



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Evaluación de sistema de frío en planta procesadora para mejorar la eficiencia y
costos en base al plan de mantenimiento

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Mecánico Electricista**

AUTOR:

Nicola Puyen, Cristian Miguel (orcid.org/0000-0001-6659-5076)

ASESOR:

Mg. Zavaleta Zavaleta, Heber Augusto (orcid.org/0000-0003-3964-0198)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistemas y Planes de Mantenimiento

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

CHICLAYO - PERÚ

2023

Dedicatoria

La presente investigación está dedicada a dios, quien en su grandeza me permite dar el siguiente paso de mi carrera profesional. A mis padres Felipe Nicola Juárez y María Puyen Chiscul que en base a sus esfuerzos me han permitido desarrollarme profesionalmente y me han otorgado sus enseñanzas día a día. Mi hijo Bástian que cambio mi vida en un segundo para mejor y es la fuente de mi inspiración día a día y junto con Jenifer son la fortaleza en mi hogar que me impulsan a mejorar. Y finalizar con mis hermanos Luis Felipe Nicola Puyen y Adler Mayron Nicola Puyen que siempre me han apoyado con sus consejos y enseñanzas.

Agradecimiento

Agradezco a dios quien en su amor y bondad que no tienen fin me permite sonreír ante mis logros poniéndome a prueba una vez más con este proyecto brindándome salud y familia.

Mis padres cuyo apoyo y enseñanzas fue fundamental no solo para conseguir este logro sino para superar cada uno de los retos que se presentaron durante mi vida.

Mi familia Jenyfer y Bástian que son el motor de mi vida y que han sabido sacar lo mejor de mí con su unidad y apoyo incondicional.

Mis hermanos que trazaron el camino y que me ayudaron a desarrollarme y que a pesar de la distancia y los momentos siempre cuento con ellos.

Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I.- INTRODUCCIÓN	1
II.- MARCO TEÓRICO.....	4
III.- METODOLOGÍA.....	10
3.1 Tipo y diseño de investigación	10
3.2 Variable y operacionalización.....	10
3.3 Población, muestra y muestreo.....	11
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos:.....	11
3.5 Procedimiento	11
3.6 Método de análisis de datos.....	12
3.7 Aspectos éticos.....	12
IV. RESULTADOS.....	13
V. DISCUSIÓN	28
VI. CONCLUSIONES.....	31
VII.RECOMENDACIONES.....	33
REFERENCIAS	34
ANEXOS	40

Índice de tablas

Tabla 1: Determinación de indicadores de mantenimiento de equipos.....	13
Tabla 2: Análisis de criticidad del sistema de refrigeración	15
Tabla 3: Análisis modal de fallas y efectos	17
Tabla 4: Programa de mantenimiento inicial de equipos críticos del sistema de refrigeración	18
Tabla 5: Datos de capacidad inicial de operación	19
Tabla 6: Nuevo programa de mantenimiento de equipos críticos del sistema de refrigeración	21
Tabla 7: Nuevos indicadores de mantenimiento de equipos críticos	22
Tabla 8: Análisis modal de fallas y efectos final	23
Tabla 9: Datos de capacidad de operación	24
Tabla 10: Costos de mejora en sistema de elevación de carpas de túneles	25
Tabla 11: Análisis en un año de la inversión en túneles de frío	26

Índice de figuras

FIGURA 1: Sistema de refrigeración	7
--	---

Resumen

La presente investigación considera la evaluación del mantenimiento y la capacidad operativa del sistema que se vienen desarrollando y mediante la aplicación de metodologías actualizadas, desarrollar el objetivo de reducir los riesgos de tener paros intempestivos y prolongados que perjudiquen la producción, con lo cual se trata de mejorar la capacidad operativa y por ende la eficiencia en el tiempo de enfriado. Para esto se recolecto información de los equipos del sistema de refrigeración en el periodo 2021 hasta 2022 para analizar el historial de los indicadores de las fallas que se han presentado. También se estableció aplicando la metodología AMFE, la criticidad de los equipos mediante el análisis de las causas y modos de fallas para determinar el índice de prioridad de riesgo, que nos permitió hacer los ajustes correspondientes en el plan de mantenimiento.

Mediante esta metodología se determinó que los equipos más críticos del sistema de refrigeración son túneles de frío, válvulas moduladoras, condensadores evaporativos y el drenaje de los evaporadores.

Una vez definidos los equipos más críticos se concluyó que las medidas de control en el sistema de elevación de carpas en túneles eran insuficientes por lo que se invirtió en mejorar el sistema para que se garantizara la hermeticidad y reforzar el plan de mantenimiento con el propósito de reducir costos de mantenimiento, mejorar la capacidad operativa y la eficiencia del sistema de refrigeración. Lo que represento una mejora económica para la empresa.

Palabras clave: AMFE, confiabilidad, disponibilidad.

Abstract

The present investigation considers the evaluation of the maintenance and the operational capacity of the system that are being developed and through the application of updated methodologies, develop the objective of reducing the risks of having untimely and prolonged stoppages that harm production, with which it is about improve the operational capacity and therefore the efficiency in the cooling time. For this, information was collected from the refrigeration system equipment in the period 2021 to 2022 to analyze the history of the indicators of the failures that have occurred. The criticality of the equipment was also established by applying the AMFE methodology, by analyzing the causes and modes of failure to determine the risk priority index, which allowed us to make the corresponding adjustments in the maintenance plan.

Using this methodology, it was determined that the most critical equipment in the refrigeration system are cold tunnels, modulating valves, evaporative condensers and evaporator drainage.

Once the most critical equipment was defined, it was concluded that the control measures in the tunnel tent elevation system were insufficient, so investment was made to improve the system to ensure tightness and reinforce the maintenance plan with the purpose of reduce maintenance costs, improve the operational capacity and efficiency of the refrigeration system. What I represent an economic improvement for the company.

Keywords: FMEA, reliability , availability.

I.- INTRODUCCIÓN

En los últimos años las exportaciones más representativas de la región norte fueron enfocadas al sector agroindustrial el cual creció de manera exponencial registrándose un crecimiento del 21% con respecto al año anterior, convirtiéndose en un canal directo para el desarrollo. Dentro de los productos agrícolas que fueron exportados los que más destacaron fueron los arándanos los cuales alcanzaron un valor de U\$\$ 1113 millones, lo que represento un aumento del 23.8%. En segundo lugar, las paltas frescas con U\$\$ 899 millones en envíos al exterior, un 10.8% menos que el año anterior y en tercer lugar se ubicaron las uvas con un valor exportado de U\$\$ 690 millones lo que equivalió un aumento del 14.5% con respecto al año 2021. Estos números generaron a su vez, un alto crecimiento y desarrollo en nuevas tecnologías que permitieron garantizar y potenciar la industria agroalimentaria.

Por lo cual; en escena, se tuvo una planta agroindustrial que exporta frutas y hortalizas frescas (palta, uva, arándano y esparrago) para clientes que día a día son más exigentes en características de calidad como es el mercado americano, asiático y europeo, lo cual conllevó a tener una planta que cuente con un eficiente plan de mantenimiento que nos tenga preparados para actuar de forma predictiva, preventiva y correctiva en los diferentes equipos o áreas instaladas en el sistema de refrigeración.

Siguiendo la línea de producción con eficiencia, disminución de costos y maximización de los recursos con los que se contaron; metas que se plantearon debido a que la capacidad operativa es uno de los factores que posicionaron su competitividad en el mercado. Entonces, la elaboración de un análisis modal de causas y efecto (AMFE) se presentó como una de las herramientas más confiables y directas.

Habiéndose observado que la planta presenta paradas intempestivas ocasionadas por fallas, trayendo como consecuencia afectar los niveles de producción representados por la baja eficiencia del sistema de frío, mediante la aplicación de la metodología AMFE se planteó un plan de mantenimiento para disminuir los costos de mantenimiento y optimizar la eficiencia de este sistema, con esto se mejoró la problemática que se venía presentando.

El objetivo general de la investigación es mejorar el plan de mantenimiento en el sistema de frío aplicando el análisis de criticidad que es parte de la metodología AMFE. A partir de esa estructura se mejoró la capacidad operativa y por ende los costos de mantenimiento.

De la misma manera se planteó los siguientes objetivos específicos; i) Calcular la capacidad operativa actual de los túneles de enfriamiento e indicadores iniciales de equipos del sistema de frío, considerando los mantenimientos establecidos; ii) Realización del análisis de criticidad del sistema de frío mediante el análisis modal de fallas y efectos, concluyendo con definir el índice de prioridad de riesgos; iii) Plantear el plan de mantenimiento teniendo en cuenta los resultados del análisis de criticidad; iv) Cálculo de la nueva capacidad operativa de los túneles enfriamiento y mejora del tiempo de enfriado; v) Evaluación de costos de las mejoras aplicando el proyecto.

Se justifica económicamente el proyecto de investigación ya que representará una mejora de la capacidad instalada, así como la disponibilidad y la confiabilidad, lo que repercutirá en mejores ingresos para la empresa.

De la misma manera se justifica en el tema medioambiental ya que se planteó disminuir las paradas intempestivas lo cual minimizan los efectos los alimentos a enfriar generando o minimizando el desecho de fruta en mal estado.

Igualmente, las paradas intempestivas afectan las condiciones laborales del personal y por ende los grupos familiares, ya que significa alargar las horas de trabajo.

También esta investigación tiene relevancia tecnológica, pues mediante la aplicación de nuevas tecnologías pretende mejorar los programas de mantenimiento que redundan en un tiempo de vida de los activos de la empresa.

Para la mejora del plan de mantenimiento se consideró la siguiente hipótesis:

¿Mediante la aplicación de la metodología AMFE se mejorará el plan de mantenimiento de la planta de frío?

La evaluación que se realizó al sistema de frío apoyándonos de la herramienta metodológica AMFE nos llevó a entender cuáles eran los equipos más críticos y las fallas que afectan directamente al sistema. Por consiguiente, mejorando el plan de mantenimiento se pudo obtener mejoras de eficiencia y mejoras económicas. La capacidad operativa en túneles está directamente relacionada a la disponibilidad de los equipos, por lo tanto, identificar las fallas más importantes que afectan el sistema y atenderlas a tiempo mejorara su capacidad operativa.

El periodo de información para nuestra investigación a sido de 12 meses (noviembre del 2021 hasta noviembre del 2022) tiempo en el que se procesaron los datos tomados de los archivos de la empresa para establecer los indicadores de confiabilidad y disponibilidad inicial, acá se determinó un análisis de criticidad, análisis modal de fallas y efectos (AMFE) y el índice de prioridad de riesgos (IPR) estableciendo una base del estado actual de la planta.

Mediante la aplicación de esta metodología y el análisis de la información con la que se contaba se determinó las partes del sistema de refrigeración que generaban la mayor cantidad de fallas determinándose sus causas y los efectos que estas ocasionaban, lo que nos permitió plantear la mejora del plan de mantenimiento, que sirvió para mejorar los indicadores de disponibilidad y confiabilidad de nuestro sistema de enfriamiento, repercutiendo también en una mejora económica para la empresa.

