



Mantenimiento centrado en confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la Planta Oscar A. Machado EDC

Alberto J. Hung

Recibido: Octubre del 2008

Aprobado: Diciembre del 2008

Resumen/ Abstract

El presente trabajo tiene como finalidad dar a conocer las experiencias adquiridas en la aplicación de los principios y conceptos fundamentales del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en las unidades de generación que conforman la Planta Oscar Augusto Machado (OAM) de C. A. La Electricidad de Caracas.

Palabras claves: mantenimiento centrado en confiabilidad, mantenimientos mayores, disponibilidad (EAF), paradas forzadas (EFOR), turbina de gas, sistemas auxiliares, equipos críticos, tareas de sustitución cíclica, tareas de reacondicionamiento cíclico

The objective of this work is to illustrate the experiences acquired in the application of fundamental principles and concepts of Reliability Centered Maintenance (RCM) as a strategy to support availability and forced outages indicators in the generating facilities that make up the Oscar Augusto Machado (OAM) Plant of the C. A. La Electricidad de Caracas.

Key words :reliability centered maintenance, major maintenance, equivalent availability factor (EAF), equivalent forced outage rate (EFOR), gas turbine, auxiliary systems, critical equipment, cyclic replacement Tasks, cyclic overhaul tasks

INTRODUCCION

La industria de procesos continuos como empresas de manufactura (una siderúrgica que lamina cabillas y pletinas de acero) ó empresas de servicios (una planta de generación de energía eléctrica) tiene una complejidad mayor para realizar

o llevar a cabo los trabajos y actividades de mantenimiento, debido básicamente entre otras causas posibles a que no existen los paros programados que otro tipo industrias si posee. Este tipo de industrias opera los 365 días del año 24 horas continuas en turnos rotativos.

La aparición de fallas y averías en los equipos de una instalación industrial constituye una de las principales causas de ineficiencia. Su ocurrencia puede provocar una disminución de la disponibilidad de los procesos que a su vez traiga como consecuencia pérdidas en la producción, aumento de los costos operativos y una reducción de los ingresos, incluso en muchos casos, puede originar un accidente del que se deriven daños importantes a las personas o al ambiente.

En la medida que los sistemas eléctricos han venido adaptándose a los nuevos requerimientos regulatorios y contractuales el servicio de energía eléctrica se ha vuelto cada vez más exigente y competitivo. El valor del Kwh y la remuneración por disponibilidad de las plantas de generación, los compromisos de disponibilidad y calidad en transmisión y distribución, son entre otros elementos donde se establece y refleja la competitividad. Los incumplimientos de los niveles exigidos en las variables anteriores afectan no solo a los clientes sino también a la cadena productiva debido a que los costos relacionados a las indisponibilidades de equipos y sistemas, como lucro cesante, penalizaciones y la necesidad de contratar energía, impactan negativamente tanto en la imagen como en la rentabilidad económica de las empresas de servicio eléctrico.

En un ambiente de alta competencia las empresas eléctricas para sobrevivir requieren implementar estrategias de mantenimiento que garanticen una alta disponibilidad y un bajo índice de paradas forzadas de los sistemas y equipos pero al mismo tiempo permitan optimizar los costos para asegurar una buena rentabilidad a los accionistas e inversionistas.

En el pasado reciente el mantenimiento solo tenía una función reactiva dentro de la empresa: el cumplimiento de los programas sugeridos por los fabricantes. El enorme costo implícito en las paradas de la producción ha obligado a cambiar por completo este punto de vista. Hoy en día el ambiente competitivo en que se desenvuelven las empresas ha propiciado la evolución del mantenimiento. Actualmente se aplican técnicas de mantenimiento de avanzada, con filosofías de punta logrando romper los paradigmas tradicionales en todo su contexto. El mantenimiento debe en todo momento lograr la reducción de las averías imprevistas y de los tiempos de reparación, propiciar la prolongación de la vida útil de los componentes y/o equipos obteniendo los efectos del ahorro de recursos y con ellos, reducir los costos de mantenimiento de las instalaciones contribuyendo a mejorar la calidad de los productos y servicios.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es un proceso que se usa para determinar los requerimientos del mantenimiento de los activos físicos en su contexto operacional. Ver figura1.



Fig. 1. Entes involucrados en la estrategia de mantenimiento.

