



## Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para las Unidades de Enfriamiento del Hospital Dr. Adolfo Pons

Maintenance Plan Focused on Reliability for the Cooling Units of the Hospital Dr. Adolfo Pons

Oscar Contreras. [oscar.alfonso22@hotmail.com](mailto:oscar.alfonso22@hotmail.com)

Arturo Morillo. [arturoj26m@gmail.com](mailto:arturoj26m@gmail.com)

Osman Soto. [osmanasotog@gmail.com](mailto:osmanasotog@gmail.com). Universidad Privada Dr. Rafael Bellosó Chacín

### Resumen

La investigación tuvo como objetivo fundamental proponer un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para las unidades de enfriamiento del hospital Adolfo Pons de la ciudad de Maracaibo, Venezuela, sustentada por autores como Duffuaa, E Raouf, J y Dixon, E (2008), Nava, P (2005) y Leal, L y Zambrano, D (2008). La metodología empleada fue de tipo descriptiva, no experimental, de campo, transaccional, como instrumento para la recolección de los datos se aplicaron, entrevistas no estructuradas, el guion de entrevista y el block de notas. Los resultados evidenciaron que los equipos no tenían un procedimiento de inspecciones acorde a lo establecido en la norma Covenin 2500-93, así como presencia de focos de corrosión en líneas del fluido frío de los equipos de enfriamiento Chillers y ductos de expansión directa. Por otra parte, el análisis de fallas estableció un indicador de número prioritario de riesgo, se estimó la matriz de criticidad, detectando e identificando los componentes eléctricos más susceptibles a fallas, así como la presencia de obsolescencia en los equipos. El plan de mantenimiento desarrollado basado en NPR de mayor rango busca mejorar la confiabilidad en función del número de paradas y tiempos de reparación de los sistemas de enfriamiento por órdenes y/o prioridades en áreas críticas del hospital, mediante la formulación de estrategias que permitan la recuperación de estos dispositivos.

**Palabras Claves:** Confiabilidad, fallas, mantenimiento, equipos de enfriamiento, hospital.

### Abstract

The objective of this research was to propose a maintenance plan focused on reliability for the cooling units of the Adolfo Pons hospital in the city of Maracaibo, Venezuela, supported by authors such as Duffuaa, E Raouf, J and Dixon, E (2008), Nava, P (2005) and Leal, L and Zambrano, D (2008). The methodology used was descriptive, non-experimental, field, transactional, as an instrument for data collection, unstructured interviews, the interview script and the notepad were applied. The results showed that the equipment did not have an inspection procedure in accordance with the provisions of the Covenin 2500-93 standard, as well as the presence of sources of corrosion in the cold fluid lines of the cooling equipment (chillers) and direct expansion ducts. On the other hand, the failure analysis established an indicator of priority risk number, the criticality matrix was estimated, detecting and identifying the electrical components most susceptible to failure, as well as the presence of obsolescence in the equipment. The maintenance plan developed based on the highest ranking NPR seeks to improve reliability based on the number of stops and repair times of the cooling systems by orders and / or priorities in critical areas of the hospital, by formulating strategies that allow the recovery of these devices.

**Keywords:** Reliability, failures, maintenance, cooling equipment, hospital.



## Introducción

Durante los últimos 20 años las filosofías de mantenimiento han cambiado principalmente por el aumento de la competencia y la demanda de productos de alta calidad y tiempos de entrega; donde las grandes industrias requieren manejar un proceso de producción automatizado. Para evitar paradas imprevistas en el sistema o altos costos en reparaciones, se debe garantizar que los equipos sean confiables para desempeñar sus funciones. Cada vez existen más variedad de activos físicos (plantas, equipos, maquinaria, edificaciones, entre otros), con diseños más complejos, estos deben ser mantenidos mediante nuevos métodos de conservación y una óptica cambiante en la organización de acuerdo a los objetivos corporativos establecidos.

Según Duffuaa, E Raouf, J y Dixon, E (2008) "El mantenimiento se define como la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o un sistema se mantiene en, o se restablece a un estado en el que puede realizar las funciones designadas." Entre las nuevas metodologías, existe el mantenimiento centrado en la confiabilidad desarrollado por las aerolíneas comerciales en Norteamérica en los años 50', y décadas después en Venezuela por la antigua empresa petrolera Maraven S.A. en 1994.

El objetivo del mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) es prevenir las fallas que traen consigo efectos negativos en los equipos críticos disminuyendo al máximo los posibles riesgos al personal, permitiendo su función óptima de manera segura dentro de los parámetros operacionales con una aplicación efectiva de los recursos disponibles.

En Latinoamérica es muy variada la implementación de los tipos de tecnología de mantenimiento en los hospitales y salas de cirugía de la región, donde falta mucho por avanzar en cuanto al uso de nuevos activos de climatización óptimos para el bienestar de los pacientes como trabajadores en los hospitales. También existen normas en el área pública para la certificación de establecimientos de atención médica como lo son las normas ASHRAE (Sociedad Americana de Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción) asociación de la cual se basan muchos hospitales latinoamericanos para el confort y funcionamiento de sus equipos de refrigeración en los recintos hospitalarios.

En la actualidad zuliana, en ámbito hospitalario; se encuentra el Hospital del Seguro Social Dr. Adolfo Pons, construido en 1983 en honor al Dr. Adolfo Pons, quien nació el 19 de mayo de 1914 en Maracaibo, estado Zulia, Venezuela, fue un reconocido médico, escritor y docente egresado de la Universidad Central de Venezuela. La entidad cuenta con diversas maquinarias de climatización ambiental: Dos Water Chillers de 200 toneladas (Tn) con siete climatizadores (UMA), dos torres de enfriamiento, bombas de agua congelada y condensada, y equipos de expansión directa (5, 10 y 20 tn) distribuidos por todas las instalaciones.

El hospital cuenta con oficinas, pasillos, salas de emergencia, quirófano, salas de parto, entre otras instalaciones; donde gran parte de las áreas se encuentran sin el ambiente apropiado para realizar las cirugías, brindar confort climático y garantizar el cuidado de enfermos. Esto se debe a la falta de planes de mantenimiento en las unidades de enfriamiento; fomentando el desgaste de las mismas con el tiempo y produciendo que gran parte de ellas queden fuera de servicio por los altos costos correctivos. Si esto no se trata inmediatamente, promoverá el incremento de la multiplicación de bacterias, costos muy elevados por corrección, como consecuencia pacientes con menos esperanza de vida.