II.- MARCO TEÓRICO

Para nuestra investigación se tomó como antecedentes referenciales, a los investigadores:

Julio Edwin Amaya gamarra en su investigación de “Plan de mantenimiento del sistema de refrigeración, para mejorar el tiempo de enfriado de los Hidrocoolers en una empresa agroindustrial de la Región” (2021), tiene como principal objetivo un mejor tiempo de enfriamiento, mejorar indicadores de confiabilidad y disponibilidad de los equipos pertenecientes al sistema de refrigeración (enfriadores de agua). Se evaluó el estado de los equipos recolectando datos del año 2021 donde se identificó fallas y modos de falla utilizando el método de análisis e impacto de fallas (AMEF), se realizó un análisis de criticidad para determinar el número de prioridad de riesgo (NPR). Dicho análisis ayudara a mejorar la disponibilidad de los equipos evitando perdidas en la producción y un alcance real de costos y beneficios de la implementación. La tesis Concluyo que mejorando e implementando el plan de mantenimiento en los hidrocoolers evitara fallas imprevistas, disminuyendo los tiempos muertos de enfriamiento de 2 horas. Por falla de equipo a 15 minutos implementando las mejoras obtenidas en la investigación. De la misma manera la investigación de “Plan de mantenimiento autónomo para la mejorar la disponibilidad del sistema de refrigeración industrial en la empresa Laive S.A, Ate 2018”, realizado por Jorge Luis Nunura Bances, mejorar el tiempo medio entre fallas del sistema de refrigeración industrial y la disponibilidad figuran como los principales objetivos en la investigación luego de implementar el plan de mantenimiento en la empresa Laive S.A. Al final concluye que aplicando el plan de mantenimiento autónomo en el sistema de refrigeración para el periodo 2018 de la empresa Laive S.A., mejoro directamente el tiempo entre fallas (MTBF) el cual se elevó de 62.40 horas entre fallas hasta 89.57 horas entre fallas luego de aplicar las mejoras en el plan de mantenimiento de los equipos de refrigeración. Lo que se refleja en un mayor tiempo de funcionamiento de la máquina. Así mismo Fernando Alberto Galindo Mauricio. “Diseño de un sistema de mantenimiento a una planta enfriadora refrigerada por aire, aplicada a la industria de la climatización” año 2018 (Lima, Perú), realiza esta investigación en respuesta a la necesidad del diseño de un plan

de mantenimiento ya que en el lugar donde labora no cuenta con uno. La investigación expuesta tuvo como principal objetivo diseñar una estrategia que pueda ser plasmada en el plan de mantenimiento en todas sus etapas de manera correcta y eficiente, con el fin de reducir paros por fallas y el impacto ambiental producidos por estos equipos. El análisis de los datos en la investigación genera resultados no solo en el plan mantenimiento sino también mejoras en la ingeniería y rediseño. Permitiendo encontrar eficiencia en procesos. Por otro lado, Juan David Mendoza Poveda y Juan David Montañez Bohórquez en su tesis “Elaboración de un plan de mantenimiento interactivo, para sistemas de refrigeración comercial de media y baja temperatura, instalados por la empresa Diac Ingeniería S.A.S” en la ciudad de Bogotá (2020) su objetivo principal es identificar y analizar las deficiencias del proceso de mantenimiento actual. Además, diagnosticar el estado de mantenimiento de la empresa. Como segundo objetivo se propuso disminuir las paradas no programadas de los equipos para evitar pérdidas económicas y costos adicionales a los mantenimientos. Se concluyó que los compresores, evaporadores, condensadores, tuberías, válvulas de expansión y sistemas de control se encuentran dentro de los componentes más críticos del sistema luego de un análisis de criticidad. Ya que si alguno de estos componentes detuviera sus funciones se sufriría un paro total del sistema por tratarse de un ciclo cerrado. Además, se debe implementar sistemas de gestión de mantenimiento y repuestos ya que afectar los procesos y aumentar el tiempo de mantenimiento por falta de información y/o inventario. Así mismo Fernanda Paz Bravo Saavedra y Juan Cuevas Aravena en su investigación “Actualización a plan de mantención para la refrigeración industrial”, en la ciudad Valparaíso – Chile (2020) fijo como principal objetivo reconocer los modos y fallas dentro del sistema de mantenimiento a la empresa Ingemetal Ltda. Para su cliente SOPROLE S.A. Dentro de sus objetivos específicos elaboro una propuesta de mejora del plan de mantenimiento del sistema de refrigeración y la correcta manipulación de los refrigerantes.

Concluyendo que toda planta o equipo en particular posee un plan de mantenimiento el cual está sujeto y realizado en función a sus factores que puedan influenciar, por lo que su monitoreo será primordial para éxito del nuevo plan de mantenimiento. Además, Alberto Eduardo Pérez Macias en su monografía “Desarrollo de una política de RCM para los sistemas de frio alimentario del sector

retail” Colombia (2022), tiene como uno de sus objetivos minimizar el impacto de las fallas que se pueden presentar en la operación de los equipos de refrigeración debido a antecedentes de baja disponibilidad y alta frecuencia.

Entre sus objetivos específicos tenemos; establecer los equipos que generan mayor impacto en la disponibilidad, definir actividades de mantenimiento preventivo para los equipos críticos y definir las variables de monitoreo que servirán como alertas para la intervención preventiva, como resultado se logró disminuir la merma de productos alimenticios por ruptura de cadena de frío y aumentar la confiabilidad y disponibilidad lo que llevaría a maximizar utilidades, reducción de costos operacionales y de gasto de mantenimiento al igual que del impacto ambiental.

La refrigeración es la extracción del calor de una sustancia o espacio, disminuyendo su temperatura interior con relación a su alrededor.

Para que ocurra dicho proceso uno de los equipos principales es el intercambiador de calor (evaporador) cuya función se desarrolla por la evaporación del líquido refrigerante. Existen diferentes tipos de refrigerantes los cuales influyen mucho en el sistema de refrigeración. El sistema actual se utiliza el amoníaco NH₃ (R-717) el cual su punto de ebullición se encuentra a -33.33°C (-28°F) y es capaz de extraer 554.70 BTU cuando pasa de estado líquido a gaseoso.

El compresor es la parte más importante de una instalación frigorífica cuya función es aspirar el refrigerante a baja presión y temperatura, comprimirlo y posterior a esto descargarlo con presiones y temperaturas que permitan condensar.

El condensador elimina el calor proveniente del compresor que llega a través del gas refrigerante. Para poder lograr este proceso se apoya del intercambio de temperaturas entre sustancias.

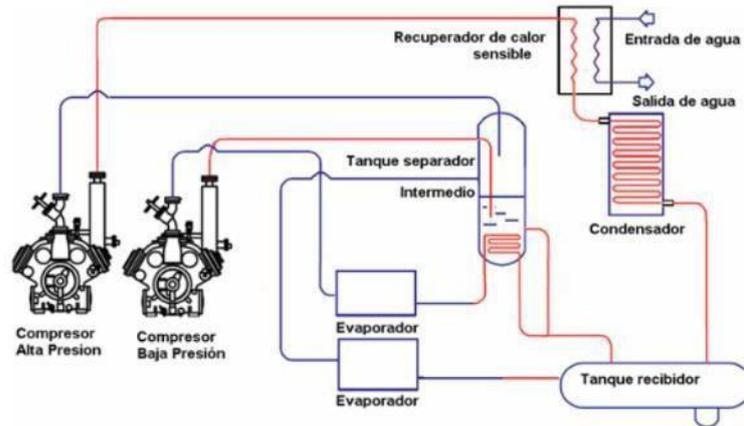
El evaporador es un equipo que realiza el intercambio de calor entre los fluidos refrigerantes y esta presentes en las cámaras frigoríficas y túneles de frío. Además, en el evaporador tiene lugar el paso de la energía térmica desde un medio a otro, mientras uno se enfría el otro se calienta y evapora.

La válvula de expansión es un componente de vital importancia ya que regula la cantidad de fluido refrigerante que ingresara al evaporador, funcionan por

expansión isoentálpica y su función se centra en regular el fluido de alta presión a la necesaria por el evaporador.

FIGURA 1: Sistema de refrigeración.

Fuente: Elaboración propia



2.2.- Indicadores de mantenimiento

a) Disponibilidad:

Capacidad de un elemento de encontrarse en un estado para desarrollar una función requerida bajo unas condiciones determinadas en un instante dado o bien durante un intervalo de tiempo determinado, asumiendo que se proveen los recursos externos requeridos.

$$D = \frac{MTBF}{MTTR + MTBF} \times 100$$

MTTR: Tiempo medio de reparación

MTBF: Tiempo medio entre fallos

b) Tiempo medio de reparación (MTTR)

Tiempo medio requerido para reparar una avería y hacer que un equipo vuelva a funcionar.

$$MTTR = \frac{\text{tiempo fuera de servicio}}{N^\circ \text{ de fallas}}$$

c) Tiempo medio entre fallos (MTBF)

Este indicador de mantenimiento mide el tiempo medio entre fallos en un equipo o sistema y está directamente relacionado con la fiabilidad del equipo. El MTBF nos sirve para hacer una previsión de cada cuánto tiempo el activo fallará. Es el tiempo medio entre las fallas de un equipo.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total disponible} - \text{Tiempo de inactividad}}{\text{Número de paradas}}$$

d) Confiabilidad

Es la probabilidad de que un sistema produzca los resultados esperados, que no es lo mismo que estar disponible. Por lo general, cuanto mayor sea la confiabilidad, mayor será la disponibilidad. El MTBF es un buen indicador de la confiabilidad de un activo durante su ciclo de vida.

$$Fiabilidad = \frac{\text{horas disponibles}}{\text{número de fallos}} \quad R(t) = e^{-t / MTBF}$$

2.4.- Matriz de criticidad:

Jerarquiza sistemas, instalaciones y equipos en función de su impacto global facilitando la toma de decisiones.

El principal objetivo de esta metodología es entender el alcance de la falla funcional revisando sus efectos y los riesgos a nivel de toda la industria o producción. Apoyándose del análisis de la matriz de criticidad donde se definen las estrategias de mantenimiento y se definen la prioridad de los activos.

La relación entre la criticidad y la confiabilidad es directa y los criterios utilizados son: frecuencia de fallas, la dificultad con la que se detecta la falla y el impacto de dichas fallas en sus operaciones. Anexo 7

La criticidad se determina de la siguiente formula:

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

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

2.5.- Matriz AMFE (SAE J1739):

Metodología que estima y predice los posibles fallos en una máquina. Incorpora componentes y funciones que garanticen su seguridad, fiabilidad y el cumplimiento de los parámetros que se exijan.

La matriz AMFE minimiza el costo y el tiempo en relación con el mantenimiento del equipo. Los fallos potenciales más probables son analizados de manera preventiva con el fin de evitar una serie sobre costes en el mantenimiento como pérdida de rendimiento o paradas imprevistas en las funciones de la máquina.

El índice de prioridad del riesgo (IPR) es la base del análisis AMFE. Por lo que una vez calculado este valor las medidas correctoras se enfocan en disminuir al máximo este índice.

El índice prioritario del riesgo (IPR) es la multiplicación entre la severidad (S) por la ocurrencia (O) y por la detección (D).

$$\text{IPR} = \text{S} \times \text{O} \times \text{D}$$

III.- METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación.

El tipo de la investigación es aplicada, su objetivo es resolver directamente los problemas expuestos.

Además, es retrospectiva - pre experimental donde se utilizarán datos registrados en el historial (investigación sistemática).

3.2 Variable y operacionalización

En la tabla de operacionalización de variables de la investigación se definió una variable independiente: plan de mantenimiento actual del sistema de refrigeración estableciéndose cuatro indicadores: MTBF, MTTR, disponibilidad y confiabilidad. Así mismo se determinó una variable dependiente, la eficiencia del sistema de refrigeración estableciéndose su medición a través de dos indicadores: disponibilidad y tiempo de enfriamiento. (El detalle se observa en el anexo 1)

3.3 Población, muestra y muestreo

Población: Equipos del sistema de refrigeración pertenecientes a las empresas agroindustriales de la región de la libertad.

Muestra: Equipos pertenecientes al sistema de refrigeración de agrícola Cerro Prieto empresa agroindustrial de la región la libertad.

