



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO
PREDICTIVO CON BASE EN NORMAS ISO 17359:2011 APLICADO A LOS COMPONENTES
CRÍTICOS DE UN CUARTO FRÍO PARA EMPRESAS EXPORTADORAS DE HORTALIZAS DE
GUATEMALA**

Elfido Marban de León Ramírez

Asesorado por el MSc. Ing. Walter Emilio Ramírez Córdova

Guatemala, noviembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO CON BASE EN NORMAS ISO 17359:2011 APLICADO A LOS COMPONENTES CRÍTICOS DE UN CUARTO FRÍO PARA EMPRESAS EXPORTADORAS DE HORTALIZAS DE GUATEMALA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ELFIDO MARBAN DE LEÓN RAMÍREZ
ASESORADO POR EL MSC. ING. WALTER EMILIO RAMÍREZ CÓRDOVA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Luis Alfredo Asturias Zúñiga
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Víctor Eduardo Izquierdo Palacios
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO CON BASE EN NORMAS ISO 17359:2011 APLICADO A LOS COMPONENTES CRÍTICOS DE UN CUARTO FRÍO PARA EMPRESAS EXPORTADORAS DE HORTALIZAS DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 21 de septiembre de 2021.



Elfidio Marban de León Ramírez

Ref. EEPFI-1390-2021
Guatemala, 21 de septiembre de 2021

Director
Gilberto Morales Baiza
Escuela de Ingeniería Mecánica
Presente.

Estimado Ing. Morales:

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO CON BASE EN NORMAS ISO 17359:2011 APLICADO A LOS COMPONENTES CRÍTICOS DE UN CUARTO FRÍO PARA EMPRESAS EXPORTADORAS DE HORTALIZAS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante **Elfido Marban de León Ramírez** carné número **199911737**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Ingeniería de Mantenimiento.

y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,


Mtro. Walter Emilio Ramírez Córdova
Asesor

Ing. Walter E. Ramírez C.
INGENIERO INDUSTRIAL
COLEGIADO 10,049

"Id y Enseñad a Todos"


Mtra. Rocío Carolina Medina Galindo
Coordinador de Maestría
Ingeniería de Mantenimiento




Mtro. Edgar Darío Álvarez Goti
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIM-13-2021

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO CON BASE EN NORMAS ISO 17359:2011 APLICADO A LOS COMPONENTES CRÍTICOS DE UN CUARTO FRÍO PARA EMPRESAS EXPORTADORAS DE HORTALIZAS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Elfido Marban de León Ramírez**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

A handwritten signature in black ink and a circular official stamp of the University of San Carlos of Guatemala.

Ing. Gilberto Morales Baiza
Director
Escuela de Ingeniería en Mecánica

Guatemala, septiembre de 2021



DTG. 711.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO CON BASE EN NORMAS ISO 17359:2011 APLICADO A LOS COMPONENTES CRÍTICOS DE UN CUARTO FRÍO PARA EMPRESAS EXPORTADORAS DE HORTALIZAS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Elfido Marban de León Ramírez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, noviembre de 2021.

AACE/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser el creador del universo; por guiarme en cada momento de mi vida y por permitirme con su bendición y sabiduría lograr cada meta propuesta.
Mi madre	Maruca Ramírez López; que este triunfo sea parte de la recompensa que merece por todo el sacrificio, apoyo, comprensión e infinito amor en mi vida.
Mi padre	Elfido Waldemar de León Taracena (q.e.p.d.), porque durante el tiempo que tuvimos la dicha de compartir me enseñaste como un buen maestro: con amor y el ejemplo.
Mi hermano	Maynor Josué de León Ramírez (q.e.p.d.); hasta el lugar maravilloso donde te encuentras te agradezco todo lo que compartimos, y espero que disfrutes este logro.
Mis hermanas	Karla y Jéssica de León Ramírez, por estar siempre a mi lado; por ser ejemplo de lucha y sacrificio; por el cariño que me demuestran.
Mis sobrinos	Mynor Emanuel Acevedo de León y Josué Rafael Rompiche de León, por enseñarme con su alegría

que la vida es hermosa; además, que esta meta alcanzada les inspire a superarse.

AGRADECIMIENTOS A:

Guatemala	Bello país donde he tenido la dicha de nacer, crecer y desarrollarme profesionalmente.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudios que permitió mi superación académica.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme el conocimiento necesario para beneficio personal y de nuestro país.
Escuela de Ingeniería Mecánica	Por la experiencia técnica adquirida en el área ingenieril que me apasiona.
Mi familia	Por estar siempre a mi lado y darme ánimo para seguir adelante.
Mis amistades	Por compartir momentos buenos y difíciles a mi lado y brindarme su cariño incondicional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
3.1. Contexto general	7
3.2. Descripción del problema	7
3.3. Formulación del problema	8
3.4. Delimitación del problema	9
4. JUSTIFICACIÓN.....	11
5. OBJETIVOS	13
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN.....	15
7. MARCO TEÓRICO	17
7.1. Mantenimiento predictivo.....	18
7.1.1. Plan de mantenimiento	18
7.1.2. Mantenimiento basado en condición (CBM).....	19

7.1.3.	Intervalo P-F	20
7.1.4.	Ensayos no destructivos	23
7.1.4.1.	Termografía.....	23
7.1.4.2.	Análisis de vibraciones	25
7.1.4.3.	Análisis de aceite	32
7.1.4.4.	Inspección VOSO.....	33
7.2.	Norma ISO 17359:2011	34
7.2.1.	Análisis beneficio-costo	36
7.2.2.	Auditoría de equipos.....	36
7.2.3.	Auditoría de confiabilidad y criticidad.....	37
7.2.4.	Selección apropiada de estrategias de mantenimiento	37
7.2.5.	Selección del método de monitoreo	38
7.2.6.	Adquisición de datos de análisis.....	38
7.2.7.	Determinar acciones de mantenimiento.....	38
7.2.8.	Revisión y medir la efectividad	39
7.3.	Criticidad.....	39
7.3.1.	Técnicas de jerarquización de activos según la criticidad	40
7.3.1.1.	Análisis de Pareto	40
7.3.1.2.	Número de prioridad de riesgo (NPR).....	40
7.3.2.	Análisis de modos de fallas y de los efectos (FMEA o AMEF)	44
7.4.	Cuartos fríos	45
7.4.1.	Refrigeración	46
7.4.2.	Elementos mecánicos de un sistema de refrigeración	46
7.4.2.1.	Compresor.....	47

7.4.2.2.	Condensador	49
7.4.2.3.	Evaporador	49
7.4.2.4.	Válvula de expansión termostática	50
7.4.3.	Elementos eléctricos de un sistema de refrigeración	51
7.5.	Empresas exportadoras de hortalizas	51
7.5.1.	Historia de exportación	52
7.5.2.	Exportación de hortalizas de Guatemala.....	53
7.5.3.	Cadena de frío	55
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO.....	57
9.	METODOLOGÍA	61
9.1.	Características del estudio	61
9.2.	Unidad de análisis	62
9.3.	Variables	62
9.4.	Fases del estudio	63
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	67
11.	CRONOGRAMA	69
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	71
13.	REFERENCIAS	73
14.	APÉNDICES.....	85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de solución.....	16
2.	Intervalo P-F.....	21
3.	Intervalo P-F neto.....	22
4.	Técnicas de monitoreo en la curva P-F.....	22
5.	Clasificación del espectro de radiación.....	23
6.	Cámara de termografía.....	24
7.	Comparación del dominio del tiempo y la frecuencia	26
8.	Tipos de falla de alineamiento.....	28
9.	Acoplamiento de motor y bomba.....	29
10.	Aceptación de niveles de vibración según ISO 2372.....	31
11.	Aceptación de niveles de vibración según ISO 10816.....	31
12.	Procedimiento de monitoreo de condición.....	35
13.	Flujograma de implementación de la técnica FMEA.....	45
14.	Ciclo compresor de refrigeración	47
15.	Compresor hermético y semihermético	48
16.	Condensador con ventilación forzada.....	49
17.	Evaporador con ventilación forzada	50
18.	Válvula de expansión termostática	51
19.	Eslabones de la cadena de producción de hortalizas de exportación no tradicionales	53

TABLAS

I.	Historia y evaluación del mantenimiento	17
II.	Sistemas de aceptación eléctricos	25
III.	Comparación entre ISO 2372 e ISO 10816	30
IV.	Cuantificación de valores para determinar el impacto de equipos y sistemas productivos	41
V.	Cuantificación de la frecuencia de fallos en equipos y sistema productivo.....	42
VI.	Cuantificación de valores D para detectar la desviación no deseada en equipos y sistemas productivos	43
VII.	Valor NPR	44
VIII.	Operacionalización de las variables	62
IX.	Cronograma de actividades.....	69
X.	Presupuesto de la investigación	72

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Hz	Hertz
KW	Kilowatt
>	Mayor que
<	Menor que
m/s	Metro por segundo
rpm	Revoluciones por minuto

GLOSARIO

Cadena de frío	Conjunto de normas y procedimientos que aseguran el correcto almacenamiento y distribución de vacunas a los servicios de salud desde el nivel nacional hasta el nivel local.
Confiabilidad	Característica de una prueba si se aplica en condiciones estándar, y en sujetos similares a aquellos con los que se estableció la muestra normativa.
Indicador	Instrumento que provee información de una determinada condición o el logro de una cierta situación, actividad o resultado.
ISO 17359:2011	Norma que establece las directrices para los procedimientos generales que se deben considerar al establecer un programa de monitorización de condición de máquinas. Esta norma incluye referencias a estándares asociados requeridos en este proceso aplicable a máquinas de cualquier tipo.
Mantenimiento predictivo	Es el enfoque proactivo que, basándose en un conjunto de técnicas que se apoyan en la

tecnología, identifica patrones y tendencias en el sistema productivo de cada uno de sus componentes.

Monitoreo

Es el proceso sistemático de recolectar, analizar y utilizar información para hacer seguimiento al progreso de un programa en pos de la consecución de sus objetivos, y para guiar las decisiones de gestión

RESUMEN

Cuando se hace referencia al mantenimiento de inmediato se piensa en el enfoque correctivo. Esta es la estrategia más funcional. La siguiente etapa del mantenimiento, que probablemente sea necesario consolidar en muchas empresas es el mantenimiento predictivo, y es en esta estrategia donde probablemente se dé un estancamiento que impide el avance dentro de la empresa en relación con el alcance de las metas; aunque se debe trabajar para obtener un nivel de gestión más integral.

El mantenimiento predictivo está empezando a aplicarse en muchas empresas; en algunas con poca o ninguna planificación y solamente en muy pocas, existe el mantenimiento predictivo incluido en su modelo de gestión.

