

PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD APLICADO AL
EQUIPO MÁS CRÍTICO DE UNA PLANTA DE DESTILACIÓN MOLECULAR DE
ACEITE DE PESCADO DE LA EMPRESA C.I. NATURMEGA S.A.

ROBERTO ESPIER CASTILLA GUTIÉRREZ
DAVID BOLIVAR DE ORO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2020

PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD APLICADO AL
EQUIPO MÁS CRÍTICO DE UNA PLANTA DE DESTILACIÓN MOLECULAR DE
ACEITE DE PESCADO DE LA EMPRESA C.I. NATURMEGA S.A.

ROBERTO ESPIER CASTILLA GUTIÉRREZ
DAVID BOLIVAR DE ORO

Monografía de Grado presentada como requisito para optar al título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director:
OMAR RICARDO HERRERA ORTEGA
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2020

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a Dios ya que sin Él no hubiésemos podido llevarlo a cabo. También a mis queridos padres y hermana por su constante apoyo y por estar conmigo siempre que lo necesité. A mi futura esposa María Angélica por ser una mujer maravillosa y llenar mi vida de felicidad, por tu compañía a lo largo de este posgrado, por tus innumerables ayudas en los proyectos de nuestra vida, por tu paciencia y amor. Dedico a ti mis triunfos

Roberto Castilla G.

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios por darme la sabiduría para alcanzar este logro, que hoy se convierte en un peldaño más de mi vida profesional.

A mis padres por haberme formado como la persona que soy en la actualidad, este y muchos de mis logros se los debo a ustedes, a mi amada esposa Andrea por ese apoyo incondicional en todos los proyectos que nos proponemos y a mis hermanos por su apoyo constante en las buenas y en las malas.

David Bolívar De Oro

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	19
1.1.1 Misión.....	20
1.1.2 Visión	20
1.1.3 Ubicación geográfica	20
1.1.4 Reseña histórica	21
1.2 OBJETIVOS.....	22
1.2.1 Objetivo general.....	22
1.2.2 Objetivos específicos	22
1.3 MARCO TEÓRICO	23
1.4 MARCO CONCEPTUAL	27
1.4.1 Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)	27
1.4.2 Análisis de criticidad	29
1.4.3 Falla funcional.....	30
1.4.4 Modo de falla	31
1.4.5 Efectos de falla	31
1.4.6 Ácidos grasos omega 3	31
1.4.7 Destilación molecular	32
1.4.8 Bomba tipo lóbulos	34
1.5 JUSTIFICACIÓN.....	34

2. METODOLOGÍA	37
2.1 ANÁLISIS DE CRITICIDAD	40
2.1.1 Organización de la información.....	41
2.1.2 Definición de las categorías de riesgo	42
2.1.3 Definición de escala de probabilidad	44
2.1.4 Creación de la matriz de criticidad	44
2.1.5 Navegación por la estructura y evaluación	45
2.1.6 Resultados	45
2.2 DEFINICIÓN DE FRONTERAS DEL SISTEMA.....	48
2.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA Y DIAGRAMAS DE BLOQUES	52
2.3.1 Descripción funcional del sistema, componente o equipo y los arreglos de redundancia y protecciones.	52
2.3.2 Diagrama funcional de bloques.....	55
2.3.3 Definición de entradas y salidas	55
2.3.4 Descomposición de sistema, por medio de un listado de equipos para cada subsistema funcional en un diagrama de bloques	56
2.3.5 Historial de fallos.....	57
2.4 DEFINICIÓN DE FUNCIONES Y FALLAS FUNCIONALES	57
2.5 ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS.....	61
2.5.1 Modos de falla.....	61
2.5.2 Efectos de falla	64
2.6 DIAGRAMA DE DECISIÓN.....	67

3. CONCLUSIONES78

BIBLIOGRAFÍA.....79

ANEXOS.....80

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Disponibilidad de plantas en el año 2019	35
Tabla 2. Plantilla para análisis de criticidad	42
Tabla 3. Categorías de riesgo aplicadas a la empresa	43
Tabla 4. Escala de probabilidad.....	44
Tabla 5. Metodología de tratamiento	44
Tabla 6. Formato matriz de criticidad.....	45
Tabla 7. Análisis de criticidad de equipos de la planta de destilación molecular de C.I. Naturmega S.A.	46
Tabla 8. Matriz de criticidad de equipos de la planta de destilación molecular de C.I. Naturmega S.A.	47
Tabla 9. Taxonomía del equipo	50
Tabla 10. Descomposición del sistema	56
Tabla 11. Historial de fallos 2019 y 2020 bomba P-6	57
Tabla 12. Definición de funciones.....	59
Tabla 13. Fallas funcionales	60
Tabla 14. Modos de falla para FF-1	61
Tabla 15. Modos de falla para FF-2.....	63
Tabla 16. Modos de falla para FF-3.....	63
Tabla 17. Modos de falla para FF-4.....	63
Tabla 18. Efectos de los modos de falla	64

Tabla 19. Hoja de decisión de RCM	67
Tabla 20. Hoja de decisión diligenciada para la bomba tipo l6bulo P-06.....	72
Tabla 21. Plan de mantenimiento anterior bomba P-6.....	76
Tabla 22. Plan de mantenimiento nuevo bomba P-6	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Matriz de criticidad.....	30
Figura 2. Sistema de destilación molecular	33
Figura 3. Flujograma de la metodología	39
Figura 4. Metodología de análisis de criticidad.....	40
Figura 5. Jerarquía de equipos según norma ISO 14224	41
Figura 6. Categorías de riesgo	43
Figura 7. Definición de fronteras del sistema.....	49
Figura 8. Árbol del equipo.....	51
Figura 9. Funcionamiento bomba de lóbulos.....	53
Figura 10. Diagrama funcional de bloques	55
Figura 11. Diagrama de decisión RCM.....	70

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Ubicación de la compañía	21
Fotografía 2 . Bomba tipo lóbulos P-06	54

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Definición de funciones y hoja RCM 2 (Los anexos están adjuntos en el CD y puede visualizarlos en base de datos de la biblioteca UIS)

RESUMEN EN ESPAÑOL

TITULO:

PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD APLICADO AL EQUIPO MÁS CRÍTICO DE UNA PLANTA DE DESTILACIÓN MOLECULAR DE ACEITE DE PESCADO DE LA EMPRESA C.I. NATURMEGA S.A.*

AUTOR (ES):

ROBERTO ESPIER CASTILLA GUTIÉRREZ, DAVID BOLÍVAR DE ORO**

PALABRAS CLAVES:

DESTILACIÓN MOLECULAR, EVAPORADOR DE PASO CORTO, BOMBA TIPO LOBULO, RCM, MODOS DE FALLA, EFECTOS DE FALLA, ANALISIS DE CRITICIDAD.

CONTENIDO:

Esta monografía muestra el desarrollo de la metodología RCM aplicada al equipo más crítico de la planta de destilación molecular de aceite de pescado de la empresa C.I NATURMEGA S.A, y tiene como objetivo aumentar la confiabilidad y disponibilidad de la planta antes mencionada, debido a que esta representa un cuello de botella en el proceso de producción, por lo que cualquier parada que se presente incrementa los tiempos de espera, disminuye la productividad y aumenta los costos de producción.

Una vez desarrollada la metodología RCM, se obtiene un listado de tareas optimizado que se enfoca en prevenir las fallas, para así garantizar la disponibilidad y confiabilidad operacional de los equipos, este resultado debe ser ejecutado por el personal de mantenimiento y actualizado de acuerdo con las condiciones de los equipos, buscando siempre la mejora continua.

* Monografía de grado

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Omar Ricardo Herrera Ortega, Especialista en Gerencia de Mantenimiento.

RESUMEN EN INGLÉS

TITLE:

RELIABILITY BASED MAINTENANCE PLAN APPLIED TO THE MOST CRITICAL EQUIPMENT OF A FISH OIL MOLECULAR DISTILLATION PLANT OF THE COMPANY C.I NATURMEGA S.A.*

AUTHOR (S):

ROBERTO ESPIER CASTILLA GÚTIERREZ, DAVID BOLÍVAR DE ORO**

KEYWORD:

MOLECULAR DISTILLATION, SHORT PATH EVAPORATOR, LOBE PUMP, RCM, FAILURE MODES, FAILURE EFFECTS, CRITICITY ANALYSIS.

CONTENT:

This monograph shows the development of the RCM methodology applied to the most critical equipment of the fish oil molecular distillation plant of the C.I NATURMEGA S.A company, and its objective is to increase the reliability and availability of this plant, due to the fact that this represents a bottleneck in the production process, so any stoppage that occurs increases waiting times, decreases productivity and increases production costs.

Once the RCM methodology is developed, an optimized list of tasks is obtained that focuses on preventing failures, in order to guarantee the availability and operational reliability of the equipment, this result must be executed by the maintenance personnel and updated in accordance with the conditions of the equipment, always looking for continuous improvement.

* Grade Monograph

** Faculty of physical mechanical Engineering, Mechanical Engineering School. Maintenance Management Specialization. Director: Omar Ricardo Herrera Ortega, Maintenance Management Specialist.

INTRODUCCIÓN

Naturmega es una compañía ubicada en la ciudad de Barranquilla-Colombia, con un área construida de 2500 m², la empresa diseña, fabrica y comercializa productos naturales innovadores para el uso nutricional y farmacéutico, dentro de la región andina es pionera en la producción de ácidos grasos de alta concentración Omega-3 EPA y DHA. Su ubicación favorece al fácil acceso a numerosos puertos de envío marítimo, lo que genera una ventaja en el manejo de importaciones de materias primas y de exportaciones a los mercados internacionales.

Naturmega cuenta con un proceso de destilación molecular que concentra los ácidos grasos Omega-3 EPA y DHA utilizando temperaturas inferiores a 120°C para evitar cualquier deterioro en su estructura molecular original. Uno de los desafíos de la industria de producción de aceites a partir de fuentes naturales es mantener dentro del rango los parámetros de oxidación y contaminación para asegurar que los productos sean de alta calidad, para garantizar este proceso la planta fundamenta su operación en la destilación al vacío, lo que permite obtener puntos de ebullición más bajos de los productos que se desean destilar de la mezcla multicomponentes.

Para llevar a cabo este proceso de manera rentable y competitiva se necesita que la disponibilidad y confiabilidad de los equipos se garantice, evitando las paradas de planta, sin embargo, la planta de destilación molecular representa un cuello de botella dentro de la compañía, por lo que al presentarse una parada en esta planta se disminuye la productividad, lo que al final incurre en un aumento del costo del producto final.

Actualmente la planta cuenta con unos planes de mantenimiento basados en los manuales del fabricante y en la experiencia del área de mantenimiento, sin embargo, se han presentado paradas repetitivas en la planta de destilación molecular que la enmarcan como la planta con la disponibilidad más baja dentro de la compañía.

En esta monografía se plantea la metodología RCM para determinar cuál de los equipos y/o sistema de esta planta es el más crítico y se establecerán cuales son los modos de falla que impactan cada falla funcional dentro del sistema seleccionado, para finalizar con un listado de los tipos de mantenimientos y sus frecuencias de ejecución, lo que permitirá disminuir las paradas no programadas y las afectaciones en producción, seguridad y medio ambiente y, por consiguiente aumentar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos y de la planta de destilación molecular, incrementando de esta manera la productividad y rentabilidad de la compañía.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Naturmega es una empresa ubicada en la ciudad de Barranquilla – Colombia que diseña, produce y vende productos naturales para la industria farmacéutica y nutricional. Es la pionera en la región andina en la concentración de ácidos grasos omega 3, produciendo al año aproximadamente 1500 MT de etil éster.

El aceite de pescado que llega a la empresa en forma de triglicérido contiene un perfil de ácidos grasos bastante amplio. Entre los ácidos grasos contenidos en el aceite de pescado se encuentran el EPA (Ácido Eicosapentaenoico) y el DHA (Ácido Docosahexaenoico).

C.I. Naturmega S.A. tiene como objetivo concentrar principalmente los dos ácidos grasos mencionados anteriormente en su planta de Destilación Molecular. Esta planta basa su operación en la destilación a alto vacío; esto permite obtener puntos de ebullición más bajos de los productos que se deseen separar o destilar de una mezcla multicomponentes usando una temperatura más baja que los métodos comunes de destilación.

La planta de destilación molecular representa el cuello de botella en el proceso de producción, esto hace que de presentarse una parada se incrementen los tiempos de espera y se disminuya la productividad; esto al final supone un aumento en el costo final del producto terminado.

Para establecer los planes de mantenimiento actuales de los equipos de esta planta se utilizaron los manuales de los fabricantes sin tener en cuenta los equipos críticos de la misma. Se ha evidenciado que algunos de estos planes no han sido lo suficientemente efectivos debido a que se han presentado fallas que han afectado severamente la disponibilidad de la planta.

El presente proyecto busca dar solución a la problemática presentada diseñando el plan de mantenimiento para el equipo más crítico de esta planta mediante la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), esto permitirá garantizar la disponibilidad de la planta.

