

7-2012

Metodología para la Aplicación de un Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad con Criterios de Administración de Energía en Equipos de Aire Acondicionado Tipo Compacto

A. Zambrano

J. Zambrano

Nelson Fumo

University of Texas at Tyler, nfumo@uttyler.edu

Follow this and additional works at: https://scholarworks.uttyler.edu/me_fac



Part of the [Mechanical Engineering Commons](#)

Recommended Citation

Zambrano, A.; Zambrano, J.; and Fumo, Nelson, "Metodología para la Aplicación de un Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad con Criterios de Administración de Energía en Equipos de Aire Acondicionado Tipo Compacto" (2012). *Mechanical Engineering Faculty Publications and Presentations*. Paper 7.

<http://hdl.handle.net/10950/424>

This Article is brought to you for free and open access by the Mechanical Engineering at Scholar Works at UT Tyler. It has been accepted for inclusion in Mechanical Engineering Faculty Publications and Presentations by an authorized administrator of Scholar Works at UT Tyler. For more information, please contact tbianchi@uttyler.edu.

METODOLOGÍA PARA LA APLICACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD CON CRITERIOS DE ADMINISTRACIÓN DE ENERGÍA EN EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO TIPO COMPACTO

Zambrano, A.¹, Zambrano, J.², Fumo, N.³

- ¹ Ingeniero Mecánico, M.Sc. en Gerencia de Mantenimiento, Laboratorio de Energías Alternas, Decanato de Investigación, Universidad del Táchira. azambranoa@unet.edu.ve
- ² Ingeniero Mecánico, M.Sc. en Ingeniería Mecánica, Laboratorio de Energías Alternas, Decanato de Investigación, Universidad del Táchira. jzambra@unet.edu.ve
- ³ Ingeniero Mecánico, Ph.D. , Department of Mechanical Engineering The University of Texas at Tyler, Tyler, TX 75799. nfumo@uttyler.edu

Resumen

A través del tiempo han evolucionado filosofías con procedimientos muy diferentes con intereses que pueden llegar a ser comunes en cuanto a su objetivo terminal, es así como se presenta la administración de energía y el mantenimiento centrado en la confiabilidad. Estas teorías buscan en común el adecuado funcionamiento de los sistemas, lograr un uso sostenible con el ambiente a través de un estudio detallado de la causas y efectos de los problemas y averías presentadas. La propuesta presentada constituye un punto intermedio entre ambas filosofías donde se indica la afectación que puede presentar el mal funcionamiento de un equipo tanto en su fiabilidad, vida útil y desempeño energético. En esta investigación específicamente se presenta un caso de evaluación energética de un sistema de aire acondicionado tipo compacto donde ocurren problemas de derroche de energía y cuya criticidad es evaluada a través de herramientas de valoración para conocer su grado de impacto.

Palabras clave: Administración de energía, aire acondicionado, Mantenimiento centrado en confiabilidad.

1.- Introducción

En muchas oportunidades los sistemas que no intervienen directamente en el proceso productivo de una organización no son considerados tan críticos desde el punto de vista de mantenimiento y simplemente se espera que presenten algún síntoma evidente de falla o su avería total para que sea intervenido, aun si el equipo ha estado operando de forma poco eficiente, aunque existen varios ejemplos de esta situación se enfocará la atención en un sistema denominado de servicio como lo es el aire acondicionado.

Uno de los grandes problemas al realizar actividades de mantenimiento programado es el establecimiento de lapsos de tiempo (tiempo calendario u horas de uso) adecuados para garantizar un correcto funcionamiento de los sistemas sin incurrir en

excesivos costos de mantenimiento, para esto el profesional debe recurrir a la recolección de información compleja que requiere una laboriosa documentación, recolección de datos, análisis estadísticos, ajuste de funcionamiento para condiciones fuera de norma, medición con sofisticados instrumentos entre otras tareas que si no son cumplidas obligan a tomar decisiones apresuradas derivadas de la dinámica vivida hoy en día. Por otra parte, y si se toma en cuenta la disponibilidad de partes de repuesto en el país, es frecuente encontrarse que pueden transcurrir hasta tres meses para obtener algún repuesto de refrigeración y aire acondicionado, situación que podría afectar severamente a la organización.