El presente trabajo consiste en un plan de mantenimiento predictivo con base en normas ISO 17359:2011, aplicado a los componentes críticos de un cuarto frío para empresas exportadoras de hortalizas de Guatemala, con base en un monitoreo de condición que utilice normas internacionales.

1. INTRODUCCIÓN

El mantenimiento predictivo o monitoreo por condición es una innovación para la gestión de mantenimiento en la industria exportadora guatemalteca; normalmente los equipos de refrigeración de los cuartos fríos mantienen planes de mantenimiento preventivo; sin embargo, existe incerteza en la operación interna de los equipos y ocurren fallos inesperados. Cabe considerar, por otra parte, que la investigación además de ser innovadora es una sistematización en la aplicación de mantenimiento predictivo al equipo de refrigeración, debido a que se deben planificar los pasos y definir los lineamientos para el mantenimiento.

Debido a que no se cuenta con un plan de mantenimiento predictivo o por monitoreo de condición para los componentes críticos de un cuarto frío en el área de producto terminado de una empresa exportadora, es difícil identificar los elementos próximos a fallar. Por lo anterior se planteó el objetivo de diseñar un plan de mantenimiento con base en normas ISO 17359:2011, aplicado a los componentes críticos de un cuarto frío para empresas exportadoras de hortalizas.

La importancia de la investigación radica en proponer cambios adecuados para mejorar las condiciones de operación y mantenimiento de los equipos de refrigeración, y evitar en lo posible fallos imprevistos que afecten la disponibilidad de estos. El beneficio esperado con el plan de mantenimiento es mejorar la disponibilidad y la vida útil de los equipos de refrigeración de la planta exportadora de hortalizas; además, podría ser aplicable a otras áreas de la industria guatemalteca que se dediquen a la conservación de productos perecederos en cuartos refrigerados.

El esquema de solución plantea y resume las etapas que se ensayarán en el proceso de investigación; así mismo en la resolución de la problemática. La recopilación y análisis de información, trabajo de campo y desarrollo de solución, constituyen, a grandes rasgos, el procedimiento a implementar.

El primer capítulo inicia con el planteamiento de la problemática, la revisión bibliográfica y aprobación de protocolo; el segundo incluye la recolección de información, datos históricos, entrevistas y análisis de componentes. En el capítulo tercero se presenta el análisis e interpretación de información y trabajo de campo para la selección de estrategias de mantenimiento. En el cuarto capítulo se presenta la propuesta; al tener los resultados del monitoreo de condición de los componentes críticos, se contará con los criterios de alerta, los indicadores y la propuesta del plan de mantenimiento predictivo que mejore la disponibilidad de los equipos de refrigeración.

2. ANTECEDENTES

Los planes de mantenimiento preventivo orientados hacia la efectividad en las empresas han sido considerados con anterioridad; se dan a conocer los más relevantes.

Padrón (2020), en el trabajo de graduación: Propuesta de mejora del plan de mantenimiento del molino vertical de carbón de la industria cementera UCEM, planta Guapán, busca como objetivo mejorar el mantenimiento preventivo a los elementos críticos, mediante la identificación de indicios de defectos en fase inicial. El procedimiento metodológico utilizado en el estudio es cuantitativo descriptivo, emplea técnicas de mantenimiento basadas en condición (por sus siglas en inglés BCM) y reglas de la norma internacional para monitoreo de máquinas, además se establece el análisis de criticidad al molino y los componentes; por otro lado, se establece un análisis de modo de falla, efecto y criticidad (AMFEC).

La evaluación durante un año de actividad establece realmente que la fiabilidad era inferior al 60 % en las 500 horas iniciales de actividad. La sugerencia fundamental en el monitoreo es determinar la frecuencia de la adquisición de parámetros predictivos.

Según Estrada (2020), en el estudio titulado: Diseño de un plan de mantenimiento predictivo aplicado a los compresores de aire para la fábrica de pisos, azulejos y fachaletas cerámicas de Samboro, S. A. basado en la norma ISO 17359, busca desarrollar una estrategia que aumente la calidad en la

operación de los compresores, al mismo tiempo seguir los lineamientos empleados por normas ISO para su mantenimiento.

El diseño utilizado es no experimental, con un enfoque del estudio mixto y alcance descriptivo; además, el análisis en los cambios de las variables propuestas fue realizado de manera gráfica. Se determinó que, tras poner en práctica métodos predictivos, se amplía el tiempo de sustitución de repuestos. Se recomienda la utilización de los resultados como apoyo en la inclusión de tareas predictivas en otras máquinas, dado que se redujo el consumo energético en \$USD 2,720 por año.

Orellana (2019), en el proyecto de investigación: Desarrollo de una estrategia de mantenimiento, basado en técnicas no destructivas y la norma ISO 17359 para la línea de producción número 1 de la planta de jabones de lavandería, pretendía elevar la disponibilidad de los equipos en estudio, asimismo tecnificarse con ensayos predictivos.

La metodología del estudio incorpora factores cualitativos y cuantitativos; por tal motivo el enfoque utilizado es mixto. El diseño propuesto es no experimental, dado que solo se examinó la maquinaria en funcionamiento. Por último, el alcance del estudio es descriptivo; además, es transversal por su evolución en el tiempo.

Las órdenes utilizadas para realizar las tareas de mantenimiento se modernizaron, gracias a que se incluyeron los ensayos con técnicas predictivas. La evaluación de los datos obtenidos en el histórico de fallos determinó las tareas de monitoreo que se deben emplear; por otra parte, el análisis demostró que el 35 % de las máquinas necesitaban mantenimiento.

Para Salazar (2019), el equipo utilizado para la elaboración de hielo es imprescindible; por consiguiente, se realizó el estudio para la mejora de disponibilidad. El desarrollo metodológico presenta un enfoque descriptivo que determina la tendencia de las fallas, el efecto y criticidad; también utiliza el diseño preexperimental que relaciona la variable dependiente con la independiente.

Como resultado se logró determinar que la disponibilidad del equipo compresor mejoró de un 77 % a 98 %, al aplicar las tareas planteadas en el programa del mantenimiento, centrado en confiabilidad durante los primeros 3 meses.

Como lo presentó Tejaxún (2019) en el estudio titulado: Desarrollo de un modelo de gestión de mantenimiento a través del monitoreo de condición, utilizando ensayos no destructivos, bajo la norma ISO 17359:2011 para la conservación de equipos críticos, en la industria avícola, el objetivo buscado era acceder a tácticas de mantenimiento utilizadas a nivel internacional, puesto que es importante el control de los parámetros de los ensayos predictivos utilizados.

El diseño metodológico es de tipo no experimental, con alcance descriptivo a nivel transversal, a modo de conocer la propuesta del plan de mantenimiento. La estrategia utilizada principalmente es la capacitación del personal en técnicas predictivas; en segundo lugar, el desarrollo de los siete pasos descritos en la norma ISO para monitoreo de equipos y en tercer lugar realizar los ensayos con el equipo predictivo. En cuanto al resultado obtenido se puede mencionar la útil herramienta para la intervención anticipada en el mantenimiento; ahora bien, se puede mencionar que es una técnica costosa y necesita de capacitación avanzada.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La falta de un plan de mantenimiento predictivo en los componentes críticos de un equipo de refrigeración afecta la confiabilidad en el funcionamiento correcto de los mismos, interrumpe la cadena de frío y por ende la calidad del producto.

3.1. Contexto general

Las empresas exportadoras de hortalizas en Guatemala tienen como objetivo la recepción, limpieza, empaque, almacenamiento y comercialización del producto al extranjero. La creciente demanda de productos agrícolas exige alta calidad de los alimentos; por tal motivo la cadena de frío es indispensable y el primer eslabón son los cuartos fríos de almacenamiento; así mismo, estos deben tener la mayor disponibilidad para la correcta conservación de los productos perecederos.

Comúnmente, las empresas exportadoras de hortalizas vigentes en Guatemala cuentan con planes de mantenimiento preventivo para los cuartos fríos. Sin embargo, están expuestas a riesgos operativos relacionados con fallos inesperados, que podrían evitarse mediante el monitoreo por condición, al utilizar ensayos no destructivos.

3.2. Descripción del problema

No contar con un plan de mantenimiento predictivo o por monitoreo de condición para los componentes críticos de un cuarto frío en el área de producto

terminado de una empresa exportadora, dificulta identificar los elementos próximos a fallar. El análisis histórico de fallas en los componentes y la tendencia estadística podría no ser suficiente para detectar fallas futuras; no realizar análisis predictivo en los componentes puede tener como consecuencia la aparición de fallas inesperadas graves, que provoquen interrupciones prolongadas en el funcionamiento de los equipos, altos costos de reparación y pérdida de producto.

3.3. Formulación del problema

La complejidad del problema descrito permite sustentar la investigación en las siguientes interrogantes.

Pregunta central:

¿Cómo diseñar un plan de mantenimiento predictivo con base en normas ISO 17359:2011, aplicado a los componentes críticos de un cuarto frío para empresas exportadoras de hortalizas en Guatemala?

Preguntas auxiliares:

- ¿Cuáles son los lineamientos de la norma ISO 17359:2011 aplicables a un plan de mantenimiento predictivo?
- ¿Cómo identificar los componentes críticos y modo de falla comunes en el equipo de refrigeración de un cuarto frío?
- ¿Cómo determinar el estado de los componentes críticos mediante la utilización de tecnología y técnicas predictivas para monitoreo de condición?

- ¿Cuáles son los beneficios de un plan de mantenimiento predictivo a equipos de refrigeración?

3.4. Delimitación del problema

El presente trabajo de investigación se limita a analizar el equipo de refrigeración de un cuarto frío en el área de producto terminado de una empresa exportadora de hortalizas, ubicada en la región central de Guatemala. El periodo objeto de estudio corresponde a los meses de mayo del 2021 a enero del 2022.

4. JUSTIFICACIÓN

Las líneas de investigación utilizadas para el desarrollo del presente trabajo son administración de mantenimiento, ensayos no destructivos y normas internacionales de mantenimiento y los cursos de la Maestría en Ingeniería de Mantenimiento de la Universidad de San Carlos de Guatemala. En la actualidad es importante la innovación del mantenimiento en la industria, a fin de realizar cambios de estrategia que solucionen problemas complejos.

Las empresas exportadoras de hortalizas de Guatemala tienen la difícil tarea de competir en el mercado internacional; debido a esto es importante garantizar la calidad del producto. La cadena de frío es indispensable para ofrecer los estándares de inocuidad que satisfagan las necesidades del cliente, por tal motivo se cuenta con equipos de refrigeración que trabajan de forma continua todo el año; por consiguiente, deben tener la mayor disponibilidad posible.