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Naturmega fue fundada en el año 2006 y a partir de allí, desarrolla productos exclusivos, innovadores y de alta demanda usando destilación molecular, la cual es la más avanzada tecnología para el procesamiento de ácidos grasos Omega-3, garantizando a sus clientes la máxima calidad y productividad en los productos ofrecidos debido a su compromiso con el estricto cumplimiento de los estándares internacionales.

Los ácidos grasos Omega-3 son “ácidos grasos esenciales”, es decir, no son producidos por el cuerpo humano lo que hace necesario el consumo en la dieta para las funciones vitales del organismo. Naturmega, con un portafolio especializado, hace posible el acceso al consumo de productos en prevención y tratamiento de enfermedades cardiovasculares en personas que lo necesiten, así como en otras donde también se ha demostrado los beneficios del Omega-3.

Naturmega es una empresa con la más avanzada tecnología que diseña, fabrica y comercializa productos naturales innovadores de uso farmacéutico y nutricional. Pionera en la región andina en la producción de ácidos grasos Omega-3 con altas concentraciones de EPA (ácido eicosapentaenoico) y DHA (ácido docosahexaenoico).

1.1.1 Misión. Diseño, fabricación y comercialización de productos naturales inocuos con aplicación en el sector farmacéutico y de suplementos dietarios que satisfagan las necesidades del mercado internacional, soportados en tecnología de punta, talento humano competente y cultura de trabajo seguro, garantizando una adecuada rentabilidad y sostenibilidad bajo el enfoque de responsabilidad social.

1.1.2 Visión. Para el año 2020 ser una de las mejores opciones en el mercado internacional como fabricante de productos naturales innovadores y diferenciados con aplicación en el sector farmacéutico y de suplementos dietarios.

1.1.3 Ubicación geográfica. Se encuentra ubicada en la dirección Vía 40 No. 80 - 131 en Barranquilla, Colombia, ciudad con una privilegiada ubicación geográfica y una infraestructura portuaria que ofrece ventajas competitivas en el manejo logístico de las importaciones de materias primas, facilitando el acceso a los mercados nacionales e internacionales. Cuenta con un área de 7.781 m² de los cuales 4.000 m² son de área construida.

Fotografía 1. Ubicación de la compañía



Fuente: Google Maps

1.1.4 Reseña histórica. Los siguientes son las fechas de los hitos más importantes de la historia de la compañía C.I. NATURMEGA S.A:

- 2007: Aprobación de la inversión para la construcción de NATURMEGA, la primera planta de omega 3 en Latinoamérica.
- 2008: NATURMEGA comienza a exportar a Norteamérica bajo la marca Essenti-Omega, la cual se consolida como un socio estratégico de distribución.
- 2009: NATURMEGA amplía su portafolio con el desarrollo de los productos TG (Triglicéridos)
- 2010: NATURMEGA comienza a exportar a Europa con el socio de distribución estratégico De Wit Specialty Oils

- 2012: Comienza la expansión y mejora de procesos, aumentando la capacidad de producción y ampliando el portafolio de productos, en todas las formas químicas EE, TG, FFA.
- 2016: Optimización continua de la planta con proceso de destilación multimolecular.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general. Diseñar un plan de mantenimiento basado en confiabilidad al equipo más crítico de una planta de destilación molecular de aceite de pescado de la empresa C.I. Naturmega S.A.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Identificar el equipo más crítico de la planta de destilación molecular de la empresa C.I. Naturmega S.A. mediante la metodología de análisis de criticidad
2. Definir taxonomía, fronteras y funciones de los componentes del equipo seleccionado
3. Realizar análisis de modos de fallas y efectos para el equipo seleccionado
4. Establecer las actividades de mantenimiento aplicando el modelo de diagrama de decisión de RCM para el equipo seleccionado

1.3 MARCO TEÓRICO

El mantenimiento ha existido desde los inicios de la historia, no se sabe a ciencia cierta desde que momento apareció en la vida del ser humano, lo que se estima es que apareció en los tiempos de la prehistoria por la necesidad del hombre de mantener sus utensilios y herramientas utilizados para la caza, en buen estado, a medida que ha pasado el tiempo y que ha ido evolucionando la industria, el mantenimiento también ha ido avanzando, hasta tal punto “de convertirse en una actividad imprescindible dentro de cualquier contexto operacional” como lo explica Beatriz Canales¹.

El objetivo general del mantenimiento dentro de la industria es contribuir de manera significativa al alcance de las metas fijadas dentro de las compañías, logrando que estas se vuelvan más productivas y al mismo tiempo más competitivas, esto se logra mediante uno de los objetivos específicos del mantenimiento que es mantener la capacidad de los equipos para cumplir con las funciones para las que fueron diseñados, con un costo óptimo.

¹ CANALES VELAZCO, Beatriz. La aplicación de herramientas de mantenimiento en la industria farmacéutica, Mantenimiento en Latinoamérica volumen 11, la revista para la gestión de activos, 2019. p 13.

Aterrizando esto al contexto operacional en donde se desenvuelve la empresa C.I. Naturmega S.A., se encuentra que las compañías de la industria farmacéutica deben cumplir con el rigor de las regulaciones exigidas por los entes encargados como lo expresa Canales y generalmente estas compañías basan sus sistemas de calidad y productividad en las buenas prácticas de manufactura (GMP), las cuales corresponden a prácticas reconocidas que buscan mitigar o eliminar la posibilidad de ocurrencia de errores o fallas en la fabricación, control, diseño, desarrollo y distribución del producto. Es en este punto donde una óptima estrategia de mantenimiento puede garantizar que los objetivos de la compañía en cuanto a productividad, calidad y competitividad se cumplan, satisfaciendo de esta manera la necesidad del cliente, esto a parte de conseguir que la empresa se sustente en el futuro y pueda incluso desarrollar nuevos proyectos de mejora o de creación de nuevos productos.

En la historia de la industria existen problemas muy comunes en el área de mantenimiento que llevan a que las empresas no sean competitivas, uno de ellos es que existe es la falta de mantenimiento proactivo, esto se debe a que la gestión se base principalmente en las acciones reactivas, en poner disponible el equipo luego que ocurre una falla y entregarlo a producción para que opere hasta que otra ocurra, en este tipo de empresas los principales gastos de recursos de mantenimiento ocurren gracias al correctivo y si a esto le sumamos el tiempo que queda indisponible la planta para seguir procesando, todo esto lleva a que la

empresa sea poco competitiva, cuando se tiene este tipo de gestión, la mayoría del tiempo es consumido en reestablecer las condiciones operativas de los equipos cuando estos fallan, pero no se realiza un análisis de causa raíz de los fallos, por lo que empiezan a aparecer las fallas repetitivas en los componentes.

Otro tipo de problema que se presenta en el área de mantenimiento en la industria es el error humano, es casi imposible eliminar este riesgo por completo y es el factor que causa mayor número de parada en los equipos, ya sea por una mala operación de estos o por una mala intervención de los equipos al momento de realizar el mantenimiento, una forma de disminuir este tipo de errores es la realización de procedimientos e instructivos y estandarizarlos dentro de la compañía, sin embargo esto no elimina el riesgo totalmente.

Sin embargo existen casos donde las empresas cuentan con estrategias de gestión reactivas, pero son poco eficientes, esto se debe a varios factores, uno de estos es que se tienen tareas dentro de los planes de mantenimiento preventivo que son innecesarias, es decir que si en algún momento se dejan de hacer estas actividades no ocurría nada diferente en la planta, esto se debe a que no se actualizan los planes de mantenimientos ya establecidos y a que algunas tareas no están enfocadas a mantener las funciones operativas de los equipos, otro problema común que se tiene es que no se tiene una correcta organización y trazabilidad en la ejecución de los planes de mantenimiento.

En la actualidad existen muchos tipos de estrategias de mantenimiento, que ayudarían a mejorar las malas prácticas mencionadas anteriormente, una de las más usadas dentro de la industria es el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), para poder entender más claramente el objetivo del RCM, es importante conocer que es la confiabilidad, según Smith² la confiabilidad es la probabilidad que un activo realice su función satisfactoriamente durante un periodo de tiempo específico y bajo unas condiciones operacionales.

Según Moubray³ cuando nos disponemos a mantener un activo, lo que deseamos es que este continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga, sin embargo, estos requerimientos van a depender de donde y como se utilice el activo, a esto lo denominó contexto operacional. Con base en lo anterior Moubray llega a la definición de mantenimiento centrado en confiabilidad, la cual define como “Un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual”.

² SMITH Anthony and HINCHCLIFFE Glenn R. RCM—Gateway to World Class Maintenance. Butterworth-Heinemann, 2004.p.40.

³ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II. Edición en Español. Asheville: Alandon LLC, 2004. p.7.

1.4 MARCO CONCEPTUAL

1.4.1 Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM). El mantenimiento centrado en confiabilidad es un método para desarrollar y seleccionar la estrategia de mantenimiento basado en la seguridad, operación y los costos, teniendo en cuenta el contexto operacional donde se desenvuelven los activos. Esta metodología ayuda a determinar el enfoque más eficaz para el mantenimiento considerando tanto la confiabilidad como el costo óptimo.

Para llevar a cabo un RCM se deben cumplir cuatro requerimientos, lo primero que se debe hacer es identificar y preservar las funciones del sistema o equipo, luego de esto se deben identificar los modos de falla que pueden hacer que no se cumplan las funciones establecidas, luego se priorizan las necesidades de la función y por último se seleccionan las tareas de mantenimiento proactivo aplicables y efectivas para los modos de falla. Todo este análisis se debe realizar bajo el contexto operacional de cada sistema, ya que cada uno opera en bajo condiciones únicas, las cuales pueden ser temperatura, presión, ubicación, velocidad, aceleración, humedad, tipos de materiales a procesar (líquidos, sólidos, gases), entre otros.

Según Moubray⁴ el RCM se plantea las siguientes preguntas con el fin de desarrollar su metodología, ¿Cuáles son las funciones del activo en su contexto

⁴ Ibid., p.7.

operacional actual?, ¿Cómo puede el activo no cumplir con cada función?, ¿Qué causaría cada falla funcional?, ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?, ¿De qué manera impacta cada falla?, ¿Qué se puede hacer para predecir o prevenir cada falla?, ¿Que debe hacerse si no se puede realizar una tarea proactiva adecuada para prevenirla?.

De acuerdo con esto, las primeras cuatro preguntas sirven para aplicar el análisis de modos y efectos de falla (FMEA), la quinta pregunta nos ayuda a determinar cómo debemos actuar cuando una falla ocurre, en el caso que tenga poca o ninguna consecuencia con respecto a la producción, costos, seguridad y ambiente, se podría correr a falla y si tiene una influencia significativa en los aspectos anteriores debemos desarrollar algún tipo de tarea para prevenirlo. Las últimas 2 preguntas ayudan a determinar cuáles son las tareas que debo realizar para prevenir las fallas potenciales.

El RCM tiene cinco objetivos fundamentales que son:

- Preservar las funciones de los equipos bajo su contexto operacional
- Construir defensas costo-efectivas razonables contra las fallas y aceptar la ocurrencia de otras (correr a falla) cuando su impacto sea baja o nulo
- Priorizar técnicas predictivas y de condición
- Evitar, reducir o eliminar las consecuencias
- Extender el ciclo de vida del equipo

1.4.2 Análisis de criticidad. Los activos de una empresa conforman un proceso productivo, ellos son los elementos que generan la producción de una compañía. La alta gerencia requiere conocer cuáles son los riesgos a los cuales su proceso está sometido para poder plantear soluciones que requieren de una planeación, ejecución, verificación y un aseguramiento para eliminar, sustituir o disminuir el riesgo de materializar la pérdida.

La gestión de riesgos en una organización implica tres aspectos fundamentales: identificación, análisis y evaluación de riesgos. En cuanto a la primera es necesario investigar fuentes de riesgos, áreas de impacto, eventos, causas y consecuencias potenciales. El análisis implica el desarrollo y comprensión del riesgo; esto brindará una entrada para la evaluación del riesgo y para las decisiones sobre si es necesario o no tratar los riesgos definiendo estrategias de control y/o mitigación. El propósito de la última fase es facilitar la toma de decisiones, basados en los resultados de dicho análisis.

Es una metodología que tiene como objetivo jerarquizar los sistemas, equipos o componentes de una compañía, de acuerdo con su impacto, con el fin de crear una estructura que facilite la toma de decisiones. Para realizarlo se deben definir unos criterios de evaluación, los cuales serán analizados de acuerdo con los siguientes aspectos: confiabilidad humana, confiabilidad de procesos, mantenibilidad de los equipos y confiabilidad de los equipos.

Figura 1. Matriz de criticidad



Fuente: ROMERO CARRANZA, José Luis Pablo. Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmotadora de algodón. Trabajo de grado Ingeniero industrial.