DEFINICION DE MANTENIMIENTO

Se define al mantenimiento como: "El conjunto de acciones orientadas a conservar o restablecer un sistema y/o equipo a su estado normal de operación para cumplir un servicio determinado en condiciones económicamente favorables y de acuerdo a las normas de seguridad integral.

MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

Como concepto general podemos decir que la actividad de mantener es asegurar que todo elemento físico de un equipo ó instalación desempeñe las funciones deseadas en forma continua. El mantenimiento por lo tanto, se propone preservar el estado original de diseño ó normal de operación. Es evidente que para que esto sea posible los equipos deben ser capaces de cumplir las funciones para las cuales fueron seleccionados y que la selección haya tenido en cuenta la condición de operación real.

El mantenimiento centrado en confiabilidad se caracteriza por:

- Considerar la fiabilidad inherente o propia del equipo/instalación.
 - Asegurar la continuidad del desempeño de su función.
 - Mantener la calidad y capacidad productiva.
- Si deseamos aumentar la capacidad, mejorar el rendimiento, incrementar la confiabilidad, mejorar la calidad de la producción, necesitaremos un rediseño.
- Tener en cuenta la condición operacional: donde y como se está usando.

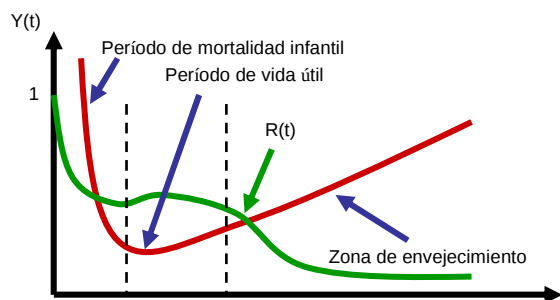


Fig 2. Fiabilidad de un dispositivo y/o equipo.

Mantenimiento: asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que los usuarios quieren que hagan.

Los requerimientos de los usuarios van a depender de cómo y cuando se utilice el activo (contexto operacional). Esto lleva a la siguiente definición de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad:

Es una estrategia/proceso utilizado para determinar los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo físico que asegure el desempeño de sus funciones normales en su contexto operacional real.

RCM: LAS SIETE PREGUNTAS BÁSICAS

El proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) formula siete preguntas acerca del activo ó sistema que intente analizar.

¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional ?

1- ¿De que manera falla en satisfacer sus funciones?

2- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?

3- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?

¿De que manera importa cada falla?

4- ¿Qué puede hacerse para predecir ó prevenir cada falla?

5- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM (Reliability Centered Maintenance) tiene sus orígenes en la Marina, Ejército y Aviación, donde

se requiere de la total confiabilidad tanto de maquinaria y equipo, como de la logística. El RCM se define como la probabilidad que un sistema o componente pueda funcionar correctamente fuera de falla por un tiempo específico.

La idea central del mantenimiento centrado en confiabilidad es que los esfuerzos de mantenimiento deben ser dirigidos a mantener la función que realizan los equipos más que a los equipos mismos. Es la función desempeñada por una máquina desde el punto de vista productivo. Ver figura 3.

Esquema de análisis del proceso RCM

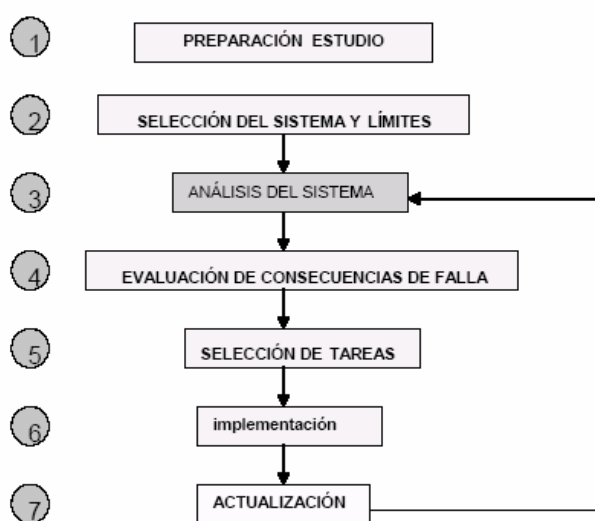


Fig. 3. Esquema de análisis del proceso RCM.

