APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA RCM PARA UN CHILLER ENFRIADO POR AIRE, MODELO CGADM, DE 120 TR, MARCA TRANE, DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE LA COMPAÑÍA ENVASADORA DEL ATLANTICO

Kris Jimenez Nigro

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Daniel Ortiz Plata

Magister en Gerencia de Mantenimiento

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías físico-mecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bucaramanga

2022

Agradecimientos

Expreso mis agradecimientos:

A mi esposo, por su incondicional apoyo, por ayudarme a ser paciente para saber que todo sacrificio tiene su recompensa, pasare la vida agradeciéndote por todo lo que ha hecho por mí.

Al tesoro más grande mi hijo por el tiempo que deje de dedicarle, para poder alcanzar mis metas.

A la empresa CEA, por el crecimiento profesional que he tenido en ella a lo largo de los años que me permitió tener el conocimiento que tengo hoy día.

Al Ing. Daniel Ortiz, por las enseñanzas impartidas durante el desarrollo de esta monografía.

Tabla de Contenido

Pág.

Introducción 10

Objetivos 13

2.1 Objetivo General: 13

2.1 Objetivos Específicos: 13

3. MARCO TEORICO 14

3.1 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) 14

3.1.1 Las 7 preguntas del RCM 16

3.2 Clasificación del Mantenimiento 25

3.2.1 Mantenimiento basado en Condición 26

3.2.2 Mantenimiento preventivo 26

3.2.3 Mantenimiento correctivo (trabajo a falla) 26

3.2.4 Mantenimiento detectivo (búsqueda de fallas) 27

4. MARCO CONCEPTUAL 28

4.1 Chiller 28

4.1.2 Chillers Enfriados por Aire 30

4.1.3 Chillers Enfriados por Agua 30

5 PLAN DE TRABAJO 32

5.1 METODOLOGIA 32

5.2 SOLUCION DEL PROBLEMA 33

5.2.1 Conformación del equipo de trabajo 33

5.2.2 Selección y definición de las áreas y equipos donde se implementará el RCM 33

5.2.3 Recopilación de la información estado actual del equipo 34

5.2.4 Principio de Funcionamiento 35

5.2.5 Contexto Operacional..... 40

5.2.6 Definición límites y funciones de los componentes..... 41

5.2.7 Función del sistema y Fallas funciónales..... 44

5.2.8 Modo de Falla y Análisis de Efectos..... 44

5.2.9 Matriz de Riesgos..... 44

5.2.10 Análisis del Nivel de Riesgo 46

5.2.11 Listado de actividades y/o rutina de Mantenimiento 61

CONCLUSIONES 64

RECOMENDACIONES..... 66

Referencias Bibliográficas 67

Lista de Tablas

Pág.

Tabla 1 Disponibilidad de los Chiller Año 2019 40

Tabla 2 Disponibilidad de los Chillers Año 2020..... 40

Tabla 3 Disponibilidad de los Chiller Año 2021 41

Tabla 4 Definición de funciones de los componentes..... 42

Tabla 5 Consecuencias..... 45

Tabla 6 Probabilidad de Ocurrencia del Riesgo 45

Tabla 7 Matriz de Riesgo..... 46

Tabla 8 Nivel de Riesgo..... 46

Tabla 9 Aplicación RCM (Condensador) 50

Tabla 10 Aplicación de RCM Compresor 51

Tabla 11 Aplicación RCM (Evaporador)..... 55

Tabla 12 Aplicación RCM (Tablero Eléctrico) 58

Tabla 13 Listado de Tareas para Chiller CGADM 120 TR 61

Lista de Figuras

Pág.

Ilustración 1 Chiller 3 (CEA)..... 31

Ilustración 2 Chiller 4 (CEA)..... 31

Ilustración 3 Chiller 1 (CEA)..... 34

Ilustración 4Chiller 2 (CEA)..... 34

Ilustración 5 Partes de un Chiller enfriador por aire CGAM..... 36

Ilustración 6 Compresor Componentes..... 37

Ilustración 7 Interfaz CH-530 39

Glosario

RCM (siglas en inglés): Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

Segundo término: la definición inicia en minúscula

Tercer término: la definición inicia en minúscula

Chiller: equipo de refrigeración empleado para enfriar agua.

Equipo: conjunto de componentes que se relacionan entre sí, con el objetivo de cumplir una función especifica

Falla: condición que afecta el correcto funcionamiento de un equipo o componente

Falla Funcional: es la imposibilidad de un equipo o componente de realizar una función para la cual fue seleccionado.

Mantenimiento: es toda aquella actividad que tiene como finalidad preservar la vida útil de un equipo o componente.

Mantenimiento Correctivo: tareas destinadas a la corrección de una avería presentada en un equipo

Mantenimiento Predictivo: conjunto de actividades y acciones que se toman de manera anticipada para evitar minimizar la probabilidad de ocurrencia de una avería.

Metodología: conjunto de pasos empleados para cumplir un objetivo

Modo de Falla: posible manera en la que un equipo puede fallar.

Plan de mantenimiento: procedimiento con actividades definidas que se basan en una estrategia para mantener operativas un conjunto de máquinas o equipos.

RCM (Reliable Centered Maintenance): es una metodología empleada para establecer tareas de mantenimiento que ayuden a minimizar los tiempos de parada de los equipos.

Resumen

Título: APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA RCM PARA UN CHILLER ENFRIADO POR AIRE, MODELO CGADM, DE 120 TR, MARCA TRANE, DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE LA COMPAÑÍA ENVASADORA DEL ATLANTICO

Autor: KRIS JIMENEZ NIGRO

Palabras Clave: RCM, CHILLER, FALLA

En el procesamiento de pulpa de fruta es necesario tener facilidades en los servicios, como lo son aire, agua, vapor y frio. El circuito de enfriamiento se encuentra formado por chillers y bombas, que tiene la finalidad de entregar agua fría al proceso. En los últimos años los chillers han tenido una limitante por el número de paradas presentadas que se han manifestado en la indisponibilidad de frio. Por lo tanto, el objeto de esta monografía es desarrollar un plan de mantenimiento basado en el modelo de RCM para un CHILLER MODELO CGAM MARCA TRANE DE 120 TR. Para ello se utilizó el histórico de las condiciones de operación, análisis y modos de fallas que afectan su confiabilidad, se clasificaron por especialidad para identificar la que más impacta y poder señalar posibles puntos de falla. Se busca generar un listado de actividades y/o rutinas de mantenimiento, teniendo en cuenta la metodología RCM, para facilitar la programación del mantenimiento del equipo en el sistema de información.

Abstract

Title: APPLICATION OF THE RCM METHODOLOGY FOR AN AIR-COOLED CHILLER, MODEL CGADM, OF 120 TR, TRANE BRAND, OF THE COOLING SYSTEM OF THE ATLANTIC PACKAGING COMPANY

Author: KRIS JIMENEZ NIGRO

Keywords: RCM, CHILLER, FAULT

Description: In the processing of fruit pulp it is necessary to have installations in the services, such as air, water, steam and cold. The cooling circuit is made up of chillers and pumps, which has the purpose of delivering cold water to the process. In recent years, the chillers have had a limitation due to the number of stops presented that have manifested themselves in the unavailability of cold. Therefore, the purpose of this monograph is to develop a methodology based on the RCM model in a CHILLER MODEL CGAM BRAND TRANE OF 120 TR, for which the history of the operating conditions, analysis and failure modes that follow its evolution was extracted. Reliability, they were classified by specialty to identify the one that has the most impact and to be able to point out points of failure. The aim is to generate a list of activities and/or maintenance routines, considering the RCM methodology, to facilitate the programming of equipment maintenance in the information system.

Introducción

Compañía Envasadora del Atlántico (CEA) es una empresa exportadora de pulpas de frutas, fundada en 1982, cuyas instalaciones se encuentran ubicadas en la Zona Franca de la ciudad de Barranquilla. En su mayoría, la planta procesa frutas asépticas como el mango, guayaba, maracuyá, tomate, solo por mencionar algunas.

Dentro de los productos elaborados en la compañía se encuentra el puré orgánico y el concentrado de mango, el cual es sometido a una etapa de calentamiento, sostenimiento y posterior enfriamiento para alcanzar su completa pasteurización y ser inocuo para el consumo humano. Para la etapa de enfriamiento es necesario el suministro de agua fría que se debe entregar al proceso en una temperatura entre 0 y 5 ºC.

El circuito de enfriamiento de agua para el proceso es cerrado y se encuentra formado en su totalidad por Chillers; los chillers son equipos que retiran el calor generado por un proceso utilizando como medio de intercambio un refrigerante, para entregar agua a más baja temperatura. El agua fría generada por los chillers pasa a través de unas tuberías de acero al carbón (aisladas) y polipropileno que se comunican con unos tanques de fibra completamente cerrados; el fluido es bombeado hasta el circuito de enfriamiento de los pasteurizadores (equipos donde se realiza la pasteurización del producto). En esta etapa del proceso se extrae el calor del producto, el cual es absorbido por el agua fría; una vez terminado su recorrido por las chaquetas de la tubería de producto, el agua ha incrementado su temperatura entre 5 y 10º C. Esta última pasa a un “tanque de agua caliente” el cual posee un sistema de bombeo que comunica con las tuberías permitiendo la llegada al evaporador del equipo.

La recolección y transporte de la fruta dependen de muchos factores que la compañía no puede controlar en su totalidad, entre ellos ambientales, problemas de orden público, logístico, etc. Por lo cual, existen picos o incrementos en la capacidad de procesamiento (alta recolección de materia prima) en los que la planta debe irse a su máxima capacidad. Cuando esto ocurre el sistema de enfriamiento principal debe encontrarse operando al 100% de su capacidad.

El sistema principal se encuentra conformado por dos chillers enfriados por agua, que deben ser sometidos a intervenciones rutinarias (limpiezas químicas y/o mecánicas), haciendo que sea necesario detener su funcionamiento. Al realizar estas paradas, la demanda de frio debe ser suplida por chillers enfriados por aire que deben estar en perfectas condiciones para garantizar la continuidad de la operación.

Los chillers enfriados por aire son equipos que cuentan con más de 10 años en la compañía, operan durante un periodo de 5 meses al año de manera continua por 24 horas al día para un total de 3600 horas anuales. En los 7 meses del año restantes estos equipos operan unas 100 horas semanales, para un total de 2800 horas anuales, dependiendo de la programación de producción. Estos equipos han tenido en los últimos 3 años una indisponibilidad de 378 días, según el indicador de equipos fuera de servicio llevado por el departamento de mantenimiento.

Los chillers son considerados equipos críticos dentro de la empresa ya que pueden llegar a afectar parámetros de calidad, como el color y sabor del producto. Actualmente la compañía cuenta con dos equipos enfriados por agua de 250 TR cada uno y dos enfriados por aire de 120 TR cada uno,

estos últimos son el Back up de los principales, por lo tanto, deben encontrarse en perfectas condiciones para entrar en operación una vez sean requeridos por la demanda del proceso o mantenimientos programados de los equipos principales que requieran que estos salgan de operación

En los últimos años la compañía ha presentado diferentes eventualidades en su proceso productivo debido a la no disponibilidad oportuna de los equipos de enfriamiento, lo que ha generado problemas de calidad en su producto terminado. El equipo de enfriamiento que mayor incidencia ha tenido, por encontrarse fuera de servicio, es el Chiller # 1, un chiller modelo CGADM DE 120 TR, marca Trane, fabricado en el año 2006, debido a los múltiples fallos presentados; esto ha acarreado que se presente una alta ejecución de mantenimientos correctivos, lo que implica contratación de mano de obra especializada y compra de repuestos por emergencia, e impactado negativamente en el presupuesto de mantenimiento y por ende la operación del negocio.

Las actividades de mantenimiento propuestas para este equipo no han sido lo suficientemente asertivas, teniendo en cuenta la cantidad de fallos y los tiempos tan extensos en la indisponibilidad del equipo. Es por eso por lo que se pretende plantear la aplicación de la metodología RCM que permita alcanzar los objetivos planteados, como son aumentar la disponibilidad del equipo y por ende su funcionalidad. Para este trabajo es necesario obtener información de las fallas y modos de falla que ha presentado el equipo en los últimos años. Al aplicar la metodología se realiza la restructuración del plan de mantenimiento actual para este equipo de tal forma que se pueda mejorar la disponibilidad y optimizar los recursos económicos de la compañía.

Objetivos

2.1 Objetivo General:

- Desarrollar el plan de mantenimiento, aplicando la metodología RCM, para un chiller enfriado por aire, modelo CGADM, de 120 TR, marca Trane, del sistema de enfriamiento de la Compañía Envasadora del Atlántico, con el propósito de buscar aumentar la disponibilidad del sistema, de manera que no se vea afectado el procesamiento de fruta.

2.1 Objetivos Específicos:

- Identificar las fallas y los modos de fallas presentados por el equipo, clasificándolos según su especialidad (mecánica, eléctrica, instrumentación), para poder aislar los posibles puntos de falla

- Identificar cada una de las partes críticas del chiller a partir del análisis de riesgos de cada modo de falla, para determinar el impacto que tienen para el negocio.

- Generar los listados de actividades y/o rutinas de mantenimiento, teniendo en cuenta la metodología propuesta, para facilitar la programación del mantenimiento del equipo en el sistema de información.

3. MARCO TEORICO

3.1 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

El constante dinamismo de las compañías ha traído consigo cambios necesarios en la forma de administrar los activos físicos de la empresa. Desde la óptica de mantenimiento es fundamental garantizar la correcta operación en los instantes en los cuales sea requerido dicho activo. Teniendo en cuenta esto último es de suma importancia que desde esta área se tome conciencia de la manera en que la no disponibilidad de los equipos puede llegar a impactar la continuidad del negocio.(Moubray, 2004)

Un activo (equipo) en su mayoría se encuentra conformado por una gran cantidad de componentes, que cumplen determinada función en el equipo y por lo tanto tienen sus propios modos y efectos de fallas. La mayoría de estos componentes no influyen directamente en el sistema general, por lo que cuando se eliminan de manera oportuna, no impactan significativamente en el costo de mantenimiento. (Tang et al., 2017)

El uso de programas de mantenimiento precisos y rentables son de suma importancia para tener una planta siempre disponible y confiable. Los mantenimientos pueden ser principalmente de dos formas: correctivo y preventivo. El correctivo se realiza, cuando se ha presentado una avería y el equipo entro en falla y es necesario corregirlo de manera inmediata, pero ya en este punto se vio afectada la operación de la compañía. Por su lado el mantenimiento preventivo, es aquel que fue programado con antelación siguiendo una rutina con el objetivo de reducir la falla (Niu et al., 2010)

Para atacar de manera oportuna las posibles consecuencias que se pudieran llegar a generar a causa de una falla, existen metodologías como el RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad). que contribuyen a priorizar tareas e identificar las necesidades que pudiera tener el equipo para poder cumplir su funcionalidad operacional. Esta metodología se basa en el análisis de las fallas, para lo cual es necesario formar un equipo de trabajo con amplio conocimiento en la operación y mantenimiento del equipo. (Moore, 2004)

Para la aplicación de esta metodología que trae los beneficios mostrados en la Figura 1, es necesario en principio la formación de un equipo de trabajo que identifique el sistema con cada uno sus límites y funciones, posterior a esto, identificar los modos de falla que causan la perdida de la función del sistema, con un análisis de riesgos para priorizar las necesidades funcionales (efectos y consecuencias) y seleccionar las actividades de mantenimiento preventivo que contribuyan a la preservación del sistema.

