

Diseño de un plan de mantenimiento programado para los equipos de aire acondicionado más críticos de un Hospital Universitario.

**Autor:
NELSON ENRIQUE VELASCO JAIMES.**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECATRÓNICA E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURAS**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, Marzo 13 de 2017**

Diseño de un plan de mantenimiento programado para los equipos de aire acondicionado más críticos de un Hospital Universitario.

Autor:

NELSON ENRIQUE VELASCO JAIMES.

Cód.: 1.094.368.277

nelsonvelasco90@gmail.com

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO**

Director:

ELKIN FLÓREZ SERRANO.

PhD. Ingeniería Mecánica, fluidos y aeronáutica.

eflorez@unipamplona.edu.co

**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECATRÓNICA E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURAS
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
Pamplona, Marzo 13 de 2017**

A mi madre María Elena por el apoyo incondicional durante todos estos años.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia a mi madre, mi padre y mis hermanos por acompañarme en este proceso.

A mi director de proyecto profesor Elkin Flórez por darme la oportunidad de realizar este proyecto y su asesoría durante la ejecución.

Al profesor William Mora por su asesoría en el tema de mantenimiento.

Al ingeniero John Ramírez y personal técnico de la empresa Serpfal internacional SAS por todas las enseñanzas.

Finalmente agradezco a todos mis profesores y compañeros que me brindaron su amistad y apoyo durante mi estadía en la Universidad, y seguramente para toda la vida.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	10
2. JUSTIFICACIÓN	12
3. OBJETIVOS	13
3.1 Objetivo General.....	13
3.2 Objetivos Específicos.....	13
4. CONCEPTOS BÁSICOS.....	14
4.1 Ciclo de Refrigeración.....	14
4.1.1 Ciclo invertido de Carnot.....	14
4.1.2 Ciclo ideal por compresión de vapor.....	15
4.1.3 Ciclo real por compresión de vapor.....	16
4.2 Aire Acondicionado.....	17
4.3 Tipos de aire acondicionado.....	17
4.3.1 Tipo Ventana.....	17
4.3.2 Tipo Split.....	18
4.3.3 Tipo Multi-split.....	18
4.3.4 Tipo Piso techo.....	19
4.3.5 Tipo Casette.....	20
4.3.6 Tipo Paquete.....	21
4.3.7 Tipo Central.....	22
4.4 Mantenimiento.....	22
4.5 Tipos de mantenimiento.....	23
4.5.1 Mantenimiento Correctivo.....	23
4.5.2 Mantenimiento Preventivo.....	23
4.5.2.1 Mantenimiento Programado.....	23
4.5.3 Mantenimiento Predictivo.....	24
4.6 Criticidad.....	24
5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	26
5.1 Identificación de los equipos más importantes en el servicio médico del HUEM.....	26
5.2 Estado actual de los equipos identificados.....	27
5.2.1 Equipos del banco de sangre.....	27

5.2.2	Equipo de Estadística.....	28
5.2.3	Equipo de Esterilización.....	29
5.2.4	Equipo de Maternidad.....	29
5.2.5	Equipo de Patología.....	30
5.2.6	Equipos de Quirófano.....	31
5.2.7	Equipos Unidad de Cuidados Intermedios.....	32
5.2.8	Equipos de Urgencias Adultos.....	32
5.2.9	Equipos Urgencias Pediátricas.....	34
5.3	Codificación de los equipos de aire acondicionado.....	35
5.4	Análisis de criticidad de los componentes de un equipos de aire acondicionado.....	36
5.5	Diseño de los Formatos de mantenimiento.....	38
5.5.1	Formato Registro de equipos.....	39
5.5.2	Formato Revisión de equipos.....	41
5.5.3	Formato Orden de trabajo.....	42
5.5.4	Formato Registro de fallas.....	44
5.6	Rutina de Mantenimiento.....	45
5.7	Cronograma de Mantenimiento.....	46
6.	RESULTADOS.....	48
7.	CONCLUSIONES.....	50
8.	RECOMENDACIÓN.....	51
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
10.	ANEXOS.....	54
10.1	Anexo 1.....	54
10.1.1	Estado actual BS1-60-009.....	54
10.1.2	Estado actual BS2-60-010.....	55
10.1.3	Estado actual EST-277-008.....	56
10.1.4	Estado actual ESTE-180-026.....	57
10.1.5	Estado actual MAT-118-027.....	58
10.1.6	Estado actual PAT-360-034.....	59
10.1.7	Estado actual QU1-36-001.....	60
10.1.8	Estado actual QU2-36-002.....	61
10.1.9	Estado actual QU3-1-18-003.....	62

10.1.10	Estado actual QU3-2-24-004	63
10.1.11	Estado actual QU4-36-005.....	64
10.1.12	Estado actual QU5-18-006.....	65
10.1.13	Estado actual QU6-60-028.....	66
10.1.14	Estado actual QU7-36-031.....	67
10.1.15	Estado actual UCIM-1-36-024.....	68
10.1.16	Estado actual UCIM-2-36-025.....	69
10.1.17	Estado actual URGA-1-72-029	70
10.1.18	Estado actual URGA-2-72-030	71
10.1.19	Estado actual URGA-3-120-032	72
10.1.20	Estado actual URGA-4-120-033	73
10.1.21	Estado actual URGP-1-60-022.	74
10.1.22	Estado actual URGP-2-60-021.	75
10.2	Anexo 2	76
10.2.1	Análisis criticidad Capacitor.	76
10.2.2	Análisis criticidad Contactor.....	76
10.2.3	Análisis criticidad compresor.....	77
10.2.4	Análisis criticidad motor condensador.....	77
10.2.5	Análisis criticidad motor turbina.	78
10.2.6	Análisis criticidad tarjeta electrónica.	78

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Equipos Críticos.	26
Tabla 2.	Resumen estado actual equipos.	34
Tabla 3.	Codificación de equipos.	36
Tabla 4.	Elementos analizados por criticidad.	37
Tabla 5.	Ítems análisis de criticidad.	37
Tabla 6.	Análisis de criticidad.	38
Tabla 7.	Registro de equipos.	40
Tabla 8.	Revisión de equipos.	42
Tabla 9.	Formato orden de trabajo.	43
Tabla 10.	Formato registro de fallas.	44
Tabla 11.	Rutina de mantenimiento.	45
Tabla 12.	Cronograma revisiones.	46
Tabla 13.	Cronograma mantenimiento preventivo.	47
Tabla 14.	Estado actual Banco de sangre 1.	54
Tabla 15.	Estado actual Banco de sangre 2.	55
Tabla 16.	Estado actual Estadística.	56
Tabla 17.	Estado actual Esterilización.	57
Tabla 18.	Estado actual Maternidad.	58
Tabla 19.	Estado actual Patología.	59
Tabla 20.	Estado actual Quirófano 1.	60
Tabla 21.	Estado actual Quirófano 2.	61
Tabla 22.	Estado actual Quirófano 3-1.	62
Tabla 23.	Estado actual Quirófano 3-2.	63
Tabla 24.	Estado actual Quirófano 4.	64
Tabla 25.	Estado actual Quirófano 5.	65
Tabla 26.	Estado actual Quirófano 6.	66
Tabla 27.	Estado actual Quirófano 7.	67
Tabla 28.	Estado actual Unidad de cuidados intermedios 1.	68
Tabla 29.	Estado actual Unidad de cuidados intermedios 2.	69
Tabla 30.	Estado actual Urgencias adultos 1.	70
Tabla 31.	Estado actual Urgencias adultos 2.	71
Tabla 32.	Estado actual Urgencias adultos 3.	72
Tabla 33.	Estado actual Urgencias adultos 4.	73
Tabla 34.	Estado actual Urgencias pediátricas 1.	74
Tabla 35.	Estado actual Urgencias pediátricas 2.	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Ciclo invertido de Carnot.	14
Figura 2.	Ciclo por compresión de vapor.	15
Figura 3.	Aire acondicionado tipo ventana.	17
Figura 4.	Aire acondicionado tipo Split.	18
Figura 5.	Aire acondicionado multi Split.	19
Figura 6.	Aire acondicionado tipo Piso techo.	19
Figura 7.	Aire acondicionado tipo Casette.	20
Figura 8.	Aire acondicionado tipo Paquete.	21
Figura 9.	Aire acondicionado tipo Central.	22
Figura 10.	Ejemplo matriz de criticidad.	25
Figura 11.	Equipos Banco de Sangre.	28
Figura 12.	Equipo Estadística.	28
Figura 13.	Equipo Esterilización.	29
Figura 14.	Equipo de Maternidad.	30
Figura 15.	Equipo Patología.	30
Figura 16.	Equipos Quirófano.	31
Figura 17.	Equipos de Quirófano.	31
Figura 18.	Equipos Unidad de Cuidados Intermedios.	32
Figura 19.	Equipos Urgencias Adultos.	32
Figura 20.	Equipos Urgencias Adultos.	33
Figura 21.	Equipos Urgencias Pediátricas.	34
Figura 22.	Criticidad Capacitor.	76
Figura 23.	Criticidad Contactor.	76
Figura 24.	Criticidad Compresor.	77
Figura 25.	Criticidad Motor condensador.	77
Figura 26.	Criticidad Motor turbina.	78
Figura 27.	Criticidad Tarjeta electrónica.	78

1. INTRODUCCIÓN

El mantenimiento es una de las áreas más importantes en cualquier industria, en este caso el sector salud. Dadas las condiciones climáticas de la ciudad de Cúcuta y a la alta afluencia de pacientes, el Hospital Universitario Erasmo Meoz (HUEM) requiere áreas que se deben mantener acondicionadas, con el fin de brindarles a pacientes y equipo médico las condiciones de confort establecidas por las respectivas normas hospitalarias. Las temperaturas en los diferentes ambientes de Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (IPS) deben estar en un rango de 18 °C a 26 °C. (Asociación Colombiana De Acondicionamiento Del Aire Y De La Refrigeración (ACAIRE), 2013)

Para asegurar la correcta operación de los equipos de aire acondicionado, y así poder predecir o detectar alguna anomalía, antes de que pueda ocurrir alguna falla; independientemente del tipo y su capacidad, se recomienda contar con un programa de mantenimiento, donde se programen, entre otras; inspecciones generales, así como tomar periódicamente lecturas de corriente, voltaje, temperatura y presión.(Hurtado, López, & Sandoval, 2005).