Por tanto, se propone un programa de mantenimiento ajustado a la fiabilidad de los equipos, donde el personal técnico en refrigeración del hospital tenga un soporte para revisiones,



mediciones, reemplazos, ajustes y reparaciones necesarias para vigilar y/o restituir un equipo dentro del rango de parámetros especificados para el correcto cumplimiento de sus funciones, evitando averías, alargando la vida útil de las unidades de enfriamiento del Hospital Dr. Adolfo Pons. Su eficacia exigirá la elaboración de rutinas de mantenimiento, cronogramas de trabajo, descripción de las actividades a ejecutarse, listado de materiales, repuestos, maquinarias y herramientas y el personal requerido para su correcta ejecución.

### **Objetivo General**

Proponer un Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para las unidades de enfriamiento del Hospital Dr. Adolfo Pons.

### **Objetivos Específicos**

Diagnosticar la situación actual de las condiciones físicas de las unidades de enfriamiento del Hospital Dr. Adolfo Pons.

Análisis cualitativo- cuantitativo de fallas en las unidades de enfriamiento.

Elaboración de instrucciones técnicas para las unidades de enfriamiento.

### **Metodología**

De acuerdo a los fines del estudio de investigación, la misma se presenta como descriptiva, sosteniendo esta afirmación correspondiente con los criterios expuestos por Arias, F (2016) "La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo con el fin de establecer su estructura o compartimiento". De lo antes expuesto la investigación se considera descriptiva ya que estuvo dirigida al estudio de las unidades de enfriamiento Chillers y de expansión directa, identificando sus partes correspondientes y capacidad de disminución de temperatura para el área asignada.

Con respecto a lo mencionado anteriormente, esta investigación se clasifica como proyectiva, puesto que buscó el desarrollo de la propuesta para un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad a fin de mitigar las fallas en las unidades enfriadoras dentro del lugar de análisis como también la factibilidad económica del mismo, y con ello mejorar las operaciones hospitalarias y el confort dentro del mismo.

En cuanto al diseño de la investigación, la autora Bavaresco, A (2013) define "Una investigación de campo se realiza en el propio sitio donde se encuentra el objeto de estudio. Ello permite el conocimiento más a fondo del problema por parte de los investigadores y puede manipular los datos con seguridad." Partiendo de esta definición se llevó a cabo, de manera directa mediante un diagnóstico visual y operacional en las unidades de enfriamiento, realizando un análisis riguroso del funcionamiento del lugar donde se encuentra para así determinar su criticidad.

Para los autores Hernández y otros (2017) las investigaciones no experimentales son aquellas que observan situaciones ya existentes en las variables y no es posible manipularlas o provocarlas para conseguir un resultado en concreto. Sólo se puede extraer información u observaciones sobre los fenómenos que inciden en la variable en su estado natural para luego ser analizados. De esta forma, la investigación se clasifico como no experimental por no manipularse

las variables para conseguir un determinado resultado, en este caso las unidades de enfriamiento del hospital.

Por otra parte, Chávez, N (2014), define la población de un estudio como el universo de la investigación, sobre el cual se pretende generalizar los resultados. Está constituida por características que le permiten constituir los objetivos, uno de otros.” La investigación quedó conformada de la siguiente forma:

Cuadro 1. Población

<b>Personal</b>	<b>Cantidad de sujetos</b>
Asistente Técnico de mantenimiento	4
Ayudante de servicios generales	9
Técnico en reparación de mantenimiento	1
Operador de planta	1
Jefe del departamento de mantenimiento	1
<b>Total</b>	<b>16</b>

Fuente: Departamento de Mantenimiento del Hospital Dr. Adolfo Pons (2019).

A modo de explicación, el cuadro anterior representa la población tomada a través registros proporcionados en el lugar de estudio, donde se pudo evidenciar la cantidad de personal de mantenimiento disponibles diferenciados por sus roles para el desarrollo de las diversas actividades.

Cuadro 2. Unidades de Enfriamiento

<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>
Expansión Directa	41
Chiller	2
<b>Total Unidades de Enfriamiento</b>	<b>43</b>

Fuente: Departamento de Mantenimiento del Hospital Dr. Adolfo Pons (2019).

El cuadro poblacional anterior describe la cantidad total de unidades de expansión directa y chillers que dispone actualmente el Hospital Dr. Adolfo Pons, comprendiendo un total de 43 unidades de enfriamiento donde se procedió posteriormente a determinar su estado operativo.

## **Fundamentación Teórica**

### **Fallas**

Según Martínez (2014), las fallas impiden que se cumpla el desempeño de acuerdo a estándares o requisitos funcionales como: propiedades físicas, patrones de diseño, características



de operación o disponibilidad requerida. Una desviación de los parámetros antes descritos se conoce como falla funcional. Las fallas funcionales se clasifican en tres grandes grupos:

- a) Pérdida total de la función
- b) Pérdida parcial de la función
- c) Función errónea.

Por su parte, Sifonte (2017), establece la falla es el fin de la capacidad para desempeñar la función requerida. Se presenta cuando dicho componente o equipo sale de especificaciones. Las especificaciones son los límites de los parámetros de trabajo del equipo o componente. El tiempo que un componente trabaja una vez comenzada la falla, se encuentra en condición de averiado. Avería es el estado de un ítem caracterizado por la incapacidad de desempeñar la función requerida. En consecuencia, los autores concuerdan que un fallo significa que un componente o un sistema no satisfacen o no funciona de acuerdo con las especificaciones dadas o preestablecidas.

### Frecuencia de la Falla.

Según Nava (2005), la frecuencia debe calcularse en base a la Curva P-F basados en el costo de las inspecciones versus el costo de no poder predecir la falla debido a lo anteriormente expuesto y, como una forma para calcular de manera formal la frecuencia de las inspecciones predictivas, se desarrolla a continuación un modelo matemático que proporciona el valor del tiempo entre inspecciones predictivas. El valor del intervalo entre inspecciones predictivas será directamente proporcional a tres factores: el factor de costo, el factor de falla y el factor de ajuste. Así, la relación matemática estará definida como:

$$I = CxFxA \quad (1)$$

Dónde:

C: Factor de Costo

F: Factor de Falla

A: Factor de Ajuste

Para calcular este factor se utiliza la función matemática de probabilidad de Poisson: logaritmo natural multiplicada por  $-1$  ( $-\ln$ ), tomando en cuenta la probabilidad de ocurrencia de más de cero fallas en un año. A mayor probabilidad de ocurrencia, el intervalo de inspección predictiva se reducirá de forma exponencial.