CONTEXTO OPERACIONAL DE LA PLANTA OSCAR AUGUSTO MACHADO (OAM)

La Planta Oscar A. Machado (OAM) opera en forma continua 365 días del año, produciendo energía eléctrica mediante la operación de turbinas de gas en ciclo simple.

Por ser una industria de procesos continuos es mucho más difícil y complejo llevar a cabo las actividades de mantenimiento sin que se afecten los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas.

En un ambiente de alta competencia las empresas precisan ser competitivas para mantenerse o sobrevivir en el mercado. Para ello deben buscar la mayor disponibilidad operacional de sus equipos y una permanente mejora en los desempeños de las herramientas de producción, dentro de una gestión de calidad total. Esto las obliga a estar innovando

constantemente transformando las estructuras organizacionales, contemplando un desarrollo continuo de las áreas productivas, aumentando el nivel de utilización de los equipos al máximo posible, invirtiendo en la automatización de equipos y proceso, asegurando el grado de disponibilidad de sus equipos, reduciendo y optimizando los costos al mínimo aceptable.

Todo ello por supuesto respetando las condiciones de trabajo y seguridad del personal, los plazos de entrega programados y la preservación del medio ambiente. Luego de hacer una revisión de las experiencias de fallas ocurridas en las unidades de generación en la Planta Oscar A. Machado (OAM) se determinó que alrededor del 81% de la muestra analizada correspondía a fallas en los sistemas auxiliares. La distribución de las fallas en los diferentes sistemas auxiliares fué la siguiente: Alrededor del 36% en el sistema de gas combustible, 22% en el Sistema de Aire de instrumentación, 16% en el Sistema de Aceite Lubricante y 7% en el Sistema de Combustible liquido Gasoil. Figura 4.

Las fallas en los sistemas auxiliares anteriormente mencionados afectan en forma directa el proceso de producción de energía eléctrica ya que su ocurrencia implican necesariamente la parada forzada de las unidades de generación. Es por ello que estos sistemas auxiliares son considerados críticos para la operación de las turbinas de gas.

La atención de fallas en los equipos auxiliares críticos demanda mucho tiempo debido al difícil acceso por la ubicación física de los mismos. Este hecho sugiere la necesidad de diseñar e implementar estrategias de mantenimiento basadas en Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).

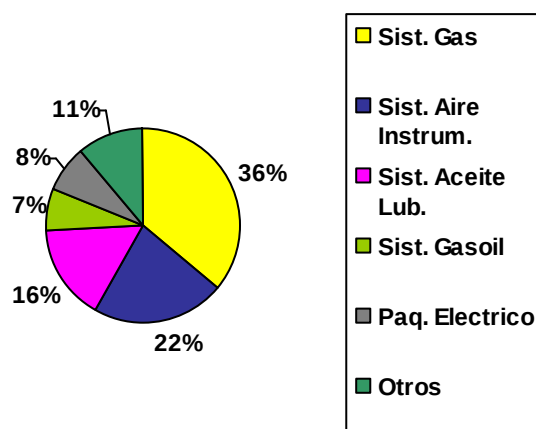


Fig. 4. Distribución de fallas en equipos auxiliares de las turbinas W501D5 Planta OAM.

APLICACIÓN DEL RCM EN LA PLANTA OSCAR A. MACHADO (OAM)

El proceso RCM se caracteriza a partir del análisis de las siete (7) preguntas anteriores aplicadas a cada máquina; equipo o parte de una instalación determinada.

En el caso particular de la Planta Oscar A. Machado (OAM) la estrategia implementada se basó en aplicar el RCM a equipos auxiliares considerados críticos para la operación de las unidades de generación. La justificación de esta estrategia parte del principio de que motivado a la ocurrencia de fallas en los equipos auxiliares considerados críticos se afecta directamente el proceso de generación de energía eléctrica en las turbinas de gas lo cual se refleja en los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas.

Ante esta realidad y tomando en consideración el contexto operacional de la Planta Oscar A. Machado así como también el análisis de los registros históricos de fallas (81% fallas ocurridas en equipos asociados a sistemas auxiliares) se identificaron y seleccionaron los sistemas considerados críticos en las turbinas W501D5 para focalizar en ellos la estrategia de mantenimiento basado en RCM.

