



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA

Plan de mantenimiento del sistema de refrigeración, para mejorar el
tiempo de enfriado de los Hydrocoolers en una empresa agroindustrial
de la Región

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Amaya Gamarra, Julio Edwin (ORCID: 0000-0003-3173-5731)

ASESOR:

Ing. Salazar Mendoza, Aníbal Jesús (ORCID: 0000-0003-4412-8789)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistemas y Planes de Mantenimiento

TRUJILLO - PERÚ

2021

DEDICATORIA

Este presente trabajo está dedicado a Dios, quien con su divina misericordia me pone hoy a punto de dar fin a esta primera meta cumplida. Mi padre y amigo Julio Amaya García, quien desde muy niño me enseñó a luchar duro por nuestras metas y sueños, sin importar lo cansado u ocupado que este, siempre tenía una sonrisa que ofrecer a cada uno de nosotros. Mi hermana Doris Amaya, quien bajo a sus consejos y paciencia supo sacar lo mejor de mí para seguir en esta dura lucha, ahora de la mano de mi padre viene llenando de bendiciones mi camino cuidando de nosotros como lo hacía en vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a dios, quien me permite terminar mis estudios propuesto dándome salud y a mi familia:

- Mi madre y compañera, cuya labor fue parte fundamental de mi vida profesional, persona que con aliento fuerte y comprensión me impulsaba a seguir adelante convirtiéndome en lo que soy.
- Mis hermanos quienes a pesar de la situación y la distancia siempre están con las palabras correctas motivándome a seguir adelante en esta larga travesía.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE CONTENIDOS	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS.	7
RESUMEN.....	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN	10
II. MARCO TEÓRICO	15
III. METODOLOGIA.....	24
3.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	24
3.2 VARIABLE Y OPERACIONALIZACIÓN	24
3.3 POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	25
3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN DE RECOLECCIÓN DE DATOS	25
3.5 PROCEDIMIENTO:	26
3.6 MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS.....	27
3.7 ASPECTOS ÉTICOS.	27
IV. RESULTADOS.....	27
4.1. REALIZAR UNA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES INICIALES, EN MATERIA DE MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE REFRIGERACIÓN:.....	27
4.1.1 ANÁLISIS DE FALLAS POR EQUIPOS, APLICANDO INDICADORES DE DISPONIBILIDAD Y CONFIABILIDAD.	30
4.2. REALIZAR EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	33
4.2.1. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF):.....	37
4.2.2 NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGOS (NPR).....	40
4.3 ELABORACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, BASADO EN EL RCM.	42
6.4. ESTABLECER LOS NUEVOS INDICADORES EN CONDICIONES DE MEJORA Y PROYECTAR RESULTADOS DE ACUERDO AL PLAN Y CONTRASTAR CON LOS INICIALES.	46
6.5. DETERMINAR UN ESTUDIO DE COSTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN Y CALCULAR EL BENEFICIO ECONÓMICO Y RETORNO DE LA INVERSIÓN.	48
6.5.1. BENEFICIO ECONÓMICO EN REDUCCIÓN DE HORAS PERDIDAS:	48
6.5.2. COSTOS POR LA IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	49
6.5.3. COSTOS POR LA IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	50

6.5.4.	BENEFICIO ÚTIL	51
6.5.5.	INVERSIÓN EN ACTIVOS Y TECNOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.....	52
6.5.6.	RETORNO OPERACIONAL DE LA INVERSIÓN.	52
V.	DISCUSIÓN.....	53
VI.	CONCLUSIONES.....	56
VII.	RECOMENDACIONES.....	58
	REFERENCIAS	59
	ANEXOS.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Problema dentro del sistema de refrigeración.....	13
Tabla 2: Variable de operaciones.....	24
Tabla 3: Fallas de equipos fijos.....	28
Tabla 4: Determinación mensual de los indicadores de mantenimiento.....	31
Tabla 5: Resumen del cálculo de indicadores de disponibilidad de equipos.....	32
Tabla 6: Análisis de criticidad del Hidrocoolers.....	34
Tabla 7: Matriz de criticidad del hidrocoolers.....	36
Tabla 8: Niveles y rangos de la criticidad.....	37
Tabla 9: Hoja de información de Equipos Área de Refrigeración.....	38
Tabla 10: Análisis del número de prioridad de riesgo (NPR).....	41
Tabla 11: Resultado del análisis de riesgo.....	41
Tabla 12: Cuadro de programa de mantenimiento de los equipos críticos del area de refrigeración:.....	45
Tabla 13: Determinación de nuevos indicadores de mantenimiento.....	46
Tabla 14: Beneficio debido a la reducción de horas perdidas.....	48
Tabla 15: Tabla de costos en mantenimiento predictivo en sistema de Refrigeración.....	49
Tabla 16: Costos en mantenimiento preventivo en equipos de Hidrocoolers.....	50
Tabla 17: Resumen de los costos en mantenimiento.....	51
Tabla 18: Tabla de inversión en activos fijos.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1: Tina de enfriamiento (Hidrocoolers)	12
Figura 2: Pirámide de operaciones necesario para la correcta planificación de mantenimiento.	21
Figura 3: Matriz de criticidad.....	22
Figura 4: Número Prioridad de Riesgo	23
Figura 5: Se muestra el flujograma del proceso productivo	33
Figura 6: Intersección de la falla según la frecuencia y la consecuencia.	65

RESUMEN

El principal objetivo de la investigación realizada es mejorar el tiempo de enfriamiento en base a la confiabilidad para incrementar la disponibilidad de los equipos de refrigeración pertenecientes a los enfriadores de agua. Para tal fin, se recolecta información relacionada al 2021 para evaluar el estado actual de los equipos, de manera que se pueda formular un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad, identificar funciones, fallas funcionales y modos de falla a través de métodos de análisis e impacto de fallas (FMEA) y luego realizar un análisis de criticidad para finalmente determinar fallas con números de prioridad de riesgo (NPR) más altos. Se espera que mejore la Disponibilidad de los equipos para reducir los costos de mantenimiento, evitar pérdidas de producción debido a la falta de disponibilidad de los equipos y determinar los costos y beneficios de la implementación.

PALABRAS CLAVE: Plan de mantenimiento, disponibilidad, confiabilidad y criticidad.

ABSTRACT

The main objective of the research carried out is to improve the cooling time based on the reliability to increase the availability of the cooling equipment belonging to the water chillers. For this purpose, information related to 2021 is collected to evaluate the current state of the equipment, so that a maintenance plan based on reliability can be formulated, identifying functions, functional failures and failure modes through analysis methods and Failure Impact (FMEA) and then perform a criticality analysis to finally determine failures with higher Risk Priority Numbers (NPR). Equipment Availability is expected to improve to reduce maintenance costs, avoid production losses due to equipment unavailability, and determine implementation costs and benefits.

KEYWORDS: Maintenance plan, availability, reliability and criticality.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, a partir del análisis realizada a las principales importaciones y exportaciones en la región, la agroindustria en Latinoamérica se ha convertido en un exportador neto de alimentos, reflejando el potencial de ingreso al mercado, aunque no en todos los países (Boucher, Setiembre 2015). En América Latina un 16% representa que las exportaciones agrícolas mundiales se han convertido en el mayor exportador de alimentos del planeta. Teniendo en cuenta los cálculos de la ONU, en donde la producción de alimentos debería aumentar en un 70% para el año 2050 (Augusto Salvatto, 2020).

En el Perú; gracias a un modelo económico, la agroindustria ha permitido contar con una clase media creciente, es decir ha beneficiado a millones de peruanos quienes estuvieron viviendo en la pobreza, convirtiéndonos en una nación sobresaliente y luchadora, capaz de atraer inversiones nacionales y extranjeras, como por ejemplo capaz de participar en un mundial de fútbol y a su vez organizar los Juegos Panamericanos que nos llenan de orgullo (comercio, 11 de agosto 2019). Sin embargo, la industria agroalimentaria peruana también debe promover el marketing, la divulgación y la investigación junto con desarrollo del sector agroalimentario y, en segundo lugar, de formar alianzas estratégicas con otros países para lograr mayor influencia comercial y una mayor expansión internacional (Rivadulla, 2021).

La Libertad; es la primera zona productora de espárragos, pimiento del piquillo, alcachofas y arándanos ocupando un lugar destacado en el ranking agroindustrial a nivel nacional impulsado por fuertes inversiones en ingeniería civil e hidráulica y proyectos especiales de Chavimochic (Gobierno Regional La Libertad., 2018). En esta área se han establecido grandes empresas agroindustrial dedicadas a la exportación nacional e internacional de productos frescos como conservantes. Entre ellos, tenemos como referencia a la empresa agroindustrial DANPER que inició sus operaciones en Trujillo en 1994. El nombre fue creado a través de una empresa conjunta entre capitales daneses y peruanos. Cuenta con muchas plantas entre ellas en Trujillo y Arequipa. En

A través de los años se ha dedicado a la actividad agroindustrial de producción y exportación de conservas de espárrago, alcachofa, pimiento del piquillo, hortalizas en general y frutas, así como espárragos frescos y congelados, en línea con las normas del sistema preventivo de calidad, como la ISO 9001: 2000 y el HACCP y la certificación por NSF Internacional ha asegurado la eficiencia y seguridad de los procesos de la empresa durante muchos años (Albert, S/A).

Dicha empresa cuenta con una planta de empaque de productos frescos (PLANTA FRESCO MUCHIK), enfocada en el despacho de espárrago verde y blanco, palta, mango y arándanos. A través de los años el crecimiento e implementación de maquinarias nuevas en esta área, ha permitido ofrecer oportunidad laboral debido al incremento en su productividad como empresa exportadora.

En DANPER TRUJILLO S.A.C., empresa que se ha tomado como referente, dentro de sus operaciones de proceso se ha instalado un equipo llamado hidrocólers dentro del sistema de refrigeración, mediante la utilización del refrigerante NH₃ (amoníaco), como flujo de trabajo para la conservación de los productos, el hidrocóler se ha visto afectado al pasar de los años, perjudicando la eficiencia del equipo y aumento los tiempos de paradas por fallas imprevistas

Es evidente que en los últimos años la industria en el Perú ha ido creciendo sobre todo en la Ingeniería del diseño del sistema de refrigeración y control con el objetivo de enfriar y de tener temperaturas estables sin variación en tiempos determinados (Manuel Antonio, 2020). Esto significa que el nivel de inversión del sistema de refrigeración es aproximadamente el 30% de la inversión total de la fábrica, porque es un elemento muy importante en el procesamiento de alimentos, porque ayuda a mantener el producto en buenas condiciones por un periodo más largo de tiempo. Tiempo en condiciones ambientales normales. En la actualidad, la mayor parte del espacio de algunas empresas está ocupado por equipos de esta naturaleza, como cámaras frigoríficas y sistemas especiales de refrigeración, para mejorar sus sistemas de producción.

Hoy en día, un problema fundamental es el control de los tiempos de parada que se han venido presentando al pasar del tiempo durante los meses de campañas como es en las líneas de proceso, sistema de lavado e hidrocoolers. Particularmente, los equipos con mayor incidencia en este problema de control, son los denominados hidrocoolers de materia prima y producto terminado, pues han determinado, según lo observado en la empresa referente, retrasos en el enfriamiento del producto por fallas imprevistas presentado antes, durante y después de cada operación, generando tiempo muerto y costos elevados por cada mantenimiento correctivo que se genere. Estos eventos constituyen entorpecimiento del sistema productivo de la empresa y se busca mejorarlos mediante utilización de métodos científicos y de Ingeniería, determinando primero una parte evaluativa de los principales problemas que se presentan, su consecuencia y las soluciones históricas que se han venido aplicando, para luego evaluar y determinar acciones para la mejora de dichos problemas.



Figura 1: *Tina de enfriamiento (Hidrocoolers)*

Fuente: Elaboración Propia

Por ello, en el sistema de refrigeración, podemos definir los siguientes problemas:

Tabla 1: Problema dentro del sistema de refrigeración

SISTEMA DE REFRIGERACION		
PROBLEMA	CONSECUENCIA	SOLUCIÓN
Desprendimiento de material de las tuberías por corrosión , por desgaste de espesor de tuberías, tanques o desgaste mecánicos de piezas en el compresor.	Esto ocasiona obstrucción de válvulas en línea de líquido y succión, lo cual hace que el equipo no trabaje dentro de la temperatura deseada, hagan que las válvulas se queden pegadas y no cumplan la función que les corresponde para enfriar o llegar amoniaco líquido al evaporador.	Desarrollar la medición de espesor de tuberías en base a radio frecuencia
El aire ; encontramos en el condensador por trabajos realizados sin deshidratar el sistemas o malas prácticas.	Elevación de presión en la condensación reduciendo el efecto refrigerante generando alto consumo de energía	Purga aire del sistema mediante purgadores automáticos.
El Agua ; esto se encuentra por malas prácticas en el sistema de refrigeración, mantenimiento sin realizar el vacío correcto a la unidad o parte de válvula.	Esto ocasiona oxidación en componentes de refrigeración válvulas, filtros, partes del compresor, descomposición de aceite, pérdida de eficiencia en el compresor haciendo que se esfuerce para llegar a su parámetro de seteo, aumentando el consumo energético en el motor y reducción de la pureza del amoniaco para lograr la capacidad frigorífica se tendrá que evaporar un poco más abajo generando consumo de energía.	Realizar un análisis de humedad y el cálculo de la cantidad de agua obtenida con una probeta y la instalación de un desidratador

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la tabla, la presencia de los problemas al paso del tiempo, han sido perjudiciales para la eficiencia del sistema de frío, conllevando esto a elevar sus consumos de operatividad por mantenimientos correctivos ejecutados durante las fallas presentadas.