Figura 1 Beneficios del mantenimiento centrado en confiabilidad

Calidad	Tipo de Servicio	Costo	Tiempo	Riesgo
Aumenta la disponibilidad en al menos un 8%, por solo el hecho de implementar	Proporciona un mejor clima organizacional para el trabajo en equipo	Reduce los niveles de mantenimiento al menos un 40%	Mejora los tiempos medios de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad al menos en un 25%	Brinda seguridad e integridad ambiental en todo el desarrollo del proceso, a niveles muy superiores de los que se tienen antes de implementarlo.
Elimina las fallas crónicas y elimina las causas raíces	Ayuda a entender mejor las necesidades y los requerimientos de los clientes.	Optimiza los programas de mantenimiento	Aumenta los tiempos de funcionabilidad de los equipos al menos en un 150% en promedio.	Las fallas con consecuencias sobre el medio ambiente o la seguridad son las que se atacan y eliminan.
Aumenta la flexibilidad operacional	Disminuye las paradas imprevistas	Reduce los costos planeados o no de mantenimiento en un 40%	Reduce o elimina los tiempos de demora en suministros o búsqueda de recursos o repuestos.	Reduce al mínimo la posibilidad de fallas en cadena o superpuestas.
La programación de mantenimiento se basa en hechos reales	Genera un ambiente de investigación y desarrollo alrededor de los análisis de falla	Alarga la vida de los equipos para propósitos especiales	Jerarquiza las actividades de mantenimiento, logrando su reducción en el tiempo.	Su razón de calificación al riesgo la hace una de las tácticas más seguras.
Proporciona el completo conocimiento de las fallas reales y potenciales de las maquinas, así como de sus causas		Todas las actividades de mantenimiento se analizan en un contexto de costo / beneficio		

Fuente: MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas de servicios o industriales, Primera Edición. Editorial AMG. Medellín. 2005

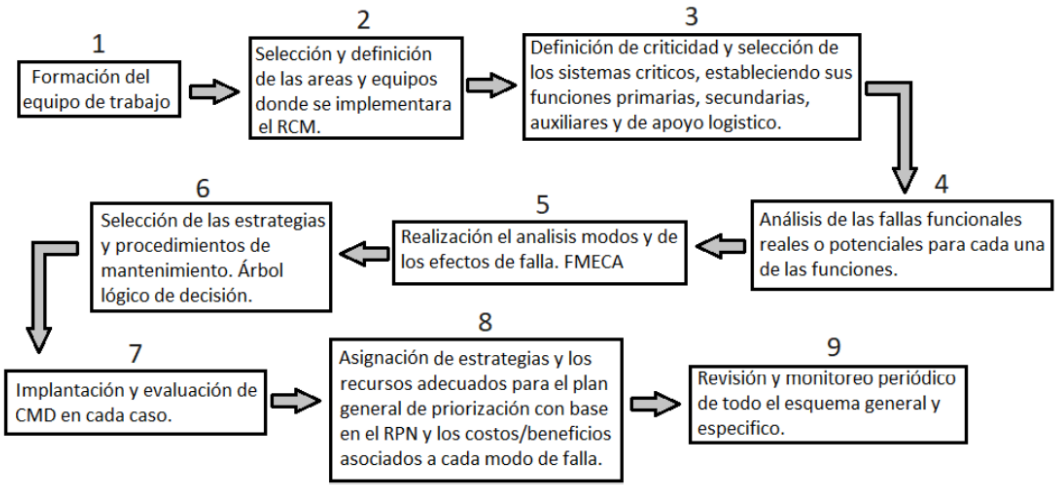
3.1.1 Las 7 preguntas del RCM

La norma SAE JA1011(Society of Automotive Engineers, 2009) establece los criterios que debe cumplir un proceso para que sea catalogado como RCM. La metodología RCM nos brinda la información de las tareas de inspección necesarias de un activo físico, para lo cual es fundamental cumplir las 7 preguntas básicas (Sinfonte, J & Reyes, J.(2017).Reliability Centered Maintenance-Reengineered. CRC Press Taylor & Francis Group):

1. ¿Cuáles son las funciones y estándares de ejecución asociados con el activo, en su actual contexto operacional
2. ¿En qué forma falla el equipo, con respecto a la función que cumple en el contexto operacional?
3. ¿Qué causa la falla funcional?
4. ¿Qué sucede (efectos) cuando falla?
5. ¿En qué forma es importante la falla (riesgos, consecuencias)?
6. ¿Qué puede hacerse para evitar la falla? (Disminuir la probabilidad de ocurrencias)
7. ¿Qué puede hacerse si no se conoce una tarea para evitar la falla

En la Figura 2 se muestra un diagrama de bloques con los pasos para la implementación del RCM. Los bloques 2, 3, y 4 se enfocan básicamente en las funciones, fallas y causas. El 4 y 5 permiten determinar consecuencias y efectos que pueden traer para la compañía una vez ocurran los eventos, por ultimo los bloques 6 y 7 se enfocan en las tareas a realizar una vez haya concluido la aplicación de la metodología.

Figura 2 Pasos para la implementación del RCM

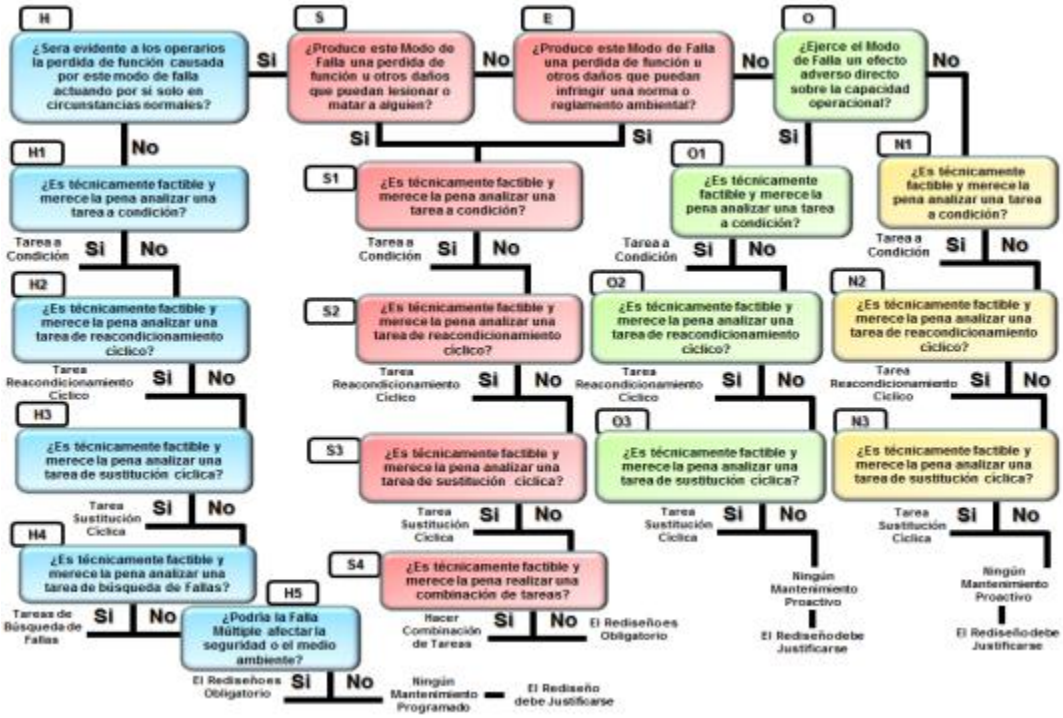


Fuente: MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas de servicios o industriales, Primera Edición. Editorial AMG. Medellín. 2005

La herramienta clave para poder dar respuesta a las preguntas planteadas es el AMEF (Análisis de Modo y Efectos de Falla), con el cual se podrá detectar metódicamente las fallas y sus consecuencias, para así poder tomar medidas preventivas o correctivas concretamente en el activo. (Filz et al., 2021)

Otra herramienta utilizada durante un RCM es el árbol lógico de decisión (Figura 3), empleada para seleccionar de una manera correcta las actividades, con él se da respuesta a las preguntas 6 y 7 del RCM.

Figura 3 Árbol lógico de decisión



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. Asheville, Nort Carolina: Ed Aladon

Adicional al proceso de RCM, que se describió con las 7 preguntas, existen pasos adicionales que ayudan a garantizar la calidad del análisis y la seguridad del resultado. Existen actividades iniciales y finales que son consideras características de la metodología, a las cuales es necesario darles una importancia tal que permita desarrollar con éxito la metodología. En la 4, se muestran los pasos adicionales propuestos(Campos et al., 2019):

Figura 4 Pasos adicionales propuestos para la metodología de RCM

Fuente: Omar Campos-López, Guilibaldo Tolentino-Eslava Miguel Toledo-Velázquez, René Tolentino-Eslava. Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos Científica, vol. 23, núm. 1, pp. 51-59, enero-junio 2019. ISSN 1665-0654 [impresa], ISSN 2594-2921 [web], Instituto Politécnico Nacional MÉXICO

Formación Del Equipo de Trabajo

Para la implementación de la metodología es necesario conformar un equipo multidisciplinario, donde cada uno de los miembros tengan conocimiento del sistema o elemento a analizar en diferentes ámbitos (mantenimiento, operación, diseño etc.). También es necesario incluir personal que tenga experiencia en otras áreas relacionadas con el elemento de estudio. Este equipo de trabajo debe tener un líder que es quien se encarga de seleccionar a los convocados para la aplicación de la metodología, teniendo en cuenta su experiencia y conocimiento.(AMEF - Análisis de Modos y Efectos de Fallas Potenciales by AIAG (z-Lib.Org), n.d.)

En la Figura 5 se muestra un típico grupo de revisión de RCM. Estos grupos permiten integrar las experiencias y conocimientos de cada uno de los integrantes de las áreas de producción y mantenimiento. También permite traspasar los conocimientos a las gerencias y a los miembros del equipo, obteniendo de esta forma un amplio espectro del activo a analizar en su operación.

Figura 5 Típico grupo de revisión de RCM

Fuente: MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento centrado en confiabilidad, Edición en español. Editorial Aladon Ltd. United Kingdom. 2004

¿Cuáles son las funciones y estándares de ejecución asociados con el activo, en su actual contexto operacional?

La definición de las funciones debe estar formada por un verbo en infinitivo, un objeto y la característica de la función; el verbo describe la acción, el objeto es el elemento por analizar y la característica es el parámetro medible que debe cumplir la acción. Las características deben incluir

los rangos de funcionamiento deseados por el usuario. Existen unas funciones primarias (estas son la razón de ser del equipo, el motivo por el cual fue adquirido) y unas secundarias (generan mayor indisponibilidad del equipo); usualmente, las secundarias son menos obvias pero su falla puede tener consecuencias graves ya que ayudan a cumplir la función principal del activo(Moubray, 2004)

¿En qué forma falla el equipo, con respecto a la función que cumple en el contexto operacional?

Al aplicar la metodología de RCM es necesario tener un claro entendimiento del contexto operacional en el que opera el equipo, esto permitirá tener un claro conocimiento de la manera en la que el entorno podría afectar las funciones, por lo tanto, es necesario considerar algunos factores como:

- Procesos por lotes y continuos
- Redundancia
- Estándares de Calidad
- Estándares de Medio ambientales
- Riesgos para la seguridad
- Turnos de trabajo
- Productos en proceso
- Tiempo de reparación
- Repuestos

- Demanda del mercado
- Abastecimiento de materias primas

La falla es la incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que el usuario requiere que haga. Una falla funcional es la inhabilidad de un activo para cumplir un estándar de funcionamiento, según un parámetro de funcionamiento aceptada por el usuario.

Existen diferentes aspectos de las fallas funcionales:

- Falla total o parcial
- Limites superiores e inferiores
- Instrumentos de medición e indicadores
- El contexto operacional

¿Qué causa la falla funcional?

En la norma SAE JA1012(Society of Automotive Engineers, 2011) , se define el modo de falla como un evento único que causa una falla funcional (causa primaria de falla) y lo diferencia de la causa-raíz (causa fundamental).

Un modo de falla es aquel evento que pueda causar la falla de un activo físico, pero para tener una clara concepción del modo de falla es conveniente distinguirlo en falla funcional (un estado de falla) y modo de falla (un evento que puede causar un estado de falla.

¿Qué sucede (efectos) cuando falla?

En esta pregunta, se debe realizar un listado de los efectos de la ocurrencia de un modo de falla, Al momento de describir los efectos tener en cuenta lo siguiente:

- Evidencia (Si existe)
- La forma en la que la falla pudiera ser una amenaza para el medio ambiente
- La manera en la que afecta la producción
- Daños físicos como consecuencia de la falla
- Que se necesita para reparar la falla

Para cada modo de falla es necesario indicar las consecuencias asociados a esta "el efecto de la falla". Los efectos de falla deben indicar claramente cuál es la importancia que tendría la falla en caso de producirse, por lo que se hace preciso realizar una clara descripción de cómo se presenta. Un efecto, es aquello que sigue por virtud de una causa, positivo o negativo y puede traer consigo oportunidades o amenazas. Para dar respuesta a esta pregunta es necesario determinar los efectos de falla que podrían llegar a ocurrir en el corto o mediano plazo si no se desarrollan las tareas necesarias para evitar o detectar una falla funcional.

Cuando un activo falla acarrea consigo eventos que pueden llegar a afectar la continuidad del negocio (paradas de planta imprevistas, horas extras, altos costos en la producción, etc.), por lo tanto, se deben tener identificados todos aquellos factores que pudieran generar la causa de la falla para así poder minimizar el riesgo de ocurrencia.

¿En qué forma es importante la falla (riesgos, consecuencias)?

Cada vez que ocurre una falla en el activo, se generan unas consecuencias que afectan de una u otra forma a la compañía. Estas consecuencias pueden colocar en riesgo la salud de las personas, afectando el medio ambiente, incrementando los costos de operación, como también se pueden producir consecuencias no operacionales. Existe otro tipo de consecuencia generadas por fallas que no son detectables a simple vista, este tipo de fallas corresponde a las fallas ocultas, las cuales no tienen ningún impacto cuando se está presentando, salvo cuando se presenta otra falla.

El correcto análisis de los modos de falla permite desarrollar tareas proactivas que permitan mitigar las consecuencias de esos modos de falla. Estos modos de falla deberán ser definidos con el suficiente detalle que permita un manejo adecuado de esta. (Moubray, 2004)

¿Qué puede hacerse para evitar la falla?