- Sistema de aceite lubricante (Incluye bombas de aceite, bombas de levantamiento del eje del generador, ventiladores del enfriador de aceite y los extractores de vapor de aceite).
- Sistema de Combustible Gas (válvulas principal, de arranque)
- Sistema de Combustible liquido Gasoil (Válvulas principal, de arranque y de transferencia de combustible).
- Sistema de Aire de instrumentación.
- Sistema de Aire de enfriamiento Rotor Turbina.

Podemos entonces decir que las fallas que se originan en los sistemas auxiliares tienen consecuencias operacionales significativas ya que el costo económico que supone afectar la producción de energía eléctrica debido a la parada forzada de las unidades de generación exigen necesariamente definir estrategias de mantenimiento que reduzcan el riesgo de la falla a un nivel muy bajo.

Obviamente lo dicho anteriormente supone que el costo de las estrategias a implementar no debe en ningún caso superar el costo económico de no producir energía eléctrica en el período de tiempo que dure la falla.

La afirmación anterior nos obliga entonces a definir y evaluar las rutinas ó tareas de mantenimiento, así como también el momento oportuno para llevarlas a cabo de manera de prevenir la ocurrencia de las fallas disminuyendo así las consecuencias operacionales implícitas.

RUTINAS Y TAREAS DE MANTENIMIENTO A DESARROLLAR EN LOS SISTEMAS AUXILIARES PARA LA PREVENCIÓN DE LA OCURRENCIA DE FALLAS EN LOS MISMOS

Las rutinas y tareas de mantenimiento que se definieron para la prevención de la ocurrencia de las fallas en los equipos principales asociados a los sistemas auxiliares, se pueden agrupar en dos grandes categorías a saber: Tareas de sustitución cíclica y tareas de reacondicionamiento cíclico.

Las tareas de sustitución cíclica implican sustituir un componente antes del límite de edad específico más allá de su condición en el momento de intervención. Este criterio de sustitución cíclica se aplicó básicamente a los sistemas de: aceite lubricante, aire de instrumentación y aire de enfriamiento de la turbina.

Principalmente la sustitución cíclica se hizo en componentes sencillos como rodamientos de motores eléctricos, cuplones de acople mecánico entre motor y bomba, mangueras de alta presión y correas de transmisión. El reacondicionamiento cíclico implica el retrabajo de un componente o la reparación de un conjunto antes de un límite de edad específico sin importar su condición en ese momento.

El criterio de realizar tareas de reacondicionamiento cíclico se aplicó principalmente a los Sistemas de Combustible Gas y Sistemas de Combustible Líquido Gasoil, donde todas las válvulas asociadas a estos sistemas se intervienen reacondicionandolas mediante su limpieza, suavizado y sustitución de los sellos y estoperas. Igualmente para el Sistema de gasoil se interviene el equipo denominado divisor de flujo, desarmando sus partes para limpieza y cambiando los sellos o empaaduras (O-rings) para evitar posibles fugas durante su operación posterior.

FRECUENCIA DE EJECUCIÓN DE LAS TAREAS DE SUSTITUCIÓN Y REACONDICIONAMIENTO CICLÍCO

Una vez definidas las tareas de sustitución y reacondicionamiento cíclico, surge la pregunta: ¿Cuándo y como deben ser ejecutadas las tareas de sustitución y reacondicionamiento cíclico en los

sistemas auxiliares críticos de las unidades de generación?

Si el objetivo es maximizar el indicador de disponibilidad (EAF) y reducir el indicador de paradas forzadas (EFOR) la estrategia de llevar a cabo estas tareas debe definirse considerando justamente la frecuencia óptima y el momento oportuno para su ejecución. Lo ideal es que el tiempo entre una intervención y otra el equipo y en consecuencia el sistema al que está asociado ese equipo no presente en lo posible fallas que ameriten la parada de la unidad de generación para su reparación.

Motivado a que tanto las tareas de sustitución como las tareas de reacondicionamiento requieren necesariamente que las unidades de generación estén paradas y además para su ejecución en la gran mayoría de los casos se amerita desmontar ciertos equipos como motores y válvulas para ser intervenidos en taller, la frecuencia óptima para su realización es entre tres (3) y cuatro (4) años cada 24.000 horas de operación acumuladas en la turbina. En otras palabras cada vez que se hace un mantenimiento mayor tipo "B" (Inspección de paso caliente) ó mantenimiento mayor tipo "A" (Inspección Mayor) en paralelo se intervienen los equipos asociados a los sistemas auxiliares considerados críticos debido a que las intervenciones por mantenimiento mayor implican paradas programadas de entre treinta (30) y cuarenta (40) días continuos.