Sevilla.: ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA. 2013. 91 p

1.4.3 Falla funcional. Una falla funcional se define como “un estado en el cual un activo físico o sistema no es capaz de ejercer una función específica a un nivel de desempeño deseado”⁵, las fallas funcionales pueden ser totales o parciales. Cuando se van a definir las fallas funcionales debemos tener en cuenta que el RCM habla de prevenir la pérdida de la función, no del equipo, por lo tanto, la descripción de la falla funcional no debe contener el nombre del equipo, componente o pieza.

⁵ NORMA SAE JA1012, 2022. p.6.

1.4.4 Modo de falla. Se define como el evento que causa una falla funcional, cada modo de falla puede tener una o más causas⁶.

1.4.5 Efectos de falla. Los efectos de falla describen de qué forma impacta cada evento en la organización, se debe registrar lo que se evidencia que ha producido la falla por el modo de falla, la manera en que el modo de falla representa una amenaza para la seguridad y medio ambiente, la manera en que el modo de falla afecta la producción, los daños físicos que pueden ser causados por el modo de falla.

1.4.6 Ácidos grasos omega 3. Los ácidos grasos omega-3 son un tipo de grasa poliinsaturada que el cuerpo obtiene de los alimentos como el pescado, la linaza y en otros suplementos dietéticos como el aceite de pescado. El omega-3 es conocido como un ácido graso esencial debido a que el organismo lo requiere para su normal funcionamiento y no se pueden sintetizar endógenamente, por lo que se hace necesario obtenerlo de los alimentos.

Los ácidos grasos omega-3 tienen beneficios para el corazón y tienen efectos positivos para la salud como: disminución de los niveles de colesterol y triglicéridos, reducción de la presión sanguínea y tienen acciones antiinflamatorias y anticoagulante.

⁶ *Ibíd.*, p.6.

Los tres principales ácidos grasos omega-3 son: el ácido eicosapentaenoico (EPA), el ácido docosahexaenoico (DHA) y el alfa-linolénico (ALA). El EPA y DHA son considerados como los más importantes para nuestra dieta y son de difícil síntesis endógena.

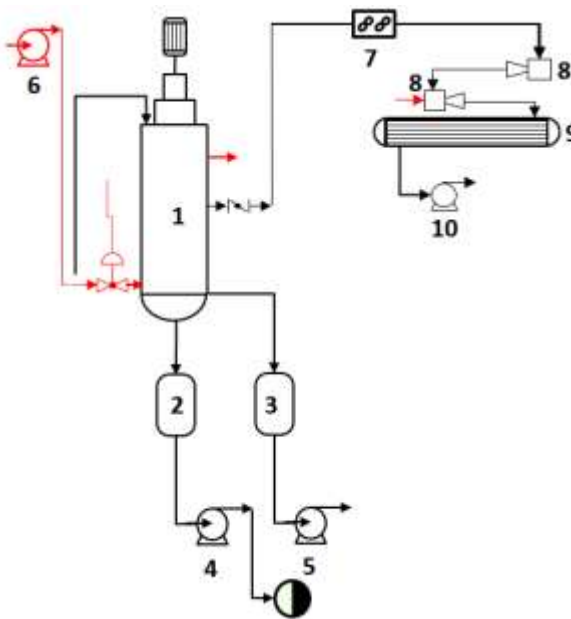
1.4.7 Destilación molecular. El proceso de destilación molecular consiste en la separación de los ácidos grasos de una mezcla multicomponentes. El Omega 3 tiene muchos ácidos grasos entre los cuales en la planta se busca separar el EPA y el DHA. Se tiene entonces un equipo llamado evaporador de paso corto, en este ocurre el proceso de separación, el cual se da debido a la volatilidad de los distintos ácidos grasos, los de menor peso molecular se van separando más fácilmente.

El evaporador de paso corto consiste en un cuerpo cilíndrico, el cual consta de unas paredes de calefacción, que son calentadas con aceite para transferencia de calor, se tiene un motorreductor que hace que las canastillas giren, distribuyendo el aceite que se desea calentar por las paredes, gracias al giro se crea una película fina y agitada del producto, el cual fluye hacia abajo por gravedad en una trayectoria de espiral, los aceites más volátiles se evaporan y suben pasando por un ducto con poca caída de presión hasta llegar a un condensador interno donde es condensado, mientras que la porción no volátil llega al fondo y es descargada a través de una bomba de desplazamiento positivo tipo lóbulo y seguir el proceso.

En la figura 2, se presenta el diagrama clásico de un sistema de destilación molecular, en este se pueden distinguir los siguientes equipos:

1. Evaporador de paso corto
2. Tanque colector de residuo
3. Tanque colector de destilado
4. Bomba de desplazamiento positivo tipo lóbulos (residuo)
5. Bomba de desplazamiento positivo tipo lóbulos (destilado)
6. Bomba centrífuga de aceite térmico
7. Bomba de desplazamiento positivo de vacío tipo lóbulos
8. Eyector de vapor
9. Intercambiador de calor de tubo y coraza (condensador)
10. Bomba de vacío de anillo líquido

Figura 2. Sistema de destilación molecular



Fuente: Autoría propia

1.4.8 Bomba tipo lóbulos. Es un tipo de bomba de desplazamiento positivo, volumétrica. La cual consta de unas cámaras de trabajo que desplazan el líquido, por medio de dos rotores que giran en sentido contrario, cada rotor consta de dos, tres o más lóbulos que coinciden uno con otro y se ajustan bien en la recámara, el fluido se mueve alrededor de la cavidad que se forma entre los lóbulos contiguos. El lóbulo superior es accionado por el eje conductor y el lóbulo inferior este situado en el eje conducido, se accionan a través de un juego de engranajes helicoidales, ambos lóbulos giran sincronizadamente sin tener contacto entre ellos.

Al momento del giro de los lóbulos, el espacio del lado de aspiración aumenta porque un lóbulo se aleja del otro, lo que genera un vacío que succiona el líquido a la cámara, gracias al giro de los rotores, cada lóbulo se llena consecutivamente y el líquido se desplaza hacia el lado de impulsión.

1.5 JUSTIFICACIÓN

El cuerpo humano necesita nutrientes, uno de estos nutrientes son los ácidos grasos Omega-3: EPA y DHA. La mayoría de la población no recibe suficiente EPA y DHA, estos ácidos grasos son esenciales, es decir, el organismo no los puede producir, de manera que se deben obtener por medio de la alimentación. Se puede obtener del pescado y la linaza, y en suplementos dietéticos como el aceite de pescado.

Naturmega en el último año no cumplió el total de su programa de producción y esto fue debido en gran parte a no cumplir con la disponibilidad de la planta de destilación molecular. Se evidenció que las constantes paradas de emergencias en esta planta impactan en gran manera en la productividad del proceso total y así mismo en la generación de productos no confirmes. Esto al final se convierte en disminución de las ventas de la compañía y por ende afecta su competitividad.

Al realizarse los análisis y las revisiones se determinó que en la empresa no existe una matriz de criticidad de equipos y por lo tanto una estrategia de mantenimiento efectiva para los equipos más críticos.

En la tabla 1, se presenta la disponibilidad de las plantas en el año 2019:

Tabla 1. Disponibilidad de plantas en el año 2019

Planta	Meta	Disponibilidad
Refinación	97,0%	97,8%
Transesterificación	97,0%	97,5%
Destilación molecular	93,0%	91,5%
Blanqueo	95,0%	100,0%
Winterización	97,0%	99,1%
Conversión a triglicérido	97,0%	99,8%

Fuente. Autoría propia

Como se puede observar la planta de destilación molecular no cumplió con la meta de disponibilidad en el año 2019 y fue la menor en comparación con las demás. Teniendo en cuenta que además es el cuello de botella, ha afectado en gran manera el cumplimiento del programa de producción de la empresa. Es por esta razón que resulta necesario identificar el equipo más crítico para establecer su plan de mantenimiento y aumentar la disponibilidad de la planta.

2. METODOLOGÍA

La metodología planteada para el desarrollo del proyecto está basada en 7 pasos fundamentales los cuales se describen a continuación:

1. Selección de sistemas y recolección de información:

Este paso consiste en identificar cuáles son los sistemas, componentes y partes que van a ser analizados, para llevar a cabo esta selección se tienen en cuenta varios aspectos como los costos, la seguridad, el medio ambiente y afectación a la producción. Este análisis se hace por medio de una matriz de criticidad, de la que resulta cual es el equipo más crítico del sistema analizado.

Para la recolección de la información se tienen en cuenta los esquemas, planos y diagramas de los equipos, los históricos de los equipos, los manuales del fabricante y la experiencia.

2. Definición de fronteras del sistema:

En este paso se deben definir cuáles son las fronteras del sistema, equipo o componente que se va a analizar, para de esta forma identificar cuáles son las salidas y entradas del sistema, incluyendo todas las funciones que hacen parte de la frontera de este sistema.

3. Descripción del sistema y diagrama de bloques:

Este paso se subdivide en 5 tareas:

3.1 Descripción funcional del sistema, componente o equipo y los arreglos de redundancia y protecciones, entre otras.

3.2 Diagrama de bloques representando los niveles superiores por los equipos principales

3.3 Definición de entradas y salidas del sistema

3.4 Descomposición de sistema, por medio de un listado de equipos para cada subsistema funcional en un diagrama de bloques

3.5 Historial de fallas de los últimos años

4. Funciones y fallas funcionales del sistema

Para definir las funciones del sistema, equipo o componente es importante conocer las salidas del sistema, para cada salida se deben definir funciones y para cada función se deben definir las fallas funcionales.

5. Análisis de modos y efectos de falla

En este paso se debe identificar como los componentes pueden fallar para producir cada una de las fallas funcionales encontradas en el paso anterior y la causa raíz por la ocurren estas fallas.

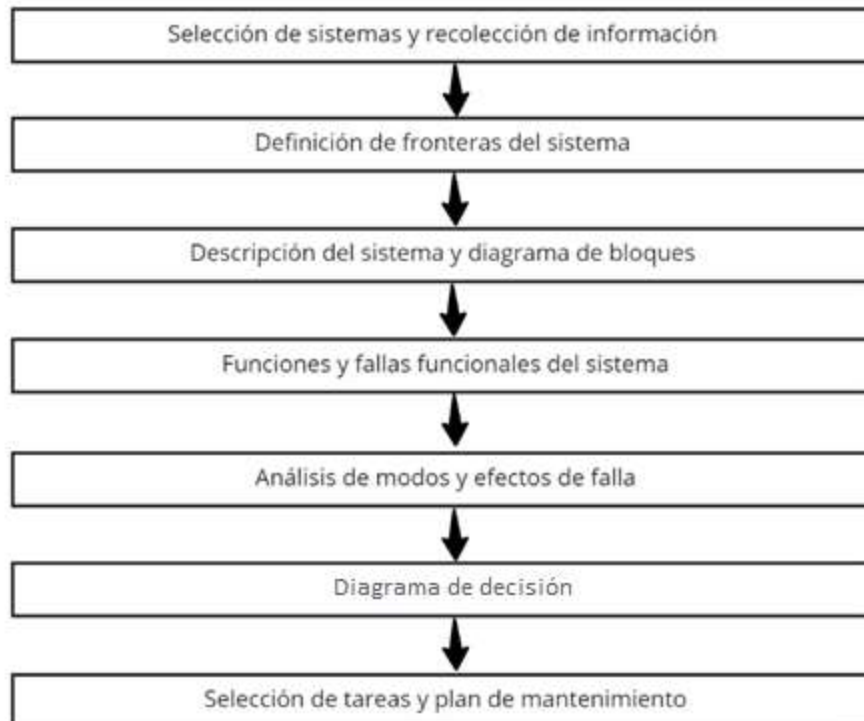
6. Diagrama de decisión

El propósito de este paso es priorizar las funciones, fallas funcionales y modos de falla de acuerdo con 3 aspectos principales: seguridad, economía e interrupciones en el sistema, evaluándolos si son ocultos o evidentes.

7. Selección de tareas

Las tareas seleccionadas deben cumplir con dos características fundamentales, deben ser aplicables es decir la tarea debe prevenir o mitigar la falla y deben ser efectivas es decir que sean costo-efectivas.