La probabilidad se encuentra asociada a la posibilidad de que cada uno de los posibles resultados en un suceso pueda ocurrir. Para evitar una falla es necesario disminuir la probabilidad de ocurrencia del modo de falla razonablemente probable de suceder en el contexto operativo del activo. Para medir el grado de intensidad de la falla se debe suponer que no se han realizado las tareas necesarias del mantenimiento preventivo

Para prevenir que un componente llegue a su estado de falla, es necesario iniciar tareas proactivas que se encuentran generalmente inmersas en el mantenimiento preventivo y predictivo, aunque el RCM utiliza los términos de reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica, y mantenimiento a

condición (Moubray Traducido Por Ellmann & Asociados, n.d.). Si una tarea proactiva es técnicamente factible o no, depende fundamentalmente del modo de falla y de la tarea.

Las tareas proactivas se ejecutan siempre que resuelvan adecuadamente las consecuencias y así poder minimizar la ocurrencia del efecto. Estas incluyen lo que se conoce como mantenimiento predictivo o preventivo.

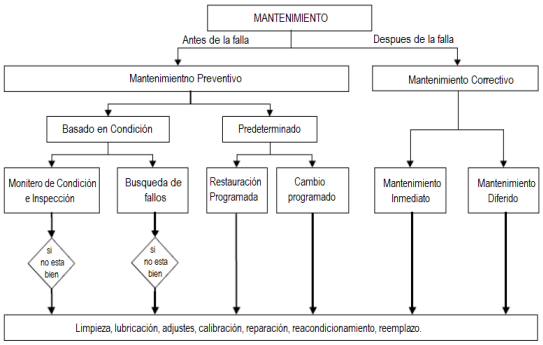
¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Si no es posible encontrar una tarea proactiva adecuada, es posible tomar acciones a falta de, estas acciones tratan con el estado de falla e incluyen búsqueda de fallas, rediseño y mantenimiento a falla. (Moubray, 2004)

3.2 Clasificación del Mantenimiento

Típicamente el mantenimiento ha sido clasificado en dos grupos preventivo y correctivo los cuales difieren uno del otro. Los cuales se diferencia en la forma en la que se actúa una vez ocurren. En la Figura 6 se muestra su subdivisión según sea el caso:

Figura 6 Clasificación del mantenimiento



Fuente: IEC 60300-3-11, 2009

3.2.1 Mantenimiento basado en Condición

Este tipo de mantenimiento busca los identificar los síntomas de una falla antes de que esta se presente, basado en la condición Entre las tareas que incluye este tipo de mantenimiento podemos encontrar: la inspección visual, monitoreos, chequeos, etc. Una acción correctiva en este tipo de mantenimiento la define la condición medida, siempre que se presenten los síntomas que una falla potencial está a punto de ocurrir

3.2.2 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo busca como objetivo mantener un nivel de servicio óptimo en los equipos basados en actividades programadas de los puntos vulnerables en el momento oportuno. Este tipo de mantenimiento se basa en que las actividades se programan con antelación.(Garcia, 2003)

3.2.3 Mantenimiento correctivo (trabajo a falla)

Este mantenimiento es desarrollado cuando se toma la decisión de no realizar ninguna tarea proactiva (predictiva o preventiva) para una falla, sino que esta será corregida una vez surja el evento. Este tipo de mantenimiento se escoge cuando el costo de la falla es menor que el costo de la prevención y cuando no existen consecuencias sobre la seguridad o el medio ambiente.

3.2.4 Mantenimiento detectivo (búsqueda de fallas)

El mantenimiento detectivo, se define como aquel en el que se realizan pruebas de funcionamiento de manera regular de las funciones del activo de una manera controlada con el objetivo de determinar si el equipo será capaz de cumplir su función en el momento en que sea requerido

4. MARCO CONCEPTUAL

En la industria, la refrigeración es ampliamente empleada en diversas aplicaciones para remover el calor, como son la conservación de alimentos, sistemas de aire, el confort de un lugar, procesos industriales, etc. En estos últimos es necesario emplear equipos que permitan realizar la extracción de calor los cuales se suelen denominar "chillers".

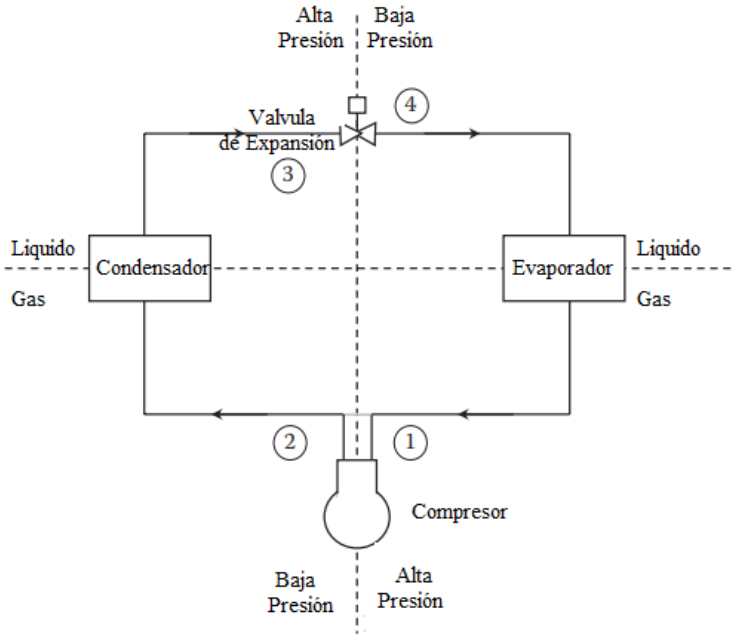
4.1 Chiller

Un chiller (enfriador de agua) es un equipo de enfriamiento, que cumple la función de retirar el calor de un fluido hasta una temperatura requerida. Los chillers son equipos de enfriamiento indirecto, lo que indica que el refrigerante no se encuentra en contacto con el medio enfriado. Por ser equipos de refrigeración se encuentran gobernados por un ciclo típico (Figura 7), que se encuentra conformado por 4 etapas básicas:

1. **Compresión:** en esta etapa un compresor succiona el refrigerante sobrecalentado a baja presión y temperatura para luego comprimirlo y así aumentar la presión y temperatura.
2. **Condensación:** en esta etapa el condensador es el encargado de disipar el calor del gas que viene a alta presión y temperatura ya sea por medio de aire o agua, para condensar el gas
3. **Expansión:** La válvula de expansión, es la encargada de reducir la presión del líquido que viene a alta presión, como el líquido debe pasar por un pequeño orificio parte del líquido se convierte en gas

4. **Evaporación:** el líquido que viene a baja presión producto de la etapa anterior absorbe el calor del aire o del agua del interior y este se evapora en forma de gas o vapor. El vapor que ya se encuentra a baja presión fluye al compresor y el proceso se repite.

Figura 7 Ciclo básico de refrigeración



Fuente: HEBERT, W. HVAC Water Chillers and Cooling Towers: Fundamentals, Application, and Operation, Second Edition, Herbert W. Stanford III. Editorial. United Kingdom. 2004

En la industria de HVAC, un equipo que utiliza el ciclo de compresión de vapor está formado por uno o más compresores, evaporadores y condensadores, en una unidad única. En los equipos en los que es necesario utilizar múltiples compresores, es común que posean circuitos de refrigeración

independientes para que la falla de un compresor no afecte en el funcionamiento de los compresores restantes.(Herbert W. Stanford III, 2012)

Considerando el medio de condensación, los chillers se pueden clasificar en dos grupos, los enfriados por agua o aire exterior

4.1.2 Chillers Enfriados por Aire

Estos equipos utilizan ventiladores para incrementar la velocidad con la que viaja el aire. En el circuito de refrigeración de estos equipos el aire distribuido retorna al serpentín mezclado con aire del exterior, por donde se encuentra circulando agua fría para extraer el calor del aire.

4.1.3 Chillers Enfriados por Agua

En los chiller enfriados por agua, utiliza el agua de la torre de enfriamiento para retirar el calor producto del trabajo realizado, el agua es transportada mediante una bomba hacia la torre de enfriamiento, quien a su vez baja la temperatura de esta agua y la envía nuevamente al condensador para realizar e intercambio de calor.

Actualmente compañía envasadora del atlántico posee dos chillers enfriados por agua Modelos RTHD DE 250 TR MARCA TRANE, denominados Chiller 3 (Ilustración 1) y Chiller 4 (Ilustración 2) . Estos equipos por su capacidad trabajan de manera simultánea durante las épocas de mayor demanda en la producción

Ilustración 1 Chiller 3 (CEA)

Ilustración 2 Chiller 4 (CEA)

Fuente: Fotografías tomadas en las instalaciones de CEA

5 PLAN DE TRABAJO

5.1 METODOLOGIA

Teniendo en cuenta los objetivos, es necesario realizar una investigación de tipo analítico, donde el análisis de datos permitirá establecer las bases para obtener las respuestas a la finalidad de este proyecto aplicado al chiller CGADM de 120 TR marca Trane.

Para ello se tendrán en cuenta los sietes pasos formulados en el RCM (mencionados en el numeral 3.1.1 de este documento) y así poder definir las tareas necesarias para la ejecución del mantenimiento y poder garantizar la disponibilidad del equipo.

Como paso clave, se desarrollarán actividades preliminares como la conformación de un equipo de trabajo con los operadores de servicios industriales, técnicos eléctricos, electrónicos, coordinador de mantenimiento y supervisores de producción y de esta forma poder realizar un análisis de criticidad.

Además de realizar la recopilación del estado actual del equipo, definir las funciones y las fallas funcionales (fallas presentadas durante los últimos años del equipo con sus respectivas frecuencias), se identificarán los modos de falla y se evaluará uno a uno de estos las consecuencias que tuvieron o podrían tener, (análisis de efectos de falla). Por último, con base en el árbol lógico de decisión del RCM, se definirán las tareas específicas de mantenimiento y se agruparán de acuerdo con criterios que el equipo de trabajo defina.

5.2 SOLUCION DEL PROBLEMA

Para abordar el objeto de estudio de esta monografía se darán respuesta a los 7 pasos planteados en la metodología del RCM

5.2.1 Conformación del equipo de trabajo

Es de crucial importancia la participación de profesionales que interactúen de manera cotidiana con el equipo objeto de estudio de esta monografía. Además de ser necesarios para la implantación y posterior seguimiento de la metodología descrita. Las personas participaron fueron las siguientes:

- Coordinador de Mantenimiento (responsable del proyecto)
- Planeador de Mantenimiento (Facilitara la información documental como de indicadores, clasificación de fallas., tiempos fuera de servicio del equipo, etc)
- Técnico de Servicios Industriales (Operadores y mantenedores de los equipos)
- Técnico en Eléctrico (Mantenedores de los equipos)
- Contratista (Especialista en equipos de refrigeración Marca Trane)

5.2.2 Selección y definición de las áreas y equipos donde se implementará el RCM

Teniendo en cuenta que el circuito de refrigeración que suministra agua fría al proceso se encuentra conformado por 4 chiller, el objeto de estudio de esta monografía para el análisis del RCM será el chiller 1 ya que es el que mayor indisponibilidad ha tenido durante los últimos 3 años.

5.2.3 Recopilación de la información estado actual del equipo

Actualmente compañía envasadora del atlántico posee dos chillers enfriados por aire Modelos CGADM DE 120 TR MARCA TRANE, denominados Chiller 1 (Ilustración 3) y Chiller 2 (Ilustración 4). El primero el objeto de estudio de este proyecto

Ilustración 3 Chiller 1 (CEA)

Ilustración 4Chiller 2 (CEA)

Fuente: Fotografías tomadas en las instalaciones de CEA

5.2.4 Principio de Funcionamiento

El agua que es necesario enfriar circula a través del intercambiador que se encuentra al interior del equipo. El calor que antes poseía esta agua se pasara al refrigerante, quien a su vez se evaporara debido a las características propias de él y a su baja presión de evaporación.

El ciclo de refrigeración de este chiller utiliza un evaporador de tubos soldados y un condensador por aire, los compresores poseen motores de condensación de gas de aspiración. El refrigerante líquido se mide en el evaporador por medio de una válvula de expansión electrónica para maximizar la eficacia del equipo en funcionamiento a plena carga y a carga parcial.

El chiller está equipado con un panel de control instalado en la unidad. Los módulos de control de la unidad proporcionan un control preciso del agua fría, así como funciones de limitación adaptativa, de protección y de control. La naturaleza adaptativa de los controles evita de forma inteligente que la enfriadora funcione fuera de sus límites, o compensa las condiciones de funcionamiento que no sean habituales mientras mantiene la enfriadora operativa en lugar de desconectar sencillamente la enfriadora.(TRANE, 2011)

Principio de operación

La función principal del equipo es extraer el calor del agua por medio de un refrigerante.

Placa característica.

El Chiller 1 tiene el siguiente serial: CGAD120C4203AT02, que denota lo siguiente:

CGA= Cold Generation Air

D = Serie D

120= 120 toneladas

C= Versión “C

4= = 440V/60Hz/3f - sin accesorios

2= Refrigerante R-22

0= Tubería estándar

3 = Con fabr. de hielo/ límite de demanda

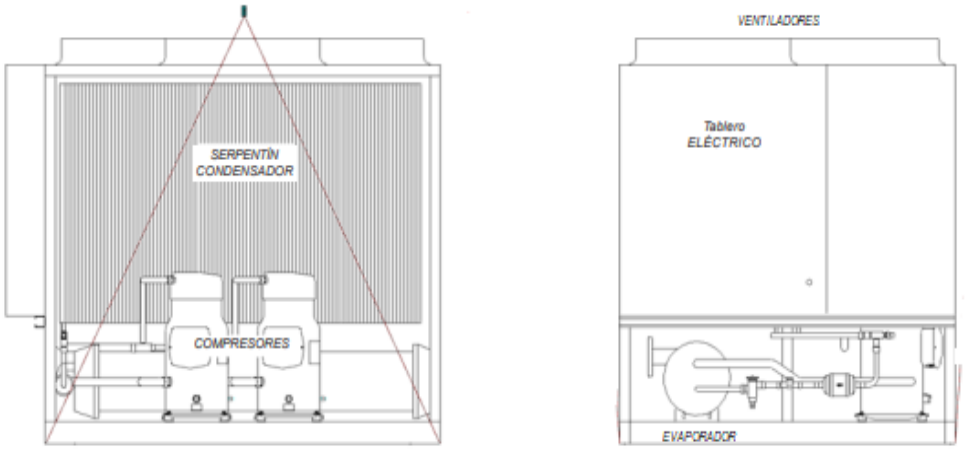
A= Serpentines con aletas de aluminio

T = Válv. de Exp. Termostática

Partes del Equipo

El chiller enfriado por agua se encuentra conformado por componentes que se muestran en la Ilustración 5 y se describen a continuación

Ilustración 5 Partes de un Chiller enfriador por aire CGAM



Fuente: TRANE. Instalación Operación Mantenimiento, Condensación a Aire Compresor Scroll 20 a 150 Ton. Brasil. 2009

- Compresor:

La unidad TRANE, pose 6 compresores tipo Scroll, 3 en cada circuito (**Ilustración 6**). Este tipo de compresor es ampliamente utilizado debido a que tiene gran capacidad de desplazamiento volumétrico, bajo consumo energético, durante los arranques y paradas.

