

DESARROLLO DE METODOLOGÍA RCM, PARA EL EQUIPO CHILLER MODELO
YS BA BA S0 THOUGH YS FC FB S5 250T, DEL SISTEMA DE AIRE
ACONDICIONADO CENTRAL ACTUAL DEL AEROPUERTO ERNESTO
CORTISSOZ DE BARRANQUILLA

DEOBALDO CESAR MURIEL ESCORCIA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2020

DESARROLLO DE METODOLOGÍA RCM, PARA EL EQUIPO CHILLER MODELO
YS BA BA S0 THOUGH YS FC FB S5 250T, DEL SISTEMA DE AIRE
ACONDICIONADO CENTRAL ACTUAL DEL AEROPUERTO ERNESTO
CORTISSOZ DE BARRANQUILLA

DEOBALDO CESAR MURIEL ESCORCIA

Monografía de grado presentado como requisito para optar al título de especialista
en Gerencia de Mantenimiento

DIRECTOR

Víctor Rafael Díaz Martínez Ingeniero Electrónico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2020

DEDICATORIA

Dedico esta monografía a...

A Dios por haberme ayudado durante este tiempo, quien me dio la salud y es mi guía, el sacrificio fue grande, pero tú siempre me diste la fuerza necesaria para continuar y lograrlo.

Deobaldo Muriel Escorcía

AGRADECIMIENTOS

Expreso mis agradecimientos:

A mis padres por su incondicional apoyo, por todas las enseñanzas y los valores que me inculcaron, pasaré mi vida agradeciéndoles por todo lo que han hecho por mí y seguro no será suficiente.

A mis hijos por el tiempo dejado de dedicarles para poder cumplir y alcanzar mis metas.

A mi pareja por su constante motivación.

Al Ing. Víctor Rafael Díaz Martínez por su disponibilidad y colaboración para el desarrollo del proyecto.

Al cuerpo docente de la especialización por los conocimientos transmitidos.

A mis compañeros de estudio, por su confianza, apoyo y por haber formado un equipo de trabajo para lograr esta meta, por compartir su conocimiento y su experiencia.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	17
1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	18
1.1 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA.....	18
1.1.1 Valores de la empresa.	21
1.1.2 Misión.....	21
1.1.3 Visión..	21
1.1.4 Estructura organizacional del departamento de mantenimiento.....	22
1.1.5 Antecedentes de mantenimiento.....	23
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	25
1.2.1 Desarrollo del problema..	28
1.3 OBJETIVOS	29
1.3.1 Objetivo general	29
1.3.2 Objetivos específicos.	29
1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO	30
2 MARCO TEÓRICO	31
2.1 BREVE HISTORIA DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM.....	31
2.2 APLICACIÓN DEL RCM	33
2.2.1 Metodología.:	33

2.2.2 Herramientas claves.....	33
2.2.3 Árbol Lógico de Decisión.....	34
2.2.4 Definición del contexto operacional.....	34
2.2.5 Descripción de la metodología de Análisis de Criticidad.....	35
2.2.6 Pasos del análisis de criticidad.	36
2.3 MANTENIMIENTO	40
2.3.1 Mantenimiento preventivo..	41
2.3.2 Mantenimiento correctivo.	41
2.3.3 Mantenimiento predictivo.	42
2.4 INDICADORES	42
2.4.1 Disponibilidad.	43
2.4.2 Preventivo.	43
2.4.3 Indicadores de costos.	43
3 PLAN DE TRABAJO	44
3.1 METODOLOGÍA	44
3.2 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....	45
3.2.1 Selección del equipo, análisis de criticidad.:	45
3.2.2 Conformación del equipo de trabajo.:.....	49
3.2.3 Recopilación de información actual de estado del equipo.....	49
3.2.4 Función del equipo y fallo funcional.	57
3.2.5 Análisis de modo y efectos de falla (AMEF).....	60
3.2.6 Análisis de árbol lógico de decisión del (RCM).	76

3.2.7 Consecución del plan de mantenimiento.....	82
3.2.8 Indicadores.....	88
BIBLIOGRAFÍA.....	92
ANEXOS.....	94

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Criterios para estimar la frecuencia.....	37
Tabla 2. Factores de consecuencias.	38
Tabla 3. Rango de criticidad	39
Tabla 4. Factores de frecuencia aeropuerto.	45
Tabla 5. Factores de consecuencia aeropuerto.....	46
Tabla 6. Resultado análisis de criticidad sistema aire acondicionado central.	47
Tabla 7. Cálculo de disponibilidad equipo chiller 3, año 2019.....	56
Tabla 8. Funciones y fallas funcionales de componentes del chiller 3.....	58
Tabla 9. Tabla amef	60
Tabla 10. Amef, compresor chiller 3.	61
Tabla 11. Amef, condensador chiller 3.....	62
Tabla 12. Amef, evaporador chiller 3.	64
Tabla 13. Calificación índice de gravedad.	66
Tabla 14. Calificación índice de probabilidad.....	67
Tabla 15. Calificación índice de detección.....	67
Tabla 16. Cálculo npr, compresor chiller 3.....	68
Tabla 17. Cálculo npr, condensador del chiller 3.	70
Tabla 18. Cálculo npr, evaporador del chiller 3.....	72
Tabla 19. Resultado número prioridad de riesgo (npr), componentes, chiller 3.....	75

Tabla 20. Hoja de decisión rcm aplicado a los componentes del equipo chiller 3..	77
Tabla 21. Plan de mantenimiento.	83
Tabla 22. Costos de mantenimiento correctivo del chiller 3, año 2019.	88
Tabla 23. Costo mínimo esperado con la aplicación de la metodología rcm.	88
Tabla 24. Costos y % de ahorro.....	89

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Localización, coordenadas del aeropuerto ernesto cortissoz.	18
Figura 2. Detalles, estadísticas del aeropuerto ernesto cortissoz.	19
Figura 3. Estructura del departamento de mantenimiento.	22
Figura 4. Desarrollo del problema.	28
Figura 5. Diagrama de decisión de rcm.	34
Figura 6. Matriz de criticidad	36
Figura 7. Niveles de análisis para evaluar criticidad.	37
Figura 8. Cantidad equipos-criticidad.....	48
Figura 9. Cantidad equipos-criticidad.....	48
Figura 10. Nomenclatura chiller.	50
Figura 11. Elementos principales del chiller.....	51
Figura 12. Pantalla del compresor.	51
Figura 13. Pantalla del compresor.	52
Figura 14. Pantalla del evaporador.	53
Figura 15. Pantalla del condensador.	54
Figura 16. Hoja de decisión rcm.	76

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	pág.
Foto 1. Vista de la nueva fachada del aeropuerto ernesto cortissoz.....	20
Foto 2. Chiller modelo ys ba ba s0 though ys fc fb s5 250.....	49
Foto 3. Panel de control chiller.....	55
Foto 4. Módulo de control eléctrico chiller.....	55

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Dimensiones chiller.	94
Anexo B. Dimensiones evaporador chiller.	95
Anexo C. Dimensiones condensador chiller.....	96

GLOSARIO

Aerolínea (línea aérea): Empresa de servicios aéreos comerciales de transporte público.

Aeropuerto: Todo aeródromo especialmente equipado y usado regularmente para pasajeros y/o carga y que, a juicio de la UAEAC, posee instalaciones y servicios de infraestructura aeronáutica suficientes para ser operado en la aviación civil.

Cliente: Destinatario de un producto o servicio provisto por el proveedor.

Confiabilidad: Probabilidad de que un equipo cumpla su función prevista, bajo condiciones de uso determinadas en un periodo establecido. El estudio de confiabilidad es el estudio de fallos de una máquina.

Criticidad: Es la condición o el estado de crítico.

Chiller: máquina frigorífica cuyo cometido es enfriar un medio líquido, generalmente agua. En modo bomba de calor también puede servir para calentar ese líquido.

Disponibilidad: La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado.

Equipo: Elemento que constituye el todo o parte de una máquina o instalación que, por sus características, tiene datos, historial y programas de reparación propios.

Falla: Se dice que un producto/servicio o un proceso falla, cuando no lleva a cabo, de forma satisfactoria, la prestación que de él se espera (su función).

Falla Funcional: Incapacidad de un elemento, componente de un equipo, o equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

FMEA – Failure Mode Effect Analysis (Análisis de Modos de Falla y Efectos):

Metodología para analizar los problemas y fallas potenciales de un activo o proceso, puede aplicarse en cualquier momento en el desarrollo del ciclo de vida de un activo; facilitando el tomar acciones y poder conseguir plantear estrategias para enfrentar los problemas y de esta forma, mejorar su confiabilidad.

Mantenimiento: Conjunto de procedimientos y medidas que permite alargar el funcionamiento de dispositivos, objetos y sistemas. Tareas necesarias para que un equipo sea conservado o restaurado de manera que pueda permanecer de acuerdo con una condición especificada.

Mantenimiento Correctivo: Se conoce como un tipo de tareas reactivas, basadas en reemplazar, realizar intervenciones o reparar un activo (equipos o componentes averiados) cuando deja de cumplir su función.

Mantenimiento Predictivo: Actividades que tienen como objetivo identificar de forma anticipada las necesidades de mantenimiento.

Metodología: Manera sistemática de hacer cierta cosa.

Modo Falla: La manera específica de fallar; las circunstancias o secuencias de eventos, que llevan a una falla funcional.

Plan de mantenimiento: Es el conjunto de tareas preventivas a realizar en una instalación o equipo, con el fin de cumplir unos objetivos de disponibilidad, de fiabilidad, de coste y con el objetivo final de aumentar al máximo posible la vida útil de la instalación.

RCM – Reliability Centered Maintenance (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad): Proceso estructurado que permite definir las estrategias de mantenimiento que deben hacerse, para que los activos continúen cumpliendo con sus funciones en su contexto operacional. Para que un proceso sea considerado RCM debe cumplir con la norma SAE JA1011. El término RCM se aplica usualmente al proceso descrito en el reporte Nowlan y Heap.

RESUMEN

TÍTULO: DESARROLLO DE METODOLOGÍA RCM, PARA EL EQUIPO CHILLER MODELO YS BA BA S0 THOUGH YS FC FB S5 250T, DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO CENTRAL ACTUAL DEL AEROPUERTO ERNESTO CORTISSOZ DE BARRANQUILLA¹

AUTOR: DEOBALDO CESAR MURIEL ESCORCIA²

PALABRAS CLAVE: Edificio terminal de pasajeros, Chiller, Confiabilidad, Disponibilidad.

DESCRIPCIÓN: Un aeropuerto, siendo una parte importante de la infraestructura aeronáutica, tiene que cumplir normas de seguridad operacional, aeroportuaria y un nivel de servicio, para atender a múltiples usuarios (pasajeros, personal aeroportuario) y, por tanto, la gama de servicios que se prestan en ellos, va desde la atención e información a los pasajeros, hasta el mantenimiento de las infraestructura aeroportuaria y servicios especiales. Enfocados en el edificio terminal de pasajeros, nos concentraremos en el servicio de climatización de aire, a través un sistema de acondicionado central de gran envergadura, con la finalidad no solo de mantener una temperatura cómoda de confort a los múltiples usuarios, también para mantener a los equipo eléctrico, mecánico y electrónicos dentro del límite térmico apropiado y no dañarlos. Uno de los principales componentes dentro del sistema de aire acondicionado central, son los chillers. Para desarrollo de la presente monografía seleccionaremos el CHILLER MODELO YS BA BA S0 THOUGH YS FC FB S5 250T, con la finalidad de desarrollar la metodología basado en el modelo RCM, apoyado en las condiciones actuales de operación, caracterizando las principales fallas que afectan su confiabilidad, además de la implementación de técnicas de mantenimiento predictivo e indicadores de mantenimiento y operación del equipo. Al final de este proceso se obtendrá como resultado, la transformación del mantenimiento correctivo y paradas por emergencias, a un mantenimiento con actividades previamente planeadas que podrán engranar en armonía con los cronogramas de mantenimiento general del aeropuerto además de mitigar las fallas, con el objetivo de aumentar su disponibilidad y conservar en buen estado físico y funcional del equipo, y reducir los costos de mantenimiento, siempre en aras de cumplir con los objetivos de la organización.

¹ Monografía.

² Facultad De Ciencias Físico-Mecánicas. Escuela De Ingeniería Mecánica. Especialización En Gerencia de Mantenimiento. Director: Víctor Rafael Díaz Martínez, Ingeniero Electrónico.

ABSTRACT

TITLE: DEVELOPMENT OF RCM METHODOLOGY, FOR THE CHILLER MODEL YS BA BA S0 THOUGH YS FC FB S5 250T EQUIPMENT, OF THE CURRENT CENTRAL AIR CONDITIONING SYSTEM OF THE ERNESTO CORTISSOZ DE BARRANQUILLA AIRPORT³

AUTHOR: DEOBALDO CESAR MURIEL ESCORCIA⁴

KEY WORDS: Maintenance Plan, Reliability, Availability, Management Indicators, Chiller.

DESCRIPTION: An airport, being an important part of the aeronautical infrastructure, has to comply with operational and airport safety standards and a level of service, to serve multiple users (passengers, airport personnel) and, therefore, the range of services provided. In them, it goes from the attention and information to the passengers, to the maintenance of the airport infrastructure and special services. Focused on the passenger terminal building, we will focus on the air conditioning service, through a large-scale central conditioning system, in order not only to maintain a comfortable temperature for multiple users, but also to maintain to electrical, mechanical and electronic equipment within the appropriate thermal limit and not damage them. One of the main components within the central air conditioning system are the chillers. For the development of this monograph we will select the CHILLER MODEL YS BA BA S0 THOUGH YS FC FB S5 250T, in order to develop the methodology based on the RCM model, supported by current operating conditions, characterizing the main failures that update its reliability, in addition to the implementation of predictive maintenance techniques and equipment maintenance and operation indicators. At the end of this process, the result is the transformation of corrective maintenance and emergency shutdowns, to maintenance with previously planned activities that will be able to mesh in harmony with the general airport maintenance schedules in addition to mitigating failures, with the aim of increase its availability and keep the equipment in good physical and functional condition, and reduce maintenance costs, always in order to meet the organization's objectives.

³ Monograph.

⁴ Faculty of Physical-Mechanical Sciences. School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Director: Víctor Rafael Díaz Martínez, Electronic Engineer.

INTRODUCCIÓN

El Aeropuerto Internacional Ernesto Cortissoz, llamado también Aeropuerto Internacional de Barranquilla, es el quinto terminal aéreo en número de pasajeros y el cuarto en carga, se encuentra localizado en el municipio de Soledad, a 7 km del centro de Barranquilla departamento del Atlántico, en la Región Caribe de Colombia⁵. Se encuentra en concesión al consorcio colombiano Grupo Aeroportuario del Caribe S.A.S., que comenzó a operar, desde el 16 de mayo de 2015, el terminal aéreo de Barranquilla, con el objetivo de modernizar su infraestructura, mantenerla y fortalecer su oferta de servicios, lo que la ha llevado a cambios en toda su estructura organizacional, una de sus principales cambios radica en el área de mantenimiento principalmente en aspectos de tipo tecnológico, técnico y documental, que han llevado a la incursión de nuevas metodologías, planificación, procedimientos, y actividades, a fin de garantizar la disponibilidad de cada uno de los equipos e infraestructura.

El objetivo de esta monografía se encuentra enfocado en garantizar la disponibilidad en un equipo del sistema de aire acondicionado central, CHILLER MODELO YS BA BA S0 THOUGH YS FC FB S5 250T, aplicando la metodología RCM, mantenimiento centrado en confiabilidad, la cual fue desarrollada en principio por la aviación comercial de Estados Unidos, en los años 1960 y 1970, en cooperación con entidades como la NASA y Boeing, posteriormente generando gran aceptación sobre sectores de generación de energía, petroquímicos, gasíferos, refinación, industria manufacturera, entre otros. El RCM se basa en determinar lo que debe hacerse para asegurar la confiabilidad y disponibilidad de un activo.

⁵ Aeropuerto Internacional Ernesto cortissoz. Se encuentra en Internet. <https://www.aeropuertos.net/aeropuerto-internacional-ernesto-cortissoz/>. Citado [13 octubre 2011].

1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA


El Ernesto Cortissoz, es el aeropuerto internacional que sirve a Barranquilla, Colombia. Ubicado en el municipio de Soledad. Debe su nombre a uno de los pioneros de la aviación en el mundo, Ernesto Cortissoz. Fue inaugurado en 1979 y se encuentra en operaciones desde 1981.

El aeropuerto está localizado en el municipio de Soledad, exactamente 7 km al sur del centro de Barranquilla, estos parámetros de localización se describen en la figura 1.

Figura 1. Localización, coordenadas del Aeropuerto Ernesto Cortissoz.

Aeropuerto Internacional Ernesto Cortissoz

IATA: **BAQ** | OACI: **SKBQ**



Vista aérea aeropuerto Ernesto Cortissoz

Localización

Coordenadas	10°53'19"N 74°46'54"O Coordenadas
Ubicación	Soledad, Atlántico
País	Colombia
Elevación	31 m / 101 pies (msnm)
Sirve a	Barranquilla, Colombia

Fuente: Tomado de, Wikipedia. https://www.wikipedia.org/wiki/Aeropuerto_Internacional_Ernesto_Cortissoz.

Es capaz de recibir aviones de gran envergadura como los Boeing 747, Boeing 767, Boeing 777, Boeing 787, Airbus A330, Airbus A340, Airbus A350, MD-11, DC-10 y Antonov An-124 .De hecho, fue en su época el aeropuerto más importante de Colombia. En la actualidad, el aeropuerto es quinto en número de pasajeros y el cuarto en carga⁶.

El aeropuerto consta de un terminal de pasajeros con dos muelles: el doméstico, al que corresponden los puentes desplegables para embarque comprendidos en las salas 6 a 13, y el internacional, al que corresponden los comprendidos entre las salas 1 a 5 y 5A. Funcionó como un hub⁷ internacional para la aerolínea Aires y como hub secundario para la aerolínea Avianca durante la alta temporada, actualmente presenta las siguientes estadísticas de tráfico definidas en la figura 2.

