



# Optimización del mantenimiento preventivo utilizando las técnicas de diagnóstico integral. Fundamento teórico-práctico

Pedro L. Hernández    Juan Montes de Oca  
Miguel Carro        Sergio J. Fernández

Recibido: Enero del 2008  
Aprobado: Marzo del 2008

## Resumen / Abstract

Se expone un método para la optimización del mantenimiento preventivo planificado (MPP) a partir de la introducción del mantenimiento basado en la condición (MBC) en las turbinas y generadores de vapor de una central termoeléctrica cubana, utilizando las técnicas de diagnóstico integral. Se presenta el estado del arte del desarrollo del mantenimiento y se caracteriza este en las centrales termoeléctricas cubanas; además, se realiza un estudio estadístico de las fallas y se presentan varios casos de estudio con la finalidad que el lector pueda comprender la necesidad de implantación de esta técnica, cuyos únicos costos son la organización de los datos de fallas y la colaboración del personal técnico ligado a las mismas.

Palabras clave: Optimización del mantenimiento, turbina de vapor, fallas, variables de estado de diagnóstico

In this present paper the author exposed a method for the optimization of the planned preventive maintenance (PPM) starting from the introduction of the condition based maintenance (CBM) in the steam turbines and generators in a cuban thermoelectric power station, using the techniques of Integral Diagnosis. In the same one the state of the art of the development of the maintenance is presented and the last one is characterized in the cuban thermoelectric power station, it is also carried out a statistical study of the failures and several cases of study are presented with the purpose that the reader can understand the necessity of installation of this technique whose only costs belong the organization of the data of failures and the collaboration from the bound technical personnel to the same ones.

Key words: Optimization of maintenance, steam turbines, failures, variables of diagnosis

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, todas las grandes empresas del mundo se encuentran enfrascadas en el mejoramiento u optimización del mantenimiento preventivo planificado (MPP) a partir de la introducción de técnicas del mantenimiento centrado en la confiabilidad (MBC) y del basado en la condición (MBC). El presente trabajo pretende mostrar una metodología certera para la introducción del MBC en dos activos fundamentales de una central termoeléctrica (CTE): Una turbina y un generador de vapor, a partir de los métodos y técnicas

que ofrece el diagnóstico integral (DI),<sup>1-3</sup> con el fin de dotar al resto de las centrales termoeléctricas (CCTT) del país de una herramienta de gran valor para la detección y el análisis de las fallas, lo cual permitirá el mejoramiento paulatino del mantenimiento (MPP) que en las mismas se aplica.

El desarrollo e introducción de dicha metodología se ha realizado en las (CCTT): Máximo Gómez de Mariel (en una turbina de vapor), y la Antonio Guiteras Holmes de Matanzas (en una turbina y un generador de vapor).

Las turbinas y generadores de vapor en las centrales eléctricas (CCEE), son considerados equipos fundamentales dentro del proceso productivo de generación de energía eléctrica, ya que son los encargados de mover el rotor del generador para producir la energía, utilizando como materia prima el vapor, lo cual implica que una salida fuera de servicio de cualquiera de ellos, provocaría la pérdida total de la carga que se esté generando.

Cuba cuenta con algunas unidades generadoras de fabricación rusa, que fueron construidas antes de la década del 70, con una automática de diseño elemental y otras más modernas, de diferentes procedencias y capacidades, las cuales han sido diseñadas para trabajar a un régimen base, el cual no se cumple en la actualidad.

La tensa situación económica a que Cuba ha estado sometida en los últimos años repercutió en forma directa en las CCTT, teniendo el país que tomar medidas como: La de quemar el crudo nacional" y la de generar a "toda costa" sin la debida preparación, ni tener creadas las condiciones materiales para enfrentarlas. Esto hizo que en las CCTT se acortaran los plazos de mantenimiento, debido al deterioro a que estaban expuestas las instalaciones. Este nuevo régimen de explotación impidió su utilización más eficaz y aceleró su estado de envejecimiento, lo cual demanda de más piezas de repuesto y de una organización y control estricto de un sistema de mantenimiento óptimo, a partir de las experiencias cubanas.

En ello radica la importancia de este trabajo, que encuentra enmarcado en el mejoramiento o perfeccionamiento del MPP a partir de la utilización de la metodología que ofrece el DI, el cual combina algunas tareas del mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) como el tratamiento de datos de fallas y la selección del período de muestreo y del MBC; utilización de las bases dinámicas de datos, sistemas expertos, etc., con tareas propias del mismo como es la determinación de las variables o parámetros de estado de diagnóstico a través de las matrices de fallas (MF) y de parámetros óptimos (MPO), la determinación de los períodos de muestreo a partir de los filtros condicionados propios del mismo.<sup>2,3</sup>

Por la extensión y profundidad de este tema, los autores han decidido desarrollarlo en tres artículos, los cuales se conformarán de la siguiente manera:

- Artículo I. Algunos aspectos del mantenimiento moderno, resultados generales de la caracterización del mantenimiento en las CCEE cubanas y los elementos fundamentales de la metodología utilizada, estudio hipotético de los datos de fallas de una central termoeléctrica.

- Artículo II. Aplicación teórico-práctica de esta metodología: Los diagramas de Lorenz e Ishikawa, el análisis de criticidad para la evaluación de los activos más críticos, las MF y la MPO y las variables de estado de diagnóstico óptimas, finalizando con el desarrollo de algunos modos de fallos de las fallas.

- Artículo III. Se presentan los resultados finales del trabajo, dentro de los que se encuentran: La matriz de mantenimiento y diagnóstico, el desarrollo de algunos métodos de obtención de los períodos de muestreo, una evaluación económica simple al igual que las conclusiones finales.

Se debe destacar que aunque los resultados presentados son de casos reales, en que el grupo de autores han estado involucrado en alguna CTE cubana, los datos de fallas se han tomado de forma tal que contengan algunos elementos y resultados interesantes de estudio y no respondan a las características reales de una en particular.

## ESTADO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO EN EL MUNDO

La función del mantenimiento,<sup>1-6</sup> ha cambiado a lo largo de los últimos 60 años, de forma vertiginosa, debido a la aparición de diferentes factores entre los que se encuentran:

- Enfoques hacia la calidad de los productos y de los procesos.
- Necesidad de obtener altos niveles de confiabilidad y disponibilidad.
- Disminución de los costos de producción.
- Aumento de la seguridad del personal y de las instalaciones.
- Disminución de las demandas de servicio.
- Introducción de nuevas técnicas.
- Alta competitividad y gran confiabilidad de los activos de las empresas.

