



Propuesta de mantenimiento a equipos de climatización del Hospital Gustavo Aldereguía Lima de Cienfuegos

AUTOR: GABRIEL NIEBLAS GONZÁLEZ
TUTOR: LAZARO VERDECÍA SUÁREZ

RESUMEN

En el presente documento se plantea el diseño de una propuesta de mantenimiento para el sistema de climatización del Hospital Universitario Gustavo Aldereguía Lima de Cienfuegos (HGAL). Para el diseño de dicha propuesta se empleó la metodología de mantenimiento basado en confiabilidad RCM II. Inicialmente, se identificaron los equipos que hacen parte del sistema de climatización del Hospital Universitario Gustavo Aldereguía Lima, se definieron los principales parámetros de operación de cada máquina; para la etapa de diagnóstico se efectuó un análisis estadístico de fallos, análisis de vibraciones y termografía infrarroja, con los cuales fue posible determinar el estado actual de cada equipo que compone el sistema de climatización. Posteriormente, se establecieron las funciones de cada equipo y de esta manera se analizaron los modos de fallo, sus consecuencias, las tareas a realizar y se diseñó un plan de mantenimiento basado en los componentes que hacen parte de cada máquina. Finalmente, se fijan una serie de procedimientos que hacen parte del mantenimiento preventivo y correctivo, con los cuales será posible suplir las necesidades del equipo ante un eventual fallo.

Palabra claves: Confiabilidad, Mantenimiento, Predictivo.

SUMMARY

In this document, the design of a maintenance proposal for the air conditioning system of the Gustavo Aldereguía Lima University Hospital in Cienfuegos (HGAL) is proposed. For the design of this proposal, the RCM II reliability based maintenance methodology was used. Initially, the equipment that is part of the air conditioning system of the Gustavo Aldereguía Lima University Hospital was identified, the main operating parameters of each machine were defined; for the diagnostic stage, a statistical fault analysis, vibration analysis and infrared thermography were carried out, with which it was possible to determine the current status of each equipment that makes up the air conditioning system. Subsequently, the functions of each team were established and in this way the failure modes, their consequences, the tasks to be carried out were analyzed and a maintenance plan was designed based on the components that are part of each machine. Finally, a series of procedures that are part of the preventive and corrective maintenance are fixed, with which it will be possible to supply the equipment's needs in the event of a failure.

Keyword: Reliability, Maintenance, Predictive.

Índice

SUMMARY

CAPÍTULO 1. REVISION BIBLIOGRAFICA

1.1 Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

1.1.1 Las siete preguntas básicas del RCM

1.1.1.1 Funciones y parámetros de funcionamiento

1.1.1.2 Fallas funcionales

1.1.1.3 Consecuencias de las fallas

1.1.1.4 Tareas proactivas

1.1.1.5 Acciones a falla

1.1.1.6 Resultados de un análisis RCM

1.2 ISO 2372-1974. Vibración mecánica de máquinas con velocidades de operación entre 10 y 200 rev/s.

1.3 Análisis de vibraciones para el mantenimiento predictivo

1.3.1 Causas más comunes de fallo

1.3.1.1 Desequilibrio

1.3.1.2 Desalineamiento:

1.3.1.3 Fallo de apriete en los elementos de unión

1.3.2 Método de evaluación de vibraciones en máquinas

1.4 Termografía Infrarroja

1.5 Enfriador de agua (Chiller)

2.6 Unidad Manejadora de Aire (UMA)

Conclusiones del Capítulo 1:

CAPÍTULO 2. Desarrollo de la Metodología RCM 2 para el mantenimiento a los equipos de climatización del HGAL

2.1 Etapa de diagnóstico

2.1.1 Parámetros de operación del sistema de climatización

2.1.3 Técnica de vibraciones mecánicas

2.1.3.1 Realización de la prueba

2.1.3.2 Resultados de la prueba

2.1.3.3 Análisis de resultados

2.1.4 Técnica termografía infrarroja

2.1.4.1 Realización de la prueba

2.1.4.2 Resultados y análisis de resultados

2.2 Análisis modal de fallas y efectos (AMFE)

2.3 Hoja de información del RCM

2.4 Número de prioridad de riesgo (NPR)

2.4.1 Índice de Gravedad

2.4.2 Índice de Aparición

2.4.3 Índice de detección

CAPITULO 3. PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE CLIMATIZACION DEL HGAL

3.1 Funciones primarias y secundarias de los equipos

3.1.1 Unidad manejadora de aire (UMA)

3.1.1.1 Funciones primarias

3.1.1.2 Funciones secundarias

3.1.1.3 Componentes

3.1.2 Chiller

3.1.2.1 Funciones primarias

3.1.2.2 Funciones secundarias

4.1.2.3 Componentes

3.1.3 Bomba centrífuga

3.1.3.1 Funciones primarias

3.1.3.2 Funciones secundarias

3.1.3.3 Componentes

3.1.4 Ventilador

3.1.4.1 Funciones primarias

3.1.4.2 Funciones secundarias

3.1.4.3 Componentes

3.2 Planes de mantenimiento

3.2.1 Plan de mantenimiento Preventivo

3.2.2 Plan de mantenimiento Correctivo

Conclusiones generales

Recomendaciones

Bibliografía consultada

INTRODUCCION

El aire acondicionado de un Hospital juega un papel más importante que la simple promoción de la comodidad. En muchos casos, el aire acondicionado adecuado es un factor en la terapia del paciente; en algunos casos, es el tratamiento principal. Los estudios demuestran que los pacientes en entornos controlados tienen generalmente más rápida mejoría física que aquellos en ambientes no controlados. Los hospitales y otras instalaciones sanitarias son ambientes delicados que requieren una climatización y ventilación cuidada tanto para conseguir confort como para controlar la presencia de partículas infecciosas para el paciente, el personal y los visitantes. La calidad del aire interior es más crítica en las dependencias sanitarias que en otros ambientes interiores debido a la presencia de multitud de microorganismos y agentes químicos peligrosos y también a la mayor susceptibilidad de los pacientes. Conseguir una climatización y ventilación capaz de satisfacer eficientemente todas las a menudo contradictorias necesidades constituye un gran reto.

En la actualidad, el sistema de climatización de precisión del Hospital Universitario Gustavo Aldereguía Lima carece de un plan de mantenimiento que se ajuste a las exigencias que se requieren para brindar un servicio sanitario de calidad a pacientes y personal médico presente en la instalación así como a familiares de los dolientes.

De acuerdo a lo anterior, es posible evidenciar que la posibilidad de que se presente un fallo funcional en el sistema es inesperado; es por ello, que se hace indispensable diseñar una propuesta de mantenimiento que garantice que, en caso de presentarse la falla, esta sea corregida oportuna y rápidamente, lo que contribuiría a la menor afectación del proceso de prestación de servicios.

Problema científico:

El Hospital Universitario Dr. Gustavo Aldereguía Lima de Cienfuegos no cuenta con una propuesta encaminada al mantenimiento de sus equipos de climatización, estando expuesto a fallas.

Hipótesis:

El diseño de una propuesta para el mantenimiento de los sistemas de climatización en el Hospital Dr. Gustavo Aldereguía Lima de Cienfuegos, debe tener un impacto positivo en la disminución de la frecuencia de las roturas en los equipos que hacen parte del mismo.

Objetivo General:

Diseñar una propuesta de mantenimiento para los equipos del sistema de climatización del Hospital Universitario Gustavo Aldereguia Lima basado en la metodología RCM II.

Objetivos Específicos:

- Diagnosticar cada uno de los equipos que hacen parte del sistema de climatización del Hospital Universitario Gustavo Aldereguía Lima.
- Elaborar una propuesta de mantenimiento basado en las técnicas RCM II.
- Establecer tareas proactivas que permitan hacer un seguimiento óptimo del estado de los equipos del sistema de climatización del Hospital universitario Gustavo Aldereguía Lima.

CAPÍTULO 1. REVISION BIBLIOGRAFICA

1.1 Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

Es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual. (Jhon, 2011)

Este enfoque permite determinar el plan de mantenimiento idóneo a través de la identificación de acciones que reduzcan la probabilidad de falla en forma efectiva mezclando de manera óptima acciones cíclicas, condicionadas o temporales.

1.1.1 Las siete preguntas básicas del RCM

El proceso RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar:

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros del funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿En qué sentido es importante cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

1.1.1.1 Funciones y parámetros de funcionamiento

Hay que tener en cuenta que lo que los usuarios esperan que los activos sean capaces de hacer puede dividirse en dos categorías:

- Funciones primarias: Resumen el porqué de la adquisición del activo. Esta categoría abarca temas como producción, calidad del producto, servicio al cliente, entre otros.
- Funciones secundarias: Que se espera de cada activo haga más que simplemente cubrir sus funciones primarias. Los usuarios tienen expectativas relacionadas con regulaciones ambientales, confort, seguridad, entre otros.

1.1.1.2 Fallas funcionales

Los objetivos del mantenimiento son definidos por las funciones y expectativas de funcionamiento asociadas al activo en cuestión. El proceso RCM lo hace en dos niveles:

- En primer lugar, identifica las circunstancias que llevaron a la falla.
- Posteriormente se pregunta qué eventos pueden causar que el activo falle.

Los estados de falla son conocidos como fallas funcionales porque ocurren cuando el activo no puede cumplir una función. Una vez que se haya identificado cada falla el próximo paso es tratar de identificar todos los hechos que de manera razonablemente posible pueden haber causado cada estado de falla. Seguidamente se procede hacer una lista de los efectos de la falla que describen lo que ocurre con cada modo de falla, esta descripción debería incluir toda la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias de la falla.

1.1.1.3 Consecuencias de las fallas

El RCM reconoce que la razón más importante para efectuar cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es evitar las fallas sino reducir en la medida de lo posible las consecuencias de estas fallas. El proceso RCM clasifica las consecuencias en cuatro grupos:

- Consecuencia de fallas ocultas: No tienen un impacto directo, pero exponen al sistema a fallas múltiples con consecuencias serias y hasta catastróficas.
- Consecuencias ambientales y para la seguridad: Si es posible que cause daño o muerte a alguna persona.
- Consecuencias operacionales: Si afecta la producción
- Consecuencias No-operacionales: Solo implica el costo directo de la reparación.

Las técnicas de manejo de fallas se dividen en dos categorías: Tareas proactivas y acciones a falta de.

1.1.1.4 Tareas proactivas

Abarca lo que se conoce como mantenimiento “predictivo” o “preventivo”. A su vez estas tareas proactivas se dividen en tres:

- Tareas de reacondicionamiento cíclicas
- Tareas de sustitución cíclicas
- Tareas a condición

1.1.1.5 Acciones a falla

Tratan directamente con el estado de falla. El RCM reconoce tres grandes categorías:

- Búsqueda de fallas: Implica revisar periódicamente fallas ocultas.
- Rediseño: Implica hacer cambios de una sola vez a las capacidades iniciales de un sistema.
- Ningún mantenimiento programado: No se hace ningún esfuerzo en prevenir la falla, simplemente se deja que ocurra para luego repararla.

1.1.1.6 Resultados de un análisis RCM

Si es aplicado en la forma sugerida anteriormente, un análisis RCM produce dos resultados tangibles:

- Planes de mantenimiento a ser realizados por el departamento de mantenimiento.
- Procedimientos de operación revisados, para los operadores del activo

Completada la revisión para cada activo físico, los operadores responsables del equipo deben comprobar que las decisiones tomadas por el grupo se encuentren disponibles en el momento.

1.2 ISO 2372-1974. Vibración mecánica de máquinas con velocidades de operación entre 10 y 200 rev/s.

Esta norma determina bases para la especificación de estándares de evaluación teniendo en cuenta la severidad de la vibración en la máquina. Es aplicable a máquinas rotativas con rotores rígidos y flexibles en los que la medida de vibración en la tapa del cojinete resulta ser un indicador del comportamiento vibratorio del eje.

Los datos que se requieren para su aplicación son el nivel global de vibración en velocidad (valor eficaz RMS) en un rango de frecuencia de 10 a 1000 Hz y la clasificación de acuerdo al tipo de máquina rotativa, que se presenta a continuación:

CLASE I - Componentes individuales, totalmente conectados al conjunto de la máquina en condiciones normales de operación. Equipos pequeños de hasta 15 kW.

CLASE II - Máquinas de tamaño medio 15 a 75 kW o hasta 300 kW en motores con cimentación especial.

CLASE III - Equipos grandes por encima de 75 kW con cimentación rígida y pesada o de 300 kW con cimentación especial.

CLASE IV - Motores principales grandes montados sobre cimentación blanda y ligera, y turbo maquinaria (equipos con RPM > velocidad crítica). El criterio de severidad en vibración admisible para cada una de las clases de máquinas mencionadas anteriormente, se relaciona en la siguiente figura 1:

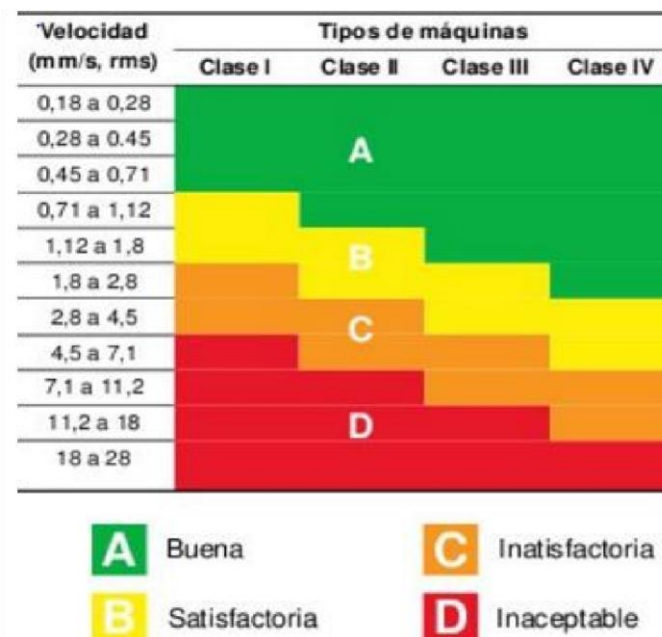


Fig.1. Severidad de la vibración según ISO 2372 (Internacional Organization for Standarization, 2009)

La clasificación de la severidad de la vibración se divide en cuatro rangos: A-Buena, B-Satisfactoria, C-Insatisfactoria o D-Inaceptable. Para hacer uso de esta tabla, bastan con clasificar el equipo de acuerdo a sus especificaciones técnicas y parámetros de funcionamiento (Universidad Pública de Navarra, 2011).