El compresor cumple dos principales funciones durante el ciclo de refrigeración, una es tomar el refrigerante en forma de vapor y reducir la presión en el evaporador a tal punto de mantener la temperatura deseada.(Danfoss, 2009)

Componentes del compresor:

1. Caja de Bornes
2. Amortiguadores
3. Módulo Protección Interna
4. Estructura o carcasa
5. Motor eléctrico (Rotor + Estator)
6. Mirilla de aceite
7. Compresor

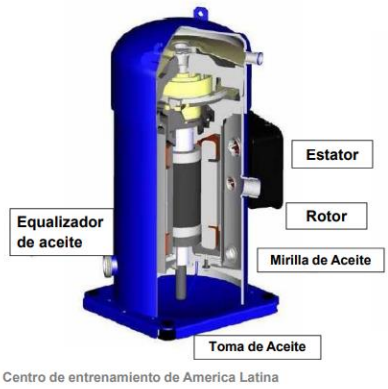


Ilustración 6 Compresor Componentes

Fuente: Diapositivas Capacitación Trane

- Evaporador:

El evaporador se encuentra formado por un intercambiador de carcaza y tubo, internamente posee una tubería que se encarga de retirar el calor del agua por medio de refrigerante. Cuando el proceso de evaporación ocurre el refrigerante absorbe el calor y lo cambia de estado de líquido a vapor, posterior a esto enviarlo al compresor

Componente del Evaporador

1. Carcasa (Tapas Frontales y Laterales)
2. Filtro Secador (Piedras Filtrantes)
3. Interruptor de flujo electrónico
4. Filtro de Agua
5. Válvula de Expansión
6. Bomba evaporador
7. Tuberías
8. Válvula de servicio y succión de descarga.

- Condensador (Aleta y tubo):

El serpentín es una sola pieza en cobre en forma de W que se encuentra instalada con cierto ángulo de inclinación para generar una mayor transferencia en el intercambio de calor entre los tubos y el aire. Además, la finalidad de esta inclinación es drenar el agua producto de la condensación hacia la bandeja recolectora de condensados. Este tipo de serpentín es empleado para diferentes aplicaciones de flujo**.**(Whitman & Johnson, 2000)

- Componentes del condensador:

1. Serpentín
2. Tuberías internas

3. Aspas del Ventilador
4. Motor del Ventilador

- Panel de Control y tablero eléctrico:

En este gabinete se encuentran los dispositivos de fuerza y control, que al interactuar entre si permiten que exista un control en la operación del equipo. El chiller posee un módulo Dynaview (**Ilustración 7**), que es la interfaz hombre maquina desde la cual se controla el equipo; El equipo posee una lógica que se encarga de controlar y monitorear las variables para garantizar el óptimo funcionamiento del equipo y evitar que este salga de operación.

Componentes del Panel de Control:

1. Pantalla CH-530
2. Tarjetas
3. Sensores de Nivel
4. Sensores de Presión
5. Sensores de Temperatura
6. Elementos de Control y Fuerza (Contactores, Guardamoters, Breaker y Variadores)

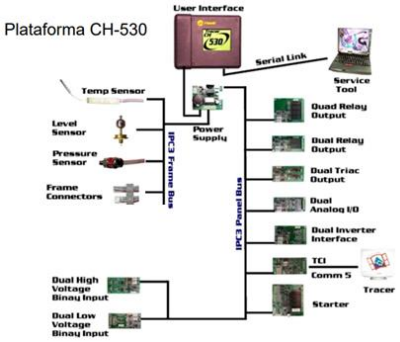


Ilustración 7 Interfaz CH-530

Fuente: Diapositivas Capacitación Trane (Centro de Entrenamiento Latinoamérica

5.2.5 Contexto Operacional

El chiller 1, opera durante un periodo de 5 meses al año de manera continua por 24 horas al día para un total de 3600 horas anuales. En los meses restantes estos equipos operan unas 100 horas semanales, para un total de 2800 hora anuales. Estos equipos han tenido en los últimos 3 años una indisponibilidad de 378 días, según el indicador de equipos fuera de servicio llevado por el departamento de mantenimiento.

Tabla 1 Disponibilidad de los Chiller Año 2019

2019	Tiempo Requerido por la Planta		Tiempo Fuera de Servicio	Tiempo Operativo	Fallas por Año	MTBF	MTTR	Disponibilidad
Equipo	Horas/ Mes	Horas/ Año	Horas/ Año	Horas/ Año		Tiempo Operativo/ Numero de Fallas)	Tiempo Fuera de Servicio/ Numero de Fallas)	
Chiller 1	730	4380	2190	1440	5	288	438	40%
Chiller 2	730	4380	365	2880	3	960	121,6666667	89%
Chiller 3	730	4380	168	3312	1	3312	168	95%
Chiller 4	730	4380	168	3312	1	3312	168	95%

Notas: Este año se operó alrededor de 6 meses de abril a agosto y en el mes de noviembre y Diciembre

Tabla 2 Disponibilidad de los Chillers Año 2020

2020	Tiempo Requerido por la Planta		Tiempo Fuera de Servicio	Tiempo Operativo	Fallas por Año	MTBF	MTTR	Disponibilidad
Equipo	Horas/ Mes	Horas/ Año	Horas/ Año	Horas/ Año		Tiempo Operativo/ Numero de Fallas)	Tiempo Fuera de Servicio/ Numero de Fallas)	
Chiller 1	584	2920	1460	1440	7	205	208	50%
Chiller 2	584	2920	219	2880	3	960	73	93%
Chiller 3	584	2920	120	3312	1	3312	120	97%
Chiller 4	584	2920	120	3312	1	3312	120	97%

Notas: Este año se operó alrededor de 6 meses de abril a agosto

Tabla 3 Disponibilidad de los Chiller Año 2021

2021	Tiempo Requerido por la Planta		Tiempo Fuera de Servicio	Tiempo Operativo	Fallas por Año	MTBF	MTTR	Disponibilidad
Equipo	**Horas/ Mes**	**Horas/ Año**	**Horas/ Año**	**Horas/ Año**		**Tiempo Operativo/ Numero de Fallas)**	**Tiempo Fuera de Servicio/ Numero de Fallas)**	
Chiller 1	730	4380	2190	360	2	180	1095	14%
Chiller 2	730	4380	365	2880	3	960	121	89%
Chiller 3	730	4380	168	3312	1	3312	168	95%
Chiller 4	730	4380	168	3312	1	3312	168	95%

Notas: Este año se operó alrededor de 6 meses de abril a Agosto

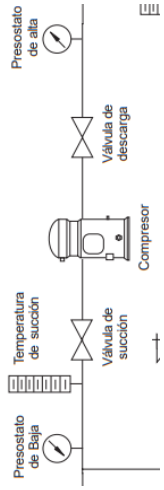
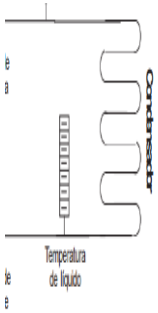
Como se puede observar en las tablas Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3 el chiller 1, ha tenido una disponibilidad del 65% debido a las múltiples paradas prolongadas en los tiempos en los cuales debería encontrarse operativo. Con la metodología seleccionada se pretende establecer rutinas que permitan que el equipo se encuentre con una disponibilidad cercana a los chiller 3 y 4.

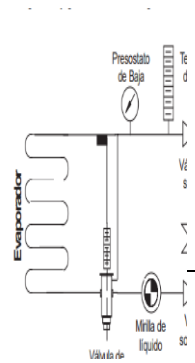
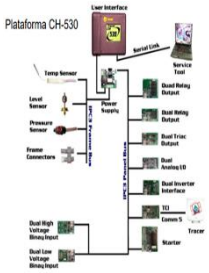
5.2.6 Definición límites y funciones de los componentes

En la Tabla 4 se definen cada una de las funciones detalladas de los componentes que conforman el equipo, en ella se describen las condiciones de diseño y operación bajo las cuales funciona, incluyéndose además los criterios y parámetros requeridos por el proceso.

De igual forma las condiciones externas por las cuales se podría ver afectado el correcto funcionamiento. Se establecieron además las fronteras donde se describen los límites de cada una de las partes que componen el equipo objeto de estudio. Todo esto se realizó con la finalidad de tener una definición precisa de todas las funciones del equipo, sin temor a descuidar alguna., además que se establecieron límites de las señales para saber que entra y sale del sistema.

Tabla 4 Definición de funciones de los componentes

ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	CONDICIONES OPERACIONALES	CONDICIONES AMBIENTALES	FRONTERAS (PLANO-DIAGRAMA)	INTERFASES (Entradas/Salidas)	FUNCIONES
COMPRESOR	Comprimir gas de 55 a 80 psig y entregarlo entre 200 y 340 psig	No exceder +/-10% de la tensión de placa	Sobretensiones		ENTRADAS: Gas a baja presión y temperatura. Energía eléctrica SALIDAS: Gas a alta presión y temperatura	Comprimir el gas de baja presión 55 a 80 psig del evaporador para convertirlo en un gas de alta presión 200 y 340 psig
		No exceder la corriente de placa (244 Amp)	Sobre corrientes			
	Presión de Succión del Compresor: 20º o más	57 PSI +/- 5	Baja carga de refrigerante se dispara por baja presión, baja temperatura del refrigerante. Puede ocasionar que el equipo se congele		ENTRADA: Refrigerante a 57 PSI SALIDA: Refrigerante a 190 PSI	
	Presión de descarga del Compresor: 63º o más	190 PSI +/- 5	Puede retornar liquido al compresor. Compresor averiado Temperatura de condensación alta			
	Nivel de aceite visible con el compresor en funcionamiento (Mirilla de Aceite)	Nivel Visible a la mitad de la mirilla	Escape de aceite		ENTRADA: Aceite SALIDA: Aceite	Visualizar el nivel de aceite a la mitad de cada uno de los compresores
	RLA 100 %	100%	Sobretensiones		ENTRADA: Amperaje SALIDA: Amperaje	Indicar el porcentaje no mayor a 100% de consumo en amperios de un compresor
CONDENSADOR	38 C A 60 C. Valor normal de 20 C más que la temperatura de entrada del aire	34+/- 20 C	Sobrecalentamiento en el equipo, alza en las presiones No exceder 20 C más que la temperatura del aire		ENTRADAS: Temperatura del Aire a 34 C SALIDA: Temperatura del Aire a 54 C	Proporcionar una superficie de transferencia de calor, por la cual pasa el refrigerante caliente.
	Presión: 420 - 440 psia	Presión por Baja: 60 - 65 PSI Presión por Alta: 200 - 310 PSI	Perdida de Refrigerante		ENTRADAS: Refrigerante en estado gaseoso	
	Temperatura de aproximación de condensación: 25ºF	15-20 F	Perdida de Refrigerante		SALIDAS: Refrigerante en estado líquido.	

ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	CONDICIONES OPERACIONALES	CONDICIONES AMBIENTALES	FRONTERAS (PLANO-DIAGRAMA)	INTERFASES (Entradas/Salidas)	FUNCIONES
EVAPORADOR	+8,0 ºC a -2,0 C Valor normal 5 C menos que la temperatura de salida del agua fría	Entregar agua a una temperatura de 5º C (Extraer el calor del agua) **Approach**	Contaminación de la capa de ozono (R-22)		ENTRADA: Agua a 10 C SALIDA: Agua a 5 C	Entregar el agua a una temperatura de 5º C
	Filtro de agua con mesh inferior a 1,6 mm	Cualquier partícula de tamaño superior a 1,6 mm que penetre en el evaporador puede ocasionar una avería en el mismo	Partículas en el agua		ENTRADA: Agua SALIDA: Agua	Retirar del agua impurezas
	Interruptor de flujo electrónico Caudal mín.² (l/s): 8,6 Caudal máx.. ² (l/s): 25,7	Caudal mín.² (l/s): 8,6	Sobretensiones Puede causar congelamiento valores por debajo de este. Valores por encima: Puede causar una erosión excesiva en el evaporador		ENTRADA: Agua 22 (l/s) SALIDA: Agua 15 (l/s)	Indicar el flujo que pasa por el circuito para evitar un posible congelamiento
	Válvula de Expansión	40-50% open	Sobretensiones		ENTRADA: Refrigerante SALIDA: Refrigerante	Controlar el flujo de refrigerante, teniendo en cuenta los requerimientos del sistema
TABLERO ELECTRICO	Visualizar y comandar los componentes del equipo	Permitir transmitir corriente, voltaje y demás señales digitales para poder controlar las variables del sistema	Sobretensiones		ENTRADAS: Señales de Voltaje, Amperaje y comunicación	Permitir la interfaz hombre máquina para controlar, visualizar, monitorear el equipo
			Elementos en corto por lluvia, roedores.		SALIDAS: Señales de Voltaje, Amperaje y comunicación	

5.2.7 Función del sistema y Fallas funciónales

En las columnas 2 y 3 de las tablas Tabla 9, Tabla 10, Tabla 11 y Tabla 12, se realizó una descripción de la función y las fallas funcionales del equipo las cuales están enfocadas a la perdida de las funciones. Para ello se dividió las partes del equipo en componentes con lo cual se pudo analizar cada uno de los modos de falla que pudiera llegar a afectar el correcto funcionamiento del equipo.

5.2.8 Modo de Falla y Análisis de Efectos

En este paso, lo que se buscó fue poder identificar el componente del equipo que pudiese generar un impacto en la pérdida de la capacidad. En las tablas Tabla 9, Tabla 10, Tabla 11 y Tabla 12, columna 4 se describen los modos de falla, que es la manera en la que debe fallar el componente para que produzca una falla en el equipo. A su vez, en la columna 7 se realizó una descripción de los efectos y consecuencias, donde se consolidó en una descripción el cómo puede llegar a incidir la materialización de este modo de falla en el medio ambiente, seguridad, producción y daños físicos.

5.2.9 Matriz de Riesgos

Se elabora una matriz de riesgo, en donde el eje de las X es la probabilidad de ocurrencia y el en eje de las Y el impacto. La ocurrencia se define como la cantidad de eventos en un periodo de tiempo y la consecuencia es el impacto que tienen para el negocio una vez se present**a** dicho evento. En la ponderación, la cual va de menor a mayor donde el 5 representa el mayor impacto definida en Tabla 6., se definen los factores de consecuencias refiriendo las categorías de mayor impacto para la continuidad del negocio (costos de reparación, perdidas por fallas en operación, humanas

y ambientales) con su respectiva ponderación, la cual va de menor a mayor donde el 5 representa el mayor impacto definida en Tabla 6.