De acuerdo a la realidad problemática mencionada anteriormente, se formula el problema siguiente: ¿De qué manera se realiza una metodología estratégica para mejorar el tiempo de enfriado de los Hidrocoolers en una empresa agroindustrial de la Región?

Seguidamente entonces, en función a todo lo precedente se plantea la siguiente hipótesis: Con la implementación de un Plan de mantenimiento del sistema de refrigeración, se mejorará el tiempo de enfriado de los hidrocoolers en una empresa agroindustrial de la Región.

Por lo tanto, la investigación se justifica: i) *Tecnológicamente*, porque dentro de las instalaciones de la Agroindustrial Danper Trujillo, el proceso de producción se desarrolla de forma periódica, permitiendo que la maquina trabaje las 20 horas, los 7 días a la semana. Debido a este factor, se requiere aumentar la eficiencia del sistema con el fin de mejorar el tiempo de enfriamiento permitiendo reducir los costos generados por los mantenimientos correctivos ejecutados; *metodológicamente*, porque hablar de sistema de refrigeración, es hablar de una serie de componentes importantes, los cuales son necesarios para un óptimo desempeño de trabajo, en base a conocimiento adquirido y capacidad de afrontar cambios e irregularidades presentadas en el día, a día. Mediante el análisis podemos determinar la reducción de tiempo de enfriado como la confiabilidad del mismo, obteniendo mejores resultados en los indicadores de mantenimiento; *económicamente*, porque al aplicar el Plan de mantenimiento, se podrá aumentar la disponibilidad de la maquinaria y reducir pérdidas económicas debido a la disminución de costos por paradas de mantenimientos correctivos en plena operación; y, en el aspecto *medioambiental*, porque la presencia de humedad o aceite dentro del sistema refrigeración, obliga al técnico de refrigeración a

purgar diariamente con el fin de establecer las presiones de descarga como succión, afectando al medio ambiente durante la aplicación como la probabilidad de ocasionar un accidente laboral.

Luego de haber realizado las justificaciones de la tesis, se determinan los siguientes objetivos: *El objetivo general* para el desarrollo de la investigación es, mejorar el tiempo de enfriado de los hidrocólers en una empresa agroindustrial de la Región, mediante la aplicación de un Plan de mantenimiento del sistema de refrigeración; y, para determinar esto se tendrán en cuenta los siguientes objetivos específicos: (1) Realizar una evaluación de las condiciones iniciales, en materia de mantenimiento, de las Tinajas de enfriamiento (Hidrocólers) con las que cuenta la empresa a fin de establecer los indicadores respectivos: (2) Determinar, mediante un análisis de criticidad, las fallas más importantes en los Hidrocólers y elaborar los AMEF (Análisis de modo y efecto de fallas) y NPR (Número de prioridad de riesgos); (3) Elaboración del Programa de Mantenimiento del sistema de refrigeración (Hidrocóler) de acuerdo a los resultados obtenidos del AMEF Y NPR; (4) Establecer los nuevos indicadores en condiciones de mejora y proyectar resultados de acuerdo al Plan y contrastar con los iniciales; (5) Determinar un estudio de costos para la implementación del Plan y calcular el beneficio económico y retorno de la inversión.

II. MARCO TEÓRICO

Para buen desarrollo con respecto al mantenimiento, muchos autores han utilizado estrategias de planeamiento como el diagrama de Ishikawa y Pareto para un buen análisis, identificando la causa raíz como punto de partida en la investigación, como en el caso de (Ronald, 2018), quien precisó de un sistema de planeación, especificando la amplitud del trabajo y los conocimientos para su ejecución, en base de un número de operarios calificados destinados al mantenimiento de maneras responsable, comprometidos con los planes y estrategias del mantenimiento como de operaciones. Mediante el diagrama de ISHIKAWA y el diagrama de Pareto, el autor identificó el problema y la causa que permite determinar el bajo

rendimiento de los equipos, permitiendo minimizar fallas funcionales (paradas imprevistas) y los costos asociados a ella, asegurando la operatividad de los equipos para el usuario como para el medio ambiente.

Asimismo, llego a la conclusión que, a través del mantenimiento preventivo, las mejoras presentadas en el proceso han aumentado la eficiencia de los equipos de refrigeración y la aplicación de medidas técnicas para reducir el tiempo de inactividad y ayudar a lograr un rendimiento óptimo.

Por otro lado (De la Cruz Hurtado, 2020) menciona planes de mejora del mantenimiento preventivo para aumentar la confiabilidad y disponibilidad de la flota utilizando la recolección de datos (como el historial de la unidad) para mejorar la productividad de la empresa de transporte en base a herramienta de encuesta como tabla de observación obteniendo posibles mejoras a través del diagrama de Pareto con ayuda del Microsoft Excel. En términos de confiabilidad y disponibilidad, se evita el tiempo de inactividad accidental de la flota, y se ahorran costos mediante el mantenimiento correctivo, y en última instancia se obtiene la mayor vida útil de los equipos y la productividad de la empresa.

De igual manera (Alberto, 2017) indica que en base a la información recopilada del equipo: datos técnicos, historial de fallas y servicios realizados por cada máquina, es posible determinar el costo incurrido por la ciudad en el 2016 debido a reparaciones de emergencia y fallas (mantenimiento correctivo) procediendo a calcular los indicadores de mantenimiento y determinar el análisis crítico de cada máquina, a través del plan de mantenimiento, recopilando información a través de la tabla de control para recolectar datos útiles y necesarios, para obtener un buen historial de fallas e informe de costos, mejorando así la disponibilidad.

A comparación de (Miguel Angel, 2008) en su investigación da a conocer los procedimientos importantes en la Ingeniería de Mantenimiento basada en la Confiabilidad dentro de los procesos productivos, determinando que este indicador es preponderante en la evaluación de desempeño de los equipos que

forman parte de un sistema mediante la utilización de la herramienta Análisis de Weibull dando a conocer este procedimiento como ayuda de una mejor identificación de los riesgos en un determinado tiempo.

Asimismo (Guido, 2018) hablando de análisis de criticidad, puede mejorar la disponibilidad y confiabilidad al diagnosticar las condiciones actuales de los sistemas, subsistemas y componentes para determinar sus funciones, fallas funcionales y modos de fallas para identificar los componentes más críticos y la frecuencia de mantenimiento

Por otro lado (Ponce Medrano, 2016) Demuestra que tiene como objetivo mejorar la usabilidad de los sistemas electromecánicos basados en el análisis de criticidad de modos y efectos de falla a través de hojas de trabajo, tablas de análisis de criticidad y el formato de disponibilidad de los equipos utilizados, poniendo en práctica los métodos de análisis de criticidad de modos y efectos de falla, y obtener nuevos indicadores para su posterior comparación y distinguir la eficiencia obtenida en base a la recolección de datos ordenados en la tabla de frecuencias y la selección de parámetros de tendencia central.

Ahora (Jonathan Jesús, 2016) mencionó que para mejorar la confiabilidad de la maquinaria se basa en el sistema de gestión de mantenimiento a través de los métodos de riesgo de equipos AMEF y NPR evaluando toda la maquinaria pesada durante 2015, y se encontraron 299 intervenciones, con un tiempo promedio de reparación de 5.91 horas de reparación / intervención y 40.18 en tiempo medio entre fallas de horas útiles / de intervención, encontró que la disponibilidad es 87.17%, la confiabilidad es 78.33% y la mantenibilidad es 12.94%. Luego en la tabla de información y tabla de decisión se analiza la criticidad del equipo y plan de mantenimiento de acuerdo al riesgo, lo que conduce a la mejora del índice de mantenimiento como disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad.

De la misma manera (Zavaleta, 2018), menciona que el sistema de mantenimiento preventivo basado en el uso del método FMEA y tecnología

RCM se utiliza para mejorar la disponibilidad del torno, y se evalúan los indicadores de mantenimiento; la confiabilidad y disponibilidad son respectivamente 96,11%, 84,67% y 28,96%. Por tanto, con base en la máquina Para cálculos críticos, surgió desarrollar un plan de mantenimiento que obtenga los siguientes nuevos indicadores: 97,89%, 89,3% y 35,19%.

Por otro lado (Gabriela, 2017) en su investigación, mostró el objetivo principal para mejorar la gestión del mantenimiento a través de métodos de análisis de impacto y modo de falla (FMEA) basados en herramientas de ingeniería como Ishikawa, Pareto, etc., que incurren en mayores costos. Los resultados se medirán mediante indicadores como MTBF (tiempo medio entre fallas), disponibilidad operacional (KPI) y ratios de costos de mantenimiento por hora para mostrar los resultados finales de la ejecución, y se recomienda mejorar el mantenimiento planificado de los equipos con altos costos de mantenimiento

A comparación de (Marcos Dario, 2012) menciona con el objetivo de estudiar, registrar y archivar las actividades de mantenimiento se requiere un departamento de planificación estableciendo con la descripción e identificación técnica de las máquinas que conforman para la administración y gestión del área de mantenimiento que conforma la empresa, enmarcados en la NORMA ISO 9001, por lo que, en base a los indicadores permitieron estudiar, analizar y medir el impacto del plan de mantenimiento en la disponibilidad de los equipos

Del mismo modo (Jose David, 2019) estableció con la finalidad de encontrar, corregir y prevenir fallas en los equipos un procedimiento de mantenimiento preventivo garantizando una mayor confiabilidad y disponibilidad, reduciendo los tiempos muertos o paradas inesperadas en las máquinas para su adecuada ejecución describiendo paso a paso como se debe ejecutar la inspección, evaluación y optimización por medio de la realización de diseños y estructuración de instructivos y herramientas.

Mientras que (Santiago, 2017) menciona en su investigación un plan de mantenimiento preventivo en las maquinarias y equipos críticos que requieren de un mantenimiento anual, en base a un código de identificación asignado con el objetivo de conocer su localización por medio de tarjetas maestras individuales con información clave que especifique sus datos técnicos y características para una mejor intervención por medios de órdenes de trabajo que serán integradas a las hojas de vida obteniendo una mayor efectividad disminuyendo los imprevistos e incrementando la disponibilidad y confiabilidad del equipo.

Después de haber tomado en cuenta los trabajos previos, procedemos a mencionar los fundamentos teóricos necesarios que reforzarán la formulación, desarrollo y comprensión del presente trabajo.

El principal objetivo es definir los conceptos básicos de mantenimiento como una serie de actividades a ejecutar con el propósito de conservar el funcionamiento eficiente, seguro y económico de los quipos, herramientas y de las diferentes instalaciones de la empresa a medida que avanza la tecnología se vuelve cada vez más complejas y automáticas por lo que se necesita contar con una organización que permita restablecer de forma inmediata las condiciones de operación y minimizar las pérdidas de producción (Palencia, 2006).

PLAN DE MANTENIMIENTO: Se define como una alternativa de solución a las deficiencias detectadas mediante el análisis y diagnóstico situacional; a través de la implementación progresiva de estrategias minuciosamente seleccionadas (Quea, 2020). Por medio de estrategias de mantenimiento como herramienta predictiva y preventiva, para la disminución de accidentes en el sistema de gestión salud ocupacional y de seguridad, aplicable a empresas del sector productivo (Juca, 2015).

OBJETIVO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO:

El objetivo del mantenimiento nos permite (Santiago, 2013):

- Cumplir un valor determinado de disponibilidad.
- Cumplir un valor determinado de fiabilidad.
- Asegurar una larga vida útil de la instalación en su conjunto.

Desarrollar una estrategia como plan de mantenimiento nos permite (Sernequet, 2018):

- Reducir las acciones correctivas
- Reducir los gastos por mantenimiento y reparaciones
- Aumentar la vida útil de los equipos
- Aumentar la productividad de la maquinaria y el operador.
- Evitar la pérdida de materia prima
- Reducir los riesgos de accidentalidad laboral.

ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO:

Un plan de mantenimiento permite recuperar los intereses afectados y la inversión debido que garantiza la disponibilidad del activo y el control del costo durante su periodo o vida útil obteniendo una disponibilidad requerida en base costos mínimos. De esta manera se posee un control sobre el estado operativo y el nivel de degradación que se desarrolla, así como la manera de mitigar o atenuar el impacto de las causas de las fallas (Figueroa, 2014).