Debido al enfoque global, hoy en día se necesita que el mantenimiento esté integrado en un contexto empresarial orientado hacia los negocios con un alto grado de competitividad para asegurar la confiabilidad de los activos de las empresas.

El mantenimiento sigue en desarrollo y forman parte de él diferentes movimientos, entre los que se destacan:

- OIM: Optimización integral de mantenimiento.<sup>4,9,12</sup>
- TPM: Mantenimiento productivo total.<sup>8</sup>
- MCC 2: Mantenimiento centrado en confiabilidad.
- Gestión y evaluación de riesgos.<sup>13</sup>
- AMFE: Análisis de modos de falla y sus efectos.<sup>13,14</sup>
- Diseño para la confiabilidad y la mantenibilidad.<sup>14, 15</sup>
- Análisis de disponibilidad y confiabilidad.
- Monitoreo de la condición y análisis predictivo.<sup>2,3,16</sup>
- Tercerización.<sup>2, 3</sup>

En general, todos estos movimientos van dirigidos a un perfeccionamiento constante del MPP a partir de la integración de las técnicas del MCC y del MBC.

#### CARACTERIZACIÓN DEL DIAGNÓSTICO Y MANTENIMIENTO EN LAS CCEE

La característica fundamental del mantenimiento aplicado en las CCEE hasta los momentos actuales, es el del MPP, con alguna introducción de técnicas del MBC pero sin la requerida organización que permitiría su incorporación total al mantenimiento.

Para la realización de la caracterización del estado del diagnóstico y el mantenimiento en las CCEE<sup>3,17-19</sup> se realizaron visitas a las centrales eléctricas, reuniones y entrevistas con técnicos especializados que arrojaron, entre otros, los siguientes resultados:

1. Debido a la situación económica que ha confrontado el país, se han cambiado los ciclos de mantenimiento planteados por los diseñadores, lo cual se ha reflejado en un deterioro acelerado de los bloques generadores donde se observa la necesidad de rediseñar los primeros a partir de la experiencia cubana.
2. A pesar de todas las dificultades existentes en el país, la Unión Nacional Eléctrica (UNE) ha realizado ingentes esfuerzos en la introducción de equipos de diagnóstico de tercera y cuarta generación en las CCEE y en la formación del personal de las mismas, posibilitándose que en ellas existan las condiciones necesarias para la introducción de las técnicas y métodos del MBC de forma paulatina, eficiente y económicamente rentable que permitan la estabilización y perfeccionamiento del MPP actual.
3. Se necesita crear grupos de ingeniería de confiabilidad que dirijan y controlen el desarrollo de estos cambios, basándose en una política de marcas, Benchmarking.
4. Se necesita además introducir un sistema de gestión automatizado moderno, con arquitectura abierta, que permita en una primera etapa, el control

del sistema establecido de mantenimiento y después el desarrollo del mismo.

#### PASOS PRINCIPALES A DESARROLLAR

En estos artículos los autores desarrollarán, de una forma sucinta, los siguientes pasos:

- Caracterización del diagnóstico y mantenimiento de las CCEE.
- Caracterizar la turbina y el generador de vapor con sus agregados de una CTE.
- Desarrollar un análisis estadístico de las fallas directas e indirectamente relacionadas con estos activos principales.
- Obtener algunas relaciones fundamentales causa - efecto (diagramas de Ishikawa) de los mismos.
- Obtener la relación fallas-variables del estado de diagnóstico y los parámetros óptimos que los representan, a partir de sus matrices de fallas (MF) y de parámetros óptimos (MPO).
- Obtener algunos modos de fallos de las fallas (MFF).
- Desarrollar la matriz de mantenimiento y diagnóstico.
- Realizar un análisis económico de la introducción del sistema.

Todos estos pasos serán brevemente desarrollados en los tres artículos, tratando de concentrar aquellos que tengan un denominador común, como es el caso del análisis estadístico de las fallas, el cual se presenta a continuación.

#### ANÁLISIS DE FALLA

Uno de los pasos más importantes del MCC y del DI es el análisis de fallas o comportamiento estadístico de un proceso determinado, para ello se debe tratar: Histogramas, análisis de frecuencia, tasa de falla ( $\lambda$ ), tiempo medio entre fallas (TMEF), tiempo medio para reparación (TMPR) función de densidad, función de distribución, función de confiabilidad o de sobrevivencia (R), función de riesgo, de modelación paramétrica, función de confiabilidad de Weibull, etcétera.

La mayoría de los equipos que se utilizan en CCEE son equipos que sufren desgastes con el tiempo, y pueden ser representados por la curva de la bañera, la cual da la probabilidad de sobrevivencia de los mismos. La distribución o función de supervivencia más utilizada es la de Weibull, ya que permite en la mayoría de los casos, el ajuste de las observaciones a un modelo lineal, después que resuelve las ecuaciones mediante el método de máxima verosimilitud.

Todo este proceso de ajuste de los modelos matemáticos ocurre a través de los modelos paramétricos, para lo cual se necesita estimar las variables que identifican en qué parte de la curva de la bañera se encuentra el referido equipo. Es decir hay que determinar en que zona de su vida está ubicado ( $\beta < 1$ ,  $\beta = 1$  y  $\beta > 1$ ).

Se debe destacar que no es posible un análisis de fallas sin que las empresas:

- Utilicen el análisis causa - raíz como una herramienta de diario uso.
- Conozcan el origen exacto de las fallas.
- Tengan una clasificación adecuada de las mismas.
- Tengan establecidos los indicadores de clase mundial.
- Tengan segregados los tipos de mantenimiento.
- Tengan implantado todos los indicadores de costos del mantenimiento.

Como se puede apreciar existe un sinnúmero de textos que profundizan en este tema y los autores solo pretenden dar una idea somera de la importancia de este tratamiento a través del análisis de algunos casos de turbinas y generadores de vapor.