Muestreo: Se eligió por facilidad de información a equipos críticos del sistema de refrigeración de la empresa agroindustrial agrícola Cerro Prieto.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos:

-Técnica de recolección de datos: Se utilizó la técnica de recopilación de datos de información de los archivos de la empresa de un periodo de 12 meses, cuyo instrumento es en base a formatos de control, apuntes técnicos, check list, termómetro digital, papel tornasol y pinza amperimétrica.

-Técnica de observación: Se utilizo la técnica de recopilación de información durante el funcionamiento del equipo utilizando el instrumento, registro visual del funcionamiento de la máquina y observación del personal que opera la maquinaria.

-Técnica de AMFE y cálculo del IPR: Mediante las técnicas que plantea esta metodología y con la ayuda de registros de información, catálogos, manuales y la información de los operarios, se determinó los errores, fallas y las causas, así como los efectos que generaron este tipo de interrupciones estableciéndose la criticidad de sus efectos y finalmente el planteamiento del nuevo plan de mantenimiento.

3.5 Procedimiento:

Se considero las siguientes fases para la realización del proyecto:

- a) Se iniciará a partir de la recopilación de 12 meses de datos de fallas relacionados con el mantenimiento en servicio de la máquina, se necesitó archivos y documentación que mostraron las fallas y el mantenimiento correctivo que ocurrieron durante el periodo de tiempo en estudio.
- b) A medida que se recopilan archivos y documentos, se calculan las métricas de mantenimiento actuales (MTTR, MTBF, confiabilidad y disponibilidad)

- c) A continuación, se realizó un análisis de criticidad para identificar los equipos más críticos del sistema.
- d) Luego se realiza el análisis de modos y efecto de falla (AMFE) y el índice de prioridad de riesgo (IPR)
- e) Después se estableció el nuevo plan de mantenimiento.
- f) Después de la aplicación del nuevo plan de mantenimiento se calculó los nuevos indicadores que permitieron mostrar el mejoramiento planteado.
- g) Finalmente se calculó los beneficios económicos obtenidos luego de las mejoras en el plan de mantenimiento.

3.6 Método de análisis de datos.

Utilizando un programa de hoja de cálculo donde se creará gráficos y diagramas de barras de frecuencia (tiempo de parada, conteo de parada y tiempo de producción) que ayudará a interpretar mejor la información recopilada.

3.7 Aspectos éticos.

La privacidad y confiabilidad de los datos obtenidos del personal técnico y de las instalaciones para la elaboración del proyecto serán de prioridad del investigador.

IV. RESULTADOS

4.1.- Cálculo de indicadores MTBF, MTTR, disponibilidad y confiabilidad haciendo el análisis de fallas por equipo.

Para obtener los indicadores necesarios se tomó en consideración el reporte de las fallas en el sistema, se ingresó la información recopilada tales como: horas de paradas, horas de operación, tiempo medio entre fallas, tiempo medio de reparación, disponibilidad y confiabilidad, donde se pudo conocer la condición del sistema, procesando la información se realizó los cuadros de disponibilidad y confiabilidad con los valores de los 12 meses analizados considerando el mes de febrero del 2021 como tiempo de parada de planta. A continuación, se muestra el cálculo de indicadores del túnel de enfriamiento 5.

$$MTBF (h) = \frac{\text{tiempo total de operacion}}{\text{numero de fallas}} = \frac{7223.4}{583} = 12.39 \text{ horas}$$

$$MTTR (h) = \frac{\text{tiempo total de fallas}}{\text{numero de fallas}} = \frac{116.6}{583} = 0.2 \text{ horas}$$

$$D (T) = \frac{12.39 - 0.2}{12.39} * 100 = 98.41 \%$$

$$C(t) = e^{-\lambda t/100} = e^{-\frac{1}{12.39} * 7223.4/100} * 100 = 0.35 \%$$

$$\text{Donde: } \lambda = \frac{1}{MTBF}$$

De la misma manera se calculó los indicadores para los demás equipos de planta como se aprecia en la tabla 1

Tabla 1: Determinación de indicadores de mantenimiento de equipos.

ÍTEM	EQUIPO	TIEMPO DE OPERACIÓN (horas)	TIEMPO DE PARADA (horas)	NUMERO DE FALLAS	MTBF (horas)	MTTR (horas)	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
1	COMPRESOR PISTON - VILTER	7604.3	6.89	9	844.922	0.77	99.91%	92.00%
2	CONDENSADOR EVAPORATIVO # 1	7666	72.967	35	219.029	2.08	99.06%	70.00%
3	CONDENSADOR EVAPORATIVO # 2	7700.75	6.25	3	2566.92	2.08	99.92%	97.00%
4	CONDENSADOR EVAPORATIVO # 3	7700.2	6.8	4	1925.05	1.7	99.91%	96.00%
5	CONDENSADOR EVAPORATIVO # 4	7704.97	2.03	1	7704.97	2.03	99.97%	99.00%
6	EVAPORADORES DE CAMARA 1	6202.95	4.05	2	3101.48	2.03	99.93%	98.00%
7	EVAPORADORES DE CAMARA 4	6200.03	8.98	4	1550.01	2.25	99.86%	96.00%
8	EVAPORADORES DE CAMARA 5	5903.5	304	11	536.682	27.64	95.10%	89.00%
9	EVAPORADORES DE CAMARA 9	6203.27	4.23	3	2067.76	1.41	99.93%	97.00%
10	TUNEL DE ENFRIAMIENTO 1	7240.4	99.6	498	14.54	0.2	98.64%	0.69%
11	TUNEL DE ENFRIAMIENTO 2	7244.6	95.4	477	15.19	0.2	98.70%	0.84%
12	TUNEL DE ENFRIAMIENTO 3	7243.6	96.4	482	15.03	0.2	98.69%	0.81%
13	TUNEL DE ENFRIAMIENTO 4	7235.2	104.8	524	13.81	0.2	98.57%	0.53%
14	TUNEL DE ENFRIAMIENTO 5	7223.4	116.6	583	12.3901	0.2	98.41%	0.35%
15	TUNEL DE ENFRIAMIENTO 6	7285.4	54.6	273	26.69	0.2	99.26%	6.50%
16	TUNEL DE ENFRIAMIENTO 7	7285.2	54.8	274	26.59	0.2	99.25%	6.46%
17	TUNEL DE ENFRIAMIENTO 8	7285.4	54.6	273	26.69	0.2	99.26%	6.52%
18	TUNEL DE ENFRIAMIENTO 9	7285.6	54.4	287	25.39	0.19	99.26%	5.67%
19	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA	7704.2	2.8	1	7704.2	2.8	99.96%	99.00%

Fuente: Elaboración propia

4.2 Análisis de criticidad de las partes del sistema.

Determinado las condiciones iniciales de los equipos del sistema de refrigeración se prosiguió con el análisis de criticidad, aplicando las matrices de valoración detallados en: La frecuencia de falla (véase anexo 2), costo de mantenimiento (véase anexo 3), impacto operacional (véase anexo 4), flexibilidad operacional (véase anexo 5) y finalmente el impacto en seguridad y medio ambiente (véase anexo 6), esto nos sirvió para determinar las fallas más frecuentes que afectan al sistema, las mismas que se detallan en la **tabla número 2** donde se observa que los resultados del análisis de criticidad del sistema de refrigeración industrial, donde se pudo encontrar a 10 equipos (color rojo) con alta criticidad, 5 equipos con media criticidad (color amarillo) y 13 equipos con baja criticidad (color verde).

Luego en el anexo 7 se muestra la matriz de criticidad con el nivel de clasificación de riesgos de los equipos de alta criticidad (AC), media criticidad (MC) y baja criticidad (BC).

Tabla 2: Análisis de criticidad del sistema de refrigeración.

EQUIPO	FRECUENCIA DE FALLO	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	COSTO DE MANTENIMIENTO	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	CONSECUENCIA	CRITICIDAD
COMPRESOR PISTON - VILTER	3	5	1	1	8	14	42
COMPRESOR MONOTORNILLO - VILTER #1	1	5	1	2	8	15	15
COMPRESOR MONOTORNILLO - VILTER #2	1	5	1	2	8	15	15
COMPRESOR MONOTORNILLO - MYCOM #1	1	5	1	2	8	15	15
COMPRESOR MONOTORNILLO - MYCOM #2	1	5	1	2	8	15	15
CONDENSADOR EVAPORATIVO # 1	4	5	1	1	8	14	56
CONDENSADOR EVAPORATIVO # 2	2	5	1	1	8	14	28
CONDENSADOR EVAPORATIVO # 3	2	5	1	1	8	14	28
CONDENSADOR EVAPORATIVO # 4	1	5	1	1	8	14	14
EVAPORADORES DE CAMARA 1	2	7	2	2	8	24	48
EVAPORADORES DE CAMARA 2	1	7	2	2	2	18	18
EVAPORADORES DE CAMARA 3	1	7	2	2	2	18	18
EVAPORADORES DE CAMARA 4	2	7	2	2	8	24	48
EVAPORADORES DE CAMARA 5	4	7	4	2	2	32	128
EVAPORADORES DE CAMARA 6	1	7	2	1	8	23	23
EVAPORADORES DE CAMARA 7	1	7	2	1	8	23	23
EVAPORADORES DE CAMARA 8	1	7	2	1	8	23	23
EVAPORADORES DE CAMARA 9	2	7	2	1	8	23	46
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 1	4	10	2	1	8	29	116
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 2	4	10	2	1	8	29	116
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 3	4	10	2	1	8	29	116
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 4	4	10	2	1	8	29	116
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 5	4	10	2	1	8	29	116
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 6	4	10	2	1	8	29	116
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 7	4	10	2	1	8	29	116
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 8	4	10	2	1	8	29	116
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 9	4	10	2	1	8	29	116
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA	1	3	2	1	3	10	10

Fuente: Elaboración propia

4.3 Análisis modal de fallas y efectos (AMFE):

Obtenidos los resultados se elaboró las respectivas hojas AMFE (análisis modal de fallas y efectos) y el IPR (índice de prioridad de riesgos). Se tomaron los equipos cuya criticidad está considerada dentro de la calificación de alta: evaporador de cámara 5 (congelamiento de drenajes), túneles de enfriamiento del 1 al 9 (falla en el sistema de elevación de carpas).

Para este análisis se usaron hojas de información de los equipos críticos, donde se describe la función, las fallas funcionales, el modo de falla y el efecto de falla.

Además, se calculó el IPR de los equipos críticos del sistema de refrigeración. Se tuvo en cuenta la falla funcional del equipo que sirvió para valorar según su índice severidad, índice de ocurrencia y el índice de detección de valores. Nos apoyamos de los anexos 9, 10 y 11 para obtener los resultados de la tabla 3.

Por lo tanto, en la tabla 3 la evaluación del IPR de los modos de fallos de los 10 equipos con alta criticidad, se apreció que 10 modos de fallas presentaron riesgo de fallo alto su resultado de IPR estuvo entre 500 – 1000, 9 modos de falla tuvieron como resultado riesgo de fallo medio y un modo de fallo bajo. Clasificación que se hizo según se observa en el anexo 8.

Tabla 3: Análisis modal de fallas y efectos.