La importancia de la investigación radica en proponer cambios adecuados para mejorar las condiciones de operación y mantenimiento de los equipos de refrigeración, y evitar en lo posible fallos imprevistos que afecten la disponibilidad de estos. Se pretende proponer un plan de mantenimiento predictivo capaz de detectar el origen de fallas no perceptibles por el ser humano y realizar ajustes a las actividades de mantenimiento.

El estudio permitirá presentar un plan de mantenimiento capaz de mejorar la disponibilidad y la vida útil de los equipos de refrigeración de la planta exportadora de hortalizas; además, podría ser aplicable a otras áreas de la

industria guatemalteca que se dediquen a la conservación de productos perecederos en cuartos refrigerados.

5. OBJETIVOS

General

Proponer un plan de mantenimiento predictivo con base en normas ISO 17359:2011 aplicado a los componentes críticos de un cuarto frío para empresas exportadoras de hortalizas de Guatemala.

Específicos

- Seleccionar los lineamientos de la norma ISO 17359:2011 aplicables a un plan de mantenimiento predictivo para empresas exportadoras de hortalizas.
- Analizar los componentes críticos y modo de falla comunes en el equipo de refrigeración de un cuarto frío.
- Determinar el estado de los componentes críticos mediante la utilización de tecnología y técnicas predictivas para monitoreo de condición.
- Identificar los beneficios de un plan de mantenimiento predictivo a equipos de refrigeración.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

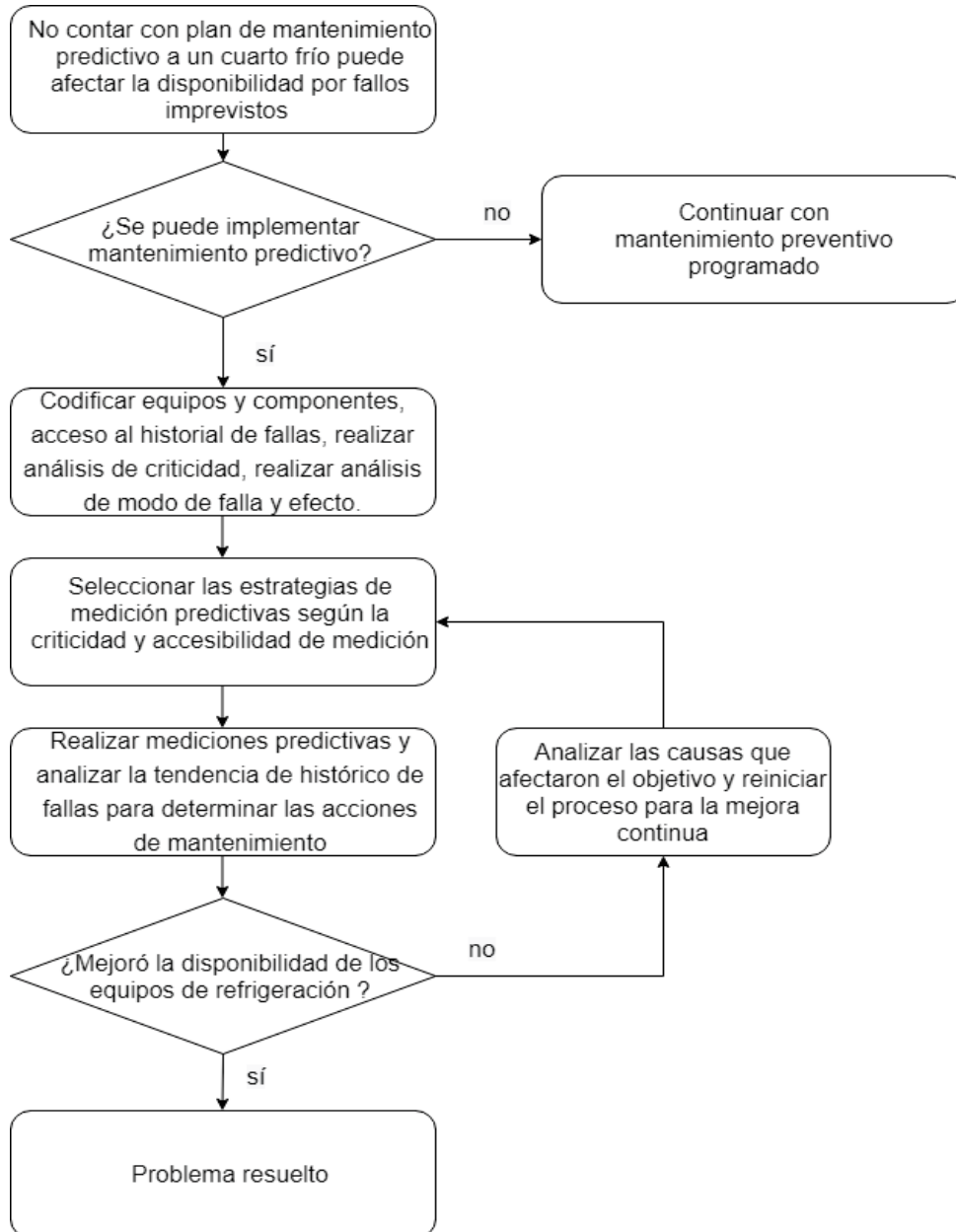
La necesidad del presente estudio de investigación radica en no contar con un plan de mantenimiento predictivo para el equipo de refrigeración de un cuarto frío de una empresa exportadora; en consecuencia, se dificulta la detección de fallas inesperadas en los componentes críticos, por tal motivo, no se tiene el control de las acciones necesarias que reduzcan el índice de fallas.

Debido a que los equipos de refrigeración deben funcionar de manera continua durante todo el año, la utilización de una estrategia que implemente ensayos no destructivos es necesaria. La detección oportuna de cambios en los parámetros de medición podría alertar de una falla posible; por tal motivo se puede priorizar la mejor estrategia en el mantenimiento con base en su condición y reducir paros imprevistos en el equipo.

Es importante destacar que la propuesta de un plan de mantenimiento predictivo tiene un gran crecimiento en la industria moderna y trae consigo varias ventajas: mejorar la disponibilidad, aumentar la vida útil del equipo, reducción de costos de mantenimiento, seguridad al personal y protección del medio ambiente.

El diagrama de solución resume los pasos generales para la resolución del problema con la propuesta de un programa de mantenimiento predictivo. Los lineamientos usados serán los expuestos por la norma ISO 17359:2011 para implementar monitoreo de condición.

Figura 1. Esquema de solución



Fuente: elaboración propia.

7. MARCO TEÓRICO

El concepto de mantenimiento durante el transcurso de los años ha evolucionado de manera acelerada; así mismo, es importante entender sus inicios y la importancia que ha tomado. Puede afirmarse que:

La actividad de mantenimiento ha tenido dos historias bien diferenciadas: la historia técnica y la económica. El mantenimiento en su aspecto técnico nació con la primera herramienta, con la primera piedra afilada por el hombre primitivo y a partir de ese momento ha seguido una evolución al lado de la evolución de la actividad productiva (Santiz, 2019, p. 8).

Tabla I. **Historia y evolución del mantenimiento**

1ª generación	La más larga, desde la Revolución Industrial hasta después de la 2ª Guerra Mundial, aunque todavía impera en muchas industrias.	<ul style="list-style-type: none"> • Reparar en caso de avería
2ª generación	Entre la II Guerra Mundial y finales de la década de 1970 se descubre la relación entre edad de los equipos y probabilidad de fallo. Se empieza a hacer sustituciones preventivas. Es el mantenimiento preventivo.	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor disponibilidad de la plantilla • Mayor vida útil de los equipos • Mas bajos costes
3ª generación	Surge a principios de la década de 1980. Se empiezan a realizar estudios causa-efecto para averiguar el origen de los problemas. Es el mantenimiento predictivo o detección precoz de síntomas incipientes para actuar antes de que las consecuencias sean inadmisibles. Se comienza a hacer partícipe al departamento de producción en las tareas de detección de fallos.	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor disponibilidad, fiabilidad • Mayor rentabilidad • Mayor seguridad • No deterioran el medio ambiente • Mejor calidad de los productos • Más duración de los equipos
4ª generación	Aparece a principios de la década de 1990. El mantenimiento se considera una parte del concepto de calidad total. Se concibe como un proceso de la empresa al que contribuyen también otros departamentos. Se identifica como fuente de beneficios, frente al antiguo concepto de mantenimiento como mal necesario. La posibilidad de que una máquina falle y las consecuencias asociadas para la empresa son un riesgo que hay que gestionar, teniendo como objetivo la disponibilidad necesaria en cada caso al mínimo coste.	<p>Se requiere un cambio de mentalidad en las personas y se utilizan herramientas como:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ingeniería del riesgo (determinar consecuencias de fallos que son aceptables o no) - Análisis de fiabilidad (identificar tareas preventivas factibles y rentables) - Mejora de la mantenibilidad (reducir tiempos y costes de mantenimiento) <ul style="list-style-type: none"> - Monitores de condición - Diseño dirigido a la fiabilidad - Estudio de riesgos - Computadoras pequeñas - Análisis de modos de falla y efectos - Sistemas expertos

Fuente: Técnica Industrial. *Diseño de un plan de mantenimiento para un equipo de alta fiabilidad*. Consultado el 13 de agosto de 2021. .Recuperado de <https://www.tecnicaindustrial.es/disenio-de-un-plan-de-mantenimiento-para-un-eq/>

El mantenimiento es parte importante del buen funcionamiento y operación de los activos de producción en la industria; así mismo, la correcta implementación es vital. Mantenimiento se le llama al grupo de funciones coordinadas que garanticen el buen funcionamiento de las máquinas, a fin de permitir que la producción alcance el rendimiento óptimo. (Olarte *et al.*, 2010).

7.1. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo consiste en la detección de diversos síntomas de falla que emiten las máquinas o equipos; se debe tener en cuenta que puede ser perceptible o imperceptible para el sentido humano; según lo describe Morataya (2015), “este tipo de mantenimiento se define como el conjunto de actividades de monitoreo periódico de la maquinaria y sus componentes; con la finalidad de conocer su estado y predecir problemas potenciales o fallas” (p. 13).

Es importante resaltar que debido al desgaste frecuente en que se encuentran sometidos los equipos, las fallas son algo inevitable. Sin embargo, el mantenimiento predictivo puede determinar el momento oportuno para realizar acciones de prevención o corrección, según la gravedad a la que se encuentre expuesta (Morataya, 2015).

7.1.1. Plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento consta de la programación de trabajos preventivos que impiden daños graves a los activos de las empresas; de esta manera se cumple la meta de asegurar el correcto funcionamiento y aumentar el tiempo de vida de los componentes. Según lo expone García (2010) el plan que comprende documentación cuyo propósito es llevar el control del grupo de actividades

programadas se denomina mantenimiento; en consecuencia, asegura los niveles de disponibilidad previstos en la planeación.