Tabla 5 Consecuencias

CONSECUENCIAS				
COSTOS DE REPARACION	**PERDIDAS POR FALLAS EN OPERACIÓN**	**HUMANAS**	**AMBIENTALES**	**PROBABILIDAD**
$ 200.000.000,00	Interrupción en la operación < 15 días	Mas de un muerto	Efectos irreversibles	**5**
ENTRE $200.000.000 Y $50.000.000	interrupción en la operación < 7 días	Incapacidad permanente	Efectos irreversibles en menos de 2 años	**4**
ENTRE $50.000.000 Y $5.000.000	interrupción en la operación < 8 a 24 horas	Incapacidad temporal	Efectos reversibles en menos de 6 meses	**3**
ENTRE > 5.000.000 < $1.000.000	interrupción en la operación < 8 horas	Lesiones	Efectos pueden ser controlados	**2**
>$ 1.000.000	No hay interrupción en la operación	Ninguna	No afecta el medio ambiente	**1**

Tabla 6 Probabilidad de Ocurrencia del Riesgo

NIVEL	DESCRIPTOR	DESCRIPCION	FRECUENCIA
5	Casi seguro	Se espera que el evento ocurra en la mayoría de las circunstancias	Mas de 1 vez en 6 meses
4	Probable	Es viable que el evento ocurra en la mayoría de las circunstancias	Al menos de 1 vez en el último año y mayor a 6 meses
3	Posible	El evento podrá ocurrir en algún momento	Al menos de 1 vez los entre los últimos 3 años y mayor al 1 año
2	Improbable	El evento puede ocurrir en algún momento	Al menos de 1 vez los últimos 5 años y mayor a 3 años
1	Rara vez	El evento puede ocurrir solo en circunstancias excepcionales (poco comunes o anormales)	No se ha presentado en los últimos 5 años

Tabla 7 Matriz de Riesgo

			FRECUENCIA (OCURRENCUA)				
			RARA VEZ > 5 Años	IMPROBABLE < 5 AÑOS > 3 AÑOS	POSIBLE < 3 AÑOS > 1 AÑO	PROBABLE < 1 AÑOS > 6 MESES	CASI SEGURO < 6 MESES
IMPACTO (CONSECUENCIA)	Catastrófico	5					
	Mayor	4					
	Moderado	3					
	Menor	2					
	Insignificante	1					
			1	2	3	4	5

Tabla 8 Nivel de Riesgo

NIVEL DE RIESGO	
BAJO	1 a 4
MEDIO	5 a 12
ALTO	12 a 25

En la Tabla 7, matriz de riesgo se relacionan las consecuencias con la probabilidad de ocurrencia de estos fallos, asignándosele una puntuación respectivamente.

5.2.10 Análisis del Nivel de Riesgo

Luego de diligenciar la hoja de información para el RMC, es necesario realizar una evaluación para determinar con que prioridad deben afrontarse cada uno de los fallos y de este modo determinar el tipo de mantenimiento y frecuencia con la que se debe realizar.

Al obtener los resultados de la matriz de riesgo, los cuales se ven reflejados en la columna 11 (Nivel de riesgo) de las tablas Tabla 9, Tabla 10, Tabla 11 y Tabla 12, donde se representa por

colores el nivel de riesgo que puede representar si se llegara a materializar siendo el color verde un riesgo bajo, amarillo riesgo medio, y por último el rojo un riesgo alto , se pudo evidenciar lo siguiente:

CONDENSADOR: los componentes que representa un riesgo medio son:

- Tuberías internas
- Motor del Ventilador

Y un riesgo alto:

- Aspas del Ventilador
- Serpentín

En la columna 12 a la 16 de la Tabla 9 se describen cada una de las decisiones tomadas teniendo en cuenta el impacto que pueden llegar a tener en la operación del equipo, en ellas se describen el tipo de decisión (monitoreo, mantenimiento preventivo, por frecuencia, por condición, etc.) según sea el caso. Además de la frecuencia en la que se debe realizar la tarea y el recurso humano necesario para realizarla .

COMPRESOR: los componentes que representa un riesgo bajo son:

- Amortiguadores

Riesgo medio:

- Carcasa
- Mirilla de aceite

Riesgo alto:

- Módulo de Protección Interna
- Compresor
- Motor Eléctrico

La columna 12 a la 16 de la Tabla 10 se describen cada una de las decisiones tomadas teniendo en cuenta el impacto que pueden llegar a tener en la operación del equipo, en ellas se describen el tipo de decisión (monitoreo, mantenimiento preventivo, por frecuencia, por condición, etc.) según sea el caso. Además de la frecuencia en la que se debe realizar la tarea y el recurso humano necesario para realizarla.

EVAPORADOR: los componentes que representa un riesgo bajo son:

- Caja de Bornes
- Válvula de servicio y succión de descarga.

Riesgo medio:

- Módulo de Protección Interna
- Carcasa (Tapas Frontales y Laterales)
- Filtro Secador (Piedras Filtrantes)
- Interruptor de Flujo
- Filtro de Agua
- Bomba del Evaporador

Riesgo alto

- Tuberías

La columna 12 a la 16 de la Tabla 11 se describen cada una de las decisiones tomadas teniendo en cuenta el impacto que pueden llegar a tener en la operación del equipo, en ellas se describen el tipo de decisión (monitoreo, mantenimiento preventivo, por frecuencia, por condición, etc.) según sea el caso. Además de la frecuencia en la que se debe realizar la tarea y el recurso humano necesario para realizarla.

TABLERO ELECTRICO: los componentes que representa un riesgo alto son:

- Tarjetas
- Transmisor de Presión
- Sensores de Temperatura
- Elementos de Control y Fuerza (Contactores, Breakers y Variadores)

Y un riesgo medio:

- Pantalla Ch-530

La columna 12 a la 16 de la Tabla 12 se describen cada una de las decisiones tomadas teniendo en cuenta el impacto que pueden llegar a tener en la operación del equipo, en ellas se describen el tipo de decisión (monitoreo, mantenimiento preventivo, por frecuencia, por condición, etc.) según sea el caso. Además de la frecuencia en la que se debe realizar la tarea y el recurso humano necesario para realizarla.

Tabla 9 Aplicación RCM (Condensador)

1. Parte	Función	3. Descripción Falla Funcional	4. Modo de Falla	5. Falla oculta	6. Evidencia	7. Descripción Efectos y Consecuencias	8. Correctivo	9. Impacto económico total del riesgo ($)	10. Probabilidad	11. Nivel del riesgo	12. Tipo de decisión	13. Descripción de la tarea	14. Valor	15. Recursos
Serpentín	Permitir la transferencia del calor entre el refrigerante y el aire exterior	No permite la transferencia de calor entre el aire y el exterior	Fuga de refrigerante	NO	El operador observa el equipo alarmado por baja presión de refrigerante, se observa una mancha en el serpentín	El operador observa el equipo alarmado por baja presión de refrigerante, se observa una mancha en el serpentín; No hay consecuencias en las personas, pero si en el medio ambiente por la liberación del refrigerante (daño en la capa de ozono); Se aumentan las temperaturas del producto; Serpentín deteriorado; Sacar todo el refrigerante del circuito que presento la fuga a través de una bomba de vacío, presurizar el sistema con nitrógeno, identificar fuga. Reparar y volver a cargar el refrigerante	Sacar todo el refrigerante del circuito que presento la fuga a través de una bomba de vacío, presurizar el sistema con nitrógeno, identificar fuga. Reparar y volver a cargar el refrigerante	18.000.000	5 veces en los últimos 10 años	ALTA	Monitoreo	Tomar lectura de presiones de trabajo el formato de operación del equipo para detectar una posible pérdida de refrigerante	Diario	Técnico de Servicios Industriales
			aletas de condensador obstruido	NO	El operador observa el equipo alarmado por alta temperatura. Equipo con alta presencia de polvo, o las aletas se encuentran dobladas	El operador observa el equipo alarmado por alta temperatura. Equipo con alta presencia de polvo, o las aletas se encuentran dobladas; No hay consecuencias en las personas, ni en el medio ambiente.; Se aumentan las temperaturas del producto; Aletas dobladas o sucias; Realizar limpieza con un producto desincrustante y de ser posible peinado de las aletas que se encuentren dobladas	Realizar limpieza con un producto desincrustante y de ser posible peinado de las aletas que se encuentren dobladas	300.000	1 vez al Año	MEDIO	Preventivo	Realizar limpieza con un producto desincrustante en el serían del condensador	Semestral	Técnico de Servicios Industriales
Tuberías internas	Contener herméticamente el refrigerante	No contiene herméticamente el refrigerante	Tubería corroída	NO	El operador observa alarmado el equipo, muestra en la pantalla bajo nivel de refrigerante	El operador observa alarmado el equipo, muestra en la pantalla bajo nivel de refrigerante; No hay consecuencias en las personas, pero si en el medio ambiente por la liberación del refrigerante (daño en la capa de ozono); Se aumentan las temperaturas del producto; Tubería dañada; Presurizar equipo para detectar donde está la fuga	Presurizar equipo para detectar donde está la fuga	7.000.000	1 falla en 10 años	MEDIO	Monitoreo	En pantalla realiza seguimiento de las presiones para poder detectar posibles fugas tempranas	Diario	Técnico de Servicios Industriales
			Tubería perforada	NO	El operador observa alarma en el equipo y fuga de refrigerante	El operador observa alarma en el equipo y fuga de refrigerante; Presurizar equipo para detectar donde está la fuga	Presurizar equipo para detectar donde está la fuga	7.000.000	1 falla en 10 años	MEDIO	Monitoreo	En pantalla realiza seguimiento de las presiones para poder detectar posibles fugas tempranas	Diario	Técnico de Servicios Industriales
			Avería por golpes externos	NO	El operador evidencia deformación en la tubería	El operador evidencia deformación en la tubería; Cambiar la tubería averiada	Cambiar la tubería averiada	7.000.000	1 falla en 10 años	MEDIO	Monitoreo	Realizar inspección de posibles deformaciones en la tubería a causa de golpes	Mensual	Técnico de Servicios Industriales

1. Parte	2. Función	3. Descripción Falla Funcional	4. Modo de Falla	5. Falla oculta	6. Evidencia	7. Descripción Efectos y Consecuencias	8. Correctivo	9. Impacto económico total del riesgo ($)	10. Probabilidad	11. Nivel del riesgo	12. Tipo de decisión	13. Descripción de la tarea	14. Valor	15. Recursos
Motor del Ventilador	convertir energía eléctrica en energía mecánica	Se detiene (no gira)	Rodamientos en mal estado	NO	Equipo presenta altas presiones	Equipo presenta altas presiones; Posible riesgo eléctrico, no existen consecuencias sobre el medio ambiente; Se disminuye la capacidad de enfriamiento del equipo 12,5% la capacidad de enfriamiento del equipo; Rodamiento en mal estado; Desmonte del motor, para realizar cambio de rodamientos	Desmonte del motor, para realizar cambio de rodamientos	500.000	1 vez cada dos años	MEDIO	Monitoreo	Prueba de test funcional	Mensual	Técnico Eléctrico
			Cortocircuito en motor	NO	Protección del motor activada (Térmico)	Protección del motor activada (Térmico); Riesgo eléctrico, no existen consecuencias sobre el medio ambiente; Embobinado en mal estado; Rebobinado del motor	Rebobinado del motor	1.800.000	1 vez cada 5 años	MEDIO	Mantenimiento Preventivo	Realizar prueba de aislamiento con un megger	Semestral	Técnico Eléctrico
			Perdida de aislamiento en el embobinado	NO	Protección del motor activada (térmico)	Protección del motor activada (térmico); Riesgo eléctrico, no existen consecuencias sobre el medio ambiente; Embobinado en mal estado; Rebobinado del motor	Rebobinado del motor	1.800.000	1 vez cada 5 años	MEDIO	Mantenimiento Preventivo	Realizar prueba de aislamiento con un generador	Semestral	Técnico Eléctrico
			Rozamiento en los rodamientos	NO	Equipo presenta altas presiones	Equipo presenta altas presiones; Posible riesgo eléctrico, no existen consecuencias sobre el medio ambiente; Alojamiento de rodamiento en mal estado; Desmonte del motor para realizar encamisado de la tapa y cambio de rodamientos	Desmonte del motor para realizar encamisado de la tapa y cambio de rodamientos	900.000	1 veces cada dos años	MEDIO	Mantenimiento Preventivo	Verificar ajuste del rodamiento en la tapa, en caso de ser necesario encamisar	Semestral	Técnico Eléctrico
Aspas del Ventilador	Extraer el calor del equipo	No extrae el calor	Aspa desbalanceada	NO	Ruido Excesivo	Ruido Excesivo; Posible riesgo de corte al partirse el aspa, no existen consecuencias sobre el medio ambiente; Se disminuye la capacidad de enfriamiento del equipo 12,5% la capacidad de enfriamiento del equipo; Aspas partida; Cambio del aspa por una nueva	Cambio del aspa por una nueva	700.000	2 veces al Año	ALTA	Mantenimiento Preventivo	Prueba de test funcional	Mensual	Técnico Servicios Industriales
			Corrosión de material de las aspas	NO	Aspa deteriorada	Aspa deteriorada; No existe riesgo sobre el personal, ni consecuencias sobre el medio ambiente; Alabes deteriorados; Pintura de los alabes	Pintura de los alabes	700.000	2 veces al Año	ALTA	Mantenimiento Preventivo	Prueba de test funcional	Mensual	Técnico Servicios Industriales
			Inclinación inadecuada del aspa	NO	Ruido Excesivo	Ruido Excesivo; Posible riesgo de corte al partirse el aspa, no existen consecuencias sobre el medio ambiente; álabes doblados; Dar la inclinación adecuada según recomendaciones del fabricante	Dar la inclinación adecuada según recomendaciones del fabricante	400.000	2 veces al Año	ALTA	Mantenimiento Preventivo	Prueba de test funcional	Mensual	Técnico Servicios Industriales
		No gira	Daño por golpes	NO	Aumento de temperatura	Aumento de temperatura; Puede ocasionar la forma del alabe ocasionando que funcionen de manera incorrecta; Alabes doblados; Revisar que tengan instalados la protección para evitar el ingreso de cuerpos extraños	Revisar que tengan instalados la protección para evitar el ingreso de cuerpos extraños	400.000	2 veces al Año	ALTA	Mantenimiento Preventivo	Prueba de test funcional	Mensual	Técnico Servicios Industriales
			Cuerpos extraños en las aspas	NO	Aumento de temperatura	Aumento de temperatura; Puede causar un atascamiento y por ende un sobre amperaje en el motor; Alabes doblados; Revisar que tengan instalados la protección para evitar el ingreso de cuerpos extraños	Revisar que tengan instalados la protección para evitar el ingreso de cuerpos extraños	400.000	2 veces al Año	ALTA	Mantenimiento Preventivo	Prueba de test funcional	Mensual	Técnico Servicios Industriales