La estructura del actual proyecto, el cual busca desarrollar un Plan de Mantenimiento Programado para la IPS, Hospital Universitario Erasmo Meoz (HUEM), inició con una identificación de los equipos de mayor importancia dentro todo el sistema de refrigeración y aire acondicionado del hospital, teniendo en cuenta principalmente la capacidad y el área médica a la que le ofrece el servicio. Posteriormente, identificados estos equipos, se realizó un análisis de criticidad de cada componente de un equipo de aire acondicionado, con el fin de definir las partes que mayor relevancia deben tener o se deben priorizar en las labores de mantenimiento. Seguidamente, utilizando las recomendaciones existentes en la bibliografía para este tipo de elementos mecánicos, se diseñó un sistema de codificación de equipos y los respectivos formatos de mantenimiento, lo cual permite soportar la base de datos de cada equipo y la respectiva programación de las labores de mantenimiento de los aires acondicionados identificados. Finalmente, aprovechando el servicio que presta la empresa Serpfal Internacional SAS, encargada del mantenimiento de los equipos de aire acondicionado del HUEM, y con el acompañamiento del personal técnico de dicha empresa, se desarrolló una rutina de inspección de los equipos y una rutina de mantenimiento programado con sus respectivos cronogramas de aplicación. Lo anterior permitió definir la línea base del Plan de mantenimiento propuesto en el presente trabajo y las actividades a desarrollar en dicho Plan. Con ello se pudo validar el aporte hecho a los equipos de

aire acondicionado identificados, entre ellos; la organización de las labores de mantenimiento, la caracterización eficaz de fallos y la identificación de elementos críticos dentro de los equipos.

Con el Plan de mantenimiento propuesto se pretende aumentar la vida útil de los equipos de aire acondicionado y refrigeración, disminuir las actividades de mantenimiento correctivo, que pueden llegar a ser bastante costosas, y asegurar la disponibilidad de los equipos en cualquier momento.

2. JUSTIFICACIÓN

Actualmente el HUEM cuenta con un plan de mantenimiento de los equipos de aire acondicionado y refrigeración obsoleto, esto ocasiona que se presenten muchas fallas, con las respectivas paradas inesperadas, que deben ser solucionadas por medio de mantenimiento correctivo.

Para disminuir el número y la recurrencia de los mantenimientos correctivos es fundamental definir una rutina y cronograma de mantenimiento programado, que permita reducir estos problemas, disminuir el costo del mantenimiento y alargar la vida útil de los equipos; algunos de por sí bastante deteriorados por la carencia de un plan actualizado de mantenimiento o por los años de funcionamiento.

En el HUEM existe una gran variedad de tecnologías en equipos de aire acondicionados y refrigeración. Algunos de ellos están bastante deteriorados por el tiempo de servicio, equipos obsoletos de alto consumo de energía, y otros son equipos con poco tiempo de funcionamiento, es decir de última tecnología. Este plan de mantenimiento permitirá mantener en normal funcionamiento todos los equipos, así como alargar la vida útil de los equipos antiguos, logrando una puesta a punto, y permitir que los equipos nuevos funcionen con el mínimo evento de mantenimiento correctivo.

Lograr que un sistema de acondicionamiento de aire sea eficiente, con los diferentes tipos de equipos que se manejan actualmente, traerá consigo una mejora en el servicio prestado a cada una de las áreas del HUEM, y también una mejor condición y/o ambiente de trabajo dentro de las actividades médicas y administrativas.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un plan de mantenimiento programado para los equipos de aire acondicionado más críticos de un Hospital Universitario.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar los equipos más importantes en el servicio médico del HUEM

Analizar el estado actual de los equipos de aire acondicionado.

Diseñar un sistema de codificación para cada uno de los equipos de aire acondicionado.

Realizar un análisis de criticidad de los componentes de un equipo de aire acondicionado.

Elaborar los formatos necesarios de mantenimiento.

Diseñar la rutina y cronograma del plan de mantenimiento programado con base en el análisis de criticidad.

4. CONCEPTOS BÁSICOS.

4.1 CICLO DE REFRIGERACIÓN.

El calor fluye en la dirección de las temperaturas decrecientes; esto es, de las regiones de alta temperatura a las de baja. Dicho proceso de transferencia de calor ocurre en la naturaleza sin que se requiera la participación de algún dispositivo. El proceso inverso, sin embargo, no sucede por sí solo. La transferencia de calor de una región de temperatura baja a otra de alta temperatura requiere dispositivos especiales llamados refrigeradores. (Cengel & Boles, 2011)

El desempeño de un refrigerador se expresa en función del **COP** (*Coficiente de desempeño*).

$$COP = \frac{\text{Efecto de enfriamiento}}{\text{Entrada de trabajo}} = \frac{Q_L}{W_{\text{Entrada}}}$$

Dónde:

Q_L : Calor extraído del espacio a refrigerar.

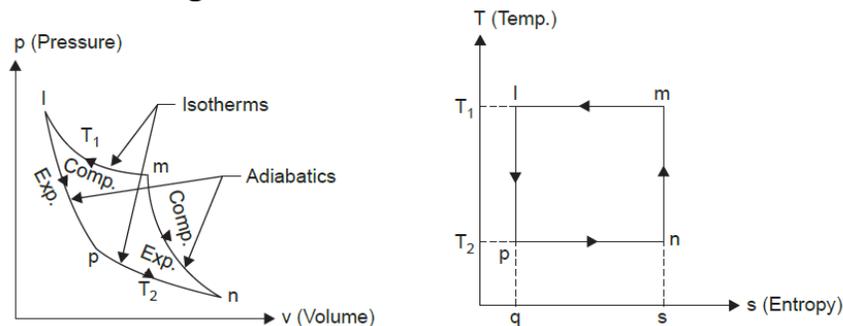
W_{Entrada} : Trabajo neto de entrada.

Existen diferentes tipos de ciclos de refrigeración, por lo tanto el COP debe ser determinado a partir de estos. A continuación se explican los principales y/o más utilizados actualmente en los sistemas de aire acondicionado y refrigeración.

4.1.1 Ciclo invertido de Carnot.

El ciclo de Carnot es un ciclo reversible, donde se llevan a cabo dos procesos adiabáticos y dos procesos isotérmicos.

Figura 1. Ciclo invertido de Carnot.



Fuente: (Rajput, 2007)

- l-p: Expansión del gas en un proceso isentrópico.
- p-n: Rechazo de calor.
- n-m: Compresión del gas refrigerante de manera isentrópica.
- m-l: Adición de calor.

El coeficiente de desempeño **COP** del ciclo de Carnot se define como:

$$COP = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

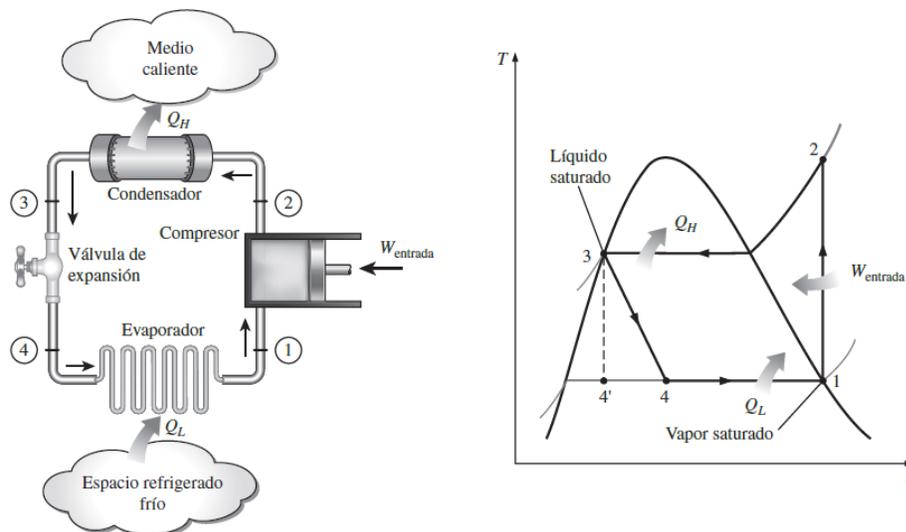
El ciclo invertido de Carnot se puede considerar como el ciclo ideal de refrigeración; pero difícil de ejecutar en la vida real.

4.1.2 Ciclo ideal por compresión de vapor.

En la actualidad una gran cantidad de dispositivos funcionan con el ciclo de compresión de vapor. Casi todos los refrigeradores, congeladores, acondicionadores de aire y bombas de calor, usan sistemas que se pueden describir como unidades de compresión de vapor. (Rolle, 2006)

El ciclo por compresión de vapor difiere del ciclo invertido de Carnot al llevar el refrigerante a un estado de vapor sobrecalentado antes del proceso de compresión. Este paso debe realizarse ya que un compresor sufre daños al trabajar con un vapor húmedo.

Figura 2. Ciclo por compresión de vapor.



Fuente: (Cengel & Boles, 2011)

- 1-2. Compresión isentrópica en el aumentando la temperatura del refrigerante por encima del medio circundante.
- 2-3 Rechazo de calor a presión constante en condensador donde el refrigerante termina como líquido saturado.
- 3-4 Estrangulamiento hasta la presión del evaporador, el refrigerante pierde temperatura por debajo del medio circundante.
- 4-1 Absorción de calor a presión constante, el refrigerante inicia como vapor húmedo y al ganar temperatura se evapora por completo.