ACTIVO	OPERACIÓN O FUNCION	FALLOS POTENCIALES			ESTADO INICIAL				
		MODO	EFECTO	CAUSA	MEDIDAS DE CONTROL	O	S	D	IPR
EVAPORADORES CAMARA 5	Encargado de enfriar el refrigerante que circula en su interior absorbiendo la energía térmica del ambiente.	Congelamiento de tubería de drenajes	Congelamiento de agua retenida en drenajes lo que produce goteo	Incorrecta inclinación de drenajes	Verificación visual y reducción en tiempos de descongelamientos	9	7	9	567
		Fugas de amoniaco	Pone en riesgo la salud	Desgaste de empaquetaduras de filtros en válvulas de evaporador.	Adecuado mantenimiento de filtros del paquete de válvulas de evaporador.	5	6	3	90
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 1	Sistemas empleados para la reducción controlada de la temperatura	Falla en el sistema de elevación de carpas	Retraso en el enfriamiento.	Cuerda de carpas fuera de su posición en la polea.	Verificación visual constante	1 0	1 0	5	500
		Deterioro de sensores PT100	Deficiente monitoreo de temperaturas de pulpa.	Uso constante	Revisión antes del inicio de cada proceso de enfriamiento.	7	7	5	245
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 2	Sistemas empleados para la reducción controlada de la temperatura	Falla en el sistema de elevación de carpas	Retraso en el enfriamiento.	Cuerda de carpas fuera de su posición en la polea.	Verificación visual constante	1 0	1 0	5	500
		Deterioro de sensores PT100	Deficiente monitoreo de temperaturas de pulpa.	Uso constante	Revisión antes del inicio de cada proceso de enfriamiento.	7	7	5	245
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 3	Sistemas empleados para la reducción controlada de la temperatura	Falla en el sistema de elevación de carpas	Retraso en el enfriamiento.	Cuerda de carpas fuera de su posición en la polea.	Verificación visual constante	1 0	1 0	5	500
		Deterioro de sensores PT100	Deficiente monitoreo de temperaturas de pulpa.	Uso constante	Revisión antes del inicio de cada proceso de enfriamiento.	7	7	5	245
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 4	Sistemas empleados para la reducción controlada de la temperatura	Falla en el sistema de elevación de carpas	Retraso en el enfriamiento.	Cuerda de carpas fuera de su posición en la polea.	Verificación visual constante	1 0	1 0	5	500
		Deterioro de sensores PT100	Deficiente monitoreo de temperaturas de pulpa.	Uso constante	Revisión antes del inicio de cada proceso de enfriamiento.	7	7	5	245
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 5	Sistemas empleados para la reducción controlada de la temperatura	Falla en el sistema de elevación de carpas	Retraso en el enfriamiento.	Cuerda de carpas fuera de su posición en la polea.	Verificación visual constante	1 0	1 0	5	500
		Deterioro de sensores PT100	Deficiente monitoreo de temperaturas de pulpa.	Uso constante	Revisión antes del inicio de cada proceso de enfriamiento.	7	7	5	245
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 6	Sistemas empleados para la reducción controlada de la temperatura	Falla en el sistema de elevación de carpas	Retraso en el enfriamiento.	Cuerda de carpas fuera de su posición en la polea.	Verificación visual constante	1 0	1 0	5	500
		Deterioro de sensores PT100	Deficiente monitoreo de temperaturas de pulpa.	Uso constante	Revisión antes del inicio de cada proceso de enfriamiento.	7	7	5	245
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 7	Sistemas empleados para la reducción controlada de la temperatura	Falla en el sistema de elevación de carpas	Retraso en el enfriamiento.	Cuerda de carpas fuera de su posición en la polea.	Verificación visual constante	1 0	1 0	5	500
		Deterioro de sensores PT100	Deficiente monitoreo de temperaturas de pulpa.	Uso constante	Revisión antes del inicio de cada proceso de enfriamiento.	7	7	5	245
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 8	Sistemas empleados para la reducción controlada de la temperatura	Falla en el sistema de elevación de carpas	Retraso en el enfriamiento.	Cuerda de carpas fuera de su posición en la polea.	Verificación visual constante	1 0	1 0	5	500
		Deterioro de sensores PT100	Deficiente monitoreo de temperaturas de pulpa.	Uso constante	Revisión antes del inicio de cada proceso de enfriamiento.	7	7	5	245
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 9	Sistemas empleados para la reducción controlada de la temperatura	Falla en el sistema de elevación de carpas	Retraso en el enfriamiento.	Cuerda de carpas fuera de su posición en la polea.	Verificación visual constante	1 0	1 0	5	500
		Deterioro de sensores PT100	Deficiente monitoreo de temperaturas de pulpa.	Uso constante	Revisión antes del inicio de cada proceso de enfriamiento.	7	7	5	245

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4: Programa de mantenimiento inicial de equipos críticos del sistema de refrigeración.

DATOS		FRECUENCIA			
EQUIPO	TIPOS DE FALLA	DIARIA	SEMANTAL	MENSUAL	SEMESTRAL
EVAPORADORES CAMARA 5	Congelamiento de tubería de drenajes.	Verificación visual y reducción en tiempos de descongelamientos	Descongelamientos de drenaje.	Revisión de estado de drenajes	
	Fugas de amoniaco	Inspección con detector de fugas.			Mantenimiento de filtros en paquete de válvulas
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 1	Falla en el sistema de elevación de carpas	Inspección visual y corrección de sistema de elevación de carpas.	Ajuste de pernos en carpas.	Cambio de poleas y revisión de cuerdas	
	Deterioro de sensores PT100	Inspección y si se requiere cambio de sensores.	Cambio de sensores.	Calibración de sensores	
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 2	Falla en el sistema de elevación de carpas	Inspección visual y corrección de sistema de elevación de carpas.	Ajuste de pernos en carpas.	Cambio de poleas y revisión de cuerdas	
	Deterioro de sensores PT100	Inspección y si se requiere cambio de sensores.	Cambio de sensores.	Calibración de sensores	
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 3	Falla en el sistema de elevación de carpas	Inspección visual y corrección de sistema de elevación de carpas.	Ajuste de pernos en carpas.	Cambio de poleas y revisión de cuerdas	
	Deterioro de sensores PT100	Inspección y si se requiere cambio de sensores.	Cambio de sensores.	Calibración de sensores	
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 4	Falla en el sistema de elevación de carpas	Inspección visual y corrección de sistema de elevación de carpas.	Ajuste de pernos en carpas.	Cambio de poleas y revisión de cuerdas	
	Deterioro de sensores PT100	Inspección y si se requiere cambio de sensores.	Cambio de sensores.	Calibración de sensores	
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 5	Falla en el sistema de elevación de carpas	Inspección visual y corrección de sistema de elevación de carpas.	Ajuste de pernos en carpas.	Cambio de poleas y revisión de cuerdas	
	Deterioro de sensores PT100	Inspección y si se requiere cambio de sensores.	Cambio de sensores.	Calibración de sensores	
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 6	Falla en el sistema de elevación de carpas	Inspección visual y corrección de sistema de elevación de carpas.	Ajuste de pernos en carpas.	Cambio de poleas y revisión de cuerdas	
	Deterioro de sensores PT100	Inspección y si se requiere cambio de sensores.	Cambio de sensores.	Calibración de sensores	
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 7	Falla en el sistema de elevación de carpas	Inspección visual y corrección de sistema de elevación de carpas.	Ajuste de pernos en carpas.	Cambio de poleas y revisión de cuerdas	
	Deterioro de sensores PT100	Inspección y si se requiere cambio de sensores.	Cambio de sensores.	Calibración de sensores	
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 8	Falla en el sistema de elevación de carpas	Inspección visual y corrección de sistema de elevación de carpas.	Ajuste de pernos en carpas.	Cambio de poleas y revisión de cuerdas	
	Deterioro de sensores PT100	Inspección y si se requiere cambio de sensores.	Cambio de sensores.	Calibración de sensores	

Fuente: Elaboración propia

TUNEL DE ENFRIAMIENTO 9	Falla en el sistema de elevación de carpas	Inspección visual y corrección de sistema de elevación de carpas.	Ajuste de pernos en carpas.	Cambio de poleas y revisión de cuerdas	
	Deterioro de sensores PT100	Inspección y si se requiere cambio de sensores.	Cambio de sensores.	Calibración de sensores	

4.4 Cálculo de la capacidad operativa inicial de túneles de enfriamiento.

Para el cálculo de la capacidad operativa inicial se tuvo los siguientes datos:

Tabla 5: Datos de capacidad inicial de operación:

DATOS	CANTIDAD	UNIDADES
Pallets por túnel	24	Unidades
Peso de pallets	1056	kilogramos
Tiempo de enfriamiento	5	Horas
Túneles de enfriamiento	9	Unidades

Fuente: Elaboración propia

El tiempo de enfriamiento de cada túnel fue de 5 horas por lo que cada túnel se pudo utilizar 4.8 veces en un periodo de 24 horas. La planta al contar con 9 túneles operando a su máxima capacidad obtuvo 43.2 veces durante todo el día:

- $24 \text{ horas} \div 5 \text{ horas} / \text{vez} = 4.8 \text{ veces.}$

Como cada túnel enfría 24 pallets por cada vez entonces la cantidad de pallets enfriados por día en los 9 túneles es:

- $24 \text{ pallets} / \text{túnel} \times 9 \text{ túneles} = \mathbf{216} \text{ pallets.}$

Y en las 4.8 veces de ingreso a los túneles se tiene:

- $216 \text{ pallets} / \text{vez} \times 4.8 \text{ veces} = \mathbf{1036} \text{ pallets}$

Entonces se tuvo como dato que el peso del pallet es de 1056kg:

- $1056 \text{ kg} / \text{pallets} \times 1036,8 \text{ pallets} = 1094860.8 \text{ kg} = \mathbf{1094.86} \text{ toneladas}$

Por lo tanto, durante un periodo de 24 horas se tenía una capacidad operativa de **1094.86 toneladas por día**, con un tiempo de enfriamiento de 5 horas por túnel y con 9 túneles de enfriamiento operando a su máxima capacidad operativa.

4.5 Mejora del programa de mantenimiento, cálculo de indicadores de equipos críticos y cálculo del IPR final:

En la matriz AMFE se hizo un análisis de los modos, efectos y causas de las fallas de los equipos más críticos y se observó que los controles iniciales no son los adecuados ya que no tienen un efecto en el origen de la falla y por consiguiente la disminución de sus índices de riesgo. Además, el mayor índice de prioridad de riesgo (IPR) estaba orientado al sistema de elevación de carpas de los túneles de enfriamiento. Como primera acción se invirtió en mejorar este sistema ya que era uno de los principales problemas que afectaban la capacidad operativa de los túneles por problemas de hermeticidad. Luego planteo la mejora del programa de mantenimiento preventivo, considerando los fallos más importantes de los equipos más críticos mejorando la frecuencia de la ejecución y los controles que se realizan. Finalmente, se halló los nuevos indicadores de mantenimiento desde diciembre 2022 hasta marzo 2023 donde se aprecia un aumento en el indicador de confiabilidad de los túneles de frío.

a) Mejora de componentes de equipos: La mejora de los componentes de los equipos se realizó con la finalidad de mejorar la operatividad y el tiempo en funcionamiento analizando mejores opciones y así evitar paradas inesperadas.

b) Alineamiento y ajustes de pernos: El ajuste de pernos se pudo ejecutar con el equipo operando, considerando que al encontrarse los pernos flojos el equipo sufre un desalineamiento el cual se atendió de manera directa, ya que no existía una frecuencia establecida para realizar un alineamiento, esta actividad permitirá evitar futuras fallas y el ahorro de energía en el equipo.

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

d) Capacitar al personal sobre los parámetros de producción: Se brindó la información necesaria sobre el impacto operativo, en los resultados de la producción, en la calibración de patrones y cumplimiento de parámetros al cual se asignó una frecuencia mensual para que exista una retroalimentación continua.

En función de estos parámetros se planteo el nuevo programa de mantenimiento detallado en la tabla 6:

Tabla 6: Nuevo programa de mantenimiento de equipos críticos del sistema de refrigeración.