El plan de mantenimiento debe contar con lo siguiente (Sanabria, 2020)

- Frecuencia del mantenimiento
- Especialidad de mantenimiento
- Duración del mantenimiento
- Permiso de trabajo
- Disponibilidad del equipo

Asimismo, la formulación de acciones de mantenimiento que admitan el uso de los capitales para realizar una debida planificación y llevar un registro de todos los capitales que se han utilizado.



Figura 2: Pirámide de operaciones necesario para la correcta planificación de mantenimiento.

Fuente: (Díaz, 2015)

FACTORES DEL MANTENIMIENTO:

- **CONFIABILIDAD:** Se define como la “confianza” que se tiene del equipo, componente o sistema que desempeña una función, en un tiempo establecido es decir es la probabilidad de que no ocurra una falla con un nivel de confianza dado (Dairo Mesa, 2006).

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Donde:

R(t): Confiabilidad de un equipo en un tiempo (t) determinado.

e: constante Neperiana (e=2. 303..)

λ : Tasa de fallas (número total de fallas por período de operación)

t: tiempo

- **DISPONIBILIDAD:** viene ser la probabilidad de un sistema de estar en condiciones de funcionamiento en un determinado tiempo (t) eso quiere decir

que el sistema no debe haber tenido fallas o haber sido reparado en un tiempo menor que el máximo permitido para su mantenimiento (Planas, S/A). Matemáticamente se presenta de la siguiente función el MTBF (Mean Time Between Failure) y del MTTR (Mean Time to Repair) y queda dada por la relación (Fernández, S/A):

$$\text{Disponibilidad} = \text{MTBT} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$$

La disponibilidad puede ser de dos tipos:

- ✓ Disponibilidad teórica TD: Horas de trabajo x número de turnos
- ✓ Disponibilidad útil o necesaria DU: Horas necesarias según plan de producción

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD:

Cuando se habla de análisis de criticidad se hace referencia a la gestión del riesgo asociado a la ocurrencia de una falla o evento y puede ser desarrollado con diferentes técnicas: Cualitativas, semi cuantitativa y cuantitativa (Lárez, 2017). Asimismo, permite crear estructura facilitando la toma de decisiones efectivas y acertadas en las áreas más importantes, mejorando la confiabilidad operacional: confiabilidad del proceso, confiabilidad humana, confiabilidad del diseño y la confiabilidad del mantenimiento (Joaquín Santos, 2013).



Figura 3: Matriz de criticidad.

Fuente: (Carranza, Noviembre 2013).

La criticidad se determina de la siguiente manera:

$$\text{CRITICIDAD} = \text{FRECUENCIA} \times \text{CONSECUENCIA}$$

Consecuencia: (impacto operacional x flexibilidad) + costos + impacto seguridad y ambiente

El Sistema AMFE nos permite investigar de manera sistemática los puntos débiles del proceso, producto y servicios, para después cuantificarlos y evaluar su riesgo, analizando las acciones preventivas y correctas (Eider, S/A). El AMEF cuenta con una herramienta que ayuda a resolver e identificar los problemas en los procesos de manufactura (Jesús, S/A).

1. Identificar los riesgos de falla que provocan los defectos en las piezas, para evitar enviar productos con problemas de calidad a los clientes.
2. Identificar los riesgos de operación en el proceso.

Asimismo, podemos hablar como un concepto relevante en mantenimiento el denominado Número de Prioridad de Riesgo (NPR) por lo que se calcula al multiplicar el grado de severidad, ocurrencia y detección (Betancourt, 2020) .

$\text{NPR} = \text{Grado de severidad} * \text{Grado de ocurrencia} * \text{Grado de detección}$

$$\text{NPR} = \text{G} * \text{O} * \text{D}$$



Figura 4: Número Prioridad de Riesgo

Fuente: (CMMS, S/A)

El cálculo nos permite priorizar los modos de fallos y sus causas.

III. METODOLOGIA

3.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo aplicada, porque tiene como objetivo resolver de forma directa los problemas encontrados justificándose entre la teoría y el producto (Lozada, José, 2012). Requiriendo obligatoriamente de un marco teórico para generar una solución al problema específico que se quiera resolver (Rodríguez, 2020)

La investigación es no experimental debido que es investigación sistemática y empírica en donde las variables independientes no se manipulan porque ya han sucedido (Hernandez, 2001). Se observa los fenómenos tal y como se dan en su contexto natural para después analizarlos sin manipular deliberadamente las variables basándose en categorías, conceptos, variables, sucesos, comunidades o contextos que ya ocurrieron o se dieron sin la intervención directa del investigador (Escamilla, S/A)

3.2 VARIABLE Y OPERACIONALIZACIÓN

Tabla 2: Variable de operaciones

Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Independiente: Plan de mantenimiento sistema de refrigeración	Tiene objetivo lograr y alcanzar las metas de la empresa agilizando su consecución (Rondón, 2021). el proceso por el que se reduce la temperatura de un espacio determinado y se mantiene	Es considerada como una función propia que se permite fijar las bases para cuantificar el producto global y de cada una de las secciones, áreas o departamentos con finalidad de poder desarrollar entre sus funciones el enfriamiento de alimentos, conservar determinadas sustancias o conseguir un ambiente agradable asimismo evita el crecimiento de bacterias e	1. MTBF (Mid Time Between Failure, tiempo medio entre fallos). 2. MTTR (Mid Time To Repair, tiempo medio de reparación). 3. Disponibilidad. 4. Confiabilidad. 5. Temperatura de seteo.	Cuantitativa de razón

	esta temperatura baja (Gelys, 2010)	impide algunas reacciones químicas no deseadas que pueden tener lugar a temperatura ambiente.	6. Temperatura ambiente.	
Dependiente : tiempo de enfriado	Magnitud que mide la duración o separación de acontecimientos , permitiendo ordenar secuencias durante un periodo establecido.	El Tiempo varía de acuerdo a la temperatura del cuerpo durante la operación del enfriamiento.	1. Temperatura ambiente. 2. Tiempo (minutos)	Cuantitativa de razón

3.3 POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

- Población: La constituyen todos los equipos pertenecientes al hidrocóoler de Refrigeración de una empresa agroindustrial de la Región.
- Muestra: Hidrocóoler en una empresa agroindustrial de la región
- Muestreo: no probabilístico – muestreo por conveniencia

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN DE RECOLECCIÓN DE DATOS

- **Técnica de recolección de datos:**
 - ✓ Permitirá la recopilación de información de la maquinaria,
Instrumento: mediante fichas o apunte técnicos.
- **Técnica de observación:**
 - ✓ Permitirá recolectar información durante la operación de las maquinarias como condición durante su funcionamiento
Instrumento: Registros del estado de cada maquinaria.

➤ **Técnica de AMEF Y NPR**

- ✓ Técnica que nos permitirá identificar fallas y determinar de manera objetiva sus efectos y causas para poder tener un método preventivo más eficaz

Instrumento: Registros de fallas en un tiempo de 6 meses

3.5 PROCEDIMIENTO:

Para la realización del proyecto de investigación se debe tener en cuenta las siguientes etapas:

Primera etapa: El proyecto inicia con la recopilación de datos de fallas en un periodo de 18 meses en materia de mantenimiento durante la operación de las maquinarias para esto será necesario solicitar los archivos y documentación en el área de mantenimiento donde se muestre las fallas presentadas y los mantenimientos correctivos realizados en un determinado tiempo.

Segunda etapa: una vez levantados los archivos y documentación en la etapa anterior se procede al cálculo de los indicadores de mantenimiento actuales: confiabilidad y disponibilidad del hidrocóoler

Tercera etapa: Seguidamente se realizará un análisis de criticidad con el fin de clasificar las fallas que afecta al proceso

Cuarta etapa: Posteriormente se elaborará el análisis de modos y efecto de falla (AMEF) y el número de prioridad de fallas (NPR)

Quinta etapa: Elaborar el plan de mantenimiento preventivo del equipo de refrigeración (hidrocóoler) según los datos obtenidos en el AMEF Y NPR

Sexta etapa: Después de realizar todos procesos anteriores, se calcularán los nuevos indicadores en condición de mejora con el fin de proyectar resultados de acuerdo al plan y contratar con los iniciales.

Séptima etapa: Para finalizar se elaborará un análisis de costo para la implementación del plan para calcular el beneficio económico y retorno de la inversión.

3.6 MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS.

Se utilizará un programa de hoja de cálculo mediante el cual se podrá generar gráficos y diagramas de barras de frecuencia(horas de parada, números de parada, horas de producción) que ayuden a una mejor interpretación de la información recopilada.

3.7 ASPECTOS ÉTICOS.

El investigador se compromete a cumplir con los procedimientos establecidos mediante la privacidad de datos de análisis y confiabilidad obtenidos como del personal que brindo la información técnica para la elaboración del trabajo de investigación

IV. RESULTADOS.

4.1. REALIZAR UNA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES INICIALES, EN MATERIA DE MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE REFRIGERACIÓN:

Se ha procedido a efectuar la evaluación de las diferentes fallas que se presentan en equipos de refrigeración, donde se establecen el estado y acciones tomadas en un periodo de 6 meses con la finalidad de determinar los indicadores de mantenimiento iniciales. La evaluación se realizó en función de la actividad operativa y la presencia de las fallas que se producen en estos activos fijos, a manera de muestreo en el siguiente cuadro:

Tabla 3: Fallas de equipos fijos.

Ítem	Descripción De la falla	Denominación del equipo	Tipo de falla	Texto código motivo
1	Rotura de sello mecánico	Compresor tornillo	MECANICA	Falla
2	Exceso de vibración por exceso de presión	Compresor tornillo	MECANICA	Falla
3	Temperatura alta en el motor eléctrico	Condensador	ELÉCTRICA	aislamiento
4	Presencia de gases no condensables	Evaporadores	MECANICA	Picado
5	Demora de enfriamiento en las cámaras (presencia de aceite)	Evaporadores / paquetes de válvula	MECANICA	Falla
6	Obstrucción de filtro de liquido	Paquete de válvula	MECANICA	falla
7	Falta de bastecimiento de agua	Tablero eléctrico	ELECTRICA	Falsa señal
8	falla en sensor y controlador de temperatura (EKC)	moto ventiladores en evaporadores	ELECTRONICA	Deteriorada
9	Hermetización de moto ventiladores	Compresor tornillo	MECANICA	Falla
10	Pin de corredera de capacidad	Compresor tornillo	MECANICA	Deteriorado
11	Retorno de liquido	Compresor tornillo	MECANICA	Desgastado
12	Bajo nivel de aceite	Compresor tornillo	MECANICA	Fuga
13	obstrucción por suciedad en filtro de aceite	Compresor tornillo	MECANICA	Trabado
14	bajo aislamiento de motor	Compresor tornillo	ELECTRICA	Corte energía
15	Bajo nivel de amoniaco	Tanque recibidor	INSTRUMENTACIÓN	Falsa señal
16	Infraestructura del condensador	Condensador	INSTALACIÓN	Deterioro
17	Kit de empaquetadura	Hidrocoolers de materia prima	MECANICA	Fuga

18	Kit de empaquetadura	Hidrocoolers de producto terminado	MECANICA	Deterioro
19	Tubería deteriorada	Tubería de gas caliente en zona de embolsado	INSTALACIÓN	Picadura
20	Tubería semi deteriorada	Tubería de gas caliente en zona de cámara de despacho	INSTALACIÓN	Fisura
21	Deterioro de pasadores deteriorados de banda modular	Hidrocoolers de materia prima	MECÁNICA	Desgaste
22	Rotura de eje motriz	Hidrocoolers de materia prima	MECÁNICA	Trabamiento
23	Descalibración de manómetros	Paquete de válvulas	INSTRUMENTACIÓN	Vibración
24	Presencia de caliche (Desgaste)	Humificadores	INSTALACIÓN	Calidad de agua
25	Estado cableado y llaves eléctrico	Tablero eléctrico	ELÉCTRICA	Deterioro por humedad.
26	Caída de tensión	Tablero general	ELÉCTRICA	Falla en suministro de energía
27	Giros invertidos	Bomba de circulación	ELÉCTRICA	Falta de prueba
28	Recalentamiento de cableado eléctrico	Tablero de control - fuerza	ELÉCTRICA	Recalentamiento de cableado
29	Llave termomagnética activada	Moto ventiladores de evaporador	ELÉCTRICA	Trabamiento por rodamiento
30	Deterioración de estructura inox	Tina de enfriamiento	Mecánica	Deterioro de estructura

Fuente: Elaboración propia.

Se ha mostrado en la tabla 3 de las diferentes fallas que se presentan en los equipos de refrigeración, registradas en las hojas correspondientes, por parte del personal a técnico en mantenimiento.