1.3 Análisis de vibraciones para el mantenimiento predictivo

Todas las máquinas vibran, debido a las tolerancias inherentes a cada uno de sus elementos constructivos. Estas tolerancias proporcionan a un equipo nuevo una vibración característica básica mediante la cual comparar futuras vibraciones para su correcta evaluación. Un cambio en la vibración característica de una máquina indicará que algún defecto incipiente se está originando en alguno de sus componentes (López, 2004)

Para el caso de máquinas rotativas, cualquier elemento que haga parte de este tipo de sistemas genera fuerzas dinámicas durante el funcionamiento del equipo. Cada una de estas fuerzas originará frecuencias de vibración que posibilitan la identificación de los componentes del sistema. Es claro que para que la maquinaria funcione es necesaria la interacción de las partes como un todo, así las frecuencias de vibración de cada uno de los componentes de la misma se transmitirán en su totalidad.

1.3.1 Causas más comunes de fallo

1.3.1.1 Desequilibrio: La inestabilidad hidráulica o aerodinámica puede crear una condición de desequilibrio en el equipo, no necesariamente debe haber un desequilibrio mecánico real para que exista como tal el fenómeno de desequilibrio en la máquina.

1.3.1.2 Desalineamiento: Es el fenómeno más frecuente en máquinas rotativas. Este efecto se origina entre dos ejes conectados mediante acoplamientos, también puede producirse entre cojinetes de un eje sólido, o entre dos puntos de la máquina. Existe desalineación paralela o angular, la primera se caracteriza porque los ejes en cuestión se encuentran en diferentes planos, mientras que la desalineación angular se genera cuando los ejes no están paralelos entre sí, es decir, existe un pequeño ángulo entre ellos.

1.3.1.3 Fallo de apriete en los elementos de unión: Si este fallo existiera se generarían vibraciones sin que la máquina en realidad se encuentra averiada. Sin embargo, si se sospecha de la mala condición de los anclajes se deben tomar medidas tanto en el sentido axial como

radial, pues existe la posibilidad de que en los puntos de unión o anclajes no se absorban adecuadamente las vibraciones producidas en el tren de maquinaria.

1.3.2 Método de evaluación de vibraciones en máquinas

Un procedimiento para localizar el desequilibrio de máquinas rotativas, es la medida de velocidad de vibración. Este método permite determinar la energía que produce la vibración. Estos niveles de severidad de la vibración se mencionan en la ISO 10816-1. De manera similar a la clasificación de equipos propuesta en la ISO 2372, se clasifica la maquinaria en esta norma de la siguiente forma:

Grupo K – Motores eléctricos de hasta 15 kW.

Grupo M – Motores eléctricos de 15 a 75 kW.

Grupo G – Grandes motores.

Grupo T – Turbomáquinas.

El parámetro a determinar para definir el nivel de vibración del equipo es la velocidad. A continuación, se observa la clasificación según el tipo de máquina de acuerdo a la norma ISO-10816-1:

28				
18	INACEPTABLE			
11				
7				
4,5	PERMISIBLE			
2,8				
1,8			UTILIZABLE	
1,1				
0,7				
0,45	BUENO			
0,28				
	Grupo K	Grupo M	Grupo G	Grupo T

Fig. 2. Severidad de la vibración según ISO 10816-1 (Internacional Organization for Standarization, 2009)

De acuerdo a la Fig 2. anterior es posible determinar la severidad de la vibración en la maquinaria conociendo el valor de la velocidad de vibración a la cual se ve expuesta la maquinaria y el grupo de acuerdo al tipo de equipos, esta clasificación se determina básicamente considerando el tamaño y la potencia a la que opera determinada máquina

1.4 Termografía Infrarroja

La termografía infrarroja es una de las tantas técnicas en las que se apoya el mantenimiento predictivo, permite medir temperaturas a distancia y sin la necesidad de contacto físico con el equipo a evaluar; por medio de la captación de la radiación infrarroja del espectro electromagnético, es posible convertir la energía radiada en información que permite determinar la temperatura aparente de funcionamiento de la máquina a estudiar. Las cámaras termográficas posibilitan el diagnóstico acerca del estado de componentes e instalaciones eléctricas, pues es posible identificar problemas en una fase temprana de desarrollo, de forma que se pueden documentar y corregir antes de que resulten siendo un defecto mucho mayor que elevaría los costos de reparación de manera significativa y reduciría de forma considerable la productividad de la empresa.

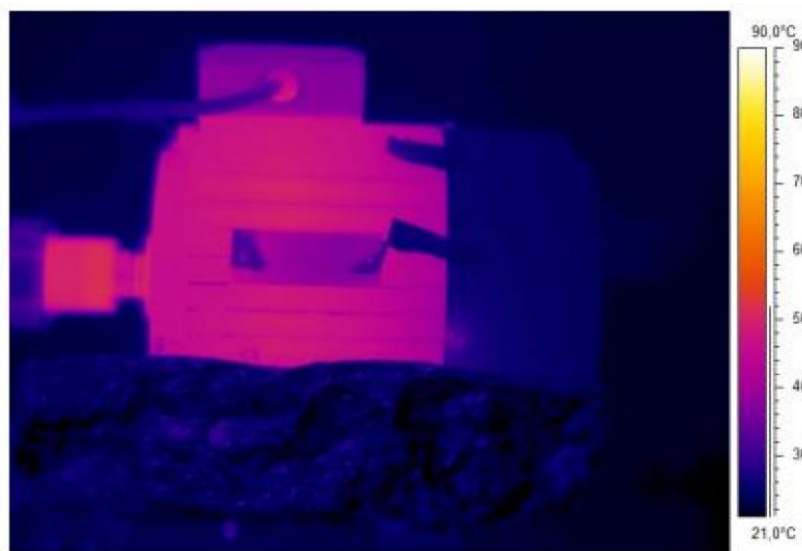


Fig. 3. Imagen termográfica de un motor sano en régimen permanente (Madrid, 2011)

En la figura 3 es posible observar la termografía de un motor eléctrico en condiciones de operación aceptables, nótese que no existen puntos calientes en este componente, lo que se traduce en un funcionamiento normal de los elementos que forman parte del motor. Mientras que en la siguiente imagen (figura 4), si existen puntos calientes en la termografía, y más

específicamente en el rodamiento, lo que probablemente se traduce en un fallo de este elemento.

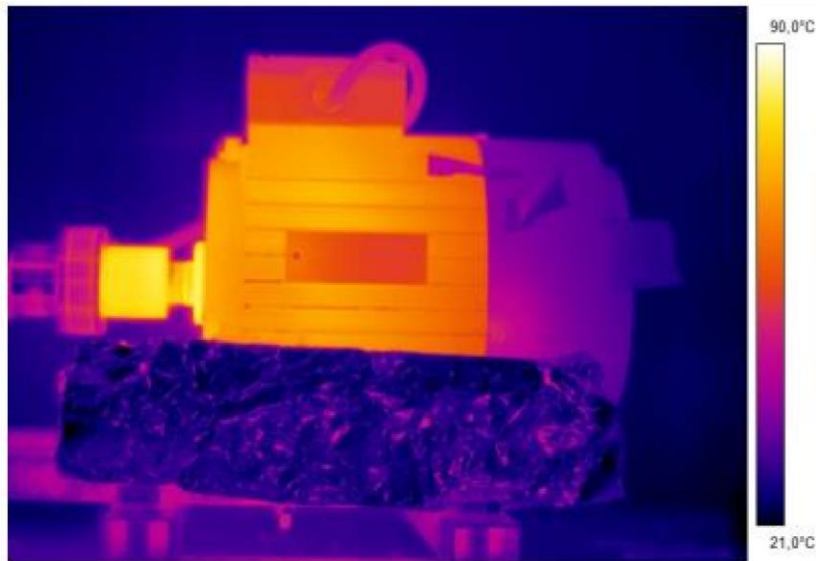


Figura 4. Imagen termográfica de un motor con fallo de rodamientos (Madrid, 2011)

Existen dos maneras de analizar las imágenes térmicas, por medio de análisis cuantitativos y cualitativos. Para el caso del análisis cuantitativo, conviene explicar cómo a partir de la imagen captada por la cámara, es posible determinar la temperatura con la cual será posible efectuar dicho análisis.

La conducción, la convección y la radiación son las tres formas por las cuales es posible transferir calor de un cuerpo a otro con la presencia de un medio material, para el caso de la conducción y la convección, mientras que la radiación no requiere de ningún medio, de hecho, transfiere mejor el calor en ausencia total de moléculas. Para el caso de la radiación, existen varios tipos de radiación dependiendo de si esta transferencia de calor incide o sale del cuerpo; para este caso en particular, la radiación relevante a la hora de analizar una imagen térmica es la emisividad, que es la capacidad que tiene un cuerpo para emitir su propia energía

Considerando la Ley de Stefan-Boltzman, es posible determinar la intensidad de radiación de un cuerpo negro, en este caso es claro que no se interactúa con cuerpos negros sino con

cuerpos reales y el concepto de emisividad es bastante relevante a la hora de definir la magnitud de la intensidad de la radiación. Teniendo en cuenta lo anterior, es importante tener en cuenta algunos factores que pueden llegar a afectar la emisividad de determinado objeto como lo es el material del cuerpo, su estructura superficial, geometría, temperatura, el ángulo de toma de la imagen y la longitud de onda. A continuación se observa la ecuación definida por Stefan Boltzman:

$$W_{CR} = \varepsilon * \sigma * T^4$$

Donde ε es la emisividad del cuerpo, T es la temperatura expresada en grados

Kelvin y σ es la constante de Stefan-Boltzman que tiene un valor de $5,67 * 10^{-8} W/m^2 * K^4$.

Para el caso del análisis cualitativo, éste depende en gran medida del individuo que realice la evaluación de la imagen, lo que se busca con este análisis es poner de manifiesto anomalías de distinta magnitud, localizarlas y determinar su nivel de gravedad. El 90% de las inspecciones se efectuarán de esta manera y buscan definir rápidamente patrones anormales del objeto en estudio.

1.5 Enfriador de agua (Chiller)

Este elemento está constituido básicamente por una unidad compresora, u evaporador y un condensador. Una vez que el refrigerante es comprimido, pasa por el condensador para luego expandirse y pasar por el evaporador (intercambiador de calor de concha y tubo) donde ocurre la transferencia de calor entre el refrigerante y el agua. Una vez que el refrigerante sale del evaporador es comprimido para cumplir un nuevo ciclo. El agua que entra al evaporador se enfría y es bombeada hacia las unidades de manejo de aire. Los compresores de los enfriadores de agua pueden ser: reciprocantes, centrífugos o de tornillo.

Los compresores reciprocantes son empleados para edificaciones pequeñas ya que su capacidad varía entre 25-200 ton. Por otro lado, los compresores centrífugos pueden manejar grandes cantidades de refrigerante lo cual aumenta su capacidad notablemente (1.300 toneladas). El compresor de tornillo es muy empleado en el acondicionamiento para las industrias químicas y de alimentos.

A su vez, los enfriadores de agua se dividen según el tipo de condensación, la cual puede ser por aire o por agua. En la condensación por aire se dispone de unidades que son instaladas

en terrazas o sitios abiertos a la atmósfera para poder disipar el calor por medio de ventiladores. Existen los de condensación por torre de enfriamiento, la cual disipa el calor del agua del condensador.



Figura 5. Enfriador de agua (Chiller) (Pérez, 2009)

2.6 Unidad Manejadora de Aire (UMA)

La unidad de manejo de aire es el elemento encargado de suministrar el aire frío al ambiente acondicionado. Dentro de sus componentes tenemos: el ventilador centrífugo, que se encarga de mantener el flujo de aire que entra y sale de la UMA. Por otro lado, se encuentra el serpentín de enfriamiento, en el cual ocurre la transferencia de calor entre el agua fría y el aire de suministro. El aire que es suministrado al ambiente acondicionado es, en la mayoría de los casos, una mezcla de aire fresco y aire de retorno. En algunas aplicaciones específicas el suministro es sólo de aire fresco, como por ejemplo en quirófanos, laboratorios u otros sitios donde se requiera un aire cien por ciento puro. Para lograr un nivel de pureza adecuado en el aire de suministro, las UMAS constan de filtros de aire capaces de retener las partículas de

polvo e incluso otros agentes contaminantes como en el caso de los filtros con carbón activado los cuales retienen el humo y los malos olores que retornan a la unidad.

Para la distribución del aire, estas unidades están asociadas a una ductería de suministro, la cual posee rejillas difusoras ubicadas en el ambiente acondicionado. Para controlar el flujo del aire existen diversos dispositivos según el modelo y la capacidad de la unidad. Existen las denominadas UMAS multizonas las cuales tienen la capacidad de distribuir el aire por ramales independientes desde la salida de la unidad a cada zona acondicionada, controlando el aire por medio de compuertas (dampers) que direccionan el aire en cada una de las salidas de la UMA. Por otro lado, se encuentran las unidades monozonas que cuentan con una salida de la ductería, la cual se ramifica posteriormente a los ambientes acondicionados. Este modelo es el más común ya que permite efectuar un control de manera más fácil en el flujo de aire de suministro. Las unidades de manejo de aire pueden ser de diferentes modelos y capacidades según su aplicación.



Figura 6. Unidad manejadora de aire (UMA) (Pérez, 2009)

Conclusiones del Capítulo 1:

- Existen varias herramientas encaminadas a la detección precoz de fallas en los equipos de climatización.
- La metodología RCM se apoya fuertemente en las herramientas de diagnóstico temprano.

CAPÍTULO 2. Desarrollo de la Metodología RCM 2 para el mantenimiento a los equipos de climatización del HGAL

2.1 Etapa de diagnóstico

En esta etapa se determinarán las condiciones actuales en las que se encuentran los equipos que hacen parte del sistema de climatización del Hospital Universitario Dr. Gustavo Aldereguía Lima de Cienfuegos, para efectos de practicidad, éste en ocasiones, se abreviara con las siglas HGAL en lo que resta del documento. Al definir estas condiciones será posible establecer un plan de mantenimiento que garantice el menor número de fallos que impiden el funcionamiento adecuado del sistema. Esta etapa se compone de la especificación de las condiciones de operación de los equipos que hacen parte del sistema de climatización, pruebas de vibraciones mecánicas, termografías infrarrojas a las diferentes máquinas del sistema de climatización y análisis respectivos dependiendo de la técnica de diagnóstico.