**ALGUNOS EJEMPLO DE LAS TURBINAS Y LOS GENERADORES DE VAPOR**

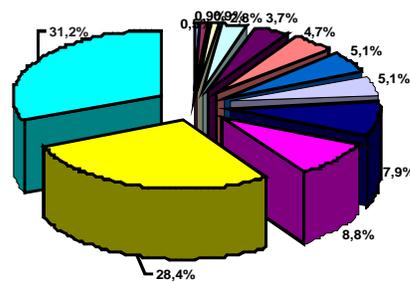
A continuación se desarrollará un análisis estadístico hipotético sobre las fallas ocurridas en turbinas de 100 MW y 330 MW del país, desde el año 1992 hasta el 2005.

Los datos, aunque en algún caso pueden reflejar el comportamiento de una turbina de vapor real, fueron inducidos a manera de ejemplo con la finalidad de que la metodología sirva de referencia en el futuro mejoramiento o perfeccionamiento del MPP de las CCEE. En estos se supone un corte por modernización de una turbina en el año 2000 lo cual, desde el punto de vista metodológico, permite comprender el tratamiento de los datos y los resultados del análisis, cuando un activo cualquiera pasa por una situación similar y cómo pueden servir de referencia para posteriores períodos de trabajo. Por esta razón, en el primer caso, se dividirá el período en dos etapas, del 1992 - 2000 y el del 2001 - 2005.

Un análisis de la tabla 1 y de la figura 1, muestra que entre los años 1992 y 2000 la mayor cantidad de fallas recayó en el sistema de circulación, por causas externas, y en el sistema regenerativo de baja presión. Es importante resaltar que en el sistema de circulación, la mayor incidencia la tuvieron los problemas con el vacío y la dureza en el condensador, provocados por rajaduras y tapones flojos respectivamente.<sup>8</sup>

Un análisis de la tabla 2 y de la figura 2, demuestra que en el periodo comprendido del 2001 al 2005 las fallas de mayor incidencias en la turbina de vapor no coinciden con las fallas más significativas de los años anteriores, ya que el porcentaje de fallas era mucho menor, debido a la modernización. En este periodo las fallas de mayor ocurrencia fueron intrínsecas de la turbina de vapor.

Tabla 1 Total de fallas por subsistemas (1992-2000)		
Desde 1992-2000		
Subsistemas	No. de fallos	Peso de cada subsistema en %
Turbina	1	0,47
Causas inducidas	2	0,93
Circuito intermedio	2	0,93
Errores de explotación	6	2,79
Vibraciones	8	3,72
Regenerativo alta presión	10	4,65
Lubricación	11	5,12
Regulación	11	5,12
Alimentación	17	7,91
Regenerativo baja presión	19	8,84
Causas externas	61	28,37
Circulación	68	31,16
Total de fallos (turbinas)	215	100



Porcentaje de fallas por subsistema del bloque (1992-2000).

1

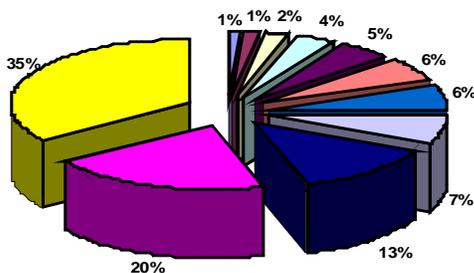
**ENERGÍA INDISPONIBLE**

En las figuras 3 y 4, se puede observar que a pesar de que el año de mayor cantidad de fallas fue el 1997, provocado fundamentalmente por problemas de bajo vacío en el condensador, el año de mayor indisponibilidad en megawatt hora, fue el año 1999, provocado fundamentalmente por problemas de baja frecuencia.

Es importante resaltar que el punto correspondiente al año 1999 distorsiona completamente el gráfico y la línea de tendencia queda supeditada a este, lo cual hace que exista una predicción mucho mayor para el año 2001 que la que correspondería al comportamiento hasta el año 1998; esto se conoce como procesos fuera de control que son altamente perjudiciales en los resultados de una empresa.

Tabla 2  
Total de fallas por subsistemas (2001-2005)

Desde 2001-2005		
Subsistemas	No. de fallos	Peso de cada subsistema %
Regenerativo alta presión	1	1,19
Lubricación	1	1,19
Regenerativo baja presión	2	2,38
Regulación	3	3,57
Error es de explotación	4	4,76
Automática	5	5,95
Circulación	5	5,95
Causas externas	6	7,14
Alimentación	11	13,10
Vibraciones	17	20,24
Turbina	28	34,52
Total de fallos (turbina)	84	100



Porcentaje de fallas por subsistema del bloque (2001-2005).

En las figuras 5 y 6 se analiza el período del 2001- 2005, y reflejan que el año 2003 fue el de mayor indisponibilidad, la mayor influencia recayó en los problemas propios de la turbina de vapor. También se puede apreciar que de acuerdo con la tendencia de la figura. 3, se preveía una indisponibilidad para el año 2001 inferior a 60 000 MWh y el comportamiento real (figura 5) muestra que en realidad ocurrió una indisponibilidad de 220 000 MWh lo cual indica que los resultados del mantenimiento fueron muy negativos.

OTRO EJEMPLO DE INTERÉS DE UNA TURBINA DE VAPOR

En la figura 7 se puede observar el comportamiento las fallas y las indisponibilidades de una turbina de vapor, en el período 1990-1999 de una CTE donde se refleja el comportamiento típico de los equipos que sufren desgastes con el tiempo.

En esta se puede apreciar la curva característica de la vida de un equipo, en su forma típica o también llamada "curva de la bañera". El período inicial presenta incidencias de fallas por diseño o fabricación, instalación o montaje. En este período de tiempo (1990-1991) se caracterizó por fallas de diseño en paletas, que mantuvo la unidad fuera de servicio y después limitada por algún tiempo. Este período es conocido como la "zona de mortalidad infantil" donde se cumple que:  $\beta < 1$ .

Entre el año 1991 a 1998 la disponibilidad es significativamente alta y relativamente constante en el transcurso del tiempo. Es muy importante señalar que esta unidad mantuvo un comportamiento estable, típico de este periodo, precisamente en la etapa más crítica de la generación en el país (periodo especial). Esta es la "zona de la vida útil" donde se cumple que  $\beta = 1$ .

Al final de este período se puede apreciar cómo la turbina comienza a aumentar su indisponibilidad manifestando la necesidad de un mantenimiento.