4.1.1 ANÁLISIS DE FALLAS POR EQUIPOS, APLICANDO INDICADORES DE DISPONIBILIDAD Y CONFIABILIDAD.

Para obtener los indicadores necesarios en esta investigación se ha tomado en consideración el reporte de las fallas del proceso, de esta manera se ingresó toda la información recopilada tales como: horas de paradas, horas de operación, tiempo medio entre fallas, tiempo medio de reparación, disponibilidad y confiabilidad en hojas de cálculo, por consiguiente se pudo conocer la condición del trabajo en equipo, procesando la información se realizaron los cuadros de la disponibilidad y confiabilidad con los valores ponderados de los 6 meses analizados , tal como se muestra en el siguiente cálculo del mes de enero del 2021:

$$MTBF(h) = \frac{\text{Tiempo total de operacion}}{\text{Numero de fallas}} = \frac{586}{59} = 9.93$$

$$MTTR(h) = \frac{\text{Tiempo total de fallas}}{\text{Numero de fallas}} = \frac{62}{59} = 1.05$$

$$D(T) = \frac{9.93-1.05}{9.93} * 100 = 89.42\%$$

$$C(t) = e^{-\lambda t/100} = e^{-\frac{1}{9.93} * 586/100} * 100 = 55.42 \%$$

Se procede a la realización de los demás meses con el mismo procedimiento y el uso de ecuaciones aplicado en el mes de enero del 2021, considerando los meses de febrero y marzo como tiempo de parada de planta.

Se muestra en la tabla 4 la determinación mensual de los indicadores de mantenimiento de disponibilidad y confiabilidad tomadas de los primeros seis meses del año, para determinar los indicadores iniciales de planta de refrigeración

Tabla 4: Determinación mensual de los indicadores de mantenimiento.

MES	TIEMPO	TIEMPO	NÚMERO	MTBF	MTTR	DISPONIB.	CONFIAB.
	OPERACIÓN (horas)	PARADA (horas)	DE FALLAS (cantidad)	(horas)	(horas)	(%)	(%)
ene-21	586	62	59	9.932	1.051	89.420	55.42
abr-21	556.83	43.17	63	8.839	0.685	92.247	53.26
may-21	602.21	45.79	52	11.581	0.881	92.396	59.45
jun-21	579.48	44.52	59	9.822	0.755	92.317	52.98
jul-21	538.25	109.75	75	7.177	1.463	79.610	47.23
ago-21	525	99	48	10.938	2.063	81.143	61.87
TOTAL	564.63	67.37	59.33	9.71	1.15	87.86	55.04

Fuente: Elaboración propia.

Se muestra en la tabla 5 el resumen de la determinación de los indicadores iniciales de los equipos de refrigeración en un periodo de 6 meses, para este estudio se ha tomado 15 equipos donde se realizó el cálculo de la disponibilidad y la confiabilidad, con estos valores iniciales se usarán para la comparación del antes y después de la implementación de la metodología RCM. Se procede el cálculo de los indicadores del equipo *Hidrocoolers*, con el mismo procedimiento y el uso de las ecuaciones se aplicarán para el resto de equipos.

$$MTBF(h) = \frac{\text{Tiempo total de operacion}}{\text{Numero de fallas}} = \frac{804}{3} = 134.0$$

$$MTTR(h) = \frac{\text{Tiempo total de fallas}}{\text{Numero de fallas}} = \frac{70.4}{6} = 11.73$$

$$D(T) = \frac{134-11.73}{134} * 100 = 91.24\%$$

$$C(t) = e^{-\lambda t/100} = e^{-\frac{1}{134} * 804/100} * 100 = 94.17\%$$

Tabla 5: Resumen del cálculo de indicadores de disponibilidad de equipos.

ITEM	EQUIPO	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD %	CONFIABILIDAD %	TIEMPO OPERACIÓN (HRS)	TIEMPO PARADA (HRS)	fallas	(1/MTBF) tasa de falla	TTP
1	Bomba de amoniaco Adur	134.00	11.73	91.24	94.17	804	70.4	6	- 0.00746269	874.4
2	Compresor tornillo Mycom N160VLD	66.73	6.25	90.63	89.58	734	68.78	11	- 0.01498638	802.78
3	Condensador Frio Raf	76.56	7.27	90.51	91.39	689	65.42	9	- 0.01306241	754.42
4	Paquete de válvula / Evaporador de placa de Hidrocooler	100.17	11.01	89.01	94.17	601	66.06	6	- 0.00998336	667.06
5	Bomba de circulación de hidrocooler	75.50	8.14	89.22	92.31	604	65.1	8	- 0.01324503	669.1
6	Tablero Eléctrico de Fuerza (variador)	141.00	14.51	89.71	96.07	564	58.04	4	-0.0070922	622.04
7	Rotura de banda modular Serie 400	76.50	8.62	88.73	92.31	612	68.98	8	-0.0130719	680.98
8	Desalineamiento de pasador Mecánico (trabamiento)	61.20	6.60	89.22	90.48	612	65.98	10	- 0.01633987	677.98
9	Temperatura fuera de seteo (temp. Elevada)	39.14	4.15	89.39	86.93	548	58.15	14	- 0.02554745	606.15
10	Desalineamiento de Banda Modular Serie 400	51.00	5.20	89.80	88.69	612	62.44	12	- 0.01960784	674.44
11	Rotura de polines y Filtro en tinas de agua	40.80	4.35	89.33	86.07	612	65.31	15	-0.0245098	677.31
12	Nivel de agua por encima de lo requerido y segregación de insumo incorrecto	50.83	5.65	88.88	88.69	610	67.85	12	- 0.01967213	677.85
13	Degaste o rotura de sprocket serie 400 - Z10	76.25	8.31	89.10	92.31	610	66.48	8	- 0.01311475	676.48
14	Rotura de rodamiento o eje motriz cuadrado de 1.1/2" metálico inox C-304	67.78	7.37	89.12	91.39	610	66.36	9	-0.0147541	676.36
15	Tablero eléctrico de control	76.50	6.11	92.01	92.31	612	48.89	8	-0.0130719	660.89
TOTAL:		1133.95	115.29	89.83	91.12	628.93	64.28	140.00	- 0.00088187	693.22

Fuente: Elaboración propia.

4.2. REALIZAR EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD.

Habiéndose determinado la realización de las condiciones iniciales del equipo de refrigeración (hidrocoolers), el siguiente paso es la realización del análisis de criticidad con la finalidad de clasificar las fallas importantes que afectan a la planta, con los resultados obtenidos se procederá a la elaboración de las respectivas hojas del AMEF (Análisis de Modos y Efectos de Fallas) y NPR (Número de Prioridad de Riesgos).

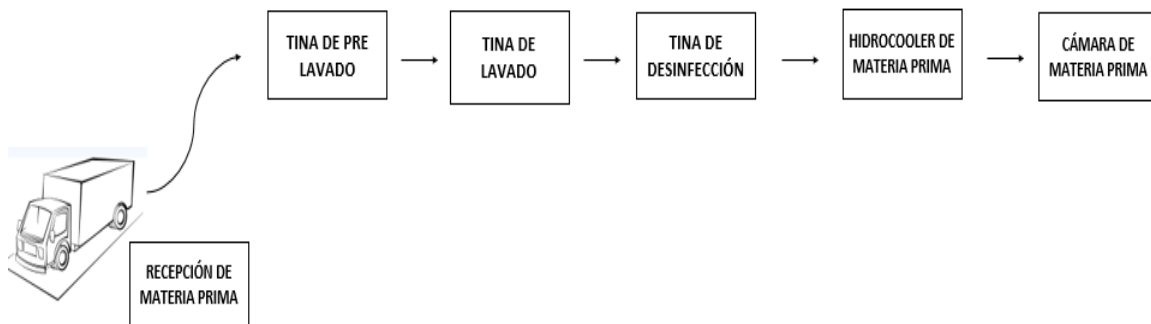


Figura 5: Se muestra el flujograma del proceso productivo

Fuente: Elaboración Propia

Para hallar la severidad se ha tenido en cuenta las consecuencias posibles de los eventos que afectan a la producción las cuales son: (AF) Su falla afecta a la función de la línea se le ha dado un porcentaje del 20%, (AS) Su falla afecta a la seguridad de las personas con un 30%, (FE) Su falla es evidente para el operario con un 20%, (TR) Tiempo de reparación y logística con un 20%, (CR) Costo de reparación con un 10%, se le ha dado una ponderación de acuerdo al número de fallas descritas en la tabla 07 según su criterio de veces de falla por mes. Se realiza el cálculo para el equipo que es el *Hidrocoolers de materia prima* de este mismo modo se realizaran para los demás equipos de la lista.

$$\text{Severidad} = \text{AF} * \text{AS} * \text{FE} * \text{TR} * \text{CR}$$

$$\text{Severidad} = 5 \times 20\% + 5 \times 30\% + 0 \times 20\% + 3 \times 20\% + 3 \times 10\%$$

$$\text{Severidad} = 3.4$$

Criticidad = probabilidad * severidad

Analizaremos el equipo Hidrocoolers:

Criticidad = 5 x 3.4 = 17

Después de lo analizado se tomarán para este estudio los 7 equipos con alta criticidad que son los que impactan en la producción, con estos resultados obtenidos nos servirá para la elaboración de las hojas AMEF Y NPR.

Tabla 6: Análisis de criticidad del Hidrocoolers

Equipos de Tina de Enfriamiento - Hidrocooler											
ITEM S	Equipo	Descripción de componente	Probabilidad de falla (P) 10: Alta 5: Media 1: Baja	20%	30%	20%	20%	10%	Severidad (S)	Clasificación de riesgo. A: Alto B: Medio C: Bajo	Número de fallas últimos 6 meses
				Su falla afecta a la función de la línea	Su falla afecta a la seguridad de las personas	Su falla es evidente para el operario	Tiempo de reparación y logística	Costo de reparación			
1	Bomba de amoníaco Adur	Sistema de bombeo de NH3	5	5	5	0	3	3	3.4	17	6
2	Compresor tornillo Mycom N160VLD	Equipo de enfriamiento	5	5	0	0	3	5	2.1	10.5	11
3	Condensador Frio Raf	Unidad condensadora	1	5	5	0	3	3	3.4	3.4	9

4	Paquete de válvula / Evaporador de placa de Hidrocooler	Evaporadores	1	5	0	0	1	1	1.3	1.3	6
5	Bomba de circulación de hidrocooler	Bomba de enfriamiento	5	5	0	0	5	3	2.3	11.5	8
6	Tablero Eléctrico de Fuerza (variador)	Tablero Eléctrico de Fuerza	5	5	0	5	3	1	2.7	13.5	4
7	Rotura de banda modular Serie 400	Banda transportadora	10	5	0	0	3	3	1.9	19	8
8	Desalineamiento de pasador Mecánico (trabamiento)	Banda transportadora	5	5	0	0	1	1	1.3	6.5	10
9	Temperatura fuera de seteo (temp. Elevada)	Tablero Eléctrico de Control	1	5	0	0	1	1	1.3	1.3	14
10	Desalineamiento de Banda Modular Serie 400	Banda transportadora	5	5	0	0	1	1	1.3	6.5	12
11	Rotura de polines y Filtro en tinas de agua	Detención de materia extraña en bomba	1	5	0	0	3	3	1.9	1.9	15
12	Nivel de agua por encima de lo requerido y segregación de insumo incorrecto	Líquido fuera de niveles establecido	5	5	0	0	1	1	1.3	6.5	12
13	Degaste o rotura de sprocket serie 400 - Z10	Banda transportadora	5	5	0	5	3	3	2.9	14.5	8
14	Rotura de rodamiento o eje motriz cuadrado de	Banda transportadora	5	5	0	5	3	3	2.9	14.5	9

	1.1/2" metálico inox C-304										
15	Tablero eléctrico de control	Tablero de control	5	5	0	0	1	1	1.3	6.5	8

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 6 se muestra el resultado del análisis de criticidad del Hidrocoolers que se utilizan en el proceso de producción, donde se aprecia a 7 equipos (color rojo) con alta criticidad, 4 equipos con media criticidad (color amarillo) y 4 equipos con baja criticidad (color verde).

En la tabla siguiente se muestra la matriz de criticidad con el nivel de clasificación de riesgo de los equipos de alta criticidad, media criticidad y baja criticidad, esto servirá para poder realizar el análisis a los equipos altamente críticos del hidrocooler.

Tabla 7: Matriz de criticidad del hidrocoolers.

CRITICIDAD = PROBABILIDAD* SEVERIDAD						
PROBABILIDAD (F)	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5
	1	2	3	4	5	
	SEVERIDAD (S)					

Fuente: (AMÉNDOLA, 2016)

En la tabla 7 se muestra el rango de la criticidad para diferenciar a los equipos si son de alta criticidad, media criticidad y baja criticidad.

Tabla 8: Niveles y rangos de la criticidad.