Figura 2. Detalles, estadísticas del Aeropuerto Ernesto Cortissoz.



Fuente: Tomado de, <http://www.aeropuertobaq.com/nosotros>.

En julio de 2007, la Aeronáutica Civil otorgó al aeropuerto «cielos abiertos», es decir, que cualquier aerolínea del mundo puede volar a Barranquilla en cualquier equipo y con las frecuencias que considere necesarias. Esta medida se tomó en

⁶ Aerocivil. «Boletines Operacionales». www.aerocivil.gov.co. Consultado el 6 de febrero de 2019.

⁷ Centro de conexión (en inglés **hub**) es un aeropuerto que una aerolínea usa como punto de transferencia para cubrir sus destinos.

gran parte para fomentar el turismo y a Barranquilla como ciudad clave en el área del Caribe⁸.

Actualmente el Aeropuerto se encuentra concesionado al consorcio colombiano Grupo Aeroportuario del Caribe S.A.S. es titular de una concesión para la modernización y mejoramiento de la infraestructura del aeropuerto internacional Ernesto Cortissoz. El consorcio, que asumió las operaciones del aeropuerto en 2015, está conformado por Valores y Contratos (Valorcon), Equipo Universal e Inversiones Millenium Azipo, dentro de su proceso de modernización puso en funcionamiento una moderna fachada y zona de check-in al igual que nuevos accesos a la terminal área, (Ver foto 1).

Foto 1. Vista de la nueva fachada del aeropuerto ernesto cortissoz.



Fuente: Tomado de, [https://zonacero.com/generales/firma encargada de diseno de fachada del cortissoz ha trabajado en aeropuertos en dubai](https://zonacero.com/generales/firma_encargada_de_diseno_de_fachada_del_cortissoz_ha_trabajado_en_aeropuertos_en_dubai).

⁸ Wikipedia. Se encuentra en Internet. [https://es.wikipedia.org/wiki/Aeropuerto Internacional Ernesto Cortissoz](https://es.wikipedia.org/wiki/Aeropuerto_Internacional_Ernesto_Cortissoz). Citado [13 septiembre 2006].

1.1.1 Valores de la empresa.

- Compromiso.
- Trabajo en equipo.
- Honestidad.
- Compañerismo.
- Lealtad.
- Innovación.

1.1.2 Misión. Nuestra razón de ser es conectar con el mundo a la gente, cultura y economía de Barranquilla y la Región Caribe.

1.1.3 Visión. Transformar al Ernesto Cortissoz en el mejor aeropuerto de Colombia y en un referente de excelencia y éxito para el mundo.

1.1.4 Estructura organizacional del departamento de mantenimiento. El departamento de mantenimiento se estructura de acuerdo a la siguiente figura.

Figura 3. Estructura del departamento de mantenimiento.



Fuente: Tomado de, Organigrama general Grupo aeroportuario Del Caribe [https://www.aeropuertobaq.com/wp-content/uploads/2020/08/Organigrama Agosto 2020.pdf](https://www.aeropuertobaq.com/wp-content/uploads/2020/08/Organigrama%20Agosto%202020.pdf).

1.1.5 Antecedentes de mantenimiento. Es obligación del concesionario efectuar el mantenimiento del terminal de pasajeros, y demás edificaciones, sistemas y equipos del aeropuerto, para garantizar unas condiciones óptimas de operación y funcionamiento. Esto se logra con la ejecución de actividades de mantenimientos preventivos y predictivos, siempre en función de garantizar la seguridad operacional.

Los principales mecanismos utilizados en un programa de mantenimiento de aeropuertos son la inspección, revisión y reparación, cuyo objetivo primordial es garantizar la seguridad operacional de la infraestructura. El mantenimiento abarca distintas áreas y sistemas del aeropuerto como son la obra civil de edificios, el sistema eléctrico del aeropuerto, el sistema de climatización, la red de agua potable y saneamiento, los sistemas contra incendios, las pistas y plataformas, balizamiento, comunicación, seguridad, campo de vuelos, etc. Un mantenimiento deficiente puede tener consecuencias fatales para el aeropuerto y su operativa, tales como la destrucción de equipos, la pérdida de servicio y producción, un mayor gasto de repuestos, la ineficiencia energética y, por ende, la contaminación ambiental, el incremento de accidentes e incidentes, etc⁹.

Para poder mantener en funcionamiento las instalaciones técnicas del aeropuerto se requieren de técnicos en servicios (propio y contratistas), en número suficiente durante las horas de utilización del aeropuerto. Para poder ejecutar efectivamente las actividades de manteniendo programadas y poder subsanar inmediatamente cualquier defecto. La cuadrilla en servicio comprende según las necesidades de un grupo de profesionales en las diferentes especialidades y contratistas de mantenimientos formales, ocasionales y afines descritos a continuación:

⁹ Mantenimiento de Aeropuertos. Se encuentra en internet. [https://www.itaerea.es/mantenimiento de aeropuertos](https://www.itaerea.es/mantenimiento-de-aeropuertos). Citado [28 junio 2048].

Director De Ingeniería, Mantenimiento Aeroportuario Y Medio Ambiente.

Jefe De Ingeniería, Mantenimiento Aeroportuario Y Medio Ambiente.

Ingeniero De Infraestructura Mecánica.

Ingeniero De Infraestructura Eléctrica.

Ingeniero De Infraestructura Civil Lado Aire.

Arquitecto De Infraestructura Civil Lado Tierra.

Ingeniero De Mantenimiento Eléctrico.

Técnico Especialista De Mantenimiento Eléctrico.

Técnico Especialista De Mantenimiento Mecánico.

Técnico Especialista De Mantenimiento De Refrigeración.

Técnico mantenimiento eléctrico (4).

Técnico refrigeración (1).

Técnico obra civil y plomería (2).

Técnico Auxiliares (8).

Almacenista.

Contratistas.

Cuando no se utiliza el aeropuerto, las cuadrillas normales de trabajo se reducen a nivel necesario para mantener en funcionamiento los servicios técnicos indispensables del aeropuerto, por ejemplo, limpieza, inspección, circuitos eléctricos etc, incluyendo el chiller No. 3, del sistema de aire acondicionado central, equipo seleccionado para la aplicación de la metodología RCM.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Aeropuerto Internacional Ernesto Cortissoz de Barranquilla, actualmente operado por el Grupo Aeroportuario Del Caribe (GAC), donde se inician y concluyen los viajes de transporte aéreo en aeronaves, dispone además de otras edificaciones y áreas, de un edificio terminal de pasajeros para atender todos los tipos de tráfico que opera. La terminal tienen las siguientes dependencias: zonas de chequeo, salas de embarque, bandas de equipajes, puertas de salida, zonas de esparcimiento, restaurantes, tiendas, cajas de cambio, controles migratorios (control de pasaportes y aduana) etc., que prestan diferentes servicios a los pasajeros y personal que lo visitan, en la prestación de estos servicios se hacen con unos Indicadores llamados de Infraestructura Aeroportuaria Disponible, los cuales se miden mensualmente cumpliendo con los requisitos de disponibilidad de la infraestructura y sistemas, estos son el uso, los niveles de servicio y los estándares de calidad de la Infraestructura Aeroportuaria Disponible. Dentro de los niveles de servicio se encuentra el sistema de acondicionamiento central que deberá mantener una temperatura confort (24°C - 26°C) en las áreas mencionadas.

El sistema de aire acondicionado central es indirecto y se encuentra conformado principalmente por los siguientes componentes: Los Chillers que son equipo de enfriamiento de agua, es un equipo de descarga indirecta, se encarga de enfriar el agua, el cual se distribuye a los diferentes equipos de enfriamiento ubicados en las áreas que requieren de climatización en la terminal. El agua helada proveniente de los chiller pasa a través de tuberías (en este caso de cobre hacia las unidades manejadoras de aire (UMA) o unidades denominadas fan coils, que son las que se encargan de distribuir el aire acondicionado hacia los ductos, las manejadoras de aire donde se encuentran serpentines o intercambiadores de calor en donde el agua fría absorbe calor del aire que pasa por éste, la red hidráulica que básicamente la conforman las bombas de agua, tuberías de conducción y

accesorios, que conducen el agua de suministro hacia las torres de enfriamiento y de retorno los chiller.

El sistema de aire acondicionado central se encuentra operando con algunos déficits de enfriamiento que impiden de manera eficaz tener un buen servicio de acondicionamiento para mantener la temperatura confort en todas del edificio terminal. En este sistema la mayoría de sus componentes cuentan con más de 25 años de operación, lo que hace que sea un sistema obsoleto.

De lo anterior los componentes que más aportan a los déficits de enfriamiento son los chiller, los cuales aparte de ser equipos críticos dentro del sistema de aire acondicionado central, se deben mantener en las mejores condiciones operación, en este orden de ideas y en base a uno de los objetivos del departamento de mantenimiento del Grupo Aeroportuario Del Caribe GAC que es Minimizar las interrupciones e interferencias en la prestación de todos los servicios cuando se realicen las actividades de mantenimiento, se considera necesario implantar un sistema de mantenimiento preventivo para el chiller Modelo YS BA BA S0 THOUGH YS FC FB S5 250T, teniendo en cuenta los parámetros a controlar como son; ruidos, y vibración, insuficiente capacidad de enfriamiento, falla en la circulación de agua, nivel de aceite, compresor para sin razón, entre otros. Pues estos nos garantizan la vida útil y el correcto funcionamiento de este equipo que por su antigüedad funcionan al 90% de su capacidad.

En total son 4 chiller los que conforman esta parte del sistema, se tomará como base uno de ellos y podrá ser replicado en los demás, al presentar condiciones de operación similares.

El Aeropuerto mediante el concesionario, se encuentra actualmente en proceso de modernización y expansión, esto incluyen intervenciones fundamentales como la remodelación del edificio terminal de pasajeros y dentro de ello, la renovación del sistema de aire acondicionado central, tentativamente para finales del 2020, debido a lo anterior se estará operando con el sistema actual, razón por la cual se

debe de mantener para poder cumplir con la temperatura confort del terminal y prestar un servicio óptimo.

El departamento de mantenimiento depende directamente de la gerencia del aeropuerto y se cuenta con un grupo de profesionales en las diferentes especialidades y contratistas de mantenimientos formales y ocasionales y afines.

La planificación inicial de revisiones y las operaciones de mantenimiento a realizar, sistemas, subsistemas y equipos. En una primera fase, dicha planificación sólo podrá modificarse por la existencia de fuerza mayor (avería, falla o mantenimiento de emergencia etc.)

En cuanto a los niveles de mantenimiento tanto preventivo, como predictivo y correctivo se contemplan tres a saber:

Nivel 1: Prestado por personal propio realizando actividades básicas y de conocimiento regular de los sistemas o activos.

Nivel 2: Prestado por empresas especializadas del sector al cual pertenezca el sistema o activo.

Nivel 3: Prestado por personal especializado enviado por el directo fabricante del activo o sistema.

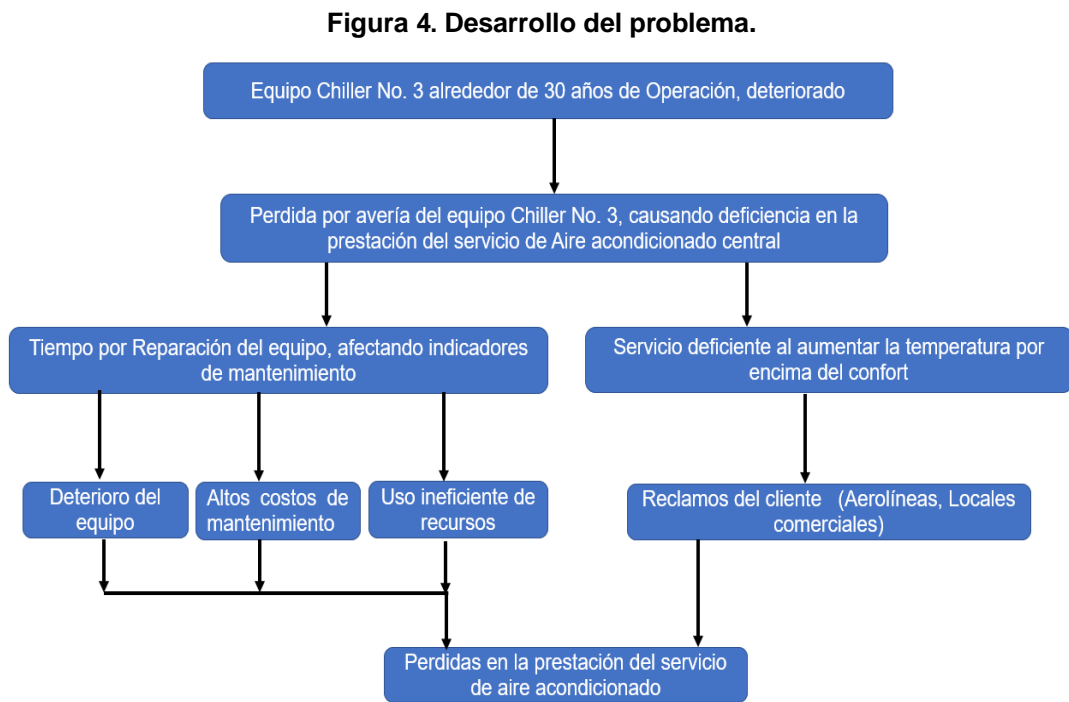
Las primeras acciones apuntaran en dirección al mantenimiento correctivo y preventivo de Nivel 1, entendiéndolo como acciones de carácter puntual a raíz del uso, agotamiento de vida útil u otros factores externos de componentes, partes, piezas, materiales y en general elementos que permitan la recuperación, restauración o renovación sin darle valor agregado a los bienes o activos, pero que garanticen la seguridad de las operaciones aéreas y de los usuarios.

Debido a lo anterior en la actualidad los procesos y actividades de mantenimiento no prestan una metodología óptima para los diferentes equipos que requieran de acuerdo a un análisis de criticidad y pueden presentar fallas en equipos, además no se han logrado desarrollar de manera la adquisición de repuestos y consumibles para estos equipos.

Por todo lo mesiocionado, se propone mejorar el plan de mantenimiento aplicando la metodología RCM al equipo seleccionado, en el que mediante un AMFE (Análisis de los Modos de Fallo y de sus Efectos) se analizara los modos de fallo, sus causas y efectos para establecer una criticidad y, posteriormente, determinar las causas y plantear posibles acciones de mantenimiento a acometer, para mejorar la disponibilidad, confiabilidad y tener una adecuada mantenibilidad en este equipo garantizando la debida operación y el correcto funcionamiento.

Esto con el fin de reducir las pérdidas presentadas en la prestación del servicio de aire acondicionado central, mejorando la confiabilidad y disponibilidad en el equipo que más falla como lo es el Chiller 3.

1.2.1 Desarrollo del problema. De acuerdo a la figura 4, podemos resumir la problemática presentada.



Fuente: Elaboración Propia

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar la metodología RCM en el equipo Chiller Modelo YS BA BA S0 THOUGH YS FC FB S5 250T, del sistema de aire acondicionado central actual del Aeropuerto Ernesto Cortissoz de Barranquilla, para aumentar su disponibilidad y conservar en buen estado físico y funcional del equipo, de manera que las condiciones de confort y operación sean óptimas.

1.3.2 Objetivos específicos.

Obtener un listado de actividades de mantenimiento que permitan la conservación y las condiciones de operación óptima en el equipo, producto de la metodología propuesta.

Actualizar las rutinas de inspecciones de mantenimiento a través de un análisis de modos y efectos de falla y condiciones de operación actual, para garantizar la debida operación y el correcto funcionamiento del equipo.

Identificar los repuestos e insumos más usados, para mantener un adecuado inventario de suministros y repuestos que permita que los mantenimientos del equipo se hagan en los tiempos previstos.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO

En estos últimos años, el aeropuerto Ernesto Cortissoz de Barranquilla. Ha tenido que enfrentarse a diferentes tipos de eventualidades en la prestación de servicio de aire acondicionado central, como la deficiencia en la capacidad de enfriamiento. Siendo el equipo chiller No. 3, Modelo YS BA BA S0 THOUGH YS FC FB S5 250T el de mayor incidencia, generando así un excesivo uso de mantenimiento correctivo, deterioro del equipo y un uso ineficiente de los recursos. Esto es debido que la ejecución de actividades de mantenimiento no ha sido suficiente y donde prácticamente la planeación acorde al proceso no ha sido eficiente, produciendo un impacto negativo a los indicadores de mantenimiento, una insatisfacción de los clientes (Aerolíneas, Locales comerciales, etc), trasladando esto al pasajero y personal visitante del aeropuerto.