Figura 3. Flujoograma de la metodología



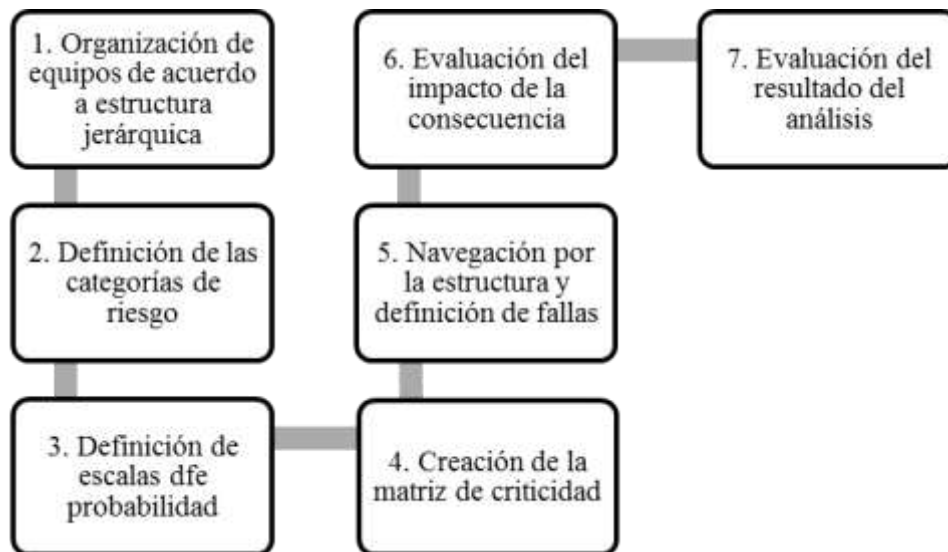
Fuente. Autoría propia

2.1 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Para llevar a cabo el estudio de criticidad de los equipos de la planta de destilación molecular C.I. Naturmega S.A. se hizo uso del modelo de los factores ponderados basado en los conceptos de riesgos. Se hace elección de este modelo debido a que se involucran diversos criterios que son importantes para tener en cuenta en este tipo de análisis; estos brindan una alta calidad, la cual es necesaria en industrias del tipo farmacéutico y/o alimenticio.

Se ejecuta la metodología mostrada en la figura 4 para alcanzar el objetivo:

Figura 4. Metodología de análisis de criticidad



Fuente: Autoría propia

2.1.1 Organización de la información. Para la ejecución del primer paso de la metodología es necesario apoyarse de la norma ISO 14224. Esta norma además presenta los lineamientos para la especificación, recolección y aseguramiento de la calidad de los datos que permitan cuantificar la confiabilidad de equipos y compararlas con la de otros de características similares.

Uno de los campos que abarca esta norma es la definición de límites y jerarquización de los equipos. Eso lo hace dividiendo la máquina de mayor a menor grado de detalle como se observa en la figura 5.

Figura 5. Jerarquía de equipos según norma ISO 14224



Fuente: Autoría propia

Esta división es primordial y de la mayor importancia debido a que permite definir como se tratará a los equipos, respecto a la posterior interpretación de los resultados. De acuerdo con lo anterior se procede a crear la plantilla de la tabla 2 para el ingreso de la información siguiendo las recomendaciones de la norma.

Tabla 2. Plantilla para análisis de criticidad

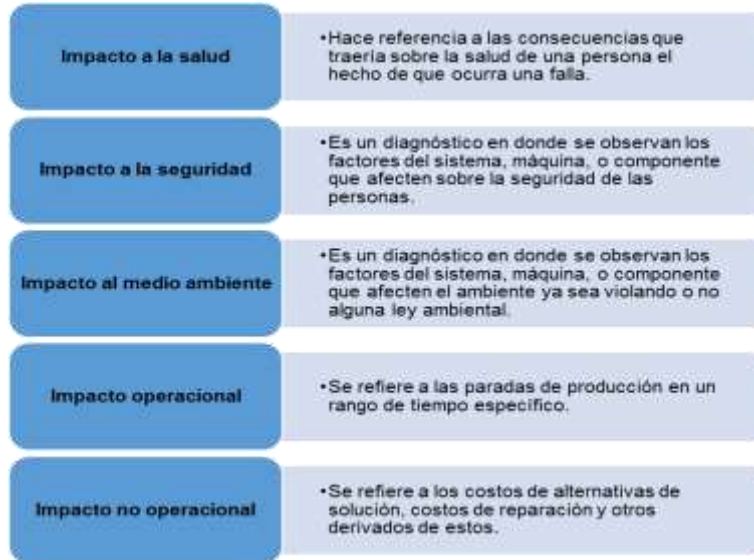
No.	PLANTA	SISTEMA	EQUIPO	Salud (H)	Seguridad (S)	Ambiente (E)	Costos (O)	Producción (P)	SEVERIDAD	Probabilidad Ocurrencia	Nivel de Criticidad

Fuente: Autoría propia

2.1.2 Definición de las categorías de riesgo. En este paso se evalúa la dimensión del riesgo y el impacto de la evaluación del riesgo. Esto se realiza con soporte en la norma NTC ISO 31000: Gestión del riesgo, principios y directrices.

Las categorías de consecuencias son las mostradas en la figura 6:

Figura 6. Categorías de riesgo



Autoría propia

Se aplican todas estas categorías al contexto operacional de los equipos de la empresa y se obtiene la tabla 3.

Tabla 3. Categorías de riesgo aplicadas a la empresa

Impacto	1 (Bajo)	2 (Menor)	3 (Medio)	4 (Alto)	5 (Muy alto)
Salud	Sin efecto	Atención médica primaria	Incapacidad temporal	Incapacidad parcial permanente	Incapacidad total permanente
Seguridad	Primeros auxilios	Lesión con atención médica no incapacitante	Lesión moderada y/o incapacitante temporal	Lesión con incapacidad permanente	Lesión con fatalidad
Ambiente	Impacto insignificante y reversible requiriendo menor o ninguna remediación. Menor de 1M	Impacto menor reversible requiriendo remediación menor. Entre 1M y 9M	Impacto moderado reversible con efectos a corto plazo requiriendo remediación moderada. Entre 9M y 90M	Impacto serio con efectos medios requiriendo remediación significativa. Entre 90M y 300M	Impacto desastroso con efectos a largo plazo que requieren remediación mayor. Mayor de 300M
Costos	< 0,5 M	Entre 0,5 y 2 M	Entre 2 M y 5 M	Entre 5 M y 10 M	> 10 M
Producción	Parada 100 % de producción < 1 h	Parada 100 % de producción entre 1 y 2 h	Parada 100 % de producción entre 2 y 4 h	Parada 100 % de producción entre 4 y 6 h	Parada 100 % de producción > 6 h

Fuente: Autoría propia

2.1.3 Definición de escala de probabilidad. Para la empresa se construye la escala de probabilidad a partir de la sugerida en la plasmada en la norma ISO 31000 y se realiza la tabla 4.

Tabla 4. Escala de probabilidad

Nivel	Narrativa	Probabilidad en un año
6	Casi probable	> 95%
5	Muy probable	80% a 95%
4	Probable	50% a 80%
3	Posible	20% a 50%
2	Improbable	6% a 20%
1	Raro	< 5%

Fuente: Autoría propia

2.1.4 Creación de la matriz de criticidad. La matriz de criticidad observada en la tabla 6, se conforma con el número de niveles de probabilidad en el eje y, los niveles de impacto en el eje x y la criticidad que es la multiplicación de la probabilidad por la consecuencia. Para definir cuáles son críticos y cuáles no, se toma como referencia la tabla 5.

Tabla 5. Metodología de tratamiento

$18 \leq x \leq 30$	Críticos
$10 \leq x < 18$	Medianamente críticos
$1 \leq x < 10$	No críticos

Fuente: Autoría propia

Tabla 6. Formato matriz de criticidad

		PROBABILIDAD					
		Raro	Improbable	Posible	Probable	Muy probable	Casi probable
CONSECUENCIAS	Bajo						
	Menor						
	Medio						
	Alto						
	Muy alto						

Fuente: Autoría propia

2.1.5 Navegación por la estructura y evaluación. Una vez se diligencia la información de la tabla 2, se procede a llenar la evaluación para las categorías de riesgo y probabilidad. Con esto la tabla calcula el valor de criticidad de cada equipo.

2.1.6 Resultados. El resultado es el equipo más crítico de la planta el cual es la bomba de desplazamiento positivo tipo lóbulos de código P-6. Esta información es vital para continuar con la siguiente parte de este trabajo que es la creación de su plan de mantenimiento bajo la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad que será tratada en el capítulo siguiente. Se presenta diligenciada la plantilla de análisis de criticidad en la tabla 7 y así mismo la matriz de criticidad de equipos de la planta de destilación molecular es presentada en la tabla 8.

Tabla 7. Análisis de criticidad de equipos de la planta de destilación molecular de C.I. Naturmega S.A.

No.	PLANTA	SISTEMA	EQUIPO	Salud (H)	Seguridad (S)	Ambiente (E)	Costos (O)	Producción (P)	SEVERIDAD	Probabilidad	Nivel de Criticidad
1	Destilación molecular	Alimentación	Tanque de homogenización TDM-01	1	1	1	2	1	2	1	2
2	Destilación molecular	Alimentación	Bomba de recirculación P-17	1	1	1	1	1	1	4	4
3	Destilación molecular	Alimentación	Bomba de alimentación P-01	1	1	1	4	3	4	2	8
4	Destilación molecular	Destilación molecular	Evaporador de paso corto H-2	1	1	1	3	5	5	3	15
5	Destilación molecular	Bombeo de destilado evaporador H-6	Bomba de lóbulos P-05	1	1	1	5	3	5	4	20
6	Destilación molecular	Bombeo de residuo evaporador H-6	Bomba de lóbulos P-06	1	1	1	5	3	5	5	25
7	Destilación molecular	Suministro de aceite térmico para H-6	Bomba de aceite térmico P-07	2	3	1	3	3	3	3	9
8	Destilación molecular	Suministro de agua para H-2 y H-6	Bomba de agua suavizada P-15	1	1	1	4	4	4	3	12
9	Destilación molecular	Suministro de agua para H-2 y H-6	Intercambiador de calor de placas H-12	1	1	1	2	2	2	2	4
10	Destilación molecular	Destilación molecular	Evaporador de paso corto H-6	1	1	1	3	5	5	2	10
11	Destilación molecular	Bombeo de destilado evaporador H-2	Bomba de lóbulos P-02	1	1	1	5	3	5	2	10
12	Destilación molecular	Bombeo de residuo evaporador H-2	Bomba de lóbulos P-03	1	1	1	5	3	5	3	15
13	Destilación molecular	Suministro de aceite térmico para H-2	Bomba de aceite térmico P-09	2	3	1	4	5	5	1	5
14	Destilación molecular	Sistema de vacío	Bomba de vacío de anillo líquido P-14	1	1	1	3	5	5	4	20
15	Destilación molecular	Sistema de vacío	Bomba de recuperación de agua P-18	1	1	1	1	1	1	2	2
16	Destilación molecular	Sistema de vacío	Eyector de vapor P-10	1	1	1	1	5	5	2	10
17	Destilación molecular	Sistema de vacío	Intercambiador de tubo y coraza H-11	1	1	1	1	4	4	2	8
18	Destilación molecular	Sistema de vacío	Eyector de vapor P-11	1	1	1	1	5	5	2	10
19	Destilación molecular	Sistema de vacío	Eyector de vapor P-12	1	1	1	4	5	5	1	5
20	Destilación molecular	Sistema de vacío	Bomba de difusión - booster P-13	1	1	1	2	5	5	1	5
21	Destilación molecular	Pre calentamiento de aceite de pescado	Intercambiador de calor de placas H-01aux	2	1	1	2	3	3	2	6
22	Destilación molecular	Enfriamiento de residuo de aceite de pescado	Intercambiador de calor de placas H-10	2	1	1	2	3	3	3	9
23	Destilación molecular	Pre calentamiento de aceite de pescado	Intercambiador de calor de placas H-01	2	1	1	2	3	3	2	6

Fuente: Autoría propia

Tabla 8. Matriz de criticidad de equipos de la planta de destilación molecular de C.I. Naturmega S.A.