Alta criticidad	11	<=	CRITICIDAD	<=	20	A
Media criticidad	6	<=	CRITICIDAD	<=	10	B
Baja criticidad	1	<=	CRITICIDAD	<=	5	C

Fuente: (AMÉNDOLA, 2016)

4.2.1. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF):

Para este análisis, se tomarán como referentes, a los equipos cuya criticidad está considerada dentro de la calificación de Alta, o sea los 7 equipos denominados: Bomba de amoníaco Adur, Compresor tornillo Mycom N160VLD, Bomba de circulación de hidrocooler, Tablero Eléctrico de fuerza (variador), Rotura de banda modular serie 400, Degaste o rotura de sprocket serie 400 - Z10, Rotura de rodamiento o de eje motriz cuadrado de 1.1/2" metálico inox C-304.

Para este análisis se usarán hojas de información de los equipos críticos, obtenidos del análisis de criticidad donde se describen la función, las fallas funcionales, el modo de falla y el efecto de falla, aquí se procede a contestar las cuatro primeras preguntas de la metodología del RCM como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 9: Hoja de información de Equipos Área de Refrigeración.

HOJA DE INFORMACION RCM	Equipos Área de Refrigeración		INGENIERO SUPERVISOR	FECHA	Hoja 01-Ene
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
Bomba de amoniaco Adur, son usadas para alimentar los evaporadores y trasladar el amoniaco entre los tanques del sistema	Temperaturas elevadas por falta de flujo dentro del sistema	Mal montaje de sello mecánico y falta de lubricación en cámara	Cambio de componente por la gravedad afectada y retraso en la producción por falta de flujo.		
Compresor tornillo Mycom N160VLD, equipo principal la cual cumple la función de hacer circular el refrigerante por todo el sistema	Paralización general del sistema de refrigeración por falla del equipo principal	Debido a fallas de componentes interno del compresor por fin de vida útil	Sistema de refrigeración sale de servicio.		
Bomba de circulación de hidrocoolers, tiene como función en circular el agua por todo el evaporador con la finalidad de enfriar el suministro a la temperatura requerida	Tiempo excesivo de enfriamiento del agua	Debido al ambiente de trabajo húmedo	Demora durante el enfriamiento de agua provocando retraso de enfriamiento		

Los tableros de fuerza, es un elemento metálico que tiene una cantidad determinada de interruptores termo magnéticos, generalmente empleados para la protección y desconexión de cargas eléctricas y alumbrado.	Paralización de los hidrocólers, por disparo de interruptor termo magnético.	Debido a humedad excesiva, los sensores del interruptor termo magnético hicieron falso contacto y se ocasionó el disparo en el TABLERO DE FUERZA .	Pérdida de producción por paralización intempestiva de los hidrocólers. Se identifica la falla, limpieza y reseteo del interruptor.
Rotura de banda modular Serie 400	Acumulación de producto en sistema de lavado por paralización de equipo de pre enfriado.	Debido la presencia de fisuras presentadas por tiempo de trabajo en la banda modular	Pérdida de producción por paralización intempestiva del hidrocólers. Se cambia parte afectada.
Degaste o rotura de sprocket serie 400 - Z10	Acumulación de producto en sistema de lavado por paralización de equipo de pre enfriado.	Por desgaste por tiempo de trabajo y mala operación (nivel de agua por encima de lo establecido).	Pérdida de producción por paralización intempestiva del hidrocólers. Se cambia parte sprocket
Rotura de rodamiento o eje motriz cuadrado de 1.1/2" metálico inox C-304	Acumulación de producto en sistema de lavado por paralización de equipo de pre enfriado.	Debido por tiempo de trabajo o por falla de fábrica.	Pérdida de producción por paralización intempestiva del hidrocólers. Se cambia eje de motriz.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGOS (NPR)

Se muestra en la tabla 10 todas las fallas de los 07 equipos críticos evaluados. Para determinar los valores NPR para cada falla involucrada en el AMEF, para ser considerada como: Inaceptable, reducción deseable y aceptable. Se tiene:

Puntajes del AMEF

- NPR >200 **Inaceptable (I)**
- 200 > NPR < 125 **reducción deseable (R)**
- 125 > NPR **Aceptable**

Se procede a calcular en NPR para el primer equipo llamado Bomba de amoniaco Adur. Se debe tener en cuenta cual es la falla funcional del equipo, que nos servirá para realizar la ponderación según su índice gravedad, índice de ocurrencia y el índice de detección valores contemplados en las tabla 11, según el criterio el índice de gravedad para la bomba de amoniaco Adur, es alta la cual se le da un valor de 8, para el índice de ocurrencia se le ha dado un valor de 7 porque la bomba de amoniaco Adur tiene 1 falla entre 6 meses y un año, para el índice de detección se le ha dado un valor de 6 porque su detección es frecuente.

$$\text{NPR} = G * O * D$$

$$\text{NPR} = 8 * 7 * 6 = 336$$

Se procede el cálculo del NPR de la misma forma como fue calculado el primer equipo llamado Bomba de amoniaco Adur

Tabla 10: Análisis del número de prioridad de riesgo (NPR).

Ítem	Descripción de la falla crítica	G	O	D	NPR
F1	Bomba de amoniaco Adur	8	7	6	336
F2	Compresor tornillo Mycom	8	7	6	336
F3	Bomba de circulación de hidrocóoler de Materia Prima	8	8	7	448
F4	Tablero Electrico de Fuerza (variador)	6	6	5	180
F5	Rotura de banda modular Serie 400	8	6	4	192
F6	Degaste de sprocket serie 400 - Z10	9	7	9	567
F7	Rotura de eje motriz cuadrado de 1.1/2" metalico inox C-304	6	6	3	108

Fuente: Elaboración propia.

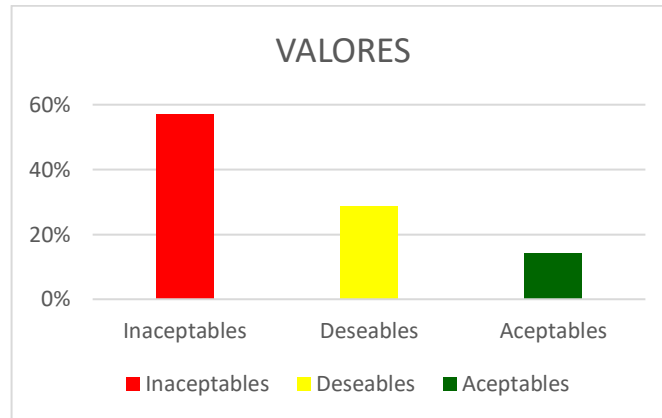
Se observa en la tabla 10 tenemos como resulta 04 equipos inaceptables porque su resultado del NPR es mayor 200, 02 equipos tienen como resultado del NPR a reducción deseable porque están $200 > \text{NPR} < 125$ y 01 equipos con un NPR aceptable.

Tabla 11: Resultado del análisis de riesgo

VALORES	CANTIDADES	PORCENTAJE
Inaceptables	4	57.14%
Deseables	2	28.57%
Aceptables	1	14.29%

Fuente: Elaboración propia

Grafico 1: Cuadro de comparativo de análisis de riesgo



Fuente: Elaboración propia

De la evaluación del NPR de los 7 equipos con alta criticidad, podemos deducir que 4 fallas son inaceptables (57.14%), 2 fallas son reducibles a deseables (28.57%) y 1 falla es aceptable (14.29%).

4.3 ELABORACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, BASADO EN EL RCM.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos del AMEF y NPR previamente evaluados, se procede a la elaboración del plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM, para este primer paso se debe tener siempre en cuenta las fallas con mayor relevancia, paso siguiente se comienza a determinar las tareas preventivas y con qué frecuencia deben de ser realizadas las tareas de mejora.

a) Frecuencia de Lubricación: técnica predictiva del mantenimiento, cuya finalidad es minimizar el rozamiento de dos cuerpos creando una película entre metales, la frecuencia de lubricación se dará por la condición de los equipos, para ellos se tiene que sustraer aceite y examinarlos en un laboratorio según normas ASTM, para determinar la condición de la muestra, en esta empresa ya

cuenta con una frecuencia de muestreo, la misma que se realiza de forma semestral y anual.

b) Frecuencia de Vibraciones: A través de este análisis evaluaremos el estado de las máquinas y sus componentes mientras está en operación, la frecuencia de vibraciones será quincenal, pues esta técnica permitirá detectar por medio de vibraciones:

- Desbalanceo
- Desalineamiento
- Defecto de rodamientos
- Ejes torcidos
- Desajuste mecánico
- Defectos de engranajes
- Defectos de transmisiones por correa

c) Frecuencia de Análisis Ultra sonido: Mediante el análisis ultrasonido se obtiene resultados certeros, las cuales podemos identificar una gran cantidad de modo de fallas, la frecuencia del análisis ultrasonido se realizará mensual tal como se ha considerado por la envergadura de los equipos y recomendaciones de la empresa que prestar dicho servicio.

d) Alineamiento y ajustes de pernos: El ajuste de pernos se puede ejecutar con el equipo operando, considerando que al encontrarse los pernos flojos el equipo sufre un Desalineamiento, el cual se tendrá que atenderse de manera directa, es decir que no existe una frecuencia establecida para realizar un alineamiento, esta actividad permitirá evitar futuras fallas y el ahorro de energía en el equipo por lo cual para realizar esta operación se cuenta con un alineador laser.

e) Frecuencia en toma de mediciones eléctricas: La toma de mediciones puede anticipar la parada de máquina ante una falla por aislamiento o sobrecalentamiento muy común en sistemas eléctricos estableciendo una data más estable de las condiciones a cuál viene trabajando el equipo obteniendo un mejor control en sus mantenimientos y/o repuestos.

f) Frecuencia de análisis visual del estado del equipo: Mediante esta técnica se podrá verificar el estado actual de los componentes que involucra el equipo para poder desarrollar sus operaciones eficientemente garantizando la confiabilidad del equipo.

g) Frecuencia de mediciones de temperatura por termografía: Mediante una cámara termográfica se puede realizar el análisis correspondiente. La termografía por rayos infrarrojos se da en los tableros eléctricos, switches, contactores, etc. Con una frecuencia mensual de acuerdo a las recomendaciones dadas por las experiencias y proveedores de los equipos eléctricos.

h) Capacitar al personal sobre los parámetros de producción: Se brindará la información necesaria sobre el impacto operativo, en los resultados de la producción en la calibración de patrones y cumplimiento de parámetros lo cual se realizará con una frecuencia mensual para que exista una retroalimentación continua operadores – jefatura.

Con el Plan de mantenimiento elaborado, se ha ampliado la visión respecto de los efectos de las falencias y descubierto las fallas más incidentes en la estructura de los equipos del área de refrigeración, se ha reconocido las causas que originan las fallas constantes que tienden a mejorar también el stock de repuestos y materiales, así como a minimizar los tiempos utilizados en las reparaciones. Por lo tanto, el Sistema de Mantenimiento constituye el conjunto de acciones, utilizando el Análisis de modo y efecto de falla (AMEF) realizado, así como las valuaciones de criticidad y NPR, la presentación de frecuencias y programa de tareas preventivas; Consecuentemente, se espera que, utilizando este sistema, se va a intensificar la disponibilidad y confiabilidad y disminuir el mantenimiento correctivo, paradas inesperadas e integración de labores apropiadas.

Tabla 12: Cuadro de programa de mantenimiento de los equipos críticos del área de refrigeración:

Componentes	Frecuencia					
	Diario	Semanal	Quincenal	Mensual	Semestral	Anual
Acoplamientos flexibles		Verificar desgaste - Cambiar.				
Lubricación de Hidrocoolers				Verificar nivel (completar)		
Sistema de Refrigeración		Revisar cañerías, fugas y nivel.				
Unidad rotativa de Hidrocoolers				Verificar mediante ultrasonido. Corregir		
Transmisión de Hidrocoolers				Verificar/corregir el alineamiento.		
Interruptor termomagnético de Planta de Fuerza.					Revisar / reparar (de ser necesario)	
Lubricación de chumaceras		Verificar nivel y engrasar.				
Análisis Vibraciones de unidades			Verificación en rodamiento			
Motor principal de Hidrocoolers						Mantenimiento General.
Anclaje de motor-hidrocoolers		Verificar soltura mecánica				
Sistema eléctrico: Tableros, switch, contactores, cajas de conexiones y cables eléctricos.			Verificación mediante termografía			
Capacitación al personal y retroalimentaciones.				Información de impacto Operativo y producción		

Fuente: Elaboración Propia

6.4. ESTABLECER LOS NUEVOS INDICADORES EN CONDICIONES DE MEJORA Y PROYECTAR RESULTADOS DE ACUERDO AL PLAN Y CONTRASTAR CON LOS INICIALES.

De acuerdo a lo obtenido se ha proyectado según el NPR y se resolverán el 57.14% de todas las fallas existentes del sistema, existiendo aún el 42.86% de fallas entre deseables y aceptables.