El desarrollo de la metodología propuesta tendrá la aplicación de métodos que nos permitirán alcanzar nuestros objetivos como aumentar la disponibilidad y conservar en buen estado físico y funcional del equipo, obtener información de análisis y modos de falla, y de las tareas asignadas, para poder alcanzar fiabilidad del proceso que queremos cambiar, se tomara en cuenta técnicas como, mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo usando herramientas propuestas como RCM. La elaboración de estas herramientas propuestas será necesaria para llegar a obtener una mejora y estructurar un plan de mantenimiento, de tal forma que garantice la optimización de todos los recursos disponibles (económico, humano, tecnológico, inventario, etc) y cumpla con las metas estipuladas por la compañía.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 BREVE HISTORIA DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM

En 1960 el gobierno de los EEUU formó un grupo de trabajo que incluía representantes de la Agencia Federal de Aviación y de las aerolíneas, para investigar las capacidades del mantenimiento preventivo. (Barrientos, 2016)

Esos primeros estudios, dirigidos por Stanley Nowlan y Howard Heap, originaron el RCM, de las palabras en inglés Reliability Centred Maintenance, traducido al español como Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad y fue el título del informe que presentaron sobre los procesos para preparar los programas de mantenimiento para aeronaves. (Barrientos, 2016)

Al final de 1950, la aviación comercial en el mundo estaba sufriendo más de 60 accidentes por millón de despegues. Si actualmente se estuviera presentando la misma tasa de accidentes, este sería de dos accidentes aéreos diariamente en el mundo. Dos tercios de los accidentes ocurridos al final de los 1950s eran causados por fallas en los equipos (Moubray, 2004)

En la década de los ochenta, la técnica RCM comenzó a penetrar en la industria en general John Moubray y sus asociados fueron pioneros en elaborar una rigurosa metodología de aplicación de esta técnica en la industria, comenzaron a trabajar en los sectores de la minería y manufacturas, usaron una versión levemente modificada del diagrama de Nowlan y Heap, dando lugar a RCM2. (Barrientos, 2016)

El RCM es uno de los procesos desarrollados durante 1960 y 1970 con la finalidad de ayudar a las empresas a buscar las políticas para optimizar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de fallas. A mediados de 1970, el gobierno norteamericano quiso conocer más acerca de la filosofía moderna de

mantenimiento de aeronaves, y solicitaron un reporte sobre éste a la industria aérea. Dicho reporte fue escrito por Stanley Nowlan y Howard Heap de United Airlines. Ellos lo titularon “RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE” (MANTENIMIENTO CENTRADO EN CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES 17 LA CONFIABILIDAD), fue publicado en 1978, y aún sigue siendo uno de los documentos más importantes en la historia del manejo de los activos físicos. Está disponible en el Servicio de Información Técnica Nacional del Gobierno de Norteamérica, en Springfield, Virginia. Este informe fue el fin de 20 años de investigación y experimentación con la aviación comercial de Norteamérica, un proceso que originó inicialmente el documento presentado en 1968, llamado Guía MSG – 1, Manual: Evaluación del Mantenimiento y Desarrollo del Programa, y el documento presentado en 1970: MSG-2 Planeación de Programas de Mantenimiento para Fabricantes / Aerolíneas. (Peña, 2017)

El objetivo principal del RCM es establecer el mantenimiento adecuado para conseguir el máximo beneficio en la operación de un determinado sistema o equipo, centrándose en conservar la funcionalidad del sistema y teniendo en cuenta las especificidades de la instalación y su entorno operativo. Es una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, aplicable a cualquier tipo de instalación industrial y muy adecuada para la implantación u optimización de un plan de mantenimiento preventivo que contribuye a la mejora de la confiabilidad de la misma y, por consiguiente, al incremento de la rentabilidad de los activos físicos implicados (Romero, 2015).

El proceso general de la metodología RCM conlleva una serie de tareas: definir claramente los adjetivos planteados anteriormente, sus interfaces con otros sistemas de la instalación y los componentes que lo forman, para posteriormente realizar el análisis de criticidad, permitiendo la selección de tareas de mantenimiento, la implantación de recomendaciones y el seguimiento de resultados. (Romero, 2015).

2.2 APLICACIÓN DEL RCM

2.2.1 Metodología. La norma SAE JA1011¹⁰ dice que un mantenimiento centrado en confiabilidad nos garantiza cuales son las tareas de inspección adecuadas para cualquier activo físico, pero debe cumplir 7 preguntas básicas para poder denominarlo como RCM:

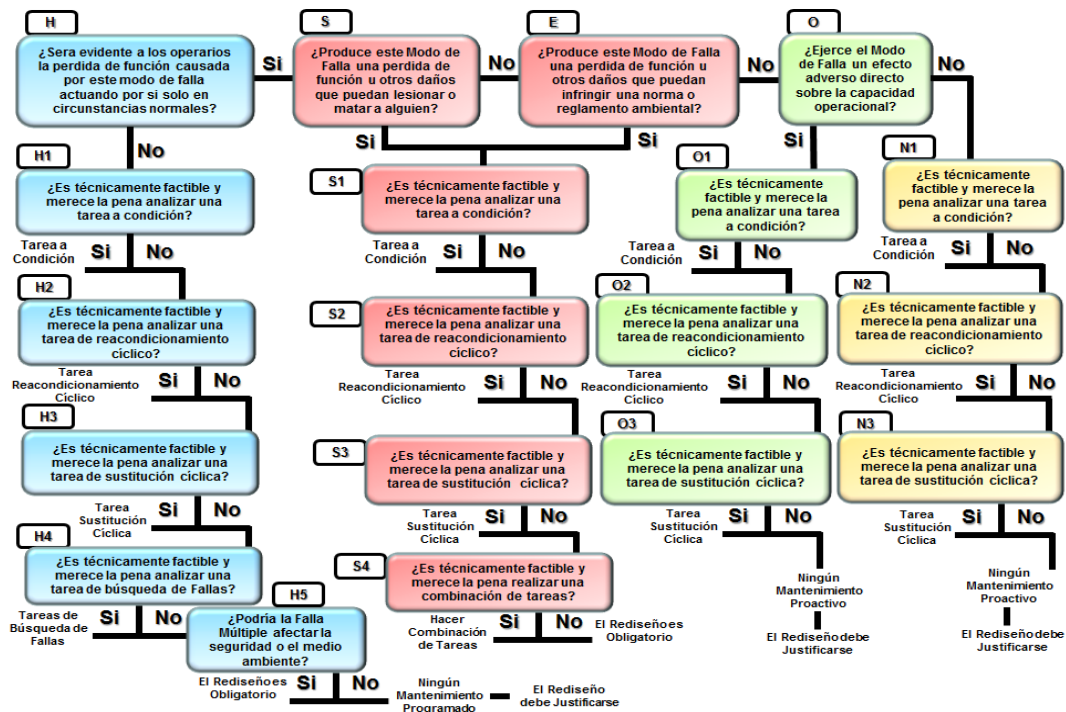
1. ¿Cuáles son las funciones o estándares de ejecución deseados para el equipo que se está analizando?
2. ¿Cuáles son las fallas funcionales del equipo?
3. ¿Cuáles son las posibles causas de las fallas funcionales?
4. ¿Cuáles son los efectos de cada una de las fallas?
5. ¿Cuáles son las consecuencias de las fallas?
6. ¿Qué se puede hacer para predecir o prevenir la falla?
7. ¿Qué puede hacerse si no se conoce una tarea para evitar la falla?

2.2.2 Herramientas claves. AMEF (Análisis de los modos de fallos): herramienta que nos permitirá identificar los efectos o consecuencias de los modos de fallos de cada activo o equipo en su contexto operacional. A partir de este análisis se obtienen las respuestas de las preguntas del 1 al 5 (Amendola, 2011).

¹⁰ Norma JA1011. Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) Publicada en 1999.

2.2.3 Árbol Lógico de Decisión. Permite seleccionar de forma óptima las actividades del mantenimiento según la filosofía del RCM. Con éste método se responden las preguntas 6 y 7. La figura 5 describe el diagrama de decisión RCM (Amendola, 2011).

Figura 5. Diagrama de decisión de RCM.



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. Asheville, North Carolina: Ed. Aladon, P 204-205.

2.2.4 Definición del contexto operacional. Para definir el contexto operacional es importante definir la unidad del proceso y sistema que se mencionarán a continuación:

Unidad de Proceso: Se define como una agrupación lógica de sistemas que funcionan unidos para suministrar un servicio (Amendola, 2011).

Sistemas: Conjunto de elementos interrelacionados dentro de las unidades del proceso, que tienen una función específica (Amendola, 2011).

Análisis de criticidad: Es una metodología que permite establecer jerarquías entre:

- Instalaciones.
- Sistemas.
- Equipos.
- Elementos de un equipo.

De acuerdo con su impacto total en el negocio, obtenido del producto de la frecuencia de fallas por la severidad de su ocurrencia, sumándole sus efectos en la población, daños al personal, impacto ambiental, pérdida de producción y daños en la instalación (Romero Carranza, 2017).

2.2.5 Descripción de la metodología de Análisis de Criticidad. La criticidad se determina cuantitativamente, multiplicando la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de una falla por la suma de las consecuencias de la misma, estableciendo rasgos de valores para homologar los criterios de evaluación.

Criticidad = Frecuencia x Consecuencia (Romero Carranza, 2017).

Donde:

La frecuencia: Es el número de eventos o fallas que se presenta en un tiempo determinado o evaluado.

Consecuencia = ((Impacto operacional +Factor flexibilidad operacional+ Costos de mantenimiento+ Impacto medio ambiente + Impacto seguridad + Eficiencia energética).

Figura 6. Matriz de criticidad



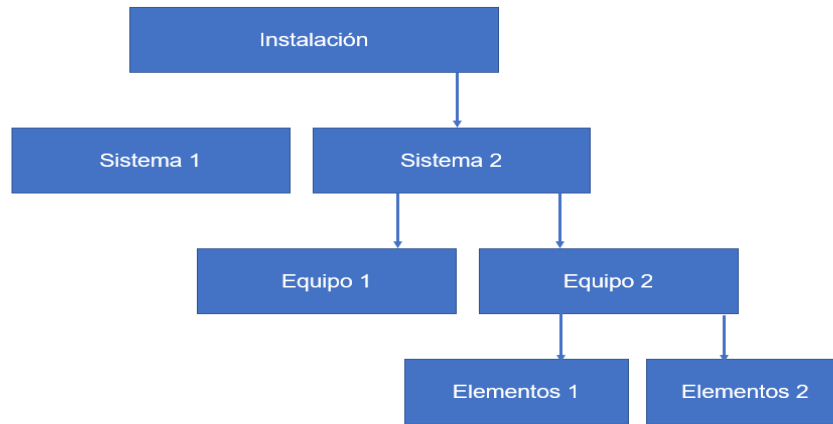
Fuente: Análisis de criticidad. (SAE, International JA1012, 2002).

En la figura 6, la matriz tiene un código de colores que permite identificar la menor o mayor intensidad de riesgo relacionado con el Valor de Criticidad de la instalación, sistema o equipo bajo análisis.

2.2.6 Pasos del análisis de criticidad.

2.2.6.1 Primer paso. Definir el nivel de análisis. Se deberán definir los niveles en donde se efectuará el análisis: instalación, sistema, equipo o elemento, de acuerdo con los requerimientos o necesidades de jerarquización de activos, la figura 7, describe los niveles de análisis para evaluar criticidad (Romero Carranza, 2017).

Figura 7. Niveles de análisis para evaluar criticidad.



Fuente: Propia.

2.2.6.2 Segundo paso. Definir la Criticidad. La estimación de la frecuencia de falla y el impacto total o consecuencia de las fallas se realiza utilizando criterios y rangos preestablecidos (Romero Carranza, 2017):

La tabla 1, muestra los criterios para estimar la frecuencia.

Tabla 1. Criterios para estimar la frecuencia.

FACTOR DE FRECUENCIA (FF)	
Descripción	Ponderación
Frecuente, Mas de 3 paradas al año	5
Probable, 1-3 paradas al año	4
Posible, 1 parada cada 2 años	3
Improbable, 1 evento en 5 años	2
Sumamente improbable, menos de 1 parada cada 5 años	1

Fuente: Propia.

Tomando como referencia las normas internacionales ISO JA1011 Y JA1012¹¹, se establecen los factores de frecuencia asociados al Impacto operacional, factor flexibilidad operacional, costos de mantenimiento, impacto medio ambiente,

¹¹ Norma JA1012. Practicas recomendadas para vehículos aeroespaciales y de superficie. Publicada en 2002.

impacto seguridad y eficiencia energética (Romero Carranza, 2017), como lo muestra la tabla 2.

Tabla 2. Factores de consecuencias.

FACTORES DE CONSECUENCIAS	
Impacto operacional	Ponderación
Perdidas mayores 75%	5
Perdidas 50% a 74%	4
Perdidas 25% a 49%	3
Perdidas 10% a 24%	2
Perdidas inferiores 10%	1
Factor flexibilidad operacional (FO)	Ponderación
No existe stock, tiempos reparación altos	5
Stock parcial, procedimiento reparación complejo	4
Stock parcial, procedimiento reparación considerables	3
Stock Suficiente, procedimiento reparación sencillo	2
Stock suficiente, tiempos reparación bajos	1
Costos de mantenimiento (CM)	Ponderación
Costos materiales superior 20000 USD	5
Costos materiales superior 10000-20000 USD	4
Costos materiales superior 3000-10000 USD	3
Costos materiales superior 200-3000 USD	2
Costos materiales inferior 200 USD	1
Impacto medio ambiente (IMA)	Ponderación
Daños irreversibles en el ambiente	5
Daños severos al ambiente	4
Daños medios al ambiente	3
Daños mínimos al ambiente	2
Sin daño ambiental	1
Impacto seguridad (IS)	Ponderación
Muerte o incapacidad	5
Incapacidad parcial o permanente	4
Daños o enfermedades severas	3
Daños leves en personas	2
Sin impacto en la seguridad	1
Eficiencia Energética (EF)	Ponderación
Perdida en el suministro de energía	5
impacto severo en la calidad de energía	4
impacto medio en la calidad de energía	3
impacto menor en la calidad de energía	2

Fuente. Propia.

2.2.6.3 Tercer Paso. Cálculo del nivel de criticidad. Para determinar el nivel de criticidad de una instalación, sistema, equipo o elemento, después de haber empleado la fórmula $\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{consecuencia}$, para determinar el nivel de criticidad de acuerdo con los valores y la jerarquización establecidos (Romero Carranza, 2017) en la Tabla 3.

Tabla 3. Rango de Criticidad

Criticidad alta, color Rojo, valores $50 \leq CT \leq 125$
Criticidad media, color Amarillo, valores $30 \leq CT \leq 49$
Criticidad baja, color Verde $5 \leq CT \leq 29$

Fuente: Propia.

2.2.6.4 Cuarto paso. Análisis y Validación de los resultados. Este análisis final permitirá validar los resultados obtenidos, tomar las decisiones acertadas a cada caso y a fin de detectar cualquier posible desviación que amerite la reevaluación de la criticidad (Romero Carranza, 2017).

2.3 MANTENIMIENTO

La norma UNE- EN 13306¹² define el mantenimiento como la combinación de todas las acciones técnicas administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual pueda desarrollar la función para la cual ha sido diseñado.

Los principales mecanismos utilizados en un programa de mantenimiento de aeropuertos son la inspección, revisión y reparación, cuyo objetivo primordial es garantizar la seguridad operacional de la infraestructura. El mantenimiento efectivo y continuo es la única solución para que el deterioro de dicha infraestructura se reduzca al mínimo. El mantenimiento abarca distintas áreas y sistemas del aeropuerto como son la obra civil de edificios, el sistema eléctrico del aeropuerto, el sistema de climatización, la red de agua potable y saneamiento, los sistemas contra incendios, las pistas y plataformas, balizamiento, comunicación, seguridad, campo de vuelos, etc. Un mantenimiento deficiente puede tener consecuencias fatales para el aeropuerto y su operativa, tales como la destrucción de equipos, la pérdida de servicio y producción, un mayor gasto de repuestos, la ineficiencia energética y, por ende, la contaminación ambiental, el incremento de accidentes e incidentes, etc(Itaerea aeronautical business school, 2018).

¹² Norma española. Terminología de mantenimiento. Esta norma europea especifica los términos genéricos y las especificaciones para las áreas técnicas, administrativas y de gestión de mantenimiento. UNE- EN 13306 julio 2018.

2.3.1 Mantenimiento preventivo. El mantenimiento preventivo, también conocido como mantenimiento planificado, consiste en adelantarse a las posibles averías que puedan surgir. Un ejemplo de mantenimiento preventivo es aquel que se basa en evitar los fallos por desgaste. La solución que se toma es la de ir reemplazando las piezas o equipos que pudieran sufrir este tipo de problemas relacionados con el paso del tiempo.

La principal ventaja del mantenimiento preventivo es que se evitan imprevistos y que todo está siempre bajo control. Sin embargo, es importante la organización porque hay que hacer inspecciones periódicas y, en aquellas empresas que no se suele parar la producción, habrá que establecer cuándo se hace esta pausa (Einatec, 2018).

2.3.2 Mantenimiento correctivo. El conocido como mantenimiento correctivo es aquel que consiste en arreglar los problemas a medida que van surgiendo y, aunque su principal ventaja es que no hay que invertir tiempo en la planificación, esto no siempre es positivo.

Hay que tener en cuenta que para solucionar aquellos problemas que puedan surgir habrá que parar la producción y esto puede afectar al ritmo laboral del equipo. Este tipo de mantenimiento es ideal para empresas con poca carga de trabajo, pero, si lo que se busca es estabilidad, es desaconsejable. Además de este, otro de los inconvenientes del mantenimiento correctivo es que hay que disponer de un inventario con los recambios necesarios en caso de reparación (Einatec, 2018).

2.3.3 Mantenimiento predictivo. El mantenimiento predictivo es muy similar al anterior pero la diferencia radica en que para establecer el estado de los equipos se tienen en cuenta tanto variables físicas como químicas. Detectar posibles fallos de los equipos con anterioridad permite anticiparse a errores y esto ayuda a reducir costes (Einatec, 2018).

2.4 INDICADORES

Los Indicadores de la Infraestructura Aeroportuaria Disponible, tienen por objeto establecer parámetros de seguimiento de las actividades del Concesionario y el establecimiento de mecanismos de deducción en caso de no alcanzar los niveles de cumplimiento establecidos.

Los indicadores de la Infraestructura Aeroportuaria disponible evalúan el funcionamiento de las Infraestructuras Aeroportuarias disponibles, así como la gestión interna del propio concesionario, midiendo el uso, los niveles de servicio y los estándares de calidad.

Las actividades incluidas en el funcionamiento de las infraestructuras aeroportuarias disponibles abarcan, entre otras, el uso de la infraestructura, los servicios a los pasajeros, la limpieza e higiene, la seguridad en las operaciones, la seguridad de las personas, el funcionamiento de los sistemas el mantenimiento y en general aquellos aspectos que están bajo la responsabilidad del Concesionario y que forman parte de la operación diaria de las infraestructuras aeroportuarias.