Si bien se considera que una alta frecuencia de mantenimientos origina elevados costos también es cierto que el desempeño energético de los sistemas decrece sustancialmente con lapsos muy largos de mantenimiento conllevando obligadamente a un excesivo consumo y demanda eléctrica que inicialmente involucran incrementos tarifarios por este servicio y en la mayoría de los casos puede acelerar la falla del equipo restando significativamente la vida útil del sistema. Ante la incertidumbre planteada anteriormente es conveniente pensar en un balance entre la frecuencia de mantenimiento preventivo, los costos que éste involucra, el ahorro en consumo y demanda energética y la posible extensión de vida del equipo para incrementar la utilidad económica.

Se han encontrado ahorros hasta del 35% en energía al incorporar rutinas de mantenimiento preventivo en equipos de aire acondicionado y se estima que fácilmente pueden obtenerse mejoras de más de 20% mejorando aspectos que involucren inicialmente la conservación de energía y en definitiva la administración de energía (Doty & Turner, 2007), (Fawkes, 2001). Al observar estas cifras se quiere expresar la necesidad en ampliar el foco de observación desde sólo el equipo en cuestión hasta el sistema como un todo para que a través de una mejora en la estrategia de uso energético se puedan lograr resultados confiables,

El hecho que un dispositivo de aire acondicionado no opere correctamente, además de los aspectos mencionados con anterioridad, afectan directamente en el desempeño del recurso humano, dado que condiciones alejadas del confort térmico disminuyen el rendimiento del personal (ASHRAE, 2009). Asimismo, características del aire alejadas de una adecuada ventilación, control de variables térmicas pueden incrementar el ausentismo laboral debido a la proliferación de enfermedades asociadas a la edificación tales como: enfermedades respiratorias, enfermedades cutáneas entre otras.

2.- El programa de administración de energía

Es un proceso sistemático a través del cual se organizan y disponen los recursos financieros, técnicos y humanos, con la finalidad de hacer un uso más eficiente de la energía. Este se aplica y evoluciona con la necesidad de proteger al medioambiente y con la necesidad de las organizaciones de mantenerse en un mercado cada día más competitivo (Doty & Turner, 2007), (Capehart & Roche, 2011). En resumen la Administración de Energía presenta los siguientes beneficios: ahorra dinero, aumenta la vida de los equipos, aumenta la productividad, permite estar al día con la tecnología, permite controlar el costo y uso de la energía, ayuda a cumplir con códigos, normas y regulaciones, conserva los recursos naturales, reduce la contaminación y contribuye con el mantenimiento de los recursos de comodidad, seguridad y ánimo en niveles satisfactorios para los empleados.

3.- La auditoría energética para aires acondicionados

Una auditoría energética consiste en un examen detallado de cómo la instalación usa la energía, qué se paga por esa energía, y proponer o recomendar un programa en las prácticas operacionales o equipos de consumo de energía, que efectivamente den como resultado un ahorro económico en las facturas del servicio (Doty & Turner, 2007), en términos generales las actividades de una auditoría Incluyen (Energy Efficiency Office, 2007) identificar e implementar los medios de alcanzar la eficiencia energética y conservación de energía, analizar el impacto de las mejoras a esos sistemas, escribir un reporte de la auditoría energética, extender la vida útil de los equipos y reducir la emisión de contaminantes y subproductos. Para garantizar estas actividades, una serie de actividades propuestas son listadas: reducir el tiempo de operación del sistema de aire acondicionado (AA) lo cual es muy importante cuando el edificio no está ocupado y puede aplicarse con la incorporación de medios de control para ajustarse mejor a la demanda de refrigeración evitando espacios muy fríos, asimismo es importante que la ventilación y las infiltraciones sean disminuidas, mantener los intercambiadores de calor limpios, entre otros (Thumann & Younger, 2003), (ANSI/MSE, 2000), (Clark, 1998).

4.- Parámetros de operación

Aunque existen diferentes variables a controlar tales como presión y temperatura del refrigerante en las líneas de alta y baja presión, voltaje y corriente de alimentación; que directamente afectan tanto a la capacidad de refrigeración como a la potencia de entrada en una compleja interrelación, se tomará en cuenta el indicador de eficiencia del proceso que para dispositivos AA se denomina Coeficiente de Operación (COP) y mide la relación existente entre la capacidad de refrigeración y la potencia requerida. Asimismo, estos parámetros una vez que son correctamente analizados y comparados contra los valores adecuados representan un indicativo de carencia de mantenimiento programado. En la

Tabla 1 se presentan algunos parámetros de funcionamiento de sistemas AA cuando se comparan los valores nominales y aquellos encontrados en equipos sin evidencia de mantenimiento programado, la información fue tomada de la moda de una serie de datos recopilados en 25 equipos AA compactos tipo expansión directa con rango de capacidad de 5 TR a 25 TR.