2.1.1 Parámetros de operación del sistema de climatización

En esta fase, se definieron los parámetros de operación más relevantes para cada equipo que compone el sistema de climatización del HGAL. Dichos parámetros son la potencia, frecuencia y revoluciones por minuto (rpm) de cada equipo en particular. A continuación, se relacionan estas especificaciones:

SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN INM			
EQUIPO	POTENCIA (Kw)	FRECUENCIA (Hz)	RPM
UMA 1	3,7	60	1715
UMA 2	5,592	60	1732
UMA 3	3,7	60	1715
UMA 4	3,7	60	1715
UMA 5	5,592	60	1732
UMA 6	7,457	60	1755
UMA 7	5,592	60	1732

AC 1 UCI (Quirúrgica)	1,79	60	1695
AC 2 UCI (Clínica)	0,671	60	635
AC 3 UCI (Polivalente)	1,79	60	1695
AC 5 UCI (Cuidados Coronarios)	1,79	60	1695
AC 7	1,79	60	1695
AC 8 Unidad de ICTUS	1,79	60	1695
AC 9	2,685	60	1710
AC 10	2,685	60	1710
AC 11 UQE	1,342	60	1700
AC 12 UQC	1,79	60	1695
AC 13 BBANCO DE SANGRE URGENCIAS	1,79	60	1695
AC 16	1,79	60	1695
BOMBA 1 RECIRCULACIÓN AGUA CALIENTE	1,79	60	1750
BOMBA 2 RETORNO AGUA AL CHILLER	2,685	60	1710
VENTILADORES	1,492	60	3450

Tabla 1. Parámetros de operación sistema de climatización

2.1.3 Técnica de vibraciones mecánicas

De las distintas técnicas de mantenimiento predictivo, esta técnica es una de las más populares debido a la posibilidad de determinar una gran cantidad de defectos en una amplia gama de máquinas. El instrumento utilizado para este análisis, permite realizar mediciones en los distintos componentes de régimen rotativo que hacen parte de una máquina en particular, y de esta manera definir si estas vibraciones se encuentran dentro de rangos aceptables o si por el contrario estas son excesivas e indican problemas en el elemento. La medición lograda con este tipo de instrumentos aporta magnitudes de desplazamiento, velocidad y aceleración con las cuales es posible verificar la condición de la maquinaria

El equipo utilizado para esta prueba fue un medidor de vibraciones para trabajo pesado de la marca EXTECH INSTRUMENTS modelo 407860, el cual es posible observar a continuación:



Figura 7. Medidor de vibraciones para trabajo pesado MOD. 407860

Las especificaciones técnicas del instrumento se relacionan en la siguiente tabla 2:

ESPECIFICACIONES GENERALES	
Escala de frecuencia	10 Hz a 1 KHz
Tiempo de muestreo	Hasta 3600 segundos
Temperatura de operación	0 a 50°C
Humedad de operación	Menor a 80% RH
Fuente de energía	Batería 9V
Consumo de energía	8 mA CD
Registrador de datos	Guarda hasta 500 lecturas
Dimensiones	Medidor: (180x72x32) mm
	Detector: Diámetro de 18 mm
Peso	Medidor: 230 g
	Detector: 110 g

Tabla 2. Características técnicas del medidor de vibraciones MOD. 407860

2.1.3.1 Realización de la prueba

Esta prueba se realizó en las instalaciones del HGAL, consistió básicamente en la toma de mediciones de vibraciones por un periodo de 60 segundos para cada equipo que compone el sistema de climatización, el detector del instrumento debía situarse, en lo posible, en una área implicada directamente con el movimiento realizado por la máquina al cumplir su función; cabe aclarar que no a todos los equipos fue posible realizarles esta evaluación teniendo en cuenta que no era posible acceder a algunos de ellos con tanta facilidad.

2.1.3.2 Resultados de la prueba

Estos resultados se determinaron considerando la potencia de trabajo de cada equipo y la velocidad promedio que registro el medidor de vibraciones. Cabe destacar, que ninguno de los equipos que componen el sistema de climatización opera a potencias de trabajo mayores a 15 KW, por lo que su clasificación se definió en el grupo K (Maquinaria pequeña hasta de 15 KW). Teniendo en cuenta lo anterior, fue posible clasificar la severidad de vibraciones para cada equipo como se muestra en la tabla 3.

TOMA DE DATOS VIBROMETRO										
NOTA: Tiempo de muestreo 60 seg										
VELOCIDAD		(mm/s)	DESPLAZAMIENTO (mm)		POTENCIA	POSICION DE	BUENO (0 a 0,71)	ACEPTABLE (0,72 a 1,80)	CLASIFICACION DE MAQUINARIA (HASTA 15 KW) (mm/s) PERMISIBLE (1,81 a 4,5)	PELIGROSO (MAYOR a 4, 5)
					(KW)	MEDIDA				
UMA 1	MAX	13.9	MAX	0.572	3.7	CHUMACERA				X
	MIN	6.7	MIN	0.099						
UMA 2	MAX	6.5	MAX	0.598	5.592	CHUMACERA			X	
	MIN	2	MIN	0.081						
UMA 4	MAX	10.1	MAX	0.103	3.7	RESORTE				X
	MIN	1.1	MIN	0.086						
UMA 5	MAX	6.9	MAX	0.59	5.592	CHUMACERA				X
	MIN	4	MIN	0.029						
UMA 6	MAX	7.2	MAX	0.139	7.457	CHUMACERA				X
	MIN	3.8	MIN	0.054						
AC 1 UCI (Quirúrgica)	MAX	10.1	MAX	0.122	1.79	CHUMACERA				X
	MIN	9.6	MIN	0.086						
AC 2 UCI (Clínica)	MAX	4.2	MAX	0.07	0.671	CHUMACERA			X	
	MIN	1.9	MIN	0.017						
AC 3 UCI (Polivalente))	X	MA	2.7	MAX	0.039	1.79	CHUMACERA			X

	MIN	2.5	MIN	0.006						
AC 5 UCI (Cuidados Coronarios)	X	MA	3.6	MAX	0.098	1.79	CHUMACERA			X
		MIN	3.3	MIN	0.021					
AC 8 UNIDAD DE ICTUS	X	MA	2.6	MAX	0.095	1.79	CHUMACERA			X
		MIN	1.8	MIN	0.016					
AC 9	MAX	2.7	MAX	0.137	2.685	CHUMACERA			X	
	MIN	1.9	MIN	0.008						
AC 10	MAX	3.7	MAX	0.219	2.685	CHUMACERA			X	
	MIN	2.2	MIN	0.018						
AC 11 UQE	X	MA	4.3	MAX	0.087	1.342	CHUMACERA			X
		MIN	2.9	MIN	0.018					
AC 12 UQC	X	MA	7.2	MAX	0.211	1.79	RODAMIENTO EJE			X
		MIN	3.4	MIN	0.029					
AC 13 Banco de Sangre Urgencias	X	MA	7.5	MAX	0.174	1.79	CHUMACERA			X
		MIN	4.3	MIN	0.09					
BOMBAS										
BOMBA 1 (RECIRCULACION AGUA CALIENTE)	MAX	B 2.5	MAX	0.171	1.79	BRIDA			X	
	MIN	1.8	MIN	0.005						
BOMBA 2 (RETORNO AGUA AL CHILLER)	X	MA	3.9	MAX	0.078	2.685	BRIDA		X	
		MIN	0.5	MIN	0.002					

Tabla 3.

Clasificación de la severidad de vibración

Considerando el análisis de vibraciones, su posterior clasificación y con el fin de comparar los resultados de este ejercicio, se consultaron algunos manuales de operación de medidores de vibración como el PCE-VM 5000 y PCE VT-2800, los cuales al igual que el medidor de vibraciones usado para la etapa de diagnóstico de la maquinaria que compone el sistema de climatización del HGAL determinan la severidad admisible de vibraciones de una forma similar, por lo cual se ratifican estos resultados y en base a ellos se definirán algunas causas probables de acuerdo al nivel de vibración obtenido para cada equipo.

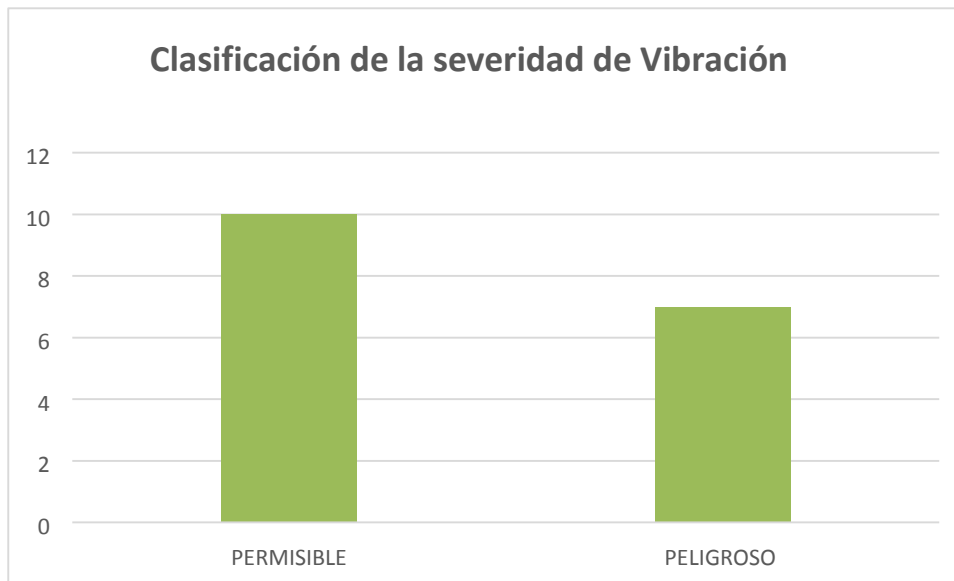
2.1.3.3 Análisis de resultados

Considerando los resultados alcanzados con la prueba de vibraciones, lo siguiente será consultar documentos confiables que clasifiquen la severidad de la vibración y de esta forma comparar los resultados arrojados por dicha prueba, con el fin de verificar y consolidar la clasificación lograda en la *Tabla 3*. Estas normas se encuentran documentadas en el capítulo uno de este documento. A continuación, se presenta dicha comparación.

EQUIPO	VELOCIDAD PROMEDIO (mm/s)	CLASIFICACIÓN VIBROMETRO EXTECH REF. 407860	CLASIFICACIÓN ISO 2372	CLASIFICACIÓN ISO 10816-1
UMA 1	10.3	PELIGROSO	INACEPTABLE	INACEPTABLE
UMA 2	4.25	PERMISIBLE	INSATISFACTORIA	PERMISIBLE
UMA 4	5.6	PELIGROSO	INACEPTABLE	INACEPTABLE
UMA 5	5.45	PELIGROSO	INACEPTABLE	INACEPTABLE
UMA 6	5.5	PELIGROSO	INACEPTABLE	INACEPTABLE
AC 1 UCI (Quirúrgica)	9.85	PELIGROSO	INACEPTABLE	INACEPTABLE
AC 2 UCI (Clínica)	3.05	PERMISIBLE	INSATISFACTORIA	PERMISIBLE
AC 3 UCI (Polivalente)	2.6	PERMISIBLE	INSATISFACTORIA	PERMISIBLE
AC 5 UCI (Cuidados Coronarios)	3.45	PERMISIBLE	INSATISFACTORIA	PERMISIBLE
AC 8 Unidad de ICTUS	2.2	PERMISIBLE	INSATISFACTORIA	PERMISIBLE
AC 9	2.3	PERMISIBLE	INSATISFACTORIA	PERMISIBLE
AC 10	2.95	PERMISIBLE	INSATISFACTORIA	PERMISIBLE
AC 11 UQE	3.6	PERMISIBLE	INSATISFACTORIA	PERMISIBLE
AC 12 UQC	5.3	PELIGROSO	INACEPTABLE	INACEPTABLE
AC 13 Banco de Sangre Urgencias	5.9	PELIGROSO	INACEPTABLE	INACEPTABLE
BOMBA 1 (RECIRCULACION AGUA CALIENTE)	2.15	PERMISIBLE	INSATISFACTORIA	PERMISIBLE
BOMBA 2 (RETORNO AGUA AL CHILLER)	2.2	PERMISIBLE	INSATISFACTORIA	PERMISIBLE

Tabla 4. Comparación de la severidad de vibración con las normas ISO 2372 e ISO 10816-1.

Teniendo en cuenta la información contenida en la *Tabla 4*, es posible crear una gráfica que permite determinar con más facilidad de los 17 equipos sometidos a esta prueba, la cantidad de ellos que se encuentran en los distintos niveles de severidad de vibraciones.



Gráfica 1 . Clasificación de la severidad de vibración

Adicionalmente y teniendo en consideración la *Tabla 4* , en la cual se clasifica la severidad de vibraciones por medio de normativas diferentes, es posible evidenciar que ningún equipo se encuentra en un nivel de vibraciones aceptable, que le permita funcionar adecuadamente. Adicionalmente, se destaca que, si bien existen equipos que su clasificación arroja un resultado *permisible/insatisfactoria* teniendo en cuenta la comparación, y que no expresan un nivel de vibraciones tal como los equipos que arrojan una severidad de vibraciones *peligroso/inaceptable*, es necesario aclarar que de no prestarles la verificación y mantenimiento adecuado al equipo llegarán a niveles de vibración peligrosos que podrían afectar el funcionamiento del equipo y por ende del sistema de climatización. Las causas probables para estos niveles de vibración insatisfactorios se listan a continuación:

Desbalanceo estático: Producido comúnmente por desgaste radial superficial.

Desbalanceo dinámico: Se debe principalmente a desgastes axiales y radiales simultáneos en la superficie del rotor. Ocurre generalmente en rotores medianos y largos.

Desbalanceo por rotor colgante: Se origina en rotores que se encuentran en el extremo de un eje, generalmente se produce por desgaste superficial del rotor y doblamiento del eje.

Desalineación angular: Se origina cuando el eje del motor y el eje conducido que se unen en el acople, no son paralelos. Así mismo, este problema también indica problemas en el acople.

Desalineación paralela: Tanto el eje del motor como el conducido están paralelos, pero no son colineales.

Desalineación entre chumaceras: En una máquina en la que la transmisión de movimiento se hace por medio de poleas, la posición errónea de las chumaceras puede evitar que el eje se posicione adecuadamente, lo cual origina vibraciones anormales en sentido radial y axial.

Holgura mecánica eje-agujero: Se produce principalmente por tolerancias de manufactura inadecuadas y aflojamiento de manguitos.

Holgura mecánica en sujeción: Aflojamiento, pérdida de elementos de sujeción como tuercas o fracturas en la estructura del soporte.