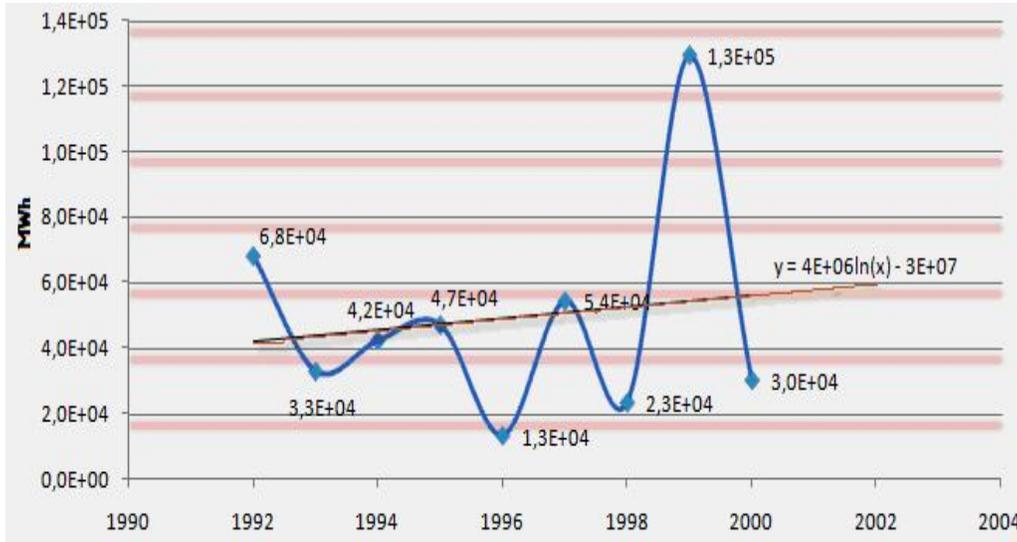
En el siguiente ejemplo se utiliza el límite de control de 1S basado en la desviación estándar (S); en este se presenta un análisis limitado, debido a la "censura" de los datos disponibles, del comportamiento del vacío en la CTE, en el cual se determinan los límites superior e inferior mediante el cálculo del intervalo de confianza ( $X \pm 1S$ ).

En la figura 8 se puede apreciar que aparecen varios puntos "fuera de control", los cuales deben ser analizados de forma adecuada para resolver los problemas inherentes a los mismos.

## INDICADORES DE CLASE MUNDIAL

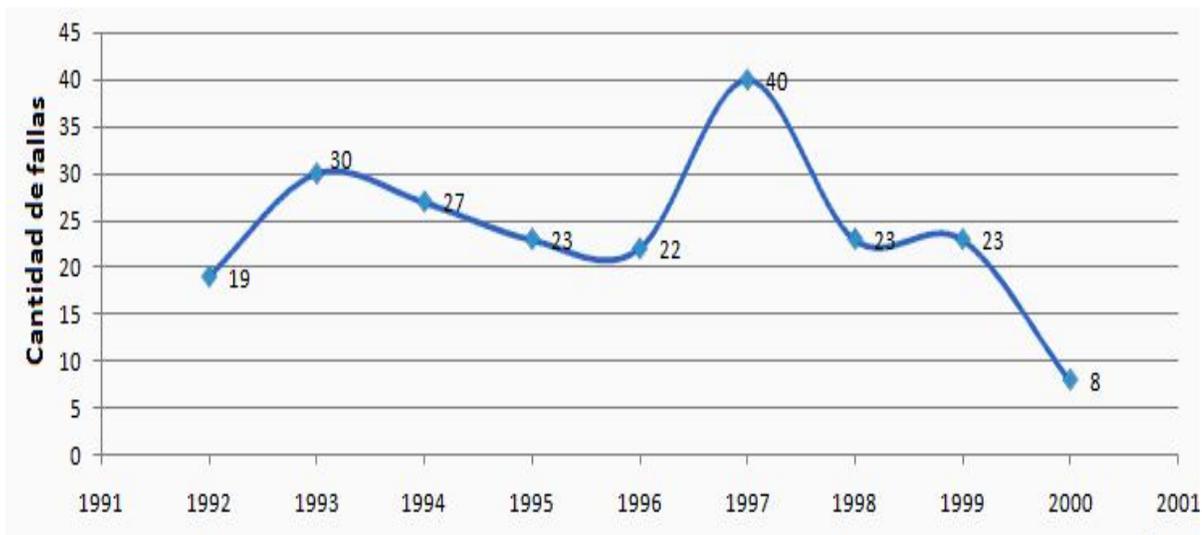
A continuación se aborda el tema referido a los indicadores usados<sup>1,2,4,16-19</sup> en las CCEE cubanas y se dan algunos resultados de los mismos. Como ejemplos se toman algunos como: El tiempo medio entre fallas (TMEF), tiempo medio para la reparación (TMPR), confiabilidad (R), disponibilidad (D) y mantenibilidad (M) así como otros relacionados con la gestión, la tasa de falla y la tasa de reparación ( $\lambda$ ,  $\mu$ ).

**HROP:** Tiempo total de operación de los ítems analizados.  
**HTMC:** Tiempo total de reparación de la unidad.  
**HTMC:** Total de fallos en los ítems analizados.  
**HOIT:** Total de ítems analizados.  
**HTMI:** Tiempo dedicado al mantenimiento del equipo.  
**Indicadores usados en las CCEE cubanas**



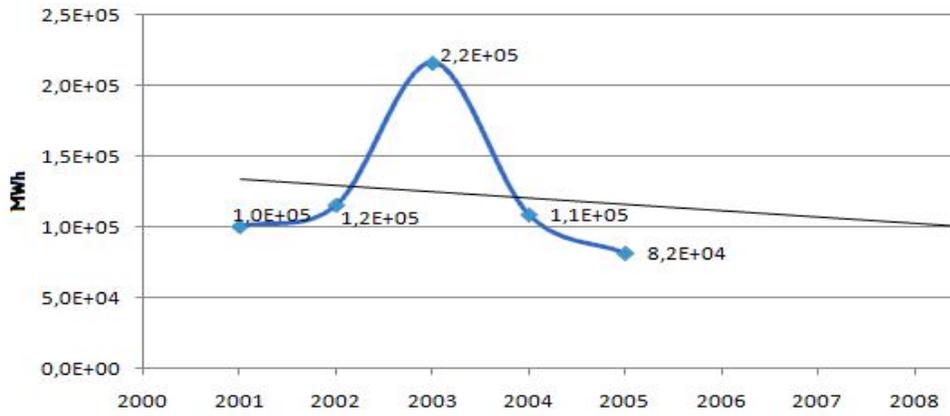
Comportamiento de las indisponibilidades en megawatt hora (1992-2000).