Como puede notarse la caída en sensación térmica en estos equipos no logra alcanzar un 10 % y por tanto no hay evidencia notable de un mal funcionamiento por lo que se puede pensar que se está en un rango aceptable de operación, pero en estas circunstancias el equipo requiere más de 30 % de energía adicional para lograr este cometido representando una operación forzada que acortará sustancialmente la vida útil de los equipos además de representar económicamente un gasto adicional en cuanto a consumo y demanda energética, y por consiguiente un mayor impacto ambiental en emisiones para la producción de energía. Desde el punto de vista operativo puede presentarse una avería mayor o menor ya que los dispositivos de control y conductores pueden presentar problemas al operar sobrecargados entre otras posibilidades de falla.

Lo presentado anteriormente constituye uno de los ejemplos más evidentes en cuanto los resultados energéticos derivados de una pobre política de mantenimiento y que junto a criterios de uso basados en la conservación y eficiencia energética hacen que un equipo considerado como crítico tenga un desempeño confiable, por tanto se propone enmarcar estas actividades dentro de un programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Tabla 1 Comparación de parámetros de funcionamiento

Parámetros de funcionamiento	Antes de mantenimiento	Nominal	Después del mantenimiento
Sobrecalentamiento en la evaporación ($\Delta^{\circ}C$)	17	5	6
Subenfriamiento en la condensación ($\Delta^{\circ}C$)	3	8	10
Relación de potencia W_{op}/W_{nom}	1,32	1	0,95
Relación de capacidad de refrigeración Q_{op}/Q_{nom}	0,91	1	1.04
Relación de eficiencia COP_{op}/COP_{nom}	0,69	1	1.09

Lo presentado anteriormente constituye uno de los ejemplos más evidentes en cuanto los resultados energéticos derivados de una pobre política de mantenimiento y que junto a criterios de uso basados en la conservación y eficiencia energética hacen que un equipo considerado como crítico tenga un desempeño confiable, por tanto se propone enmarcar estas actividades dentro de un programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

5.- Mantenimiento centrado en la confiabilidad

Bajo la premisa que un sistema sea funcionalmente confiable es de gran utilidad aplicar la filosofía del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) , el cual trata de determinar las tareas de mantenimiento más efectivas y así mejorar la fiabilidad funcional de los sistemas relacionados con la seguridad y disponibilidad, previniendo sus fallos y minimizando el costo de mantenimiento (Leal & Zambrano, 2005). De acuerdo con esto, para aplicar el MCC se debe tener una gran información sobre el equipo, para determinar la tarea de mantenimiento que mejor se adapte a ésta. Las características del MCC son:

- Los sistemas son analizados al detalle.
- Se basa en Gerencia de Equipos.
- Las fallas son analizadas desde el punto de vista causa-raíz.
- Se aplica mantenimiento preventivo, correctivo y proactivo.
- Otorga alto grado de importancia a la protección integral de las personas, equipos y medio ambiente.
- Proporciona relevancia al contexto operativo de los equipos.

- No considera al recurso humano como prioritario.
- Analiza detalladamente los elementos funcionales de los equipos.

Al enfocarse en esta filosofía se realiza un Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) de la mano con un análisis de criticidad, y de esta manera puede centrarse la atención en las partes de estos sistemas que son altamente susceptibles a fallas como se mencionó anteriormente. La herramienta AMEF aplicada a los sistemas de aire acondicionado se resume básicamente en dar respuesta a cuatro interrogantes ligadas con un contexto operacional específico, en primer lugar analizar las funciones, ver cuáles son sus posibles fallas, detectar los modos de fallas o causas de fallas, estudiar sus efectos y analizar sus consecuencias, con el fin de seleccionar una combinación de tareas de mantenimiento óptimas para aminorarlas o eliminarlas por completo.

La relevancia de caracterizar el mecanismo de fallas del sistema de aire acondicionado, es que el problema se reduce a una definición de una política de mantenimiento consistente con los objetivos de minimización del consumo de energía y la reducción de fallas. Asimismo, debido a la jerarquización dentro del sistema se determina cuándo las consecuencias son significativas en lo que respecta al consumo de energía, de modo que las acciones de mantenimiento propuestas se orienten para prevenir esas fallas y reducir las consecuencias.