Fatiga estructural: Desplazamiento del pie de la máquina por holgura en los pernos de la base o deterioro de los componentes de la sujeción.

Excentricidad: Puede confundirse fácilmente con desbalanceo. Ocurre cuando el centro de rotación no coincide con el centro geométrico en un engranaje o polea.

Pandeo: Se produce por esfuerzos axiales excesivos en el eje. Es más común en ejes largos.

Problemas de lubricación: El uso de lubricantes incorrectos o una inadecuada lubricación, puede llegar a generar problemas en un rodamiento de chumacera, además de una fricción excesiva entre el rodamiento y el eje rodante, estos comportamientos inducen a vibraciones excesivas.

Contacto metal-metal: Se produce por falta de lubricación, contaminación de agua, entrada de polvo al conjunto de referencia o exceso de velocidad que no permite el funcionamiento correcto del sistema.

Desgaste en diente de engranaje: Principalmente ocurre por operación de estos elementos más allá de la vida útil del mismo, lubricante contaminado, elementos extraños circulando en la caja del engrane o montaje erróneo.

Sobrecarga en engrane: Todos los dientes están expuestos a recibir sobrecargas continuas, pero cuando estas se vuelven excesivas es necesario determinar que elemento está dificultando el movimiento, ya sean bujes o rodamientos defectuosos, fallas en el sistema de lubricación o anomalías en el rotor.

Hunting en engranes: Cuando dos dientes específicos del piñón y el engranaje conducido se encuentran, generan vibraciones de choque que son producidas por manipulación indebida o problemas en el proceso de manufactura. Esta falla genera altas vibraciones a bajas frecuencias.

Distensión en correas: Generalmente este fenómeno ocurre cuando la vida útil de la banda se ha sobrepasado, o por un desgaste excesivo de la misma.

Falla en pista interna o externa de un rodamiento: Desastillamiento o agrietamiento del material en la pista interna o externa, originado por esfuerzos anormales, corrosión, partículas externas, lubricante deficiente o errores en el ensamblaje.

Falla en elementos rodantes de un rodamiento: Agrietamiento o desastillamiento del material en los elementos rodantes, producido por errores de ensamble, corrosión, esfuerzos anormales, lubricación deficiente o aparición de partículas externas al proceso.

2.1.4 Técnica termografía infrarroja

Esta técnica también hace parte del mantenimiento predictivo, permite a través de la radiación infrarroja que emiten los cuerpos, determinar la temperatura superficial a la que se encuentran expuestos. El instrumento que se usa para realizar esta técnica es la cámara infrarroja, la cual efectúa dichas mediciones sin contacto directo con el componente a evaluar.

El equipo utilizado para esta prueba fue una cámara térmica de la marca DALI serie TE, la cual es posible observar a continuación:



Figura 8. Cámara termográfica serie TE

Así mismo, las especificaciones técnicas del instrumento se relacionan en la siguiente tabla 5:

ESPECIFICACIONES GENERALES	
Resolución	160 x 120 pixeles
Rango espectral	8 a 14 μm
Rangos de temperatura	-20°C a 350°C
Temperatura de operación	-15°C a 50°C
Enfoque	Manual
Paleta de colores	3 paletas intercambiables
Registrador de datos	Hasta 1000 imágenes
Dimensiones	(250x100x72) mm
Distancia focal mínima	0.3 m
Peso	0.6 Kg

Tabla 5. Especificaciones técnicas de la cámara termográfica

2.1.4.1 Realización de la prueba

La prueba se realizó en las instalaciones del HGAL, consistió básicamente en la toma de una serie de imágenes térmicas de cada uno de los equipos que componen el sistema de climatización, esto con el fin de determinar las imágenes que muestran un espectro electromagnético más significativo y seleccionarlás para su posterior análisis; para la toma de dichas imágenes es necesario tener en cuenta aspectos como la resolución, el enfoque, el encuadre, la distancia mínima para la toma de la fotografía y las condiciones meteorológicas, estas serán un aspecto determinante en el análisis de algunas imágenes que implican una condición ambiental cambiante. Cabe aclarar que no a todos los equipos fue posible realizarles esta evaluación teniendo en cuenta que no era posible acceder a algunos de ellos con tanta facilidad.

2.1.4.2 Resultados y análisis de resultados

El análisis de resultados de una imagen térmica es posible realizarlo de dos maneras cualitativa y cuantitativamente, el proceder de estos análisis ya fue explicado previamente en el capítulo uno de este documento.

Para el caso del análisis cualitativo, es importante destacar que lo que se espera de un componente que se encuentre en un estado de funcionamiento normal es una imagen homogénea que no presenta puntos calientes en zonas determinadas como se muestra en la *Figura 3* de este documento; cuando este comportamiento no se da, se deben evaluar los puntos más calientes que es posible observar a través de la imagen térmica y en base a ellos determinar las posibles causas que están originando gradientes de temperatura más altos respecto a otras zonas del equipo.

Mientras que, para el caso del análisis cuantitativo, es necesario tener en cuenta el concepto de radiación y sus diferentes formas de emisión. Para este caso en particular, la radiación relevante a la hora de analizar una imagen térmica es la emisividad, que es la capacidad que tiene un cuerpo para emitir su propia energía; esta propiedad junto con la temperatura aparente que define la cámara termográfica para cada imagen determinan la potencia de radiación, esta propiedad es la energía emitida por un cuerpo en una unidad de tiempo y de superficie determinadas, y es posible evidenciar que cuan más grande es la magnitud de la potencia irradiada mayor será la tasa de transferencia de calor por radiación, lo que hace más vulnerable a los elementos próximos al cuerpo en cuestión, que de no existir un sistema de aislamiento en buenas condiciones podría originar con el tiempo serios problemas a los componentes del equipo que se encuentran cercanos a los puntos donde el gradiente de temperatura es máximo y de esta forma producir fallos parciales que afectan el funcionamiento de la máquina. A continuación, es posible observar, dos de las unidades manejadoras de aire y el análisis que se realizó con cada imagen térmica:

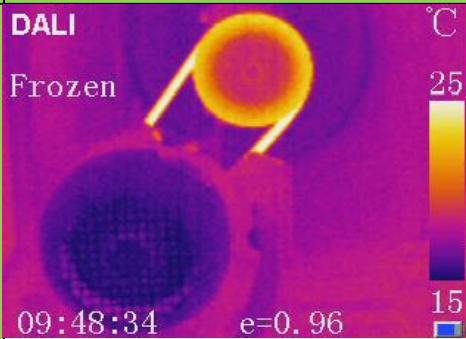
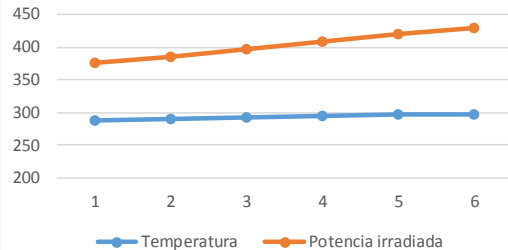
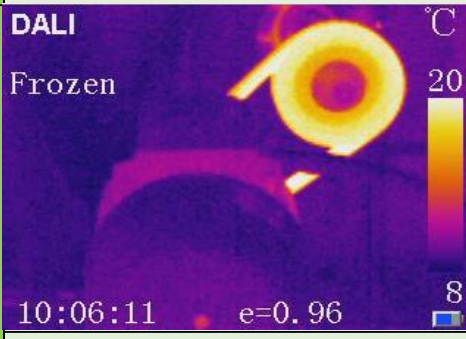
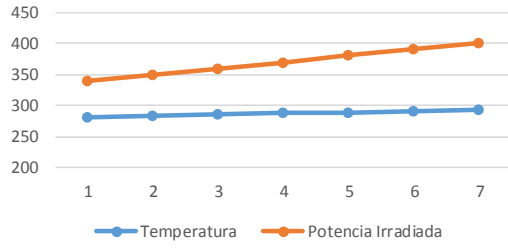
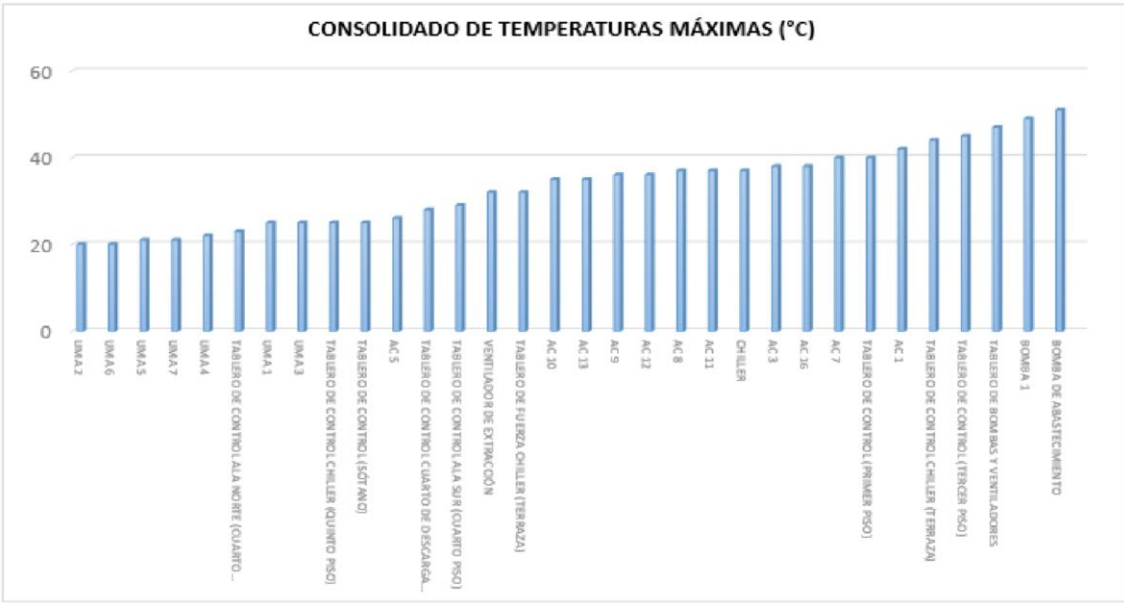
EQUIPO	IMAGEN TERMOGRÁFICA	ANÁLISIS CUALITATIVO	ANÁLISIS CUANTITATIVO (BASADO EN LA LEY DE STEFAN-BOLTZMANN)																								
UMA 1		El sistema de transmisión de movimiento es el que se ve expuesto al mayor gradiente de temperatura, aunque éste en realidad no sea considerable teniendo en cuenta las condiciones de operación de estos equipos. La correa, que es el componente que se encarga de transmitir el movimiento del motor al sistema está expuesto a la mayor temperatura, probablemente este comportamiento se deba a sobretensión de la banda o desgaste excesivo de la misma.	Temperatura - Potencia Irradiada  <table><caption>Data for UMA 1 Graph</caption><thead><tr><th>Punto</th><th>Temperatura (°C)</th><th>Potencia irradiada (W)</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>280</td><td>375</td></tr><tr><td>2</td><td>280</td><td>385</td></tr><tr><td>3</td><td>280</td><td>395</td></tr><tr><td>4</td><td>280</td><td>405</td></tr><tr><td>5</td><td>280</td><td>415</td></tr><tr><td>6</td><td>280</td><td>425</td></tr></tbody></table>	Punto	Temperatura (°C)	Potencia irradiada (W)	1	280	375	2	280	385	3	280	395	4	280	405	5	280	415	6	280	425			
	Punto		Temperatura (°C)	Potencia irradiada (W)																							
1	280	375																									
2	280	385																									
3	280	395																									
4	280	405																									
5	280	415																									
6	280	425																									
UMA 2		El sistema de transmisión de movimiento es el que se ve expuesto al mayor gradiente de temperatura, aunque éste en realidad no sea considerable teniendo en cuenta las condiciones de operación de estos equipos. La polea y la correa, que son los componentes que se encargan de transmitir el movimiento del motor al sistema están expuestos a la mayor temperatura, probablemente este comportamiento se deba para el caso de la correa a sobretensión o desgaste excesivo de la misma, y para la polea a problemas de sobretensión y desalineamiento.	Temperatura - Potencia Irradiada  <table><caption>Data for UMA 2 Graph</caption><thead><tr><th>Punto</th><th>Temperatura (°C)</th><th>Potencia irradiada (W)</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>280</td><td>340</td></tr><tr><td>2</td><td>280</td><td>350</td></tr><tr><td>3</td><td>280</td><td>360</td></tr><tr><td>4</td><td>280</td><td>370</td></tr><tr><td>5</td><td>280</td><td>380</td></tr><tr><td>6</td><td>280</td><td>390</td></tr><tr><td>7</td><td>280</td><td>400</td></tr></tbody></table>	Punto	Temperatura (°C)	Potencia irradiada (W)	1	280	340	2	280	350	3	280	360	4	280	370	5	280	380	6	280	390	7	280	400
Punto	Temperatura (°C)	Potencia irradiada (W)																									
1	280	340																									
2	280	350																									
3	280	360																									
4	280	370																									
5	280	380																									
6	280	390																									
7	280	400																									

Figura 9.Análisis cuantitativo y cualitativo de las imágenes térmicas

De acuerdo a la información suministrada en la *Tabla*, es posible evidenciar que tanto el análisis cualitativo como cuantitativo para cada imagen térmica, es diferente, considerando que las condiciones de operación de un equipo respecto a otro son similares, pero no idénticas. Para el caso del análisis cuantitativo, cabe aclarar que el gráfico “*Temperatura- Potencia Irradiada*”, que se presentara junto con cada imagen térmica analizada, es un gráfico que en el eje X, ubica los intervalos de temperatura, mientras que en el eje Y ubica la magnitud de la potencia irradiada; cabe destacar, que entre más alta es la temperatura aparente que registra la cámara, la potencia irradiada incrementa en una proporción de cuatro veces, considerando la ecuación propuesta por Stefan Boltzmann.

A continuación, se presenta una gráfica que permite determinar las temperaturas alcanzadas para cada equipo, considerando que esta propiedad es la más relevante a la hora de efectuar los análisis para cada fotografía lograda:



Gráfica 2. Temperaturas máximas para cada equipo

Considerando la gráfica 2, es posible observar, que los equipos que presentan un mayor gradiente de temperatura, son el primer lugar las bombas y los tableros de control; en estos.

Considerando la importancia de las condiciones en la que debería encontrarse determinado el aislamiento, se presenta una tabla que permite determinar las temperaturas máximas de operación dependiendo del tipo de aislamiento y su material de fabricación.