3



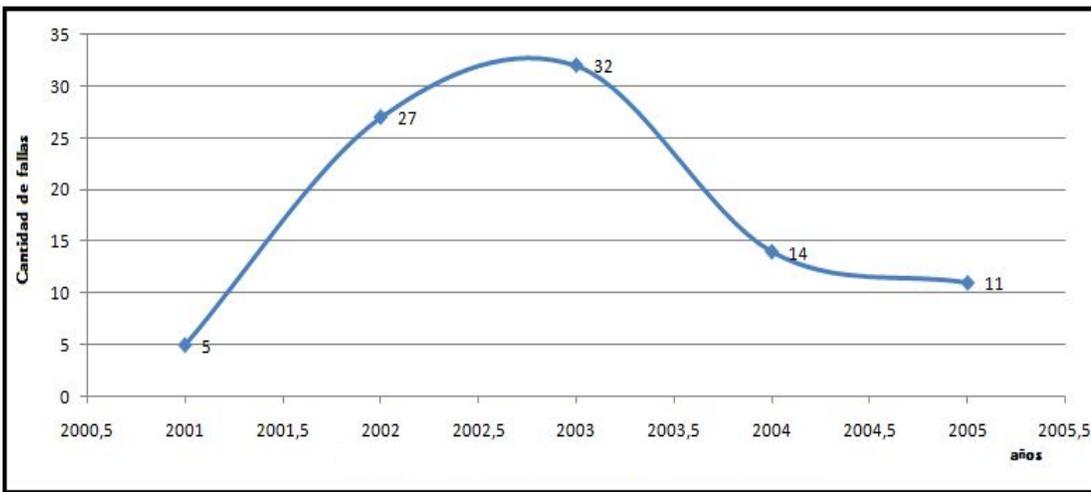
Cantidad de fallas en los años 1992-2000.

4



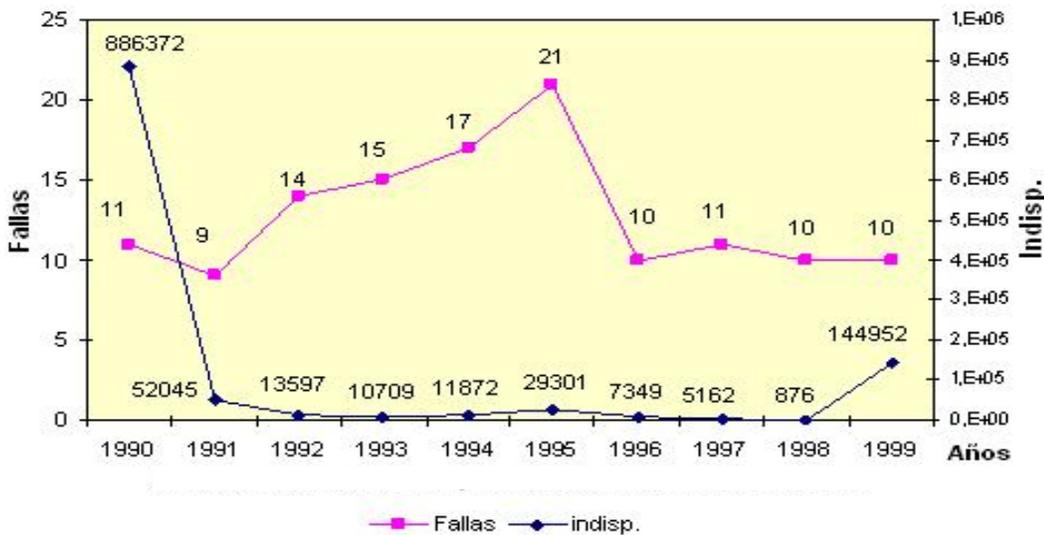
Comportamiento de las indisponibilidades en megawatt hora (2001 - 2005).

5



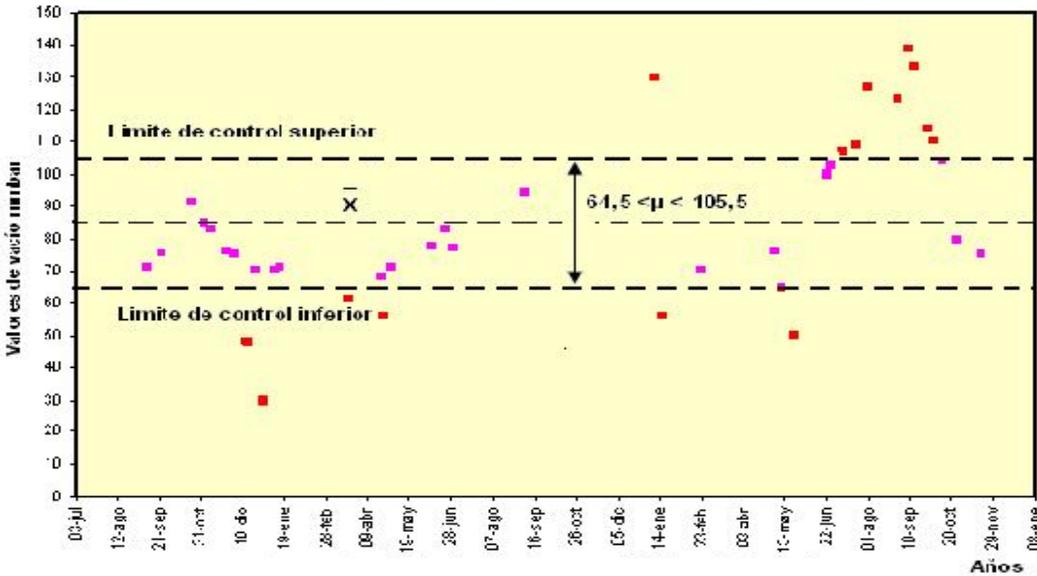
Cantidad de fallas en los años 2001-2005.