		PROBABILIDAD					
		Raro	Improbable	Posible	Probable	Muy probable	Casi probable
CONSECUENCIAS	Bajo	0	1	0	1	0	0
	Menor	1	1	0	0	0	0
	Medio	0	2	2	0	0	0
	Alto	0	2	1	0	0	0
	Muy alto	3	4	2	2	1	0

Críticos	Medianamente críticos	No críticos
3	7	13

Fuente: Autoría propia

2.2 DEFINICIÓN DE FRONTERAS DEL SISTEMA

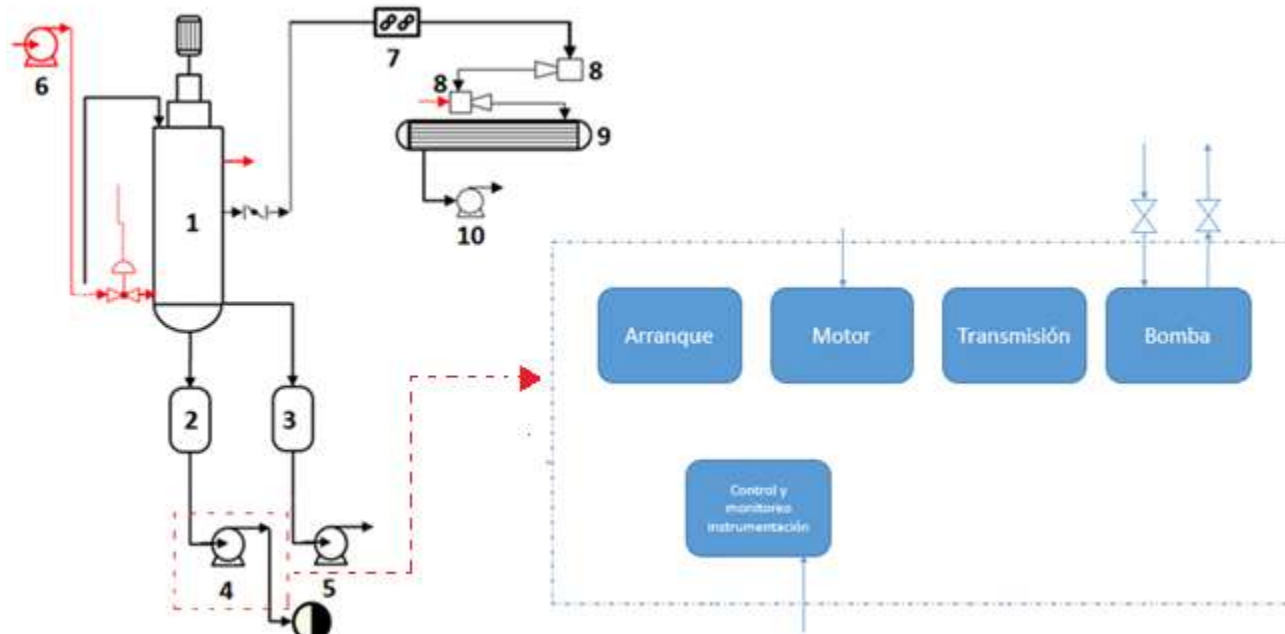
Dentro del proceso de análisis del RCM es importante la definición de fronteras, este paso nos ayuda a identificar cuales componentes hacen parte de nuestro sistema y cuales hacen parte de los sistemas adyacentes. Por otra parte, nos ayuda a identificar cuáles son las entradas y salidas de nuestro sistema y de esta forma poder definir todas las funciones específicas del sistema de estudio.

Después de realizado el análisis de criticidad se encontró que el equipo más crítico es la bomba de desplazamiento positivo tipo lóbulos de residuos P-06, la cual será el objetivo de estudio, esta bomba succiona del tanque colector de residuo que se encuentra aguas abajo del evaporador de paso corto H-6 y descarga hacia los tanques de almacenamiento de aceite de residuos.

Para la definición de las fronteras se seleccionó como límites de inicio la entrada de aceite hacia la succión de la bomba desde el tanque colector de residuos y como fin la descarga de residuos desde la bomba hasta el siguiente sistema, esto puede ser visto en la figura 8.

Así mismo se creó la taxonomía del equipo en cuestión la cual está en la tabla 9 y el árbol del equipo que igualmente puede ser observado en la figura 9.

Figura 7. Definición de fronteras del sistema



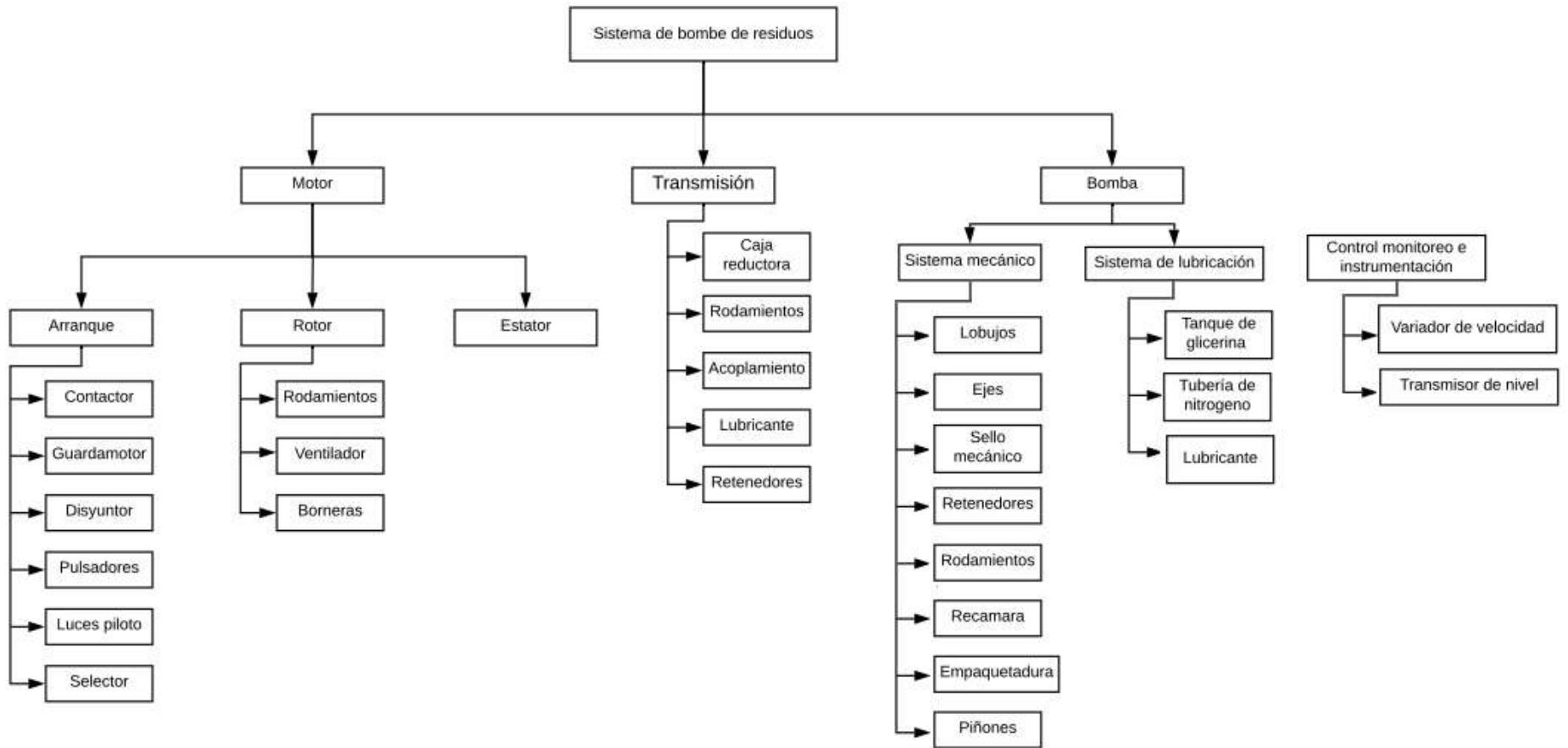
Fuente: Autoría propia

Tabla 9. Taxonomía del equipo

Industria	Farmacéutica						
Categoría de negocio	Concentración de ácidos grasos omega 3						
Instalación	Destilación molecular						
Planta	Evaporador H-6						
Sistema	Sistema de bombeo de residuo						
Equipo	Bomba P-6						
Subsistema	Arranque	Motor	Transmisión	Bomba	Unidad de lubricación	Control y monitoreo instrumentación	
Ítem mantenible	1	Contactador	Estator	Caja reductora	Lóbulos	Tanque de glicerina	Variador de velocidad
	2	Guardamotor	Rotor	Rodamientos	Ejes	Tuberías nitrógeno	Transmisor de nivel
	3	Disyuntor	Ventilador	Acoplamiento	Sello mecánico		
	4	Pulsadores	Bornera	Lubricante	Retenedores		
	5	Luces piloto	Rodamientos	Retenedores	Rodamientos		
	6	Selector		Piñones	Recámara		
	7				Empaquetadura		
	8				Piñones		
	9				Lubricación		

Fuente: Autoría propia

Figura 8. Árbol del equipo



Fuente: Autoría propia

2.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA Y DIAGRAMAS DE BLOQUES

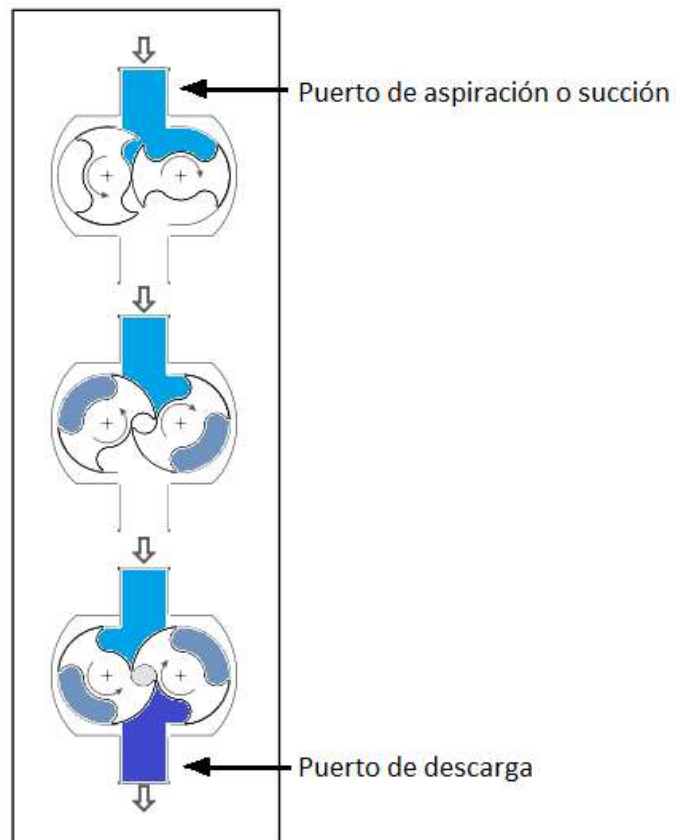
2.3.1 Descripción funcional del sistema, componente o equipo y los arreglos de redundancia y protecciones.

2.3.1.1 Descripción funcional y parámetros principales. El equipo principal es una bomba de desplazamiento positivo tipo lóbulos, la cual consta de unas recamaras de trabajo que por medio de dos rotores que giran en direcciones opuestas y permiten el desplazamiento del fluido, cada uno de esos rotores consta de dos lóbulos que coinciden uno con el otro, el fluido ingresa a la bomba desde el puerto de entrada y se mueve alrededor de la cavidad que se forma entre los lóbulos contiguos, cada rotor está montado en un eje, el lóbulo superior se encuentra accionado por el eje conductor y el lóbulo inferior está situado en el eje conducido, los cuales se accionan mediante un juego de engranajes helicoidales, lo que permite que ambos giren sincronizadamente sin tener contacto entre ellos o contacto con la recamara, este tipo de bombas desplaza un volumen fijo.

Cuando los lóbulos comienzan a realizar el giro, el espacio de aspiración aumenta debido a que un lóbulo se separa del otro, lo que genera un vacío y es de esta forma que se succiona el fluido a la recamara, gracias al giro continuo y sincronizado de los rotores, cada lóbulo se llena consecutivamente y el líquido se

desplaza hacia el lado de descarga, por lo que se garantiza que el flujo volumétrico es constante.

Figura 9. Funcionamiento bomba de lóbulos



Fuente: Autoría propia

Dentro del sistema de estudio la bomba de desplazamiento positivo tipo lóbulos P-6, fotografía 2, se encarga de succionar aceite de pescado del tanque de residuos y descárgalo hacia los tanques de almacenamiento de residuo.

Fotografía 2 . Bomba tipo lóbulos P-06



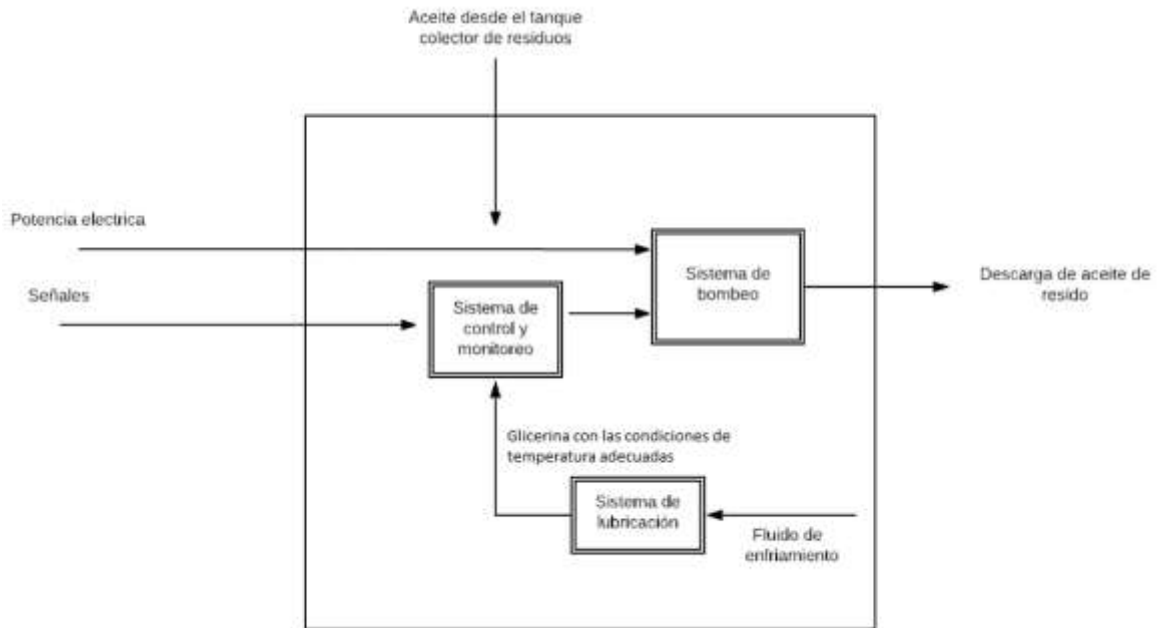
2.3.1.2 Características de redundancia. La bomba no cuenta con características de redundancia.