Por su parte, Sánchez y González (2017), establecieron que es la probabilidad de falla casi inmediata de un equipo al llegar a un tiempo determinado de operación, expresado en número de falla en base al tiempo; donde gráficamente es expresada bajo la curva de la bañera y los patrones de comportamiento de las fallas, esquematizando las siguientes variaciones para efectos de la curva de la bañera:

Zona de Mortalidad Infantil o de "Arranque" de tendencia decreciente.

Zona de Operación Normal o de "Fallas al Azar", con tendencia constante.

Zona de Descaste de tendencia creciente.



Consecuentemente, para efectos de esta investigación, vale decir que la rata de fallas evoluciona a lo largo de la duración de vida de un equipo, relacionándose directamente con la condición del mismo equipo, en función de su edad técnica; cuando se aplica la estrategia de operar hasta la falla, el equipo obedece a una ley de degradación desconocida.

### **Plan de Mantenimiento**

Alpizar (2010) en su publicación denominada Mantenimiento, enfatizó que un plan o programa se divide en tradicional y moderno. Un plan tradicional se basa principalmente en la estrategia número tres enunciada arriba, “operar hasta la falla”. Se concentra en la habilidad para reparar rápidamente, en la disponibilidad de personal entrenado y el contar con los repuestos necesarios y las herramientas adecuadas en el momento de la falla.

Finalmente, un plan de mantenimiento moderno consiste en la combinación de varias estrategias que deben ser escogidas para mantener la planta. La autoridad responsable de las funciones de mantenimiento es la encargada de establecer o modificar, según se requiera, el plan de mantenimiento. En consecuencia, de lo expuesto por los autores, y la correlación existente en sus definiciones, para efectos de esta investigación se considera lo postulado por García (2012), quien determinó el plan de mantenimiento como el conjunto de tareas que hay que realizar en ésta antes de que ocurra un fallo, y precisamente con la intención de evitarlo.

### **Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad**

Para Duffuaa et al (2008), el mantenimiento centrado en confiabilidad es un proceso utilizado para determinar los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto operacional. Una filosofía de gestión de mantenimiento, en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas del mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, tomando en cuenta los posibles efectos que originaran los modos de falla de estos activos, a la seguridad, al ambiente y a las operaciones.

El objetivo de un análisis de MCC es generar las tareas de mantenimiento adecuadas para minimizar la recurrencia de los modos de fallas y/o mitigar las consecuencias de su ocurrencia. El corazón de este proceso es una metodología de análisis sistemático de los Modos y Efectos de Falla (AMEF), que pudieran ocurrir en un equipo específico, evaluados en su contexto operacional. De este análisis se desprenden las posibles causas y mecanismos de fallas, y en consecuencia pueden inferirse las actividades preventivas, predictivas, detectivas y/o correctivas requeridas para evitar las fallas y/o mitigar sus consecuencias.

En base a lo antes descrito, se puede definir el mantenimiento centrado en confiabilidad como un proceso usado para determinar lo que se debe hacer para asegurar activo, equipo, sistema o instalación. También implica el conocimiento con gran detalle de las condiciones que se prestan para realizar este servicio, y, sobre todo, las condiciones que interrumpen o dificultan, es decir, las fallas.

## Resultados

Se considera relevante para todo equipo, por lo tanto, con una adecuada planificación del mantenimiento centrado en la confiabilidad se pretende minimizar las principales fallas presentes en los componentes que conforman las unidades de enfriamiento, tanto Chiller como Expansión Directa en el Hospital Dr. Adolfo Pons. Con la finalidad de cumplir con los objetivos a implementar para este trabajo investigación se desarrollaron cuatro fases relacionadas con las bases teóricas para el campo de estudio.

### Fase I: Diagnóstico de la Situación Actual

Se realizó la evaluación de las condiciones físicas de los equipos de expansión directa y Chillers, así como de sus componentes, tomando en cuenta que una parada de los equipos se traduce en pérdidas humanas, materiales, económicas y de tiempo. El diagnóstico se realizó a través de una inspección visual, identificando fallas existentes y condiciones inseguras cuya continuidad provocaría consecuencias negativas en su capacidad de rendimiento y operatividad para realizar sus funciones.

A continuación se muestran detalles de la condición física referente al estado como se encontraron los equipos de expansión directa del Hospital Dr. Adolfo Pons, al momento de llevar a cabo la investigación, obtenidas durante la inspección visual y registro fotográfico para su posterior análisis, encontrándose fallas en componentes y condiciones inseguras que pueden ocasionar incidentes o accidentes laborales del personal que labora en dicho hospital.

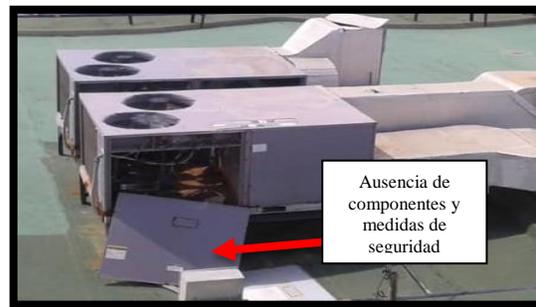


Figura 1 Condición física de los equipos de expansión directa  
Fuente: Elaboración Propia (2019)

En referencia de la Figura 2 “Equipo de expansión directa”, se aprecia la condición física en la cual se encontró dicha unidad de enfriamiento, presentando ausencia de componentes y medidas de seguridad; situación insegura evidente dejando expuesto el sistema interno ante lluvias y polvo; produciendo corrosión y obstrucción de componentes cuyos efectos son apreciables por los operadores en circunstancias normales. Se observó el panel del condensador obstruido, deteriorado y corrosión en cubierta. Cabe destacar, los equipos también presentaron fallas ocultas cuyos efectos no son apreciables.



Figura 2. Condición física de los equipos de expansión directa  
Fuente: Elaboración Propia (2019)

La Figura 3 del equipo Chiller muestra la condición física en que se encontró la unidad de enfriamiento, presentando fugas de fluido y existencia de hongos en sus componentes.



Figura 3 Condición física de los equipos Chillers  
Fuente: Elaboración Propia (2019)

En la Figura 4, el equipo de Chiller del Hospital Dr. Adolfo Pons para el momento de la investigación, mostró fuga de agua presente en las válvulas del sistema de enfriamiento, así como averías en las mismas y tubería con alto grado de corrosión.



Figura 4. Condición física de los equipos Chillers  
Fuente: Elaboración Propia (2019)

En la siguiente figura 5 se pueden apreciar las tuberías de flujo de agua helada y condensada de los Chillers, presentando ausencia de bombas de agua helada y condensada, ocasionando que el sistema no trabaja de forma óptima ni bajo condiciones acorde a las especificaciones para las cuales fueron diseñadas. Cabe destacar, los equipos también presentaron fallas ocultas cuyos efectos no son apreciables con una inspección visual externa.