El coeficiente **COP** del ciclo de compresión de vapor es el siguiente:

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

4.1.3 Ciclo real por compresión de vapor.

El ciclo de compresión de vapor real difiere del ciclo ideal de varias maneras por las siguientes razones:

El líquido refrigerante es sub-enfriado antes de que se le permita entrar en la válvula de expansión, con fin de asegurarse que el refrigerante se condense por completo.

El gas al salir del evaporador es sobrecalentado unos grados antes de entrar en el compresor. Este sobrecalentamiento puede ocurrir como resultado del tipo de control de expansión utilizado o a través de una absorción de calor en la línea de succión entre el evaporador y el compresor. Este sobrecalentamiento asegura la total evaporación del refrigerante antes del proceso de compresión.

Las válvulas de succión y descarga del compresor son accionadas por diferencia de presión, y este proceso requiere que la presión de succión del compresor sea ligeramente inferior a la del evaporador y la presión de descarga superior a la presión del condensador.

Aunque la compresión isoentrópica asume que no hay transferencia de calor entre el refrigerante y las paredes del cilindro, en realidad las paredes del cilindro son más calientes que los gases de entradas provenientes del evaporador y más frías que los gases comprimidos que descarga al condensador.(Rajput, 2007)

4.2 AIRE ACONDICIONADO.

En los siglos XVIII y XIX se cortaba hielo de los lagos en el invierno en las zonas septentrionales, y se almacenaba bajo tierra, parte de ese hielo se transportaba a las regiones meridionales, utilizando aserrín como aislante. En 1894 Jacob Perkins desarrollo un sistema de refrigeración, utilizando la expansión y compresión de éter, por medio de un compresor operado a mano, un condensador enfriado por agua y un evaporador. (Whitman & Johnson, 2006)

En 1902 Willis Carrier construyo el primer sistema de aire acondicionado en una imprenta en Brooklyn N.Y. Carrier recibió su primera patente “Apparatus for conditioning air” en 1906, para 1930 Carrier Engineering Corp había instalado sistemas de aire acondicionado en más de 300 salas de cine alrededor de los Estados Unidos. (Geisst, 2006)

4.3 TIPOS DE AIRE ACONDICIONADO.

Existen diferentes equipos de aire acondicionado, dependiendo de su capacidad de refrigeración, costo, o modo de funcionamiento. Los tipos de aire usados actualmente en el HUEM son los descritos a continuación.

4.3.1 Tipo Ventana.

Los aires acondicionados tipo ventana o compactos, mostrado en la Figura 3 son equipos que contiene todos sus elementos en una misma carcasa (evaporador, condensador, compresor, válvula de expansión).

Es uno de los equipos más populares debido a su bajo costo, fácil mantenimiento y vida útil. Las desventajas de estos aires acondicionados es el ruido generado por el compresor y bajo nivel estético.

Figura 3. Aire acondicionado tipo ventana.



Fuente: El autor. Tomada habitación 10-15.

4.3.2 Tipo Split.

Es el equipo más utilizado actualmente, está compuesto por una unidad interior donde se ubica el evaporador y una unidad exterior donde se encuentran la válvula de expansión, el compresor y el condensador. Son equipos silenciosos, estéticamente superiores a los equipos de ventana y fácil mantenimiento.

Figura 4. Aire acondicionado tipo Split.



Fuente: El autor. Tomada Quemados Hospitalización.

4.3.3 Tipo multi-split.

Es un equipo Split con la variación de poder utilizar varias unidades evaporadoras conectadas a una sola unidad de condensación. La principal ventaja de este sistema es el bajo costo comparado con equipos individuales que sumen su capacidad.

Su mayor desventaja es de presentarse un fallo en la unidad condensadora, se detendrían todas las unidades interiores.

Figura 5. Aire acondicionado multi Split.



Fuete: El autor. Tomada Prensa, Contratación, Docencia.

4.3.4 Tipo piso techo.

Son una variante del sistema Split que puede ser instalado a nivel del suelo o del techo. Su capacidad de ventilación es superior a un Split convencional se utilizan generalmente es espacios amplios, pues su ventilador en el evaporador es de mayor potencia.

Figura 6. Aire acondicionado tipo Piso techo.



Fuente: El autor. Tomada Bodega Farmacia.

4.3.5 Tipo Casette.

Está diseñado para instalarse sobre cielo rasos dando un acabado muy estético, su rendimiento es muy bueno dado a sus salidas de aire en sus 4 lados. Al igual que los equipos Split está compuesto por una unidad interior y otra exterior.

Figura 7. Aire acondicionado tipo Casette.



Fuente: El autor. Tomada Urgencias Pediátricas.

4.3.6 Tipo paquete.

El Aire Acondicionado tipo Paquete es un equipo compacto, y como su nombre lo indica viene empaquetado en una sola unidad la unidad condensadora y la evaporadora, tal como viene el aire acondicionado tipo ventana, solo que mucho más grande.

Requiere de ductos, los que transportaran el aire frío al interior del espacio a refrigerar, permitiendo así una muy eficiente distribución de frío y un uso muy silencioso.

Los ductos deben estar debidamente aislados térmicamente para evitar condensación y el cálculo de los mismos debe ser realizado por un profesional en aire acondicionado y ventilación mecánica. Un equivocado calculo en la dimensión o distribución de estos ductos puede fácilmente convertirse en ruidos, silbidos o disparidad en las temperaturas climatizadas.

Figura 8. Aire acondicionado tipo Paquete.



Fuente: El autor. Tomada Maternidad.

4.3.7 Tipo Central.

Son utilizados para acondicionar grandes espacios. Están compuestos por la unidad condensadora y una unidad manejadora de aire (UMA) donde se encuentra el evaporador y la turbina. La distribución se realiza por medio de ductos que deben ser diseñados para cada aplicación además de contar con un revestimiento aislante.

Figura 9. Aire acondicionado tipo Central.



Fuente: El autor. Tomada Banco de Sangre.

4.4 MANTENIMIENTO.

La British Standard BS 3811 define el mantenimiento como “La combinación de todas las acciones técnicas y administrativas asociadas tendientes a conservar un ítem o restablecerlo a un estado tal que pueda realizar la función requerida”.

La evolución del mantenimiento ha pasado de métodos puramente estáticos (espera de la avería) a métodos dinámicos (seguimiento) con la finalidad de predecir las averías y poder determinar su causa para erradicarla. (Gómez de León, 1998)

Con la Segunda Guerra Mundial, las empresas tuvieron que aumentar su producción para suplir la demanda del mercado; para esto, fue necesario incrementar sus jornadas laborales. Esta manera apresurada de producir en grandes cantidades y por largos periodos de tiempo hizo que las máquinas se desgastaran debido al exceso de uso y por lo tanto a presentar fallas en su funcionamiento. La reparación de las máquinas implicaba la parada del proceso de producción lo cual generaba grandes pérdidas. Con el fin de evitar estas paradas,

los empresarios le dieron una mayor importancia al mantenimiento. (Olarte, Botero, & Benhur, 2010)

4.5 TIPOS DE MANTENIMIENTO.

El mantenimiento puede dividirse en tres tipos de mantenimiento: Correctivo, preventivo y predictivo.

4.5.1 Mantenimiento Correctivo.

Su función principal es poner en marcha el equipo afectado en el menor tiempo y coste posible. Para que este mantenimiento tenga éxito se debe estudiar a profundidad la causa del problema, las posibles soluciones y planear el trabajo con el personal y equipos disponibles. (Cuartas Perez, 2008)

Son varias las desventajas en permitir que un elemento funcione hasta que se presente una avería, pues su tiempo y costo de recuperación puede ser mayor que si se hubiera realizado un mantenimiento que prevenga la falla.

4.5.2 Mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo comprende todas las acciones sobre revisiones, modificaciones, y mejoras dirigidas a evitar averías y las consecuencias de estas. (Rey Sacristán, 2001)

Los dos elementos principales en el mantenimiento preventivo son el procedimiento y la disciplina. El procedimiento garantiza que las tareas se realizan de la manera correcta. La disciplina requiere que las tareas planeadas se realicen en el momento indicado cada vez que sea necesario. Un plan de mantenimiento preventivo puede fallar por la carencia de disciplina. (Smith & Mobley, 2003).

La implementación de un plan mantenimiento preventivo no libera la necesidad del mantenimiento correctivo, pese a el mantenimiento las averías se van a presentar pero en menor proporción.

4.5.2.1 Mantenimiento programado.

Este tipo mantenimiento hace parte del mantenimiento preventivo. Es ejecutado por el departamento de mantenimiento, donde debe existir personal calificado para poder realizarlo. Se caracteriza por tener actividades de inspección, chequeos, monitoreo, cambio de piezas y revisión de

funcionamiento de elementos, con una frecuencia quincenal, mensual, trimestral, semestral, o anual. (Ramírez Quintero, 2014)

4.5.3 Mantenimiento Predictivo.

El mantenimiento predictivo monitorea el estado mecánico, la eficiencia de los equipos y otros parámetros con el fin de detectar fallas antes que estas produzcan paradas inesperadas. Para esto se utilizan varias técnicas tales como análisis de vibraciones, tribología, termografía, evaluación del desempeño y otras técnicas para evaluar las condiciones de funcionamiento del equipo, y poder predecir el momento en que se puede presentar la falla. (Scheffer & Girdhar, 2004)

4.6 CRITICIDAD.

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de sistemas y activos, creando una estructura que facilite la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde es más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional basada en la realidad actual. (Huerta Mendoza, 2001)

Para calcular la criticidad de un componente o equipo dentro de una planta o sistema, se debe aplicar un criterio que transforme las características cualitativas de ese componente o equipo (flexibilidad, impacto en producción, costos de reparación, impacto ambiental, confiabilidad operacional, etc.) en un valor numérico que permita clasificarlo objetivamente, en relación al resto de los componentes o equipos de la planta o sistema. (del Castillo Serpa, Brito Ballina, & Fraga Guerra, 2009)

La criticidad bajo el concepto de riesgo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\textit{Criticidad} = \textit{frecuencia} * \textit{consecuencia}.$$

Dónde:

- Frecuencia: Numero de fallas en un determinado tiempo.
- Consecuencia: (Impacto operacional x Flexibilidad) + costos de mantenimiento +Impacto en seguridad, ambiente e higiene.(Moss & Woodhouse, 1999)

Figura 10. Ejemplo matriz de criticidad.