Para su evaluación se definen tres grupos de indicadores en función de su naturaleza: Indicadores de uso, Indicadores de niveles de servicio e Indicadores de estándares de calidad.

Término de aplicación para esta monografía nos enfatizaremos en los indicadores de niveles de servicio, aplicado al servicio de climatización. indicadores como disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad y preventivo.

2.4.1 Disponibilidad. Mide porcentualmente el tiempo en que el equipo o componente está disponible para la operación, con relación al tiempo total calendario (en horas).

$((\text{MTBF}/(\text{MTBF}+\text{MTTR})) \times 100)$, donde:

MTBF: Tiempo medio entre falla.

MTTR: Tiempo medio para reparar

MTBF: $(\text{TTS}-\text{TTR}) / \#\text{falla}$

MTTR: $\text{TTR} / \#\text{falla}$

TTS: Tiempo total de servicio del equipo o sistema.

TTR: Tiempo total de reparación del equipo o sistema.

Deducción: Si $((\text{MTBF}/(\text{MTBF}+\text{MTTR})) \times 100 < 95\%$.

2.4.2 Preventivo. El concesionario realizara todas las actividades de mantenimiento planificadas en un 99% de las ocasiones.

Deducción: Si $(\text{No. de actividades de mantenimientos realizadas}) / (\text{No. Totales de actividades programadas}) < 99\%$.

2.4.3 Indicadores de costos. Permite evaluar si una variable, aumenta, disminuye o se mantienen estable, de esta manera podemos conocer si se encuentra dentro de los parámetros aceptables dentro de la organización (Concesionario), o por el contrario si se está teniendo un costo excesito

A continuación, se relacionan los costos por rutinas de mantenimiento discriminando los valores por consumibles y mano de obra.

Costo total Vs año anterior.

Costo de mantenimiento RCM, costo de manteniendo correctivo.

3 PLAN DE TRABAJO

3.1 METODOLOGÍA

Para conseguir los objetivos planteados se debe de realizar pasos que permitan identificar y establecer el orden para el desarrollo de la monografía.

Selección de equipo para desarrollo de metodología RCM, mediante análisis de criticidad.

Conformación del equipo de trabajo, personal operativo y de mantenimiento.

1. Selección del equipo, análisis de criticidad.
2. Conformación del equipo de trabajo.
3. Recopilación de información actual de estado del equipo.
4. Función del equipo y fallo funcional.
5. Análisis de modo y efectos de falla (AMEF).
6. Análisis de árbol lógico de decisión del (RCM), Determinación de tareas específicas de mantenimiento.
7. Consecución del plan de mantenimiento.
8. Indicadores.

3.2 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Tomando como base el sistema de aire acondicionado central del aeropuerto Ernesto cortissoz de barranquilla, se determina el equipo con mayor criticidad y que será el objeto de análisis para la metodología RCM.

3.2.1 Selección del equipo, análisis de criticidad. Se aplica la metodología de análisis de criticidad a los equipos más importantes del sistema de aire acondicionado central tomando como base la Tabla. 2.1 criterios para estimar la frecuencia y Tabla. 2.2 factores de consecuencias, y estableciendo como impacto operacional la temperatura de confort en el aeropuerto se obtiene lo siguiente:

La tabla 4, nos muestra el factor de frecuencia utilizado.

Tabla 4. Factores de frecuencia aeropuerto.

FACTOR DE FRECUENCIA (FF) SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO CENTRAL	
Descripción	Ponderación
Frecuente, Mas de 3 paradas al año	5
Probable, 1-3 paradas al año	4
Posible, 1 parada cada 2 años	3
Improbable, 1 evento en 5 años	2
Sumamente improbable, menos de 1 parada cada 5 años	1

Fuente. Elaboración propia.

La tabla 5, nos muestra el factor de consecuencia utilizado.

Tabla 5. Factores de consecuencia aeropuerto.

FACTORES DE CONSECUENCIAS SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO CENTRAL	
Impacto operacional Temperatura Confort (IOTC)	Ponderación
Perdidas mayores 75% Temperatura Confort	5
Perdidas 50% a 74% Temperatura Confort	4
Perdidas 25% a 49% Temperatura Confort	3
Perdidas 10% a 24% Temperatura Confort	2
Perdidas inferiores 10% Temperatura Confort	1
Factor flexibilidad operacional (FO)	Ponderación
No existe stock, tiempos reparación altos	5
Stock parcial, procedimiento reparación complejo	4
Stock parcial, procedimiento reparación considerables	3
Stock Suficiente, procedimiento reparación sencillo	2
Stock suficiente, tiempos reparación bajos	1
Costos de mantenimiento (CM)	Ponderación
Costos materiales superior 20000 USD	5
Costos materiales superior 10000-20000 USD	4
Costos materiales superior 3000-10000 USD	3
Costos materiales superior 200-3000 USD	2
Costos materiales inferior 200 USD	1
Impacto medio ambiente (IMA)	Ponderación
Daños irreversibles en el ambiente	5
Daños severos al ambiente	4
Daños medios al ambiente	3
Daños mínimos al ambiente	2
Sin daño ambiental	1
Impacto seguridad (IS)	Ponderación
Muerte o incapacidad	5
Incapacidad parcial o permanente	4
Daños o enfermedades severas	3
Daños leves en personas	2
Sin impacto en la seguridad	1
Eficiencia Energética (EF)	Ponderación
Perdida en el suministro de energía	5
impacto severo en la calidad de energía	4
impacto medio en la calidad de energía	3
impacto menor en la calidad de energía	2

Fuente. Elaboración propia

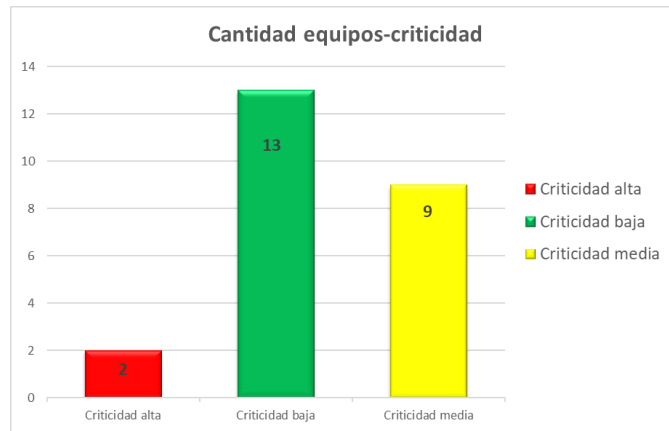
Tabla 6. Resultado análisis de criticidad sistema aire acondicionado central.

Ítem	Equipamiento	Frecuencia De Falla	Impacto Operacional	Flexibilidad Operacional	Costo De Mantenimiento	Impacto Ambiental	Impacto Seguridad	Eficiencia Energética	Consecuencia	Puntaje De Criticidad Ponderado
Electromecánicos										
Sistema De Aire Acondicionado Central										
1	chiller #1	1	3	3	3	1	2	1	16	16
2	chiller #2	3	3	3	3	1	2	1	16	48
3	chiller #3	5	3	3	3	1	2	1	16	80
4	chiller #4	1	3	3	2	1	2	1	15	15
5	manejadora #1	3	4	2	2	2	2	1	15	45
6	manejadora #2	2	4	2	2	2	2	1	15	30
7	manejadora #3	3	4	2	2	2	2	1	15	45
8	manejadora #4	2	4	2	2	2	2	1	15	30
9	manejadora #5	3	4	2	2	2	2	1	15	45
10	manejadora #6	2	4	2	2	2	2	1	15	30
11	manejadora #7	2	4	2	2	2	2	1	15	30
12	manejadora #8	3	4	2	2	2	2	1	15	45
13	Torrez de enfriamiento #1	1	5	2	2	2	2	1	17	17
14	Torrez de enfriamiento #2	1	5	2	2	2	2	1	17	17
15	Torrez de enfriamiento #3	1	4	2	2	2	2	1	17	15
16	Torrez de enfriamiento #4	3	4	3	2	2	2	1	22	57
17	Bomba1 agua fría sistema primario	1	3	1	2	1	2	1	9	9
18	Bomba2 agua fría sistema primario	1	3	1	2	1	2	1	9	9
19	Bomba1 agua fría sistema secundario	1	3	1	1	1	2	1	8	8
20	Bomba2 agua fría sistema secundario	1	3	1	1	1	2	1	8	8

Fuente. Elaboración propia.

La tabla 6, nos muestra como resultado de aplicar la metodología, nos muestra existen 2 equipos que se encuentran con criticidad alta y nos facilitar la toma de decisiones, para el caso de estudio tomaremos el equipo Chiller No.3 que es el más crítico y le aplicaremos la metodología RCM con el fin de obtener los objetivos planteados.

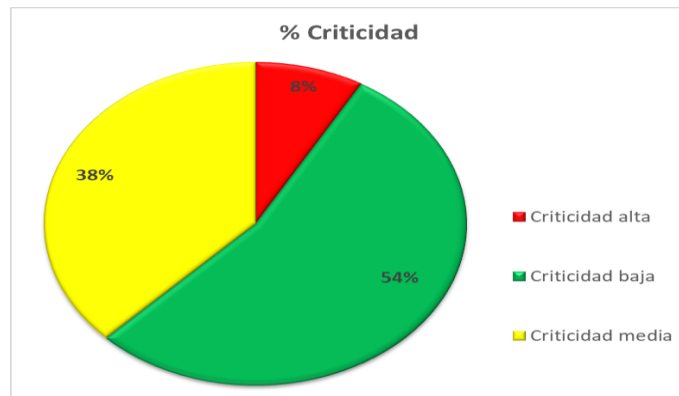
Figura 8. Cantidad equipos-criticidad.



Fuente. Elaboracion propia.

La Tabla 7 nos muestra el resultado general y la Tabla 8 el porcentaje de criticidad

Figura 9. Cantidad equipos-criticidad.



Fuente. Elaboracion propia.

3.2.2 Conformación del equipo de trabajo. Es de vital importancia seleccionar un grupo de profesionales necesarios para la formación, implantación y seguimiento de la metodología RCM, se describe a continuación:

Un responsable del proyecto

Facilitador (planificador de mantenimiento y/o especialista)

Especialista Mecánico (supervisor mecánico)

Especialista Eléctrico (supervisor eléctrico)

Un técnico perfectamente conocedor de los métodos empleados por RCM.

3.2.3 Recopilación de información actual de estado del equipo. Este equipo Chiller No. 3, presenta un modelo YS BA BA S0 THOUGH YS FC FB S5 250 como lo muestra la Foto 2.

Foto 2. Chiller modelo YS BA BA S0 THOUGH YS FC FB S5 250.



Fuente. York. Model yk centrifugal liquid chillers style g. Form 160.75-eg1 (915).

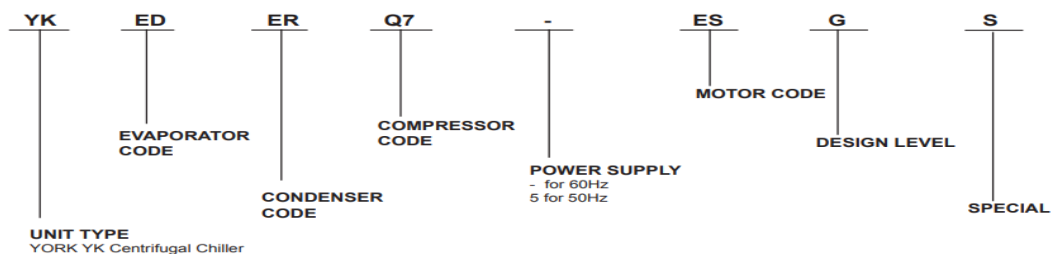
3.2.3.1 Como funciona. El agua que se requiere enfriar circula dentro del chiller a través de un intercambiador. Este flujo de agua transmitirá su calor al flujo del refrigerante. El refrigerante, al recibir el calor, se evapora debido a sus características y a la baja presión de evaporación.

El refrigerante es extraído por el compresor, el cual lo envía comprimido al condensador. En dicho proceso, el refrigerante se calienta por el efecto de la compresión y del calor del motor del compresor. El gas caliente del compresor entra al condensador, en donde su calor es transmitido a un medio refrigerante. El calor extraído provoca que el refrigerante se condense a alta presión. El refrigerante en estado líquido a alta presión es enviado directamente al a válvula de expansión para su inyección en el evaporador y así reiniciar el ciclo. (Cero grados, 2017).

3.2.3.2 Principio de operación. El objetivo es extraer el calor sensible del agua, empleando un medio refrigerante.

3.2.3.3 Nomenclatura. El número de modelo denota las siguientes características de la unidad.

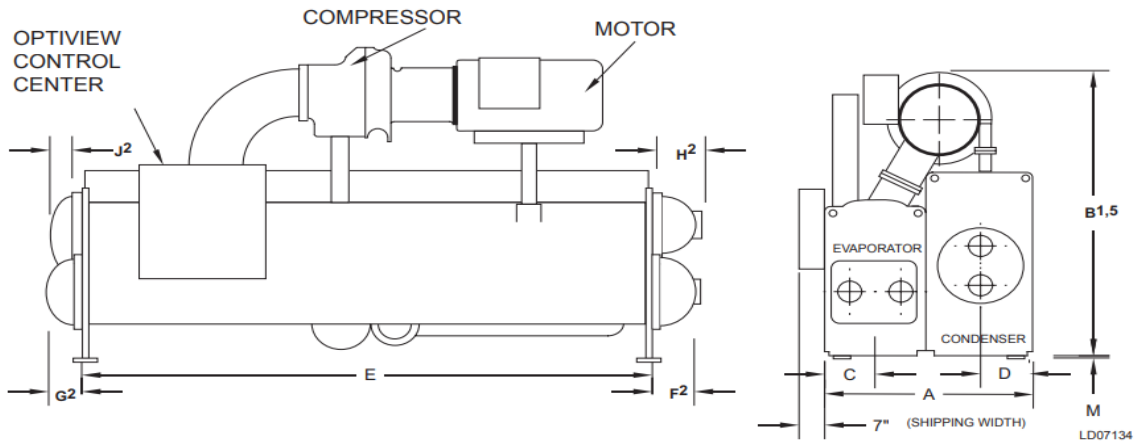
Figura 10. Nomenclatura chiller.



Fuente. York. Model yk centrifugal liquid chillers style g. Form 160.75-eg1 (915)

3.2.3.4 Elementos principales. La figura 9, no muestra las partes más importantes del chiller.

Figura 11. Elementos principales del chiller.



Fuente. York. Model yk centrifugal liquid chillers style g. Form 160.75-eg1 (915).

Ver medidas técnicas completas en anexo Figuras 15, 16 y 17.

Códigos de la carcasa del evaporador, condensador y compresor del chiller descritas en la figura 10.

Figura 12. Pantalla del compresor.

K2 COMPRESSOR EVAPORATOR-CONDENSER SHELL CODES					
DIM	M-M	M-U	N-N	P-P	Q-Q
A	8'-7" (2616)	9'-6" (2896)	8'-7" (2616)	9'-1 1/2" (2781)	9'-1 1/2" (2781)
B	11'-4" (3454)	11'-10" (3607)	11'-4" (3454)	11'-5" (3480)	11'-5" (3480)
C	2'-4 1/2" (724)	2'-4 1/2" (724)	2'-4 1/2" (724)	2'-5 1/2" (749)	2'-5 1/2" (749)
D	1'-11" (584)	2'-4 1/2" (724)	1'-11" (584)	2'-1 1/4" (641)	2'-1 1/4" (641)
E	14'-0" (4267)	14'-0" (4267)	16'-0" (4877)	14'-0" (4267)	16'-0" (4877)

Fuente. York. Model yk centrifugal liquid chillers style g. Form 160.75-eg1 (915).

➤ **El compresor.**

Es el encargado de hacer circular al refrigerante. El compresor succiona el refrigerante sobrecalentado a baja presión y temperatura, y lo comprime aumentando la presión y la temperatura. A través de las líneas de descarga de gas caliente fluye el refrigerante a alta presión y temperatura hacia la entrada del condensador (Ver figura 11).

Componentes del compresor:

1. Silenciador.
2. Caja Bornes.
3. Válvula de descarga.
4. Estructura o Carcasa
5. Motor eléctrico
6. Filtro de gas
7. Filtro de aceite

Figura 13. Pantalla del compresor.



Fuente. York. Model yk centrífugal liquid chillers style g. Form 160.75-eg1 (915).

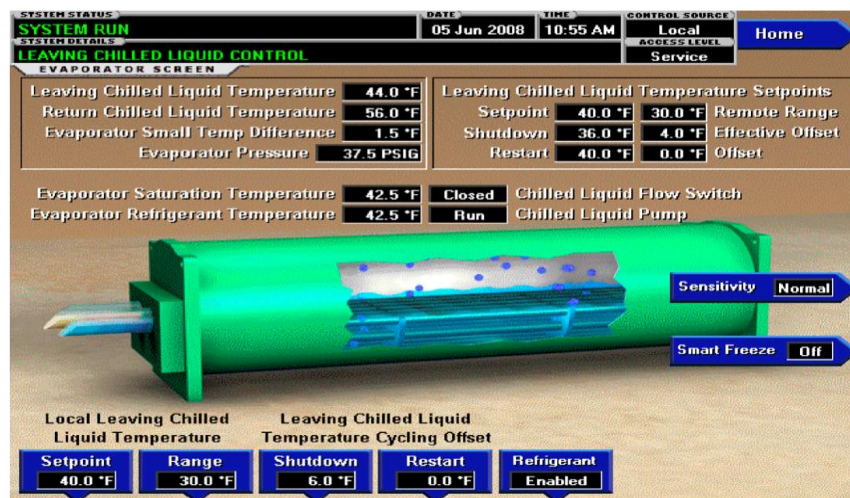
➤ **El evaporador.**

Intercambiador de calor, cuya función es proporcionar una superficie para transferir calor del líquido por enfriar al refrigerante en condiciones de saturación. Mediante la línea de succión fluye el refrigerante como vapor a baja presión. Acá el calor del agua es transferido al refrigerante (ver figura 12).