Clase	Ejemplos ilustrativos y definiciones
105 °C A	Materiales o combinaciones de materiales tales como algodón, seda y papel cuando son adecuadamente impregnados o recubiertos o cuando son sumergidos en un líquido dieléctrico como el aceite. Se pueden incluir en esta clase otros materiales o combinaciones de materiales, si por experiencia o pruebas aceptadas se puede demostrar que tienen una vida térmica comparable a 105 °C.
130 °C B	Materiales o combinaciones de materiales tales como mica, fibra de vidrio, asbesto, etc., con sustancias adhesivas adecuadas. Se pueden incluir en esta clase otros materiales o combinaciones de materiales, si por experiencia o pruebas aceptadas se puede demostrar que tienen una vida térmica comparable a 130 °C.
155 °C F	Materiales o combinaciones de materiales tales como mica, fibra de vidrio, asbesto, etc., con sustancias adhesivas adecuadas. Se pueden incluir en esta clase otros materiales o combinaciones de materiales, si por experiencia o pruebas aceptadas se puede demostrar que tienen una vida térmica comparable a 155 °C.
180 °C H	Materiales o combinaciones de materiales tales como elastómero de silicón, mica, fibra de vidrio, asbesto, etc., con sustancias adhesivas adecuadas tales como resinas de silicón apropiadas. Se pueden incluir en esta clase otros materiales o combinaciones de materiales, si por experiencia o pruebas aceptadas se puede demostrar que tienen una vida térmica comparable a 180 °C.
200 °C N	Materiales o combinaciones de materiales que por experiencia o pruebas aceptadas se puede demostrar que tienen la vida térmica requerida a 200 °C.
220 °C R	Materiales o combinaciones de materiales que por experiencia o pruebas aceptadas se puede demostrar que tienen la vida térmica requerida a 220 °C.
240 °C S	Materiales o combinaciones de materiales que por experiencia o pruebas aceptadas se puede demostrar que tienen la vida térmica requerida a 240 °C.
más de 240 °C C	Materiales compuestos totalmente de mica, porcelana, vidrio, cuarzo y materiales inorgánicos similares. Pueden incluir en esta clase otros materiales o combinaciones de materiales, si por experiencia o pruebas aceptadas se puede demostrar que tienen la vida térmica requerida a temperaturas de más de 240 °C.

Tabla 6. Clases de sistemas de aislamiento

Considerando la tabla anterior y el análisis logrado en el Anexo 1 es posible determinar que para el caso del aislamiento clase A, que su temperatura máxima es de 105°C y asumiendo condiciones de temperatura ambiental de 40°C, en casos extremos, a pesar de que se presentan algunos equipos con temperaturas de

operación elevadas, estos se mantienen dentro del margen en cuanto tiene que ver con la conservación del aislamiento, componente clave a la hora del posible proceso de transferencia de calor entre componentes. Sin embargo, no hay que dejar de lado la importancia de acuerdo a los diferentes análisis presentados en este anexo, la verificación del estado de algunos componentes que podrían llegar a afectar el funcionamiento del sistema de climatización.

2.2 Análisis modal de fallas y efectos (AMFE)

Es una de las herramientas más utilizadas en la planificación de la seguridad en la atención, el Análisis modal de fallas y efectos *AMFE* evalúa las deficiencias que puede ocasionar un mal funcionamiento del servicio. El *AMFE* valora fallas potenciales en el diseño y la prestación de servicios, previniendo su aparición, cuantificando los efectos de posibles fallas.

A continuación, veremos la tabla AMFE que se desarrolló en este proyecto para determinar:

- Función
- Falla funcional: ¿Pérdida de función?
- Modo de falla: ¿Qué causa la falla?
- Efecto de falla: ¿Qué ocurre cuando falla?

Se desarrolló este análisis para cada uno de los componentes de cada equipo que hacen parte del sistema de climatización del Hospital Universitario Dr. Gustavo Aldereguía Lima. A continuación, se muestra la tabla 7.

AMFE						
AREA	Climatizacion	SISTEMA	Sistema de Aire Acondicionado	FECHA	HOJA	
SUB-SISTEMA	Succión		Equipo	Bomba Centrífuga #1		CODIGO
VENTILACION						
1. Correa	Transmitir la energia cinetica entre las poleas del motor y el ventilador	A No transmite energía	1 Rotura de la correa	Falla total de la máquina,porque no transmite energía		
			2 Desgaste de la correa	No genera la suficiente energía y por lo tanto no es totalmente eficiente		
			3 Mal Ajuste de la correa	No produce giro		
			B No genera la energía necesaria	1 Selección incorrecta de la correa	No produce giro ni transmite energía	
				2 Desacople de la correa	No produce giro ni transmite energía	
2. Polea	Es un elemento que sirve para transmitir una fuerza giratoria en fuerza torcional	A No transmite fuerza	1 Rotura de la polea	Falla total de la máquina,porque no transmite fuerza		
			2 Desgaste de la polea	No genera la suficiente fuerza ni es posible transmitir la energía de la correa		
		B No genera la fuerza necesaria	1 Desacople de la polea	No genera giro ni transmite la fuerza		
3. Motor eléctrico	Transformar energía eléctrica en energía mecánica a una velocidad determinada	A Motor no gira	1 Fatiga de rodamientos	Desalineamiento del eje y bloqueo de la máquina		
			2 Corto circuito	Disparo de protecciones eléctricas magnéticas		
			3 Rozamiento en los rodamientos	Los rodamietos se pegan por falta de lubricantes		
4. Eje	Transmite el movimiento que imparte la flecha del motor a los elementos que giran	A No transmite el movimiento	1 Desalineamiento del eje	Puede generar mal funcionamiento en los componentes		
			2 Desajuste de medidas	Puede generar juego en las piezas y por ende desacople		
			3 Perdida de tolerancias	Sus componentes no se ajustan correctamente en los empalmes y posiciones adecuadas		

Tabla 7. AMFE

2.3 Hoja de información del RCM

La hoja de información del RCM es el primer documento que se utiliza en la aplicación del RCM, en este se registran los puntos anteriores mencionados en el AMFE (Funciones, falla funcional, modos de fallo y efectos de falla). Este documento nos genera la información que se necesita para realizar el análisis y el diseño del plan de mantenimiento.

Una vez que se tienen los componentes y los equipos que componen el sistema de climatización, se llenan las columnas correspondientes a tipo y equipo. Una vez registrada esta información se procedió a investigar las características y especificaciones técnicas de cada equipo con el objetivo de saber su función y la consecuencia de su indisponibilidad.

Al llenar la hoja de información del RCM se le da respuesta a las primeras cuatro preguntas del proceso del RCM:

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros del funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?

A continuación, se muestra la Tabla 8 conteniendo la información del RCM.

HOJA DE INFORMACION DEL RCM PARA EL SISTEMA DE AIFRE ACONDICIONADO DEL HOSPITAL GUSTAVO ALDEREGUIA LI (HGAL)										
CLIENTE: HGAL		DEPARTAMENTO:OPERACIÓN Y MANTENIIENTO				REALIZADO POR:GABRIEL NIEBLAS GONZALEZ			FECHA	
EQUIPO	No	FUNCION	COMP.	NIVEL IMP.	FALLA FUNCIONAL	No.	MODO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA	CONSECUENCIA DE INDISPONIBILIDAD	
UMA 1	3.	Equipo de aire acond. Con el cual es posible tratar el aire que normalmen se te aporta a los edifici os a traves de una red de conduc tos de vent.	VENTILACION							Se pierde la capacidad de enfriar o calentar el aire y la de proveer un caudal de aire acondic. para ser distribuido uniformemente en un espacio determinado, dificultando las operaciones en el circuito y aumentando el tiempo que los usuarios se ven afectados debido a fallas o actividades de mantenimiento programado
			1.Correa	A	No transmite energía		1.	Rotura de la correa	Falla total de la máquina, porque no transmite energía	
						2.	Desgaste de la correa	No genera la suficiente energía y por lo tanto no es eficiente		
						3.	Mal ajuste de la correa	No produce giro		
						1.	Selección incorrecta de la correa	No produce giro ni transmite energía		
						2.	Desacople de la correa	No produce giro ni transmite energía		
			2.Polea	A	No transmite fuerza		1.	Rotura de la polea	Falla total de la máquina porque no transmite fuerza	
						2.	Desgaste de la polea	No genera la suficiente fuerza ni es posible transmitir la energia de la correa		
						1.	Desacople de correa	No genera giro ni transmite la fuerza		
			3.Motor eléctrico	A	Motor no gira		1.	Fatiga de rodamiento	Desalineamiento del eje y bloqueo de la máquina	
						2.	Corto cicuito	Disparo de protecciones eléctricas magnéticas		
						3.	Rozamiento en los rodamientos	Los rodamientos se pegan por falta de lubricante		
			4.Eje	A	No transmite el movimiento		1.	Desalineamiento del eje	Puede generar mal funcionamiento en los componentes	
						2.	Desajuste de medidas	Puede generar juego en las piezas y por ende desacople		
						3.	Pérdida de tolerancias	Sus componentes no se ajustan correctamente en los empalmes y posiciones adecuadas		

Tabla 8. Hoja de información del RCM

2.4 Número de prioridad de riesgo (NPR)

Luego de llenar por completo la hoja de información del RCM, es necesario determinar con que prioridad debe atacarse cada uno de los fallos, y así poder definir qué tipo de mantenimiento y la frecuencia del mismo, esto lo podemos hacer mediante el número de prioridad de riesgo (NPR). Este método nos permite identificar los componentes con mayor nivel de importancia o con mayor riesgo y así nos facilita conseguir mayores mejoras, para obtener el NPR es necesario clasificar y asignarle valores, estos son:

2.4.1 Índice de Gravedad

Evalúa la gravedad del efecto o consecuencia de que se produzca un determinado fallo para el cierre. La evaluación se realizará en una escala del 1 al 10 de acuerdo al criterio del cliente en función de la mayor a la menor satisfacción por la degradación y pérdida de prestaciones del equipo.

2.4.2 Índice de Aparición

Evalúa la probabilidad de que se produzca el modo de fallo por cada una de las causas potenciales en una escala del 1 al 10 de acuerdo a una frecuencia de ocurrencia. Para su evaluación, se tendrá en cuenta todos los controles actuales utilizados para prevenir que se produzca la causa potencial del fallo.

2.4.3 Índice de detección

Evalúa por cada causa, la probabilidad de detectar dicha causa y el modo de fallo resultante antes de llegar al cliente en una escala del 1 al 10 de acuerdo a una historial de detección. Para determinar el índice de detección se supondrá una causa de falla de lo ocurrido y se evaluará la capacidad de los controles actuales para detectar la misma o el modo de fallo resultante.

El número de prioridad de riesgo (NPR) estará definido por la multiplicación de los tres índices anteriormente definidos:

$$G * A * D = NPR$$

Con esto, se le da respuesta a la pregunta número cinco del proceso del RCM:

5. ¿En qué sentido es importante cada falla?

A continuación, se muestra parte de la información recopilada para el cálculo del NPR (*Tabla 9*) para un mejor entendimiento de lo explicado anteriormente.

NUMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO									
CLIENTE:HGAL			DEPARTAMENTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO			REALIZADO POR:GABRIEL NIEBLAS GONZALEZ			FECHA
EQUIPO	FALLA FUNCIONAL		No	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA	G	A	D	NPR
UMA 1	A	No transmite energía	1.	Rotura de la correa	Falla total de la máquina, porque no transmite energía	3	4	4	48
			2.	Desgaste de la correa	No genera la suficiente energía y por lo tanto no es eficiente	2	4	7	56
			3.	Mal ajuste de la correa	No produce giro	2	4	7	56
	B	No genera la energía necesaria	1.	Selección incorrecta de la correa	No produce giro ni transmite energía	1	4	4	16
			2.	Desacople de la correa	No produce giro ni transmite energía	1	4	7	28
	A	No transmite fuerza	1.	Rotura de la polea	Falla total de la máquina porque no transmite fuerza	3	4	4	48
			2.	Desgaste de la polea	No genera la suficiente fuerza ni es posible transmitir la energía de la correa	2	4	4	32
	B	No genera la fuerza necesaria	1.	Desacople de correa	No genera giro ni transmite la fuerza	2	4	4	32
	A	Motor no gira	1.	Fatiga de rodamiento	Desalineamiento del eje y bloqueo de la máquina	2	4	4	32
			2.	Corto circuito	Disparo de protecciones eléctricas magnéticas	7	4	4	112
			3.	Rozamiento en los rodamientos	Los rodamientos se pegan por falta de lubricante	2	4	4	32
	A	No transmite el movimiento	1.	Desalineamiento del eje	Puede generar mal funcionamiento en los componentes	1	4	7	28
			2.	Desajuste de medidas	Puede generar juego en las piezas y por ende desacople	1	4	7	28
			3.	Pérdida de tolerancias	Sus componentes no se ajustan correctamente en los empalmes y posiciones adecuadas	1	4	7	28

Tabla 9. Número de prioridad de riesgo (NPR)

Después de establecer el número de prioridad de riesgo para cada uno de los efectos de falla de los componentes de los equipo del sistema de climatización del HGAL, se pudo observar que el componente que más riesgo presenta son los motores eléctricos y así mismo los demás componentes eléctricos que se encuentran en los equipos, ya que estos pueden llegar a causar una lesión grave en los operarios con un NPR de 112.

CAPITULO 3. PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE CLIMATIZACION DEL HGAL

3.1 Funciones primarias y secundarias de los equipos

3.1.1 Unidad manejadora de aire (UMA)

Es un equipo de aire acondicionado con el cual es posible tratar el aire que normalmente se aporta a los edificios a través de una red de conductos de ventilación. La precisión con la que se trata el aire dependerá en gran medida de las especificaciones de cada proyecto (oficinas, piscinas, cubiertas, laboratorios, fábricas de procesos industriales, entre otros).

3.1.1.1 Funciones primarias

- Proveer un caudal de aire acondicionado para ser distribuido uniformemente en un espacio determinado.
- Controlar la temperatura de la sustancia.
- Regular la humedad relativa del aire a la indicada de acuerdo a las especificaciones del área.

3.1.1.2 Funciones secundarias

- Efectuar un filtro adecuado de la sustancia.
- Enfriar de ser necesario el aire.
- Calentar de ser necesario el aire.
- Limpieza y renovación del aire.

3.1.1.3 Componentes

- Filtro: Retiene la entrada de impurezas y partículas sólidas que pueden ingresar al circuito.
- Serpentin de enfriamiento: Proporcionan un medio adecuado para disipar el calor de un sistema.
- Serpentin de recalentamiento: Facilita el medio para elevar la temperatura de determinada sustancia eficazmente.