Fuente: Aprendizaje virtual (Pemex).

5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.

5.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS MÁS IMPORTANTES EN EL SERVICIO MÉDICO DEL HUEM.

Actualmente funcionan más 200 equipos en este hospital, es necesario definir cuáles son los equipos que requieren un mayor seguimiento y prioridad a la hora de ejecutarse el programa de mantenimiento.

Para definir los equipos más críticos se debe seleccionar aquellos que suponen una parada de la instalación, una disminución de su capacidad o una merma en la calidad del proceso. En la selección de los equipos críticos pueden seguirse distintos criterios de clasificación, como el impacto en la producción, las particularidades de su mantenimiento, la seguridad, y cualquier otro aspecto que pueda considerarse relevante en cada caso en particular. (Gómez de León, 1998)

En el proceso de selección de los equipos de aire acondicionado más críticos del HUEM se consideraron tres aspectos. El primero; la importancia del área donde funcionan los equipos, segundo; la capacidad de los mismos y el tercero; el tipo de equipo de refrigeración. Con base en lo anterior en la tabla 1 se muestran los equipos más críticos.

Tabla 1. Equipos Críticos.

Equipos críticos.		
Ubicación	Capacidad. BTU	Tipo
Banco de sangre 1	60.000	Central
Banco de sangre 2	60.000	Central
Estadística	277.000	Paquete
Esterilización	180.000	Paquete
Maternidad	120.000	Paquete
Patología	360.000	Central
Quirófano 1	36.000	Split
Quirófano 2	36.000	Split
Quirófano 3-1	18.000	Split
Quirófano 3-2	24.000	Split
Quirófano 4	36.000	Split
Quirófano 5	18.000	Split
Quirófano 6	60.000	Split
Quirófano 7	36.000	Split
UCIM 1	36.000	Piso Techo
UCIM 2	36.000	Piso Techo

Urgencias adultos 1	72.000	Central
Urgencias adultos 2	72.000	Central
Urgencias adultos 3	120.000	Central
Urgencias adultos 4	120.000	Central
Urgencias pediátricas 1	60.000	Central
Urgencias pediátricas 2	60.000	Central

Fuente: El autor.

5.2 ESTADO ACTUAL DE LOS EQUIPOS IDENTIFICADOS.

Para iniciar con el plan de mantenimiento programado es necesario conocer el estado actual de los equipos previamente seleccionados. Para este proceso, acompañado del personal técnico de la empresa Serpfal internacional SAS, se procedió a revisar el estado general de cada equipo de aire acondicionado. Se tomaron lecturas de consumo amperaje y voltaje, presión del refrigerante, condiciones de serpentines y turbinas. Además de inspeccionar el funcionamiento general del equipo.

A continuación se describe el estado actual de los equipos, identificados como los más importantes, según al área de servicio, teniendo en cuenta la inspección visual y la rutina de medición de variables, mencionada en el párrafo anterior.

5.2.1 Equipos del banco de sangre.

El área de banco de sangre esta compuesta por 2 equipos tipo central, cada uno con una capacidad de 60.000 BTU marca Trane. Estos equipos se encuentran en buenas condiciones de funcionamiento.

Figura 11. Equipos Banco de Sangre.



Fuente: El autor.

5.2.2 Equipo de Estadística.

En el área de Estadística funciona actualmente un equipo marca LG tipo paquete con capacidad de 277.000 BTU. Está compuesto, por 4 compresores que funcionan en 2 circuitos independientes de 2 compresores cada uno. Uno de estos circuitos no está en funcionamiento debido a una falla en la acometida eléctrica.

Figura 12. Equipo Estadística.



Fuente: El autor.

5.2.3 Equipo de Esterilización.

En el área de esterilización se encuentra en funcionamiento un equipo tipo paquete marca LG, con una capacidad de 180.000 BTU. Se encuentra en buenas condiciones de funcionamiento.

Figura 13. Equipo Esterilización.



Fuente: El autor.

5.2.4 Equipo de Maternidad.

En esta área se encuentra instalado un equipo marca LG tipo paquete con una capacidad de 120.000 BTU. Está compuesto por 2 compresores que alimentan 2 circuitos de refrigeración independientes, actualmente solo está en funcionamiento un circuito por una falla que dejó en fuera de servicio uno de los compresores.

Debe ser instalado un nuevo compresor para poder ser utilizada la capacidad total del sistema de aire acondicionado. Para este proceso la limpieza del circuito debe ser realizada por medio del gas R-141b, con el fin de eliminar cualquier impureza o residuos de aceite que pueden estar presentes en la tubería debido al fallo del antiguo compresor.

Figura 14. Equipo de Maternidad.



Fuente: El autor.

5.2.5 Equipo de Patología.

En el área de patología funciona un equipo tipo central marca Trane con una capacidad de 360.000 BTU la más alta actualmente instalada. Se encuentra en buenas condiciones de funcionamiento.

Figura 15. Equipo Patología.



Fuente: El autor.

5.2.6 Equipos de Quirófano.

En el área de quirófanos se encuentran instalados 8 equipos tipo Split de baja capacidad, los cuales se encuentran en deterioro debido a los años de funcionamiento.

Figura 16. Equipos Quirófano.



Fuente: El autor.

Figura 17. Equipos de Quirófano.



Fuente: El autor.

5.2.7 Equipos Unidad de Cuidados Intermedios.

En el área de Cuidados Intermedios se encuentran instaladas 2 equipos marca StarLight tipo piso techo con capacidad de 36.000 BTU cada uno. Se encuentran en muy buenas condiciones de funcionamiento.

Figura 18. Equipos Unidad de Cuidados Intermedios.



Fuente: El autor.

5.2.8 Equipos de Urgencias Adultos.

En el área de Urgencias Adultos se encuentra en funcionamiento 4 sistemas de aire acondicionado marca Trane tipo central con capacidad de 72.000 y 120.000 BTU, estos equipos funcionan en parejas. Se encuentran en buenas condiciones de operación.

Figura 19. Equipos Urgencias Adultos.



Fuente: El autor.

Figura 20. Equipos Urgencias Adultos.



Fuente: El autor.

5.2.9 Equipos Urgencias Pediátricas.

En el área de Urgencias Pediátricas se encuentran en funcionamiento 2 equipos tipo central de 60.000 BTU, marca Totaline y Comfortstars. Los serpentines de estos equipos se encuentran en malas condiciones.

Figura 21. Equipos Urgencias Pediátricas.



Fuente: El autor.

En conclusión el estado general de los equipos se describe en la tabla 2

Tabla 2. Resumen estado actual equipos.

Equipos críticos.			Estado
Ubicación	Capacidad. BTU	Tipo	
Banco de sangre 1	60.000	Central	Buenas Condiciones
Banco de sangre 2	60.000	Central	Buenas Condiciones
Estadística	277.000	Paquete	Requiere reparaciones
Esterilización	180.000	Paquete	Buenas Condiciones
Maternidad	120.000	Paquete	Requiere reparaciones
Patología	360.000	Central	Buenas Condiciones
Quirófano 1	36.000	Split	Deterioro
Quirófano 2	36.000	Split	Deterioro
Quirófano 3-1	18.000	Split	Deterioro
Quirófano 3-2	24.000	Split	Deterioro
Quirófano 4	36.000	Split	Deterioro

Quirófano 5	18.000	Split	Deterioro
Quirófano 6	60.000	Split	Deterioro
Quirófano 7	36.000	Split	Deterioro
UCIM 1	36.000	Piso Techo	Buenas Condiciones
UCIM 2	36.000	Piso Techo	Buenas Condiciones
Urgencias adultos 1	72.000	Central	Buenas Condiciones
Urgencias adultos 2	72.000	Central	Buenas Condiciones
Urgencias adultos 3	120.000	Central	Buenas Condiciones
Urgencias adultos 4	120.000	Central	Buenas Condiciones
Urgencias pediátricas 1	60.000	Central	Deterioro
Urgencias pediátricas 2	60.000	Central	Deterioro

Fuente: El autor.

5.3 CODIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO.

Un factor importante en el diseño de la rutina de mantenimiento es conocer el historial de cada uno de ellos mediante códigos que faciliten la identificación rápida y eficiente de los equipos, desde el departamento de mantenimiento, para ello se hace necesario diseñar un sistema de codificación. Esto facilita su localización, su referencia en órdenes de trabajo, permite la elaboración de un registro histórico de fallas y un control de los costos de mantenimiento. Existen dos tipos de codificación, sistemas de codificación no significativos y sistemas de codificación significativos, el primer sistema asigna un número a cada equipo, pero no aporta información adicional; contraria a los sistemas significativos en el que el código asignado aporta información sobre cada equipo. (García Garrido, 2003)

La codificación significativa diseñada permite conocer la ubicación exacta del área donde funciona el equipo, su capacidad y un número consecutivo que facilita el manejo de inventario.

xxx – 00 – 11 – 999

Dónde:

xxx Primeras letras del área donde se encuentra el equipo.

00 Número del equipo en el área de funcionamiento. (De ser necesario).

11 Capacidad (X 1000 BTU).

999 Consecutivo del equipo para el manejo de inventario.

En la Tabla 3 se muestran los equipos de aire acondicionado con su respectivo código.

Tabla 3. Codificación de equipos.