7.1.2. Mantenimiento basado en condición (CBM)

El mantenimiento que se basa en la condición es empleado para obtener la confiabilidad de las máquinas, es decir reducir al máximo las fallas en los componentes importantes. Martínez (2014) argumenta que: “antes que un equipo falle se pueden identificar síntomas de deterioro, sobre todo aquellos que están relacionados con la edad de operación, es en este instante cuando las técnicas de monitoreo a condición se utilizan para detectar alertas tempranas” (p. 34).

El objetivo fundamental del monitoreo de condición es lograr la mayor disponibilidad; se debe tomar en cuenta que se deben realizar inspecciones predictivas que presenten la información necesaria para el diagnóstico. Según Blanco y Duque (2017), “el mayor beneficio es lograr una alerta temprana, de manera que pueda programarse una intervención correctiva, lo cual genera una disminución de las fallas catastróficas, y un consecuente aumento de la disponibilidad” (p. 35).

El monitoreo de condición nace de la necesidad de garantizar la operación óptima de los equipos; por tal motivo, la detección de fallos imprevistos tiene gran importancia. Así es como surge:

Se establecen planes de mantenimiento para los equipos y maquinaria, con el fin de corregir a tiempo las posibles fallas que puedan retrasar o paralizar las actividades asociadas a los procesos productivos, para los cuales es necesario garantizar su nivel de operación en los tiempos de

mayor demanda y poder cumplir con la entrega a tiempo de los productos (Blanco y Duque, 2017, p. 42).

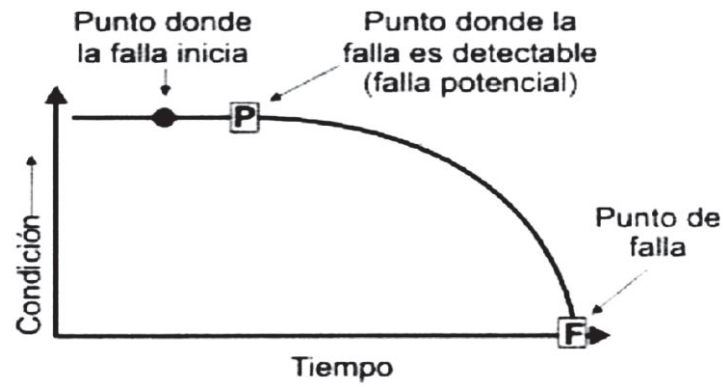
La factibilidad del monitoreo de condición depende de diferentes criterios que satisfagan las condiciones siguientes:

- Se puede definir una falla potencial.
- Es consistente el intervalo P-F.
- Es factible el monitoreo a menor intervalo al indicado en P-F.
- Es suficientemente largo el intervalo P-F para lograr ser útil (Moubray, 2004, p. 153).

7.1.3. Intervalo P-F

La curva P-F describe el intervalo de tiempo desde que se descubre una falla en potencia y cambia a una funcional, es decir presenta el tiempo aproximado que se debe aplicar el ensayo determinado. Según Jasso (2011), “el seguimiento y control de los parámetros se puede hacer mediante vigilancia periódica, en cuyo caso es importante establecer una frecuencia tal que permita detectar el deterioro en un momento entre P y F” (p.39).

Figura 2. Intervalo P-F

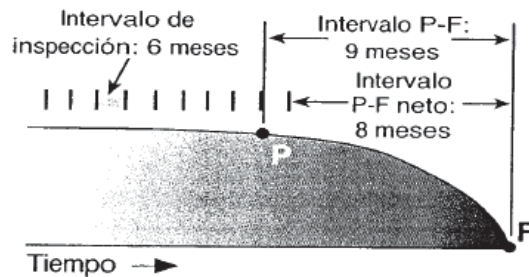


Fuente: ResearchGate. *Curva del intervalo P-F*. Consultado el 11 de septiembre de 2021. Recuperado de https://www.researchgate.net/figure/Intervalo-P-F-intervalo-entre-el-momento-en-que-ocurre-una-falla-potencial-y-su_fig2_277259587.

El parámetro de control debe ser el apropiado y de manera periódica, por tal motivo se debe establecer la frecuencia de monitoreo que permita determinar el deterioro en el momento P; de esta manera se evita llegar al punto F. Se puede mencionar que “el mayor beneficio es lograr una alerta temprana para programar una intervención correctiva, lo cual genera una disminución de las fallas catastróficas, y un consecuente aumento de la disponibilidad” (Altmann, 2009, p.2).

La cantidad de tiempo que se dispone para tomar cualquier acción y evitar consecuencias de falla es denominado intervalo neto de la curva P-F. Según Moubray (2004), se le llama intervalo P-F neto al tiempo mínimo previsible que transcurre entre el descubrimiento de una falla latente y el tiempo en el que ocurre la falla.

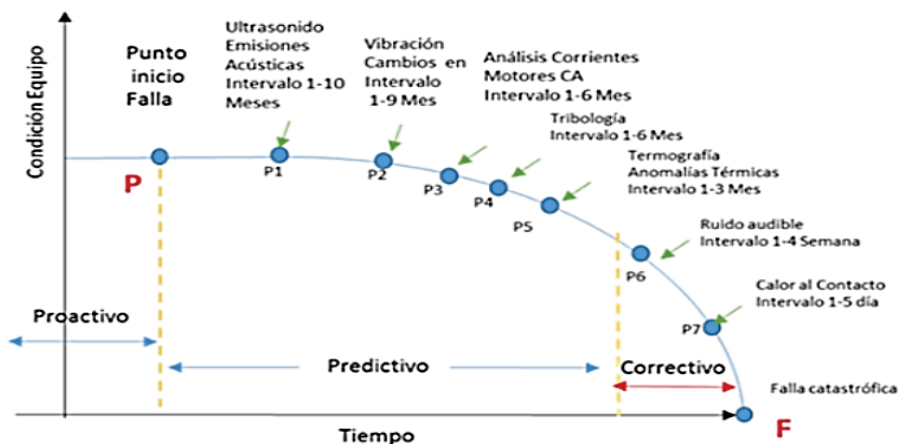
Figura 3. Intervalo P-F neto



Fuente: ResearchGate. *Falla con un intervalo P-F de nueve meses e intervalo P-F neto de 8 meses*. Consultado el 12 de septiembre de 2021. Recuperado de https://www.researchgate.net/figure/Figura-3344-Intervalo-P-F-neto_fig14_32125508.9

Las fallas potenciales pueden presentar diferentes modos de falla, “por lo que puede encontrarse más de una categoría de tareas a condición. Cada una de ellas tendrá un intervalo P-F diferente” (Moubray, 2004, p.158).

Figura 4. Técnicas de monitoreo en la curva P-F



Fuente: Power-MI Blog. *La curva P-F*. Consultado el 13 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://power-mi.com/es/content/la-curva-p-f>.

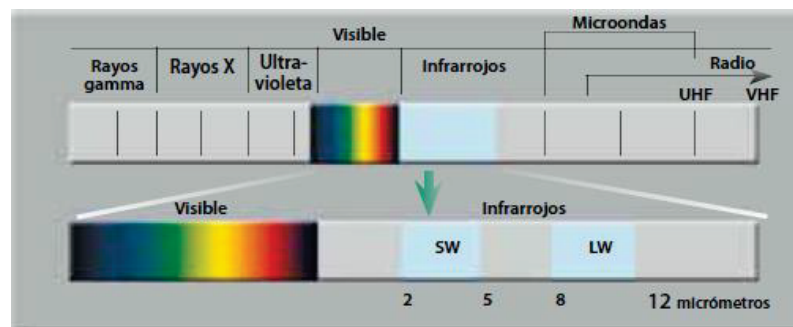
7.1.4. Ensayos no destructivos

Son las pruebas no invasivas utilizadas con diferente tecnología para la detección de cualquier anomalía en los materiales, lo importante de estas técnicas es que no afecta sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. Según Gato (2015), “permiten realizar evaluaciones de todo tipo de objetos, independientemente de su tamaño, forma o material sin alterar de forma permanente sus propiedades físicas, químicas o mecánicas” (p. 5).

7.1.4.1. Termografía

La termografía permite detectar la radiación infrarroja de las ondas electromagnéticas que emiten la energía térmica de cualquier máquina, Olarte *et al.*, (2010) en su estudio describe a la termografía como “una técnica que estudia el comportamiento de la temperatura de las máquinas con el fin de determinar si se encuentran funcionando de manera correcta” (p. 224).

Figura 5. Clasificación del espectro de radiación



Fuente: FLUKE. ¿Qué es infrarrojo? Consultado el 18 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://www.flukeprocessinstruments.com/es/service-and-support/knowledge-center/infrared-technology/what-infrared%3F>.

El monitoreo por termografía es imprescindible en el mantenimiento predictivo; se considera que dicho monitoreo debe ser periódico. La termografía es utilizada en los componentes mecánicos y eléctricos; según Aldana (2017), la operación de cualquier sistema mecánico genera energía térmica; no obstante, el desgaste, mal alineamiento o falta de lubricación puede provocar vibraciones, fricción o fallas por refrigeración, se da como resultado excesiva temperatura que tiene como fin un fallo inminente.

La termografía activa ofrece la ventaja de evaluar objetos a temperatura ambiente, evaluando el valor reemitido por el material previa aplicación de una excitación externa. Como resultado se obtienen termogramas con un patrón térmico que posibilita una caracterización cuantitativa del interior del espécimen (Gato, 2015, p.11).

Figura 6. **Cámara de termografía**



Fuente: Telecomhoy. *Cámara termográfica básica*. Consultado el 12 de septiembre de 2021.
Recuperado de <https://www.instaladoresdetelecomhoy.com/camara-termografica-basica/>.

Los sistemas eléctricos como lo expone Aldana (2017), generan patrones de radiación térmica; por lo general esta radiación se presenta en los cables o en

los componentes eléctricos; debido a que hay puntos donde se da mayor resistencia se puede determinar una falla potencial. La norma ISO 18434-1 presenta la escala de aceptación, según la temperatura; el objetivo es determinar la condición de los componentes eléctricos y tomar las acciones pertinentes.

Tabla II. **Criterios de aceptación eléctricos**

EXCESO DE TEMPERATURA (sobre la referencia o ambiente)	CRITICIDAD DE LA FALLA SEGÚN EXCESO DE TEMP.	OBSERVACIONES
0 a 10 °C	INCIPIENTE	Los correctivos deben ser reflejados en el próximo programa de mantenimiento.
10 a 20 °C	PRONUNCIADA	El equipo debe colocarse en observación y los correctivos deben ser reflejados cuando el programa lo permita.
20 a 40 °C	SEVERA	Los correctivos deben ser reflejados tan pronto como sea posible.
Mayor de 40 °C	CRITICA	Los correctivos deben ser reflejados inmediatamente.