Componentes del evaporador:

1. Filtro Secador
2. Válvula de expansión
3. Bomba evaporador
4. Separador de Aceite
5. Deflectores de Agua
6. Mirilla
7. Cabezales
8. Tanque

Figura 14. Pantalla del evaporador.



Fuente. York. Model yk centrifugal liquid chillers style g. Form 160.75-eg1 (915).

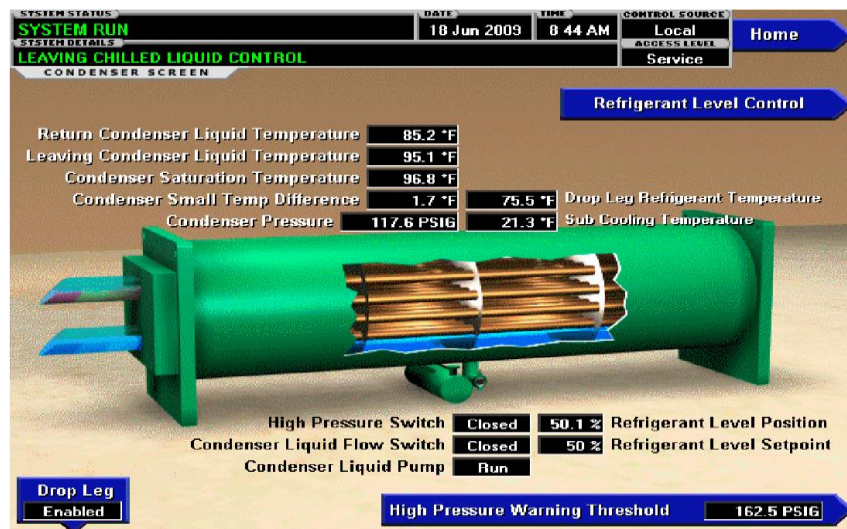
➤ **El condensador.**

Su función es proporcionar una superficie de transferencia de calor, a través de la cual pasa el calor del refrigerante caliente al medio condensante (ver figura 13).

Componentes del condensador:

1. Bobinado motor
2. Alabes del ventilador
3. Cojinetes del motor
4. Carcasa
5. Batería Condensador
6. Collarín

Figura 15. Pantalla del condensador.



Fuente. York. Model yk centrifugal liquid chillers style g. Form 160.75-eg1 (915).

➤ **Panel y módulo de control eléctricos.**

Es el punto de comunicación del chiller con el usuario. Se programa el funcionamiento del chiller y condiciones como set point¹³ de temperaturas, arranques, paradas, bombas, etc. Además se informan el estado del equipo en tiempo real temperaturas del circuito de refrigeración, circuito de agua, presiones, tiempos de hora de servicio, otros (Ver fotos 2 y 3).

Foto 3. Panel de control chiller

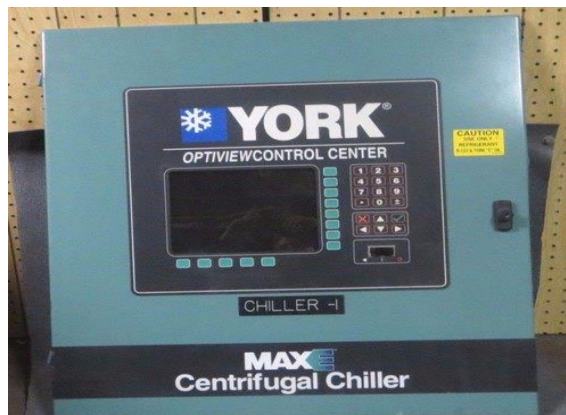
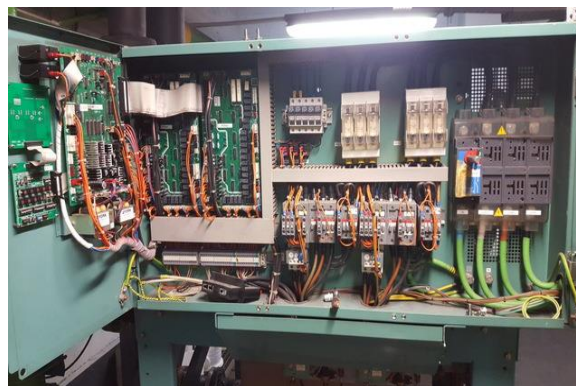


Foto. Obteida de York & Johnson Controls Chillers indiamart.com

Foto 4. Módulo de control eléctrico chiller.



Fuente. Obtenido de. <https://www.milanuncios.com/anuncios-en-barcelona/compresor-de-tornillo.htm>.

¹³ Punto de ajuste de alguna variable de un sistema de control automático.

➤ **Contexto operacional.**

El equipo Chiller No. 3 presenta una operación 24 horas diarias es decir a un promedio mensual de 720 H-mes.

La tabla 7, nos muestra la disponibilidad que presento el chiller No. 3, en el año 2019.

Tabla 7. Cálculo de disponibilidad equipo chiller 3, año 2019.

Item	Equipo	Operación de equipos		Tiempo de inactividad (por fallas)	Tiempo productivo	# Fallas por año	MTBF	MTTR	Disponibilidad
		(Hr-Mes)	(Hr-Año)	Equipo inactivo (Hr-Año)	Disponibilidad (Hr-Año)		MTBF = (Tiempo productivo / (número de fallas))	MTTR = (Tiempo total de inactividad) / (número de fallas)	
1	chiller #3	720	8.640	882	7.758	5	1552	176	89,8%

Tabla. Datos del concesionario.

Deseamos con aplicación de la metodología seleccionada RCM aumentar la disponibilidad del equipo a 95% como mínimo.

Para poder realizar esto debemos de pasar de un tiempo de inactividad de 882 Hr-Año a 432 Hr-Año como máxima.

Esto sería pasar de tener el equipo disponible de 7.758 Hr-Año a 8.208 Hr-Año como mínimo.

3.2.4 Función del equipo y fallo funcional.

3.2.4.1 Equipo Chiller.

➤ **Funciones primarias.**

- Mantener el líquido refrigerado cuando está en función de frío.
- Mantener el líquido calentado cuando está en función de bomba de calor.

➤ **Funciones secundarias.**

- Bombear el agua enfriada a los serpentines en áreas especificadas del aeropuerto.
- Abrir y cerrar el flujo de agua a través de áreas especificadas del aeropuerto, manteniendo el aire en los cuartos a la temperatura deseada.

➤ **Fallas funcionales.**

- Se pierde la capacidad de bombear el agua enfriada a los serpentines en áreas especificadas del aeropuerto.
- Se pierde la capacidad de abrir y cerrar el flujo de agua a través de áreas especificadas del aeropuerto, manteniendo el aire en los cuartos a la temperatura deseada.
- Se pierde la capacidad de mantener el líquido refrigerado cuando está en función de frío.
- Se pierde la capacidad de mantener el líquido calentado cuando está en función de bomba de calor.

3.2.4.2 Componentes. La función y fallas funcionales de los componentes del chiller No.3, descritas en la tabla 8.

Tabla 8. Funciones y fallas funcionales de componentes del chiller 3.

EQUIPO:		Chiller	
ELEMENTO: COMPRESOR			
COMPONENTE	Función	Falla funcional	
1. Silenciador	Amortigua los ruidos del compresor	No amortigua	
2. Caja Bornes	Confina las conexiones eléctricas en condiciones libres de humedad y partículas	No resguarda las conexiones	
3. Válvula de descarga	Cerrarse ante el paro del compresor	No opera	
		No se cierra	
4. Estructura o Carcasa	Protege la maquina y sus componentes de agentes externos	No protege	
5. Motor eléctrico	Transformar energía eléctrica en energía mecánica a una velocidad determinada	Motor no gira	
6. Filtro de gas	Elimina partículas sólidas del aire	No permite la conducción uniforme del fluido	
		No restringe	
7. Filtro de aceite	Retiene las partículas de aceite	No permite la conducción uniforme del fluido	
		No restringe	
ELEMENTO: CONDENSADOR			
COMPONENTE			
1. Bobinado motor	Convertir energía eléctrica en energía mecánica	Motor no gira	
2. Alabes del ventilador	Generar un caudal de aire determinado con el fin de impulsar un fluido y refrigerar	No genera corriente de aire	
		No gira	
3. Cojinetes del motor	Mantiene la alineación, equilibrando las cargas axiales	No alineación	
		No permite el movimiento	
4. Carcasa	Protege la maquina y sus componentes de agentes externos	No protege	
5. Batería Condensador	Refrigerar y condensar el aire caliente	No se condensa el aire	
6. Collarín	Fija el haz de tuberías del serpentín	No soporta	

ELEMENTO: EVAPORADOR		
COMPONENTE		
1. Filtro Secador	Filtrar impurezas para evitar el taponamiento del tubo capilar	No permite la conducción uniforme del fluido
		No restringe
2. Válvula de expansión	Mantiene lleno de líquido y gas refrigerante permitiendo que solo salga del mismo gas sobrecalentado para no dañar el compresor	Válvula no opera
		Válvula no funciona correctamente
3. Bomba evaporador	Suministra fluido de manera constante	No bombea
		Bomba no funciona correctamente
4. Separador de Aceites	Desvía el aceite del refrigerante para devolverlo al Carter del compresor	No separa el aceite
5. Deflectores de Agua	Cambia la trayectoria del agua en el evaporador	No separa
6. Mirilla	Registra el nivel de humedad	No registra los cambios de nivel
7. Cabezales	Genera hermeticidad en el evaporador	Perdida de presión
8. Tanque	Contiene una cantidad de fluido a una presión y temperatura determinada	No contiene el fluido
		Deformación del tanque
9. Panel de control	Permite la interface hombre máquina para visualizar, monitorear y controlar un sistema.	No se visualiza
10 módulo de control eléctrico	Permite las conexiones eléctricas del equipo	No accionan
		No conducen energía
		No interrumpen la corriente en caso de corto

Fuente. Elaboración propia.

3.2.5 Análisis de modo y efectos de falla (AMEF). Procedimiento que permite identificar fallas en productos, procesos y sistemas, así como evaluar y clasificar de manera objetiva sus efectos, causas y elementos de identificación, para de esta forma, evitar su ocurrencia y tener un método documentado de prevención (López, 2019). Se desarrolló este análisis para cada uno de los componentes del equipo Chiller 3.

Vemos como resultado la tabla 9 que, corresponde al AMEF.

El uso de este procedimiento da como respuesta las cinco primeras preguntas de la metodología RCM.

1. ¿Cuáles son las funciones o estándares de ejecución?
2. ¿Cuáles son las fallas funcionales del equipo?
3. ¿Cuáles son las posibles causas de las fallas funcionales?
4. ¿Cuáles son los efectos de cada una de las fallas?
5. ¿Cuáles son las consecuencias de las fallas?

Tabla 9. Tabla AMEF

AMFE							
AREA:		Terminal Aeropuerto Ernesto Cortissoz		SISTEMA:	Sistema de Aire acondicionado Central		
EQUIPO:		Chiller				No.	No. 3
¿CUÁLES SON LAS FUNCIONES O ESTÁNDARES DE EJECUCIÓN?		¿CUÁLES SON LAS FALLAS FUNCIONALES DEL EQUIPO? (PERDIDA DE FUNCION)		¿CUÁLES SON LAS POSIBLES CAUSAS DE LAS FALLAS FUNCIONALES? MODO DE FALLA		¿CUÁLES SON LOS EFECTOS DE CADA UNA DE LAS FALLAS? EFECTO DE FALLA	¿CUÁLES SON LAS CONSECUENCIAS DE LAS FALLAS?
COMPONENTE	FUNCION	NIVEL	FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA	COSECUENCIA DE FALLA
		A	Función primaria	1			
				2			
				3			
		B	Función secundaria	1			
				2			
				3			

Fuente. Elaboración Propia.

A continuación, se detalla en las tablas 10,11 y 12 al análisis del AMEF a cada uno de los componentes del chiller.

Tabla 10. AMEF, compresor chiller 3.

AMFE AEROPUERTO							
AREA:	Terminal Aeropuerto Ernesto Cortissoz		SISTEMA:	Sistema de Aire acondicionado Central			
EQUIPO:	Chiller			No.	No. 3		
¿CUÁLES SON LAS FUNCIONES O ESTÁNDARES DE EJECUCIÓN?	¿CUÁLES SON LAS FALLAS FUNCIONALES DEL EQUIPO? (PERDIDA DE FUNCION)	¿CUÁLES SON LAS POSIBLES CAUSAS DE LAS FALLAS FUNCIONALES? MODO DE FALLA	¿CUÁLES SON LOS EFECTOS DE CADA UNA DE LAS FALLAS? EFECTO DE FALLA	¿CUÁLES SON LAS CONSECUENCIAS DE LAS FALLAS?			
COMPRESOR							
1. Silenciador	Amortigua los ruidos del compresor	A	No amortigua	1	Deformaciones	Se incrementa el ruido que genera el compresor	<p>Se pierde la capacidad de bombear el agua enfriada a los serpentines en áreas especificadas del aeropuerto.</p> <p>Se pierde la capacidad de abrir y cerrar el flujo de agua a través de áreas especificadas del aeropuerto, manteniendo el aire en los cuartos a la temperatura deseada.</p> <p>Se pierde la capacidad de mantener el líquido refrigerado cuando está en función de frío.</p> <p>Se pierde la capacidad de mantener el líquido calentado cuando está en función de bomba de calor.</p>
				2	Mal posicionamiento del silenciador	Ruido excesivo	
				3	Conexión irregular	Se incrementa el ruido que genera el compresor	
				4	Daño por golpes externos	Ruido excesivo	
2. Caja Bornes	Confina las conexiones eléctricas en condiciones libres de humedad y partículas	A	No resguarda las conexiones	1	Rotura	Puede generar corto circuito	
				2	Corrosión	Expone las conexiones a cualquier daño	
				3	Daño por golpes externos	Puede generar corto circuito	
				4	Daño por aplastamiento	Expone las conexiones a cualquier daño	
3. Válvula de descarga	Cerrarse ante el paro del compresor	A	No opera	1	Daño físico	Perdida de gas	
				2	Falla de algún componente	La válvula no se acciona y no cumple con su función	
		B	No se cierra	1	Daño por golpes externos	Puede afectar la eficiencia de la válvula y por ende del proceso	
4. Estructura o Carcasa	Protege la maquina y sus componentes de agentes externos	A	No protege	1	Desgaste	No protege correctamente la maquina	
				2	Ruptura	No protege correctamente la maquina	
				3	Daño por golpes externos	No protege correctamente la maquina	
				4	Daño por aplastamiento	No protege correctamente la maquina	
5. Motor eléctrico	Transformar energía eléctrica en energía mecánica a una velocidad determinada	A	Motor no gira	1	Fatiga de rodamientos	Desalineamiento del eje y bloqueo de la maquina	
				2	Corto circuito	Disparo de protecciones eléctricas magnéticas	
				3	Rozamiento en los rodamientos	Los rodamientos se pegan por falta de lubricante	

6. Filtro de gas	Elimina partículas sólidas del aire	A	No permite la conducción uniforme del fluido	1	Taponamiento	Puede generar recalentamiento
		B	No restringe	1	Filtro en mal estado	Se genera contaminación en el proceso
				2	Filtro desgastado	No cumple con la función y genera agentes contaminantes
7. Filtro de aceite	Retiene las partículas de aceite	A	No permite la conducción uniforme del fluido	1	Taponamiento	Puede generar recalentamiento
		B	No restringe	1	Filtro en mal estado	Se genera contaminación en el proceso
				2	Filtro desgastado	No cumple con la función y genera agentes contaminantes

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 11. AMEF, condensador chiller 3.

AMFE AEROPUERTO						
AREA:	Terminal Aeropuerto Ernesto Cortissoz		SISTEMA:	Sistema de Aire acondicionado Central		
EQUIPO:	Chiller			No.	No. 3	
¿CUÁLES SON LAS FUNCIONES O ESTÁNDARES DE EJECUCIÓN?	¿CUÁLES SON LAS FALLAS FUNCIONALES DEL EQUIPO? (PERDIDA DE FUNCION)	¿CUÁLES SON LAS POSIBLES CAUSAS DE LAS FALLAS FUNCIONALES? MODO DE FALLA	¿CUÁLES SON LOS EFECTOS DE CADA UNA DE LAS FALLAS? EFECTO DE FALLA	¿CUÁLES SON LAS CONSECUENCIAS DE LAS FALLAS?		
CONDENSADOR						
1. Bobinado motor	Convertir energía eléctrica en energía mecánica	A	Motor no gira	1	Fatiga de rodamientos	Desalineamiento del eje y bloqueo de la maquina
				2	Corto circuito	Disparo de protecciones eléctricas magnéticas
				3	Rozamiento en los rodamientos	Los rodamientos se pegan por falta de lubricante
2. Alabes del ventilador	Generar un caudal de aire determinado con el fin de impulsar un	A	No genera corriente de aire	1	Desgaste de los alabes	No genera el caudal de aire deseado
				2	Corrosión de los alabes	Ventilador suelto
				3	Rotura de los alabes	No refrigera
		B	No gira	1	Daño por golpes externos	Puede alterar la estructura y

	fluido y refrigerar				componentes haciendo que los alabes funcionen de forma incorrecta	<p>manteniendo el aire en los cuartos a la temperatura deseada.</p> <p>Se pierde la capacidad de mantener el líquido refrigerado cuando está en función de frío.</p> <p>Se pierde la capacidad de mantener el líquido calentado cuando está en función de bomba de calor.</p>	
				2	Cuerpos externos en los alabes		Puede causar interrupción o atascamiento dañando los alabes y evitado que generen el caudal de aire
3. Cojinetes del motor	Mantiene la alineación, equilibrando las cargas axiales	A	No alineación	1	Sequedad en el cojinete		Reduce la velocidad del mecanismo
				2	desgaste en el cojinete		Reduce la velocidad del mecanismo
				3	Rotura en el cojinete		Produce una falla parcial de la maquina
		B	No permite el movimiento	1	Daños por golpes externos		desajuste y desalineación de los componentes en acción
				2	Selección incorrecta del cojinete		no permite la ejecución correcta de la función
				3	Mal posicionamiento del cojinete		No permite el movimiento de una pieza respecto a otra
4. Carcasa	Protege la maquina y sus componentes de agentes externos	A	No protege	1	Desgaste		No protege correctamente la maquina
				2	Ruptura		No protege correctamente la maquina
				3	Daño por golpes externos	No protege correctamente la maquina	
				4	Daño por aplastamiento	No protege correctamente la maquina	
5. Batería Condensador	Refrigerar y condensar el aire caliente	A	No se condensa el aire	1	Rotura	No refrigera el aire que se necesita	
				2	Corrosión	Se producen fugas y el condensador no funciona correctamente	
				3	Desgaste	Se producen fugas de aire	
6. Collarín	Fija el haz de tuberías del serpentín	A	No soporta	1	Rotura del collarín	Falla total del collarín	
				2	desgaste del collarín	Afecta la función del serpentín	
				3	Daño por golpes externos	Altera el funcionamiento adecuado de la maquina	
				4	Daño por aplastamiento	puede generar daños significativos en el componente y hacer que este no funcione	

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 12. AMEF, evaporador chiller 3.