De esta forma se maximiza el indicador de disponibilidad (EAF) ya que solo se programarán paradas por mantenimientos mayores y se reduce el indicador de paradas forzadas (EFOR) al prevenirse la ocurrencia de fallas en los sistemas auxiliares críticos ya que al ser intervenidos (sustitución y reacondicionamiento cíclico) se espera que los equipos no presenten problemas al menos en el período de tiempo hasta la próxima intervención. Ver figura 5 y 6.

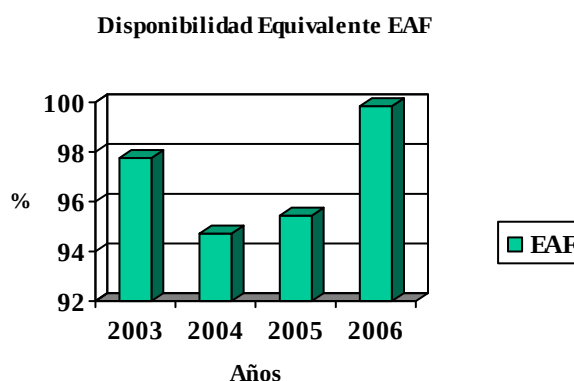


Fig. 5. Gráfica del Indicador de Disponibilidad (EAF).

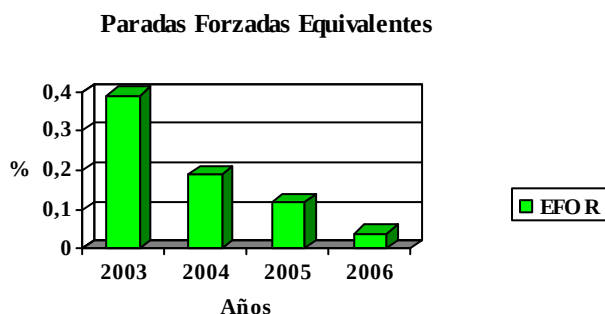


Fig. 6. Gráfica del Indicador de Paradas forzadas (EFOR).

JUSTIFICACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO BASADA EN LA EJECUCIÓN DE TAREAS DE SUSTITUCIÓN Y REACONDICIONAMIENTO CICLÍCO

En términos generales las fallas en la medida que ocurran tendrán algún tipo de efectos directos o indirectos sobre la seguridad o el comportamiento funcional de la planta industrial. En que medida la planta queda afectada depende de: el contexto operacional del equipo que ha fallado, su comportamiento funcional y los efectos físicos de la causa o modo de la falla ocurrida. Esta combinación de efectos, comportamiento funcional y contexto operacional, nos sugiere que cada falla tendrá consecuencias específicas asociadas a ella.

En el caso particular que estamos tratando en este artículo, limitamos la ocurrencia de fallas en los sistemas auxiliares asociados a las unidades de generación y específicamente a los equipos críticos que tienen una consecuencia directa en la parada de la unidad y por ende en la no producción de energía eléctrica.

La justificación económica de la realización de las tareas de sustitución y reacondicionamiento cíclico en los equipos críticos de los sistemas auxiliares antes mencionados se basa precisamente en el hecho de que una vez que la unidad de generación se detiene deja inmediatamente de producir energía eléctrica durante el período de tiempo que toma corregir la falla y volver la unidad a servicio. El tiempo para reparar la falla incluye todo el trabajo previo de desmontaje y montaje posterior que en la mayoría de los casos ocupa un porcentaje importante debido a la ubicación física de los equipos que dificulta las labores de los mantenedores por las condiciones adversas de espacio, iluminación, calor, ruido etc. En la tabla 1 se pueden observar los tiempos de diagnóstico y

reparación de equipos según su naturaleza constructiva.