Fuente: Monografías.com. *Mantenimiento industrial. Termografía*. Consultado el 12 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://www.monografias.com/trabajos92/termografia-mantenimiento/termografia-mantenimiento.shtml>.

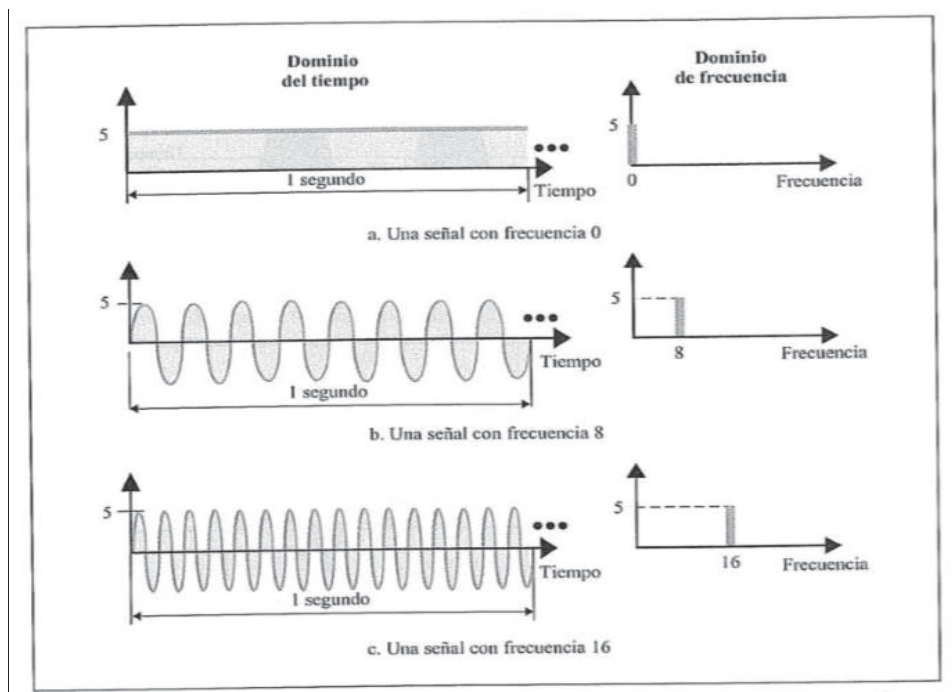
7.1.4.2. **Análisis de vibraciones**

El análisis de vibraciones es la técnica de ensayos no destructivos que mediante el comportamiento vibratorio permite detectar fallas en diversos componentes de las máquinas; normalmente los equipos rotativos presentan un rango operacional de vibración permisible, sin embargo, cuando la máquina sale del rango permitido indica la necesidad de intervención de mantenimiento.

La vibración mecánica es el parámetro más utilizado universalmente para monitorear la condición de la máquina, debido a que a través de ellas se

puede detectar la mayoría de los problemas que presentan. La base del diagnóstico de la condición mecánica de una máquina mediante el análisis de sus vibraciones se basa en que las fallas que en ella se originan, generan fuerzas dinámicas que alteran su comportamiento vibratorio (Estupiñan y Saavedra, 2007, p.3).

Figura 7. Comparación de dominio del tiempo y la frecuencia



Fuente: Sites Google. *Dominio del tiempo y la frecuencia*. Consultado el 12 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://sites.google.com/site/senalestelecomunicaciones/dominios-del-tiempo-y-frecuencia>.

El nivel total de vibración mostrado por el dominio del tiempo permite saber únicamente si se encuentra dentro de los límites exigidos en la instalación; pero el análisis del espectro de frecuencias permite determinar qué ocurre en cada

elemento que compone la máquina, asimismo lograr predecir las averías o fallos próximos a ocurrir.

El analizador de espectro de señal ofrece procesar de manera precisa la señal con la utilización de acelerómetros, los cuales son transductores que miden las vibraciones con precisión; posteriormente se amplifica la señal analógica procedente del transductor y se filtra para eliminar las frecuencias no deseadas; esta señal pasa por un convertidor A/D, se filtran las frecuencias y se obtienen las señales importantes (Martínez *et al.*, 2000).

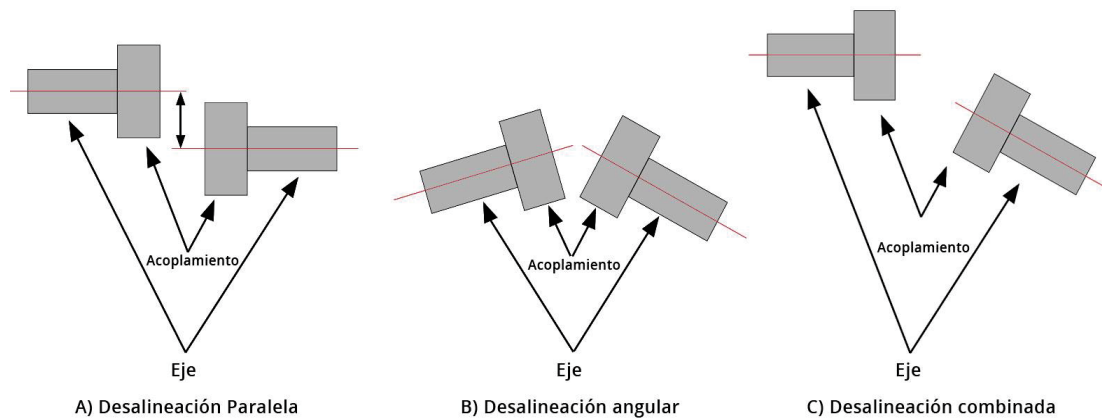
La determinación del nivel adecuado de vibración en máquinas se presenta de cuatro formas según lo muestra Sánchez (2014):

- Comparación con límites de la norma ISO: este presenta niveles de vibraciones aceptables mediante el valor RMS de la señal.
- Comparación dada por el fabricante: en este caso por recopilación de información, y compararla mediante los datos que entregue el fabricante.
- Comparación entre máquinas iguales: se toma como referencia una máquina en óptima condición y se compara la frecuencia y amplitud.
- Evaluación por tendencia: en muchos casos es la mejor forma de evaluar y obtener un registro de histórico de operación.

Las causas más comunes de fallos por vibración son: excentricidad, por holguras, el fallo de acoplamientos por desequilibrio y por falta de alineamiento. De igual manera la detección de fallos en las máquinas rotativas, según lo expone Solar (2004), el “procedimiento para localizar el desequilibrio de máquinas

rotativas es la medida de velocidad de vibración o también llamado vibración severa. Este método es la medida de la energía que producen las vibraciones” (p. 25).

Figura 8. Tipos de falla de alineamiento

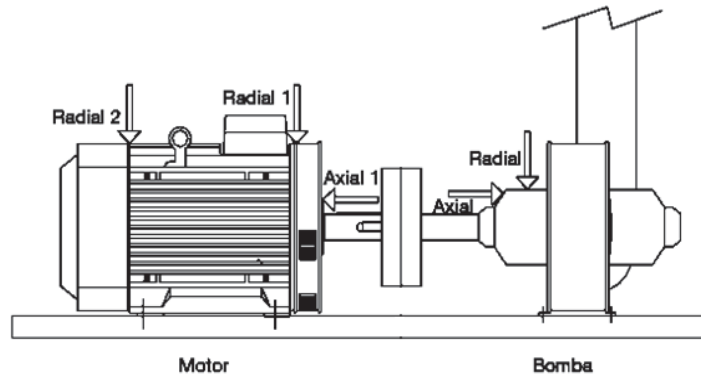


Fuente: Dynamox. *Desalineación del eje y su contribución a fallas mecánicas*. Consultado el 8 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://dynamox.net/es/blog/desalineaci%C3%B3n-del-eje-y-su-contribuci%C3%B3n-a-fallas-mec%C3%A1nicas/>

Los transductores encargados de la detección de la señal de vibración se deben colocar en puntos específicos para la correcta medición.

Según lo menciona en el artículo Royo *et al.*, (2000) “los tres sentidos principales en una medición son horizontal, vertical y axial. Los sentidos radiales son horizontal y vertical, y se toman con eje del transductor a 90 ° respecto del eje de rotación” (p. 7).

Figura 9. **Acoplamiento motor y bomba**



Fuente: Drotec. *Bombas industriales*. Consultado el 10 de septiembre de 2021. Recuperado de <http://www.drotec.com.ar/bombas-acople-magnetico.html>.

Las máquinas rotativas utilizan parámetros específicos de evaluación para la vibración mecánica; estos varían según la norma ISO 2372 creada en 1987 y la norma ISO 10816-3 creada en 1998.

Según se puede apreciar “ambas normas utilizan como parámetro de decisión el valor RMS de la velocidad vibratoria, proporcionando unas ecuaciones que relacionan este valor con la aceleración, velocidad y desplazamiento de la vibración” (Serna, 2012, p.125).

Tabla III. **Comparación entre ISO 2372 e ISO 10816**

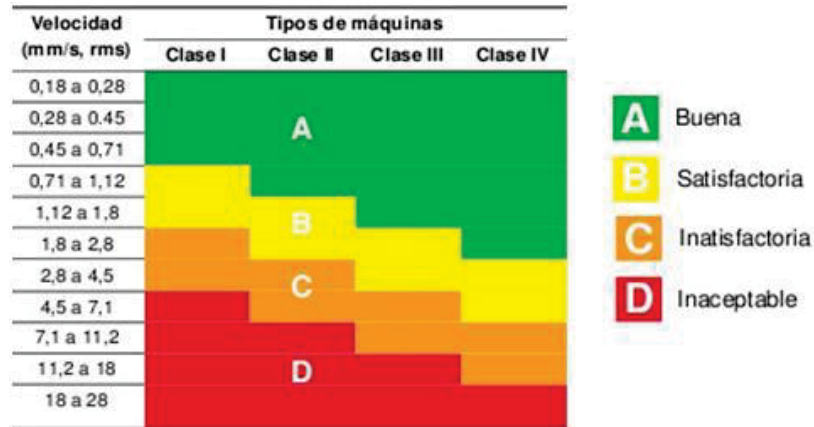
Norma	ISO 2372	ISO 10816-3
Rango de revoluciones	60 rpm – 1200 rpm	120 rpm -15000 rpm
Frecuencia de rotación	1 – 20 Hz	2 – 250 Hz
Frecuencia instrumento	10 – 1000 Hz	10 – 1000 Hz
Clase I	< 15 kW	>300 kW
Clase II	15 – 75 kW	>15 kW – 300 kW
Clase III	>75 kW, soporte rígido	>15 kW, motor separado
Clase IV	>75 kW, soporte flexible	>15 kW, motor integrado

Fuente: elaboración propia.