Tabla 13: *Determinación de nuevos indicadores de mantenimiento*

ITEM	EQUIPO	MTBF (hr/año)	MTTR (hr/año)	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD	TIEMPO OPERACIÓN (HRS)
1	Bomba de amoniaco Adur	129.805	5.025	96.13	94.17	778.83
2	Compresor tornillo Mycom N160VLD	64.88	2.678	95.87	89.58	713.67
3	Condensador Frio Raf	74.27	3.113	95.81	91.39	668.45
4	Paquete de válvula / Evaporador de placa de Hidrocooler	96.28	4.716	95.10	94.17	577.69
5	Bomba de circulación de hidrocooler	72.84	3.485	95.22	92.31	582.76
6	Tablero Eléctrico de Fuerza (variador)	135.62	6.215	95.42	95.8	542.46
7	Rotura de banda modular Serie 400	73.64	3.693	94.98	92.3	589.10
8	Desalineamiento de pasador Mecánico (trabamiento)	59.20	2.826	95.23	90.5	592.04
9	Temperatura fuera de seteo (temp. Elevada)	38.19	1.779	95.34	87.1	534.71
10	Desalineamiento de Banda Modular Serie 400	49.60	2.229	95.51	88.7	595.22
11	Rotura de polines y Filtro en tinas de agua	39.77	1.865	95.31	86.06	596.48
12	Nivel de agua por encima de lo requerido y segregación de insumo incorrecto	49.24	2.422	95.08	88.69	590.90

13	Degaste o rotura de sprocket serie 400 - Z10	73.52	3.559	95.16	92.4	588.17
14	Rotura de rodamiento o eje motriz cuadrado de 1.1/2" metálico inox C-304	65.45	3.158	95.17	91.4	589.05
15	Tablero eléctrico de control	74.71	2.617	96.50	92.4	597.70
TOTAL:		1097.02	49.38	95.50	91.13	9137.22

Fuente: Elaboración Propia

Comentario: En base a los cálculos encontrados en la Tabla 5, procedemos a realizar el siguiente calculo obteniendo el primer resultado: $MTTR = 11.73 * 0.4283 = 5025$ horas/año; $MTBF = (0.83 - 5.025) + 134 = 129.805$ Horas/año; $C(t) = e^{-\lambda t/100}$.

Usando el mismo método se pudo calcular el MMTR; MTBF y C(t) de cada componente.

6.5. DETERMINAR UN ESTUDIO DE COSTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN Y CALCULAR EL BENEFICIO ECONÓMICO Y RETORNO DE LA INVERSIÓN.

6.5.1. BENEFICIO ECONÓMICO EN REDUCCIÓN DE HORAS PERDIDAS:

Tabla 14: Beneficio debido a la reducción de horas perdidas.

ITEM	EQUIPO	MTTR	MTTR EN	AHORRO DE	COSTO DE	COSTO
		INICIAL	MEJORA	TIEMPO	OPERAC. (U\$\$/Hr)	U\$\$/FALLA
1	Bomba de amoniaco Adur	11.73	5.025	6.71	20	134.16
2	Compresor tornillo Mycom N160VLD	6.25	2.678	3.57	20	71.49
3	Condensador Frio Raf	7.27	3.113	4.16	20	83.11
4	Paquete de válvula / Evaporador de placa de Hidrocooler	11.01	4.716	6.29	20	125.89
5	Bomba de circulación de hidrocooler	8.14	3.485	4.65	20	93.04
6	Tablero Eléctrico de Fuerza (variador)	14.51	6.215	8.30	20	165.91
7	Rotura de banda modular Serie 400	8.62	3.693	4.93	20	98.59
8	Desalineamiento de pasador Mecánico (trabamiento)	6.60	2.826	3.77	20	75.44
9	Temperatura fuera de seteo (temp. Elevada)	4.15	1.779	2.37	20	47.49
10	Desalineamiento de Banda Modular Serie 400	5.20	2.229	2.97	20	59.49
11	Rotura de polines y Filtro en tinas de agua	4.35	1.865	2.49	20	49.78
12	Nivel de agua por encima de lo requerido y segregación de insumo incorrecto	5.65	2.422	3.23	20	64.65

13	Degaste o rotura de sprocket serie 400 - Z10	8.31	3.559	4.75	20	95.02
14	Rotura de rodamiento o eje motriz cuadrado de 1.1/2" metálico inox C-304	7.37	3.158	4.22	20	84.31
15	Tablero eléctrico de control	6.11	2.617	3.49	20	69.88
	TOTAL:	115.29	49.38	65.91	20	1318.26

Elaboración propia.

DE: INDICADORES (1) NÚMERO DE FALLAS TOTAL: 140

COSTO (US\$/FALLA) * NÚMERO DE FALLAS = 369112.58 US\$/año

Por lo tanto, se encontró como beneficio económico y ahorro por disminución de fallas totales:

$$B_{\text{ahorro}} = 369112.58 \frac{\text{US\$}}{\text{falla}}$$

6.5.2. COSTOS POR LA IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Tabla 15: Tabla de costos en mantenimiento predictivo en sistema de Refrigeración.

Acción	Frecuencia	Costo unitario (USD)	Costo total (USD/año)
Trabajos de alineamiento	12 veces/año	\$35.00	\$420.00
Análisis vibracional a los rodamientos	24 veces/año	\$40.50	\$972.00
Análisis termo gráfico	24 veces/año	\$30.00	\$720.00
TOTAL			\$2,112.00

Fuente: Elaboración propia.

Costo total en mantenimiento predictivo: 2112.00 * 15 equipos = 31680.00 US\$

6.5.3. COSTOS POR LA IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Tabla 16: Costos en mantenimiento preventivo en equipos de Hidrocoolers

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Compresor de Tornillo			
Mantenimiento de motor eléctrico	1	\$60.00	\$60.00
Rodamientos	2	\$40.00	\$80.00
kit de juntas	1	\$350.00	\$350.00
Mantenimiento de tablero de control	1	\$80.00	\$80.00
alineamiento	1	\$450.00	\$450.00
Análisis de vibración	1	\$550.00	\$550.00
Condensador			
Mantenimiento de motor eléctrico	3	\$42.00	\$126.00
Mantenimiento de tablero de control	1	\$80.00	\$80.00
Rodamientos	6	\$14.00	\$84.00
Mantenimiento de infraestructura	1	\$350.00	\$350.00
Evaporador			
Paquete de válvulas	1	\$150.00	\$150.00
bobina solenoide	1	\$10.00	\$10.00
Mantenimiento de infraestructura	1	\$80.00	\$80.00
Bomba Adur			
Rodamientos	2	\$125.00	\$250.00
Kit sellos y empaquetadura	1	\$65.00	\$65.00
Mantenimiento de tablero de control	1	\$80.00	\$80.00
Sistema Transmisión de hidrocoolers			
Eje motriz	2	\$120.00	\$240.00
Banda modular S400	1	\$6,500.00	\$6,500.00
Sprocket serie 400	22	\$40.00	\$880.00
Pasadores de banda modular	565	\$4.50	\$2,542.50
Mantenimiento de infraestructura	1	\$450.00	\$450.00
Mantenimiento de bombas			
Rodamientos	6	\$14.00	\$84.00
Sellos mecánicos	3	\$18.00	\$54.00

Barnizado y pintura	1	\$80.00	\$80.00
Sistema de control/fuerza			
Mantenimiento de tableros	1	\$80.00	\$80.00
Mantenimiento de variadores	3	\$120.00	\$360.00
Total:		\$9,640.50	\$13,457.50

Fuente: Elaboración propia.

Costo total en mantenimiento preventivo:

13,457.50 x 2 unidades = 26,915.00 USD

6.5.4. BENEFICIO ÚTIL

Tabla 17: Resumen de los costos en mantenimiento

Ahorro en horas perdidas	369112.58 USD/año
Costos predictivos	- 31680.00 USD/año
Costos preventivos	- 27835.00 USD/año
Beneficio útil	309597.8 USD/año

Fuente: Elaboración propia.

6.5.5. INVERSIÓN EN ACTIVOS Y TECNOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.

Tabla 18: Tabla de inversión en activos fijos.

Activos fijos	Cantidad	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
Vibrómetro IRD-50R	1	\$7,500.00	\$7,500.00
Cámara termográfica PCE-TC 23.	1	\$2,500.00	\$2,500.00
Equipo de alineamiento láser	1	\$1,200.00	\$1,200.00
Instrucción al personal	1	\$530.00	\$530.00
Costo total			\$11,730.00

Fuente: Elaboración propia.

6.5.6. RETORNO OPERACIONAL DE LA INVERSIÓN.

$$R. O. I = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Beneficio útil}}$$

$$R. O. I = \frac{11730.00 \text{ USD}}{309597.8 \text{ USD/año}}$$

$$R. O. I = 0.04 \text{ años} \approx 0.48 \text{ meses}$$

Tabla 19: Costo beneficio

Beneficio De Ahorro	369112.58 USD/año
Costos Predictivos	- 31680.00 USD/año
Costos Preventivos	- 27835.00 USD/año
TOTAL	309597.58

COSTO BENEFICO	1.19223
-----------------------	----------------

Fuente: Elaboración propia.

V. DISCUSIÓN.

A fin de debatir los resultados logrados en la investigación, en cada uno de los objetivos realizaremos el análisis correspondiente determinando fortalezas y debilidades del tema y contrastando con los antecedentes referentes de cada tema. En resumen, se propuso un plan de mantenimiento del sistema de refrigeración para mejorar el tiempo de enfriamiento de los Hidrocoolers en una empresa agroindustrial de la región. Para ello, inicialmente se realizó una evaluación de las condiciones iniciales, en materia de rendimiento de la planta de refrigeración, donde luego de identificar las fallas de equipos fijos, se calcularon los indicadores de disponibilidad y confiabilidad de acuerdo a la metodología RCM tomando como referencia los meses de enero del 2020 a junio del 2021. A continuación, se ha realizado el análisis de criticidad de los diferentes equipos de la planta de refrigeración, haciendo la ponderación correspondiente de acuerdo a las matrices reglamentarias; seguidamente, en base a la identificación de equipos críticos se los ha analizado mediante las hojas de AMEF y determinado el Número de Prioridad de Riesgos, para luego elaborar el programa de mantenimiento preventivo y cuadro correspondiente. Como sustento de evaluación de la mejora, se han calculado los nuevos indicadores de disponibilidad y confiabilidad para contrastar con los iniciales y finalmente, se estimaron los costos de las medidas preventivas y se evaluó la viabilidad económica de implementar el plan.

Como fortaleza principal del estudio se ha podido establecer la factibilidad de realizar mejoras en el sistema de enfriamiento de los Hidrocoolers, las mismas que se han proyectado en la investigación; como debilidad se podría considerar que en circunstancias de tiempos mayores de operación y con referencias informáticas, necesario sería realizar una simulación utilizando un software aparente para contrastación; sin embargo lo más indicativo debería ser una evaluación general luego de implementación física del Plan de Mantenimiento que se ha propuesto.

A manera de debatir los resultados obtenidos, se ha tomado como referencia los antecedentes considerados en la parte inicial de la tesis, para la contrastación respectiva:

Respecto a la investigación de (Ronald, 2018) donde se considera el desarrollo de mantenimiento mediante el Análisis Causa Raíz, se ha tenido en cuenta planes y estrategias, forzando hacia el diagrama de Ishikawa y diagrama de Pareto para evaluar el problema de bajo rendimiento de equipos; sin embargo en la investigación, materia de la presente tesis, se ha plasmado consideraciones basadas en el RCM y utilizando porcentajes del NPR, directamente proporcionales a obtención de indicadores proyectados de disponibilidad y confiabilidad mayores a los iniciales, teniendo la seguridad en el cumplimiento del Plan de Mantenimiento que hacen valederos los resultados.

En contrastación con la investigación de (Antonio, 2017) en la cual utiliza métodos de experimentación Termodinámica para determinar la carga eficiente del refrigerante, utiliza métodos teóricos para diseño de un procedimiento metodológico en base al coeficiente de funcionamiento de las máquinas, pero no llega a determinar cuantitativamente los indicadores de mejora; sino solamente la correcta recarga en base a análisis ideal; en la tesis, materia de este estudio sí se han definido índices de mejora de los indicadores de disponibilidad y confiabilidad en los rangos de 84.84% a 95.76% y 95.80% a 96.26%, respectivamente.

Similarmente, en la tesis de (Rodríguez, 2011) en la que realizaron estudios de incremento de la eficiencia de sistemas convencionales de refrigeración, mediante métodos termo-acústicos, se optó por una implementación experimental de un sistema de onda de energía mecánica para convertirla en energía térmica y lograr un mejor rendimiento en potencia de enfriamiento; sin embargo, tampoco se cuantificó dicho cambio de indicador porque fue tendiente a métodos un tanto empíricos experimentales y solamente utilizaron finalmente una teoría científica válida de transformación de onda de energía en energía térmica.