Figura 5. Condición física de los equipos Chillers  
Fuente: Elaboración Propia (2019)

## Fase II. Análisis del Modo y Efectos de Fallas

Con la finalidad de darle cumplimiento al desarrollo del segundo objetivo específico de la investigación, referido al análisis cualitativo-cuantitativo de fallas en las unidades de enfriamiento objeto de estudio, se toma como referencia la segunda fase de la metodología seleccionada, a través del Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF) para identificar las fallas que pueden ocurrir en los diversos sistemas de enfriamiento y del mismo modo vaciar los resultados obtenidos en un formato de registro para así llevar un seguimiento de los eventos irregulares presentados en los equipos.

Con la información registrada anteriormente se evidenciaron a nivel cuantitativo los diferentes aspectos considerados para la obtención del número prioritario de riesgo (NPR) e identificarlo con cada falla, este aplicado por la Ford Motors en el año 2008 quienes utilizan esta metodología para la clasificación de las diversas fallas que afectan directamente a sus procesos productivos.

Del mismo modo se procedió a realizar un formato de Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF), desarrollado para identificar las diferentes fallas presentes en las unidades de enfriamiento de hospital Dr. Adolfo Pons, concordancia con los autores Duffua et al (2008), quienes señalan la utilización de esta herramienta como parte fundamental para la implementación de un mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC).

Este formato consta de especificaciones de identifican el equipo, así como también cada falla potencial y sus diferentes características, tales como: Nombre del producto, Código, Operación, Descripción del proceso/ identificación de la falla, Propósito del proceso, Modo de falla potencial, Efecto potencial de falla, Causa potencial de falla, Controles actuales y por supuesto el nivel de NPR (numero prioritario de riesgo) obtenido por los cálculos anteriormente explicados.

**Cuadro 3.**

**Análisis de modo y efecto de fallas para los sistemas de climatización agua helada (Chillers).**

ANÁLISIS de MODO y EFECTO de FALLO (AMEF)										Revisado N°: 0			
Producto	Chiller		Operación	Climatización			Responsable:						
Código	HAP-WC-001		NPR mayor a	280			Fecha:	07/6/2019					
N°	Descripción del proceso / Identificación	Propósito del proceso	Modo de Falla potencial	Efectos potenciales de falla	Causa potencial de la falla	Controles actuales	Acciones recomendadas	Área/responsable /Fecha de Cierre	Resultado de acciones				
									Severidad	Ocurrencia	Detección	NPR	
1	Falla en el relé de arranque.	Enviar energía automáticamente a los componentes	Descontrol en el sistema	Parada en el sistema	Eléctrico	Cumplimiento de su vida útil, acumulación de polvo y humedad	Reemplazar el componente	No permitir la entrada de polvo y humedad	Personal de mantenimiento	8	6	5	240
2	Fallas en contactores	Suministrar energía	Corto circuito	Se detiene el paso de la corriente hacia los componentes destinados		Desgaste de los contactos, mal ajuste y corrosión y humedad en el núcleo	Reemplazar el componente	Ajustar adecuadamente los contactos	Personal de mantenimiento	8	6	5	240
3	Desalineación de tarjeta electrónica	Controlar automáticamente los procesos internos del sistema	Lecturas erróneas	Parada del sistema		Vibración continua cajera de comando	Ajustes eventuales del tablero eléctrico	Inspeccionar frecuentemente el tablero eléctrico	Personal de mantenimiento	9	5	5	225
4	Display averiado	Manejar y supervisar las funciones del equipo	No visibilidad o lecturas erróneas	El equipo no puede ser supervisado y controlado mediante lecturas	Eléctrico	Humedad y cumplimiento de su vida útil	Reemplazar el componente	Reemplazar por uno nuevo cuando falle	Personal de mantenimiento	2	4	4	32

Fuente: Elaboración Propia (2019)

Según se muestra en el Cuadro 3 del AMEF, se clasificaron las fallas ocurridas dentro de las unidades de enfriamiento por subsistema: eléctrico, mecánico e hidráulico. Se observa, cada columna está dividida por una clasificación o encasillamiento donde se evaluaron las características de cada falla presentada junto con su justificación de avería, recomendaciones para mitigarla y el cálculo del NPR según las tablas de severidad, ocurrencia y detección.

Una vez inspeccionado el AMEF respectivo de las unidades de enfriamiento por agua helada resultando algunas fallas presentadas no poseen un control de prevención debido al no disponer de personal o grupo de trabajo capacitado para llevar a cabo el mantenimiento solicitado, mientras otras pueden ser corregidas con el remplazo de componentes; en su mayoría, eléctricos (Escola, 2007). En el Cuadro 4, se presenta el análisis de modo y efecto de fallas para los sistemas de climatización por expansión directa del Hospital Dr. Adolfo Pons separado por su respectivo subsistema (eléctrico, mecánico e hidráulico).

Del mismo modo como se realizó en el AMEF para los sistemas de climatización, en el cuadro 4 se muestran los datos recolectados para las unidades de expansión directa, donde se observa parte de los controles del hospital para prevenir las fallas son los reemplazos de componentes eléctricos y la limpieza, en la cual se recomienda tomar acciones más amplias para atender el subsistema mecánico y asignar personal capacitado para a fin de aumentar la disponibilidad del mismo en cuanto a cantidad.

Cuadro 4.

Análisis de modo y efecto de fallas para los sistemas de climatización por Expansión directa.