AMFE							
AREA:	Terminal Aeropuerto Ernesto Cortissoz		SISTEMA:	Sistema de Aire acondicionado Central			
EQUIPO:	Chiller		No.	No. 3			
¿CUÁLES SON LAS FUNCIONES O ESTÁNDARES DE EJECUCIÓN?	¿CUÁLES SON LAS FALLAS FUNCIONALES DEL EQUIPO? (PERDIDA DE FUNCION)	¿CUÁLES SON LAS POSIBLES CAUSAS DE LAS FALLAS FUNCIONALES? MODO DE FALLA	¿CUÁLES SON LOS EFECTOS DE CADA UNA DE LAS FALLAS? EFECTO DE FALLA	¿CUÁLES SON LAS CONSECUENCIAS DE LAS FALLAS?			
EVAPORADOR							
1. Filtro Secador	Filtrar impurezas para evitar el taponamiento del tubo capilar	A	No permite la conducción uniforme del fluido	1	Taponamiento	Puede generar recalentamiento	Se pierde la capacidad de bombear el agua enfriada a los serpentines en áreas especificadas del aeropuerto. Se pierde la capacidad de abrir y cerrar el flujo de agua a través de áreas especificadas del aeropuerto, manteniendo el aire en los cuartos a la temperatura deseada.
		B	No restringe	1	Filtro en mal estado	Se genera contaminación en el proceso	
				2	Filtro desgastado	No cumple con la función y genera agentes contaminantes	
2. Válvula de expansión	Mantiene lleno de líquido y gas refrigerante permitiendo que solo salga del mismo gas sobrecalentado para no dañar el compresor	A	Válvula no opera	1	válvula pegada	Subida de presión entre el condensador y el evaporador	
				2	Daño por golpes externos	Causa fugas y pérdidas de gas	
				3	Daño por aplastamiento	Puede producir el fallo total de la válvula, ya que no cumpliría su función principal	
		B	Válvula no funciona correctamente	1	Falla en alguno de sus componentes	No Cumple a cabalidad su función	
				2	Selección incorrecta de componentes	Genera inconsistencias en el proceso de la maquina	
3. Bomba evaporador	Suministra fluido de manera constante	A	No bombea	1	Daño por golpes externos	No carga el evaporador lo que hace que no funcione la maquina	
		B	Bomba no funciona correctamente	1	Falla en alguno de sus componentes	No Cumple a cabalidad su función	
				2	Selección incorrecta de componentes	Genera inconsistencias en el proceso de bombeo	
4. Separador de Aceites	Desvía el aceite del refrigerante para devolverlo al Carter del compresor	A	No separa el aceite	1	Daño por golpes externos	Contaminación del gas con aceite	
				2	Taponamiento	No permite separar los fluidos y se genera contaminación	
5. Deflectores de Agua	Cambia la trayectoria del agua en el evaporador	A	No separa	1	Corrosión	No cambia la trayectoria	
				2	Rotura	La trayectoria del agua sigue un mismo curso	
				3	Daño por golpes externos	Genera alteraciones físicas en el componente haciendo que no cumpla con su función	

				4	Interrupción por agentes externos	taponamiento que interrumpe el flujo del agua
6. Mirilla	Registra el nivel de humedad	A	No registra los cambios de nivel	1	Daño físico	No transmite las señales de registro
				2	Conexión incorrecta o defectuosa	No funciona adecuadamente, lo que causa que no se pueda controlar los niveles de altura requeridos
				3	Mirilla en mal estado	Registro ineficiente y lecturas inadecuadas
7. Cabezales	Genera hermeticidad en el evaporador	A	Perdida de presión	1	Rotura	Puede generar fugas y daño en el condensador lo que no permitirá realizar la función principal de este mismo.
				2	Corrosión	Puede generar fugas en el evaporador
8. Tanque	Contiene una cantidad de fluido a una presión y temperatura determinada	A	No contiene el fluido	1	Rotura del tanque	No es capaz de contener el fluido que se necesita
				2	Desgaste del tanque	Fugas del fluido y alteraciones en la temperatura y presión
		B	Deformación del tanque	1	Dañado por golpes externos	Altera el volumen del tanque y por ende su presión y temperatura
				2	Dañado por aplastamiento	Puede causar un daño significativo al tanque causando la falla total de este mismo.
9. Panel y módulo de control eléctricos	Permite la interface hombre máquina para visualizar, monitorear y controlar un sistema.	A	No se visualiza	1	Deterioro en el controlador	No se puede controlar los procesos
				2	Deterioro en el display	No se puede visualizar los parámetros del chiller
				3	Deterioro en el panel	No se puede controlar los procesos
		A	No accionan	1	Deterioro en los relés	No es capaz de accionar en caso de aumento de temperatura por la corriente
2	Deterioro en los interruptores			No es capaz de accionar en caso de sobre corriente o cortocircuitos		
10. Módulo de control eléctrico	Permite las conexiones electricas del equipo	A	No conducen energía	3	Deterioro en los cables	Puede generar disparo en los interruptores
				4	Deterioro en las terminales	Puede generar aumento de la corriente y posibles disparos de los interruptores
			No interrumpen la corriente en caso de corto	5	Deterioro en los fusibles	No puede cumplir con su función de proteger por corto circuito

Fuente. Elaboración propia.

3.2.5.1 Número de prioridad de riesgo (NPR). Calculamos el número de prioridad de riesgo (RPN o NPR) para cada falla, del cual nos permitirá tomar decisiones como priorizar las fallas que generen mayor impacto, esto se calcula mediante la multiplicación de tres índices.

$$G \times A \times D = NPR.$$

Cada índice se describe a continuación:

➤ **Índice de gravedad.**

Examina la gravedad o consecuencia de que se concreta un fallo en específico, podemos decir, del efecto (Isotools, 2015). utilizaremos una escala del 1 al 10 usando como referencia la tabla 13.

Tabla 13. Calificación índice de gravedad.

índice de gravedad	
Calificación	Cualitativa
1	Ninguno
2	Muy bajo
3	Muy bajo
4	Bajo
5	Bajo
6	Moderado
7	Alto
8	Muy alto
9 a 10	Peligroso

Fuente. Elaboración propia.

➤ **Índice de aparición.**

Hace referencia a la probabilidad que puede producirse el modo de fallo por cada una de las causas probables en escala del 1 al 10 (Isotools, 2015), fundamentada en la tabla 14.

Tabla 14. Calificación índice de probabilidad.

índice de probabilidad	
Calificación	Cualitativa
1	Nivel de Falla improbable
2	Nivel de Falla muy baja
3	Nivel de Falla muy baja
4	Nivel de Falla Bajo
5	Nivel de Falla Bajo
6	Nivel de Falla Bajo
7	Nivel de Falla Alto
8	Nivel de Falla Alto
9	Nivel de Falla permanente
10	Nivel de Falla permanente

Fuente. Elaboración propia.

➤ **Índice de detección.**

Este índice evalúa la probabilidad de detectarla la falla y el modo de fallo resultante antes de que llegue al cliente (Isotools, 2015). También se evalúa del 1 al 10 en base a la tabla 15.

Tabla 15. Calificación índice de detección.

índice de detención	
Calificación	Cualitativa
1	Control seguro
2	Control casi seguro
3	Control bueno
4	Control bueno
5	Control regular
6	Control regular
7	Poco control
8	Poco control
9	Control malo
10	No hay control

Fuente. Elaboración propia.

A continuación, se detalla en las tablas 16,17 y 18, el análisis del NPR aplicado al AMEF encada uno de los componentes del chiller no3, con el fin de priorizar los riesgos a las personas.

Tabla 16. Cálculo NPR, compresor chiller 3.

AMFE AEROPUERTO										
AREA:	Terminal Aeropuerto Ernesto Cortissoz			SISTEMA:	Sistema de Aire acondicionado Central			NUMERO PRIORIDAD DEL RIESGO		
EQUIPO:	Chiller			No.	No. 3					
¿CUÁLES SON LAS FUNCIONES O ESTÁNDARES DE EJECUCIÓN?	¿CUÁLES SON LAS FALLAS FUNCIONALES DEL EQUIPO? (PERDIDA DE FUNCION)	¿CUÁLES SON LAS POSIBLES CAUSAS DE LAS FALLAS FUNCIONALES? MODO DE FALLA	¿CUÁLES SON LOS EFECTOS DE CADA UNA DE LAS FALLAS? EFECTO DE FALLA	G	A	D	NPR			
COMPRESOR										
1. Silenciador	Amortigua los ruidos del compresor	A	No amortigua	1	Deformaciones	Se incrementa el ruido que genera el compresor	1	6	3	18
				2	Mal posicionamiento del silenciador	Ruido excesivo	1	6	3	18
				3	Conexión irregular	Se incrementa el ruido que genera el compresor	2	4	3	24
				4	Daño por golpes externos	Ruido excesivo	1	6	5	30
2. Caja Bornes	Confina las conexiones eléctricas en condiciones libres de humedad y partículas	A	No resguarda las conexiones	1	Rotura	Puede generar corto circuito	2	5	3	30
				2	Corrosión	Expone las conexiones a cualquier daño	3	6	5	90
				3	Daño por golpes externos	Puede generar corto circuito	2	7	3	42
				4	Daño por aplastamiento	Expone las conexiones a cualquier daño	3	6	4	72
3. Válvula de descarga	Cerrarse ante el paro del compresor	A	No opera	1	Daño físico	Perdida de gas	3	6	4	72
				2	Falla de algún componente	La válvula no se acciona y no cumple con su función	3	7	3	63
		B	No se cierra	1	Daño por golpes externos	Puede afectar la eficiencia de la válvula y por ende del proceso	3	5	4	60

4. Estructura o Carcasa	Protege la maquina y sus componentes de agentes externos	A	No protege	1	Desgaste	No protege correctamente la maquina	1	6	4	24
				2	Ruptura	No protege correctamente la maquina	2	5	3	30
				3	Daño por golpes externos	No protege correctamente la maquina	2	9	4	72
				4	Daño por aplastamiento	No protege correctamente la maquina	3	9	3	81
5. Motor eléctrico	Transformar energía eléctrica en energía mecánica a una velocidad determinada	A	Motor no gira	1	Fatiga de rodamientos	Desalineamiento del eje y bloqueo de la maquina	2	5	3	30
				2	Corto circuito	Disparo de protecciones eléctricas magnéticas	6	6	4	144
				3	Rozamiento en los rodamientos	Los rodamientos se pegan por falta de lubricante	3	4	3	36
6. Filtro de gas	Elimina partículas solidas del aire	A	No permite la conducción uniforme del fluido	1	Taponamiento	Puede generar recalentamiento	2	7	3	42
				1	Filtro en mal estado	Se genera contaminación en el proceso	2	5	3	30
		B	No restringe	2	Filtro desgastado	No cumple con la función y genera agentes contaminantes	2	6	2	24
7. Filtro de aceite	Retiene las partículas de aceite	A	No permite la conducción uniforme del fluido	1	Taponamiento	Puede generar recalentamiento	3	7	2	42
				1	Filtro en mal estado	Se genera contaminación en el proceso	2	5	3	30
		B	No restringe	2	Filtro desgastado	No cumple con la función y genera agentes contaminantes	2	5	3	30

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 17. Cálculo NPR, condensador del chiller 3.

AMFE AEROPUERTO										
AREA:	Terminal Aeropuerto Ernesto Cortisoz		SISTEMA:	Sistema de Aire acondicionado Central		NUMERO PRIORIDAD DEL RIESGO				
EQUIPO:	Chiller		No.	No. 3						
¿CUÁLES SON LAS FUNCIONES O ESTÁNDARES DE EJECUCIÓN?	¿CUÁLES SON LAS FALLAS FUNCIONALES DEL EQUIPO? (PERDIDA DE FUNCION)	¿CUÁLES SON LAS POSIBLES CAUSAS DE LAS FALLAS FUNCIONALES? MODO DE FALLA	¿CUÁLES SON LOS EFECTOS DE CADA UNA DE LAS FALLAS? EFECTO DE FALLA	G	A	D	NPR			
CONDENSADOR										
1. Bobinado motor	Convertir energía eléctrica en energía mecánica	A	Motor no gira	1	Fatiga de rodamientos	Desalineamiento del eje y bloqueo de la maquina	3	4	3	36
				2	Corto circuito	Disparo de protecciones eléctricas magnéticas	6	6	4	144
				3	Rozamiento en los rodamientos	Los rodamientos se pegan por falta de lubricante	2	5	4	40
2. Alabes del ventilador	Generar un caudal de aire determinado con el fin de impulsar un fluido y refrigerar	A	No genera corriente de aire	1	Desgaste de los alabes	No genera el caudal de aire deseado	3	6	5	90
				2	Corrosión de los alabes	Ventilador suelto	3	6	5	90
				3	Rotura de los alabes	No refrigera	2	5	4	40
	B	No gira	1	Daño por golpes externos	Puede alterar la estructura y componentes haciendo que los alabes funcionen de forma incorrecta	2	9	5	90	
			2	Cuerpos externos en los alabes	Puede causar interrupción o atascamiento dañando los alabes y evitado que generen el caudal de aire	2	9	5	90	
3. Cojinetes del motor	Mantiene la alineación, equilibrando las cargas axiales	A	No alineación	1	Sequedad en el cojinete	Reduce la velocidad del mecanismo	2	6	4	48
				2	desgaste en el cojinete	Reduce la velocidad del mecanismo	1	6	6	36

		B	No permite el movimiento	3	Rotura en el cojinete	Produce una falla parcial de la maquina	2	3	3	18
				1	Daños por golpes externos	desajuste y desalineación de los componentes en acción	2	7	5	70
				2	Selección incorrecta del cojinete	no permite la ejecución correcta de la función	1	6	5	30
				3	Mal posicionamiento del cojinete	No permite el movimiento de una pieza respecto a otra	2	5	5	50
4. Carcasa	Protege la maquina y sus componentes de agentes externos	A	No protege	1	Desgaste	No protege correctamente la maquina	1	5	5	25
				2	Ruptura	No protege correctamente la maquina	2	5	3	30
				3	Daño por golpes externos	No protege correctamente la maquina	2	9	4	72
				4	Daño por aplastamiento	No protege correctamente la maquina	3	9	3	81
5. Batería Condensador	Refrigerar y condensar el aire caliente	A	No se condensa el aire	1	Rotura	No refrigera el aire que se necesita	1	5	3	15
				2	Corrosión	Se producen fugas y el condensador no funciona correctamente	1	6	8	48
				3	Desgaste	Se producen fugas de aire	1	6	7	42
6. Collarín	Fija el haz de tuberías del serpentín	A	No soporta	1	Rotura del collarín	Falla total del collarín	2	4	2	16
				2	desgaste del collarín	Afecta la función del serpentín	3	3	3	27
				3	Daño por golpes externos	Altera el funcionamiento adecuado de la maquina	2	7	6	84
				4	Daño por aplastamiento	puede generar daños significativos en el componente y hacer que este no funcione	3	5	5	75

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 18. Cálculo NPR, evaporador del chiller 3.