Asimismo, en el estudio de (Eduardo, 2012) se desarrollaron criterios de investigación en base a adsorción química en los equipos de un sistema

de refrigeración con componentes de reactor, evaporador y condensador, implementando planes de acción para mejorar la eficiencia energética; sin embargo, ello quedó solamente en eso, planes y teóricamente trató de demostrar el diseño propuesto. En la investigación presente, se han realizado análisis iniciales reales con datos provenientes de bitácoras de operación y de acuerdo a ello, se ha formulado una proyección pre experimental basada en argumentos prácticos demostrados con el NPR y plasmados en indicadores post mejora, sustentados por el Plan de Mantenimiento.

Por otro lado, (Miguel Angel, 2008) en su tesis acerca de procedimientos de Ingeniería de Mantenimiento sí involucra estudios basados en la confiabilidad dentro de procesos productivos, dando la real importancia a este indicador el cual lo desarrolla utilizando el Análisis de Weibull, válido para determinaciones de tiempo y relaciones de MTBF y MTTR para calcular la confiabilidad; sin embargo queda la investigación en el tipo descriptivo y no apunta a proyecciones y/o simulaciones de mejora, como sí lo se ha demostrado en la presente investigación.

Finalmente, (Dongo, 1996) en su investigación referida al desarrollo de mejora de performance en compresores de refrigeración, ha utilizado los parámetros de la Norma ISO 917:1996 para demostrar el incremento en la capacidad, eficiencia, potencia y rendimiento de la unidad, pero bajo el aspecto de análisis de efectos de parámetros de mecánica de fluidos como flujo másico, flujo volumétrico, volumen específico, sin incluir factores de mejora en sistemas de mantenimiento que puedan proyectar, tal como se ha realizado fehacientemente en la presente tesis.

VI. CONCLUSIONES

- Luego de evaluar el escenario inicial del sistema de refrigeración para mejorar el tiempo de enfriado de los hidrocólers en una empresa industrial, se determinó que los indicadores de mantenimiento de los equipos tienen una disponibilidad mínima de 89.01% y máxima de 92.01%, confiabilidad mínima de 86.93% y máxima 96.07%; asimismo un tiempo promedio entre fallas de 1133.95 horas en total y un tiempo promedio para reparar de 115.29 horas en total.
- De acuerdo al análisis de criticidad realizado para las fallas de los 30 equipos del sistema de refrigeración y utilizando los 5 criterios de la matriz correspondiente: frecuencia de fallas, impacto operacional, flexibilidad operacional, costos de mantenimiento, impacto de seguridad y medio ambiente, se concluyó que las fallas preponderantes generales son 15, identificadas como 7 críticas, 4 mediamente críticas y 4 no críticas, identificadas para cada equipo en la tabla correspondiente.
- Utilizando el Análisis de Modos y Efecto de Fallas, se verificaron las fallas críticas y mediamente críticas de los equipos de la línea de refrigeración, determinando a través del número de prioridad de riesgos (NPR) que 4 fallas (57%) son indeseables, 02 fallas (29%) son reducibles a deseables y 1 falla (14%) se determina como aceptable.
- Elaborando el Programa de mantenimiento, se ha considerado adicionalmente a la evaluación de AMEF y NPR de las equipos del Hidrocólers en una empresa agroindustrial de la región., se ha dado énfasis a las acciones de frecuencia de lubricación, frecuencia de vibraciones, frecuencia de análisis con ultra sonido, alineamiento y ajuste de pernos, frecuencia en toma de mediciones de energía, frecuencia de análisis visual del estado de los equipos, frecuencia de mediciones de temperatura por termografía, capacitación al personal sobre parámetros de producción, entre otros; estableciéndose un cuadro

relacionado a los criterios y tiempos de intervenciones a los equipos por mantenimiento preventivo y se ha realizado el análisis comprendidos dentro de la metodología del RCM.

- Se proyectaron resultados en estado de mejora, en base a combinación de porcentajes derivados del NPR y los equipos integrantes del hidrocoolers alcanzan una disponibilidad mínima de 96.17% y máxima de 97.32%, confiabilidad mínima 86.6% y máxima 94.17%; resultado de un tiempo promedio entre fallas de 1108.36 horas en total, y un tiempo promedio para reparar de 38.05 horas en total por equipos del sistema de refrigeración.
- El estudio de costos para la implementación del programa de mantenimiento preventivo para el sistema de refrigeración de los hidrocoolers en una empresa agro industrial de la región, arrojó una inversión de 11730.00 USD, beneficio útil de 309597 USD/año, con un periodo de retorno de la inversión de 0.48 meses, lo cual significa un hecho positivo para la empresa.
- La implementación de este nuevo programa de mantenimiento permitirá mejorar los tiempos de enfriamiento del hidrocoolers evitando las fallas imprevistas antes, durante y después de cada operación, permitiendo mejorar los tiempos muerto de enfriamiento de 2 hr. Por falla de equipo a 15 minutos desarrollando los pasos presentados para el ejecución del mantenimiento preventivo.
- Se han incluido en Anexos, las matrices de Evaluación del NPR: Número de prioridad de Riesgos, el desarrollo pormenorizado del estudio de criticidad de las fallas incluyentes en los equipos de refrigeración, definiciones y términos de la metodología desarrollada, detalle de elaboración de proyecciones de indicadores y costos respectivos.

VII. RECOMENDACIONES

Los colaboradores de la empresa Agroindustria Danper Trujillo tomado como referencia, del área de Refrigeración deberán ser capacitados en las definiciones e interpretaciones de los porcentajes de los indicadores de mantenimiento principales como son Disponibilidad, Confiabilidad y Mantenibilidad y la importancia de sus variaciones. De esa manera también podrán reconocer los puntos críticos de los activos físicos denominados Hidrocoolers y así poder establecer posibles programas de mejora continua para el mejoramiento del sistema de gestión de mantenimiento.

Se recomienda reafirmar en períodos anuales, todas las acciones que involucren un sistema de gestión de mantenimiento basado en el análisis de modos y efectos de fallas, para la totalidad de los equipos críticos del sistema de refrigeración de los hidrocoolers en la empresa agroindustrial de la referencia, incluyendo en forma estricta lo reglamentado en las hojas de decisiones del AMEF.

Se recomienda continuar inopinadamente con inspecciones y seguimiento continuo, haciendo uso de herramientas del mantenimiento predictivo incluidas en los costos y solicitadas en esta investigación, y así mejorar el desempeño de los trabajos de mantenimiento y obtener resultados inherentes a reducidos tiempos perdidos por mantenimiento que se quiere tener y de esta manera, los costos por fallas en equipos (acoplamientos flexibles, tuberías de refrigeración, sistemas de lubricación, etc.), serán minimizados.

REFERENCIAS

Albert, Ruiz Mendoza. S/A. Historia de Danper Trujillo Sac. [Online] S/A. <https://es.scribd.com/document/363318142/Historia-de-Danper-Trujillo-Sac>.

Alberto, Gallardo Piedra Danner. 2017. *Plan de mantenimiento preventivo para aumentar los indicadores operacionales y reducción de costos de mantenimiento de las máquinas de la municipalidad del distrito de tambogrande - piura.* Trujillo : Universidad Cesar Vallejo, 2017.

AMÉNDOLA. 2016. *Análisis de Criticidad.* Mexico : s.n., 2016.

Antonio, Marco. 2017. *Rendimiento termodinámico de sistemas de refrigeración.* Lima : s.n., 2017.

Augusto Salvatto. 2020. Agroindustria 4.0: ¿El futuro de Latinoamérica? [Online] Febrero 13, 2020. <https://www.itsitio.com/ar/agroindustria-4-0-futuro-latinoamerica/>.

Betancourt, D. F. 2020. Sistema de gestión de calidad. *Análisis Modo Efecto Fallas Amef.* [Online] Betancourt D. F., Julio 27, 2020. <https://www.ingenioempresa.com/analisis-modo-efecto-fallas-amef/>.

Boucher, François. Setiembre 2015. *Nuevas Tendencias y Perspectivas de la Agroindustria centroamérica.* Setiembre 2015.

Carranza, José Luis Pablo-Romero. Noviembre 2013. *Análisis de criticidad u estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmoadora de algodón.* Sevilla : Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Noviembre 2013.

CMMS. S/A. Número de prioridad de riesgo. [Online] Consultoría y servicio para optimizar tu gestión, S/A. [Cited: noviembre 11, 2021.] <https://cmms.pe/que-es-el-numero-de-prioridad-del-riesgo-2/>.

comercio, Cámara del. 11 de agosto 2019. EL APOORTE DE LA AGROINDUSTRIA. *El empleo formal en el sector alcanza el 7.5% del total de trabajadores en esta actividad.* 11 de agosto 2019, 890.

Dairo Mesa, Yesid Ortiz y Manuel Pizón. 2006. *La confiabilidad, la disponibilidad y la mantibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento.* s.l. : Scientia et technica, 2006. UTP.ISSN 0122-1701.

De la Cruz Hurtado, Richard Joel. 2020. *Plande mejora para el proceso de mantenimiento preventivo para aumentar la confiabilidad y la disponibilidad de la flota - determinación de optimo del mantenimiento.* Chiclayo : Universidad Cesar Vallejo, 2020.

Díaz, Elvis Alberto Cansino Flores y Danny Wilmar Lucero. 2015. *Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo y seguridad industrial para la fabricación minera.* Quito : Escuela Politécnica Nacional, 2015.

Dongo, José Pérez y Héctor. 1996. *Compresores de refrigeración - Análisis de desempeño.* 1996.

Eduardo, Pérez. 2012. *Sistemas de refrigeración por adsorción química.* Colombia : s.n., 2012.

Eider, Fortea. S/A. *Metodología AMFE para la prevención de riesgos.* Colombia : Unifikas, S/A.

Escamilla, Marizela Dzul. S/A. *Diseño No-Experimental.* MEXICO : Universidad autónoma del estado de hidalgo, S/A.

Fernández, Emilio Andrea Calvo y Carlos Sierra. S/A. *Teoría general del mantenimiento y de la fiabilidad.* s.l. : Universidad de cantabria, S/A.

Figuroa, Camilo Ernesto Buelvas Díaz Kevin Y Jair Martinez. 2014. *ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA MAQUINARÍA PESADA DE LA EMPRESA L&L.* Barranquilla : UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE , 2014.

Gabriela, Barrientos Medina. 2017. *Mejora de la gestión de mantenimiento de maquinaria pesada con la metodología AMEF.* lima : Universidad San Ignacio de Loyola, 2017.

Gelys, Guanipa R. 2010. *Sistema de Refrigeración.* Venezuela : s.n., 2010.

Gobierno Regional La Libertad. 2018. Tu Región Informa. [Online] noviembre 19, 2018. <https://www.regionlalibertad.gob.pe/noticias/regionales/9942-region-la-libertad-lidera-ranking-nacional-de-agroindustria>.

Guido, Chino Anahua Wilsthon. 2018. *Análisis en función de la criticidad de los equipos de la planta de centro de inspección técnica vehicular AZPER Perú SAC. Juliaca y elaboración de un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad.* Puno : Universidad Nacional del altiplano, 2018.

Hernandez, Fernandez y Baptista. 2001. Metodología de la Investigación. Mexico : Editorial Mc Graw Hill, 2001.

Jesús, Araque. S/A. *AMEF Analisis de modo y efecto de falla.* s.l. : NUEVA GERENCIA, S/A.

Joaquín Santos, Edwin Gutiérrez, Miguel Strefezza, Miguel Agüero. 2013. *Análisis de criticidad integral de activos Físicos.* s.l. : UNERMB (NE), 2013. Vol. 4. 1314-8694.

Jonathan Jesús, Vásquez Ccasani. 2016. *Sistema de gestión de mantenimiento basado en el riesgo para aumentar la confiabilidad de la maquinaria pesada de la Empresa Representaciones y Servicios Técnicos América S.R.L Trujillo.* Trujillo : Universidad Cesar Vallejo, 2016.

Jose David, Guaitarilla Soto. 2019. *Plan de mantenimiento preventivo para la maquina industrial de la empresa fluoroplásticos S.A.S.* Santiago de cali : Universidad autónoma de occidente, 2019.

Juca, Oscar Fabían Barros. 2015. *La planificación estrategica de mantenimiento como herramienta preventiva y predictiva para la disminución de la accidentabilidad de un sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional.* Ecuador : Universidad Politécnica Salesiana, 2015.

Lárez, Alexis. 2017. INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO: ANÁLISIS DE CRITICIDAD (PARTE 1). [Online] Grupo ENOVA, Enero 2013, 2017. <https://enovalevante.es/ingenieria-de-mantenimiento-analisis-de-criticidad-parte-1/>.

Lozada, José. 2012. Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. [Online] 2012. [Cited: noviembre 11, 2021.] <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>.

Manuel Antonio, Flores Izquierdo. 2020. La Refrigeración en la agroindustria del Perú. [Online] Junio 06, 2020. <https://manuelfloresizquierdo.com/2020/06/01/la-refrigeracion-en-la-agroindustria-del-peru/>.

Marcos Dario, Sandoval Mora. 2012. *Diseño e implementación de un plan de mantenimiento para Industria de Servicios Técnicos, INSETECA C.A. NAGUANAGUA* : UNIVERSIDAD DE CARABOBO, 2012.