ANÁLISIS de MODO y EFECTO de FALLO (AMEF)										Revisado N°		0	
N°	Producto	Expansión directa		Operación	Climatización					Responsable	Fecha		
	Código	HAP-ED-001-UCI		NPR mayor a	280					Revisado por			
N°	Descripción del proceso / Identificación	Propósito del proceso	Modo de Falla potencial	Efectos potenciales de falla	Causa potencial de la falla	Controles actuales	Acciones recomendadas	Area/responsable /Fecha de Cierre	Resultado de acciones				
									Severidad	Ocurrida	Detección	NPR	
1	Falla en el relé de arranque	Enviar energía automáticamente a los componentes	Descontrol en el sistema	Parada en el sistema	Eléctrico	Cumplimiento de su vida útil, acumulación de polvo y humedad	Reemplazar el componente	No permitir la entrada de polvo y humedad	Personal de mantenimiento	8	7	5	280
2	Averías eléctricas en la brequera	Control del flujo de corriente en las unidades	Corto circuito	Daños en componentes eléctricos		Fluctuación de alto y bajo voltaje	Ninguno	Revisar que las conexiones y componentes no estén sulfatados	Personal de mantenimiento	6	10	1	60
3	Cableado mal conectados		Corto circuito	Daño en componentes eléctricos		Cables sin aislamiento	Cinta aislante adhesiva	Realizar mantenimientos a los equipos desenergizados	Personal de mantenimiento	10	3	9	270
4	Falla del contactor	Suministrar energía	Corto circuito y puntos calientes	Suministro de energía eléctrica detenido		Desgaste de los contactos, mal ajuste y corrosión en el núcleo	Reemplazar el componente	Ajustar adecuadamente los contactos	Personal de mantenimiento	8	3	4	96

Fuente: Elaboración Propia (2019)

Antes de iniciar con el análisis de criticidad correspondiente se procedió a elaborar un cuadro comparativo justificando la utilización de la metodología del NPR para determinar la criticidad el cual es identificado como el más factible mediante una lista de selección caracterizada con diversos ítems tomados en consideración para la investigación. Dicho esto, se muestra el siguiente cuadro.

Para el desarrollo del siguiente cuadro 5, se identificó el método a utilizar a través de una técnica de selección simple comparando los métodos NPR, Método de Ciliberti, Método Global y Método General, para entonces concluir mediante un slash la elección del método a aplicar siendo el NPR el que más se adapta a la metodología aplicada en la presente investigación siendo este el de más fácil comprobación, métodos numéricos efectivos para la identificación de los aspectos a evaluar, ayuda a determinar la criticidad tanto interna como externa en el estudio de activos e identificar de manera precisa las fallas o factores potenciales para el funcionamiento confiable de sistema determinado (Nava, 2005).

Cuadro 5.

Comparación para la metodología utilizada en el Análisis de Criticidad

Ítems	Método NPR	Método de Ciliberti	Método Global	Método General
Fácilmente comprobable	✓	✓	✓	✓
Utiliza métodos numéricos efectivos para la identificación de los aspectos a evaluar	✓	X	✓	X
Determina la criticidad tanto interna como externa en el estudio de activos y sus características	✓	✓	✓	✓
Fácil implementación	✓	✓	X	✓
Identifica de manera precisa las fallas o factores potenciales para el funcionamiento confiable de sistema determinado	✓	X	✓	X

Fuente: Elaboración Propia (2019)

Una vez evidenciadas todas las fallas, a modo de análisis cuantitativo se obtuvo el número prioritario de riesgo (NPR) el cual estudia criterios a para caracterizar las diversas fallas a suscitar y como pueden afectar a los usuarios que manipulan o se encuentran cerca de un equipo con fallas. En el siguiente cuadro se jerarquizan de mayor a menor las fallas de los Chiller según su número prioritario de riesgo y su nivel de criticidad (alto, medio y bajo).

Cuadro 6.  
NPR por fallas del Chiller

N° de Falla	NPR	Criticidad
9	280	<b>Alta</b>
1	240	
2	240	
3	225	
5	160	<b>Media</b>
7	150	
8	140	
6	120	
12	105	
13	100	<b>Baja</b>
11	50	
10	40	
4	32	

**Fuente:** Elaboración Propia (2019)

El cuadro anterior muestra las fallas con su NPR correspondiente, donde se observa, las fallas con la criticidad de mayor Riesgo son 1, 2, 3, y 9, por tanto, son de mayor atención para su mitigación por el nivel de impacto a causar en los Chillers. Igualmente, para las unidades de expansión directa se realizó la tabla de criticidad con las mismas especificaciones y número de fallas, ordenando el NPR de mayor a menor caracterizando las de mayor cantidad como más críticas y de mayor impacto partiendo de los aspectos analizados en el formato AMEF.

Cuadro 7.  
NPR por Fallas de Expansión Directa

N° de Falla	NPR	Criticidad
1	280	<b>Alta</b>
3	270	
11	210	
10	168	<b>Media</b>
5	120	
7	112	
8	112	
4	96	<b>baja</b>
9	90	
2	60	
12	42	
6	12	

**Fuente:** Elaboración Propia (2019)

El cuadro anterior destaca que las fallas con los NPR más altos son las 1, 3 y 11 con un número prioritario de riesgo mayor a 200, ubicándose en un nivel de criticidad alto.

Tomando como referencia la información registrada en los cuadros anteriores, se procedió a realizar una matriz de criticidad para los Chillers (figura 6), donde se jerarquizan las diversas fallas por colores para clasificar su criticidad: rojo fallas críticas, amarillo fallas medianamente críticas y verde poco críticas. El eje de las abscisas correspondiente al tiempo transcurrido de detección de fallas durante el periodo de investigación (septiembre 2018 – mayo 2019) relacionándolo con la fecha correspondiente en el índice de fallas. El eje de ordenadas corresponde al NPR.

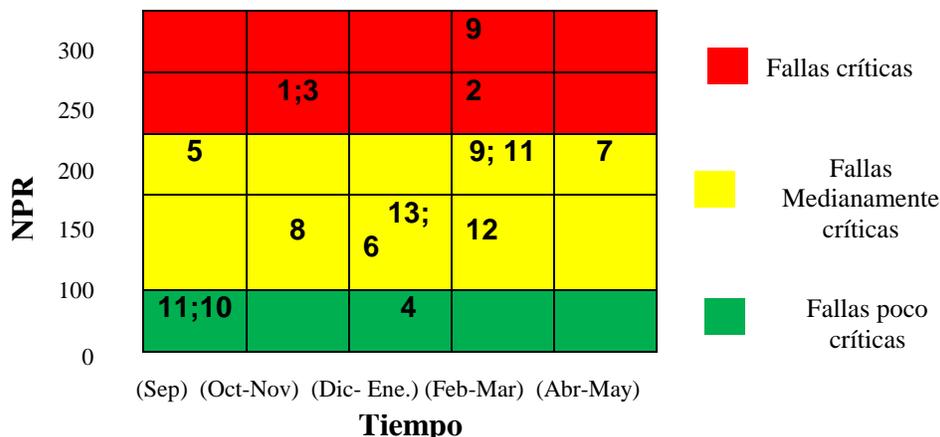


Figura 6. Matriz de Criticidad de fallas en Chillers  
Fuente: Elaboración Propia (2019)

Los resultados evidenciaron el nivel criticidad que tiene cada falla en los sistemas de climatización por agua helada (Chillers). Así mismo se identificaron las fallas más importantes de atacar en estos equipos, tales como, fallas en bombas de agua helada y condensada, desalineación en tarjeta electrónica y las fallas en los relés de arranque si se desea aumentar la disponibilidad de la unidad y evitar paradas inesperadas. Seguidamente se aplicó el mismo análisis a las unidades de expansión directa con las mismas especificaciones para las escalas en los ejes de tiempo y NPR, tal como se muestra en el siguiente gráfico.