6



Comportamiento de fallas e indisponibilidades 1990-1999.

7



Comportamiento del vacío de la CTE en los años 2002 - 2004.

8

**Tiempo medio entre fallos (TMEF)**

Conocido mundialmente como tiempo medio de buen funcionamiento, es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento falla y es definido como:

$$TMEF = \frac{NOIT \cdot HROP}{\sum NTMC} = 1/\lambda$$

**Tasa de fallos ( $\lambda$ )**

Sirve de base para el cálculo de la confiabilidad y viene dado por:

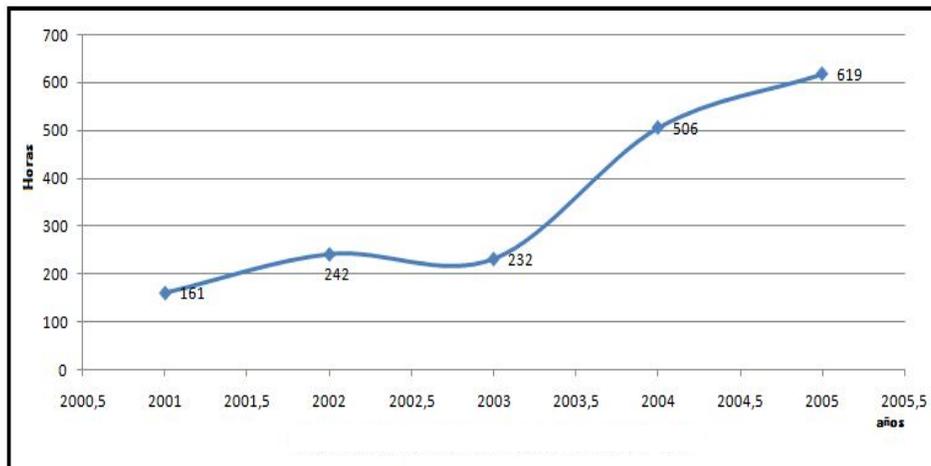
$$\lambda = NTMC / HROP$$

En la figura 9 se muestra el comportamiento de una turbina; se aprecia que en este período la tendencia del TMEF fue aumentar, por ende, en la figura 10 se observa una disminución de la tasa de falla, lo cual indica que las condiciones del bloque mejoraron de forma ostensible.

**Tiempo medio para reparación (TMPR)**

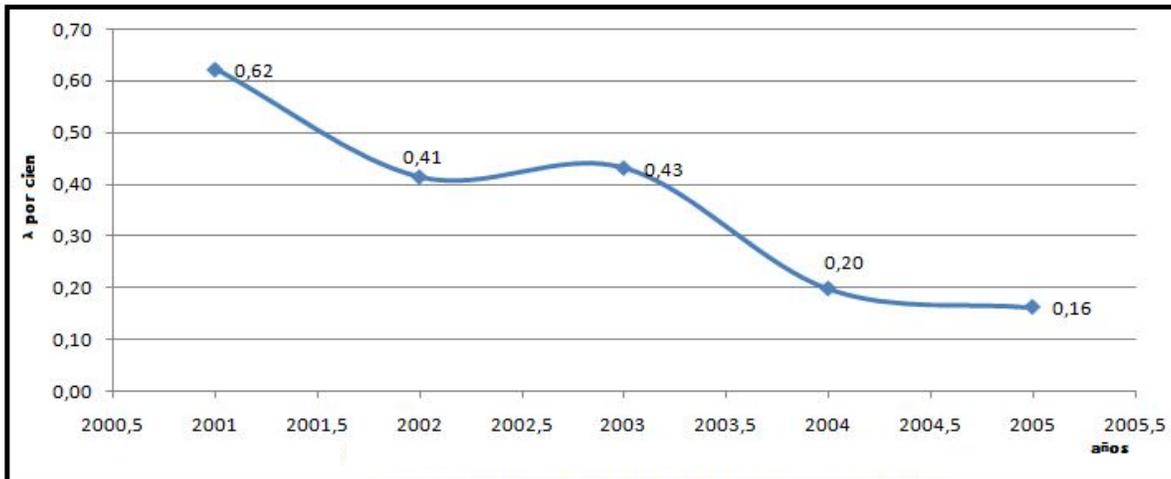
Indica el tiempo medio sin producción asociado a la falla, incluye el tiempo que fue gastado en la reparación y todos los tiempos de espera que retardan la entrada nuevamente en operación.

$$TMPR = \frac{\sum HTMC}{NTMC} = 1/\mu$$



Comportamiento del tiempo medio entre fallos (2001-2005).

9

Comportamiento de la tasa de fallas  $\lambda$  (2001 - 2005).

10

### Tasa de reparaciones

Indicador muy importante ya que permite conocer y controlar la marcha y los resultados del mantenimiento y la mantenibilidad de una empresa. Se expresa como:

$$\mu = \text{NTMC} / \sum \text{HTMC}$$

### Disponibilidad

Indicador que evalúa la marcha total de una empresa. Para aumentar la disponibilidad en una planta, equipamiento o sistema se debe:

1. Aumentar el TMEF.
2. Disminuir TMPR.
3. Aumentar el TMEF y disminuir el TMPR simultáneamente.

La disponibilidad se expresa como:

$$\text{Disp} = (\text{HROP} / \text{HROP} + \text{HTMC})$$

Un análisis similar se puede realizar de los resultados de las figuras 11, 12 y 13, en las cuales se aprecia un período de recuperación de la turbina a partir del año 2002 y de nuevo una caída a partir del año 2004, donde la tasa de reparaciones comienza a descender con la consiguiente disminución de la disponibilidad.

A partir de los resultados obtenidos se hallaron otros indicadores de gran importancia como los que se exponen a continuación.<sup>4,6,8,16</sup>

### Mantenibilidad

$$M(t) = 1 - e^{-t}$$

donde:

M(t): Función mantenibilidad, que representa la probabilidad de que la reparación comience en el

tiempo  $t = 0$  y concluya satisfactoriamente en el tiempo  $t$  (probabilidad de la duración de la reparación).