- Humificador: Por medio de este dispositivo es posible aumentar la humedad de un compartimiento.
- Difusor de aire: Su objetivo es distribuir de manera más homogénea una corriente de aire a un espacio cerrado.
- Ventilador: Al producir una diferencia de presiones por el movimiento de la hélice genera una corriente de aire.

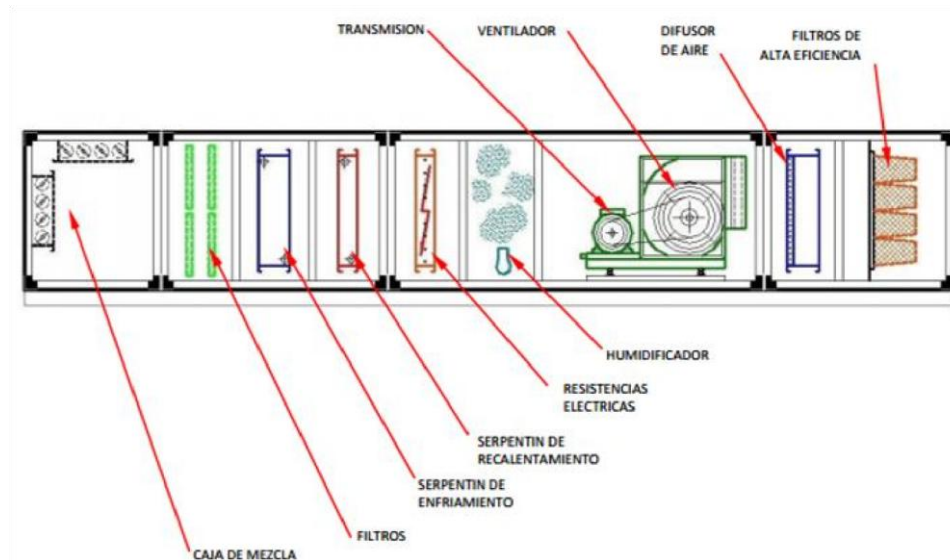


Figura 10. Componentes de una unidad manejadora de aire.

3.1.2 Chiller

Es un sistema capaz de enfriar aire o agua del interior de un espacio, aunque también puede calentar la sustancia en modo bomba de calor. Estas unidades enfriadoras de líquido, se convierten en sistemas que permiten acondicionar grandes instalaciones como edificios comerciales, hospitales, universidades, hoteles, instalaciones gubernamentales, laboratorios, etc. Adicionalmente, tienen la ventaja de llevar esta sustancia refrigerada a las manejadoras a grandes distancias mediante el bombeo adecuado.

3.1.2.1 Funciones primarias

- Mantener la sustancia refrigerada cuando está en proceso de enfriamiento.
- Mantener el líquido caliente cuando este se encuentre en modo bomba de calor.

3.1.2.2 Funciones secundarias

- Bombear el agua enfriada a las serpentinas en áreas especificadas.
- Abrir y cerrar el flujo de agua a través de áreas especificadas manteniendo el aire en los cuartos a la temperatura deseada.

4.1.2.3 Componentes

- Compresor: Hace circular al refrigerante a través del chiller.
- Condensador: Es un intercambiador de calor, que disipa el calor contenido en el refrigerante y lo transfiere bien sea al agua o al aire.
- Válvula termostática: Controla el suministro adecuado del líquido refrigerante al evaporador.
- Sistema de expansión: Al entrar el refrigerante al depósito de expansión se reduce su presión y así mismo se reduce la temperatura del sistema.
- Evaporador o fan-coil: También llamado vectiloconvector, es un dispositivo que cuenta con una batería de intercambio térmico por donde pasa aire o agua. Al igual que el condensador, el evaporador es un intercambiador que absorbe calor.

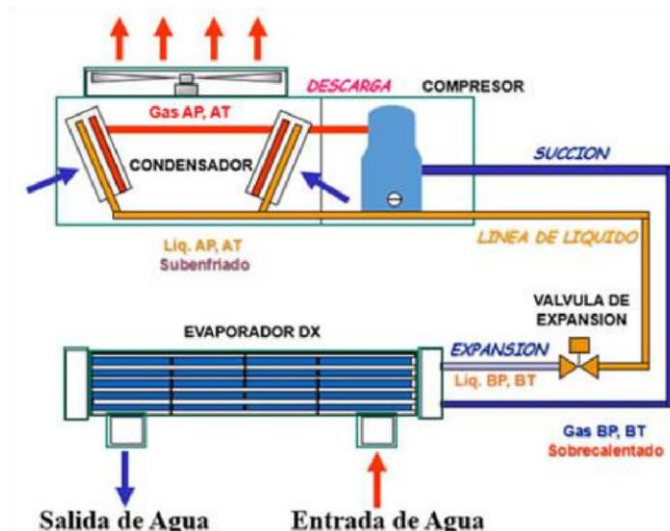


Figura 11. Funcionamiento de un chiller

3.1.3 Bomba centrífuga

Las bombas centrífugas transforman la energía mecánica de un impulsor, consiste en un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una carcasa; estas paletas, imparten energía al fluido por la fuerza de esta misma acción. Es aquella máquina que incrementa la energía de velocidad del fluido mediante un elemento rotante, aprovechando la acción de la fuerza centrífuga y transformándola a energía potencial a consecuencia del cambio de sección transversal por donde circula el fluido en la parte estática, la cual tiene forma de difusor. Su característica principal es convertir la energía de una fuente de movimiento (motor) primero en velocidad y después en energía de presión.

3.1.3.1 Funciones primarias

- Convertir la energía cinética producida en energía de presión.
- Incrementar la energía de velocidad del fluido mediante un elemento rotante.
- Bombear agua limpia, sin sólidos abrasivos.

3.1.3.2 Funciones secundarias

- Mantener el caudal del líquido constante y elevado.
- Transportar líquidos que contengan sólidos en suspensión, pero poco viscosos.

3.1.3.3 Componentes

- Carcasa: Es la parte exterior protectora de la bomba y cumple la función de convertir la energía de velocidad impartida al líquido por el impulsor en energía de presión.
- Voluta: Por su geometría, aumenta la presión del líquido al aumentar su velocidad por medio de la fuerza centrífuga.
- Impulsor: Es el corazón de la bomba. Recibe el líquido y le imparte una velocidad de la cual depende la carga producida por la bomba.

- Anillos de desgaste: Cumplen la función de ser un elemento fácil y barato de remover en aquellas partes en donde debido a las cerradas holguras entre el impulsor y la carcasa.
- Empaques y sellos: la función de estos elementos es evitar el flujo hacia fuera del líquido bombeado a través del orificio por donde pasa la flecha de la bomba y el flujo de aire hacia el interior de la bomba.
- Eje: Es el eje de todos los elementos que giran en la bomba, transmitiendo además el movimiento que imparte la flecha del motor.
- Cojinetes: Sirven de soporte a la flecha de todo el rotor en un alineamiento correcto en relación con las partes estacionarias. Soportan las cargas radiales y axiales existentes en la bomba.
- Bases: Sirven de soporte a la bomba, sosteniendo el peso de toda ella.

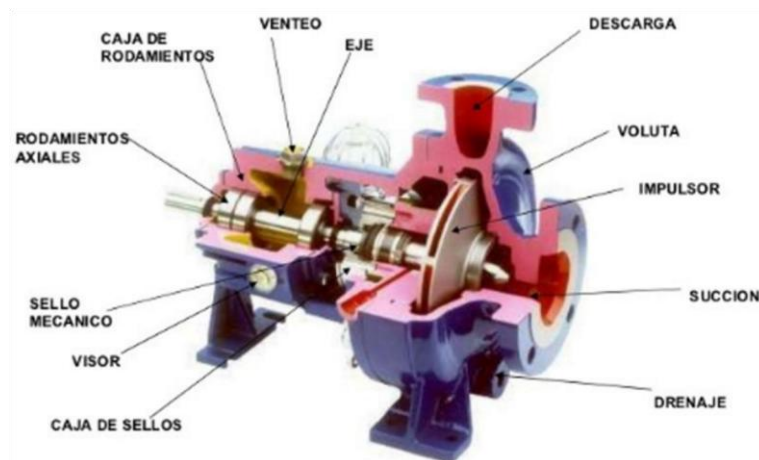


Figura 12. Partes de una bomba centrífuga.

3.1.4 Ventilador

Los ventiladores industriales son usados a menudo para transportar aire y gases. Están diseñados para trabajar a condiciones de trabajo severas como temperaturas y presiones altas. Pueden ser de tipo axial o centrífugo.

Los ventiladores de tipo axial se denominan así debido a que el aire o gas fluye paralelo al eje de rotación, mientras que los ventiladores centrífugos se caracterizan porque el

flujo de aire o gas que se manejan se mueve en dirección perpendicular al eje de rotación.

3.1.4.1 Funciones primarias

- Transferir potencia a un fluido con un determinado rendimiento.

3.1.4.2 Funciones secundarias

- Aumentar la circulación de aire en un espacio determinado.

3.1.4.3 Componentes

- Turbina: Transforma la energía del motor en energía cinética del gas que maneja.
- Carcasa: Se aloja la turbina y permite junto con esta la conversión de energía de motor a energía de movimiento del gas.
- Eje: Transmite el movimiento del motor que conecta la turbina por medio de mecanismos como poleas o bandas.
- Rodamientos: Permite la rotación del eje y turbina con una pérdida de fricción mínima.
- Base: Están apoyados todos los elementos que hacen parte del ventilador.
- Motor: Por medio del cual se suministra la energía suficiente para mover el gas.

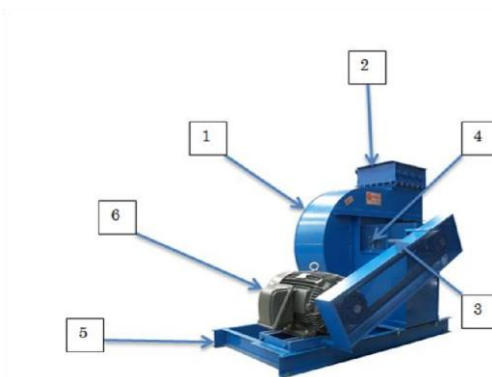


Figura 13. Partes de un ventilador industrial.

3.2 Planes de mantenimiento

Los planes de mantenimiento están basados en tareas proactivas, los cuales en su mayoría serán realizados por el técnico de mantenimiento del Hospital Universitario Dr. Gustavo Aldereguía Lima, quien es una persona idónea para desarrollarlos y está en la capacidad de tomar decisiones pertinentes en cuanto a dichos mantenimientos. Los demás mantenimientos serán ejecutados por empresas especializadas, cabe aclarar que estos mantenimientos externos son ejecutados por personal competente que dada su experiencia garantizan un amplio respaldo de estas actividades.

La estructura de estos mantenimientos estará compuesta por el personal responsable de la tarea, cómo debe éste ejecutar la acción y con cuanta frecuencia.

3.2.1 Plan de mantenimiento Preventivo

	PROCEDIMIENTO PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:

1. Objetivo

Encontrar y corregir los problemas menores antes de que estos provoquen fallas. El mantenimiento preventivo puede ser definido como una lista completa de actividades, todas ellas realizadas por; usuarios, operadores, y mantenimiento. Para asegurar el correcto funcionamiento de la planta, edificios. Máquinas, equipos, vehículos, etc.

2. Alcance

Este procedimiento inicia a partir de la necesidad de prevenir los fallos que pueden presentarse en los diferentes equipos y así diseñar y proponer un plan de

mantenimiento preventivo que es validado y aprobado por el coordinador o ingeniero encargado y termina con su ejecución y seguimiento.

3. Definiciones

MANTENIMIENTO: Conjunto de actividades que deben realizarse a instalaciones y equipos, con el fin de prevenir o corregir fallas, buscando que estos continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados.

FALLO: Interrupción parcial o total del funcionamiento de una máquina o sistema.

VERIFICAR: Probar la veracidad o exactitud de una cosa.

CAMBIAR: Modificar o reemplazar una cosa por otra.

PLAN DE MANTENIMIENTO: Conjunto de tareas de mantenimiento programadas siguiendo algún tipo de criterio

4. Generalidades

El plan de mantenimiento preventivo realizado que está dirigido hacia los equipos del sistema de climatización, debe llevar el adecuado seguimiento y cumplimiento de las fechas y parámetros.

	PROCEDIMIENTO PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BOMBA CENTRÍFUGA	CODIGO
		EQUIPO:BOMBA
		CENTRIFUGA
		PAGINAS:1/1
DESCRIPCION DE ACTIVIDADES		
RESPONSABLE	DIAGRAMA DE FLUJO	DESCRIPCION
	INICIO ↓ 1.Motor Eléctrico ↓ 2.Base ↓ 3.Sello Mecánico ↓ 4.Eje ↓ 5.Impulsor ↓ 6.Rodamiento ↓ 7.Empaquetadora ↓ 8.Pintura FIN	1. Verificar el nivel de vibraciones y amperaje, también verificar estado de conexiones eléctricas, mensualmente. 2.Verificar estado de pernos,de ser necesario reajustar si están sueltos o cambiar si presentan corrosión. 3.Verificar estado y función del sello, de presentarse fugas o cualquier otra alteración en el proceso cambiar el sello. 4.Verificar medidas establecidas para el eje, ajustes y tolerancias requeridas para el buen funcionamiento,de lo contrario rectificar el eje,anualmente. 5.Verificar estado de impulsor,que este libre de polvo,suciedad y otras impurezas,de lo contrario limpiar con agua a chorro y cepillo anualmente 6.Lubricar y verificar estado de rodamiento que no estén atascado ni presenten agrietamientos.En caso de presentar desgaste cambiarlo 7.Verificar estado de empaquetadora,en caso de presentar alto desgaste cambiarlas,anualmente 8.Verificar estado superficial e la máquina,de presentar desgaste limpiar y aplicar pintura general,anualmente
Técnico de Mantenimiento		
Técnico de Mantenimiento		
Técnico de Mantenimiento		
Técnico de Mantenimiento		
Técnico de Mantenimiento		
Técnico de Mantenimiento		
Técnico de Mantenimiento		

Tabla 10: Preventivo bomba centrífuga.