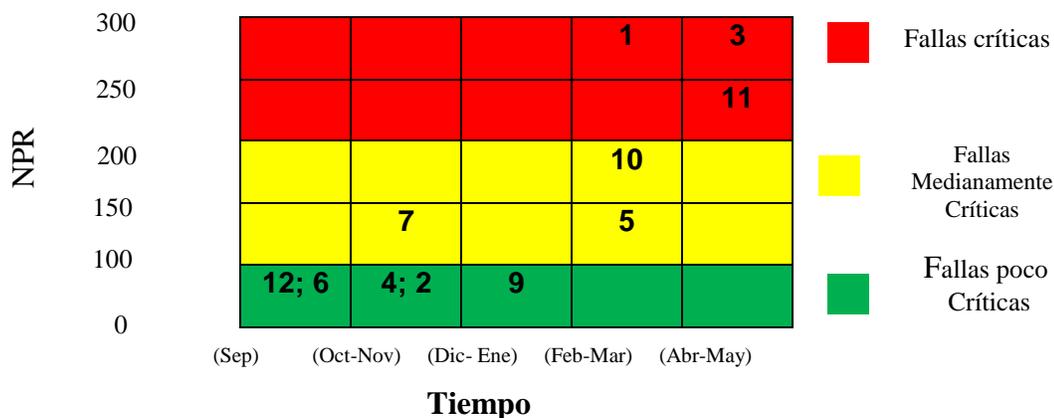


Figura 7. Matriz de Criticidad de fallas Unidades de enfriamiento  
Fuente: Elaboración Propia (2019)

### Fase III Instrucciones de Mantenimiento

Como parte fundamental del tercer objetivo específico de la investigación, dirigido a la elaboración de instrucciones técnicas, caracterizando las diferentes actividades clasificadas para cada unidad de enfriamiento y subsistema con su ficha de instrucción detallada, para los sistemas de climatización por agua helada y unidades de expansión directa, según lo establecido por los autores Leal, L y Zambrano, D (2008) quienes identifican seis tipos actividades de mantenimiento fundamentales: mecánica, electricidad, lubricación, instrumentación, electrónica y general.

Estas instrucciones detallan el funcionamiento del equipo además de las actividades específicas para cada subsistema indispensable para su funcionamiento confiable por un tiempo determinado. Para cada subsistema de los Chillers y Unidades de Expansión Directa, se estableció un sistema de codificación para identificar los mismos e incluirlo en la ficha instructiva respectiva. En el siguiente cuadro se detalla a codificación pertinente a cada instrucción técnica

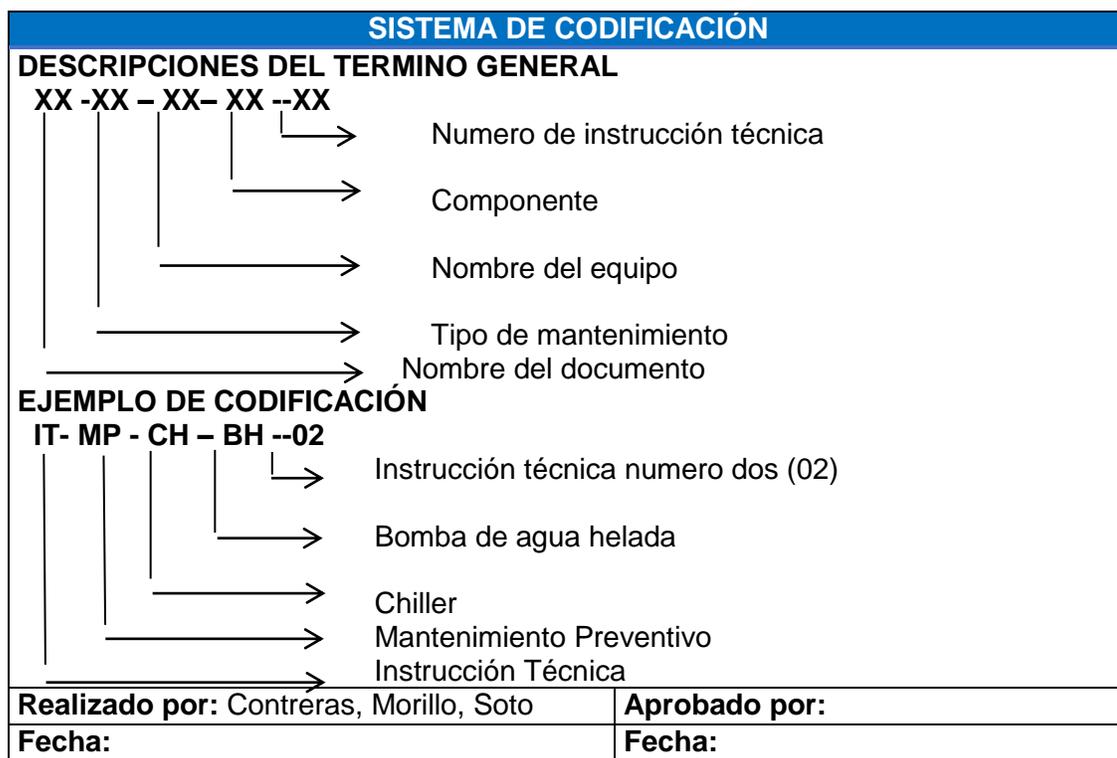


Figura 8. Sistema de codificación (Instrucción Técnica)

Fuente: Elaboración Propia (2019)

Mediante la codificación asignada para las instrucciones de trabajo, se facilita la ubicación por medio de un sistema de información, la misma está identificada con la abreviación de la instrucción de trabajo y el mantenimiento a realizar, nombre del equipo a mantener, componente asignado y numeración.