### Confiabilidad

$$R(t) = e^{-t}$$

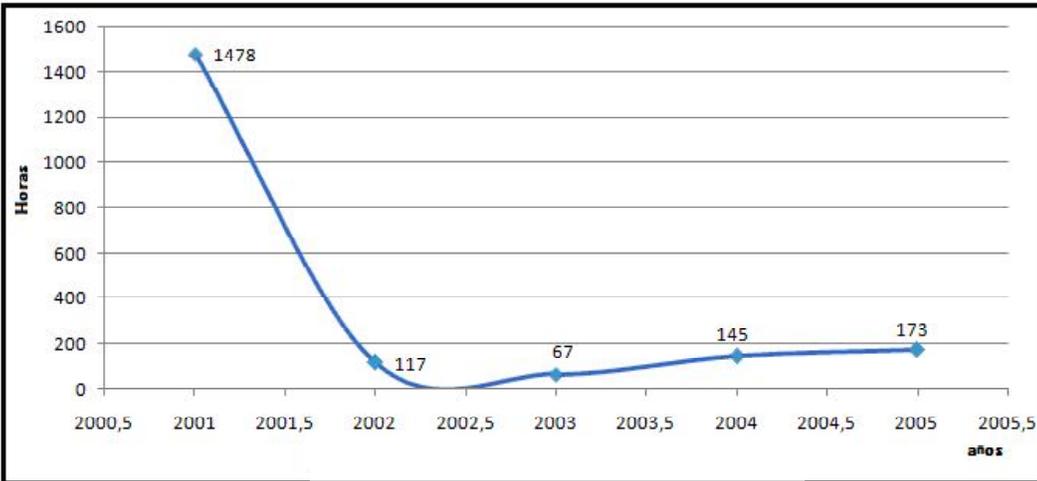
donde:

R(t): Probabilidad de que un ítem puedan desempeñar su función requerida durante un intervalo de tiempo establecido y en condiciones de uso definidas.

Existen otros indicadores muy importantes para la evaluación del mantenimiento que puede ser consultada en la referencia 8.

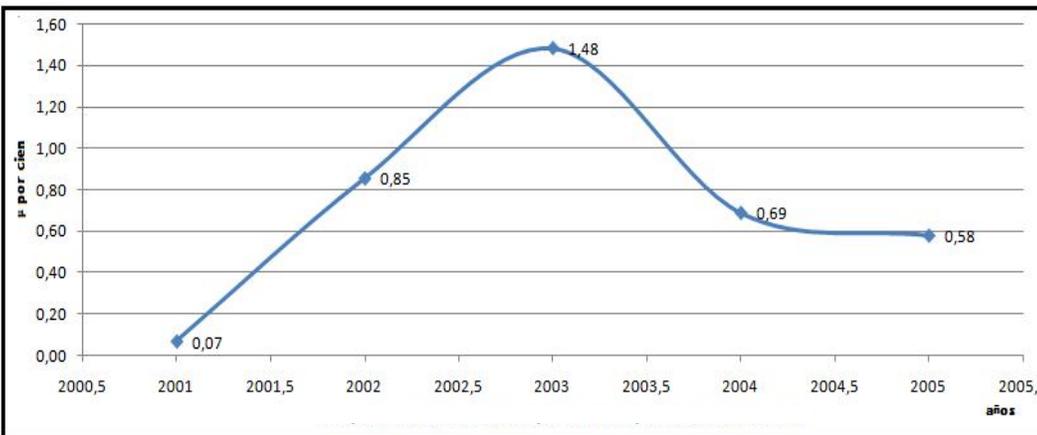
Como puede apreciarse este simple análisis de fallas representa un arma importante en el análisis del comportamiento del mantenimiento de una empresa, pero su simpleza lleva oculta una organización que va, desde la clasificación correcta de los datos de fallas, hasta el análisis económico de los efectos de las mismas y todo bajo la vigilancia rigurosa del método de causa raíz.

Hasta aquí se han desarrollado los primeros pasos que aporta el diagnóstico integral, relativos a la caracterización de las CCEE y al tratamiento de los datos de fallas (MCC), para su desarrollo solo se ha necesitado la voluntad de algunos profesionales deseosos de avanzar en las técnicas del desarrollo y control del mantenimiento, y en los próximos artículos se continuarán implementando los pasos siguientes, relativos a la detección del estado o condición de las turbinas y los generadores de vapor.



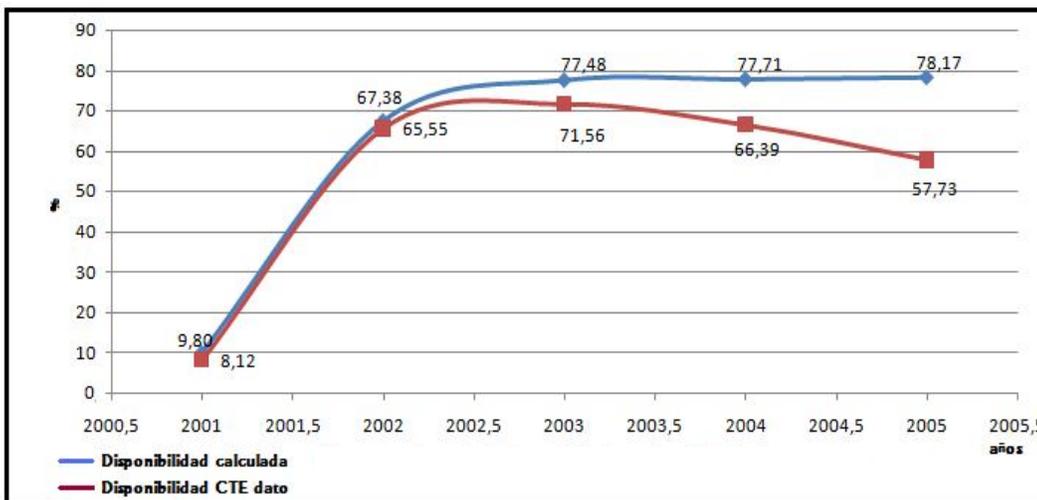
Comportamiento del tiempo medio para reparación (TMPR).

11



Comportamiento de la tasa de reparación  $\mu$  (2001-2005).

12



Comportamiento de la disponibilidad (2001-2005).