	PROCEDIMIENTO PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UMA	CODIGO
		EQUIPO:UMA
		PAGINAS:1/3
DESCRIPCION DE ACTIVIDADES		
RESPONSABLE	DIAGRAMA DE FLUJO	DESCRIPCION
	INICIO ↓ 1.Correa ↓ 2.Polea ↓ 3.Motor Eléctrico ↓ 4.Eje ↓ 5.Rodamientos ↓ 6.Válvula de expansión ↓ 7.Espiral ↓ 8.Calentador	1. Desconectar el sistema eléctrico,evaluar el estado de la correa,cambiar si es necesario, alinear y ajustar la tension de la correa,semestral 2.Desconectar el sistema eléctrico,verificar condiciones de ajustes y estado de poleas,anual 3.Verificar el nivel de vibraciones y amperaje también verificar estado de conexiones eléctricas,mensualmente 4.Verificar medidas establecidas para el eje, ajustes y tolerancias requeridas para el buen func., de lo contrario rectificar el eje anualmente 5.Lubricar y verificar estado de rodamientos, que no estén atascados ni presenten agrietamientos,en caso de presentar desgaste 6.Verificación y calibración de cada uno de los componentes(manija,eje,cuerpos,asientos,etc) Verificación de sellos,fugas y caídas de presión, semestralmente 7.Verificar fugas de aire y estados de espirales que no presenten roturas,semestralmente. 8.Verificar roturas en las resistencias y sobrepresiones,semestralmente.
Técnico de Mantenimiento		
Técnico de Mantenimiento		
Técnico de Mantenimiento		
Técnico de Mantenimiento		
Técnico de Mantenimiento		
Técnico de Mantenimiento		
Técnico de Mantenimiento		

Tabla 11. Preventivo UMA 1

	PROCEDIMIENTO PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UMA		CODIGO
			EQUIPO:UMA
			PAGINAS:2/3
DESCRIPCION DE ACTIVIDADES			
RESPONSABLE	DIAGRAMA DE FLUJO	DESCRIPCION	
Técnico de Mantenimiento	2 9.Switch ↓	9.Verificar estado de switch y botones para que se activen ante cualquier eventualidad o emergencia,semestralmente.	
Técnico de Mantenimiento	10.Cilindro ↓	10.Verificar que no tenga rotura o desgaste que pueda producir fugas,anualmente	
Técnico de Mantenimiento	11.Sensor ↓	11.Verificar que no tenga algun daño físico que no permita registrar los cambios de nivel semestralmente	
Técnico de Mantenimiento	12.Mangueras ↓	12.Verificar roturas o desgastes que puedan producir fugas,semestralmente	
Técnico de Mantenimiento	13.Tanques ↓	13.Verificar que no tenga rotura o desgaste que pueda producir fugas de fluido,anualmente	
Técnico de Mantenimiento	14.Tuberías ↓	14.Verificar que no tenga rotura o desgaste que pueda producir fugas del fluido semestralmente	
Técnico de Mantenimiento	15.Cambio de filtros ↓	15.Se procede a apagar la máquina,se retiran los filtros que presenten desgaste o esten en mal estado con ayuda de unas tijeras y usando los elementos de protección personal (guantes,tapabocas,gafas) y se procede a instalar los filtros nuevos,trimestralmente	
Técnico de Mantenimiento	16.Disipador	16.Verificar que no tenga roturas o corrosión que produzca un aumento de temperatura, semestralmente.	

Tabla 12. Preventivo UMA 2

	PROCEDIMIENTO PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UMA	CODIGO
		EQUIPO:UMA
		PAGINAS:3/3
DESCRIPCION DE ACTIVIDADES		
RESPONSABLE	DIAGRAMA DE FLUJO	DESCRIPCION
Técnico de Mantenimiento	3 17.Ventilador	17.Verificar estado de rodamientos.En caso de presentar desgaste,cambiarlos,verificar el nivel de vibraciones,amperaje y posible corto circuito en el motor,mensualmente.
Técnico de Mantenimiento	18.Condensador	18.Verificar circuitos eléctricos que causen la posible quema del condensador,anualmente.
Técnico de Mantenimiento	19.Panel Eléctrico	19.Revisar que los componentes que lo conforman no presentan deterioro,ni presentan ningún daño eléctrico,semestralmente.
Técnico de Mantenimiento	20.Ajustar pernos	20.Se procede a apagar la máquina y con ayuda de una llave se ajustan y aprietan los pernos que esten sueltos o flojos,anualmente.
Técnico de Mantenimiento	21.Limpieza de carcasa	21.Se procede a apagar la máquina y desconectar las conexiones eléctricas,para así proceder a limpiar la carcasa con ayuda de agua,jabón y esponja o cepillo,utilizando los elementos de protección personal,anualmente.
Técnico de Mantenimiento	22.Limpieza drenaje	22.Se procede a apagar la máquina,luego desconectar el drenaje,lavar la bandeja de condensado y soplar la tubería para eliminar cualquier elemento obstruyente.
Técnico de Mantenimiento	FIN	

Tabla 13. Preventivo de UMA 3

	PROCEDIMIENTO PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE VENTILADOR	CODIGO
		EQUIPO:VENTILADOR
		PAGINAS 1/2
DESCRIPCION DE ACTIVIDADES		
RESPONSABLE	DIAGRAMA DE FLUJO	DESCRIPCION
	INICIO ↓ 1.Motor Eléctrico ↓ 2.Eje ↓ 3.Rodamientos ↓ 4.Alabes ↓ 5.Válvula de expansión ↓ 6.Cojinete	1.Verificar el nivel de vibraciones y amperaje, también verificar estado de conexiones eléctricas mensualmente 2.Verificar medidas establecidas para el eje,ajustes y tolerancias requeridas para el buen funcionamiento,de lo contrario rectificar el eje, anualmente 3.Lubricar y verificar estado de rodamientos,que no estén atascados ni presenten agrietamientos. En caso de presentar desgaste cambiarlos, anualmente 4.Verificar desgaste o corrosión que cause que el ventilador se suelte y no permita generar la corriente de aire,esto debe realizarse semestralmente 5.Verificación y calibración de cada uno de los componentes(manija,eje,cuerpo,asiento,etc) Verificación de sellos,fugas y caídas de presión semestralmente 6.Verificación,estado físico,desagaste o rotura de los cojinetes que no permita la correcta alineación y produzca la reducción de velocidad,anualmente
Técnico de Mantenimiento		
Técnico de Mantenimiento		
Técnico de Mantenimiento		
Técnico de Mantenimiento		
Técnico de Mantenimiento		
Técnico de Mantenimiento		

Tabla 14. Preventivo de ventilador 1

	PROCEDIMIENTO PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE VENTILADOR	CODIGO
		EQUIPO:VENTILADOR
		PAGINAS 2/2
DESCRIPCION DE ACTIVIDADES		
RESPONSABLE	DIAGRAMA DE FLUJO	DESCRIPCION
Técnico de Mantenimiento	2 7.Panel Eléctrico ↓	7.Revisar que los componentes que lo conforman no presenten deterioro,ni presenten ningún daño eléctrico,semestralmente.
Técnico de Mantenimiento	8.Tuberías ↓	8.Verificar que no tenga rotura o desgaste que pueda producir fugas del fluido, semestralmente
Técnico de Mantenimiento	9.Ajustar pernos ↓	9.Se procede a apagar la máquina y con ayuda de una llave se ajustan y aprietan los pernos que estén sueltos o flojos,anualmente
Técnico de Mantenimiento	10.Limpieza de carcasa ↓ FIN	10.Se procede a apagar la máquina y desconectar las conexiones eléctricas,para así proceder a limpiar la carcasa con ayuda de agua,jabón y esponja o cepillo,utilizando los elementos de protección personal,anualmente.

Tabla 15. Preventivo ventilador 2

	PROCEDIMIENTO PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE CHILLER		CODIGO
			EQUIPO:CHILLER
			PAGINAS 1/3
DESCRIPCION DE ACTIVIDADES			
RESPONSABLE	DIAGRAMA DE FLUJO	DESCRIPCION	
Empresa Subcontratada	INICIO ↓	1.Verificar el nivel de vibraciones y amperaje también verificar estado de conexiones eléctricas, mensualmente	
	1.Motorl Eléctrico	↓	2.Verificación y calibración de cada uno de los componentes(manija,eje,cuerpos,asientos,etc) Verificación de sellos,fugas y caídas de presión, semestralmente
	2.Válvula de expansión	↓	3.Se procede a apagar la máquina,se retiran los filtros que presenten desgaste o estén en mal estado con ayuda de unas tijeras y usando los elementos de protección personall(guantes, tapabocas y gafas) y se procede a instalar los filtros nuevos, trimestralmente
	3.Cambio de filtro de gas y aceite	↓	4.Verificar vibraciones,estado físico y funcionamiento del silenciador,en caso de que esté fallando o generando ruido excesivo, cambiarlo, semestralmente
	4.Silenciador	↓	5.Verificar estado físico de la caja,que no presente roturas,desgaste o corrosión ya que esta contiene las conexiones eléctricas y podría causar un fallo en la máquina,semestralmente.
	5.Caja Bornes	↓	6.Verificar desgastes o corrosión que cause que el ventilador se suelte y no permita generar la corriente de aire,semestralmente.
Empresa Subcontratada	6. Alabes de ventilador		

Tabla 16. Preventivo de chiller 1

	PROCEDIMIENTO PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE CHILLER	CODIGO
		EQUIPO:CHILLER
		PAGINAS 2/3
DESCRIPCION DE ACTIVIDADES		
RESPONSABLE	DIAGRAMA DE FLUJO	DESCRIPCION
Empresa Subcontratada	2 7.Rodamientos ↓	7.Lubricar y verificar estado de rodamientos que no estén atascados ni presenten agrietamientos, en caso de presentar desgaste, cambiarlos, anualmente.
Empresa Subcontratada	8.Cojinete ↓	8.Verificar estado físico, desgaste o rotura de los cojinetes que no permita la correcta alineación y produzca la reducción de velocidad, anualmente.
Empresa Subcontratada	9.Collarín ↓	9.Verificar rotura o desgaste del collarín que no permita fijar las tuberías del serpentín, semestralmente.
Empresa Subcontratada	10.Bomba ↓	10.Verificar posibles daños físicos de la bomba que haga que no cargue el evaporador y por ende no bombee, semestralmente.
Empresa Subcontratada	11.Separador de aceite ↓	11.Verificar daños físicos del separador que produzcan contaminación del gas con aceite y por lo tanto no se separe el aceite, semestralmente
Empresa Subcontratada	12. Mirilla con indicador de unidad ↓	12.Verificar deterioro físico de la mirilla que cause que no registre ni indique la humedad que se presenta en el proceso y por ende no se lleve el registro que se pueda necesitar, semestralmente

Tabla 17. Preventivo de chiller 2

	PROCEDIMIENTO PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE CHILLER		CODIGO
			EQUIPO:CHILLER
			PAGINAS 3/3
DESCRIPCION DE ACTIVIDADES			
RESPONSABLE	DIAGRAMA DE FLUJO	DESCRIPCION	
Empresa Subcontratada	3 13.Cabezales 14.tanque 15.Panel Eléctrico 16.Tuberías 17.Ajustar Pernos 18.Limpieza de carcasa FIN	13.Verificar corrosión o rotura que cause fuga en el evaporador y pérdidas de presión, semestralmente	
Empresa Subcontratada		14.Verificar que no tenga rotura o desgaste que pueda producir fuga de fluidos, anualmente.	
Empresa Subcontratada		15.Revisar que los componentes que lo conforman no presenten deterioro,ni ningún daño eléctrico,semestralmente	
Empresa Subcontratada		16.verificar que no tenga rotura o desgaste que pueda producir fugas del fluido,semestralmente	
Empresa Subcontratada		17.Se procede a apagar la máquina y con ayuda de una llave se ajustan y se aprietan los pernos que estén sueltos o flojos,anualmente.	
Empresa Subcontratada		18.Se procede a apagar la máquina y desconectar las conexiones eléctricas,para así proceder a limpiar la carcasa,anualmente.	

Tabla 18. Preventivo de chiller 3

3.2.2 Plan de mantenimiento Correctivo

1. Objetivo

Corregir las averías o fallas, cuando éstas se presentan. El mantenimiento correctivo puede ser definido como la habitual reparación tras una avería que obligó a detener la instalación o máquina afectada por el fallo. Para asegurar el correcto funcionamiento de la planta, edificios. Máquinas, equipos, vehículos, etc.

2. Alcance

Este procedimiento inicia a partir de la necesidad de corregir los fallos que se presentan en los diferentes equipos y así diseñar y proponer un plan de mantenimiento correctivo que es validado y aprobado por el coordinador o ingeniero encargado y termina con su ejecución y seguimiento.

3. Definiciones

MANTENIMIENTO: Conjunto de actividades que deben realizarse a instalaciones y equipos, con el fin de prevenir o corregir fallas, buscando que estos continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados.

FALLO: Interrupción parcial o total del funcionamiento de una maquina o sistema.

VERIFICAR: Probar la veracidad o exactitud de una cosa

CAMBIAR: Modificar o reemplazar una cosa por otra.