AMFE AEROPUERTO										
AREA:	Terminal Aeropuerto Ernesto Cortisoz			SISTEMA:	Sistema de Aire acondicionado Central		NUMERO PRIORIDAD DEL RIESGO			
EQUIPO:	Chiller			No.	No. 3		G	A	D	NPR
¿CUÁLES SON LAS FUNCIONES O ESTÁNDARES DE EJECUCIÓN?	¿CUÁLES SON LAS FALLAS FUNCIONALES DEL EQUIPO? (PERDIDA DE FUNCION)	¿CUÁLES SON LAS POSIBLES CAUSAS DE LAS FALLAS FUNCIONALES? MODO DE FALLA	¿CUÁLES SON LOS EFECTOS DE CADA UNA DE LAS FALLAS? EFECTO DE FALLA	G	A	D	NPR			
EVAPORADOR										
1. Filtro Secador	Filtrar impurezas para evitar el taponamiento del tubo capilar	A	No permite la conducción uniforme del fluido	1	Taponamiento	Puede generar recalentamiento	2	7	3	42
		B	No restringe	1	Filtro en mal estado	Se genera contaminación en el proceso	2	5	3	30
				2	Filtro desgastado	No cumple con la función y genera agentes contaminantes	3	4	2	24
2. Válvula de expansión	Mantiene lleno de líquido y gas refrigerante permitiendo que solo salga del mismo gas sobrecalentado para no dañar el compresor	A	Válvula no opera	1	válvula pegada	Subida de presión entre el condensador y el evaporador	3	5	2	30
				2	Daño por golpes externos	Causa fugas y pérdidas de gas	2	8	8	128
				3	Daño por aplastamiento	Puede producir el fallo total de la válvula, ya que no cumpliría su función principal	2	7	9	126
		B	Válvula no funciona correctamente	1	Falla en alguno de sus componentes	No Cumple a cabalidad su función	3	6	5	90
				2	Selección incorrecta de componentes	Genera inconsistencias en el proceso de la maquina	1	5	3	15
3. Bomba evaporador	Suministra fluido de manera constante	A	No bombea	1	Daño por golpes externos	No carga el evaporador lo que hace que no funcione la maquina	2	6	5	60
		B	Bomba no funciona correctamente	1	Falla en alguno de sus componentes	No Cumple a cabalidad su función	3	5	4	60

				2	Selección incorrecta de componentes	Genera inconsistencias en el proceso de bombeo	2	3	3	18
4. Separador de Aceites	Desvía el aceite del refrigerante para devolverlo al Carter del compresor	A	No separa el aceite	1	Daño por golpes externos	Contaminación del gas con aceite	1	6	4	24
				2	Taponamiento	No permite separar los fluidos y se genera contaminación	2	7	3	42
5. Deflectores de Agua	Cambia la trayectoria del agua en el evaporador	A	No separa	1	Corrosión	No cambia la trayectoria	1	8	6	48
				2	Rotura	La trayectoria del agua sigue un mismo curso	2	5	5	50
				3	Daño por golpes externos	Genera alteraciones físicas en el componente haciendo que no cumpla con su función	2	9	7	126
				4	Interrupción por agentes externos	taponamiento que interrumpe el flujo del agua	3	6	7	126
6. Mirilla	Registra el nivel de humedad	A	No registra los cambios de nivel	1	Daño físico	No transmite las señales de registro	2	5	5	50
				2	Conexión incorrecta o defectuosa	No funciona adecuadamente, lo que causa que no se pueda controlar los niveles de altura requeridos	3	5	2	30
				3	Mirilla en mal estado	Registro ineficiente y lecturas inadecuadas	1	5	5	25
7. Cabezales	Genera hermeticidad en el evaporador	A	Pérdida de presión	1	Rotura	Puede generar fugas y daño en el condensador lo que no permitirá realizar la función principal de este mismo.	1	6	8	48
				2	Corrosión	Puede generar fugas en el evaporador	2	4	6	48
8. Tanque	Contiene una cantidad de fluido a una presión y temperatura determinada	A	No contiene el fluido	1	Rotura del tanque	No es capaz de contener el fluido que se necesita	2	4	4	32

		B	Deformación del tanque	2	Desgaste del tanque	Fugas del fluido y alteraciones en la temperatura y presión	2	5	3	30
				1	Dañado por golpes externos	Altera el volumen del tanque y por ende su presión y temperatura	2	8	8	128
				2	Dañado por aplastamiento	Puede causar un daño significativo al tanque causando la falla total de este mismo.	3	8	6	144
9. Panel de control	Permite la interface hombre maquina para visualizar, monitorear y controlar un sistema.	A	No se visualiza	1	Deterioro en el controlador	No se puede controlar los procesos	2	7	3	42
				2	Deterioro en el display	No se puede visualizar los parámetros del chiller	2	7	3	42
				3	Deterioro en el panel	No se puede controlar los procesos	3	9	3	81
10 Módulo de control eléctrico	Permite las conexiones eléctricas del equipo	A	No accionan	1	Deterioro en los relés térmicos	No es capaz de accionar en caso de aumento de temperatura por la corriente	2	8	3	48
				2	Deterioro en los interruptores	No es capaz de accionar en caso de sobre corriente o cortocircuitos	2	9	3	54
			Conducción inadecuada de corriente	3	Deterioro de aislamiento en los cables	Puede generar disparo en los interruptores	2	7	3	42
			No realiza buena conexión eléctrica	4	Deterioro de aislamiento en los terminales	Puede generar aumento de la corriente y posibles disparos de los interruptores	2	7	3	42
			No interrumpen la corriente en caso de corto	5	Deterioro en los fusibles	No puede cumplir con su función de proteger por corto circuito	2	7	3	42

Fuente. Elaboración propia.

Al obtener los resultados del número de prioridad, podemos analizar que los componentes que más riesgo representan a las personas u operarios son:

Motor eléctrico del compresor y condensador, en la parte eléctrica de protecciones con NPR = 144, pueden causar electrocución y heridas de quemaduras graves al personal.

Tanque del evaporador, falla total en el tanque con NPR = 144, puede ocasionar lesiones graves al operario ante esta falla.

Válvula de expansión del evaporador, por fuga y pérdida de gas y fallo total de la válvula con NPR = 128, puede ocasionar lesiones graves al producir fugas de gas en la válvula.

Deflectores del evaporador, alteraciones físicas en el componente y taponamiento al interrumpir el flujo de agua con NPR = 126, pueden producir lesiones al producirse una fuga por el taponamiento del agua.

Las acciones recomendadas para los componentes que representan mayor riesgo, lo describiremos posteriormente en la asignación de actividades del plan de mantenimiento, los cuales deben de ser prioritarios.

En la tabla 19, podemos observar el resultado total NPR para cada uno de los componentes del chiller.

Tabla 19. Resultado número prioridad de riesgo (NPR), componentes, chiller 3.

Componente chiller	Total, NPR
Total, Compresor	1134
Total, Condensador	1387
Total, Evaporador	1967

Fuente. Elaboración propia.

3.2.6 Análisis de árbol lógico de decisión del (RCM). A través del análisis del árbol lógico de decisión, analizamos cada modo de falla de cada componente de los elementos del chiller, esto se hará con la hoja de decisión del RCM descrita en la figura 14.

Figura 16. Hoja de decisión RCM.

<i>Planilla de decisión RCM II</i>													Sistema				Nº de sist.	Facilitador:	Fecha	Nº de hoja
													Sub- Sistema				Nº de sub. sist.	Auditor:	Fecha	De
Referencia De informacion			Consecuencia de la evaluacion				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Accion de Default			TAREA PROPUESTA	Intervalo Inicial	Puede ser realizado por					
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O1 N2	O3 N3	H4	H5	S4								

Fuente. Moubray John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. Pag 183.

https://www.academia.edu/9478461/MANTENIMIENTO_CENTRADO_EN_LA_CONFIABILIDAD_CONTENID

OS

Al implementar la hoja de decisión RCM obtendremos las tareas propuestas para los modos de falla de los componentes del chiller, después obtendremos el plan de mantenimiento como objetivo principal de este proyecto y con el que finalmente se les da respuesta a las preguntas número seis y siete del proceso del RCM:

La tabla 18 nos muestra el resultado en la aplicación de la hoja de decisión RCM.

Tabla 20. Hoja de decisión RCM aplicado a los componentes del equipo Chiller 3.

HOJA DE DECISIÓN DEL RCM																
ACTIVO: CHILLER							No. 3			REALIZADO POR: DEOBALDO MURIEL				FECHA:		
REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	TAREAS "A FALTA DE"				TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA INICIAL	REALIZA LA TAREA
							S1	S2	S3							
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
COMPRESOR																
1	A	1	N	N	N	N	S						Verificar estado físico del componente	Anual	Personal contratado	
1	A	2	N	N	N	N	S						Revisión de ajuste y posicionamiento	Anual	Personal contratado	
1	A	3	N	S	N	S	S						Verificar conexiones, terminales y acoples	Mensual	Personal contratado	
1	A	4	S	S	N	S	S						Verificar alrededores y retirar objetos que puedan golpear el cilindro	Semestral	Personal contratado	
2	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Reemplazar caja	Por condición	Personal contratado	
2	A	2	N	N	N	N	S						Verificar estado superficial	Anual	Personal propio	
2	A	3	S	S	N	N	S						Verificar alrededores y retirar objetos que puedan golpear la carcasa	Semestral	Personal propio	
2	A	4	S	S	N	S	S						Verificar y retirar objetos que puedan caer sobre la caja	Semestral	Personal propio	
3	A	1	S	S	N	S	S						Verifica el estado y funcionalidad cambiar de ser necesario	Semestral	Personal contratado	
3	A	2	N	N	N	N	S						verificar funcionamiento y cambiarlo de ser necesario de cada uno de los componentes	Semestral	Personal contratado	
3	B	1	S	S	N	S	S						Verificar alrededores y retirar objetos que puedan golpearla	Semestral	Personal propio	
4	A	1	N	N	N	N	S						Verificar estado físico, de presentar fisura arreglar o cambiar	Semestral	Personal contratado	
4	A	2	S	N	N	S	N	N	S				Reemplazar carcasa	Por condición	Personal contratado	

4	A	3	S	S	N	N	S						Verificar alrededores y retirar objetos que puedan golpear la carcasa	Semestral	Personal propio
4	A	4	S	S	N	S	S						Verificar y retirar objetos que puedan caer sobre la carcasa	Semestral	Personal propio
5	A	1	S	N	N	S	S						Verificar deslizamiento de rodamiento, en caso de estar muy ajustado reemplazar	Anual	Personal contratado
5	A	2	S	S	N	S	S						Verificar voltaje, amperaje y estado de conexiones	Mensual	Personal contratado
5	A	3	N	N	N	N	S						Revisión de entorno de rodamientos	Anual	Personal contratado
6	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Reemplazar filtro	Por condición	Personal propio
6	B	1	S	N	N	S	S						Revisar conducción del fluido, si presenta obstrucción cambiarlo	Semestral	Personal propio
6	B	2	S	N	N	S	S						Revisar conducción del fluido, si presenta obstrucción cambiarlo	Semestral	Personal propio
7	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Reemplazar filtro	Por condición	Personal propio
7	B	1	S	N	N	S							Revisar conducción del fluido, si presenta obstrucción cambiarlo	Semestral	Personal propio
7	B	2	S	N	N	S							Revisar conducción del fluido, si presenta obstrucción cambiarlo	Semestral	Personal propio

CONDENSADOR

1	A	1	S	N	N	S	S						Verificar deslizamiento de rodamiento, en caso de estar muy ajustado reemplazar	Anual	Personal contratado
1	A	2	S	S	N	S	S						Verificar voltaje, amperaje y estado de conexiones	Mensual	Personal contratado
1	A	3	N	N	N	N	S						Revisión de entorno de rodamientos	Anual	Personal contratado
2	A	1	N	N	N	N	S						Verificar funcionalidad, cambiarlo de ser necesario	Anual	Personal contratado
2	A	2	N	N	N	N	S						Verificar estado físico y estructural	Anual	Personal contratado
2	A	3	S	N	N	S	N	N	S				Reemplazar	Por condición	Personal contratado
2	B	1	S	S	N	S	S						Verificar alrededores y retirar objetos que puedan golpear los alabes	Semestral	Personal contratado
2	B	2	N	N	N	N	S						Verificar entorno de trabajo	Semestral	Personal contratado

3	A	1	N	N	N	N	N	S						lubricar y verificar funcionalidad	Semestral	Personal contratado
3	A	2	N	N	N	N	S							Revisión de estado de trabajo, cambiar de ser necesario	Anual	Personal contratado
3	A	3	S	N	N	S	N	N	S					Reemplazar cojinete	Por condición	Personal contratado
3	B	1	S	S	N	S	S							Verificar alrededores y retirar objetos que puedan golpearlo	Semestral	Personal contratado
3	B	2	N	N	N	S	S							Verificar estándares y medidas antes de montar	Anual	Personal contratado
3	B	3	N	N	N	N	S							Verificar alineación y posicionamiento antes de montar	Anual	Personal contratado
4	A	1	N	N	N	N	S							Verificar estado físico, de presentar fisura arreglar o cambiar	Semestral	Personal contratado
4	A	2	S	N	N	S	N	N	S					Reemplazar carcasa	Por condición	Personal contratado
4	A	3	S	S	N	S	S							Verificar alrededores y retirar objetos que puedan golpear la carcasa	Semestral	Personal propio
4	A	4	S	S	N	S	S							Verificar y retirar objetos que puedan caer sobre la carcasa	Semestral	Personal propio
5	A	1	S	N	N	S	N	N	S					Reemplazar batería	Por condición	Personal contratado
5	A	2	N	N	N	N	S							Verificar estado físico	Semestral	Personal contratado
5	A	3	N	N	N	N	S							Verificar funcionalidad, cambiarla de ser necesario	Semestral	Personal contratado
6	A	1	S	N	N	S	N	N	S					Reemplazar collarín	Por condición	Personal contratado
6	A	2	S	N	N	N	S							Verificar estado físico, de presentar fisura arreglar o cambiar	Semestral	Personal contratado
6	A	3	S	S	N	S	S							Verificar alrededores y retirar objetos que puedan golpear el collarín	Semestral	Personal contratado
6	A	4	S	S	N	S	S							Verificar y retirar objetos que puedan caer sobre el collarín	Semestral	Personal contratado

EVAPORADOR

1	A	1	S	N	N	S	N	N	S					Reemplazar filtro	Por condición	Personal contratado
1	B	1	S	N	N	S	S							Revisar conducción del fluido, si presenta obstrucción cambiarlo	Semestral	Personal contratado
1	B	2	S	N	N	S	S							Revisar conducción del fluido, si presenta obstrucción cambiarlo	Semestral	Personal contratado
2	A	1	S	N	N	S	S							Verificar funcionamiento, accionarla de nuevo de ser necesario	Por condición	Personal contratado
2	A	2	S	S	N	S	S							Verificar alrededores y retirar objetos que puedan golpear la válvula, de no operar cambiarla	Mensual	Personal contratado
2	A	3	S	S	N	S	S							Verificar y retirar objetos que puedan caer sobre la válvula, de no operar cambiarla	Mensual	Personal contratado
2	B	1	S	N	N	S	S							Verificar funcionalidad de cada componente, cambiarlo de ser necesario	Semestral	Personal contratado
2	B	2	N	N	N	S	S							Verificar estándares antes de montar los componentes	Anual	Personal contratado
3	A	1	S	S	N	S	S							Verificar alrededores y retirar objetos que puedan golpear la bomba	Semestral	Personal contratado
3	B	1	S	N	N	S	S							Verificar funcionalidad de cada componente, cambiarla de ser necesario	Semestral	Personal contratado
3	B	2	N	N	N	S	S							Verificar estándares antes de montar los componentes	Anual	Personal contratado
4	A	1	S	S	N	S	S							Verificar estado físico y funcionamiento	Semestral	Personal contratado
4	A	2	S	N	N	S	N	N	S					Reemplazar filtro	Por condición	Personal contratado
5	A	1	N	N	N	N	S							Verificar estado físico	Semestral	Personal contratado
5	A	2	S	N	N	S	N	N	S					Reemplazar deflector	Por condición	Personal contratado
5	A	3	S	S	N	S	S							Verificar y retirar objetos que puedan caer sobre el deflector	Mensual	Personal contratado

5	A	4	N	N	N	N	S						Verificar entorno y posibles agentes contaminantes	Mensual	Personal contratado
6	A	1	S	N	N	S	S						Verificar estado físico y funcionalidad	Semestral	Personal contratado
6	A	2	N	N	N	S	S						Verificar conexiones, terminales y acoples	Mensual	Personal contratado
6	A	3	N	N	N	S	N	N	S				Reemplazar mirilla	Por condición	Personal contratado
7	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Reemplazar cabezal	Por condición	Personal contratado
7	A	2		N	N	N	S						Verificar estado físico	Semestral	Personal contratado
8	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Reemplazar tanque	Por condición	Personal contratado
8	A	2	S	N	N	N	S						Verificar estado físico, de presentar fugas cambiarlo	Semestral	Personal contratado
8	B	1	S	S	N	N	S						Verificar alrededores y retirar objetos que puedan golpear el tanque	Semestral	Personal contratado
8	B	2	S	S	N	S	S						Verificar y retirar objetos que puedan caer sobre el tanque	Mensual	Personal contratado
9	A	1	N	N	N	S	S						Verificar estado del controlador reemplazar si es necesario	Semestral	Personal contratado
9	A	2	N	N	N	S	S						Verificar deterioro en el display reemplazar si es necesario	Semestral	Personal contratado
9	A	3	N	S	N	S	S						Verificar deterioro en el panel o reemplazar si es necesario	Semestral	Personal contratado
10	A	4	N	N	N	S	S						Verificar deterioro en los relés térmicos reemplazar si es necesario	Mensual	Personal propio
10	A	5	N	S	N	S	S						Verificar deterioro en los interruptores o reemplazar si es necesario	Mensual	Personal propio
10	A	6	N	S	N	S	S						Realizar prueba aislamiento en los cables	Mensual	Personal propio
10	A	7	N	S	N	S	N	S					Limpiar los terminales o cambiar de ser necesario	Mensual	Personal propio
10	A	8	N	S	N	S	S						Verificar deterioro en los o cambiar de ser necesario	Mensual	Personal propio

Fuente. Elaboración propia

3.2.7 Consecución del plan de mantenimiento. Después de aplicar todos los pasos de la metodología RCM, obtenemos el plan de mantenimiento, se realizó en un formato simple, donde se especifica el listado de tareas propuestas a realizar, su frecuencia, responsable y se tasa la fecha para su ejecución. La tabla 19 describe el plan de mantenimiento obtenido.

Todas las acciones preventivas y predictivas de las que trata el plan se realizarán de acuerdo con la periodicidad establecida, esto no significa que cada vez que se realice una revisión, se realicen cambios, mejoras o reparaciones.

El plan de mantenimiento tiene como finalidad presentar el listado de las actividades técnicas, para el equipo chiller 3, del sistema de aire acondicionado central y personal de mantenimiento a cargo del concesionario, para garantizar la debida operación y el correcto funcionamiento de equipo, el cual hace parte de los equipos concesionados en el Aeropuerto Internacional Ernesto Cortissoz.