2.3.1.3 Características de protecciones. La bomba cuenta los siguientes elementos de protección y control

- Guardamotor, es un interruptor magnetotérmico, que se usa para proteger el motor eléctrico, ante cualquier sobrecarga o cortocircuito.
- Disyuntor, se encarga de interrumpir o abrir el circuito eléctrico
- Contactor, es un aparato eléctrico de mando a distancia que se usa para cerrar o abrir el circuito eléctrico de arranque del motor

2.3.2 Diagrama funcional de bloques

Figura 10. Diagrama funcional de bloques



Fuente: Autoría propia

2.3.3 Definición de entradas y salidas

Entradas:

1. Aceite de residuo
2. Energía eléctrica motor (460 V, 1,6 A, 1400 rpm, Potencia: 0,75 HP)
3. Señal de salida de transmisor de nivel capacitivo

Salidas:

1. Descarga de aceite de residuo a la presión y caudal requerido.

2.3.4 Descomposición de sistema, por medio de un listado de equipos para cada subsistema funcional en un diagrama de bloques

Tabla 10. Descomposición del sistema

Ítem	Subsistema	Descripción del componente
1	Arranque	Contactador
2		Guardamotor
3		Disyuntor
4		Pulsadores
5		Luces Piloto
6		Selector
7	Motor	Estator
8		Rotor
9		Ventilador
10		Bornera
11		Rodamientos
12	Transmisión	Caja reductora
13		Rodamientos
14		Acople
15		Lubricante
16		Retenedores
17		Piñones
18	Bomba	Recamara
19		Lóbulos
20		Ejes
21		Sello mecánico
22		Retenedores
23		Empaquetadura
24		Piñones
25	Unidad de lubricación	Intercambiador de calor
26		Tanque de glicerina
27		Tuberías de nitrógeno
28	Control monitoreo e instrumentación	Variador de velocidad
29		Transmisor de nivel

Fuente: Autoría propia

2.3.5 Historial de fallos. A continuación, se presenta el histórico de fallos de la bomba P-6 en los años 2019 y 2020 (Tabla 11).

Tabla 11. Historial de fallos 2019 y 2020 bomba P-6

Fecha	Descripción	Acción inmediata	Tiempo de reparación
2019-06-12	Se presenta rotura de acople	Cambio de acople	1 hora
2019-10-02	Se presenta fuga de glicerina	Cambio de sello mecánico	4 horas
2020-01-19	Falla en variador de velocidad, queda en dos fases	Cambio de variador	1 hora
2020-05-29	Flujo deficiente del equipo, rotores desgastados	Cambio de rotores	1,5 horas
2020-06-14	Se presenta fuga de aceite de pescado	Cambio de oring de la tapa de la recámara	20 minutos

Fuente: Autoría propia

2.4 DEFINICIÓN DE FUNCIONES Y FALLAS FUNCIONALES

La definición de funciones se hace con el fin de satisfacer el primer principio del RCM, que es preservar las funciones del sistema, para la definición de funciones del sistema, equipo o componente se debe conocer las salidas del sistema ya que son la fuente principal de información para poder identificar las funciones.

Se elaboró una tabla de definición de funciones (tabla 12), donde se estableció el elemento de estudio, sus características técnicas, condiciones operacionales,

condiciones ambientales, fronteras del sistema, las interfaces de entradas y salidas y por último la definición de las funciones.

Luego del análisis se determinaron las siguientes funciones:

1. Bombear aceite de pescado a un flujo entre 1 y 3 m³/h y una presión entre 3 y 5 bar
2. Contener herméticamente el aceite de pescado dentro del equipo
3. Contener herméticamente el aceite de lubricación dentro del equipo

Tabla 12. Definición de funciones

ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	CONDICIONES OPERACIONALES	CONDICIONES AMBIENTALES	FRONTERAS (PLANO-DIAGRAMA)		INTERFASES (Entradas/Salidas)		Cód Fun.	FUNCIONES		
BOMBA DE RESIDUO DE EVAPORADOR H-6 P-6	Bomba de desplazamiento positivo Tipo: lobulos Flujo maximo: 3 m3/h Cabeza: 5 Bar Motoreductor Voltaje: 460 V Amperaje: Potencia electrica: RPM: Entrada RPM: Salida	*Ciclo de trabajo: 24 horas 7 días a la semana *Fluido de operación: Aceite de pescado *Temperatura: 150 °C *Flujo: Entre 1 y 3 m3, depende del volumen del tanque colector previo *Fluido de lubricación del sello mecánico: Glicerina * Presión de la glicerina: 0,5 Bar * Flujo glicerina: entre 2 y 3 lt/min *Temperatura de la glicerina: Máx 70° C	*Temperatura recinto: 34° C *Humedad relativa: 85% *Locación: No se encuentra a la intemperie	Incluye	Bomba	Entradas	Energía eléctrica	F1	Bombear aceite de pescado a un flujo entre 1 y 3 m3/h y una presión máxima de 5 bar		
					Sistema de lubricación		Aceite de pescado	F2	Contener herméticamente el aceite de pescado dentro del equipo		
					Motor eléctrico		Señal de encendido	F3	Contener herméticamente el aceite de lubricación dentro del equipo		
					Reductor	Salidas	Aceite de pescado a presión y caudal requeridos	-	-		
					Acople	-	-	-	-		
					Circuito de fuerza	-	-	-	-		
				No incluye	Circuito de control	-	-	-	-	-	-
				Tuberías	-	-	-	-			
				Válvulas	-	-	-	-			
Tanque colector	-	-	-	-							

Fuente: Autoría propia

Una vez definidas las funciones se procede a determinar las posibles fallas funcionales para cada una de estas funciones.

Tabla 13. Fallas funcionales

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional
F1	Bombear aceite de pescado a un flujo entre 1 y 3 m ³ /h y una presión entre 3 y 5 bar	FF-1	No bombea
F1	Bombear aceite de pescado a un flujo entre 1 y 3 m ³ /h y una presión entre 3 y 5 bar	FF-2	Bombea a menos de 1m ³ /h y 3 bar
F2	Contener herméticamente el aceite de pescado dentro del equipo	FF-3	No contiene herméticamente el aceite de pescado
F3	Contener herméticamente el aceite de lubricación dentro del equipo	FF-4	No contiene herméticamente el aceite de lubricación

Fuente: Autoría propia

2.5 ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS

2.5.1 Modos de falla. Una vez definidas las fallas funcionales del equipo se procede a establecer los modos de fallas para cada una de estas fallas funcionales las cuales pueden ser observadas en las tablas 14, 15, 16 y 17.

Tabla 14. Modos de falla para FF-1

Código Falla Funcional	Descripción Falla Funcional	Código Modo de Falla	Modo de Falla
FF-1	No bombea	MF-1	Motor eléctrico quemado por bajo aislamiento en el devanado
FF-1	No bombea	MF-2	Bornera del motor eléctrico sulfatada
FF-1	No bombea	MF-3	Motor eléctrico frenado por rodamientos deteriorados
FF-1	No bombea	MF-4	Falso contacto por bornes del circuito de control y fuerza desajustados
FF-1	No bombea	MF-5	Motor eléctrico quemado por recalentamiento debido a ventilador desajustado
FF-1	No bombea	MF-6	Acople destruido por desalineamiento del conjunto motor bomba
FF-1	No bombea	MF-7	Rodamientos de la bomba destruidos por incorrecta instalación
FF-1	No bombea	MF-8	Rodamientos de la bomba destruidos por sobrepaso de vida útil

FF-1	No bombea	MF-9	Pérdida de geometría de los dientes de los piñones del sistema de transmisión de la bomba por contacto metal metal
FF-1	No bombea	MF-10	Pérdida de geometría de los dientes de los piñones del sistema de transmisión de la bomba por contacto metal metal debido a incorrecta sincronización de los piñones
FF-1	No bombea	MF-11	Falsa lectura del transmisor de nivel por desajuste de spam y cero
FF-1	No bombea	MF-12	Falsa lectura del transmisor de nivel por suciedad de la varilla
FF-1	No bombea	MF-13	Variador recalentado por pasta térmica en mal estado
FF-1	No bombea	MF-14	Variador quemado por contaminación debido a presencia de polvo y humedad

Fuente: Autoría propia

Tabla 15. Modos de falla para FF-2

Código Falla Funcional	Descripción Falla Funcional	Código Modo de Falla	Modo de Falla
FF-2	Bombee a menos de 1m ³ /h y 5 bar	MF-15	Rotores desgastados por presencia de sólidos en recámara de la bomba
FF-2	Bombee a menos de 1m ³ /h y 5 bar	MF-16	Recámara desgastada por presencia de sólidos en recámara de la bomba
FF-2	Bombee a menos de 1m ³ /h y 5 bar	MF-17	Tapa final desgastada por presencia de sólidos en recámara de la bomba

Fuente: Autoría propia

Tabla 16. Modos de falla para FF-3

Código Falla Funcional	Descripción Falla Funcional	Código Modo de Falla	Modo de Falla
FF-3	No contiene herméticamente el aceite de pescado	MF-18	Sello mecánico fisurado debido a presencia de sólidos que rayan las caras del sello
FF-3	No contiene herméticamente el aceite de pescado	MF-19	Sello mecánico fisurado debido a incorrecta instalación del mismo
FF-3	No contiene herméticamente el aceite de pescado	MF-20	Empaquetadura desgastada por sobrepasar vida útil
FF-3	No contiene herméticamente el aceite de pescado	MF-21	Empaquetadura desgastada por incorrecta instalación
FF-3	No contiene herméticamente el aceite de pescado	MF-22	Baja presión de la glicerina
FF-3	No contiene herméticamente el aceite de pescado	MF-23	Ejes desgastados

Fuente: Autoría propia

Tabla 17. Modos de falla para FF-4

Código Falla Funcional	Descripción Falla Funcional	Código Modo de Falla	Modo de Falla
FF-4	No contiene herméticamente el aceite de lubricación	MF-24	Retenedores desgastados por sobrepaso de vida útil
FF-4	No contiene herméticamente el aceite de lubricación	MF-24	Retenedores desgastados por sobrepaso de vida útil
FF-4	No contiene herméticamente el aceite de lubricación	MF-25	Retenedores desgastados por incorrecta instalación

Fuente: Autoría propio

2.5.2 Efectos de falla. Una vez definidos los diferentes modos de fallas se procede a establecer los efectos de estas fallas sobre la producción, medio ambiente y seguridad, costos de mantenimiento y si generan daños físicos.