Tabla 1. Tiempos de Diagnóstico y Reparación de Equipos de acuerdo a su naturaleza constructiva

Tiempos de Diagnóstico y Reparación de Equipos de acuerdo con su naturaleza constructiva		
NATURALEZA	DIAGNÓSTICO	REPARACIÓN
Mecánico	10%	90%
Hidráulico	20%	80%
Eléctrico	60%	40%
Electrónico	90%	10%

CONCLUSIONES

1- Los aspectos que caracterizan el entorno empresarial actual obligan a las organizaciones a ser cada vez más flexibles para mantenerse o sobrevivir en el mercado. Una de las formas de lograr esta flexibilidad dentro de un ambiente competitivo es desarrollando y aplicando una metodología de mantenimiento que garantice que el equipamiento productivo de la empresa se encuentre en condiciones de desempeñar las funciones deseadas con los estándares de calidad exigidos en su contexto operacional presente.

2- El *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad* es una estrategia/proceso utilizado para determinar los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo físico que asegure el desempeño de sus funciones normales en su contexto operacional real.

3- Una planta de generación de energía eléctrica siempre buscará la manera de operar de la forma más segura y eficiente posible. Para ello debe seguir los siguientes objetivos específicos: mejorar la disponibilidad de la planta, reducir los costos de mantenimiento, Protección de los activos, reducir los mantenimientos de emergencia, reducir las reparaciones mayores y mejorar el control de los inventarios de repuestos y partes.

4- Toda falla que tenga consecuencias y efectos sobre: la seguridad, la salud y el medio ambiente o sobre el comportamiento funcional de una planta industrial donde se vea afectada la producción, debe ser prevenida en la medida de lo posible.

5- La ocurrencia de fallas en equipos críticos asociados a los sistemas auxiliares de las unidades de generación tiene una consecuencia directa en la

parada de las unidades y por ende en la no producción de energía eléctrica. Las tareas de sustitución y reacondicionamiento cíclico en los equipos que conforman los sistemas auxiliares críticos constituyen una estrategia de mantenimiento preventivo que apoya la obtención de mejores indicadores de disponibilidad y de paradas forzadas en la planta OAM. El objetivo fundamental es lograr que estos equipos de los sistemas auxiliares críticos funcionen adecuadamente durante un período de tiempo hasta su intervención en el próximo mantenimiento mayor.

6- La planificación de partes y repuestos a sustituir en los equipos asociados a los sistemas auxiliares críticos se puede hacer cada tres a cuatro años, evitando así incrementar el inventario en el almacén al mantener en stock estos repuestos. En otras palabras las partes y repuestos se compran cuando se van a utilizar realmente, evitando así un manejo ineficiente de los recursos económicos disponibles.

7- La mano de obra necesaria para acometer los trabajos de sustitución y reacondicionamiento cíclico en los equipos asociados a los sistemas auxiliares críticos se contrata eventualmente cada vez que se hace un mantenimiento mayor en las unidades de generación evitando así mantener una nómina innecesaria al optimizar el uso del recurso humano especializado.

[2] Morales J. : *"Tecnatura Superior en Mantenimiento Industrial"*. Mantenimiento Industrial I 2004.

[3] L. Hurtado, N. y Santa María Velásquez: *"Metodología Internacional unificada para la implementación industrial de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad"*.

[4] Aladon *"Curso de Formación de tres días en Mantenimiento Centrado en Confiabilidad"*: Introducción al Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2001.

[5] A. Alfonso, K. Pascual y Y. Leiva : *"Integración Mantenimiento (RCM) Gestión de la Producción. Su influencia en el mejoramiento de la Confiabilidad Operacional de la empresa"* 2001.

[6] L. Tavares: *"Mantenimiento"* 1997.

AUTOR

Alberto J. Hung C.

Ingeniero Electricista. Culminó la Especialización en Gerencia de Empresas en la Universidad Simón Bolívar en el año 2003. Actualmente se desempeña como Gerente de Mantenimiento de la Planta Oscar Augusto Machado adscrita a la Vicepresidencia de Generación de la C.A. La Electricidad de Caracas. Ha sido tutor de diversas tesis y pasantías de estudiantes de pregrado.

e-mail: alberto.hung@laedc.com.ve.

REFERENCIAS

[1] J. Bernardo: *"Haciendo que el RCM trabaje para su empresa"* THE WOODHOUSE PARTNER SHIP LIMITED. Inglaterra 1.999.