La severidad vibratoria permitida es establecida por valores de parámetro de decisión, es decir, proporciona un valor que determina la condición del componente. Se considera que “a partir del valor RMS de la velocidad de la vibración y de la clase de máquina, es posible clasificar la severidad vibratoria de la máquina” (Serna, 2012, p. 183).

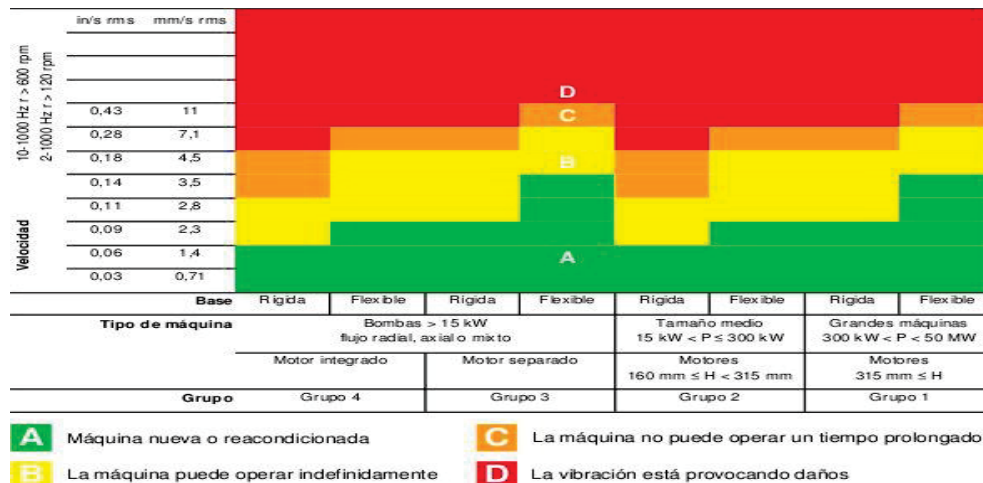
La aceleración de la máquina, la velocidad y el desplazamiento real vibratorio en conjunto nos presenta el valor RMS.

Figura 10. Aceptación de niveles de vibración según ISO 2372



Fuente: Power Mi Blog *Cómo definir el límite de alarma de vibración de una máquina (y no es con tablas ISO)*. Consultado el 8 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://power-mi.com/es/content/c%C3%B3mo-definir-el-l%C3%ADmite-de-alarma-de-vibraci%C3%B3n-de-una-m%C3%A1quina-y-no-es-con-tablas-iso>

Figura 11. Aceptación de niveles de vibración según ISO 10816



Fuente: RODEXPRES. *Norma ISO 10816*. Consultado el 8 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://www.rodamientos.com/assets/img/services/servbenf04.pdf>

7.1.4.3. Análisis de aceite

El análisis predictivo de los aceites es un método importante para la estimación de las distintas propiedades características, en particular el estudio lo realizan laboratorios especializados. Según lo presenta Orellana (2019):

El análisis de aceite es una técnica del mantenimiento de monitoreo de condición que brinda mayor información al departamento de mantenimiento, referente a condiciones de operación de la maquinaria, algunas empresas utilizan el laboratorio del proveedor de los lubricantes; mientras que otras contratan los servicios de laboratorios privados; es importante conocer dentro de las propiedades de un aceite factores importantes como la degradación, la contaminación y desgaste (p. 45).

La lubricación predictiva es el monitoreo de condición aplicado a los lubricantes; este análisis permite hacer el cambio de aceite de manera oportuna. Los defectos por desgaste son muy comunes cuando no se tiene un control preciso de la calidad del lubricante; por tal motivo, el monitoreo permite tener un tiempo pertinente para hacer el cambio y evitar gastos excesivos (Toapanta, 2009).

Los lubricantes utilizados en refrigeración son normalmente de dos tipos: minerales y sintéticos. Los lubricantes minerales son aceites que se obtienen de la refinación de hidrocarburos naturales; su adaptabilidad en general para la mayoría de compresores hace que sean los más utilizados. Los lubricantes sintéticos son producidos con químicos orgánicos, por lo cual las propiedades de viscosidad o estabilidad térmica son extraordinarias; además el tiempo entre cambios es más largo (Toapanta, 2009).

7.1.4.4. Inspección VOSO

La inspección VOSO es la técnica de detección de fallas que utiliza como instrumento los sentidos humanos; hay que hacer notar que es el primer contacto predictivo que se tiene con las máquinas.

Como lo indica Flores (2017), la detección de irregularidades puede detectarse con base en los sentidos humanos, además no necesita detener las unidades. La vista es la primera técnica de revisión utilizada en una rutina básica de mantenimiento; esta consta de detectar situaciones fuera de lo común que pueden llegar a una falla en los equipos.

Según lo expresa Flores (2017) “es simplemente la utilización de la vista para la detección de fugas, humo o cambios de color de superficies por recalentamiento” (p. 81).

El oído es la segunda técnica utilizada para la inspección VOSO en mantenimiento predictivo; se debe tomar en cuenta que es utilizada para detección de análisis del ruido. Según Flores (2017), “su principal aplicación es en el monitoreo de máquinas muy pequeñas donde no se podría ubicar un sensor de vibraciones, o donde la masa agregada por el sensor de vibraciones alteraría la dinámica propia de la máquina” (p. 82).

El sentido del tacto es la tercera técnica del método VOSO que se utiliza para inspecciones de mantenimiento, a fin de que se detecte vibración y temperatura fuera de lo normal. Según Flores (2017), es importante la “utilización del tacto para detectar vibraciones o temperaturas anormales” (p.82).

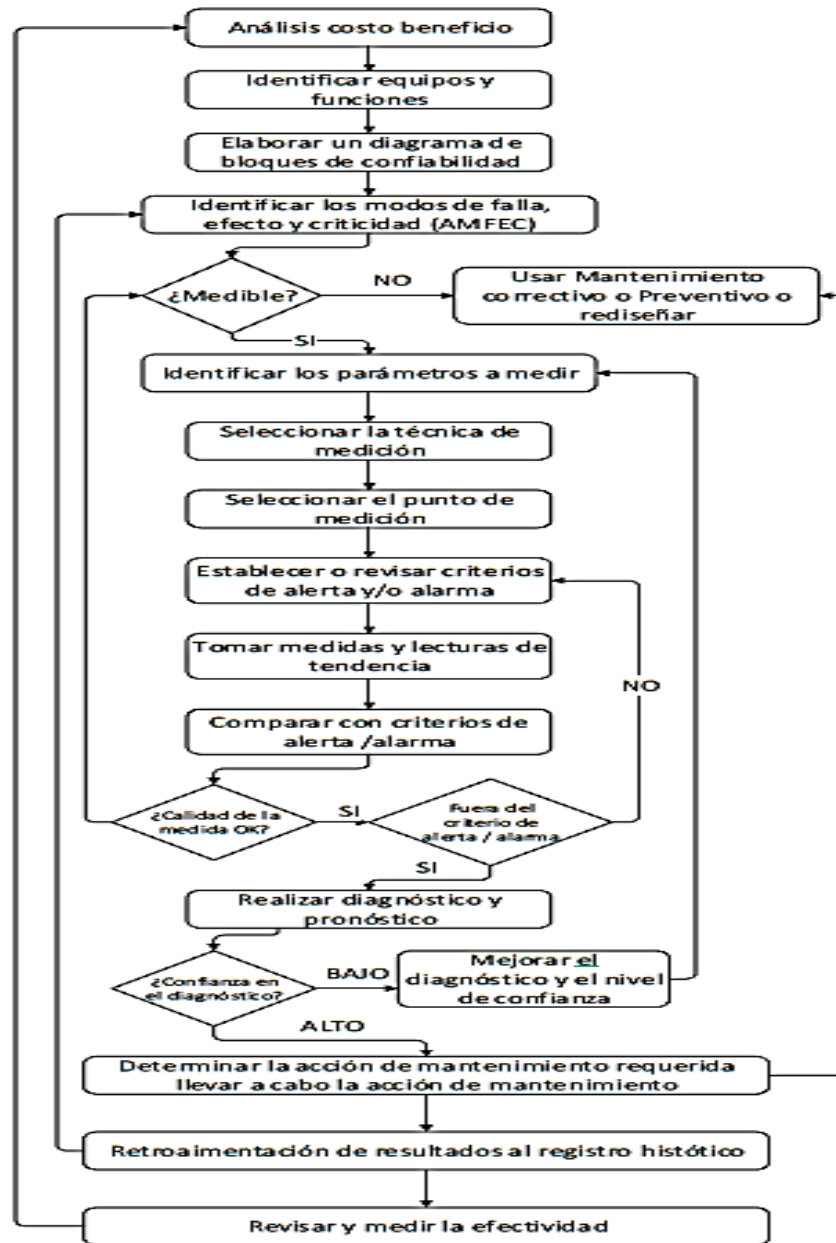
El sentido del olfato es utilizado como una técnica en el mantenimiento, en el cual se realiza la detección de fallas detectables con el olfato. Para Flores (2017), es importante el “uso del olfato para detectar fugas y recalentamiento” (p. 82).

7.2. Norma ISO 17359:2011

La norma ISO 17359:2011 contiene las estrategias para poner en marcha el monitoreo a máquinas; la ventaja de esta norma radica en que se puede ejecutar en cualquier máquina y los elementos que la forman.

En la industria, la calidad del producto o servicio es de vital importancia; por tal motivo, el seguimiento de normas internacionales para monitoreo constante es fundamental. Como lo expone Abad (2021), “la estandarización brindada por la norma ISO 17359 otorga valiosos lineamientos a los departamentos de mantenimiento” (p. 10).

Figura 12. Procedimiento de monitoreo de condición



Fuente: Docplayer. *Procedimiento monitoreo de condición*. Consultado el 8 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://docplayer.es/1142399-Guias-para-la-implantacion-de-un-programa-de-monitoreo-de-condicion-bajo-normas-iso-17359-e-iso-17359.html>.

La garantía de calidad y la mejora constante es posible con el cumplimiento de normas internacionales, dado que se debe tener en cuenta que el monitoreo de activo es la táctica ideal para la ejecución. Según se presenta en ISO 17359 (2011), es un modelo que facilita el control por monitoreo de nivel internacional; además detalla el seguimiento específico para su desarrollo.

7.2.1. Análisis beneficio-costo

El análisis beneficio-costo es una herramienta que determina la efectividad en la implementación de monitoreo de condición; de la misma manera permite obtener indicadores de desempeño. Los costos que se van a tomar en cuenta pueden ser: por ciclo de vida, pérdidas por producción, daños al equipo, garantías, entre otros. Según Salazar (2017), “con este análisis se comparan de forma directa los beneficios y costos, para lo que se utiliza el valor actual de la suma de los beneficios descontados y se divide dentro de la suma de los costos descontados” (p. 124).