Márquez, Carlos Parra & Adolfo. 2012. *Matriz de criticidad*. 2012.

Miguel Angel, Apolinario Gabriel. 2008. *Estimación de la confiabilidad en equipos mediante el análisis de Weibull*. Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2008.

Palencia, Olverio García. 2006. *Mantenimiento General*. colombia : Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2006.

Paniagua, Wigner y. 2007. *Metodología del análisis en mantenimiento*. 2007.

Planas, miquel Prat. S/A. *Análisis de fiabilidad, criticidad, disponibilidad, capacidad de mantenimiento y seguridad de una impresora industrial digital*. s.l. : Upcommons, S/A.

Ponce Medrano, Edgar Junnyor. 2016. *Metodología del análisis de criticidad con modo y efecto de falla en los sistemas electromecánicos de Real Plaza Huancayo*. Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2016.

Quea, Carmen Fabiola Valdivia. 2020. *Propuesta de una plan estrategico para la mejora de resultados económicos de una empresa de mantenimiento y servicios de ingeniería eléctrica*. Arequipa : Universidad Nacional de San agustin de Arequipa, 2020.

Rivadulla, Francisco Seva. 2021. La agroindustria de Perú: Un ejemplo a nivel mundial. [Online] Agraria, Marzo 21, 2021. <https://agraria.pe/columna/la-agroindustria-de-peru-un-ejemplo-a-nivel-mundial-24045>.

Rodríguez, Carlos Peina y Edgar. 2011. *Cambio de sistemas termomecánicos tradicionales.* Mexico : s.n., 2011.

Rodríguez, Daniela. 2020. Investigación aplicada: características, definición, ejemplos. [Online] Septiembre 17, 2020. <https://www.lifeder.com/investigacion-aplicada/>.

Ronald, Tacca zela. 2018. *Mejora del Mantenimiento Ppreventivo en Equipos de Refrigeración para reducir los Costos Operativos de la Empresa Candy Market Campoy.* 2018.

Rondón, Félix Antonio Pérez. 2021. *Conceptos Generales en la Gestión del Mantenimiento Industrial.* Colombia : Printed in Colombia, 2021.

Sanabria, Elizabeth. 2020. Plan de Mantenimiento:¿Qué es y cómo elaborarlo? [Online] Septiembre 4, 2020. <https://blog.comparasoftware.com/plan-de-mantenimiento/>.

Santiago, Garrido García. 2013. *INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO.* s.l. : RENOVETEC, 2013.

Santiago, Montoya Garcia. 2017. *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa estructuras del KAFEE.* s.l. : Universidad Tecnológica de Pereira, 2017.

Serneguet, Maria. 2018. TADEC.ES. [Online] MARZO 20, 2018. <https://www.datadec.es/blog/pasos-plan-mantenimiento-preventivo>.

Zavaleta, Antonio Leonardo Espejo. 2018. *Diseño de un sistema de mantenimiento preventivo para aumentar la disponibilidad de los tornos de la empresa Full Maquinarias S.A.* Trujillo : Universidad Cesar Vallejo, 2018.

ANEXOS

Anexo 1. Tablas para determinación de indicadores de mantenimiento, iniciales y post mejora

ITEM	EQUIPO	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD %	CONFIABILIDAD %
1	Bomba de amoniaco Adur	134.00	11.73	91.24	94.17
2	Compresor tornillo Mycom N160VLD	66.73	6.25	90.63	89.58
3	Condensador Frio Raf	76.56	7.27	90.51	91.39
4	Paquete de válvula / Evaporador de placa de Hidrocooler	100.17	11.01	89.01	94.17
5	Bomba de circulación de hidrocooler	75.50	8.14	89.22	92.31
6	Tablero Eléctrico de Fuerza (variador)	141.00	14.51	89.71	96.07
7	Rotura de banda modular Serie 400	76.50	8.62	88.73	92.31
8	Desalineamiento de pasador Mecánico (trabamiento)	61.20	6.60	89.22	90.48
9	Temperatura fuera de seteo (temp. Elevada)	39.14	4.15	89.39	86.93
10	Desalineamiento de Banda Modular Serie 400	51.00	5.20	89.80	88.69
11	Rotura de polines y Filtro en tinas de agua	40.80	4.35	89.33	86.07
12	Nivel de agua por encima de lo requerido y segregación de insumo incorrecto	50.83	5.65	88.88	88.69
13	Degaste o rotura de sprocket serie 400 - Z10	76.25	8.31	89.10	92.31
14	Rotura de rodamiento o eje motriz cuadrado de 1.1/2" metálico inox C-304	67.78	7.37	89.12	91.39
15	Tablero eléctrico de control	76.50	6.11	92.01	92.31
TOTAL:		1133.95	115.29	89.83	91.12

NUEVOS INDICADORES

ITEM	EQUIPO	MTBF (hr/año)	MTTR (hr/año)	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
1	Bomba de amoniaco Adur	129.805	5.025	96.13	94.17
2	Compresor tornillo Mycom N160VLD	64.88	2.678	95.87	89.58
3	Condensador Frio Raf	74.27	3.113	95.81	91.39
4	Paquete de válvula / Evaporador de placa de Hidrocooler	96.28	4.716	95.10	94.17
5	Bomba de circulación de hidrocooler	72.84	3.485	95.22	92.31
6	Tablero Eléctrico de Fuerza (variador)	135.62	6.215	95.42	95.8
7	Rotura de banda modular Serie 400	73.64	3.693	94.98	92.3
8	Desalineamiento de pasador Mecánico (trabamiento)	59.20	2.826	95.23	90.5
9	Temperatura fuera de seteo (temp. Elevada)	38.19	1.779	95.34	87.1
10	Desalineamiento de Banda Modular Serie 400	49.60	2.229	95.51	88.7
11	Rotura de polines y Filtro en tinas de agua	39.77	1.865	95.31	86.06
12	Nivel de agua por encima de lo requerido y segregación de insumo incorrecto	49.24	2.422	95.08	88.69
13	Degaste o rotura de sprocket serie 400 - Z10	73.52	3.559	95.16	92.4
14	Rotura de rodamiento o eje motriz cuadrado de 1.1/2" metálico inox C-304	65.45	3.158	95.17	91.4
15	Tablero eléctrico de control	74.71	2.617	96.50	92.4
TOTAL:		1097.02	49.38	95.50	91.13

Anexo 2: Criterios para evaluación del NPR (Améndola, 2002)

Gravedad	
Descripción	Puntaje
Imperceptible	1
Escasa, falla menor	2-3
Baja, fallo inminente	4-5
Media, fallo pero no para el sistema	6-7
Elevada, falla crítica	8-9
Muy elevada, con problemas de seguridad, no conformidad	10

Ocurrencia	
Descripción	Puntaje
1 falla en más de 2 años	1
1 falla cada 2 años	2-3
1 falla cada 1 año	4-5
1 falla entre 6 meses y 1 año	6-7
1 falla entre 1 a 6 meses	8-9
1 falla al mes	10

Detección	
Descripción	Puntaje
Obvia	1
Escasa	2-3
Moderada	4-5
Frecuente	6-7
Elevada	8-9
Muy elevada	10

Las características de análisis del NPR (Número de Prioridad de Riesgo):

NPR > 200 Fallas Inaceptables (I).

125 < NPR ≤ 200 Fallas reducibles deseables (R).

NPR ≤ 125 Fallas Aceptables (A).

Anexo 3: Criterios de evaluación del análisis de criticidad (Améndola, 2002)

Frecuencia de fallas	
Elevado mayor a 40 fallas/año	4
Promedio 20-40 fallas/año	3
Buena 10-20 fallas/año	2
Excelente menos de 10 fallas/año	1

Impacto Operacional	
Parada total del equipo	10
Parada parcial del equipo y repercute a otro equipo o subsistema	7-9
Impacta a niveles de producción o calidad	5-6
Repercute en costos operacionales asociado a disponibilidad	2-4
No genera ningún efecto significativo	1

Flexibilidad Operacional	
No existe opción igual o equipo similar de repuesto	4
El equipo puede seguir funcionando	2-3
Existe otro igual o disponible fuera del sistema (stand by)	1

Costo de mantenimiento	
Mayor o igual a US\$ 400 (incluye repuestos)	2
Inferior a US\$ 400 (incluye repuestos)	1

Impacto a Seguridad Ambiente e Higiene	
Accidente catastrófico	8
Accidente mayor serio	6-7
Accidente menor e incidente menor	4-5
Cuasiaccidente o incidente menor	2-3
Desvío	1
No provoca ningún tipo de riesgo	0

Anexo 4: Análisis de criticidad, valores críticos de las fallas según los elementos o componentes (matriz de criticidad):

En la siguiente Gráfica, “Matriz de Criticidad” se muestra la intersección de la consecuencia y la frecuencia de falla ponderada dando como resultado una falla media crítica para el elemento.

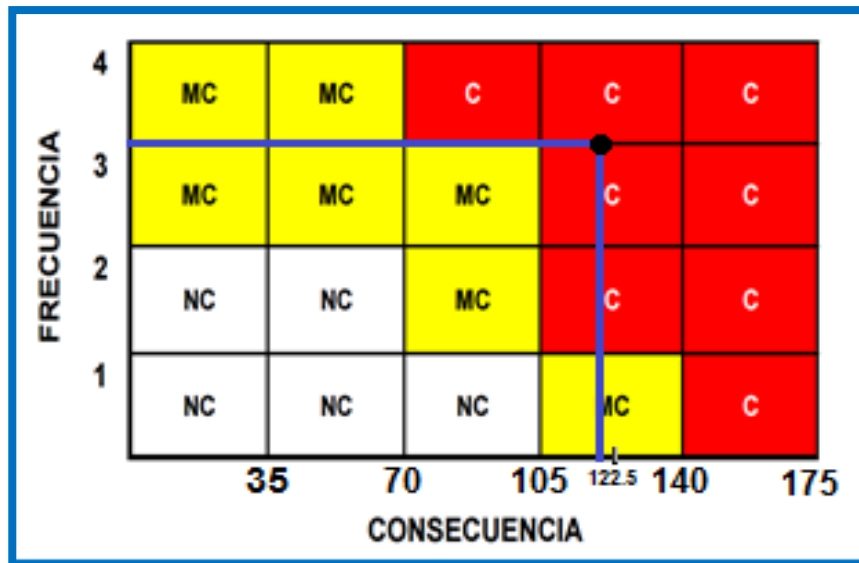


Figura 6: Intersección de la falla según la frecuencia y la consecuencia.

Fuente: (Márquez, 2012)

Anexo 5: Metodología del análisis en Mantenimiento (Paniagua, 2007)

Definiciones y términos de la metodología de análisis causa raíz (ACR)

1. Acción: Con el enfoque de mantenimiento, es el efecto que causa un agente (físico, químico o humano, entre otros) sobre algo, debido a la ejecución de actividades específicas.
2. Activo: Término contable para cualquier recurso que tiene un valor, un ciclo de vida y genera un flujo de caja. Puede ser humano, físico y financiero intangible. Por ejemplo: el personal, centros de trabajo, plantas y equipos, entre otros.

3. **Análisis Causa-Efecto:** Es una herramienta utilizada en la Metodología del ACR para ordenar gráficamente el análisis de manera secuencial.
4. **Análisis Costo-Beneficio (AC-B):** Estima el beneficio económico de la realización de un cambio, modificación o reparación mayor.
5. **Causa de Falla (Causa Raíz):** Las causas de las fallas pueden ser físicas, humanas u organizacionales. En general, pueden ser derivadas de procesos de deterioro por razones físicas o químicas, defectos de diseño, malas prácticas operacionales o de mantenimiento
6. **Causas Raíces Físicas:** En los Análisis Causa Raíz, se refiere al mecanismo de falla del componente. Su solución resuelve las situaciones de falla. Ejemplo de causas raíces físicas: material de le empaquetadura inadecuado.
7. **Causas Raíces Humanas:** Por ejemplo, la selección inadecuada de la empaquetadura
8. **Causa Raíces Latentes:** En los Análisis de Causa Raíz, representan las manifestaciones de los procesos organizacionales que explican la ocurrencia de las causas raíces humanas.
9. **Confiabilidad:** Es la probabilidad de funcionamiento libre de fallas de un equipo o sus componentes, durante un tiempo definido bajo un contexto operacional.
10. **Confiabilidad Operacional:** Es la capacidad de una activo (representado por sus procesos, tecnología y gente) para cumplir sus funciones o el propósito que se espera de este.
11. **Consecuencia:** Resultado de un evento. Puede existir una o más consecuencias de un evento, las cuales sean expresadas cualitativa o cuantitativamente.

12. Defecto: Causa inmediata de una falla: desalineación, mal ajuste, fallas ocultas en sistemas de seguridad, entre otros.

13. Efecto de falla: Describe lo que ocurre cuando acontece cada modo de falla.

14. Falla: Terminación de la habilidad de un ítem para ejecutar una función requerida.