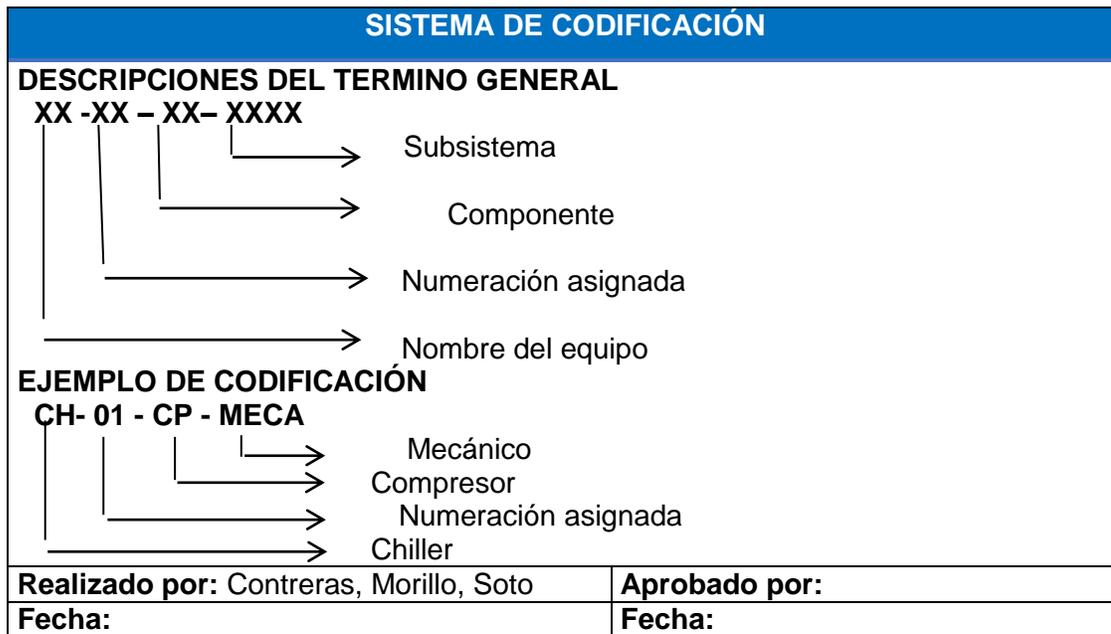


Figura 9. Sistema de codificación (Chiller instrucción técnica)  
Fuente: Elaboración Propia (2019)

La codificación anterior, de los equipos y el componente a mantener de acuerdo a la instrucción de trabajo, está clasificado por la asignación del equipo o Chiller, numeración, componente a mantener y cuál es su subsistema de funcionamiento; ya sea mecánico, hidráulico o eléctrico.

Cuadro 8.  
Instrucción técnica Chillers (Compresor Tipo Tornillo)

		INSTRUCCIÓN TÉCNICA WATER CHILLERS (COMPRESOR TIPO TORNILLO)				Codificación	IT-MP-CH-CP-01
						Nivel de revisión	0
						Fecha de revisión	8/6/2019
TIPO de ACTIVIDAD:		Lubricación: <input checked="" type="checkbox"/>	Mecánica: <input checked="" type="checkbox"/>	Electrónico: <input type="checkbox"/>	General: <input type="checkbox"/>		
		Eléctrico: <input type="checkbox"/>	Reemplazo: <input checked="" type="checkbox"/>	Instrumentación: <input type="checkbox"/>	Limpieza: <input checked="" type="checkbox"/>		
Componente	Código del componente	Subsistema	Actividad	Recursos		Responsable	
Compresor	CH- 01 - CP - MECA	Mecánico		Equipo	Consumibles	Técnico Asignado:	Supervisor
			Cambio de Aceite	Conexión roscada	Aceite	Técnico de mantenimiento mecánico	Supervisor de mantenimiento
			Cambio de Cartucho en filtro de aceite	Lave de cadena	Lubricante		
			Tensado de correas	Dinamómetro	No aplica		
			Limpieza de Radiador	Pistola Sopladora	No aplica		
Limpieza de filtro anti polvo	Pistola Sopladora	No aplica					

Fuente: Elaboración Propia (2019)

Cuadro 9.  
Procedimientos para las actividades del Compresor

	Proveimientos para las actividades (COMPRESOR TIPO TORNILLO)		Código de instructivo	IT-MP-CH-CP-01
			Nivel de revisión	0
			Fecha de revisión	8/6/2019
Actividad	Procedimiento			
Cambio de aceite	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Desenroscar tapón situado en la base del grupo tornillo.</li> <li>2. Enroscar una conexión roscada.</li> <li>3. Abrir el grifo</li> <li>4. Rellenar el aceite hasta el borde de la boca</li> <li>5. Enroscar el tapón y cerrar el compresor</li> </ol>			
Cambio de Cartucho en Filtro de aceite	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Abrir el Panel Posterior</li> <li>2. Desmontar el cartucho del filtro con la llave de cadena y cambiarlo con no nuevo</li> <li>3. Engrasar la junta de estanqueidad</li> <li>4. Enroscar manualmente el cartucho nuevo</li> </ol>			
Tensado de correa	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Abrir el panel lateral izquierdo para acceder al interior del compresor.</li> <li>2. Cada 500 Horas es necesario tensar la correa.</li> <li>3. Actuar sobre la tuerca para tensar la correa.</li> </ol>			
Limpieza del Radiador	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Limpiar las impurezas con una pistola sopladora desde el interior.</li> <li>2. Abrir el panel posterior dotado de cierres rápidos.</li> <li>3. Soplar con el aire comprimido el radiador desde el interior.</li> </ol>			
Limpieza de filtro anti polvo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Extraer el filtro anti polvo</li> <li>2. Soplar con aire comprimido.</li> <li>3. Cambiar si es necesario.</li> </ol>			

Fuente: Elaboración Propia (2019)

A modo explicativo, los cuadros instructivos muestran de manera detallada las actividades y procedimientos inmersos relacionados al mantenimiento los cuales deben ejecutar para el compresor tipo tornillo perteneciente al sistema mecánico de los Chillers, en este caso se enuncian actividades prioritarias para este equipo como lo son: cambio de aceite, cambio de cartucho del filtro, tensado de correas y limpieza de filtro anti polvo

#### Fase IV: Planificación del Mantenimiento

Para dar respuesta al cuarto objetivo referido a la planificación de los procesos de mantenimiento destinados a las unidades de enfriamiento del Hospital Dr. Adolfo Pons, a continuación, se describen los elementos indispensables para la ejecución de la propuesta, en congruencia con los basamentos teóricos el desarrollo de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

#### Objetivos del Plan

Mantener en óptimo funcionamiento las unidades de enfriamiento del Hospital Dr. Adolfo Pons.  
Determinar los parámetros correspondientes a normas relacionadas para la implementación efectiva en la realización del mantenimiento en las unidades de enfriamiento.