- $B/C > 1$: los beneficios son mayores que los costos, por tal motivo, el monitoreo de condición es viable.
- $B/C = 1$: los beneficios son iguales a los costos.
- $B/C < 1$: los costos son mayores que los beneficio; esto se debe tomar en consideración.

7.2.2. Auditoría de equipos

La auditoría de equipos representa el estudio de los activos de la planta en el que se construye un esquema de los equipos y los componentes, con el objetivo de codificar y etiquetar los activos. “Como resultado se deben enumerar

e identificar claramente todos los equipos y fuentes de alimentación asociados, sistemas de control y sistemas de vigilancia” (ISO 17359, 2011, p. 4).

En relación con los equipos se debe estar seguro de la condición en que se encuentran y la función que realizan.

7.2.3. Auditoría de confiabilidad y criticidad

La auditoría de confiabilidad es una herramienta propuesta para la mejora del monitoreo de condición, ya que es necesario el uso de diagramas de confiabilidad. Según ISO 17359 (2011), la orientación en la condición de procesos de monitoreo tiene como base el uso de elementos de disponibilidad, así como de fiabilidad.

Los equipos y componentes que se categorizan como críticos se deben enlistar según la prioridad; es recomendable realizar una evaluación a todas las máquinas y posteriormente el análisis de modo de falla y efecto. Según Aguilar *et al.*, (2010): “para aplicar el proceso de selección de tareas de mantenimiento en un mayor detalle, se requiere de los modos de falla resultantes, especialmente de aquellos críticos por su nivel de riesgo” (p.19).

7.2.4. Selección apropiada de estrategias de mantenimiento

La selección de diferentes estrategias de mantenimiento se puede obtener del análisis de criticidad y el análisis de modo y efecto; así mismo determinar los parámetros relacionados con el propósito de identificar una falla potencial.

7.2.5. Selección del método de monitoreo

La selección del método a utilizar para monitoreo es considerado según los parámetros medibles en particular; por ejemplo, los parámetros pueden ser: caudal, corriente, vibraciones temperatura, entre otros. Según ISO 17359 (2011), los parámetros y su medición siempre deben tomarse en cuenta para determinar la condición. Por otra parte, es importante tener en cuenta la viabilidad de medición, el acceso, la seguridad, entre otros.

7.2.6. Adquisición de datos de análisis

La adquisición de datos de monitoreo debe tomar en cuenta la correcta medición; luego se debe realizar el análisis y compararlo con históricos, tendencias o equipos similares. Según ISO 17359 (2011), la obtención de los valores de condición debe ser en conjunto con precisión y rapidez.

7.2.7. Determinar acciones de mantenimiento

Las acciones se determinan según diferentes factores, por ejemplo, se puede tomar en cuenta la criticidad y el modo de falla, y de esta manera realizar las acciones pertinentes de mantenimiento.

Generalmente, dependiendo del nivel de confianza en el diagnóstico/pronóstico de ocurrencia de la falla, una decisión y acción de mantenimiento deben llevarse a cabo, por ejemplo, el inicio de la inspección o trabajo correctivo. Si los criterios de alerta/alarma indican una condición de falla grave, podría ser necesario iniciar un apagado inmediato (ISO 17359, 2011, p. 8).

Las decisiones de mantenimiento pueden variar desde no realizar acciones, reducir los intervalos, apagar la máquina, adelantar el mantenimiento o realizar mantenimiento correctivo.

7.2.8. Revisión y medición de la efectividad

La revisión permite la reevaluación del monitoreo que se efectúa, por otro parte se determina el proceso y las técnicas predictivas utilizadas en el monitoreo. Según ISO 17359 (2011) es necesario tomar las acciones inmediatas de mantenimiento siempre y cuando se tenga confianza en las mediciones.

7.3. Criticidad

La criticidad en mantenimiento industrial ha tenido gran importancia en los últimos años; debido a lo complicado que es para el supervisor de mantenimiento tener un cronograma que le permita a su personal realizar el trabajo de mantenimiento preventivo planificado, continuamente afecta las emergencias no programadas. Según GTS Confiabilidad (2018), se debe:

Realizar un ejercicio de análisis de criticidad para que pueda priorizar el trabajo en función de ello. El resultado de este análisis permitirá priorizar los trabajos. Un análisis de criticidad debe seguir una metodología sistemática y ser realizado por un equipo multidisciplinario con gente de operaciones, mantenimiento, calidad y seguridad (p. 47).

El análisis para la evaluación de riesgos es importante, permite orientar las acciones posibles a realizar. Según lo expresa Herrera-Galán (2017), “se trata de la asignación de valor a la falla en función del impacto que ocasiona al sistema, al ambiente, a la producción y a la seguridad de los operadores” (p. 249).

7.3.1. Técnicas de jerarquización de activos según la criticidad

Los activos son los bienes pertenecientes a una institución, por lo general representan a las instalaciones, equipos y todos los demás elementos concernientes. La jerarquización de los activos según la criticidad es importante en la gestión de mantenimiento. Según menciona Aguilar *et al.* (2010): “la jerarquización, mencionada en la metodología como criticidad, consiste en calificar la frecuencia de ocurrencia del modo de falla, por sus consecuencias; en este caso, el valor mayor de la categoría de consecuencia, es el mandatorio” (p. 24).

7.3.1.1. Análisis de Pareto

El análisis de Pareto es un procedimiento de estudio gráfico estadístico que facilita el reconocimiento de elementos críticos, además de distinguir las prioridades necesarias. Para Morales (2017): “el análisis de Pareto es una técnica estadística sencilla que permite discriminar los actores o parámetros más influyentes en alguna variable de estudio, mediante un método de análisis gráfico; por ende, permite identificar los elementos críticos de un sistema” (p. 84).

En otras palabras, se puede mencionar que existen muchos factores que pueden existir en la causa, pero son muy pocos los responsables de lograr el resultado. Según Moubrey (2004) se pueden seleccionar los activos importantes “si se dispone de datos históricos válidos de tasas de fallas y de costos” (p. 285).

7.3.1.2. Número de prioridad de riesgo (NPR)

El número de prioridad de riesgo es un instrumento empleado en la jerarquización de activos según riesgos, con la finalidad de establecer las

actividades importantes a implementar. Herrera-Galán (2017), expone que “el NPR indica la prioridad con que se deben seleccionar las actividades para prevenir las ocurrencias de fallas que ocasionan los efectos” (p. 249).

- Severidad de una falla S
- Ocurrencia de una falla O
- Detectabilidad de una falla D

Tabla IV. **Cuantificación de valores para determinar el impacto de equipos y sistemas productivos**

Valor	Descripción	Definición
1	Imperceptible	Ningún efecto en el producto o en los procesos subsecuentes.
2	Muy menor	En el proceso muy probablemente no se observará la falla. Falla no vital.
3	Menor	Proceso ligeramente afectado. Falla no vital la mayoría de las veces.
4	Muy bajo	El proceso es afectado. Falla que no necesita reparación inmediata. Falla no vital observada frecuentemente.
5	Bajo	En el proceso se observará la falla, producto con afectaciones no vitales. La falla en la parte no vital requiere reparación inmediata.
6	Moderado	El desempeño del Proceso/Producto degradado, el sistema opera parcialmente de forma segura. Partes y piezas inoperables.
7	Severo	Efecto potencial peligroso. Falla dependiente en el tiempo. Subsistema inoperable.
8	Muy severo	Efecto principal en el proceso, re-procesos y reparaciones. Desempeño del proceso afectado severamente. Rompimiento de las operaciones del proceso siguiente.
9	Peligroso	Efecto extremo en el proceso, sistema dañado e inoperable, capaz de parar el proceso sin accidente. Pérdidas involuntarias del producto.
10	Muy peligroso	Pérdida total de producto. Seguridad comprometida, falla repentina muy Riesgos.

Fuente: Herrera-Galán, Michael. *Aplicación de la gestión de riesgo a equipos y sistemas productivos* Consultado el 12 de septiembre de 2021. Recuperado de [https://www.](https://www.redalyc.org/journal/496/49655539028/html/)

[redalyc.org/journal/496/49655539028/html/](https://www.redalyc.org/journal/496/49655539028/html/).

Tabla V. **Cuantificación de la frecuencia de fallos en equipos y sistema productivo**

Valor	Ocurrencia	Definición	Probabilidad
1	Remota	Falla improbable. No existen fallas asociadas con este proceso o con un producto casi idéntico.	1 en 150 000
2	Muy poca	Solo fallas aisladas asociadas con este proceso o con un producto casi idéntico.	1 en 30 000
3	Poca	Fallas aisladas asociadas con este proceso.	1 en 1 500
4	Moderada	Este proceso o uno similar ha tenido fallas ocasionales.	1 en 450
5			1 en 200
6			1 en 100
7	Alta	Este proceso o uno similar ha fallado a menudo.	1 en 50
8			1 en 15
9	Muy alta	La falla es casi inevitable.	1 en 6
10			>1 en 3

Fuente: Herrera-Galán, Michael. *Aplicación de la gestión de riesgo a equipos y sistemas productivos*. Consultado el 12 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/496/49655539028/html/>.

Al cuantificar los valores D para detectar la desviación no deseada en equipos y sistemas productivos, sí puede presentarse el caso de la seguridad absoluta, cuando los controles no detectan la existencia del defecto.

Tabla VI. **Cuantificación de valores D para detectar la desviación no deseada en equipos y sistemas productivos**

Valor	Descripción	Definición
1	Con seguridad	Los controles detectarán la existencia del defecto antes de que el producto pase a la siguiente operación. Es importante el control de las materias primas de acuerdo a las especificaciones de la organización.
2	Muy Alta	Los controles tienen una buena oportunidad de detectar la existencia de la falla antes de que el proceso de manufactura haya sido completado (monitoreo con pruebas en operaciones intermedias).
3	Alta	
4	Moderada-Alta	
5	Moderado	Los controles probablemente encuentren la existencia de la falla, pero no se puede aceptar hasta que las pruebas hayan sido completadas (monitoreo con pruebas en proceso).
6	Bajo	
7	Muy bajo	Los controles pueden detectar la existencia del defecto, pero la detección no ocurre hasta que se haya procesado el lote final.
8	Remoto	
9	Muy remoto	Detección muy baja, los controles de la organización probablemente no detecten la existencia del defecto, pero este puede ser detectado por el cliente.

Fuente: Herrera-Galán, Michael. *Aplicación de la gestión de riesgo a equipos y sistemas productivos*. Consultado el 14 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/496/49655539028/html/>.