Las actividades en color rojo representan las que en tienen mayor riesgo de en sus modos de falla acuerdo al análisis NPR por tal motivo son prioritarias y su verificación será mensual.

Cabezales	Reemplazar cabezal	Por condición	Personal contratado																
	Verificar estado físico	Semestral	Personal contratado																
Tanque	Reemplazar tanque	Por condición	Personal contratado																
	Verificar estado físico, de presentar fugas cambiarlo	Semestral	Personal contratado																
	Verificar alrededores y retirar objetos que puedan golpear el tanque	Semestral	Personal contratado																
	Verificar y retirar objetos que puedan caer sobre el tanque	Mensual	Personal contratado																
Panel de control	Verificar estado del controlador reemplazar si es necesario	Semestral	Personal contratado																
	Verificar deterioro en el display reemplazar si es necesario	Semestral	Personal contratado																
	Verificar deterioro en el panel o reemplazar si es necesario	Semestral	Personal contratado																
Módulo de control eléctrico	Verificar deterioro en los relés térmicos reemplazar si es necesario	Mensual	Personal propio																
	Verificar deterioro en los interruptores o reemplazar si es necesario	Mensual	Personal propio																
	Realizar prueba aislamiento en los cables	Mensual	Personal propio																
	Limpia los terminales o cambiar de ser necesario	Mensual	Personal propio																
	Verificar deterioro en los o cambiar de ser necesario	Mensual	Personal propio																

Fuente. Elaboración propia.

3.2.8 Indicadores.

➤ Disponibilidad.

De acuerdo a la tabla 7 obtenemos los siguientes datos para del año 2019:

Tiempo productivo del equipo= 7758 Hr-Año, Tiempo Inactivo= 882 Hr-Año.

MTBF= 1552 y MTTR=176

Aplicando la ecuación, $((MTBF/(MTBF+MTTR)) \times 100)$ se obtiene

Disponibilidad: $((1552/(1552+176)) \times 100\%) = 89.8\%$

Disponibilidad deseada $\geq 95\%$ para llegar a esa disponibilidad mínima, el tiempo inactivo deberá ser ≤ 432 Hr-Año.

➤ Costos.

La tabla 22, nos muestra los costos por mantenimientos correctivos del equipo en el año 2019.

Tabla 22. Costos de mantenimiento correctivo del chiller 3, año 2019.

ITEM	EQUIPO	MTTR	CF. FALLA (SERVICIO)	CF. FALLA (\$ /H)	\$ COSTO REEMPLAZO	COSTO SERVICIO (\$/ año)	COSTO MANO DE OBRA (\$/Hora)	COSTO MANTENIMIENTO(\$)(Mano de Obra y Htas)(\$/ año)	COSTO TOTAL
1	Chiller #3	882	\$ 180.000.000	\$ 20.548	\$ 45.000.000	\$ 18.123.288	\$ 55.000	\$ 48.510.000	\$ 111.633.288

Fuente. Concesionario.

La tabla 23, nos muestra los costos máximos deseados de acuerdo aplicación metodología RCM.

Tabla 23. Costo mínimo esperado con la aplicación de la metodología RCM.

ITEM	EQUIPO	MTTR	CF. FALLA (SERVICIO)	CF. FALLA (\$ /H)	\$ COSTO REEMPLAZO	COSTO SERVICIO (\$/ año)	COSTO MANO DE OBRA (\$/Hora)	COSTO MANTENIMIENTO(\$)(Mano de Obra y Htas)(\$/ año)	COSTO TOTAL
1	Chiller #3	432	\$180.000.000	\$ 20.548	\$ 45.000.000	\$ 8.876.712	\$ 55.000	\$ 23.760.000	\$ 77.636.712

Fuente. Propia.

Al implantar la Metodología RCM al equipo Chiller No. 3 se espera obtener una disponibilidad mínima del 95% esto se traduce en un ahorro en los costos de reparación de acuerdo a la tabla 24.

Tabla 24. Costos y % de ahorro.

Año	Costo total
2019	\$ 111.633.288
Año de implementación	\$ 77.636.712
Ahorro	\$ 33.996.576
%	30,45%

CONCLUSIONES

El mayor logro obtenido del proyecto ha sido llevar cabo la aplicación de la metodología RCM a uno de los equipos del sistema de aire acondicionado central del Aeropuerto Ernesto Cortissoz de barranquilla, obteniéndose un nuevo plan de mantenimiento preventivo específico para este equipo, que permite adecuar las tareas y frecuencias aplicables, según el entorno operativo específico de cada uno de los componentes considerados, ayudando a dar cumplimiento con los objetivos presentados en este proyecto.

Para la selección del equipo se utilizó como medio la aplicación del análisis de criticidad, el cual permitió seleccionar el equipo con el puntaje más alto, para la aplicación de la metodología RCM desarrollada, de aquí la selección del Chiller No.3.

Al aplicar Análisis de Modo y Efecto de Fallas a los componentes del equipo seleccionado, fue posible conocer las funciones para las cuales están diseñados, y posibles fallas que se puedan presentar, como resultado encontramos 35 fallas funcionales en 83 modos de falla y 83 efectos de fallas, lo que permitirá al personal encargado del mantenimiento de este equipo conocer más profundo las causas de fallas que pueden ocurrir, disminuyendo los costos innecesarios tiempo por parada inesperada.

La aplicación de la metodología RCM esperamos logra incremental a disponibilidad del equipo Chiller No. 3 de 89.8% a 95% como mínimo, obteniendo un ahorro como mínimo en los costos de mantenimiento correctivo alrededor del 30.45%.

Tomar acciones (acciones recomendadas) para eliminar o reducir el riesgo del modo de falla, en este paso se estable en el plan de mantenimiento que son prioritarias para mitigar el riesgo, a estas acciones se les llama acciones recomendadas.

Como medio de seguimiento de las medidas recomendadas, se detallan un conjunto de indicadores, que facilitará dicha evaluación y control de los objetivos planteados inicialmente.

Una de las mayores dificultades para el desarrollo del proyecto fue adquirir los conocimientos del equipo seleccionado con una profundidad adecuada para identificar los modos y efectos de falla en el desarrollo el AMEF, a la vez que el estado de emergencia presentado producto de la pandemia por coronavirus, donde hubo un cierre del aeropuerto durante 5 meses con estrictas restricciones para el personal operativo, dificultaban el proceso.

Parte del éxito del proyecto realizado radica en el acompañamiento de profesionales de la aviación involucrado en la metodología RCM, dando una explicación adecuada conocimientos y experiencias.

BIBLIOGRAFÍA

AEROCIVIL, Aerocivil. [En línea] 6 de febrero de 2019. Consultado el 6 de febrero de 2019. www.aerocivil.gov.co.

AMENDOLA, Luis. Confiabilidad operacional. [En línea] 29 de 03 de 2011. <http://www.mailxmail.com/curso-confiabilidad-operacional/aplicacion-rcm>.

BARRIENTOS, José Campos. RCM Mantenimiento centrado en la confiabilidad. [En línea] 23 de julio de 2016. <https://www.slideshare.net/AlanQuispeCoronel/1-ing-josecampos>.

CERO GRADOS, Revista. Chillers. Aspectos técnicos. 21 de Julio de 2017.

EINATEC, Mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo. [En línea] 17 de julio de 2018. <https://einatec.com/mantenimiento-correctivo-preventivo-y-predictivo/>.

ISOTOOLS, ISO 9001:2015. La herramienta AMFE para garantizar una Gestión de la Calidad. [En línea] 2 de Febrero de 2015.

<https://www.isotools.org/2015/02/02/iso-90012015-herramienta-amfe-para-garantizar-gestion-calidad>.

ITAEREA, Aeronautical business school. [En línea] 26 de 06 de 2018. <https://www.itaerea.es/mantenimiento-de-aeropuertos>.

MOTOS, Tomás. Temas para la Educacion. [En línea] 09 de 07 de 2010. <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd7343.pdf>.

MOUBRAY, J. Mantenimiento centrado en confiabilidad. ed. USA : E. Brothers, 2004.

PEÑA, Félix Harley Gandur. Adaptación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en un sistema critico de aire acondicionado de la Clínica Universitaria Bolivariana (CUB). Medellin-Colombia : Tesis de Maestria, 2017.

PRAT, Miguel. Análisis de fiabilidad, criticidad, disponibilidad, capacidad de mantenimiento y seguridad de una impresora digital industrial. Ctaluña, España : s.n., 2015. Ingeniería técnica, especialidad electricidad.

ROMERO CARRANZA, José Luis. Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta de algodón. [En línea] 11 de 04 de 2017. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5311>.

ROMERO, Juan Ignacio. Aplicación de la metodología RCM al mantenimiento de los motores. . enero de 2015, Revista Vía Libre Técnica, pág. 2.

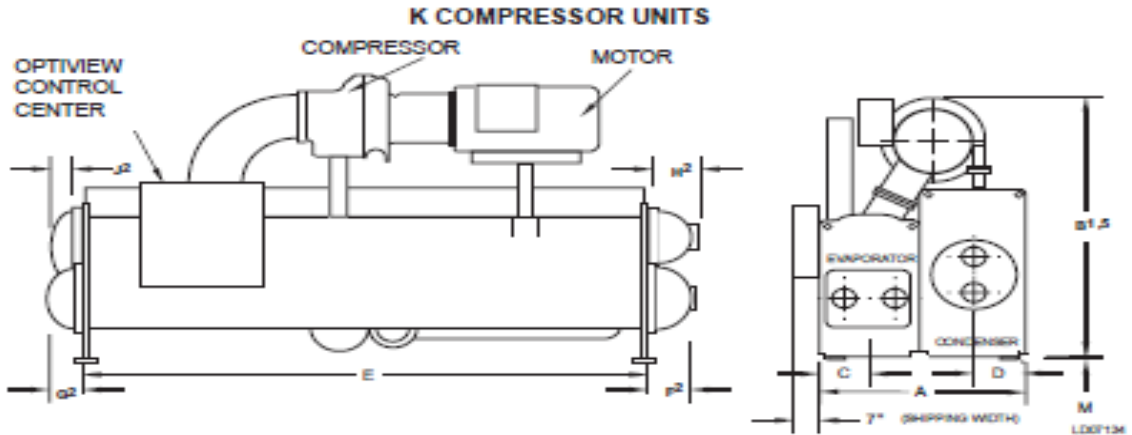
SAE, International JA1012. A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard. 01 de Agosto de 2002.

ANEXOS

Anexo A. Dimensiones chiller.

FORM 160.75-EG1 (915)

Dimensions (Cont'd)



ADDITIONAL OPERATING HEIGHT CLEARANCE TO FLOOR	
TYPE OF CHILLER MOUNTING	M
NEOPRENE PAD ISOLATORS	1-3/4" (45)
SPRING ISOLATORS 1" DEFLECTION	1" (25)
DIRECT MOUNT	3/4" (19)

K1 COMPRESSOR, EVAPORATOR-CONDENSER SHELL CODES					
DIM	I-K & K-K	M-M	N-N	P-P	Q-Q
A	7'-6 1/2" (2299)	8'-7" (2616)	8'-7" (2616)	9'-1 1/2" (2781)	9'-1 1/2" (2781)
B	9'-7" (2921)	11'-4" (3454)	11'-4" (3454)	11'-5 1/2" (3493)	11'-5 1/2" (3493)
C	2'-1 1/4" (641)	2'-4 1/2" (724)	2'-4 1/2" (724)	2'-5 1/2" (749)	2'-5 1/2" (749)
D	1'-8" (508)	1'-11" (584)	1'-11" (584)	2'-1 1/4" (641)	2'-1 1/4" (641)
E	14'-0" (4267)	14'-0" (4267)	16'-0" (4877)	14'-0" (4267)	16'-0" (4877)

K2 COMPRESSOR EVAPORATOR-CONDENSER SHELL CODES					
DIM	M-M	M-U	N-N	P-P	Q-Q
A	8'-7" (2616)	9'-5" (2896)	8'-7" (2616)	9'-1 1/2" (2781)	9'-1 1/2" (2781)
B	11'-4" (3454)	11'-10" (3607)	11'-4" (3454)	11'-5" (3480)	11'-5" (3480)
C	2'-4 1/2" (724)	2'-4 1/2" (724)	2'-4 1/2" (724)	2'-5 1/2" (749)	2'-5 1/2" (749)
D	1'-11" (584)	2'-4 1/2" (724)	1'-11" (584)	2'-1 1/4" (641)	2'-1 1/4" (641)
E	14'-0" (4267)	14'-0" (4267)	16'-0" (4877)	14'-0" (4267)	16'-0" (4877)

80

JOHNSON CONTROLS

Fuente. York. Model yk centrifugal liquid chillers style g. Form 160.75-eg1 (915).

Anexo B. Dimensiones evaporador chiller.

FORM 160.75-EG1 (915)

Dimensions (Cont'd)

EVAPORATORS – COMPACT WATER BOXES – A THRU L EVAPORATORS

COMPACT WATER BOXES - 150 PSI ROUND									
EVAPORATOR SHELL CODE	NOZZLE PIPE SIZE(IN)			EVAPORATOR NOZZLE DIMENSIONS					
	NO. OF PASSES			C	1-PASS	2-PASS		3-PASS	
	1	2	3		AA5	BB5	DD5	BB5	DD5
A	8	8	4	1'-3 1/2" (394)	1'-10" (559)	1'-2" (356)	2'-8" (762)	1'-2" (356)	2'-8" (762)
C,D	10	8	6	1'-5 1/2" (445)	2'-0" (610)	1'-3" (381)	2'-9" (838)	1'-3" (381)	2'-9" (838)
E,F	14	10	8	1'-7" (483)	2'-2" (660)	1'-4" (406)	3'-0" (914)	1'-4" (406)	3'-0" (914)
G,H	14	10	8	2'-0" (610)	2'-3 1/2" (699)	1'-3 1/2" (394)	3'-3 1/2" (1003)	1'-3 1/2" (394)	3'-3 1/2" (1003)
I, J, K, L	16	12	10	2'-1 1/4" (641)	2'-6" (762)	1'-5" (432)	3'-7" (1092)	1'-5" (432)	3'-7" (1092)

NOTES:

1. All dimensions are ft-inches (mm).
2. All dimensions are approximate. Certified dimensions are available on request.
3. For all waterboxes (compact boxes shown above), determine overall unit length by adding waterbox depth to tube sheet length.
4. Water nozzles can be located on either end of unit. Add 1/2" (12mm) to nozzle length for flanges connections.
5. To determine overall height, add dimension "M" on page 78 for the appropriate isolator type.
6. Use of motors with motor hoods may increase overall unit dimensions.

Fuente. York. Model yk centrifugal liquid chillers style g. Form 160.75-eg1 (915).

Anexo C. Dimensiones condensador chiller.

FORM 160.75-EG1 (915)

Dimensions (Cont'd)

CONDENSERS – COMPACT WATER BOXES

COMPACT WATER BOXES - 150 PSI ROUND									
CONDENSER SHELL CODE	NOZZLE PIPE SIZE(IN)			D	1-PASS	2-PASS		3-PASS	
	NO. OF PASSES				CC ⁵	BB ⁵	DD ⁵	BB ⁵	DD ⁵
	1	2	3						
A	10	6	6	1'-3" (381)	2'-4" (711)	1'-9 1/2" (546)	2'-10 1/2" (876)	1'-9 1/2" (546)	2'-10 1/2" (876)
C,D	12	8	6	1'-3 1/2" (394)	2'-6" (762)	1'-10 3/8" (568)	3'-1 5/8" (956)	1'-10 3/8" (568)	3'-1 5/8" (956)
E,F	14	10	8	1'-5 1/2" (445)	2'-8" (813)	1'-11 3/4" (803)	3'-4 1/4" (1022)	1'-11 3/4" (803)	3'-4 1/4" (1022)
J,K,L	16	10	10	1'-8" (508)	3'-0" (914)	2'-3" (886)	3'-9" (1143)	2'-3" (886)	3'-9" (1143)
M,N	20	14	10	1'-11" (584)	3'-8" (1067)	2'-8 3/8" (772)	4'-5 5/8" (1362)	2'-8 3/8" (772)	4'-5 5/8" (1362)
P,Q	20	16	14	2'-1 1/4" (641)	3'-8" (1118)	2'-7" (787)	4'-9" (1448)	2'-7" (787)	4'-9" (1448)
R,S	20	18	14	2'-3 1/2" (699)	3'-10 1/2" (1181)	2'-9 1/2" (851)	4'-11 1/2" (1511)	2'-9 1/2" (851)	4'-11 1/2" (1511)
T,V,W	24	18	16	2'-5 1/2" (749)	3'-11 1/2" (1207)	2'-9" (838)	5'-2" (1575)	2'-9" (838)	5'-2" (1575)
X,Z	24	20	16	2'-8" (813)	4'-1 1/4" (1251)	2'-9 1/4" (845)	5'-5 1/4" (1657)	2'-9 1/4" (845)	5'-5 1/4" (1657)

NOTES:

1. All dimensions are ft-inches (mm).
2. Standard water nozzles are furnished as welding stub-outs with ANSI/AWWA C-808 grooves, allowing the option of welding, flanges, or use of ANSI/AWWA C-808 couplings. Factory-installed, class 150 (ANSI B16.5, round slip-on, forged carbon steel with 1.6 mm raised face), water flanges nozzles are optional (add 13 mm to nozzle length). Companion flanges, nuts, bolts, and gaskets are not furnished.
3. One, two and three pass nozzle arrangements are available only in pairs shown and for all shell codes. Any pair of evaporator nozzles may be used in combination with any pair of condenser nozzles.
4. Evaporator and condenser water must enter the water box through the bottom connection to achieve rated performance.
5. Connected piping should allow for removal of compact water boxes for tube access and cleaning.
6. Add dimension "M" as shown on page 78 for the appropriate isolator type.
7. Standard 150 psi (1034 kPa) design pressure water boxes shown.

Fuente. York. Model yk centrifugal liquid chillers style g. Form 160.75-eg1 (915).