Tabla 18. Efectos de los modos de falla

Código modo de falla	Evidencia de la falla funcional	Efectos sobre MA y Seg.	Efectos Prod. Y otros	Daños físicos	Correctivo
MF-1	El motor eléctrico no rota y se sube el nivel en el tanque colector	-	Se deben parar el evaporador H-6 y la bomba P-6, así mismo suspender la alimentación de este evaporador y colocar a recircular la planta	-	Rebobinado de motor
MF-2	El motor eléctrico no rota y se sube el nivel en el tanque colector	-	Se deben parar el evaporador H-6 y la bomba P-6, así mismo suspender la alimentación de este evaporador y colocar a recircular la planta	-	Limpieza de bornes y/o cambio
MF-3	El motor eléctrico no rota y se sube el nivel en el tanque colector	-	Se deben parar el evaporador H-6 y la bomba P-6, así mismo suspender la alimentación de este evaporador y colocar a recircular la planta	-	Revisión de motor para determinar tarea
MF-4	El motor eléctrico no rota y se sube el nivel en el tanque colector	-	Se deben parar el evaporador H-6 y la bomba P-6, así mismo suspender la alimentación de este evaporador y colocar a recircular la planta	-	Ajuste de bornes
MF-5	El motor eléctrico no rota y se sube el nivel en el tanque colector	-	Se deben parar el evaporador H-6 y la bomba P-6, así mismo suspender la alimentación de este evaporador y colocar a recircular la planta	-	Revisión de motor para determinar tarea
MF-6	Se sube nivel en tanque colector	-	Se deben parar el evaporador H-6 y la bomba P-6, así mismo suspender la alimentación de este evaporador y colocar a recircular la planta	-	Cambio de acople
MF-7	Se frena la bomba y se sube el nivel en el tanque colector	-	Se deben parar el evaporador H-6 y la bomba P-6, así mismo suspender la alimentación de este evaporador y colocar a recircular la planta	-	Cambio de rodamientos de la bomba
MF-8	Se frena la bomba y se sube el nivel en el tanque colector	-	Se deben parar el evaporador H-6 y la bomba P-6, así mismo suspender la alimentación de este evaporador y colocar a recircular la planta	-	Cambio de rodamientos de la bomba

MF-9	Se sube nivel en tanque colector	-	Se deben parar el evaporador H-6 y la bomba P-6, así mismo suspender la alimentación de este evaporador y colocar a recircular la planta	-	Cambio de piñones de la bomba
MF-10	Se sube nivel en tanque colector	-	Se deben parar el evaporador H-6 y la bomba P-6, así mismo suspender la alimentación de este evaporador y colocar a recircular la planta	-	Cambio de piñones de la bomba
MF-11	Se sube nivel en tanque colector	-	Se deben parar el evaporador H-6 y la bomba P-6, así mismo suspender la alimentación de este evaporador y colocar a recircular la planta		Ajuste de transmisor de nivel
MF-12	Se sube nivel en tanque colector	-	Se deben parar el evaporador H-6 y la bomba P-6, así mismo suspender la alimentación de este evaporador y colocar a recircular la planta		Limpieza del transmisor de nivel
MF-13	Se sube nivel en tanque colector	-	Se deben parar el evaporador H-6 y la bomba P-6, así mismo suspender la alimentación de este evaporador y colocar a recircular la planta		Cambio de variador de velocidad
MF-14	Se sube nivel en tanque colector	-	Se deben parar el evaporador H-6 y la bomba P-6, así mismo suspender la alimentación de este evaporador y colocar a recircular la planta		Cambio de variador de velocidad
MF-15	Se sube nivel en tanque colector	-	Se deben parar el evaporador H-6 y la bomba P-6, así mismo suspender la alimentación de este evaporador y colocar a recircular la planta	-	Cambio de rotores de la bomba
MF-16	Se sube nivel en tanque colector	-	Se deben parar el evaporador H-6 y la bomba P-6, así mismo suspender la alimentación de este evaporador y colocar a recircular la planta	-	Cambio de recámara de la bomba
MF-17	Se sube nivel en tanque colector	-	Se deben parar el evaporador H-6 y la bomba P-6, así mismo suspender la alimentación de este evaporador y colocar a recircular la planta	-	Cambio de la tapa final de la bomba
MF-18	Derrame de aceite de pescado	Puede presentarse conato de incendio y caída de personal	Se deben parar el evaporador H-6 y la bomba P-6, así mismo suspender la alimentación de este evaporador y colocar a recircular la planta	-	Cambio del sello mecánico
MF-19	Derrame de aceite de pescado	Puede presentarse conato de incendio y caída de personal	Se deben parar el evaporador H-6 y la bomba P-6, así mismo suspender la alimentación de este evaporador y colocar a recircular la planta	-	Cambio del sello mecánico
MF-20	Derrame de aceite de pescado	Puede presentarse conato de incendio y caída de personal	Se deben parar el evaporador H-6 y la bomba P-6, así mismo suspender la alimentación de este evaporador y colocar a recircular la planta	-	Cambio de empaquetadura

MF-21	Derrame de aceite de pescado	Puede presentarse conato de incendio y caída de personal	Se deben parar el evaporador H-6 y la bomba P-6, así mismo suspender la alimentación de este evaporador y colocar a recircular la planta	-	Cambio de empaquetadura
MF-22	El aceite de pescado se combina con la glicerina	-	Se deben parar el evaporador H-6 y la bomba P-6, así mismo suspender la alimentación de este evaporador y colocar a recircular la planta	-	Revisión línea de glicerina
MF-23	El aceite de pescado se combina con la glicerina y derrame de aceite	Puede presentarse conato de incendio y caída de personal	Se deben parar el evaporador H-6 y la bomba P-6, así mismo suspender la alimentación de este evaporador y colocar a recircular la planta	-	Cambio de ejes de la bomba
MF-24	Derrame de aceite de lubricación	Puede presentarse conato de incendio y caída de personal	Se deben parar el evaporador H-6 y la bomba P-6, así mismo suspender la alimentación de este evaporador y colocar a recircular la planta	-	Cambio de retenedores de la bomba
MF-25	Derrame de aceite de lubricación	Puede presentarse conato de incendio y caída de personal	Se deben parar el evaporador H-6 y la bomba P-6, así mismo suspender la alimentación de este evaporador y colocar a recircular la planta	-	Cambio de retenedores de la bomba

Fuente: Autoría propia

2.6 DIAGRAMA DE DECISIÓN

El propósito de este diagrama es priorizar el énfasis y los recursos que deben dedicarse a cada modo de falla, durante el desarrollo del análisis de RCM se realiza una hoja de decisión (tabla 19) donde se responden una serie de preguntas del diagrama de decisión de RCM presentado en la figura 12, que direccionan el análisis para saber qué tipo de actividad se debe establecer para cada modo de falla, en función de estas respuestas se pueden establecer lo siguiente:

- Qué actividad de mantenimiento de rutina (si lo hay) será realizada, con qué frecuencia y qué área será la responsable
- Casos en los que se determine correr a falla
- Si las fallas son suficientemente graves para que sea necesario un rediseño

Tabla 19. Hoja de decisión de RCM

				Fecha de creación:		HOJA DE DECISIÓN DE RCM										
				Codigo:		Equipo:										
Versión				Elaborado por:												
Referencia			Evaluación de las consecuencias				Tareas proactivas			Tareas "a falta de"			Tipo de tarea	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	Cod. Tarea
F	FF	MF	H	S	E	O	H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4	H5	S4				

Fuente: Autoría propia

Para el diligenciamiento de la hoja de decisión se tienen las 3 primeras columnas de referencia para identificar la función, la falla funcional y el modo de falla que se va a evaluar, luego se realizan las preguntas según el diagrama de decisión (figura 11).

Cada uno de estos modos de falla se ingresa a la hoja de decisión, donde inicialmente se plantea una primera pregunta: (H) ¿Será evidente a los operarios la pérdida de función causada por este modo de falla actuando por sí solo en circunstancias normales?, el objetivo de esta pregunta es establecer cuales modos de fallas pueden ser ocultos para el operador.

En la segunda pregunta se plantea lo siguiente: (S) ¿Produce este modo de falla una pérdida de función u otros daños que pudieran lesionar o matar a alguien?, esta pregunta se hace con el fin de establecer si este modo de falla específico puede generar problemas en la seguridad del personal.

La tercera pregunta que se debe responder es: (E) ¿Produce este modo de falla una pérdida de función u otros daños que pudieran infringir cualquier normativa o reglamento del medio ambiente?, con el fin de identificar si el modo de falla afecta directamente al medio ambiente, causando contaminación o una afectación diferente a este.

Y la última pregunta planteada es: (O) ¿Ejerce el modo de falla un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional (producción, calidad, servicio o costes operativos además de los de la reparación), el objetivo de responder esta pregunta es determinar si el modo de falla produce una afectación en la producción causando una parada productiva, afectación en la calidad del producto o disminución de la productividad?

Figura 11. Diagrama de decisión RCM

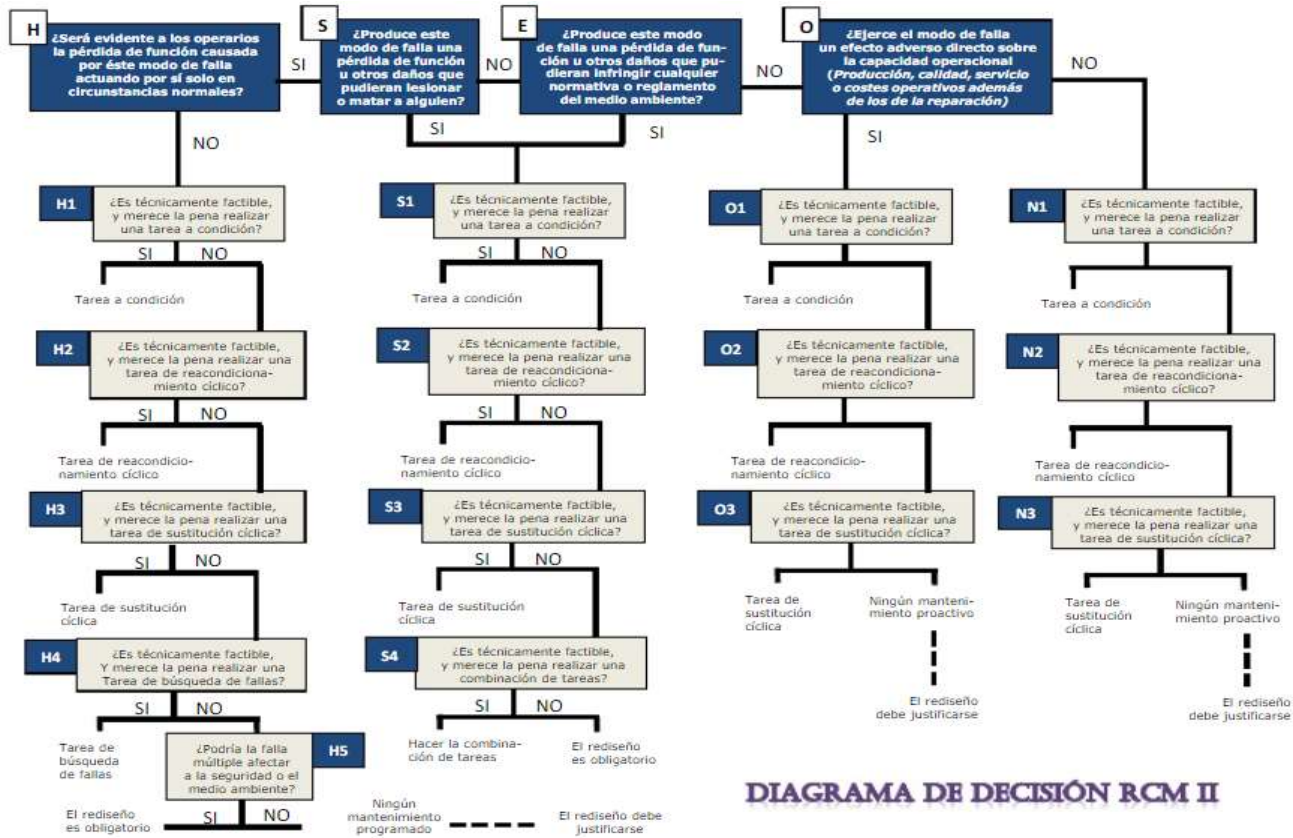


DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM II

Fuente: MOUBRAY, John. RCM II: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Traducido por Ellman, Sueiro y Asociados. 2 ed. Gran Bretaña.

Aladon Ltd, 1997. 443 p. ISBN 09539603-2-3.


Las columnas 8,9 y 10 registran si se ha seleccionado una tarea proactiva, así:

- La columna titulada H1/S1/O1/N1 se utiliza para registrar si se pudo encontrar una tarea a condición, para predecir el modo de falla a tiempo y evitar los efectos de esta.
- La columna titulada H2/S2/O2/N2 se utiliza para registrar si se pudo encontrar una tarea para reacondicionar el equipo de manera programada y que sea apropiada para prevenir ese modo de falla.
- La columna H3/S3/O3/N3 se utiliza para registrar si se encontró una tarea de cambio partes cíclica, para prevenir ese modo de falla.
- Las columnas H4, H5 y S4 se utilizan para registrar las respuestas a las preguntas “a falta de”, dichas preguntas solo se responden si las respuestas a las tres preguntas anteriores de las columnas 8 a la 10 fueron “NO”.


Si durante el diligenciamiento de la hoja de decisión se seleccionó una tarea proactiva o de búsqueda de falla deberá diligenciarse la descripción de la tarea en la columna “tarea propuesta”.