CODIFICACIÓN DE EQUIPOS	
UBICACIÓN	CÓDIGO
Banco de sangre 1	BDS-1-60-009
Banco de sangre 2	BDS-2-60-010
Estadística	EST-277-008
Esterilización	ESTE-180-026
Maternidad	MAT-118-027
Patología	PAT-360-034
Quirófano 1	QU1-36-001
Quirófano 2	QU2-36-002
Quirófano 3-1	QU3-1-18-003
Quirófano 3-2	QU3-2-24-004
Quirófano 4	QU4-36-005
Quirófano 5	QU5-18-006
Quirófano 6	QU6-60-028
Quirófano 7	QU7-36-031
Unidad C. intermedios 1	UCIM-1-36-024
Unidad C. intermedios 2	UCIM-2-36-025
Urgencias adultos 1	URGA-1-72-029
Urgencias adultos 2	URGA-2-72-030
Urgencias adultos 3	URGA-3-120-032
Urgencias adultos 4	URGA-4-120-033
Urgencias pediátricas 1	URGP-1-60-021
Urgencias pediátricas 2	URGP-2-60-022

Fuente: El autor.

5.4 ANALISIS DE CRITICIDAD DE LOS COMPONENTES DE UN EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO

Se realizó un análisis de criticidad sobre cada componente de un equipo de aire acondicionado, con el fin de conocer cuáles son los elementos que deben priorizarse en las labores de mantenimiento preventivo. Los elementos que fueron analizados son presentados en la siguiente tabla.

Tabla 4. Elementos analizados por criticidad.

Elementos analizados
Capacitor
Compresor
Contactador
Motor condensador
Motor turbina
Tarjeta electrónica

Fuente: El autor.

Los ítems utilizados en el método de factores ponderados bajo el concepto de riesgo diseñado por (Moss & Woodhouse, 1999) son los siguientes:

Tabla 5. Ítems análisis de criticidad.

Método de factores ponderados bajo el concepto de riesgo	
<i>ítem</i>	<i>valores</i>
Frecuencia fallas	
Pobre mayor a 2 fallas por semestre	4
Promedio 1- 2 fallas por semestre	3
Buena 0.5 – 1 falla por semestre	2
Excelente menos de 0.5 fallas por semestre	1
Impacto operacional	
Perdida total de operación.	10
La parada del sistema o subsistema tiene repercusión	7
Impacta en niveles de calidad	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones	1
Flexibilidad operacional	
No existe opción de funcionamiento	4
Hay opción de repuesto compartido / almacén	2
Función de repuesto disponible	1
Costos de Mantenimiento	
Mayor o igual a \$ 500.000	2
Inferior a \$ 500.000	1
Impacto en seguridad, Ambiente e Higiene	
Afecta la seguridad humana tanto externa como interna	8
Afecta el ambiente / instalaciones	7
Afecta las instalaciones causando daños severos	5
Provoca daños menores (ambiente – seguridad)	3
No provoca ningún tipo de daños a personas	1

Fuente:(Mora , 2015)

Frecuencia = tiempo de fallas en un tiempo determinado. (Fallas/semestre).

Consecuencias= (Impacto operacional x Flexibilidad) + costos de mantenimiento + Impacto en seguridad, ambiente e higiene.

Criticidad total = frecuencia de fallas * consecuencias.

Los resultados del análisis de criticidad se muestran en la siguiente tabla, a su vez las gráficas correspondientes son incluidas en el Anexo 2.

Tabla 6 Análisis de criticidad.

ANÁLISIS DE CRITICIDAD						
Componentes	frecuencia de fallas	Impacto operacional	Flexibilidad operacional	Costos de mantenimiento	Impacto en seguridad	VALOR CRITICIDAD
Capacitor	3	4	1	1	1	18
Compresor	1	10	4	2	7	49
Contactador	2	4	1	1	1	12
Motor condensador	2	4	1	1	1	36
Motor turbina	2	4	4	1	1	36
Tarjeta electrónica	1	6	4	2	1	27

Fuente: El autor.

Tras realizar el análisis de criticidad se determina que el componente que mayor seguimiento debe tener en el plan de mantenimiento es el compresor. Razón por la cual en la rutina de mantenimiento se da mayor prioridad a este componente.

5.5 DISEÑO DE LOS FORMATOS DE MANTENIMIENTO

Los formatos de mantenimiento permiten llevar un registro histórico de las fallas, reparaciones, información de cada equipo y manejo de inventario. La información recopilada por medio de estos formatos tiene un gran valor estadístico, y permite además contar un registro económico del costo de mantenimiento.

Se diseñaron los formatos de mantenimiento necesarios para llevar a cabo el plan de mantenimiento.

Estos formatos son:

- Registro de equipos.
- Revisión de equipos.
- Orden de trabajo.

- Registro de fallas.

5.5.1 Formato Registro de equipos.

El formato de registro de equipos mostrado en la Tabla 7, incluye los datos para identificar el equipo (marca, modelo, serial) y los datos técnicos (capacidad, refrigerante, voltaje). Además de incluir un espacio donde se plasmará el estado del equipo al momento de poner en funcionamiento este formato. Se incluye una fotografía del equipo de aire acondicionado.

Tabla 7. Registro de equipos.

	REGISTRO EQUIPOS AIRE ACONDICIONADO		FM-001
			PAG 1 - 1
FECHA:	MARCA:	MODELO:	
CODIGO:	SERIAL:	UBICACIÓN:	
CAPACIDAD:	REFRIGERANTE:	VOLTAJE:	
ESTADO ACTUAL:			
<h1>Fotografía.</h1>			

Fuente: El autor.

5.5.2 Formato revisión de equipos.

Este formato (Tabla 8) se diseñó con el fin de recoger información del funcionamiento de los equipos de aire acondicionado. En él se ubican los componentes de un aire acondicionado, además de espacios para la toma de lecturas de consumo, voltaje y presión del refrigerante.

Cada casilla corresponde a un componente y tiene tres sub-casillas marcadas con las letras **B**, **M**, **D** y los colores correspondientes a cada una de ellas **verde**, **rojo**, y **amarillo** respectivamente. El significado de estas letras es el siguiente.

- **B (verde)**: Componente en buenas condiciones de funcionamiento no representa ningún riesgo para la operación del aire acondicionado.
- **M (Rojo)**: Componente en malas condiciones y requiere atención de inmediato pues su estado no permite el buen funcionamiento del equipo.
- **D (Amarillo)**: Componente que no se encuentra en las mejores condiciones pero permite el funcionamiento del aire acondicionado. Requiere seguimiento y debe ser corregido para evitar daños futuros de mayor gravedad.

Tabla 9. Formato orden de trabajo.

	ORDEN DE TRABAJO.		FM - 003
			PG 1 - 1
N° Orden de trabajo:			
DATOS DEL EQUIPO.			
UBICACIÓN:		CODIGO:	MARCA:
TIPO DE MANTENIMIENTO:	CORRECTIVO:	<input type="checkbox"/>	PREVENTIVO: <input type="checkbox"/>
TRABAJO REALIZADO.			
RECURSOS NECESARIOS.			
CANTIDAD.	DESCRIPCION.	VALOR	
HORA Y FECHA DE INICIO:			
HORA Y FECHA DE FINALIZACION:			
TIEMPO DE EJECUCION:			
EJECUTADO POR:		FIRMA COORDINADOR DE MANTENIMIENTO:	

Fuente: El autor.

5.6 RUTINA DE MANTENIMIENTO.

Definido el código de identificación y teniendo en cuenta el análisis de criticidad, la rutina de mantenimiento ha sido diseñada con el fin de dar prioridad a el compresor.

Las causas más comunes en la falla de un compresor son:

- Presión de refrigerante no adecuada.
- Problemas en la alimentación eléctrica.

Por esta razón se hace énfasis en tomar de manera recurrente la presión de servicio de los equipos y lecturas de consumos y voltaje. Además de las labores de mantenimiento generales recomendadas en los manuales del fabricante sobre los demás elementos de los equipos de refrigeración.

En la Tabla 11 se muestran las labores de mantenimiento que deben ejecutarse en el mantenimiento programado, basados en las recomendaciones de los fabricantes como LG, Trane, Starlight, Totaline, para los equipos actualmente seleccionados.

Tabla 11. Rutina de mantenimiento.

	RUTINA DE MANTENIMIENTO												FM - 005
													PAG 1 - 1
DATOS DEL EQUIPO													
UBICACIÓN:	CÓDIGO:	MARCA:				MODELO:							
MENSUAL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
limpieza general externa del equipo.													
Limpieza de serpentín condensador y evaporador(Aplicar desincrustante de ser necesario).													
Limpieza filtros.													
Limpieza de aspas y turbina.													
Limpieza bandeja y tubería de desagüe.													
Limpieza y lubricación de motores. (evaporador y condensador)													
Revisión tubería y su aislamiento.													
Revisión de líneas, terminales y circuitos eléctricos.													
Revisión de vibraciones y ruidos existentes.													
Tomar lectura voltaje													
Tomar lectura amperaje													
Tomar lectura presión del refrigerante													
Verificar el estado del contactor y capacitor													
Ajustar soportes, pernos y tornillería en general													
Verificar el buen funcionamiento del equipo.													
Fecha de realización del mantenimiento.													
Firma del técnico.													
Vo Bo Recibido.													
Firma del responsable de mantenimiento.													
Tiempo de ejecución.													

Fuente: El autor.

6. RESULTADOS.

Con el diseño de este plan de mantenimiento aportamos al hospital universitario una herramienta muy importante en el proceso de mantener en operación todos los equipos de refrigeración.

Este plan de mantenimiento se inició con la definición de los equipos que requieren mayor prioridad en el plan de mantenimiento, para esta tarea utilizamos 2 ítems que fueron la capacidad (BTU) y la importancia del área de funcionamiento. El resultado fue la selección de 22 equipos que representa aproximadamente el 10% de los sistemas de refrigeración instalados en este Hospital.