Tabla 10 Aplicación de RCM Compresor

1.Parte	2. Función	3. Descripción Falla Funcional	4. Modo de Falla	5. Falla oculta	6. Evidencia	7. Descripción Efectos y Consecuencias	8. Correctivo	9. Impacto económico total del riesgo ($)	10. Probabilidad	11. Nivel del riesgo	12. Tipo de decisión	13. Descripción de la tarea	14. Valor	15. Recursos
Compresor - Caja de Bornes	Mantener las conexiones eléctricas libres de polvo, humedad e ingreso de roedores	No mantiene aisladas las conexiones del exterior	Avería por golpes externos	NO	El operador observa que el equipo las protecciones eléctricas se activan	El operador observa que el equipo las protecciones eléctricas se activan; Podría generar afectaciones en la manipulación por parte del personal riesgo eléctrico, Ninguna afectación al medio ambiente.; Saca parte del equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento; Caja de Bornes dañada; Cambio de la caja de bornes	Cambio de la caja de bornes	1.600.000	1 falla cada dos años	MEDIO	Mantenimiento Preventivo	Realizar limpieza con limpiador de contacto, reapretar bornes y conexiones de los compresores	Mensual	Técnico Eléctrico
			Cortocircuito en la caja de bornes	NO	El operador observa que el equipo las protecciones eléctricas se activan	El operador observa que el equipo las protecciones eléctricas se activan; Podría generar afectaciones en la manipulación por parte del personal riesgo eléctrico, Ninguna afectación al medio ambiente.; Saca parte del equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento; Caja de Bornes dañada, posible daño en compresor; Cambio de la caja de bornes, reapretar contactos y terminales. Sino se soluciona cambiar la caja	Cambio de la caja de bornes, reapretar contactos y terminales. Sino se soluciona cambiar la caja	1.600.000	1 falla cada dos años	MEDIO	Monitoreo	Realizar mediciones de corriente y amperaje con pinza voltiamperimetrica en la caja de bornes	Mensual	Técnico Servicios Industriales
			Corrosión en terminales	NO	El operador observa que el equipo las protecciones eléctricas se activan	El operador observa que el equipo las protecciones eléctricas se activan; Podría generar afectaciones en la manipulación por parte del personal riesgo eléctrico, Ninguna afectación al medio ambiente.; Saca parte del equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento; Genera un punto caliente + aislamiento en los termina es dañada, posible daño en compresor; Limpieza con limpiador de contactos y aplicar un recubrimiento protector	Limpieza con limpiador de contactos y aplicar un recubrimiento protector	300.000	1 falla cada 3 años	MEDIO	Preventivo	Chequear visualmente presencia de corrosión, de ser necesario limpiar	Mensual	Técnico Servicios Industriales
Compresor - Amortiguadores	Absorber las vibraciones naturales del equipo	No absorbe las vibraciones naturales del equipo	Deformación en el amortiguador	NO	Ruido anormal en el equipo Vibración excesiva	Ruido anormal en el equipo Vibración excesiva; No genera afectaciones en la manipulación por parte del personal, Ninguna afectación al medio ambiente.; Saca parte del equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento; Daño en el amortiguador y posterío en el compresor; Realizar cambio o de amortiguador	Realizar cambio o de amortiguador	900.000	1 falla en 10 años	BAJO	Inspección	Inspeccionar posibles grietas el amortiguador.	Semestral	Técnico Servicios Industriales

1.Parte	2. Función	3. Descripción Falla Funcional	4. Modo de Falla	5. Falla oculta	6. Evidencia	7. Descripción Efectos y Consecuencias	8. Correctivo	9. Impacto económico total del riesgo ($)	10. Probabilidad	11. Nivel del riesgo	12. Tipo de decisión	13. Descripción de la tarea	14. Valor	15. Recursos
			Posición inadecuada del compresor	NO	Ruido anormal en el equipo Vibración excesiva	Ruido anormal en el equipo Vibración excesiva; No genera afectaciones en la manipulación por parte del personal, Ninguna afectación al medio ambiente.; Saca parte del equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento; Daño en el amortiguador y posterío en el compresor; Verificar nivelación del compresor	Verificar nivelación del compresor	900.000	1 falla en 10 años	BAJO	Inspección	Inspeccionar posibles grietas el amortiguador.	Semestral	Técnico Servicios Industriales
			Fatiga del material del amortiguador	NO	Ruido anormal en el equipo Vibración excesiva	Ruido anormal en el equipo Vibración excesiva; No genera afectaciones en la manipulación por parte del personal, Ninguna afectación al medio ambiente.; Saca parte del equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento; Daño en el amortiguador y posterío en el compresor; Realizar cambio o de amortiguador	Realizar cambio o de amortiguador	900.000	1 falla en 10 años	BAJO	Inspección	Inspeccionar posibles grietas el amortiguador.	Semestral	Técnico Servicios Industriales
Compresor - Modulo de Protección Interna	Proteger al compresor contra sobretensiones	No protege al equipo contra fluctuaciones de voltaje	Modulo quemado por sobrevoltaje.	NO	El operador observa que el equipo se dispara, por sobrecarga	El operador observa que el equipo se dispara, por sobrecarga; Podría generar afectaciones en la manipulación por parte del personal, Ninguna afectación al medio ambiente.; Saca parte del equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento; Modulo de protección quemado; Acceder al módulo de protección y limpiar contactos	Acceder al módulo de protección y limpiar contactos	456.000	1 falla 5 años	ALTO	Monitoreo	Realizar limpieza con limpiador de contacto, reapretar bornes y conexiones de los compresores	Trimestral	Técnico Eléctrico
			Terminales aislados por suciedad	NO		; Podría generar afectaciones en la manipulación por parte del personal, Ninguna afectación al medio ambiente.; Saca parte del equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento; Terminal dañado genera falso contacto; Limpieza de contactos para eliminar posible contaminación	Limpieza de contactos para eliminar posible contaminación	200.000	1 falla 5 años	BAJO	Monitoreo	Realizar limpieza con limpiador de contacto, reapretar bornes y conexiones de los compresores	Trimestral	Técnico Eléctrico

1.Parte	2. Función	3. Descripción Falla Funcional	4. Modo de Falla	5. Falla oculta	6. Evidencia	7. Descripción Efectos y Consecuencias	8. Correctivo	9. Impacto económico total del riesgo ($)	10. Probabilidad	11. Nivel del riesgo	12. Tipo de decisión	13. Descripción de la tarea	14. Valor	15. Recursos
			Electrónica del módulo quemada	NO		; Podría generar afectaciones en la manipulación por parte del personal, Ninguna afectación al medio ambiente.; Saca parte del equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento; Tarjeta quemada; Acceder al módulo de protección, limpiar contactos o reemplazar el modulo	Acceder al módulo de protección, limpiar contactos o reemplazar el modulo	456.000	Una falla 6 años	BAJO	Monitoreo	Realizar limpieza con limpiador de contacto, reapretar bornes y conexiones de los compresores	Trimestral	Técnico Eléctrico
Compresor - Carcasa	Resguardas al equipo y los componentes internos	No contiene el fluido dentro del equipo	Perdida de la capacidad de lubricación	NO	El operador observa aumento inesperado en el nivel de aceite e incremento en temperaturas o disminución	El operador observa aumento inesperado en el nivel de aceite e incremento en temperaturas o disminución; No hay consecuencias en las personas, pero si en el medio ambiente por derrame de aceite; Saca parte del equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento; carcasa averiada; Completar el nivel de aceite en el equipo	Completar el nivel de aceite en el equipo	2.700.000	1 falla 5 años	MEDIO	Monitoreo	Verificar el nivel de aceite del equipo, incluir dentro del formato de toma de datos del chiller	Semanal	Técnico Servicios Industriales
			Estructura rota por golpe	NO	El operador observa fuga de aceite al exterior del equipo	El operador observa fuga de aceite al exterior del equipo; No hay consecuencias en las personas, pero si en el medio ambiente por derrame de aceite; Saca parte del equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento; Escape de aceite, equipos expuestos; Cambio del Compresor	Cambio del Compresor	32.000.000	una falla en 15 años	MEDIO	Monitoreo	Realizar inspección fiscal de la estructura de los compresores para poder diagnosticar posibles	Diario	Técnico Servicios Industriales
Compresor - Motor Eléctrico	Convertir la energía eléctrica en mecánica y así garantizar unas RPM determinadas	Motor no gira	Elevación de consumo de corriente en el motor	NO	Se evidencia que el equipo se dispara, por sobrecarga	Se evidencia que el equipo se dispara, por sobrecarga; No hay consecuencias en las personas, pero si en el medio ambiente por derrame de aceite; Saca parte del equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento; Motor quemado; Cambio del Compresor	Cambio del Compresor	32.000.000	4 fallas en 6 años	ALTO	Monitoreo	Medición de Amperaje del motor.	Mensual	Técnico Eléctrico
		Cortocircuito	Motor quemado por sobrevoltaje	NO	Protección del motor activada (Térmico)	Protección del motor activada (Térmico); No hay consecuencias en las personas, pero si en el medio ambiente por derrame de aceite; Saca parte del equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento; Motor quemado; Verificar si fue por un falso contacto, reapretar terminales	Verificar si fue por un falso contacto, reapretar terminales	32.000.000	4 fallas en 6 años	MEDIO	Mantenimiento Preventivo	Realizar prueba de aislamiento con un megger	Semestral	Técnico Eléctrico
Compresor - Mirilla de aceite	Visualizar nivel de aceite del compresor	No se visualiza el nivel de aceite	Rosca de mirilla deteriorada	NO	Se observa fuga de aceite al exterior del equipo	Se observa fuga de aceite al exterior del equipo; Riesgo de caídas por el derrame de aceite; Drenar aceite del equipo para poder, realizar el ajuste de la mirilla; Rosca dañada; Drenar aceite, enroscar de manera correcta y completar el nivel de aceite	Drenar aceite, enroscar de manera correcta y completar el nivel de aceite	2.600.000	1 falla en 10 años	BAJO	Monitoreo	Realizar inspección de posibles fugas en el equipo	Semanal	Técnico Servicios Industriales

1.Parte	2. Función	3. Descripción Falla Funcional	4. Modo de Falla	5. Falla oculta	6. Evidencia	7. Descripción Efectos y Consecuencias	8. Correctivo	9. Impacto económico total del riesgo ($)	10. Probabilidad	11. Nivel del riesgo	12. Tipo de decisión	13. Descripción de la tarea	14. Valor	15. Recursos
			Cristal roto por golpe	NO		; Riesgo de caídas por el derrame de aceite; Drenar aceite del equipo para poder, realizar el cambio de empaque; cristal fisurado; Drenar aceite, Reemplazar la mirilla y completar el nivel de aceite	Drenar aceite, Reemplazar la mirilla y completar el nivel de aceite	2.600.000	1 falla en 10 años	BAJO	Monitoreo	Realizar inspección de posibles fugas en el equipo	Semanal	Técnico Servicios Industriales
			Empaque deteriorado por fatiga	NO		; Riesgo de caídas por el derrame de aceite; Drenar aceite del equipo para poder, realizar el cambio de empaque; Empaque de mirilla deteriorado; Reparación de la fuga, volver a cargar aceite	Reparación de la fuga, volver a cargar aceite	2.600.000	1 falla en 10 años	BAJO	Monitoreo	Realizar inspección de posibles fugas en el equipo	Semanal	Técnico Servicios Industriales
Compresor	Elevar presión y temperatura del refrigerante en forma de gas para enviarlo al condensador	No es capaz de aumentar presión y la temperatura del refrigerante	Falso contacto en terminales del compresor	NO	El operador escucha ruido anormal en el equipo	El operador escucha ruido anormal en el equipo; No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente; Saca parte del equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento; Compresor quemado; Realizar medición del consumo de corriente en el compresor y de ser necesario realizar cambio del compresor	Realizar medición del consumo de corriente en el compresor y de ser necesario realizar cambio del compresor	35.000.000	6 falla en 10 años	ALTO	Monitoreo Preventivo	Realizar medición de las bobinas con el Megger (anualmente); Tomar lectura de las mediciones (Mensualmente); Medir voltaje y corriente (Mensual).	Anual Mensual	Técnico Eléctrico Técnico Servicios Industriales
			Bobinas de compresor quemadas por sobrecarga de trabajo	NO	El operador escucha ruido anormal en el equipo	El operador escucha ruido anormal en el equipo; No hay consecuencias en las personas ni el medio ambiente; Saca parte del equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento; Compresor quemado; Realizar medición del consumo de corriente en el compresor y de ser necesario realizar cambio del compreso	Realizar medición del consumo de corriente en el compresor y de ser necesario realizar cambio del compreso	35.000.000	6 falla en 10 años	ALTO	Monitoreo Preventivo	Realizar medición de las bobinas con el Megger (anualmente); Tomar lectura de las mediciones (Mensualmente); Medir voltaje y corriente (Mensual).	Anual Mensual	Técnico Eléctrico Técnico Servicios Industriales
			Sobrecalentamiento del compresor por falta de refrigerante.	NO	El operador observa que el equipo se detiene	El operador observa que el equipo se detiene; No hay consecuencias en las personas, pero si en el medio ambiente escape de refrigerante; Saca parte del equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento; Daño en presostato de baja presión; Verificar el presostato de baja presión que esté funcionando dentro de parámetros, además de verificar que tenga la cantidad de refrigerante adecuada	Verificar el presostato de baja presión que esté funcionando dentro de parámetros, además de verificar que tenga la cantidad de refrigerante adecuada	6.000.000	1 falla en 10 años	MEDIO	Preventivo	Tomar lectura de presiones diariamente en el equipo que se encuentren dentro de parámetros	Anual Mensual	Técnico Eléctrico Técnico Servicios Industriales

Tabla 11 Aplicación RCM (Evaporador)