13

## CONCLUSIONES

De este primer artículo se puede concluir que:

- El mundo marcha hacia el perfeccionamiento del MCC a partir del MBC y del MCC, teniendo como base la incorporación de todo el personal de la empresa.
- Debido a los problemas económicos que afectan al país, las CCEE necesitan volver a instrumentar un MPP como primer paso al perfeccionamiento del mismo, a partir de la introducción de las técnicas del MBC y del MCC.
- Existen en las CCEE las condiciones creadas para introducir el MBC con solo tomar medidas de tipo organizativo, incorporar a todo el personal de las mismas a este movimiento renovador (MPT) y con pocas inversiones.
- Una simple organización de los datos de fallas y de los tipos de mantenimiento puede conducir a la obtención de resultados inesperados en la predicción de las primeras y en el control del segundo.
- En este artículo se presentan los primeros resultados de la primera parte de la metodología que aporta el diagnóstico integral para el tratamiento de los datos de fallas (MCC), los cuales se interrelacionarán con los del MBC en los próximos dos artículos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer la cooperación y la dedicación de cientos de técnicos y expertos de las CCEE y de la Empresa de Mantenimiento a Centrales Termoeléctricas (EMCE) y a la Empresa de Ingeniería y Proyectos de Electricidad (INEL) por la contribución que han hecho a la realización de este trabajo.

## REFERENCIA

1. Fernández García, Sergio: "Diagnóstico, táctica y estrategia, Revista Ingeniería Energética, No. 4, Vol XX, pp. 47-53, Cipel, Ciudad de La Habana, 1999.
2. \_\_\_\_\_: "Diagnóstico integral" (folleto digital), Texto de la Especialidad de Diagnóstico Integral de CCEE y Subestaciones Eléctricas (SSEE), CIPEL Ciudad de La Habana, 1996.
3. \_\_\_\_\_: "Diagnóstico integral (folleto digital), Texto de la Especialidad de Diagnóstico Integral de CCEE y SSEE, CIPEL, Ciudad de La Habana, 1996.
4. Carrillo Ramos, Ángel Gabriel: "Materiales de las Conferencias" (folleto), Ciudad de la Habana, marzo del 2002.
5. Fernández García, Sergio: "El diagnóstico moderno como base de la confiabilidad de las centrales y subestaciones eléctricas", 2da. Bial de Confiabilidad y Mantenibilidad del LAPEM, México D.F, junio, 2004.

6. Pinto Alan, Kardec; Xavier Nascif y Julio de Aquino: Mantenimiento. Función estratégica, Edición Cubana, 2004.
7. Sotuyo Blanco, Santiago y otros: "Optimización integral de mantenimiento", OIM, [www.confiabilidad.net/art-05/RCM/rcm.10-06-04](http://www.confiabilidad.net/art-05/RCM/rcm.10-06-04).
8. Tavares de Lourival, Augusto: Administración moderna de mantenimiento, [www.mantenimiento-mundial.com/sites/libro/lurvival.asp](http://www.mantenimiento-mundial.com/sites/libro/lurvival.asp)
9. Moubray, J.: "RCM II. Reliability Centered Maintenance" Butterworth. Heinemann Ltd, 1997. [www.pwsrca.org/docs/doo12800.pdf](http://www.pwsrca.org/docs/doo12800.pdf).
10. \_\_\_\_\_: "Otras versiones de RCM?", 2001, 20-02-01. [www.pwsrca.org/doc/doo12800.pdf](http://www.pwsrca.org/doc/doo12800.pdf).
11. \_\_\_\_\_: EL camino hacia el RCM, 2001. 20-02-01.
12. \_\_\_\_\_: "Mantenimiento centrado en al confiabilidad", 2001. 20-02-01. [www.pwsrca.org/docs/doo12800pdf](http://www.pwsrca.org/docs/doo12800pdf).
13. Stamatis, D. H.: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE de la teoría a la ejecución. 1995. [www.agemed.es/actividad/sg/inspeccion/docs/33-anexo20.pdf](http://www.agemed.es/actividad/sg/inspeccion/docs/33-anexo20.pdf).
14. Fiabilidad y AMFE en ciclo de vida de productos y procesos, LBEIN, 1996.
15. Castillo Serpa, Alfredo del: Estadística y fiabilidad en el mantenimiento (Libro digital), Cujae, Ciudad de La Habana, s/f.
16. Fernández García, Sergio: "Organización de las bases de datos para el mantenimiento", Texto de la Especialidad de CCEE y SSEE, CIPEL, Ciudad de La Habana, 2006.
17. Carro Puig, Miguel y otros: "Diagnostico integral de CCEE y SSEE: Caracterización de las CCEE cubanas, Trabajo de Curso, Ciudad de La Habana, 2007.
18. Hernández Domínguez, Pedro L.: "Diseño de un sistema de diagnóstico integral para la turbina de vapor de 100 MW, No. 7 (K-100-130-3600-2) de la CTE, Máximo Gómez Báez", Tesis en opción al título de Especialista en CCEE y SSEE, Ciudad de La Habana, 2007.
19. Carro Puig, Miguel: "Diseño de un sistema de mantenimiento basado en la condición para la turbina de vapor de la CTE, Antonio Guiteras Holmes de 330, 5 MW de Matanzas", Tesis en opción al título de Especialista en CCEE y SSEE, Ciudad de La Habana, 2007.
20. Montes de Oca Iznaga, Juan: "Sistema de mantenimiento basado en la condición aplicado al generador de vapor de la Central Termoeléctrica Antonio Guiteras Holmes", Tesis en opción al título de Especialista en CCEE y SSEE, Ciudad de La Habana, 2007.

## AUTORES

Pedro L. Hernández Domínguez  
Ingeniero Mecánico, Especialista en Diagnóstico Integral, Central Termoeléctrica de Mariel Máximo Gómez, Mariel, Cuba  
e-mail:pelly@ctemg.une.cu

Miguel Carro Puig  
Ingeniero Mecánico, Especialista en Diagnóstico Integral Empresa de Ingeniería y Proyectos de Electricidad (INEL), Ciudad de La Habana, Cuba  
e-mail:carro@inel.une.cu

Juan Montes de Oca Iznaga  
Ingeniero en Energética Nuclear, Especialista en Diagnóstico Integral, Empresa de Ingeniería y Proyectos de Electricidad (INEL), Ciudad de La Habana, Cuba

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

C I E N C I A Y T É C N I C A



Instituto Superior Politécnico  
José Antonio Echeverría  
**cujae**