La capacidad de estos equipos va desde los 60.000 BTU hasta 360.000 BTU que es el la mayor capacidad instalada. Las áreas donde funcionan estos sistemas son urgencias pediátricas, urgencias adultos, quirófanos, unidad de cuidados intermedios, maternidad, esterilización, patología y estadística. En estas áreas los sistemas de refrigeración deben permanecer disponibles en cualquier momento.

Por medio del análisis del estado actual de los equipos seleccionados se reconocieron que algunos de ellos se encuentran en buenas condiciones, pero otros tienen fallas. Para este proceso se diseñó un formato de hoja de vida donde se encuentran los datos técnicos de cada equipo y su estado actual, para los equipos que presentaron fallas durante este análisis se hicieron las recomendaciones necesarias, con el fin de que operaran en un buen estado y así poder iniciar la implementación de las rutinas diseñadas.

El sistema de codificación, diseñado durante el desarrollo de la tesis, facilitará a los operarios las labores de mantenimiento, pues este código permite referenciar la ubicación de cada equipo y su capacidad. Dado el alto número de sistemas de refrigeración instalados la codificación permite la rápida identificación de los mismos.

Los formatos diseñados registro de equipos, orden de trabajo, registro de fallas, revisión de equipos son parte fundamental en la administración del mantenimiento. La información recolectada por medio de estos formatos permite llevar un registro de todas las labores que se realizan sobre cada equipo. La orden de trabajo y el registro de fallas son dos valiosas herramientas que permitirán a futuro realizar análisis de costos de mantenimiento, e implementación de nuevas filosofías donde se evalúen conceptos como disponibilidad y mantenibilidad.

Con el análisis de criticidad se determinó que el componente de mayor importancia en los sistemas de refrigeración es el compresor, razón por la cual la rutina de mantenimiento se centró en mantener este componente en las mejores condiciones. El compresor puede fallar principalmente por una presión de refrigerante no

adecuada y/o problemas en la acometida eléctrica, su reparación es muy tediosa e implica costos muy altos.

La rutina de revisión de equipos como la rutina de mantenimiento permite conocer las condiciones de operación de los sistemas de refrigeración y así corregir las fallas que puedan presentarse. La revisión de equipos se ejecutará con un intervalo de 15 días y el mantenimiento programado cada 30 días. Es importante aclarar que a medida que se implemente estas labores los intervalos pueden ser ampliados, evitando así pérdidas de tiempo y mayor costo en el mantenimiento.

Los formatos y rutinas de mantenimiento que se diseñaron pueden ser aplicadas a todos los equipos que se encuentran en funcionamiento es este Hospital universitario. Solo es necesario variar los intervalos de aplicación, pues 15 y 30 días pueden ser lapsos muy cortos para algunos equipos.

7. CONCLUSIONES

Por medio del análisis del estado actual a los equipos de acondicionamiento de aire considerados más críticos, fue posible reconocer fallas como el deterioro de los intercambiadores de calor en algunos sistemas. Estas fallas deben ser solucionadas para poder dar inicio al plan de mantenimiento diseñado. Solucionar estas fallas y llevar los equipos a un estado de buen funcionamiento garantizara que en el momento de una evaluación sobre el impacto de este plan de mantenimiento los resultados sean positivos.

La implementación del sistema de codificación facilita las labores de mantenimiento, ya que entre otras permite conocer de manera más rápida datos técnicos de los equipos como son: la ubicación y la capacidad. A su vez reducir la información de un equipo a un código, optimiza el manejo de información estadística y esencial en la gestión del mantenimiento como son: registro de fallas y orden de trabajo.

El análisis de criticidad de los componentes de un equipo de refrigeración, fue una herramienta fundamental en la toma de decisiones y permitió conocer que elementos requieren mayor seguimiento, y enfocar las rutinas de mantenimiento para mantener estos componentes en buenas condiciones de operación.

Los cronogramas de mantenimiento fueron establecidos dada las largas jornadas de funcionamiento de los equipos, manuales de mantenimiento de los fabricantes, además de tener en cuenta lo expresado por la (Asociación Colombiana De Acondicionamiento Del Aire Y De La Refrigeración (ACAIRE), 2013) sobre instalaciones de equipos de aire acondicionado para establecimientos hospitalarios. “Es obligatorio Inspección mensual de las manejadoras para verificar estado de filtros, estado de bandejas (que no haya agua posada o suciedad en el equipo), especialmente verificar que no haya fugas”.

Todos los equipos de aire acondicionado del HUEM son de expansión directa, y al ser diseñado este plan de mantenimiento para los equipos más críticos, tiene total aplicación a los demás sistemas actualmente en operación. Teniendo en cuenta que el cronograma de mantenimiento debe ser ajustado a los requerimientos de cada instalación. Con el fin de evitar sobre costos en las labores de mantenimiento.

8. RECOMENDACIÓN.

El manejo correcto de los formatos diseñados es la parte más importante en la implementación del plan de mantenimiento. El personal de trabajo debe conocer a fondo los formatos y la información que tiene que ser plasmada en ellos, por lo cual es muy importante la socialización de estos formatos con todo el personal encargado del mantenimiento.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asociación Colombiana De Acondicionamiento Del Aire Y De La Refrigeración (ACAIRE). (Octubre de 2013). ACONDICIONAMIENTO DE AIRE PARA ESTABLECIMIENTOS HOSPITALARIOS Y SIMILARES. 4.

Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2011). Termodinámica. Mexico: McGraw Hill.

Cuartas Perez, L. A. (2008). *¿Qué es el mantenimiento?* Mexico.

del Castillo Serpa, A., Brito Ballina, M., & Fraga Guerra, E. (2009). Análisis de criticidad personalizados. *Ingeniería Mecánica*, 12 (3), 1-12.

García Garrido, S. (2003). Organización y gestión integral de mantenimiento. Madrid: Ediciones Díaz de Santos S.A.

Geisst, C. R. (2006). Encyclopedia of American Business History. Facts on File Library of American History.

Gómez de León, F. C. (1998). *Tecnología del mantenimiento industrial*. Murcia: Universidad de Murcia, Servicio de Publicaciones.

Huerta Mendoza, R. (2001). El analisis de criticidad, una metodologia para mejorar la confiabilidad operacional. *Club de Mantenimiento*, 6.

Hurtado, J. J., López, M. A., & Sandoval, R. J. (2005). Calidad del Aire en Centros Hospitalarios; Metodología de Auditoria.

Mora , W. (2015).

Moss, T., & Woodhouse, J. (1999). Criticality analysis revisited. *Quality and Reliability Engineering International*. , 117-121.

Olarte, W. C., Botero, M. A., & Benhur, C. A. (2010). IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL DENTRO DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN. *Scientia et Technica* (44), 354-356.

Pemex. (s.f.). <http://www.aprendizajevirtual.pemex.com/>. Obtenido de http://aprendizajevirtual.pemex.com/nuevo/guias_pdf/guia_sco_analisis_criticidad.pdf

Rajput, R. (2007). *ENGINEERING THERMODYNAMICS*. New Delhi: LAXMI PUBLICATIONS.

Ramírez Quintero, J. M. (2014). Tipos de mantenimiento. Pamplona.

Rey Sacristán, F. (2001). *Manual del mantenimiento integral en la empresa*. Madrid: Fundación Confemetal.

Rolle, K. C. (2006). *Termodinámica*. Mexico: Pearson Educación.

Scheffer, C., & Girdhar, P. (2004). *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance*. Elsevier.

Smith, R., & Mobley, K. (2003). *Industrial Machinery Repair: Best Maintenance Practices Pocket Guide*. Burlington: Elsevier Science.

Whitman, W. C., & Johnson, W. M. (2006). *Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado, Volume 1*. Madrid: Thomson.

10. ANEXOS

10.1 ANEXO 1

10.1.1 Estado actual BS1-60-009.

Tabla 14. Estado actual Banco de sangre 1.

	REGISTRO DE EQUIPOS AIRE ACONDICIONADO		FM-001
			PAG 1 - 1
FECHA: 10/Nov/2016	MARCA: TRANE	MODELO: 4TTA3060A4000BA	
CODIGO: BS1-60-009	SERIAL: 9481YH25F	UBICACIÓN: BANCO DE SANGRE 1	
CAPACIDAD: 60.000 BTU	REFRIGERANTE: R-410A	VOLTAJE: 440 V	
ESTADO ACTUAL:			
Equipo en muy buenas condiciones, aunque debe ser cambiada la correa de la turbina en la UMA.			
			

Fuente: El autor.

10.1.2 Estado actual BS2-60-010.

Tabla 15. Estado actual Banco de sangre 2.

	REGISTRO DE EQUIPOS AIRE ACONDICIONADO		FM-001
			PAG 1 - 1
FECHA: 10/Nov/2016	MARCA: TRANE	MODELO: 4TTA3060A4000BA	
CODIGO: BS2-60-010	SERIAL: 9481YD25F	UBICACIÓN: BANCO DE SANGRE 2	
CAPACIDAD: 60.000 BTU	REFRIGERANTE: R-410A	VOLTAJE: 440 V	
ESTADO ACTUAL:			
Equipo se encuentra en buenas condiciones de operación.			
			

Fuente: El autor.

10.1.3 Estado actual EST-277-008.

Tabla 16. Estado actual Estadística.

	REGISTRO DE EQUIPOS AIRE ACONDICIONADO		FM-001
			PAG 1 - 1
FECHA: 24/Oct/2016	MARCA: LG	MODELO: LKC300B000	
CODIGO: EST-277-008	SERIAL: 3850A27085F	UBICACIÓN: Estadística	
CAPACIDAD: 277.000 BTU	REFRIGERANTE: R22	VOLTAJE: 220V	
ESTADO ACTUAL:			
<p>El equipo esta compuesto por 4 compresores y dos circuitos de refrigeración. Actualmente solo están en funcionamiento 2 compresores es decir un circuito. El otro circuito (2 compresores) no esta operando por falencias en la acometida eléctrica. Los capacitores se encuentran oxidados pero en funcionamiento. Solicitar a encargados de mantenimiento eléctrico la intervención a la acometida eléctrica. De presentarse algún problema en el circuito en funcionamiento el equipo quedaría fuera de servicio.</p>			
			

Fuente: El autor.