DATOS		FRECUENCIA DE MANTENIMIENTOS			
EQUIPO	MODO DE FALLA	DIARIA	SEMANTAL	MENSUAL	SEMESTRAL
EVAPORADORES CAMARA 5	Congelamiento de tubería de drenajes.	Inspección visual.			Revisión de estado de drenajes
	Fugas de amoniaco	Inspección con detector de fugas.			Mantenimiento de filtros en paquete de válvulas
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 1	Falla en el sistema de elevación de carpas	Inspección visual de sistema de elevación de carpas.	Ajuste de pernos en carpas.		Cambio de poleas y revisión de cuerdas
	Deterioro de sensores PT100	Inspección y si se requiere cambio de sensores.		Calibración de sensores	
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 2	Falla en el sistema de elevación de carpas	Inspección visual de sistema de elevación de carpas.	Ajuste de pernos en carpas.		Cambio de poleas y revisión de cuerdas
	Deterioro de sensores PT100	Inspección y se requiere cambio de sensores.		Calibración de sensores	
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 3	Falla en el sistema de elevación de carpas	Inspección visual de sistema de elevación de carpas.	Ajuste de pernos en carpas.		Cambio de poleas y revisión de cuerdas
	Deterioro de sensores PT100	Inspección y se requiere cambio de sensores.		calibración de sensores	
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 4	Falla en el sistema de elevación de carpas	Inspección visual de sistema de elevación de carpas.	Ajuste de pernos en carpas.		Cambio de poleas y revisión de cuerdas
	Deterioro de sensores PT100	Inspección y se requiere cambio de sensores.		Calibración de sensores	
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 5	Falla en el sistema de elevación de carpas	Inspección visual de sistema de elevación de carpas.	Ajuste de pernos en carpas.		Cambio de poleas y revisión de cuerdas
	Deterioro de sensores PT100	Inspección y se requiere cambio de sensores.		Calibración de sensores	
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 6	Falla en el sistema de elevación de carpas	Inspección visual de sistema de elevación de carpas.	Ajuste de pernos en carpas.		Cambio de poleas y revisión de cuerdas
	Deterioro de sensores PT100	Inspección y se requiere cambio de sensores.		Calibración de sensores	
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 7	Falla en el sistema de elevación de carpas	Inspección visual de sistema de elevación de carpas.	Ajuste de pernos en carpas.		Cambio de poleas y revisión de cuerdas
	Deterioro de sensores PT100	Inspección y se requiere cambio de sensores.		Calibración de sensores	
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 8	Falla en el sistema de elevación de carpas	Inspección visual de sistema de elevación de carpas.	Ajuste de pernos en carpas.		Cambio de poleas y revisión de cuerdas
	Deterioro de sensores PT100	Inspección y se requiere cambio de sensores.		Calibración de sensores	
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 9	Falla en el sistema de elevación de carpas	Inspección visual de sistema de elevación de carpas.	Ajuste de pernos en carpas.		Cambio de poleas y revisión de cuerdas

	Deterioro de sensores PT100	Inspección y se requiere cambio de sensores.		Calibración de sensores	
--	-----------------------------	--	--	-------------------------	--

Fuente: Elaboración propia

Con la aplicación del nuevo plan de mantenimiento se tiene los siguientes indicadores:

Tabla 7: Nuevos indicadores de mantenimiento de equipos críticos

INDICADORES PERIODO DICIEMBRE 2022 - MARZO 2023 DE EQUIPOS CRITICOS								
ITEM	EQUIPO	TIEMPO DE OPERACIÓN (horas)	TIEMPO DE PARADA (horas)	NUMERO DE FALLAS	MTBF (horas)	MTTR (horas)	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
1	EVAPORADORES DE CAMARA 5	1658.5	0.5	1	1658.5	0.50	99.97%	99.00%
2	TUNEL DE ENFRIAMIENTO 1	1949.4	3.6	12	162.45	0.3	99.82%	99.00%
3	TUNEL DE ENFRIAMIENTO 2	1949.1	3.9	13	149.93	0.3	99.80%	99.00%
4	TUNEL DE ENFRIAMIENTO 3	1949.4	3.6	12	162.45	0.3	99.82%	99.00%
5	TUNEL DE ENFRIAMIENTO 4	1949.1	3.9	13	149.93	0.3	99.80%	99.00%
6	TUNEL DE ENFRIAMIENTO 5	1949.4	3.6	12	162.45	0.3	99.82%	99.00%
7	TUNEL DE ENFRIAMIENTO 6	1949.4	3.6	12	162.45	0.3	99.82%	99.00%
8	TUNEL DE ENFRIAMIENTO 7	1949.4	3.6	12	162.45	0.3	99.82%	99.00%
9	TUNEL DE ENFRIAMIENTO 8	1949.4	3.6	12	162.45	0.3	99.82%	99.00%
10	TUNEL DE ENFRIAMIENTO 9	1949.4	3.6	12	162.45	0.30	99.82%	99.00%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8: Análisis modal de fallas y efectos final.

ACTIVO	OPERACIÓN O FUNCIÓN	FALLOS POTENCIALES			ESTADO FINAL				
		MODO	EFEECTO	CAUSA	MEDIDAS DE CONTROL ADOPTADAS	O	S	D	IPR
EVAPORADORES CAMARA 5	Encargado de enfriar el refrigerante que circula en su interior absorbiendo la energía térmica del ambiente.	Congelamiento de tubería de drenajes	Congelamiento de agua retenida en drenajes lo que produce goteo	Incorrecta inclinación de drenajes	Corrección del ángulo de inclinación y verificación visual	1	7	3	21
		Fugas de amoniaco	Pone en riesgo la salud	Desgaste de empaquetaduras de filtros en válvulas de evaporador.	Adecuado mantenimiento de filtros del paquete de válvulas de evaporador.	5	6	3	90
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 1	Sistemas empleados para la reducción controlada de la temperatura	Falla en el sistema de elevación de carpas	Retraso en el enfriamiento.	Cuerda de carpas fuera de su posición en la polea.	Mejoramiento del sistema de elevación de carpas y verificación visual	2	10	3	60
		Deterioro de sensores PT100	Deficiente monitoreo de temperaturas de pulpa.	Uso constante	Revisión antes del inicio de cada proceso de enfriamiento, calibración y correcta ubicación del sensor	5	7	3	105
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 2	Sistemas empleados para la reducción controlada de la temperatura	Falla en el sistema de elevación de carpas	Retraso en el enfriamiento.	Cuerda de carpas fuera de su posición en la polea.	Mejoramiento del sistema de elevación de carpas y verificación visual	2	10	3	60
		Deterioro de sensores PT100	Deficiente monitoreo de temperaturas de pulpa.	Uso constante	Revisión antes del inicio de cada proceso de enfriamiento, calibración y correcta ubicación del sensor	5	7	3	105
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 3	Sistemas empleados para la reducción controlada de la temperatura	Falla en el sistema de elevación de carpas	Retraso en el enfriamiento.	Cuerda de carpas fuera de su posición en la polea.	Mejoramiento del sistema de elevación de carpas y verificación visual	2	10	3	60
		Deterioro de sensores PT100	Deficiente monitoreo de temperaturas de pulpa.	Uso constante	Revisión antes del inicio de cada proceso de enfriamiento, calibración y correcta ubicación del sensor	5	7	3	105
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 4	Sistemas empleados para la reducción controlada de la temperatura	Falla en el sistema de elevación de carpas	Retraso en el enfriamiento.	Cuerda de carpas fuera de su posición en la polea.	Mejoramiento del sistema de elevación de carpas y verificación visual	2	10	3	60
		Deterioro de sensores PT100	Deficiente monitoreo de temperaturas de pulpa.	Uso constante	Revisión antes del inicio de cada proceso de enfriamiento, calibración y correcta ubicación del sensor	5	7	3	105
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 5	Sistemas empleados para la reducción controlada de la temperatura	Falla en el sistema de elevación de carpas	Retraso en el enfriamiento.	Cuerda de carpas fuera de su posición en la polea.	Mejoramiento del sistema de elevación de carpas y verificación visual	2	10	3	60
		Deterioro de sensores PT100	Deficiente monitoreo de temperaturas de pulpa.	Uso constante	Revisión antes del inicio de cada proceso de enfriamiento, calibración y correcta ubicación del sensor	5	7	3	105
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 6	Sistemas empleados para la reducción controlada de la temperatura	Falla en el sistema de elevación de carpas	Retraso en el enfriamiento.	Cuerda de carpas fuera de su posición en la polea.	Mejoramiento del sistema de elevación de carpas y verificación visual	2	10	3	60
		Deterioro de sensores PT100	Deficiente monitoreo de temperaturas de pulpa.	Uso constante	Revisión antes del inicio de cada proceso de enfriamiento, calibración y correcta ubicación del sensor	5	7	3	105
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 7	Sistemas empleados para la reducción controlada de la temperatura	Falla en el sistema de elevación de carpas	Retraso en el enfriamiento.	Cuerda de carpas fuera de su posición en la polea.	Mejoramiento del sistema de elevación de carpas y verificación visual	2	10	3	60
		Deterioro de sensores PT100	Deficiente monitoreo de temperaturas de pulpa.	Uso constante	Revisión antes del inicio de cada proceso de enfriamiento, calibración y correcta ubicación del sensor	5	7	3	105

TUNEL DE ENFRIAMIENTO 8	Sistemas empleados para la reducción controlada de la temperatura	Falla en el sistema de elevación de carpas	Retraso en el enfriamiento.	Cuerda de carpas fuera de su posición en la polea.	Mejoramiento del sistema de elevación de carpas y verificación visual	2	1	0	3	60
		Deterioro de sensores PT100	Deficiente monitoreo de temperaturas de pulpa.	Uso constante	Revisión antes del inicio de cada proceso de enfriamiento, calibración y correcta ubicación del sensor	5	7	3	3	105
TUNEL DE ENFRIAMIENTO 9	Sistemas empleados para la reducción controlada de la temperatura	Falla en el sistema de elevación de carpas	Retraso en el enfriamiento.	Cuerda de carpas fuera de su posición en la polea.	Mejoramiento del sistema de elevación de carpas y verificación visual	2	1	0	3	60
		Deterioro de sensores PT100	Deficiente monitoreo de temperaturas de pulpa.	Uso constante	Revisión antes del inicio de cada proceso de enfriamiento, calibración y correcta ubicación del sensor	5	7	3	3	105

Fuente: Elaboración propia

El nuevo índice de prioridad de riesgo nos indica que nuestro grado de urgencia para la intervención de nuestros equipos críticos pasaron a un nivel de riesgo moderado el mismo que seguirá mejorando para próximas evaluaciones.

4.6 Cálculo de la nueva capacidad operativa de túneles de enfriamiento y mejora del tiempo de enfriamiento:

Luego de la inversión que se realizó en los 9 túneles de enfriamiento renovando su sistema de elevación de carpas y la mejora del plan de mantenimiento, se tuvo una mejora en el tiempo de enfriamiento de 5 horas a 4.8 horas.

