el gobernador del motor); el sistema de líquido refrigerante presenta un índice de criticidad de 52 (averías en los radiadores y en las mangueras); el bloque del motor tiene un índice de criticidad de 49 (averías en la culata, pistones y camisas) y los demás sistemas del motor tienen un índice de criticidad bajo y las roturas son muy aisladas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABB. (2011) Benchmark en Confiabilidad de Clase Mundial (WCR®). Incremento de utilidades, eficiencia en la producción y reducción de costos. South Houston.
2. Aguilar-Otero, J. A., Torres-Arcique, R., Magaña-Jiménez, D. (2010). Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. *Tecnol. Ciencia Ed. (IMIQ)*, 25(1), 15-26.
3. AIAE. (2005). *Energy indicators for sustainable development: Guidelines and methodologies*. Vienna: United National Department of Economic and Social Affairs, International Energy Agency. Eurostat and European Environment Agency.
4. Bárbara, H. M. (2012). Análisis de criticidad de grupos electrógenos de la tecnología fuel oil en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(3), 55-61.
5. Díaz, A., Pérez, F., Castillo, A., Brito, M. L. (2012). Propuesta de un modelo para el análisis de criticidad en plantas de productos biológicos. *Ingeniería Mecánica*, 15(1), 34-43.
6. DOE/EIA. (2013). *Annual Energy Outlook 2013*.

7. Fernández, S. (2008). Caracterización del sistema actual de diagnóstico a los motores de combustión interna diésel en empresas cubanas y propuesta de modificación. *Revista Ingeniería Energética*, 29(2), 51-58.
8. Francisco, F. M. (2010). Calidad de la energía y generación distribuida en Cuba. *Revista Cubana de Ingeniería*, 1(3), 41-50.
9. López, A. D. (2012). Propuesta de modificación del sistema de mantenimiento preventivo planificado (MPP) aplicado en los motores de las Centrales Eléctricas de Fuel utilizando el diagnóstico *técnico*. Tesis de Diploma, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara.
10. Pinzón, A. A. (2011). Diseño de un plan de gestión para el mantenimiento centrado en la confiabilidad. Tesis de Especialista en Gerencia de Mantenimiento, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
11. Stanislaw, K., Iñaki, H. (2010). Empirical analysis of integration within the standards-based integrated management systems, Vol 4 No.1, 2010. *International Journal for Quality research*, 4(1).
12. Vásquez, O. D. E. (2008). Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM en motores Detroit 16v-149ti en Codelco División Andina. Universidad Austral de Chile, Santiago.