Analizar las estrategias de aplicación que alarguen la vida útil de las unidades de enfriamiento.  
Establecer un formato que muestre todas las actividades a aplicar en las unidades especificando la codificación del equipo, el tiempo, frecuencia, sistema a mantener, las actividades a ejecutar y el personal correspondiente para la realización del mantenimiento.  
Sustituir metodologías de mantenimiento correctivo con el fin de efectuar nuevas aplicaciones de mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC).

### Alcance del Plan

El alcance del plan pretende suministrar una herramienta que facilite la planificación de los trabajos de mantenimiento para las unidades de enfriamiento del Hospital Dr. Adolfo Pons, con la finalidad de aportar conocimientos y sugerencias a través de los formatos de control para la evaluación de las actividades de mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC).

### Normas y políticas

Para desarrollar el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para las unidades de enfriamiento del Hospital Dr. Adolfo Pons, se tomaron normas sobre las prácticas, requisitos, especificaciones relacionadas al objeto de estudio: Norma Covenin 3049-93; Norma SAE JA1011; Norma Covenin 5006-2018 y la Norma ISO 5149-1.

Para asignar la frecuencia y duración de las actividades del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, en la experiencia de los técnicos encargados del mantenimiento de los equipos objeto de este estudio. Por lo cual la frecuencia se fijó en base a la experiencia de técnicos en refrigeración especializados. A continuación, se presenta el Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para los Chillers.

Cuadro 10.  
Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

		Plan de mantenimiento para los Water chillers			Autores		Contreras, Morillo, Soto	
					Nivel de revisión		0	
					Fecha de revisión		8/6/2019	
Tipo de mantenimiento:		Centrado en la confiabilidad						
Subsistema	Componente	Actividad	Recursos		Responsable		Duración Sugerida	Frecuencia Sugerida
			Equipo	Consumibles	Técnico Asignado:	Supervisor		
Mecánico	Compresor	Cambio de Aceite	Conexión roscada	Aceite	Técnico de mantenimiento	Supervisor de mantenimiento	2 horas	Trimestral
		Cambio de Cartucho en filtro de aceite	Lave de cadena	Lubricante			1 hora	Anual
		Tensado de correas	Dinamómetro	No aplica			30 min	Trimestral
		Limpieza de Radiador	Pistola Sopladora	No aplica			3 horas	Anual
		Limpieza de filtro anti polvo	Pistola Sopladora	No aplica			1 hora	Trimestral
Hidráulico	Condensador	Limpieza filtro de maya	Soplador	No Aplica	Técnico de mantenimiento	Supervisor de mantenimiento	2 horas	Trimestral
		Lubricar los cojinetes del eje del ventilador	No Aplica	Lubricante			1:30 min	Semestral
		Ajustar los cojinetes del ventilador	Llaves de cadena	No Aplica			1 hora	Semestral
		Inspección del flujo en el serpentín	Medidor de Flujo	No Aplica			30 min	Trimestral

Fuente: Elaboración Propia (2019)



### Conclusiones

Los resultados de la investigación arrojaron que los métodos de análisis de fallas para la determinación y priorización de actividades son de suma importancia para el establecimiento de los objetivos estratégicos del mantenimiento, así como el plan para los equipos de refrigeración del Hospital Dr. Adolfo Pons.

La aplicación de la metodología de confiabilidad NPR, permitió el cálculo de los factores, tanto influyentes como determinantes para la confiabilidad de los equipos en base la probabilidad de fallas, así como establecer las actividades a ser ejecutadas.

El análisis cualitativo y cuantitativo de fallas aplicado a las unidades de enfriamiento, determino falta de aplicación de planes de mantenimiento en los sistemas de enfriamiento del hospital, por tanto, existe deterioro en los equipos de refrigeración que conllevan a una baja calidad en el servicio de salud pública, ratificando el impacto de las fallas categorizadas

Se corroboraron las características especiales de estos centros hospitalarios por su gran extensión, y se elaboraron las instrucciones técnicas para las unidades de enfriamiento del Hospital Dr. Adolfo Pons, considerándose la dependencia de los equipos críticos por su complejidad.

Finalmente se elaboró la planificación de los procesos de mantenimiento destinados a las unidades de enfriamiento del Hospital Dr. Adolfo Pons.

### Referencias Bibliográficas

- Alpizar, E (2010). *Mantenimiento*. Disponible: <http://www.bvsde.org/bvsatr/tratamiento/manual4.pdf>
- Arias, F. (2016). *El proyecto de la investigación*. Séptima edición. Editorial Epistome.
- Bavaresco, A. (2013). *Proceso Metodológico en la investigación*. Maracaibo, Venezuela. La Universidad del Zulia.
- Chávez (2014). *Introducción a la investigación educativa*. Editorial ARS, Venezuela
- Duffuaa, E Raouf, J y Dixon, E (2008). *Sistemas de Mantenimiento, Planeación y Control*. 3era Ed. Editorial Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores. México, D.F.
- Escola, E (2007). *Buenas prácticas de mantenimiento*. Libro editorial Limusa 3ra edición, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
- García (2012). *Formas de Elaborar un Plan de Mantenimiento*. Disponible en: <http://www.renovetec.com/irim/sobre-mantenimiento/planes-de-mantenimiento/tecnicas-de-elaboracion-de-un-plan-de-mantenimiento>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2017). *Metodología de la investigación*. México D.F., México: McGraw Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Leal, L y Zambrano, D (2008). *Fundamentos Básicos de Mantenimiento*. Segunda Edición, Editorial FEUNET. Venezuela.
- Martínez, L (2014). *Metodología para la definición de tareas de mantenimiento basado en confiabilidad, condición y riesgo aplicada a equipos del sistema de transmisión nacional*. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/77274579.pdf>



- Nava, P (2005). *Teoría del mantenimiento. Definición y organización*. 1era Ed. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Norma Covenin 2500-93 (2001). *Manuales para Evaluar los Sistemas de Mantenimiento en la Industria*. Disponible en: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/2500-93.pdf>
- Sánchez y González (2017). *Fallas e Indicadores de Gestión de Mantenimiento*. Disponible en: [https://issuu.com/anthony109/docs/fallas\\_e\\_indicadores\\_de\\_gestion\\_de](https://issuu.com/anthony109/docs/fallas_e_indicadores_de_gestion_de)
- Sifonte, J (2017). Norma SAE JA1011 – *Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)*. Disponible en: <http://www.pdmtechusa.com/criterios-evaluacion-rcm/>
- Sociedad Americana de Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción (Ashrae, 2018). [www.ashrae.org/about/ashrae-en-español](http://www.ashrae.org/about/ashrae-en-español)