La evaluación de criticidad de los equipos, se hizo bajo el esquema de las siguientes matrices presentadas en la Tabla 2, Tabla 3 y

Tabla 4:

Tabla 2 Matriz de criticidad para severidad

Criterio	Índice de Severidad
Paradas \leq 1 hora	1
Parada \leq 8 horas	2
Parada \leq 24 horas	3
Parada \geq 72 horas	4

Tabla 3 Matriz de criticidad para frecuencia

Criterio	Índice de frecuencia
\leq 1 vez cada 12 meses	1
\leq 1 vez cada 6 meses	2
\leq 1 vez cada 3 meses	3
\geq 1 vez cada mes	4

Tabla 4 Matriz de criticidad para consumo energético

Criterio	Índice de energía
$W_{op} / W_{nom} \leq 1,05$	1
$W_{op} / W_{nom} \leq 1,15$	2
$W_{op} / W_{nom} \leq 1,30$	3
$W_{op} / W_{nom} > 1,30$	4

El valor asociado a la gravedad de la falla o de mayor impacto sobre el consumo de energía para el análisis de modos y efectos de fallas AMEF se obtiene multiplicando el índice de severidad con el índice de frecuencia definidos y con el índice de uso de frecuencia. Para obtener las fallas que son consideradas de mayor criticidad se presenta una lista de fallas frecuentes para someterla a evaluación por parte de la herramienta de valoración presentada:

Tabla 5 Índice de impacto

Parámetro	Índice de impacto
Fuga de refrigerante	27
Aplastamiento parcial de línea de liquido	12
Aislante térmico poco o deteriorado en la línea de aspiración	8
Filtro de líquidos tapados	6
Falla en control de presostatos	3
Falla de ventiladores del condensador	12
Válvula de expansión cerradas en parte por la presencia de hielo, o partículas de suciedad	4
Falla de bomba de aceite	6
Evaporador sucio o congelado	32
Condensador sucio	32
Termostato de aire averiado	4
Presencia de excesivas infiltraciones	8

Como puede verse, entre estas fallas la que obtuvo mayor impacto fue la de condensador y evaporador sucio, seguido por las demás fallas con un impacto menor pero igualmente significativo. Para realizar el plan de mantenimiento esta investigación se enfoca en Mantenimiento Programado y rutinario.

6.- Conclusiones

Las actividades de mantenimiento afectan sustancialmente la vida útil de los equipos, su fiabilidad y de sobremanera la demanda y el consumo eléctrico. Estas actividades de mantenimiento no solo deben ser enfocadas al equipo de aire acondicionado, sino que el ingeniero debe considerar también factores asociados al uso del equipo y más en este tipo de sistemas en que en la mayoría de los casos la

interacción se presenta con usuarios que no están calificados para el manejo integral del equipo. Aunque en nuestro país actualmente pueda restársele atención a la tarifa eléctrica debido a su alto subsidio, también es cierto que es el gobierno nacional quien debe asumir estos elevados costos de producción de electricidad que en gran proporción se desperdicia como calor emanado hacia el medioambiente. El mantenimiento centrado en la confiabilidad unido a la administración de la energía constituyen una herramienta compatible que permite enfocarse en las actividades que ameritan atención para cumplir con un funcionamiento fiable con criterios de conservación y eficiencia energética.

7.- Nomenclatura

SC : sobrecalentamiento
SE : subenfriamiento
W : potencia
Q : capacidad de enfriamiento
COP : Coeficiente de operación
Subíndices
nom : condición nominal
op : condición de operación

8.- Bibliografía

- [1] ANSI/MSE. "A management system for energy". ANSI, 2000.
- [2] Capehart, B., & Roche, M. "AEE Training Program for Business Energy Professionals". Atlanta: AEE, 2.011.
- [3] Clark, W. "Análisis y gestión energética de edificios". España: Mc Graw Hill Interamericana, 1.998.
- [4] Doty, S., & Turner, W. "Energy Management Handbook (6 ed)". Lilburn. GA: Fairmont Press, 2.007.
- [5] Energy Efficiency Office. "Guidelines on Energy Audits". Causeway Bay. Hong Kong: Electrical & Mechanical Services Department, 2.007.
- [6] Fawkes, S. "The History of Energy Management". Retrieved Agosto 6, 2005, from <http://vesma.com/thefivep.htm>, 2.001
- [7] Leal, S., & Zambrano, S. "Fundamentos Básicos de Mantenimiento". San Cristóbal Venezuela: Fondo Editorial UNET, 2.005.
- [8] Thumann, A., & Younger, W. "Handbook of Energy Audits". Lilburn: Fairmont Press, 2.003.