Para el cálculo de la nueva capacidad operativa se tuvo los siguientes datos:

Tabla 9: Datos de capacidad de operación:

DATOS	CANTIDAD	UNIDADES
Pallets por túnel	24	Unidades
Peso de pallets	1056	kilogramos
Tiempo de enfriamiento	4.8	Horas
Túneles de enfriamiento	9	Unidades

Fuente: Elaboración propia

Luego de mejorar el sistema de elevación de carpas de los 9 túneles se obtuvo un tiempo de enfriamiento de 4.8 horas, por lo que cada túnel se pudo utilizar 5 veces en un periodo de 24 horas. La planta al contar con 9 túneles de enfriamiento operando a su máxima capacidad obtuvo 45 periodos durante todo el día:

- $24 \text{ horas} \div 4.8 \text{ horas} / \text{vez} = 5 \text{ veces}.$

Como cada túnel enfría 24 pallets por cada vez entonces la cantidad de pallets enfriados por día en los 9 túneles es:

- 24 pallets / túnel x 9 túneles = **216** pallets

Y en las 5 veces de ingreso a los túneles se tiene:

- 216 pallets / vez x 5 veces = **1080** pallets

Entonces como dato se tuvo que el peso del pallet es de 1056kg, por lo tanto:

- 1056 kg / pallets x 1080 pallets = 11404.80 kg = 1140.48 toneladas

Por lo tanto, durante un periodo de 24 horas se tuvo una capacidad operativa de **1140.48 toneladas por día** con un tiempo de enfriamiento de 4.8 horas por túnel y con 9 túneles operando a su máxima capacidad operativa. Significando un incremento del 4% con respecto a la operatividad inicial.

4.7 Representación en costo de las mejoras obtenidas con la mejora del sistema de elevación de carpas en túneles de enfriamiento.

Identificados los equipos con menor disponibilidad y confiabilidad, a los cuales se les hizo un análisis de criticidad donde los equipos más críticos eran los túneles de enfriamiento por las fallas en el sistema de elevación de carpas y los evaporadores de cámara 5 por presentar un incorrecto ángulo de inclinación de su drenaje. Se les realizó un análisis modal de fallas y efectos además de hallar su índice de prioridad de riesgos pudiendo determinar los efectos y las causas del fallo y que los controles iniciales eran insuficientes. Como primera respuesta se invierte en mejorar el sistema de elevación de carpas de los túneles de enfriamiento y se corrige inclinación del drenaje de evaporadores de cámara 5 para finalmente mejorar el plan de mantenimiento. La mejora del sistema de elevación de carpas en 9 túneles con 3 evaporadores cada túnel (27 evaporadores en total) obtuvo la siguiente inversión:

Tabla 10: Costos de mejora en sistema de elevación de carpas de túneles.

DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	UNIDADES	TOTAL
Montaje de carpa de lonas, perfiles de aluminio (para evaporadores) remache POP 5/32'' Ø 1/2''	\$4,934.30	27	Conjuntos	\$133,226.10
Montaje de roldanas, tensores, driza, winches manuales	\$621.81	27	Conjuntos	\$16,788.87
SUB TOTAL				\$150,014.97
I.G.V. 18%				\$27,002.69
TOTAL				\$177,017.66

Fuente: Elaboración propia

Se evaluó la rentabilidad de la inversión de \$177017.66 en la mejora del sistema de elevación de carpas en los 9 túneles de enfriamiento por lo que se realizó un análisis del costo de la inversión y la tasa interna de retorno (TIR). Se analizó la rentabilidad en un año y teniendo 26 días hábiles de operación por mes:

Ganancia mensual: 28080 dólares.

Inversión: \$177017.66

Tasa: 15%

Tabla 11: Análisis en un año de la inversión en túneles de frío.

Meses	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Flujo de caja (neto anual)	- \$177,017.66	\$28,080.00	\$56,160.00	\$84,240.00	\$112,320.00	\$140,400.00	\$168,480.00	\$196,560.00	\$224,640.00
Valor actualizado (VA)	- \$177,017.66	\$24,417.39	\$42,465.03	\$55,389.17	\$64,219.32	\$69,803.61	\$72,838.55	\$73,894.18	\$73,435.21
Valor actual neto (VAN)	- \$177,017.66	\$152,600.27	-\$110,135.24	-\$54,746.07	\$9,473.25	\$79,276.87	\$152,115.42	\$226,009.60	\$299,444.82

Meses	9	10	11	12
Flujo de caja (neto anual)	\$252,720.00	\$280,800.00	\$308,880.00	\$336,960.00
Valor actualizado (VA)	\$71,838.80	\$69,409.47	\$66,391.66	\$62,980.23
Valor actual neto (VAN)	\$371,283.61	\$440,693.08	\$507,084.74	\$570,064.98

Fuente: Elaboración propia

VAN: \$570064.98

TIR: 47 %

Índice de retorno: 4.22

La rentabilidad de la inversión se vio reflejada en su TIR de 47% que es mayor que la tasa de interés. Además, se proyecta la recuperación de la inversión en el séptimo mes contando con la máxima operatividad de sus 9 túneles de enfriamiento.

V. DISCUSIÓN

Inicialmente se realizó una evaluación de las condiciones iniciales, en materia de rendimiento de la planta de refrigeración, se calcularon los indicadores de disponibilidad y confiabilidad tomando como referencia los meses de noviembre del 2021 hasta noviembre del 2022. El análisis de criticidad identifico que nos encontrábamos con un alto impacto operacional y con gran número de fallas en el sistema de elevación de carpas y drenaje de evaporados de cámara 5. Al identificar los equipos con alta criticidad se procedió a analizar mediante el análisis modal de fallas y efectos (AMFE) donde los controles no eran los adecuados ya que se enfocaban en disminuir el impacto de la falla y no en solucionar el origen.

De esta forma se orientaron los recursos a mejorar el sistema de elevación de carpas de los 9 túneles de enfriamiento (poleas, cuerdas y pernos) con una inversión de 177017.66 dólares que fue recuperada en el séptimo mes trabajando a su máxima capacidad operativa.

El programa de mantenimiento era insuficiente de garantizar la hermeticidad durante el proceso de enfriamiento ya que los túneles de enfriamiento no contaban con un sistema de elevación de carpas eficiente; el proceso de verificación, ajuste y renovación de componentes del sistema de elevación de carpas era más continua (diaria y/o semanal con alto índice de mantenimientos correctivos) debido a su gran número de fallas por un diseño ineficiente y luego de la inversión en la mejora del sistema elevación de carpas el programa de mantenimiento mejoro de manera significativa a inspecciones visuales diarias y ajustes semanales (mantenimientos preventivos) reflejándose en un aumento de 99% en indicador de confiabilidad. Además, al corregir la inclinación en drenajes de evaporadores se eliminó el problema de congelamiento reflejándose en un mantenimiento preventivo de inspecciones visuales y en el aumento de un 4% en su indicador de disponibilidad y un 10% en su indicador de confiabilidad.

Como sustento de la evaluación de la mejora se disminuyó el tiempo de enfriamiento en túneles de 5 horas a 4.8 horas al garantizar la hermeticidad en los túneles de enfriamiento, obteniendo una ganancia mensual de 28080 dólares

operando a su máxima capacidad. En este contexto la investigación ayudo a identificar y elegir la mayor oportunidad de mejora que beneficie a la empresa.

Como principal aporte se ha establecido la facilidad de realizar mejoras en los equipos críticos del sistema de refrigeración como es mejorar los componentes del sistema de carpas (poleas, cuerdas y pernos) y corrección de pendiente en drenajes de evaporadores.

Como debilidad se podría considerar mejorar los tiempos de estudio, por lo que es necesario una evaluación general y su impacto a largo plazo luego de la implementación física del plan de mantenimiento que se propuso.

Respecto a la investigación de (Julio Edwin Amaya gamarra, 2021) donde realiza un plan de mantenimiento del sistema de refrigeración, para mejorar el tiempo de enfriado de los hidrocólers en una empresa agroindustrial, se ha tenido en cuenta la evaluación del estado de los equipos utilizando métodos de análisis modal de fallas y efectos (AMFE), a análisis de criticidad para determinar el índice de prioridad (IPR) para definir los parámetros iniciales sin embargo en la presente investigación se proyecta que luego de encontrar los datos iniciales definir un versus del antes y después de los equipos de planta. Y destacando la mejora de la nueva capacidad operativa luego de la implementación del plan de mantenimiento disminuyendo de 5 horas hasta 4.8 horas.

En contrastación el estudio de diseño de un sistema de mantenimiento a una planta enfriadora refrigerada por aire, aplicada a la industria de la climatización elaborado por Fernando Galindo Mauricio (Lima, 2018) realiza una investigación en respuesta a la necesidad del diseño de un plan de mantenimiento ya que donde trabaja no cuenta con uno, en cambio en la presente investigación se busca mejorar los indicadores MTBF, MTTR, disponibilidad y confiabilidad. Empezando la implementación de mejoras a partir de la situación actual de la empresa donde se identificó que el mayor porcentaje de equipos críticos están en los túneles de frío y que sus controles iniciales no eran los correctos ya que se enfocaban en soluciones esporádicas.

Por otro lado, Juan David Mendoza Poveda y Juan David Montañez Bohorquez en el año 2020 en Bogotá elaboraron un plan de mantenimiento interactivo, para

sistemas de refrigeración comercial de media y baja temperatura donde su principal objetivo es identificar y analizar las deficiencias del proceso de mantenimiento actual y como segundo objetivo se propuso disminuir las paradas no programadas de los equipos para evitar pérdidas económicas y costos adicionales a los mantenimientos. Donde los equipos más críticos del sistema son los compresores, evaporadores, tuberías, válvulas de expansión y sistemas de control ya que si alguno de estos componentes detuviera sus funciones se sufriría un paro total del sistema por tratarse de un ciclo cerrado. En comparación con la presente investigación donde los equipos más críticos están en los túneles de frío, válvulas moduladoras, condensadores evaporativos y el drenaje de los evaporados ya que es donde se acumulan el mayor número de fallas y de tiempo de paradas. Comprometiendo sus indicadores. Finalmente Alberto Eduardo Perez Macias (Colombia, 2022) en su investigación referido al desarrollo de una política de RCM para los sistemas de frío alimentario del sector retail tiene como objetivos minimizar el impacto de las fallas que se pueden presentar en la operación de los equipos de refrigeración debido a antecedentes de baja disponibilidad y alta frecuencia utilizando la metodología RCM, aunque no ha incluido herramientas de apoyo como análisis de criticidad, índice de prioridad de riesgos (IPR) o análisis modal de fallas y efectos (AMFE), las cuales en comparación con la actual investigación nos ayudaron a tener un mejor análisis de los problemas más críticos y sus diferentes controles del sistema de refrigeración.

VI. CONCLUSIONES

1.- Se evaluó el sistema de refrigeración de la planta para tener un alcance real de los indicadores iniciales del sistema donde se determinó que los indicadores de la planta tienen una disponibilidad mínima de 95.10%, confiabilidad mínima de 0.35% y capacidad operativa inicial la cual fue de 1094.8606 toneladas por día con un tiempo de enfriamiento de 5 horas por túnel.

2.- De acuerdo con el análisis de criticidad realizado para las fallas de los 28 equipos de refrigeración más representativos del sistema y utilizando los 5 criterios de la matriz correspondiente: frecuencia de fallas, impacto operacional, flexibilidad operacional, costo de mantenimiento, impacto de seguridad y medio ambiente se concluyó con 10 equipos con alta criticidad, 5 mediamente críticos y 13 con baja criticidad, identificadas en la tabla correspondiente.

Se consideró adicionalmente la evaluación AMFE y cálculo del IPR de los equipos de refrigeración de los cuales 10 modos de fallas presentaron riesgo de fallo alto su resultado de IPR estuvo entre 500 – 1000, 9 modos de falla tuvieron como resultado riesgo de fallo medio (entre 125 – 499) y un modo de fallo bajo (entre 1 y 124).