1.Parte	2. Función	3. Descripción Falla Funcional	4. Modo de Falla	5. Falla oculta	6. Evidencia	7. Descripción Efectos y Consecuencias	8. Correctivo	9. Impacto económico total del riesgo ($)	10. Probabilidad	11. Nivel del riesgo	12. Tipo de decisión	13. Descripción de la tarea	14. Valor	15. Recursos
Evaporador - Carcasa (Tapas Frontales y Laterales)	Contener herméticamente el refrigerante	No contiene herméticamente el refrigerante	Empaque de la tapa roto	NO	El operador observa alarmado el equipo	El operador observa alarmado el equipo; No hay consecuencias en las personas, pero si en el medio ambiente por la liberación del refrigerante (daño en la capa de ozono); Se aumentan las temperaturas del producto; Empaque dañado; Presurizar equipo para detectar donde está la fuga	Presurizar equipo para detectar donde está la fuga	7.000.000	1 falla en 10 años	MEDIO	Monitoreo	En pantalla realiza seguimiento de las presiones del sistema para poder detectar posibles fugas tempranas	Mensual	Técnico de Servicios Industriales
			Fractura por fatiga de material de las tapas	NO	El operador observa alarmado el equipo	El operador observa alarmado el equipo; No hay consecuencias en las personas, pero si en el medio ambiente por la liberación del refrigerante (daño en la capa de ozono); Se aumentan las temperaturas del producto; Ruptura en la tapa; Presurizar equipo para detectar donde está la fuga	Presurizar equipo para detectar donde está la fuga	7.000.000	1 falla en 10 años	MEDIO	Monitoreo	En pantalla realiza seguimiento de las presiones del sistema para poder detectar posibles fugas tempranas	Semestral	Técnico de Servicios Industriales
			Corrosión en material de tapas	NO	El operador observa alarmado el equipo	El operador observa alarmado el equipo; No hay consecuencias en las personas, pero si en el medio ambiente por la liberación del refrigerante (daño en la capa de ozono); Se aumentan las temperaturas del producto; Perforaciones en las tapas a causa de la corrosión; Detectar posible punto de corrosión, realizar pruebas de presión y de ser necesario soldar	Detectar posible punto de corrosión, realizar pruebas de presión y de ser necesario soldar	10.000.000	1 falla en 10 años	MEDIO	Monitoreo	Realizar inspección de posible corrosión en el material	Semestral	Técnico de Servicios Industriales
Evaporador - Filtro Secador (Piedras Filtrantes)	Filtrar de impurezas al sistema	Filtro saturado	Filtro obstruido por sedimentos	NO	Se elevan las presiones, debido al incremento de la temperatura de saturación del refrigerante	Se elevan las presiones, debido al incremento de la temperatura de saturación del refrigerante; No hay consecuencias en las personas ni en el medio ambiente.; Saca completamente al equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento; Piedras Saturadas; Abrir tapas del filtro para realizar cambio de piedras filtrantes	Abrir tapas del filtro para realizar cambio de piedras filtrantes	200.000	1 falla cada 3 años	MEDIO	Mantenimiento por frecuencia (teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante)	Realizar una sustitución anual del material filtrante	Anual	Técnico Servicios Industriales

1.Parte	2. Función	3. Descripción Falla Funcional	4. Modo de Falla	5. Falla oculta	6. Evidencia	7. Descripción Efectos y Consecuencias	8. Correctivo	9. Impacto económico total del riesgo ($)	10. Probabilidad	11. Nivel del riesgo	12. Tipo de decisión	13. Descripción de la tarea	14. Valor	15. Recursos
	Detectar la presencia o no de fluido	No detecta flujo en la tubería	Cortocircuito por fluctuaciones de voltaje	NO	Equipo no arranca, se va a falla en el panel por falta de agua	Equipo no arranca, se va a falla en el panel por falta de agua; No hay consecuencias para el operador ni para el medio ambiente; El equipo no da arranque; Bobina del relevo quemada; Cambio del interruptor	Cambio del interruptor	800.000	1 falla cada 2 años	MEDIO	Mantenimiento Preventivo	Prueba de test funcional	Mensual	Técnico Eléctrico
		Medición incorrecta	interruptor sucio	SI	El equipo arranca (Alarma por bajas presiones en el evaporador)	El equipo arranca (Alarma por bajas presiones en el evaporador); No hay consecuencias para el operador ni para el medio ambiente; El equipo no da arranque; Se puede congelar el evaporador; Cambio del interruptor	Cambio del interruptor	800.000	1 falla cada 2 años	MEDIO	Mantenimiento Preventivo	Prueba de test funcional	Mensual	Técnico Eléctrico
Evaporador - Filtro de Agua	Retener partículas	Filtro saturado	Malla Saturada por sedimentos	NO	El equipo se alarma debido al bajo flujo de agua	El equipo se alarma debido al bajo flujo de agua; No hay consecuencias para el operador ni para el medio ambiente; Saca completamente al equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento; Malla sucia; abrir filtro para realizar limpieza de la malla filtrante	abrir filtro para realizar limpieza de la malla filtrante	200.000	1 falla cada 2 años	MEDIO	Mantenimiento por frecuencia (teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante)	Realizar una sutinción anual del material filtrante	Anual	Técnico Servicios Industriales
Evaporador - Válvula de Expansión	Controla el paso de refrigerante	No controla el paso de refrigerante	Válvula obstruida	NO	Equipo no enfría el agua	Equipo no enfría el agua; No hay consecuencias en las personas, pero si en el medio ambiente por la liberación del refrigerante (daño en la capa de ozono); Saca completamente al equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento; Válvula dañada, pudo haber ocasionado daño en el compresor; Cierre de válvulas de corte, desmonte de la válvula antigua para soldar la nueva	Cierre de válvulas de corte, desmonte de la válvula antigua para soldar la nueva	1.750.000	1 falla cada 6 años	ALTO	Monitoreo	Dentro de los parámetros y teniendo en cuenta la apertura de la válvula de expansión	Mensual	Técnico Servicios Industriales
			Presión inadecuada del sistema	NO	Equipo no enfría el agua	Equipo no enfría el agua; No hay consecuencias en las personas, pero si en el medio ambiente por la liberación del refrigerante (daño en la capa de ozono); Saca completamente al equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento; Válvula se quedó en posición abierta; Cierre de válvulas de corte, desmonte de la válvula antigua para soldar la nueva	Cierre de válvulas de corte, desmonte de la válvula antigua para soldar la nueva	1.750.000	1 falla cada 6 años	ALTO	Monitoreo	Dentro de los parámetros y teniendo en cuenta la apertura de la válvula de expansión	Diario	Técnico Servicios Industriales
Evaporador - Bomba de Evaporador	Bombear el fluido	Equipo no Bombea	Válvula cerrada	NO	El chiller no arranca	El chiller no arranca; No hay consecuencias en las personas ni en el medio ambiente.; Parada del equipo mientras se soluciona; Válvula cerrada; Dar apertura a la válvula	Dar apertura a la válvula	200.000	1 falla cada 10 años	BAJO	Monitoreo	Verificar antes de arrancar el equipo que la válvula este abierta	Diario	Técnico Servicios Industriales

1.Parte	2. Función	3. Descripción Falla Funcional	4. Modo de Falla	5. Falla oculta	6. Evidencia	7. Descripción Efectos y Consecuencias	8. Correctivo	9. Impacto económico total del riesgo ($)	10. Probabilidad	11. Nivel del riesgo	12. Tipo de decisión	13. Descripción de la tarea	14. Valor	15. Recursos
			Tubería obstruida	NO	El chiller no arranca	El chiller no arranca; No hay consecuencias en las personas ni en el medio ambiente.; Parada del equipo mientras se soluciona; Tubería obstruida; Verificar si algún material que pudo ingresar por el tanque y llegar hasta la tubería	Verificar si algún material que pudo ingresar por el tanque y llegar hasta la tubería	200.000	1 falla cada 10 años	BAJO	Monitoreo	Verificar antes de arrancar el equipo que la válvula este abierta	Diario	Técnico Servicios Industriales
			Bomba no gira	NO	El chiller no arranca	El chiller no arranca; No hay consecuencias en las personas ni en el medio ambiente.; Parada del equipo mientras se soluciona; Acople en mal estado; Cierre de válvulas, verificar estado del acople, cambiarlo. Acoplar nuevamente y arrancar	Cierre de válvulas, verificar estado del acople, cambiarlo. Acoplar nuevamente y arrancar	700.000	1 falla cada 3 años	MEDIO	Monitoreo	Verificar estado de acople, posible deterioro.	Mensual	Técnico Mecánico
Evaporador - Tuberías	Contener agua y refrigerante	Mezcla de agua en los dos circuitos	Tubería rota	SI	El equipo se empieza a alarmar por baja carga de refrigerante	El equipo se empieza a alarmar por baja carga de refrigerante; No hay consecuencias en las personas, pero si en el medio ambiente por la liberación del refrigerante (daño en la capa de ozono); Saca completamente al equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento; Tubería deteriorada; Separar los circuitos para realizar pruebas de hermeticidad y así detectar la fuga. Condenar o repara el tubo que se encuentre averiado. Realizar barrido en el sistema y Volver a cargar refrigérate	Separar los circuitos para realizar pruebas de hermeticidad y así detectar la fuga. Condenar o repara el tubo que se encuentre averiado. Realizar barrido en el sistema y Volver a cargar refrigérate	12.000.000	2 fallas en 10 años	ALTO	Mantenimiento Preventivo	Realizar test con agua jabonosa en las juntas, bridas, soldaduras, transiciones de codos para detectar posibles fugas en el sistema	Trimestral	Técnico Servicios Industriales
Evaporador - Válvula de servicio y succión de descarga.	Controlar el flujo de refrigerante que pasa hacia el evaporador.	No logra controlar el flujo de refrigerante hacia el evaporador.	Válvula con interiores desgastados	NO	Lectura de sobrecalentamiento del refrigerante a la salida del evaporador del chiller.	Lectura de sobrecalentamiento del refrigerante a la salida del evaporador del chiller.; No hay consecuencias en las personas, ni en el medio ambiente.; Saca completamente al equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento; Válvula deteriorada; Aislar la válvula, corte de tubería, soldadura. Realizar cambio de la válvula	Aislar la válvula, corte de tubería, soldadura. Realizar cambio de la válvula	3.800.000	1 fallas en 10 años	BAJO	Monitoreo	Tomar lectura de presiones de trabajo el formato de operación del equipo para detectar elevaciones de presiones en el equipo	Diaria	Técnico de Servicios Industriales
			Válvula obstruida	NO	Lectura de sobrecalentamiento del refrigerante a la salida del evaporador del chiller.	Lectura de sobrecalentamiento del refrigerante a la salida del evaporador del chiller.; No hay consecuencias en las personas, ni en el medio ambiente.; Saca completamente al equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento; Válvula deteriorada; Aislar la válvula, realizar limpieza y poner en marcha el equipo	Aislar la válvula, realizar limpieza y poner en marcha el equipo	700.000	1 fallas en 10 años	BAJO	Monitoreo	Tomar lectura de presiones de trabajo el formato de operación del equipo para detectar elevaciones de presiones en el equipo	Diaria	Técnico de Servicios Industriales

Tabla 12 Aplicación RCM (Tablero Eléctrico)

1.Parte	2. Función	3. Descripción Falla Funcional	4. Modo de Falla	5. Falla oculta	6. Evidencia	7. Descripción Efectos y Consecuencias	8. Correctivo	9. Impacto económico total del riesgo ($)	10. Probabilidad	11. Nivel del riesgo	12. Tipo de decisión	13. Descripción de la tarea	14. Valor	15. Recursos
Panel de Control y tablero eléctrico: Pantalla CH-530	Visualizar y operar las variables del equipo	No es posible visualizarlas variables del equipo ni darle arranque	Pantalla quemada	NO	El operador observa que la pantalla no prende	El operador observa que la pantalla no prende; No hay consecuencias para el operador ni para el medio ambiente; Saca completamente al equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento. Bajo ritmo de molienda; Pantalla quemada; Cambiar la pantalla y programarla	Cambiar la pantalla y programarla	5.600.000	1 falla en 10 años	MEDIO	Monitoreo	Por los tiempos de entrega de este repuesto se recomienda tener en almacén una pantalla programada de este chiller.	Diaria	Técnico de Servicios Industriales
		No es posible accionar el equipo	Touch no funciona	NO	El operador observa que no puede operar, ni dar arranque al equipo	El operador observa que no puede operar, ni dar arranque al equipo; No hay consecuencias para el operador ni para el medio ambiente; No hay consecuencias para el operador ni para el medio ambiente; Saca completamente al equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento. Bajo ritmo de molienda; Pantalla quemada	Pantalla quemada	5.600.000	1 falla en 10 años	MEDIO	Monitoreo	Por los tiempos de entrega de este repuesto se recomienda tener en almacén una pantalla programada de este chiller.	Diaria	Técnico de Servicios Industriales
		No es posible visualizarlas variables del equipo ni darle arranque	Pantalla desprogramada por variaciones de voltaje	NO	El operador observa que no puede operar, ni dar arranque al equipo	El operador observa que no puede operar, ni dar arranque al equipo; No hay consecuencias para el operador ni para el medio ambiente; No hay consecuencias para el operador ni para el medio ambiente; Saca completamente al equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento. Bajo ritmo de molienda; Pantalla quemada	Pantalla quemada	5.600.000	1 falla en 10 años	MEDIO	Monitoreo	Por los tiempos de entrega de este repuesto se recomienda tener en almacén una pantalla programada de este chiller.	Diaria	Técnico de Servicios Industriales
Panel de Control y tablero eléctrico: Tarjetas electrónicas	Accionamiento de componentes	No es posible el accionamiento de componentes	Deterioro de relés internos	NO	Equipo no arranca, se evidencia en el panel donde es la falla	Equipo no arranca, se evidencia en el panel donde es la falla; No hay consecuencias para el operador ni para el medio ambiente; Saca completamente al equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento. Bajo ritmo de molienda; Tarjeta quemada; Cambio de Tarjeta	Cambio de Tarjeta	2.600.000	3 fallas en 2 años	MEDIO	Monitoreo	Por los tiempos de entrega de este repuesto se recomienda tener en almacén una pantalla programada de este chiller.	Diaria	Técnico de Servicios Industriales
			integrados en corto	NO			Cambio de Tarjeta	2.600.000	3 fallas en 2 años	MEDIO	Monitoreo	Por los tiempos de entrega de este repuesto se recomienda tener en almacén una pantalla	Diaria	Técnico de Servicios Industriales

1.Parte	2. Función	3. Descripción Falla Funcional	4. Modo de Falla	5. Falla oculta	6. Evidencia	7. Descripción Efectos y Consecuencias	8. Correctivo	9. Impacto económico total del riesgo ($)	10. Probabilidad	11. Nivel del riesgo	12. Tipo de decisión	13. Descripción de la tarea	14. Valor	15. Recursos
												programada de este chiller.		
			Tarjeta quemada	NO			Cambio de Tarjeta	2.600.000	3 fallas en 2 años	ALTO	Monitoreo	Realiza limpieza de las tarjetas con limpiador electrónico. Por los tiempos de entrega tan largos es necesario tener en el almacén stock de este repuesto	Trimestral	Técnico Electrónico
Panel de Control y tablero eléctrico: Transmisor de Presión	Medir presión en el sistema	No es posible medir la presión	transmisor en corto	NO	Lectura errónea en el sistema	Lectura errónea en el sistema; No hay consecuencias para el operador ni para el medio ambiente; Saca completamente al equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento. Bajo ritmo de molienda; Sensor abierto; Cambio de Sensor	Cambio de Sensor	1.200.000	3 fallas en 1 año	ALTO	Monitoreo	Realiza limpieza de las tarjetas con limpiador electrónico. Por los tiempos de entrega tan largos es necesario tener en el almacén stock de este repuesto	Trimestral	Técnico Electrónico
Panel de Control y tablero eléctrico: Sensores de Temperatura	Medir la temperatura en el sistema	No es posible medir la temperatura	Sensor en corto	NO	Lectura errónea en el sistema	Lectura errónea en el sistema; No hay consecuencias para el operador ni para el medio ambiente; Saca completamente al equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento. Bajo ritmo de molienda; Sensor abierto; Cambio de Sensor	Cambio de Sensor	1.200.000	3 fallas en 1 año	ALTO	Monitoreo	Realiza limpieza de las tarjetas con limpiador electrónico. Por los tiempos de entrega tan largos es necesario tener en el almacén stock de este repuesto	Trimestral	Técnico Electrónico
Panel de Control y tablero eléctrico: Elementos de Control y Fuerza (Contactores, Breakers y Variadores)	Dar arranque a diversos componentes del sistema	No es posible accionarlo	Elementos quemados por fluctuación de voltaje	NO	Equipo no arranca, se va a falla en el panel	Equipo no arranca, se va a falla en el panel; Riesgo de electrocución, al momento del desmonte del componente si no se puede bajar el breaker ppal.; Saca completamente al equipo de operación. Disminuye la capacidad de enfriamiento. Bajo ritmo de molienda; Elemento dañado; Cambio de Sensor	Cambio de Sensor	1.200.000	3 fallas en 1 año	ALTO	Monitoreo	Realiza limpieza de las tarjetas con limpiador electrónico. Por los tiempos de entrega tan largos es necesario tener en el almacén stock de este repuesto	Trimestral	Técnico Electrónico

5.2.11 Listado de actividades y/o rutina de Mantenimiento

El plan de mantenimiento para el chiller CGADM Trane está basado en tareas proactivas, que serán realizadas por técnicos contratados por la compañía, quienes cuentan con la formación técnica y experiencia necesaria para poder ejecutarlas. En la Tabla 13 se clasifican en un formato simple el tipo de tareas para ser ejecutadas, estas a su vez se encuentran discriminadas por frecuencia de ejecución y asignadas a una especialidad mecánica, eléctrica o servicios industriales.