En la tabla 20 a continuación, se presentan las hojas de decisión diligenciada para todos los modos de falla seleccionados:

Tabla 20. Hoja de decisión diligenciada para la bomba tipo l6bulo P-06

			Fecha de creaci3n:		HOJA DE DECISI3N DE RCM											
			Codigo:		Equipo:			Elaborado por:								
Referencia			Evaluaci3n de las consecuencias				Tareas proactivas			Tareas "a falta de"			TIPO DE TAREA	DESCRIPCI3N TAREA	FRECUEN CIA (mes)	Cod. Tarea
F	FF	MF	H	S	E	O	H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4	H5	S4				
F1	FF-1	MF-1	S	N	N	S	S						Tarea a condici3n	Medici3n de aislamiento de bobinas del motor el6ctrico	8	T-1
F1	FF-1	MF-2	S	N	N	S	N	S					Tarea de reacondicionamiento c3dico	Limpieza y ajuste de borneras del motor	4	T-2
F1	FF-1	MF-3	S	N	N	S	S						Tarea a condici3n	Análisis de termografía al motor	3	T-3
F1	FF-1	MF-3	S	N	N	S	S						Tarea a condici3n	Análisis de vibraciones al conjunto motor-bomba	1	T-4
F1	FF-1	MF-3	S	N	N	S	S						Tarea a condici3n	Inspecci3n de ruidos anormales en motor	1	T-5
F1	FF-1	MF-3	S	N	N	S	N	N	S				Tarea de sustituci3n c3dica	Cambio de rodamientos del motor	12	T-6
F1	FF-1	MF-4	S	N	N	S	N	S					Tarea de reacondicionamiento c3dico	Limpieza y ajuste de terminales de componentes de circuito de fuerza y control del motor	4	T-7
F1	FF-1	MF-4	S	N	N	S	S						Tarea a condici3n	Análisis de termografía a bornes del circuito de control y fuerza	3	T-8
F1	FF-1	MF-5	S	N	N	S	S						Tarea a condici3n	Medir tensi3n de alimentaci3n	1	T-9
F1	FF-1	MF-5	S	N	N	S	S						Tarea a condici3n	Medir consumo el6ctrico del motor	1	T-10
F1	FF-1	MF-5	S	N	N	S	S						Tarea a condici3n	Análisis de termografía al motor	3	T-3
F1	FF-1	MF-5	S	N	N	S	S						Tarea a condici3n	Revisi3n del estado del ventilador y su ajuste al eje del motor	4	T-11

Referencia			Evaluación de las consecuencias				Tareas proactivas			Tareas "a falta de"			TIPO DE TAREA	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUEN CIA (mes)	Cod. Tarea
F	FF	MF	H	S	E	O	H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4	H5	S4				
F1	FF-1	MF-6	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Medir consumo eléctrico del motor	1	T-10
F1	FF-1	MF-6	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Análisis de vibraciones	1	T-4
F1	FF-1	MF-6	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Revisión del estado del acople	4	T-12
F1	FF-1	MF-7	S	N	N	S							NA	Realizar instructivo para cambio de rodamientos del equipo	NA	NA
F1	FF-1	MF-8	S	N	N	S	N	N	S				Tarea de sustitución cíclica	Cambio de rodamientos de la bomba	12	T-13
F1	FF-1	MF-9	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Verificar nivel de aceite lubricante en la bomba	1	T-14
F1	FF-1	MF-9	S	N	N	S	N	N	S				Tarea de sustitución cíclica	Cambio de aceite lubricante de la bomba	12	T-15
F1	FF-1	MF-9	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Verificar estado de piñones de la bomba	12	T-16
F1	FF-1	MF-10	S	N	N	S							NA	Realizar instructivo para montaje y sincronización de piñones	NA	NA
F1	FF-1	MF-11	S	N	N	S							NA	Realizar instructivo para ajuste de transmisor de nivel	NA	NA
F1	FF-1	MF-12	S	N	N	S	N	S					Tarea de reacondicionamiento cíclico	Realizar limpieza al transmisor de nivel	6	T-17
F1	FF-1	MF-13	S	N	N	S	N	N	S				Tarea de sustitución cíclica	Realizar cambio de pasta térmica de tarjeta del variador	12	T-18


			Fecha de creación:		HOJA DE DECISIÓN DE RCM												
			Codigo:		Equipo:												
			Versión		Elaborado por:												
Referencia			Evaluación de las consecuencias				Tareas proactivas			Tareas "a falta de"			TIPO DE TAREA	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	Cod. Tarea	
F	FF	MF	H	S	E	O	H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4	H5	S4					
F1	FF-1	MF-14	S	N	N	S	N	S						Tarea de reacondicionamiento cíclico	Realizar limpieza interna y externa al variador de velocidad	12	T-19
F1	FF-2	MF-15	S	N	N	S	N	S						Tarea de reacondicionamiento cíclico	Realizar limpieza a los rotores de la bomba	12	T-20
F1	FF-2	MF-15	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Medir holgura entre los rotores, debe ser de 0,200 mm	12	T-21
F1	FF-2	MF-16	S	N	N	S	N	S						Tarea de reacondicionamiento cíclico	Realizar limpieza a la recámara de la bomba	12	T-22
F1	FF-2	MF-16	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Medir holgura entre recámara y rotores, debe ser de 0,210 mm	12	T-23
F1	FF-2	MF-17	S	N	N	S	N	S						Tarea de reacondicionamiento cíclico	Realizar limpieza a la tapa final de la bomba	12	T-24
F1	FF-2	MF-17	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Medir holgura entre rotores y tapa final, debe ser de 0,130 mm	12	T-25
F2	FF-3	MF-18	S	S			S							Tarea a condición	Verificar presencia de fugas de glicerina	1	T-26
F2	FF-3	MF-18	S	S			S							Tarea a condición	Verificar presencia de fugas de aceite de pescado	1	T-27
F2	FF-3	MF-18	S	S			N	N	S					Tarea de sustitución cíclica	Cambio de sello mecánico	12	T-28

			Fecha de creación:				HOJA DE DECISIÓN DE RCM									
			Codigo:				Equipo:									
			Versión				Elaborado por:									
Referencia			Evaluación de las consecuencias				Tareas proactivas			Tareas "a falta de"			TIPO DE TAREA	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	Cod. Tarea
F	FF	MF	H	S	E	O	H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4	H5	S4				
F2	FF-3	MF-19	S	S									NA	Realizar instructivo para cambio de sello mecánico	NA	NA
F2	FF-3	MF-20	S	S			S						Tarea a condición	Verificar presencia de fugas de aceite de pescado	1	T-27
F2	FF-3	MF-20	S	S			N	N	S				Tarea de sustitución cíclica	Cambio de empaquetadura de la bomba: o-rings de: tapa final, rotores, tornillos de ajuste de lóbulos, recámara del sello mecánico	12	T-29
F2	FF-3	MF-21	S	S			S						Tarea a condición	Verificar presencia de fugas de aceite de pescado	1	T-27
F2	FF-3	MF-21	S	S									NA	Realizar instructivo para cambio de empaquetadura	NA	NA
F2	FF-3	MF-22	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Revisión del estado de la glicerina, su color debe ser transparente	1	T-30
F2	FF-3	MF-23	S	S			S						Tarea a condición	Revisión de estado de ejes	12	T-31
F3	FF-4	MF-24	S	S			S						Tarea a condición	Verificar presencia de fugas de aceite lubricante	1	T-32
F3	FF-4	MF-24	S	S			N	N	S				Tarea de sustitución cíclica	Cambio de retenedores	12	T-33
F3	FF-4	MF-25	S	S			N	N	S				Tarea de sustitución cíclica	Cambio de retenedores	12	T-33

Fuente: Autoría propia.


Luego del diligenciamiento de la hoja de decisión de RCM se obtuvieron las actividades para la generación del nuevo plan de mantenimiento de la bomba P-6, a continuación se muestra el plan anterior del equipo en la tabla 21 y el nuevo plan luego de la ejecución de la metodología RCM en la tabla 22.

Tabla 21. Plan de mantenimiento anterior bomba P-6

		PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO					
Código:	Fecha emisión:	Elaboró:			Página 1 de		
Versión:	Fecha modificación:	Aprobó:					
EQUIPO:	BOMBA DE DESPLAZAMIENTO PREVENTIVO TIPO LOBULOS						
Código	Actividad	Equipo encendido		Frecuencia			
		SI	NO	4M	6M	1A	
A-1	Realizar mantenimiento al sistema eléctrico		X	X			
A-2	Verificar estado de los lóbulos y demás		X	X			
A-3	Limpiar variador y motor externamente		X	X			
A-4	Cambiar aceite al reductor		X		X		
A-5	Verificar estado de piñonería		X	X			
A-6	Cambiar rodamientos al motor		X			X	
A-7	Verificar estado del sello mecánico	X		X			
A-8	Realizar prueba de aislamiento de bobina		X		X		
		1	7	5	2	1	

Autoría: Propia

Tabla 22. Plan de mantenimiento nuevo bomba P-6

		PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO									
Código:		Fecha emisión:	Elaboró:			Página 1 de 1					
Versión:		Fecha modificación:	Aprobó:								
EQUIPO:		BOMBA DE DESPLAZAMIENTO PREVENTIVO TIPO LOBULOS									
Subsistema	Código	Actividad	Equipo encendido		Frecuencia						
			SI	NO	M	3M	4M	6M	8M	1A	
MOTOR	T-1	Medición de aislamiento de bobinas del motor eléctrico		X						x	
	T-2	Limpieza y ajuste de borneras del motor		X				x			
	T-3	Análisis de termografía al motor	X			x					
	T-4	Análisis de vibraciones al conjunto motor-bomba	X		x						
	T-5	Inspección de ruidos anormales en el motor	X		x						
	T-6	Cambio de rodamientos del motor		X							x
	T-9	Medir tensión de alimentación	X		x						
	T-10	Medir consumo eléctrico del motor	X		x						
	T-11	Revisión del estado del ventilador y su ajuste al eje del motor		X					x		
	T-7	Limpieza y ajuste de terminales de componentes de circuito de fuerza y control del motor		X					x		
	ARRANQUE	T-8	Análisis de termografía de bornes del circuito de control y fuerza	X			x				
T-12		Revisión del estado del acople		X					x		
TRANSMISIÓN	T-13	Cambio de rodamientos de la bomba		X							x
	T-14	Verificar nivel de aceite lubricante de la bomba	X		x						
	T-15	Cambio de aceite lubricante de la bomba		X							x
	T-16	Verificar estado de piñones de la bomba		X							x
	T-20	Realizar limpieza a los rotores de la bomba		X							x
	T-21	Medir holgura entre los rotores (Debe ser 0,20mm)		X							x
	T-22	Realizar limpieza a la recámara de la bomba		X							x
	T-23	Medir holgura entre recámara y rotores (Debe ser 0,210 mm)		X							x
	T-24	Realizar limpieza a la tapa final de la bomba		X							x
	T-25	Medir holgura entre rotores y tapa final (Debe ser 0,130mm)		X							x
	T-27	Verificar presencia de fuags de aceite de pescado	X		x						
BOMBA	T-28	Cambio de sello mecánico		X							x
	T-29	Cambio de empaquetadura de la bomba: O-rings de tapa final, rotores, tornillos de ajuste de lóbulos, recamara de sello mecánico		X							x
	T-31	Revisión de estado de ejes de la bomba		X							x
	T-33	Cambio de retenedores		X							x
	T-17	Realizar limpieza al transmisor de nivel		X					x		
	T-18	Realizar cambio de pasta térmica de tarjeta del variador		X							x
CONTROL MONITOREO E INSTRUMENTACIÓN	T-19	Realizar limpieza interna y externa del variador de velocidad		X							x
	T-26	Verificar la presencia de fugas de glicerina	X		x						
	T-30	Revisión de estado de la glicerina (Su color debe ser transparente)	X		x						
	T-32	Verificar presencia de fugas de aceite lubricante	X		x						
UNIDAD DE LUBRICACIÓN			11	22	9	2	4	1	1	16	

Autoría: Propia

3. CONCLUSIONES

Se determinó que la bomba de desplazamiento positivo tipo lóbulos P-6 es la más crítica de los 23 equipos de la planta de destilación molecular de la empresa C.I. Naturmega S.A., esto gracias a la aplicación del análisis de criticidad de equipos.

Se definió el contexto operacional del sistema en cuestión, así mismo se describieron sus fronteras, es decir entradas y salidas, su taxonomía y un árbol del equipo, esto permitió realizar un análisis más completo en AMFE y RCM.

Gracias al análisis de modos de fallas y efectos se establecieron para la bomba P-6 un total de 3 funciones, 4 fallas funcionales y 25 modos de falla, esto permitió establecer sus efectos y consecuencias apuntando a la creación del PM.

Se estableció un nuevo plan de mantenimiento para el sistema analizado gracias a la aplicación de la hoja de decisión de RCM, este pasó de tener 8 tareas a tener 33 con frecuencias desde mensuales hasta anuales; en estas se incluyen tareas de inspección, reacondicionamiento y sustitución cíclica. La correcta aplicación de este plan debe garantizar la disponibilidad de este sistema y así mismo de la planta.

BIBLIOGRAFÍA

CANALES VELAZCO, Beatriz. La aplicación de herramientas de mantenimiento en la industria farmacéutica, Mantenimiento en Latinoamérica volumen 11, la revista para la gestión de activos, 2019. p 13.

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II. Edición en español. Asheville: Alandon LLC, 2004. p.7.

NORMA SAE JA1012, 2022. p.6.

ORTIZ, Daniel. Memorias Clase de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM. ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO. UIS. Bucaramanga 2010

ROMERO CARRANZA, José Luis Pablo. Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmotadora de algodón. Trabajo de grado Ingeniero industrial. Sevilla.: ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA. 2013. p.91.

SMITH Anthony and HINCHCLIFFE Glenn R. RCM—Gateway to World Class Maintenance. Butterworth-Heinemann, 2004.p.40.

ANEXOS

Anexo A. Definición de funciones y hoja RCM 2 (Los anexos están adjuntos en el CD y puede visualizarlos en base de datos de la biblioteca UIS)