3.- El análisis realizado nos permitió identificar de las fallas; sus modos, el efecto que tenían, las causas y posterior a eso adoptar medidas de control mejorando las evaluaciones visuales, verificación de correcta inyección de químicos anti-algas y desincrustante, revisión de estado de drenajes de evaporadores, lubricación de rodamientos de ventiladores en condensadores y el cambio de poleas y revisión de cuerdas en el sistema de elevación de carpas en túneles de enfriamiento y la capacitación al personal sobre parámetros de producción. Finalmente elaborar el plan de mantenimiento

La implementación de este nuevo programa de mantenimiento permitió mejorar los tiempos de enfriamiento evitando las fallas imprevistas antes, durante y después de cada operación, mejorando los tiempos muertos de enfriamiento por falla de equipo reduciendo la frecuencia de los mantenimientos correctivos. Además de un aumento del indicador de confiabilidad en un 99% en túneles de enfriamiento. Finalmente, al corregir la inclinación en drenajes de evaporadores se eliminó el

problema de congelamiento reflejándose en el aumento de un 4% en su indicador de disponibilidad y un 10% en su indicador de confiabilidad.

Además, el análisis modal de fallas y efectos final nos ayudó a cuantificar las mejoras y correcciones realizadas en los equipos críticos, donde se reflejó una disminución en el índice de prioridad de los cuales no se presentó riesgo de fallo alto, 9 modos de falla tuvieron como resultado riesgo de fallo medio (entre 125 – 499) y 11 modo de fallo bajo (entre 1 y 124). También, el nuevo índice de prioridad de riesgo nos indicó que nuestro grado de urgencia para la intervención de nuestros equipos críticos ya no se encuentran en un riesgo de fallo alto por lo que el análisis que se realizó al plan de mantenimiento y las mejores realizadas tuvieron un impacto positivo en el sistema de enfriamiento.

4.-Al tener claro los equipos más críticos y mejorando los controles de las fallas se obtuvo la nueva capacidad operativa de los túneles de enfriamiento la cual aumento hasta 1140.48 ya que se disminuyó el tiempo de enfriamiento en 4.8 horas.

5.- Al disminuir el tiempo de enfriamiento de 5 horas a 4.8 horas se mejoró la capacidad operativa de los túneles de enfriamiento significando un incremento del 4% con respecto a la operatividad inicial. Además, de la inversión de \$177017.66 en los túneles de enfriamiento se obtuvo una tasa interna de retorno del 47% y a partir del séptimo mes se proyecta comenzar a tener ganancias para la empresa operando los 9 túneles de enfriamiento a su máxima capacidad.

VII. RECOMENDACIONES

La efectividad a largo plazo del nuevo programa de mantenimiento implementado en el área y teniendo en cuenta la curva de aprendizaje de los colaboradores se deberá plantear un programa de capacitaciones en las definiciones e interpretaciones de los principales indicadores de mantenimiento como son disponibilidad, confiabilidad, tiempo medio entre fallos (MTBF) y tiempo medio de reparación (MTTR). Además, de las herramientas de apoyo como son: Matriz de criticidad, análisis de modos y efectos de fallas (AMFE) e índice de prioridad de riesgos (IPR). De esa manera podrán reconocer los puntos críticos de los activos dentro del sistema de refrigeración y así establecer programas de mejoras continuas para tener una mejor gestión del sistema.

Se recomienda inspeccionar y hacer el seguimiento continuo de los indicadores de mantenimiento y que se mantenga un porcentaje mayor al 90%. El cual afianza la eficiencia y eficacia del sistema de refrigeración que garantiza el adecuado ciclo de frío de la fruta.

Se recomienda extender esta metodología a los demás sistemas de la planta una vez afianzado el conocimiento y la metodología, manteniendo el porcentaje de disponibilidad y confiabilidad mayor al 90% para así tener una información base donde los demás sistemas se pueden guiar.

REFERENCIAS

- A. Kelly, M. Harris (1998) *Gestión del mantenimiento industrial*. Fundación Repsol publicaciones.
- Alarcón J. (2022) *Predictiva como herramienta de confiabilidad*. Consultado el 1 de octubre del 2022.
- Amaya J. (2021) *Plan de mantenimiento del sistema de refrigeración, para mejorar el tiempo de enfriado de los hidrocólers en una empresa agroindustrial de la región*. Consultado el 31 de octubre del 2022. <https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/91294/Amaya>
- Arias F., Pedraza I. (2017) *Diseño de una propuesta de mantenimiento para los equipos del sistema de climatización del instituto nacional de metrología basado en la metodología RCM*. Consultado el 4 de octubre del 2022. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/6080/AriasP%E1ezFranciLorena2017.pdf;jsessionid=7FCD912C2513C5E16F3A6194607D3336?sequence=1>.
- Bestraten M. (2004) Ministerio de trabajo y asuntos sociales España, análisis modal de fallos y efectos, consultado el 08 de marzo del 2023.
- Bravo F., Cuevas J., (s/f) *Actualización a plan de mantención para la refrigeración industrial*. Consultado el 31 de octubre del 2022.
- BSI (2019) *Indicadores clave de rendimiento de mantenimiento (BS-EN 15341)*. <https://es.scribd.com/document/516517763/BS-en-15341-2019-Maintenance-Key-Performance-Indicators>.
- Cabrera L. (2017) *Diseñar e implementar aplicación para el mantenimiento total productivo a los equipos de aire acondicionado de la E.S.E Carmen Emilia Ospina prestadora de servicios en salud*. Consultado el 31 de octubre del 2022.
- Campos O. (2019) *Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos*. Consultado el 4 de octubre del 2022. <https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/>
- Consultado el 31 de octubre del 2022.
- Cortes A., Valbuena J. (septiembre 2020) *Propuesta de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para los equipos de refrigeración del laboratorio de virología del instituto nacional de salud*. Consultado el 4 de noviembre del 2022.

<https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/964/Propuesta%20de%20un%20plan%20de%20mantenimiento%20basada%20en%20la%20metodolog%C3%ADa%20RCM%20para%20los%20equipos%20de%20refrigeraci%C3%B3n%20del%20laboratorio%20de%20virolog%C3%ADa%20del%20Instituto%20Nacional%20de%20Salud.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Eguilas C. (2018) Aplicación del método AMFE en el área de pistoleado para incrementar la productividad de la empresa Industrias Katroc S.A.C. Santa Anita – 2018, Consultado el 09 de marzo del 2023.

Galindo A. (2018) *Diseño de un sistema de mantenimiento a una planta enfriadora (chiller) refrigerada por aire, aplicada en la industria de la climatización.*

Gandur F. (2017) *Adaptación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en un sistema crítico de aire acondicionado de la clínica universitaria bolivariana (CUB).* Consultado el 4 de noviembre del 2022. <https://1library.co/document/y6jgw65q-adaptacion-metodologia-mantenimiento-centrado-confiabilidad-acondicionado-universitaria-bolivariana.html>.

García, S (2003) *Organización y gestión integral de mantenimiento.* Diaz de santos. HSG (2006) Desarrollo de indicadores de seguridad de procesos (HSG – 254).

<https://www.hse.gov.uk/pUbns/priced/hsg254.pdf>.

https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/18466/10/MoncadaJuliana_2021_OsolescenciaEquiposBiomedicos.pdf

https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/9666/Galindo_mf.pdf?sequence=3&isAllowed=y.

<https://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14095/1207/Huayta>

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/27263/Elias_RCA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/48750/3560901528834UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20500.11839/8155/1/4142838>

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/13470/12122437.pdf>

<https://www.armsreliability.com/page/servicios/nuestros-servicios/gestion-de-estrategia-de-activos>.

https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp_679.pdf/3f2a81e3-531c-4daa-bfc2-2abd3aaba4ba

Huayta T. (2021) Metodología 5S y AMFE para mejorar los procesos de almacén en la empresa SEGURFILM E.I.R.L., Lima, 2020. Consultado 07 de marzo del

ISO (septiembre, 2016) *Recopilación e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos* (14224).
<https://www.iso.org/standard/64076.html>.

Kardec A., Nascif J., (2002) *Mantenimiento: función estratégica*. Quality market.

Llorente j. (2016) *Gestión de calidad*, consultado el 08 de marzo del 2023.
<http://gestion-calidad.com/wp-content/uploads/2016/09/AMFE.pdf>.

Marcombo.

Mendoza D., Montañez D. (2020) *Elaboración de un plan de mantenimiento interactivo, para sistemas de refrigeración comercial de media y baja temperatura, instalados por la empresa Diac ingeniería S.A.S. Bogotá – Colombia*.

Moncada J. (2021) *Diseño del índice de criticidad para la matriz de obsolescencia de equipos biomédicos de la clínica clofan*. Consultado el 07 de marzo del 2023.

Mora R. (27 de febrero del 2014) *Mantenimiento RCM del sistema de refrigeración del motor diesel de un buque*. Consultado el 4 de noviembre del 2022.
https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/22647/PFC_raul_mora_cespedes

Navarro. L., Pastor A., Mugaburu J, (1997) *Gestión integral de mantenimiento*.
Nunura L. (2018) *Plan de mantenimiento autónomo para mejorar la disponibilidad del sistema de refrigeración industrial de la empresa Laive S.A., Ate vitarte, 2018*. Consultado el 1 de noviembre del 2022.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/36173/Nunura>

ONUDI (noviembre 2020) *Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y climatización*. Consultado el 1 de noviembre del 2022.
<https://ozono.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/03/Manual-Buenas-Practicas-Refrigeracion-y-Climatizacion.pdf>.

Pardo A. (2017) *Estudio de un sistema de refrigeración por compresión de vapor aplicado a la industria agroalimentaria*. Consultado el 31 de octubre del 2022.
https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2991/IME_219.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

R2M (s/f) *Confiabilidad integral un enfoque practico*. Consultado el 3 de octubre del 2022. <http://r2menlinea.com/w7/enrol/index.php?id=35>.

R2M, (2016) *Metodologías de confiabilidad*, consultado el 05 de marzo del 2023

- <https://carec.com.pe/biblioteca/biblio/4/81/Lectura.%20MV%20AC-MCC.pdf>
- Ramirez J. (2017) Elaboración de un análisis de criticidad y disponibilidad para la atracción x-treme del parque mundo aventura, tomando como referencia las normas, SAE JA1011 y SAE JA1012. Consultado el 07 de marzo del 2023. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/7854/MorenoRobayolHugo;jsessionid=DD520603C2A892427492D542B8F994E0?sequence>
- Reaño L. (2019) Propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad en una empresa reprocesadora de subproductos de arroz para minimizar el número de averías. Consultado el 10 de marzo del 2023. https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2058/Leonardo%20Rea%C3%B1o_Tesis_Titulo%20Profesional_2019.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Rendon, F. (2014) *Procedimientos de mantenimiento para sistemas de refrigeración en cuartos de fríos*. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/35a2f075-de88-430a-b89d-259336a48242/content>.
- Rojas L. (2019) Implementación de análisis modal de fallos y efectos. Consultado el 09 de marzo del 2023. https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2019/03/ART.-4-TECNO-Ed.-29_Vol.-8_n%C2%BA-1-1.pdf
- Rudas L. (2017) Modelo de gestión de riesgos para proyectos de desarrollo tecnológico. Consultado el 09 de marzo del 2023. <https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/86/1/RudasTayoLeidyP%20MDGPI%202017.pdf>
- SAE (1999) *Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad* (JA 1011). https://www.sae.org/standards/content/ja1011_199908/.
- SAE (2002) *Guía para la norma de mantenimiento centrado en la confiabilidad* (JA 1012). https://www.sae.org/standards/content/ja1012_201108/.
- SAE (2021) *Análisis de modo y efectos de falla potencial (FMEA) que incluye FMEA de diseño, FMEA-MSR suplementario y FMEA de proceso* (SAE J1739). https://www.sae.org/standards/content/j1739_202101/.
- Saldarriaga J. (2022) *Desarrollo de una política de RCM para los sistemas de frío*

alimentario del sector retail. Consultado el 31 de octubre del 2022.
https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/29466/4/PerezAlberto_2022_RCMRefrigeracionRetail.pdf.