Todas las acciones de las que trata el listado de tareas se deberán realizar teniendo en cuenta la periodicidad establecida, esto con la finalidad de garantizar la debida operación y el correcto funcionamiento del equipo, el cual hace parte de los equipos críticos de la compañía.

Tabla 13 Listado de Tareas para Chiller CGADM 120 TR

LISTADO DE ACTIVIDADES DIARIAS		
PARTE DEL EQUIPO	**DESCRIPCION DE LA TAREA**	**RECURSO**
Compresor - Caja de Bornes	Realizar inspección física de la estructura de la caja de bornes, para garantizar que los componentes estén resguardados.	Técnico de Servicios Industriales
Evaporador - Bomba de Evaporador	Verificar que la válvula de la bomba se encuentre abierta antes de dar marcha al equipo	Técnico de Servicios Industriales
Evaporador - Válvula de Expansión	Verificar en que porcentaje de apertura se encuentra la válvula de expansión	Técnico de Servicios Industriales
Evaporador - Válvula de servicio y succión de descarga.	Tomar lectura de presiones de trabajo el formato de operación para detectar elevaciones de estas en el equipo	Técnico de Servicios Industriales
Serpentín	Tomar lectura de presiones de trabajo el formato de operación del equipo para detectar una posible pérdida de refrigerante	Técnico de Servicios Industriales
Tuberías internas	Realizar seguimiento de las variaciones en las presiones del sistema para poder detectar posibles fugas tempranas	Técnico de Servicios Industriales

LISTADO DE ACTIVIDADES SEMANALES		
PARTE DEL EQUIPO	**DESCRIPCION DE LA TAREA**	**RECURSO**
Compresor - Caja de Bornes	Verificar el nivel de aceite del equipo, incluir dentro del formato de toma de datos del chiller	Técnico de Servicios Industriales
Compresor - Mirilla de aceite	Realizar inspección de posibles fugas en el equipo	Técnico de Servicios Industriales
LISTADO DE ACTIVIDADES MENSUALES		
PARTE DEL EQUIPO	**DESCRIPCION DE LA TAREA**	**RECURSO**
Compresor	Tomar lectura de las mediciones arrojadas por el equipo	Técnico Eléctrico
Compresor	Realizar medición de voltaje y amperaje con el equipo con carga	Técnico Eléctrico
Compresor - Caja de Bornes	Verificar de manera visual presencia de corrosión, de ser necesario limpiar	Técnico de Servicios Industriales
Compresor - Caja de Bornes	Realizar limpieza, retirar suciedad, polvo y utilizar un limpiador de contactos electrónicos para el módulo de protección. Además de realizar el reapriete de bornes y conexiones.	Técnico Eléctrico
Compresor - Caja de Bornes	Realizar mediciones de corriente y amperaje con pinza voltiamperimetrica en la caja de bornes	Técnico Eléctrico
Compresor - Motor Eléctrico	Realizar medición del consumo de amperaje del motor.	Técnico Eléctrico
Evaporador - Bomba de Evaporador	Verificar visualmente el estado de acople, posible fisuras o fatiga del material.	Técnico Mecánico
Evaporador - Carcasa (Tapas Frontales y Laterales)	Realizar seguimiento de las variaciones en las presiones del sistema para poder detectar posibles fugas de manera tempranas	Técnico de Servicios Industriales
Evaporador - Interruptor de Flujo	Realizar prueba de funcionalidad, teniendo en cuenta las consideraciones del fabricante del equipo.	Técnico de Servicios Industriales
Evaporador - Válvula de Expansión	Verificar en que porcentaje de apertura se encuentra la válvula	Técnico de Servicios Industriales
Motor del Ventilador	Realizar prueba de funcionalidad, teniendo en cuenta las consideraciones del fabricante del equipo.	Técnico de Servicios Industriales
Tuberías internas	Realizar inspección de posibles deformaciones en la tubería a causa de golpes	Técnico de Servicios Industriales

LISTADO DE ACTIVIDADES TRIMESTRALES		
PARTE DEL EQUIPO	**DESCRIPCION DE LA TAREA**	**RECURSO**
Compresor - Modulo de Protección Interna	Realizar limpieza, retirar suciedad, polvo y utilizar un limpiador de contactos electrónicos para el módulo de protección. Además de realizar el reapriete de bornes y conexiones.	Técnico Eléctrico
Evaporador - Tuberías	Realizar una preparación de agua jabonosa y aplicarla en las juntas, bridas, soldaduras, transiciones de codos para detectar posibles fugas en el sistema.	Técnico de Servicios Industriales
Panel de Control y tablero eléctrico: Elementos de Control y Fuerza (Contactores, Breakers y Variadores)	Realizar limpieza de las tarjetas electrónicas con limpiador electrónico, además del reapriete de los puntos de conexión.	Técnico Eléctrico
Panel de Control y tablero eléctrico: Sensores de Temperatura	Realizar limpieza de las tarjetas electrónicas con limpiador electrónico, además del reapriete de los puntos de conexión.	Técnico Electrónico
Panel de Control y tablero eléctrico: Sensores de Temperatura	Realiza limpieza y reapriete de los contactos de los sensores de temperatura. Por los tiempos de entrega tan largos es necesario tener en el almacén stock de este repuesto	Técnico Electrónico
Panel de Control y tablero eléctrico: Transmisor de Presión	Realiza limpieza y reapriete de los contactos del transmisor con limpiador electrónico. Por los tiempos de entrega tan largos es necesario tener en el almacén stock de este repuesto	Técnico Electrónico
LISTADO DE ACTIVIDADES SEMESTRALES		
PARTE DEL EQUIPO	**DESCRIPCION DE LA TAREA**	**RECURSO**
Compresor - Amortiguadores	Inspeccionar posibles grietas el amortiguador.	Técnico de Servicios Industriales
Compresor - Motor Eléctrico	Realizar prueba de aislamiento de las bobinas con un megger	Técnico Eléctrico
Evaporador - Carcasa (Tapas Frontales y Laterales)	Realiza seguimiento de las variaciones en las presiones del sistema para poder detectar posibles fugas tempranas	Técnico de Servicios Industriales
Evaporador - Carcasa (Tapas Frontales y Laterales)	Realizar inspección visual de posible corrosión en el material de las tapas	Técnico de Servicios Industriales
Motor del Ventilador	Realizar prueba de aislamiento de las bobinas con un megger	Técnico Eléctrico
Motor del Ventilador	Verificar ajuste del rodamiento en la tapa, en caso de ser necesario encamisar	Técnico Eléctrico
Serpentín	Realizar limpieza con un producto desincrustante en el serpentín del condensador	Técnico de Servicios Industriales
LISTADO DE ACTIVIDADES ANUALES		
PARTE DEL EQUIPO	**DESCRIPCION DE LA TAREA**	**RECURSO**
Compresor	Realizar medición del aislamiento de las bobinas con un Megger	Técnico Eléctrico
Evaporador - Filtro de Agua	Realizar una sustitución anual del material filtrante	Técnico de Servicios Industriales
Evaporador - Filtro Secador (Piedras Filtrantes)	Realizar una sustitución anual del material filtrante	Técnico de Servicios Industriales

CONCLUSIONES

Al llevar a cabo el desarrollo de la metodología de RCM en el chiller 1, se obtuvo un listado de tareas de mantenimiento diseñado específicamente para este equipo que puede ser replicado en su homólogo "chiller 2", en el que se establecen las tareas y frecuencias aplicables, lo que muy seguramente contribuirá a menores tiempo de parada en el equipo, ya que anteriormente no se tenían establecidas rutinas de inspección, solo el mantenimiento anual del equipo.

Al emplear en los componentes del chiller un análisis de modo y efecto de fallas, fue posible conocer las funciones para las cuales están diseñados e identificar posibles fallas que se puedan presentar. Como resultado se encontraron 57 modos de fallas y efectos de fallas, lo que nos permitió conocer con mayor profundidad la causa de las fallas que puedan ocurrir disminuyendo así los tiempos de parada de planta por fallas inesperadas.

Las partes del equipo que tiene un mayor riesgo y por ende un mayor impacto en la perdida de funcionalidad del equipo fueron:

El serpentín del condensador, en la que se puede ver afectado el rendimiento del equipo por tareas rutinarias como es una limpieza con productos especializados y así poder prevenir que se presenten futuras obstrucciones en el equipo a causa de la falta inspecciones y preventivos. Otra parte del equipo que tiene un impacto importante tanto económico como en la continuidad en la operación es el compresor el cual se ve directamente afectado por la sobrecarga, deterioro de los módulos de protección interna, lo que podría dejar el equipo fuera de servicio de una manera inmediata

El tablero eléctrico (componentes electrónicos, tarjetas, sensores, etc.), por lo que además de rutinas de inspección y mantenimiento preventivo se recomienda tener en almacén, teniendo en cuenta el listado recomendó por el fabricante del equipo.

Como resultado del desarrollo de la metodología se obtuvo un plan de mantenimiento para el equipo en el que se describen un listado de tareas de inspección, monitoreo, limpieza y actividades de mantenimiento, que serán incluidas dentro del plan maestro de mantenimiento con una frecuencia establecida con el objetivo de lograr una mayor disponibilidad del equipo tan cercana como se posible al funcionamiento de los chillers 3 y 4.

RECOMENDACIONES

A partir de la identificación de los modos de falla, fue posible determinar que es necesario tener un listado de repuestos en la planta, debido a que en su mayoría son de importación y muy difícilmente se consiguen de manera local. Además, los tiempos de entrega son mayores a 4 semanas, lo que implica que se debe tener una mayor planeación, para que se tengan de manera oportuna en el almacén de repuestos de la compañía.

Es necesario realizar entrenamiento del personal de Servicios Industriales que son los responsables directos del mantenimiento y operación del equipo, para que tengan la capacidad de detectar fallas electrónicas en el equipo que son las que tienen mayor impacto de una manera temprana.

Una de las mayores dificultades al realizar el análisis RCM fue poder coordinar las reuniones con el personal operativo, debido a que los tiempos con el grupo de trabajo eran limitados al encontramos en nuestro periodo de mayor producción por lo que se tenía que atender la operación de la planta. Para solventar la situación se hicieron reuniones de manera parcial con 1 o 2 del equipo de trabajo y se compartió el formato para que pudieran anotar sus apreciaciones y posteriormente socializarlas.

Referencias Bibliográficas

Campos, O., Tolentino, G., Toledo, M., & Tolentino, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efecto. *Científica*, *23*, 51–59. http://www.cientifica.esimez.ipn.mx/manuscritos/V23N1_051_059.pdf

Chrysler LLC. (2008). *AMEF - Análisis de Modos y Efectos de Fallas Potenciales* (4th ed.). AIAG.

Danfoss, I. (2009). *Manual de refrigeración y aire acondicionado*.

Filz, M. A., Langner, J. E. B., Herrmann, C., & Thiede, S. (2021). Data-driven failure mode and effect analysis (FMEA) to enhance maintenance planning. *Computers in Industry*. https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103451

Garcia, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento* (Ediciones Díaz de Santos, Ed.). Díaz de Santos.

Herbert W. Stanford III. (2012). *HVAC Water Chillers and Cooling Towers Fundamentals, Application, and Operation* (CRC Press, Ed.; 2nd ed.).

Moore, R. (2004). *MAKING COMMON SENSE COMMON PRACTICE models for manufacturing excellence third edition* (3rd ed.). Elsevier Butterworth–Heinemann.

Moubray, J. (2004). *Mantenimiento centrado en confiabilidad* (Aladon Ltd, Ed.; 2nd ed.).

Niu, G., Yang, B. S., & Pecht, M. (2010). Development of an optimized condition-based maintenance system by data fusion and reliability-centered maintenance. *Reliability Engineering and System Safety*, *95*(7), 786–796. https://doi.org/10.1016/j.ress.2010.02.016

Sifonte, J., & Reyes-Picknell, J. (2017). *Reliability Centered Maintenance-Reengineered Practical Optimization of the RCM Process with RCM-R*. Taylor & Francis Group, LLC.

Society of Automotive Engineers. (2009). *SAE JA1011: Evaluation criteria for reliability-centered maintenance (RCM) processes* (2nd ed.). Warrendale: SAE International.

Society of Automotive Engineers. (2011). SAE JA1012: A Guide to the reliability-centered maintenance (RCM) standard. In *SAE International*. Warrendale: SAE International.

Tang, Y., Liu, Q., Jing, J., Yang, Y., & Zou, Z. (2017). A framework for identification of maintenance significant items in reliability centered maintenance. *Energy*, *118*, 1295–1303. https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.11.011

TRANE. (2011). *Instalación Funcionamiento Mantenimiento Enfriadoras de líquido de condensación por aire CGAM* (pp. 1–100).

Whitman, W., & Johnson, W. (2000). *Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado. Fundamentos I* (Paraninfo, Ed.; 1st ed.).