10.1.4 Estado actual ESTE-180-026

Tabla 17. Estado actual Esterilización.

	REGISTRO DE EQUIPOS AIRE ACONDICIONADO		FM-001
			PAG 1 - 1
FECHA: 10/Nov/2016	MARCA: LG	MODELO: LK-C180BC00	
CODIGO: ESTE-180-026	SERIAL: 3050A270850	UBICACIÓN: ESTERILIZACIÓN	
CAPACIDAD: 180.000 BTU	REFRIGERANTE: R-22	VOLTAJE: 220 V	
ESTADO ACTUAL:			
Equipo se encuentra en buenas condiciones de operación.			
			

Fuente: El autor.

10.1.5 Estado actual MAT-118-027

Tabla 18. Estado actual Maternidad.

		REGISTRO DE EQUIPOS AIRE ACONDICIONADO		FM-001
				PAG 1 - 1
FECHA: 10/Nov/2016	MARCA: LG	MODELO: LK-C120BC00		
CÓDIGO: MAT-118-027	SERIAL: 3850A20893U	UBICACIÓN: MATERNIDAD		
CAPACIDAD: 118.000 BTU	REFRIGERANTE: R-22	VOLTAJE: 220 V		
ESTADO ACTUAL:				
<p>Este quipo esta compuesto por 2 compresores, actualmente solo esta en funcionamiento un circuito de refrigeración. El nuevo compresor ya esta en almacén para su instalación. Debe realizarse una limpieza de todo el circuito incluida válvula de expansión con el fin de eliminar aceite y demás impurezas presentes en la tubería, para la limpieza se recomienda utilizar el gas R-141b.</p>				
				

Fuente: El autor.

10.1.6 Estado actual PAT-360-034

Tabla 19. Estado actual Patología.

		REGISTRO DE EQUIPOS AIRE ACONDICIONADO		FM-001
				PAG 1 - 1
FECHA: 19/Nov/2016	MARCA: TRANE	MODELO: TRAE300E2420A100		
CÓDIGO: PAT-360-034	SERIAL: B011050720	UBICACIÓN: PATOLOGÍA		
CAPACIDAD: 360.000 BTU	REFRIGERANTE: R-22	VOLTAJE: 440 V		
ESTADO ACTUAL:				
El equipo se encuentra en buenas condiciones de funcionamiento.				
				

Fuente: El autor.

10.1.7 Estado actual QU1-36-001

Tabla 20. Estado actual Quirófano 1.

	REGISTRO DE EQUIPOS AIRE ACONDICIONADO		FM-001
			PAG 1 - 1
FECHA: 19/Nov/2016	MARCA: YORK	MODELO: N/A	
CÓDIGO: QU1-36-001	SERIAL: N/A	UBICACIÓN: QUIROFANO 1	
CAPACIDAD: 36.000 BTU	REFRIGERANTE: R-22	VOLTAJE: 220 V	
ESTADO ACTUAL:			
Este equipo utiliza un compresor recíprocante el cual presenta ruido en sus válvulas, debe ser reparado. Se debe realizar limpieza de serpentín.			
			

Fuente: El autor.

10.1.8 Estado actual QU2-36-002

Tabla 21. Estado actual Quirófano 2.

	REGISTRO DE EQUIPOS AIRE ACONDICIONADO		FM-001
			PAG 1 - 1
FECHA: 19/Nov/2016	MARCA: YORK	MODELO: N/A	
CÓDIGO: QU2-36-002	SERIAL: N/A	UBICACIÓN: QUIRÓFANO 2	
CAPACIDAD: 36.000 BTU	REFRIGERANTE: R-22	VOLTAJE: 220 V	
ESTADO ACTUAL:			
Las válvulas de servicio tanto de baja como de alta se encuentran en mal estado, deben ser cambiadas para poder verificar la presión de trabajo del gas refrigerante.			
			

Fuente: El autor.

10.1.9 Estado actual QU3-1-18-003

Tabla 22. Estado actual Quirófano 3-1.

	REGISTRO DE EQUIPOS AIRE ACONDICIONADO		FM-001
			PAG 1 - 1
FECHA: 19/Nov/2016	MARCA: LG	MODELO: N/A	
CÓDIGO: QU3-1-18-003	SERIAL: N/A	UBICACIÓN: QUIRÓFANO 3	
CAPACIDAD: 18.000 BTU	REFRIGERANTE: R-22	VOLTAJE: 220 V	
ESTADO ACTUAL:			
La presión del refrigerante esta por debajo de la nominal, en necesario recargar a la presión correcta de funcionamiento.			
			

Fuente: El autor.

10.1.10 Estado actual QU3-2-24-004

Tabla 23. Estado actual Quirófano 3-2.

		REGISTRO DE EQUIPOS AIRE ACONDICIONADO		FM-001
				PAG 1 - 1
FECHA: 19/Nov/2016	MARCA: LG	MODELO: N/A		
CÓDIGO: QU3-2-24-004	SERIAL: N/A	UBICACIÓN: QUIRÓFANO 3		
CAPACIDAD: 24.000 BTU	REFRIGERANTE: R-22	VOLTAJE: 220 V		
ESTADO ACTUAL:				
<p>La presión del refrigerante esta por debajo de la nominal, en necesario recargar a la presión correcta de funcionamiento.</p>				
				

Fuente: El autor.

10.1.11 Estado actual QU4-36-005

Tabla 24. Estado actual Quirófano 4.

	REGISTRO DE EQUIPOS AIRE ACONDICIONADO		FM-001
			PAG 1 - 1
FECHA: 19/Nov/2016	MARCA: YORK	MODELO: N/A	
CÓDIGO: QU4-36-005	SERIAL: N/A	UBICACIÓN: QUIRÓFANO 4	
CAPACIDAD: 36.000 BTU	REFRIGERANTE: R-22	VOLTAJE: 220 V	
ESTADO ACTUAL:			
Serpentin obstruido. Realizar limpieza.			
			

Fuente: El autor.

10.1.12 Estado actual QU5-18-006

Tabla 25. Estado actual Quirófano 5.

		REGISTRO DE EQUIPOS AIRE ACONDICIONADO		FM-001
				PAG 1 - 1
FECHA: 19/Nov/2016	MARCA: SIGMA	MODELO: SL24000		
CÓDIGO: QU5-24-006	SERIAL: N/A	UBICACIÓN: QUIRÓFANO 5		
CAPACIDAD: 24.000 BTU	REFRIGERANTE: R-22	VOLTAJE: 220 V		
ESTADO ACTUAL:				
Equipo en buenas condiciones de operación.				
				

Fuente: El autor.

10.1.13 Estado actual QU6-60-028

Tabla 26. Estado actual Quirófano 6.

	REGISTRO DE EQUIPOS AIRE ACONDICIONADO		FM-001
			PAG 1 - 1
FECHA: 19/Nov/2016	MARCA: COMFORSTAR	MODELO: NAC060AKA1	
CÓDIGO: QU6-60-028	SERIAL: L010281904	UBICACIÓN: QUIRÓFANO 6	
CAPACIDAD: 60.000 BTU	REFRIGERANTE: R-22	VOLTAJE: 220 V	
ESTADO ACTUAL:			
Serpentín obstruido debe ser cepillado.			
			

Fuente: El autor.

10.1.14 Estado actual QU7-36-031

Tabla 27. Estado actual Quirófano 7.

	REGISTRO DE EQUIPOS AIRE ACONDICIONADO		FM-001
			PAG 1 - 1
FECHA: 19/Nov/2016	MARCA: YORK	MODELO: BRCS0361BD	
CÓDIGO: QU7-36-031	SERIAL: 000576819	UBICACIÓN: QUIRÓFANO 7	
CAPACIDAD: 36.000 BTU	REFRIGERANTE: R-22	VOLTAJE: 220 V	
ESTADO ACTUAL:			
Serpentin se encuentran en estado de deterioro.			
			

Fuente: El autor.

10.1.15 Estado actual UCIM-1-36-024.

Tabla 28. Estado actual Unidad de cuidados intermedios 1.

	REGISTRO DE EQUIPOS AIRE ACONDICIONADO		FM-001
			PAG 1 - 1
FECHA: 10/Nov/2016	MARCA: STARLIGHT	MODELO: CV410-036-1	
CODIGO: UCIM1-36-024	SERIAL: CV13111109401	UBICACIÓN: URG. ADULTOS UNIDAD DE CUIDADOS INTERME	
CAPACIDAD: 36.000 BTU	REFRIGERANTE: R-410A	VOLTAJE: 220 V	
ESTADO ACTUAL:			
Equipo se encuentra en buenas condiciones de operación.			
			

Fuente: El autor.

10.1.16 Estado actual UCIM-2-36-025.

Tabla 29. Estado actual Unidad de cuidados intermedios 2.

	REGISTRO DE EQUIPOS AIRE ACONDICIONADO		FM-001
			PAG 1 - 1
FECHA: 10/Nov/2016	MARCA: STARLIGTH	MODELO: CV-410-036-1	
CODIGO: UCIM-2-36-025	SERIAL: CV13111109402	UBICACIÓN: URG. ADULTOS UNIDAD CUIDADOS INTERMED	
CAPACIDAD: 36.000 BTU	REFRIGERANTE: R-410A	VOLTAJE: 220 V	
ESTADO ACTUAL:			
Equipo se encuentra en buenas condiciones de operación.			
			

Fuente: El autor.