SMRP (2020) *SMRP Mejores prácticas*. 6ta edición. Consultado el 4 de noviembre del 2022. <https://smrp.org/Certification/Certification-Recertification-Process/Study-Materials>.

Sotuyo, S (25 de octubre del 2022) *ASM – Gestión de estrategias de activos*. Consultado 31 de octubre 2022.

Tractian, (2022) *Mantenimiento Preventivo*, consultado el 27 de octubre del 2022.
<https://tractian.com/es/guias/mantenimiento-preventivo#forms>

ANEXOS

Anexo 1: Operacionalización de variables.

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	UNIDADES	ESCALA DE MEDICION
Independiente: Plan de mantenimiento sistema de refrigeración actual.	Conjunto de intervenciones que se realizan en los equipos o activos, basados en protocolos de mantenimientos con la finalidad de cumplir con los objetivos de disponibilidad, confiabilidad.	Actividades desarrolladas para realizar de forma sistemática y preestablecida definiendo las labores basándose en los catálogos de los fabricantes y en las experiencias de los trabajadores, garantizando un servicio eficaz. (Newbrough, 1988)	MTBF (tiempo medio entre fallas)	HORAS	Cuantitativa de razón.
			MTTR (tiempo medio de reparación).	HORAS	
			Disponibilidad.	%	
			Confiabilidad	%	
Dependiente: Eficiencia del sistema de refrigeración	Conjunto de actividades que realizan o cumplen determinados equipos de manera satisfactoria.	Medición de la capacidad para analizar el recurso utilizado sobre el recurso disponible en un determinado equipo.	Disponibilidad.	%	Cuantitativa de razón.
			Confiabilidad	%	
			Tiempo de enfriamiento	HORAS	

Anexo 2: Frecuencia de falla.

FRECUENCIA DE FALLA	
1	menor o igual a 1 falla al año.
2	de 2 a 5 fallas al año.
3	de 6 a 9 fallas al año.
4	mayor o igual a 10 fallas al año.

Anexo 3: Matriz de criticidad con nivel de clasificación de riesgos.

FRECUENCIA	4	MC	MC	AC	AC	AC	Criticidad baja	
	3	MC	MC	MC	AC	AC	Criticidad media	
	2	BC	BC	MC	AC	AC	Criticidad Alta	
	1	BC	BC	BC	MC	AC		
		10	20	30	40	50		
		CONSECUENCIA						

Anexo 4: Puntaje IPR.

PRIORIDAD	NIVEL IPR	CODIGO
Riesgo de fallo ALTO	500 - 1000	
Riesgo de fallo MEDIO	125 - 499	
Riesgo de fallo BAJO	1 - 124	

Anexo 5: Parámetros de severidad.

NIVEL	EFEECTO	SEVERIDAD DEL DAÑO
10	Peligroso (Sin aviso)	Puede poner en peligro al operador, afecta la seguridad de la operación y/o involucra no conformidades, la falla se presenta SIN AVISO
9	Peligroso (Con aviso)	Puede poner en peligro al operador, afecta la seguridad de la operación y/o involucra no conformidades, la falla se presenta CON AVISO
8	Muy alto	Interrupción total, productos o servicios NO conformes, inoperables, clientes muy molestos e insatisfechos
7	Alto	interrupción menor, buena parte de los productos y servicios NO conformes, clientes inconformes
6	Moderado	interrupción menor, productos y servicios con imperfecciones, algunos clientes inconformes
5	Bajo	interrupción menor, algunos productos o servicios defectuosos, algunos clientes con insatisfacción
4	Muy bajo	interrupción menor, devolución de productos y servicios, defectos percibidos por producción.
3	Pequeño	interrupción menor, productos y servicios reprocesados, defectos de baja incidencia.
2	Muy pequeño	interrupción mínima, defectos de productos o servicios imperceptibles, detectados exclusivamente por expertos.
1	Ninguno	Productos y servicios conformes, clientes satisfechos

Anexo 6: Parámetros de ocurrencia.

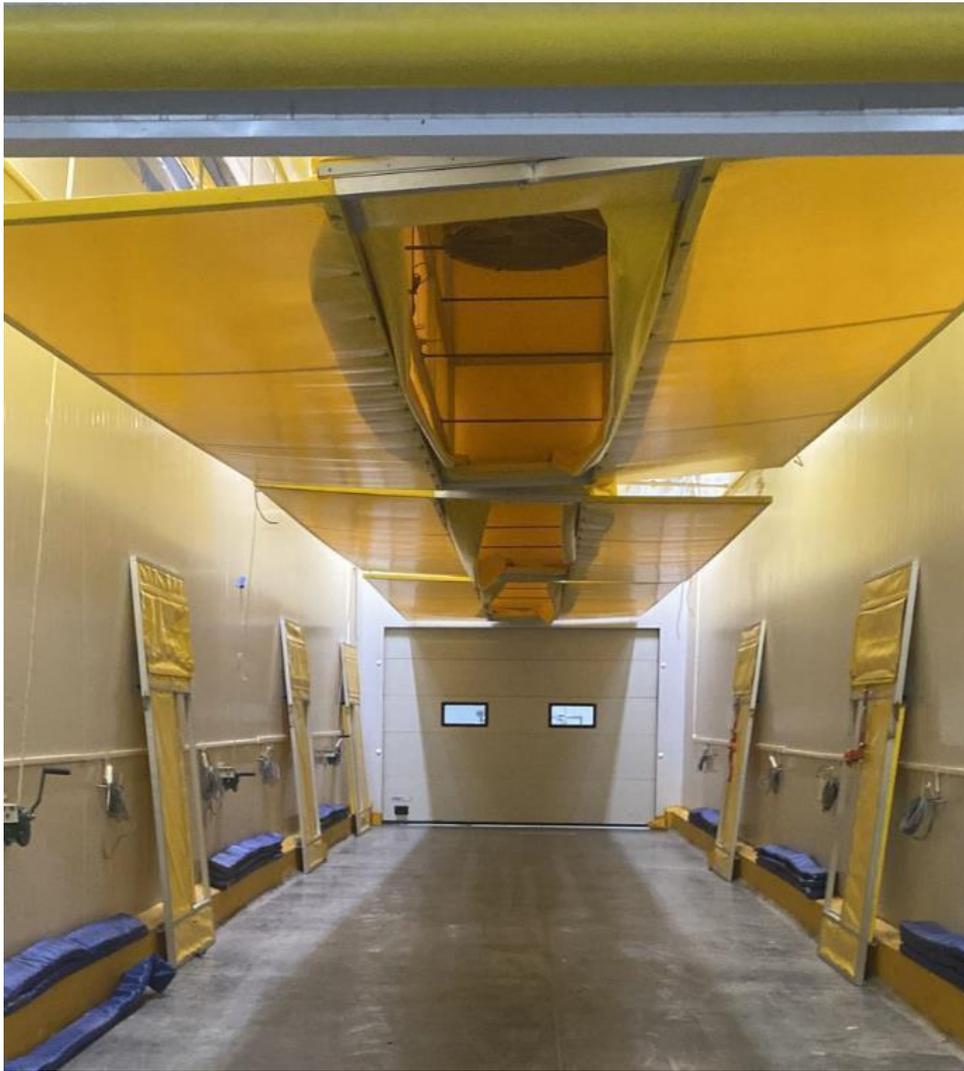
NIVEL	OCURRENCIA DE LA FALLA	CONCEPTO
10	Extremadamente alta	Certeza casi absoluta de falla
9	Muy alta	Falla casi inevitable
8	Alta	Asociada con procesos similares
7	Recurrente	Sucesos de fallas frecuentes
6	Moderada	Asociada con procesos previos
5	Ocasional	Es típico presentar fallas
4	Esporádica	De vez en cuando hay fallas

3	Baja	Fallas excepcionales
2	Muy baja	Fallas muy aisladas e imperceptibles
1	Remota	Es improbable que haya falla.

Anexo 7: Parámetros de detección.

NIVEL	CAPACIDAD DE DETECCION	DETECCION DE FALLAS O DESVIACIONES
10	Improbable	Controles detectan menos del 40% de las fallas
9	Muy remota	Controles detectan el 40% de las fallas
8	Remota	Controles detectan el 50% de las fallas
7	Muy baja	Controles detectan el 60% de las fallas
6	Baja	Controles detectan el 70% de las fallas
5	Moderada	Controles detectan el 80% de las fallas
4	Moderada alta	Controles detectan el 85% de las fallas
3	Alta	Controles detectan el 90% de las fallas
2	Muy alta	Controles detectan el 95% de las fallas
1	Casi seguro	Controles detectan el 99.5% de las fallas

Anexo 8: Sistema de elevación de carpas de túneles.



Anexo 9: Compresor monotornillo.



Anexo 10: Sistema de control (SCADA).



Anexo 11: Autorización de uso de información de empresa.

AUTORIZACIÓN DE USO DE INFORMACIÓN DE EMPRESA

Yo JENYFER ISABEL AGURTO ACUÑA
(Nombre del representante legal o persona facultada en escritura o con DNI)
identificado con DNI 46984760, en mi calidad de JEEFA DE PROYECTOS
(Nombre del cargo del representante legal o persona facultada en escritura o con DNI)
del área de PROYECTOS
de la empresa AGRICOLA CERRO PRIETO
(Nombre de la empresa)
con R.U.C N° 20461642706, ubicada en la ciudad de PALANCA - LA LIBERTAD

OTORGO LA AUTORIZACIÓN,

Al señor(a, ña.) CRISTIAN MIGUEL NICOLA PUYÓN
(Identificar con nombre y apellido)
Identificado(s) con DNI N° 47533589, de la () Carrera profesional de Ingeniería Mecánica eléctrica, para que utilice la siguiente información de la empresa:
ARCHIVOS DE CONTROL, CABLES, LIST., HOJAS DE CONTROL DE EQUIPOS, y fotos). Datos de sistemas de monitoreo (S.C.A.A)
(Indicar la información a entregar)

con la finalidad de que pueda desarrollar su () Informe estadístico, () Trabajo de Investigación, (x) Tesis para optar el Título Profesional.

() Publique los resultados de la investigación en el repositorio institucional de la UCV.

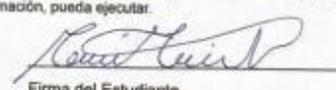
Indicar si el Representante que autoriza la información de la empresa, solicita mantener el nombre o cualquier distintivo de la empresa en reserva, marcando con una "X" la opción seleccionada.

(x) Mantener en reserva el nombre o cualquier distintivo de la empresa; o
() Mencionar el nombre de la empresa.


Jenyfer Agurto Acuña
Jefa de Proyectos
ACP Agrícola Cerro Prieto S.A.

Firma y sello del Representante Legal
DNI: 46984760

El Estudiante declara que los datos emitidos en esta carta y en el Trabajo de Investigación, en la Tesis son auténticos. En caso de comprobarse la falsedad de datos, el Estudiante será sometido al inicio del procedimiento disciplinario correspondiente; asimismo, asumirá toda la responsabilidad ante posibles acciones legales que la empresa, otorgante de información, pueda ejecutar.


Firma del Estudiante
DNI: 47533589

Firma del Estudiante
DNI:



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, ZVALETA ZVALETA HEBER AUGUSTO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis titulada: "Evaluación de sistema de frio en planta procesadora para mejorar la eficiencia y costos en base al plan de mantenimiento

", cuyo autor es NICOLA PUYEN CRISTIAN MIGUEL, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 24.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

CHICLAYO, 12 de Febrero del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
ZVALETA ZVALETA HEBER AUGUSTO DNI: 17865439 ORCID: 0000-0003-3964-0198	Firmado electrónicamente por: HZVALETAZ el 12- 02-2023 09:15:26

Código documento Trilce: TRI - 0532680