PLAN DE MANTENIMIENTO: Conjunto de tareas de mantenimiento programadas siguiendo algún tipo de criterio

4. Generalidades

El plan de mantenimiento preventivo realizado que está dirigido hacia los equipos del sistema de climatización, debe llevar el adecuado seguimiento y cumplimiento de las fechas y parámetros

	PROCEDIMIENTO PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO BOMBA CENTRIFUGA	CODIGO
		EQUIPO:BOMBA
		CENTRIFUGA
		PAGINAS:1/1
DESCRIPCION DE ACTIVIDADES		
RESPONSABLE	DIAGRAMA DE FLUJO	DESCRIPCION
	INICIO ↓ 1.Motor Eléctrico ↓ 2.Base ↓ 3.Sello Mecánico ↓ 4.Eje ↓ 5.Impulsor ↓ 6.Rodamiento ↓ 7.Empaquetadora ↓ 8.Pintura ↓ FIN	1. Cambiar cualquier componente del motor cuando falle,(operar hasta que falle) 2.Cambiar pernos de ser necesario (mantenerlos hasta que fallen) 3.Cambiar sello cuando falle (operar hasta que falle) 4.Cambiar eje cuando falle (operar hasta que falle) 5.Cambiar impulsor cuando falle (operar hasta que falle) 6.Cambiar rodamientos cuando fallen (operar hasta que fallen) 7.Cambiar empaquetadoras cuando fallen (operar hasta que falle) 8.Cambiar pintura cuando se caiga o se pele la superficie
Técnico de Mantenimiento		
Técnico de Mantenimiento		
Técnico de Mantenimiento		
Técnico de Mantenimiento		
Técnico de Mantenimiento		
Técnico de Mantenimiento		
Técnico de Mantenimiento		

Tabla 19. Correctivo de bomba centrifuga

		PROCEDIMIENTO PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE UMA		CODIGO
				EQUIPO:UMA
				PAGINAS 1/3
DESCRIPCION DE ACTIVIDADES				
RESPONSABLE	DIAGRAMA DE FLUJO		DESCRIPCION	
	INICIO ↓ 1.Correa ↓ 2.Polea ↓ 3.Motor Eléctrico ↓ 4.Eje ↓ 5.Rodamientos ↓ 6. Válvula de expansión ↓ 7.Espiral ↓ 8.Calentador			
Técnico de Mantenimiento			1.Cambiar correa cuando falle, (operar hasta que falle)	
Técnico de Mantenimiento			2.Cambiar polea cuando falle (operar hasta que falle).	
Técnico de Mantenimiento			3.Cambiar cualquier componente del motor cuando falle (operar hasta que falle)	
Técnico de Mantenimiento			4.Cambiar eje cuando falle (Operar hasta que falle)	
Técnico de Mantenimiento			5.Cambiar rodamientos cuando falle (Operar hasta que falle)	
Técnico de Mantenimiento			6.Cambiar cualquier componente de la válvula cuando falle (operar hasta que falle).	
Técnico de Mantenimiento			7.Cambiar espiral cuando falle (Operar hasta que falle)	
			8.Cambiar calentador o cualquier componente del mismo cuando falle (Operar hasta que falle)	

Tabla 20. Correctivo de UMA 1

	PROCEDIMIENTO PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE UMA		CODIGO
			EQUIPO:UMA
			PAGINAS 2/3
DESCRIPCION DE ACTIVIDADES			
RESPONSABLE	DIAGRAMA DE FLUJO	DESCRIPCION	
Técnico de Mantenimiento	9.Switch ↓	9.Cambiar switch cuando no funcione o el botón se parta o se pegue (Operar hasta que Falle)	
Técnico de Mantenimiento	10.Cilindro ↓	10.Cambiar cilindro cuando falle (operar hasta que falle).	
Técnico de Mantenimiento	11.Sensor ↓	11.Cambiar sensor cuando falle (operar hasta que falle)	
Técnico de Mantenimiento	12.Mangueras ↓	12.Cambiar mangueras cuando falle (Operar hasta que falle)	
Técnico de Mantenimiento	13.Tanque ↓	13.cambiar tanque cuando falle (Operar hasta que falle)	
Técnico de Mantenimiento	14.Tuberías ↓	14.Cambiar tuberñia cuando falle (Operar hasta que falle).	
Técnico de Mantenimiento	15.Cambio de Filtros ↓	15.Cambiar filtros cuando se taponen y obstruyan el flujo del fluido(operar hasta que falle)	
Técnico de Mantenimiento	16.Disipador	16.Cambiar disipador cuando falle (Operar hasta que falle)	

Tabla 21. Correctivo de UMA 2

	PROCEDIMIENTO PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE UMA	CODIGO
		EQUIPO:UMA
		PAGINAS 3/3
DESCRIPCION DE ACTIVIDADES		
RESPONSABLE	DIAGRAMA DE FLUJO	DESCRIPCION
Técnico de Mantenimiento	17.Ventilador ↓	17.Cambiar cualquier componente del ventilador cuando falle. (Operar hasta que Falle)
Técnico de Mantenimiento	18.Condensador ↓	18.Cambiar condensador cuando falle. (operar hasta que falle).
Técnico de Mantenimiento	19.Panel Eléctrico ↓	19.Cambiar cualquier componente del panel cuando falle (operar hasta que falle)
Técnico de Mantenimiento	20.Ajustar pernos ↓	20.Cambiar pernos cuando fallen (operar hasta que falle)
Técnico de Mantenimiento	21.Carcasa ↓	21.Cambiar carcasa cuando se rompa (usar hasta que falle)
Técnico de Mantenimiento	22.Pinturas ↓	22.Cambiar pintura cuando se caiga o se pele la superficie
	FIN	

Tabla 22. Correctivo de UMA 3

	PROCEDIMIENTO PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE CHILLER	CODIGO
		EQUIPO:CHILLER
		PAGINAS 1/3
DESCRIPCION DE ACTIVIDADES		
RESPONSABLE	DIAGRAMA DE FLUJO	DESCRIPCION
	INICIO ↓ 1.Motor Eléctrico ↓ 2.Válvula de expansión ↓ 3.Cambio de Filtro de gas y aceite ↓ 4.Silenciador ↓ 5.Caja de Bornes ↓ 6.Alabes de ventilador	1.Cambiar cualquier componente del motor cuando falle. (operar hasta que falle) 2.cambiar cualquier componente de la Válvula cuando falle. (operar hasta que falle) 3.Cambiar filtros cuando se taponen y obstruyan el flujo del fluido. (operar hasta que falle) 4.Cambiar silenciador cuando falle. (operar hasta que falle) 5.Cambiar caja cuando se rompa (usar hasta que falle) 6.Cambiar álabes cuando falle (operar hasta que falle)

Tabla 23. Correctivo de chiller 1

	PROCEDIMIENTO PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE CHILLER	CODIGO
		EQUIPO:CHILLER
		PAGINAS 2/3
DESCRIPCION DE ACTIVIDADES		
RESPONSABLE	DIAGRAMA DE FLUJO	DESCRIPCION
Empresa Subcontratada	7.Rodamientos ↓	7.Cambiar rodamientos cuando fallen (operar hasta que falle)
Empresa Subcontratada	8.Cojinetes ↓	8.cambiar cojinetes cuando fallen (operar hasta que falle)
Empresa Subcontratada	9.Collarín ↓	9.Cambiar Collarín cuando falle (operar hasta que falle)
Empresa Subcontratada	10.Bomba ↓	10.Cambiar cualquier componente de la bomba cuando falle. (operar hasta que falle)
Empresa Subcontratada	11.Separador de aceite ↓	11.Cambiar separador cuando falle. (operar hasta que falle)
Empresa Subcontratada	12.Mirilla con indicador de Humedad	12.Cambiar mirilla cuado falle y no indique la humedad. (operar hasta que falle)

Tabla 24. Correctivo de chiller 2

	PROCEDIMIENTO PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE CHILLER	CODIGO
		EQUIPO:CHILLER
		PAGINAS 3/3
DESCRIPCION DE ACTIVIDADES		
RESPONSABLE	DIAGRAMA DE FLUJO	DESCRIPCION
Empresa Subcontratada	13.Cabezales	7.Cambiar cabezales cuando fallen (operar hasta que falle)
Empresa Subcontratada	14.Tanques	8.cambiar tanque cuando fallen (operar hasta que falle)
Empresa Subcontratada	15.Panel Eléctrico	15.Cambiar cualquier componente del panel cuando falle (operar hasta que falle)
Empresa Subcontratada	16.Tuberías	16.Cambiar tubería cuando falle (operar hasta que falle)
Empresa Subcontratada	17.Ajustar Pernos	17.Cambiar pernos cuando fallen (operar hasta que falle)
Empresa Subcontratada	18.Carcasa	18.Cambiar carcasa cuando se rompa (usar hasta que falle)
	19.Pintura	19.Cambiar pintura cuando se caiga o se pele la superficie
	FIN	

Tabla 25. Correctivo de chiller 3

	PROCEDIMIENTO PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE VENTILADOR	CODIGO
		EQUIPO:VENTILADOR
		PAGINAS 1/2
DESCRIPCION DE ACTIVIDADES		
RESPONSABLE	DIAGRAMA DE FLUJO	DESCRIPCION
	INICIO ↓	1.Cambiar cualquier componente del motor cuando falle(operar hasta que falle)
Técnico de Mantenimiento	1.Motor Eléctrico	
	↓	
Técnico de Mantenimiento	2.Eje	2.Cambiar eje cuando falle (operar hasta que falle)
	↓	
Técnico de Mantenimiento	3.Rodamientos	3.Cambiar empaquetaduras cuando fallen (operar hasta que falle)
	↓	
Técnico de Mantenimiento	4.Alabes	4.Cambiar Alabes cuando fallen (operar hasta que falle)
	↓	
Técnico de Mantenimiento	5.Válvula de expansión	5.Cambiar cualquier componente de la válvula cuando falle (operar hasta que falle)
	↓	
Técnico de Mantenimiento	6.Cojinete	6.Cambiar cojinete cuando falle (operar hasta que falle)

Tabla 26. Correctivo de ventilador 1

	PROCEDIMIENTO PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE VENTILADOR	CODIGO
		EQUIPO:VENTILADOR
		PAGINAS 2/2
DESCRIPCION DE ACTIVIDADES		
RESPONSABLE	DIAGRAMA DE FLUJO	DESCRIPCION
Técnico de Mantenimiento	7.Panel Eléctrico	7.Cambiar cualquier componente del panel cuando falle(operar hasta que falle)
Técnico de Mantenimiento	8.Tuberías	8.Cambiar tubería cuando falle (operar hasta que falle)
Técnico de Mantenimiento	9.Ajustar pernos	9.Cambiar pernos cuando fallen (operar hasta que falle)
Técnico de Mantenimiento	10.Carcasa	10.Cambiar carcasa cuando se rompa (usar hasta que falle)
Técnico de Mantenimiento	11.Pintura	11.Cambiar pintura cuando se caiga o se pele la superficie
	FIN	

Tabla 26. Correctivo de ventilador 1

Conclusiones generales

- Las diferentes fases de la etapa de diagnóstico permitieron verificar las condiciones actuales en las que se encuentran los equipos que hacen parte del sistema de climatización del HGAL y de esta manera enfocar la propuesta de mantenimiento basada en confiabilidad.
- Mediante el análisis de las imágenes térmicas de cada equipo fue posible precisar en términos generales, que las bombas y los tableros eléctricos son los componentes que requieren verificación inmediata, considerando los gradientes de temperatura y la localización de puntos calientes, lo que indica posibles deficiencias en el cableado, averías en el aislamiento y pasos de corriente excesivos, para el caso de los tableros; mientras para el caso de las bombas y considerando la localización de estos puntos calientes, fallos internos del motor eléctrico y sobrecargas.
- Considerando el análisis de termografía infrarroja, es posible evidenciar, para el caso de las unidades manejadoras de aire (UMAS), que el componente que tiende a generar gradientes de temperatura más altos respecto a otros componentes son las correas, por lo cual estos elementos deben estar en constante revisión y verificación de sus propiedades, con el fin de evitar paradas innecesarias teniendo en cuenta la función que cumple este elemento.
- De acuerdo a los resultados del análisis de vibraciones, es posible evidenciar que ningún equipo se encuentra dentro de un rango de severidad de vibraciones mínimo aceptable, lo más apropiado sería realizar una verificación general de todos los equipos evaluados mediante esta técnica y de esta manera determinar que elemento está presentando algún tipo de fallo que está afectando directamente los niveles de vibración de una máquina en particular.
- De acuerdo a las tareas realizadas en el mantenimiento centrado en confiabilidad RCM y al análisis correspondiente de las mismas, fue posible implementar el plan de mantenimiento preventivo y correctivo de acuerdo a los resultados obtenidos, dando

mayor importancia a los fallos más comunes, con mayor frecuencia y con el NPR más alto.

- Las tareas proactivas, en este caso, los mantenimientos preventivos propuestos en este documento tienen como fin disminuir y eliminar las posibles fallas y efectos que puedan tener los equipos del sistema de climatización del Instituto Nacional de Metrología para que esto no afecte los procesos de calibración y diferentes servicios que ofrece esta entidad.

Recomendaciones

- Implementar un inventario con una lista de materiales, herramientas y componentes necesarios de cada equipo, para reducir tiempos de paradas en el caso de llegar a intervenir algún equipo.
- Actualizar las hojas de vida de cada equipo para tener la información actualizada en caso de ser requerida por los funcionarios de mantenimiento.
- Capacitar y orientar al personal encargado del mantenimiento, para ejecutar las acciones de mantenimiento de manera adecuada y así poder obtener un buen funcionamiento del sistema.
- Realizar un análisis de factibilidad económica para el presente trabajo.

Bibliografía consultada

- A-MAQ S.A. (2005). *Tutorial de vibraciones mecánicas*. Medellín.
- Amigo, M. L., & Armas, O. (2012). *Frío industrial y aire acondicionado*. Universidad de Castilla-La Mancha .
- Angélica Romero. (2011). *Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para el sistema eléctrico de baja tensión que suministra energía a los pozos productores pertenecientes a la superintendencia de operaciones de mares*. Santander: Bucaramanga.
- Canet, C. (2018). *Aproaching the concepts of maintenance*. Ohio: Sun concepts.
- Carrier International. (2019). Obtenido de Carrier International Web Site: http://www.commercial.carrier.com/commercial/hvac/general/0,,CLI1_DIV12_ETI496_MID4355,00.html
- Charlez, F. G.-M., & Tafalla, X. F. (s.f.). *Instalaciones de fontanería y climatización en centros de salud*. Catalunya.
- Internacional Organization for Standarization. (2009). *ISO 2372,ISO 10816-1*.
- Jhon, M. (2011). *Mantenimiento centrado en Confiabilidad*. Asheville: Aladon LLC.
- López, G. (2004). *Análisis de vibraciones para el mantenimiento predictivo*.
- Madrid, F. d. (2011). *Guía de la termografía infrarroja:Aplicaciones en ahorro y eficiencia energética*. Madrid.
- María José Picazo Rodenas. (2016). *Diagnóstico de máquinas eléctricas mediante técnicas de termografía infrarroja*. Valencia.
- Medina, E. E. (2010). *Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) para una paletizadora de sacos de cemento*. Puerto La Cruz.
- Oficina Nacional de Normalización. (Noviembre 2009). *NC 220-1: 2009 EDIFICACIONES - REQUISITOS DE DISEÑO PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA - PARTE 1: ENVOLVENTE DEL EDIFICIO*. La Habana.
- Pérez, C. M. (2009). *Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para sistemas de aire en plantas de extracción de líquidos del gas natural*. Barcelona.

Salazar, C. M. (2015). *Manual básico de mantenimiento para instalaciones climatizadas*. Quito.

Sarmiento, G. R. (s.f.). *Estudio de vibraciones mecánicas en máquinas reciprocantes*. Santander: Bucaramanga.

Universidad Pública de Navarra. (2011). *Introduccion al fenómeno de las vibraciones mecánicas:Normativa sobre vibraciones*. Navarra.

Wildi, T. (2006). *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia*. México DF: Pearson Education.