10.1.17 Estado actual URGA-1-72-029

Tabla 30. Estado actual Urgencias adultos 1.

	REGISTRO DE EQUIPOS AIRE ACONDICIONADO		FM-001
			PAG 1 - 1
FECHA: 19/Nov/2016	MARCA: TRANE	MODELO: 2TTA0072A4000AA	
CÓDIGO: URGA-1-72-029	SERIAL: 8475N2M2F	UBICACIÓN: URGENCIAS ADULTOS 1	
CAPACIDAD: 72.000 BTU	REFRIGERANTE: R-22	VOLTAJE: 440 V	
ESTADO ACTUAL:			
Equipo en muy buenas condiciones.			
			

Fuente: El autor.

10.1.18 Estado actual URGA-2-72-030

Tabla 31. Estado actual Urgencias adultos 2.

	REGISTRO DE EQUIPOS AIRE ACONDICIONADO		FM-001
			PAG 1 - 1
FECHA: 19/Nov/2016	MARCA: TRANE	MODELO: 2TTA0072A4000AA	
CÓDIGO: URGA-2-72-030	SERIAL: 92931R12F	UBICACIÓN: URGENCIAS ADULTOS 2	
CAPACIDAD: 72.000 BTU	REFRIGERANTE: R-22	VOLTAJE: 440 V	
ESTADO ACTUAL:			
Equipo en muy buenas condiciones.			
			

Fuente: El autor.

10.1.19 Estado actual URGA-3-120-032

Tabla 32. Estado actual Urgencias adultos 3.

	REGISTRO DE EQUIPOS AIRE ACONDICIONADO		FM-001
			PAG 1 - 1
FECHA: 19/Nov/2016	MARCA: TRANE	MODELO: TTA120D400AA	
CÓDIGO: URGA-3-120-032	SERIAL: 9521N45AD	UBICACIÓN: URGENCIAS ADULTOS 3	
CAPACIDAD: 120.000 BTU	REFRIGERANTE: R-410A	VOLTAJE: 440 V	
ESTADO ACTUAL:			
Serpentín se encuentra obstruido. Realizar limpieza con agente químico desincrustante.			
			

Fuente: El autor.

10.1.20 Estado actual URGA-4-120-033

Tabla 33. Estado actual Urgencias adultos 4.

	REGISTRO DE EQUIPOS AIRE ACONDICIONADO		FM-001
			PAG 1 - 1
FECHA: 19/Nov/2016	MARCA: TRANE	MODELO: TTA120D400AA	
CÓDIGO: URGA-4-120-033	SERIAL: 9521R1AAD	UBICACIÓN: URGENCIAS ADULTOS 3	
CAPACIDAD: 120.000 BTU	REFRIGERANTE: R-410A	VOLTAJE: 440 V	
ESTADO ACTUAL:			
Serpentín se encuentra obstruido. Realizar limpieza con agente químico desincrustante.			
			

Fuente: El autor.

10.1.21 Estado actual URGP-1-60-022.

Tabla 34. Estado actual Urgencias pediátricas 1.

	REGISTRO DE EQUIPOS AIRE ACONDICIONADO		FM-001
			PAG 1 - 1
FECHA: 10/Nov/2016	MARCA: Comfortstar	MODELO: BAR-60-3	
CODIGO: URGP-1-60-022	SERIAL: 8111150000135	UBICACIÓN: URGENCIAS PEDIÁTRICAS GENERAL 1	
CAPACIDAD: 60.000 BTU	REFRIGERANTE: R-22	VOLTAJE: 220 V	
ESTADO ACTUAL:			
Serpentines obstruidos y en malas condiciones. Deben ser cepillados.			
			

Fuente: El autor.

10.1.22 Estado actual URGP-2-60-021.

Tabla 35. Estado actual Urgencias pediátricas 2.

	REGISTRO DE EQUIPOS AIRE ACONDICIONADO		FM-001
			PAG 1 - 1
FECHA: 10/Nov/2016	MARCA: TOTALINE	MODELO: CAC060HAC	
CODIGO: URGP-2-60-021	SERIAL: E034509606	UBICACIÓN: URGENCIA PEDIATRIA GENERAL 2	
CAPACIDAD: 60.000 BTU	REFRIGERANTE: R-22	VOLTAJE: 220 V	
ESTADO ACTUAL:			
Serpentín evaporador y serpentín condensador se encuentran obstruidos y en mal estado. Realizar limpieza con agente químico y cepillar serpentines.			
			

Fuente: El autor.

10.2 ANEXO 2

10.2.1 Análisis criticidad Capacitor.

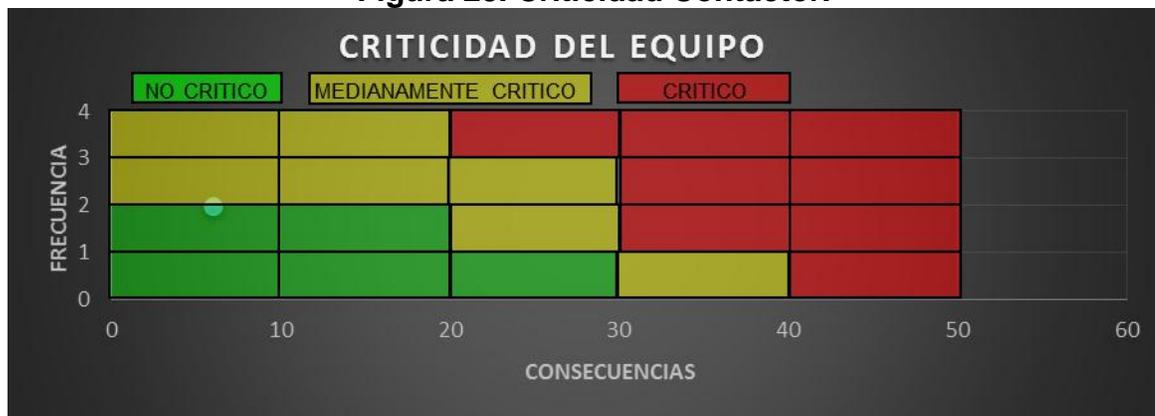
Figura 22. Criticidad Capacitor.



Fuente: El autor.

10.2.2 Análisis criticidad Contactor.

Figura 23. Criticidad Contactor.



Fuente: El autor.

10.2.3 Análisis criticidad compresor.

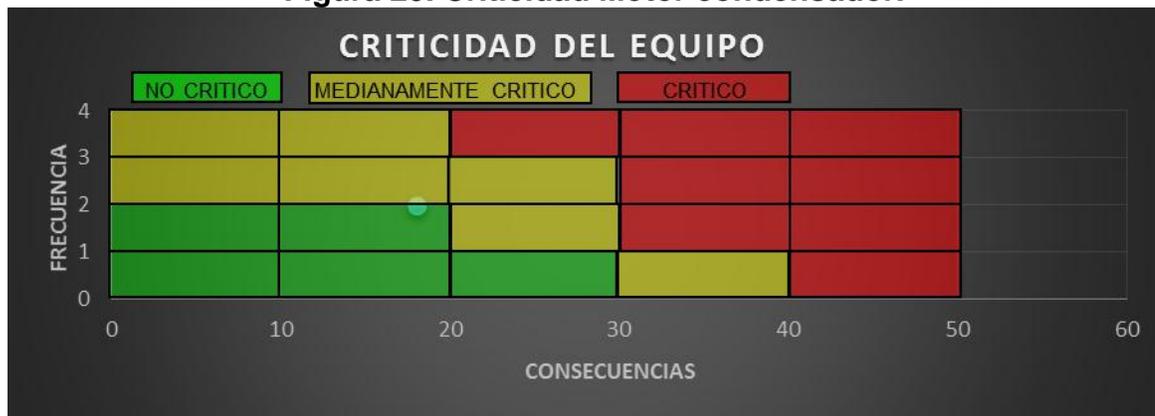
Figura 24. Criticidad Compresor.



Fuente: El autor.

10.2.4 Análisis criticidad motor condensador.

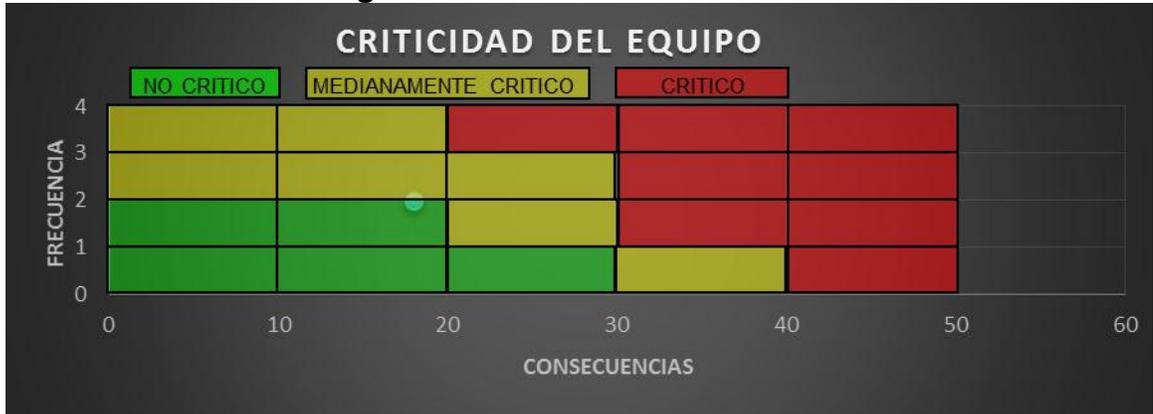
Figura 25. Criticidad Motor condensador.



Fuente: El autor.

10.2.5 Análisis criticidad motor turbina.

Figura 26. Criticidad Motor turbina.



Fuente: El autor.

10.2.6 Análisis criticidad tarjeta electrónica.

Figura 27. Criticidad Tarjeta electrónica.



Fuente: El autor.