El valor NPR y el análisis de modo de falla y efectos al relacionarse entre sí son una herramienta importante; en este caso según los resultados se pueden priorizar las acciones críticas. Morales (2017) describe que: “el uso de esta herramienta permite obtener un valor de riesgo de cada modo de falla, sus efectos y consecuencias; según la evaluación de tres parámetros: su nivel de ocurrencia, su severidad y su grado de detectabilidad” (p. 65).

Tabla VII. **Valor NPR**

Valor cuantitativo	Clasificación	Criticidad
500 – 1000	Alto	Crítico
300-499	Moderado-Alto	
120-299	Moderado-Bajo	Semi-Crítico
1-119	Bajo	No crítico
0	Sin Riesgo	

Fuente: Herrera-Galán, Michael. *Aplicación de la gestión de riesgo a equipos y sistemas productivos*. Consultado el 16 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/496/49655539028/html/>.

7.3.2. Análisis de modos de fallas y de los efectos (FMEA o AMEF)

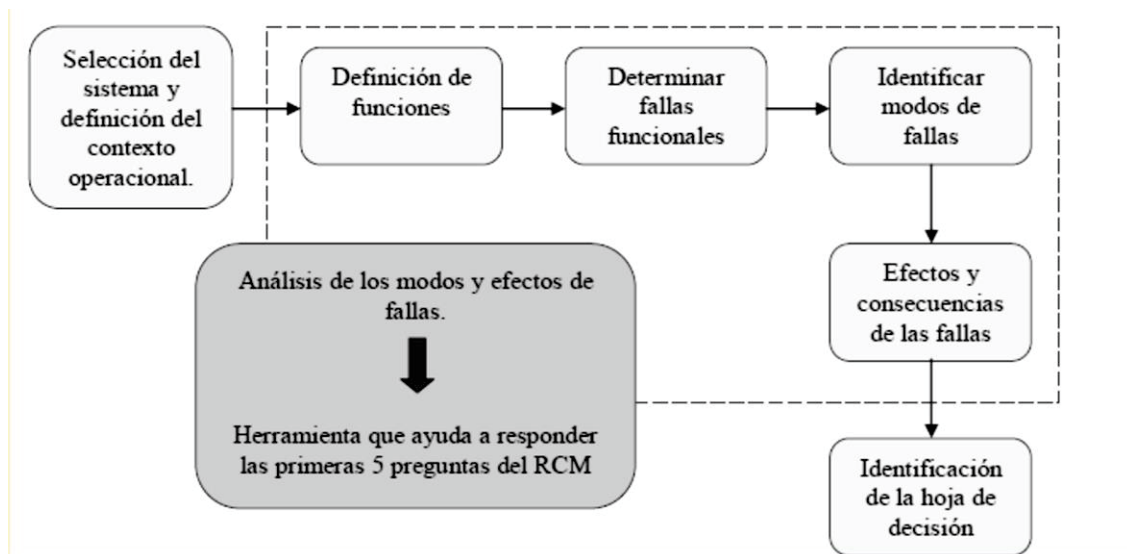
El análisis de modo de falla y efecto es un proceso que por medio del análisis de fiabilidad define los fallos en las máquinas, además de determinar las causas. Morales (2017) expone que “la técnica FMEA tiene aplicación principalmente en análisis de confiabilidad en equipos industriales” (p. 92).

El potencial que presenta el FMEA como herramienta para la industria demuestra la importancia que tiene, además de convertirse en una herramienta multidisciplinaria; por tal motivo es utilizado como lineamiento en normas internacionales.

El FMEA es una técnica de trabajo en equipo, estandarizada, cualitativa de metodología inductiva más beneficiosa y productiva en la adecuada estructuración de programas de predicción de confiabilidad, de implementación de mantenimiento, de aseguramiento de calidad y de evaluación de riesgos (Díaz, 2008, p. 84).

La implementación de la metodología FMEA se lleva a cabo al seguir los pasos presentes en la siguiente figura:

Figura 13. **Flujograma de implementación de la técnica FMEA**



Fuente: Morales, Sergio. *Generación y desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo en base a criticidad, según criterios de estadísticas de falla en empresa química Clariant*. Consultado el 18 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://docplayer.es/88242821-Universidad-tecnica-federico-santa-maria-departamento-de-ingenieria-mecanica-valparaiso-chile.html>.

7.4. Cuartos fríos

Los cuartos fríos son almacenes que reducen la temperatura interior por debajo de la temperatura ambiente; en consecuencia, se logra mantener las características del producto por mayor tiempo. Según Puerto (2012), “los cuartos fríos deben mantener una temperatura constante que permita la buena conservación de los alimentos. Para eso se cuenta con varios dispositivos que

controlan no solo la temperatura, sino también la microbiología del lugar, la humedad relativa” (p. 4).

7.4.1. Refrigeración

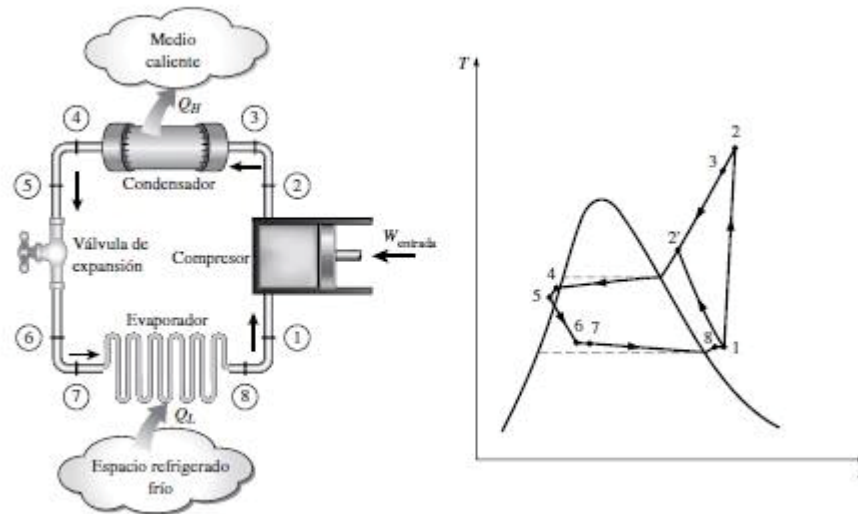
La refrigeración se basa en principios de termodinámica y la mecánica de fluidos, este principio promueve el intercambio de calor o transferencia de energía térmica entre el sistema de refrigeración y el medio ambiente. Como lo presenta Meneses (2001), “refrigerar es poner un producto por debajo de la temperatura ambiente” (p. 14).

7.4.2. Elementos mecánicos de un sistema de refrigeración

Los componentes mecánicos de un circuito de refrigeración son importantes de igual manera, dado que trabajan en conjunto en un circuito cerrado.

Un circuito de refrigeración corresponde a un arreglo mecánico basado en los principios de la termodinámica y mecánica de fluidos diseñado para transferir energía térmica entre dos focos, desplazando la energía térmica contenida en uno de sus focos, a fin de obtener una menor temperatura en este (Conesa, 2011, p. 7).

Figura 14. **Ciclo compresor de refrigeración**



Fuente: Silvera UTP. *Ciclos de refrigeración*. Consultado el 20 de septiembre de 2021. Recuperado de <http://rsilvera-utp-fim-refrigeracion.blogspot.com/2015/07/ciclo-real-de-refrigeracion-por.html>.

7.4.2.1. **Compresor**

El compresor representa el corazón de un sistema de refrigeración; la finalidad que tiene es aumentar la presión del gas refrigerante e impulsarlo para que complete el ciclo. Según Toapanta (2009), los compresores “son máquinas que tienen por finalidad aportar una energía a los fluidos compresibles, tales como el aire que es el fluido comprimido con mayor frecuencia, pero también se comprimen el gas natural, el oxígeno, el nitrógeno, y otros gases” (p. 6).

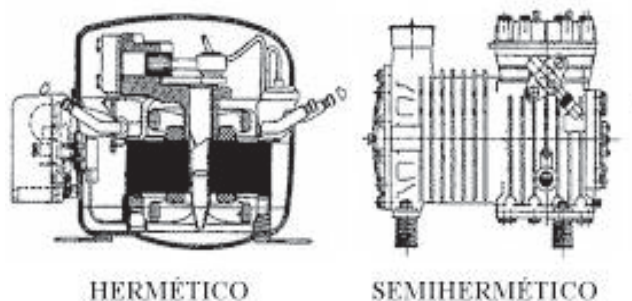
Las clasificaciones de los compresores para refrigeración normalmente son de tres tipos: recíprocante, rotativo y los llamados centrífugos. El compresor que

más aplicaciones tiene en la industria de refrigeración a escala mediana y pequeña es de tipo alternativo o reciprocante (Meneses, 2001).

Los compresores utilizados en refrigeración se clasifican también por la temperatura del área de climatización, debido a que se necesita calcular la potencia correcta para realizar el trabajo deseado. Como lo presenta Flores (2018) “existen varios tipos de compresores para sistemas de refrigeración, las cuales pueden variar de acuerdo con la temperatura; en el presente caso son sistemas de refrigeración de alta, media y baja temperatura” (p.35).

Los compresores de tipo hermético tienen la desventaja de acceso a los componentes internos, por lo cual se hace imposible realizar algún tipo de reparación interna. Por otro lado, los de tipo semihermético o también llamados de tipo reparable, son compresores que permiten realizar dos tipos de operaciones: cambio de platos de válvulas y de aceite (Wirz, 2008).

Figura 15. **Compresor hermético y semihermético**



Fuente: Blogspot.com. *Tipos de compresores*. Consultado el 10 de septiembre de 2021.

Recuperado de <http://tecnologia-compresores.blogspot.com/2010/04/tipos-de-compresores.html>.

7.4.2.2. Condensador

El condensador se encarga de perder por radiación el calor que conduce el refrigerante desde el área de enfriamiento; al mismo tiempo el refrigerante nuevamente vuelve a su fase líquida para continuar el ciclo. Según lo expone Meneses (2001) es el componente que se encarga de desechar el calor que se capta del interior del área de almacenamiento.

Figura 16. Condensador con ventilación forzada



Fuente: Conesa. *Condensador industrial*. Consultado el 8 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://frigoristas.wordpress.com/condensadores/>.

7.4.2.3. Evaporador

El evaporador, también llamado serpentín de enfriamiento, es el encargado de absorber el calor del interior de un área de almacenamiento, dado que el refrigerante, con ayuda de la válvula de expansión, absorbe el calor externo del sistema; en consecuencia, el refrigerante se evapora y es absorbido nuevamente por el compresor. Según Wirz (2008) el evaporador es el encargado de absorber el calor presente en el ambiente del área de enfriamiento.

Figura 17. **Evaporador con ventilación forzada**



Fuente: ACR Latinoamérica. *Evaporador de aire*. Consultado el 8 de septiembre de 2021.
Recuperado de <https://www.acrlatinoamerica.com/201801167803/productos/aire-acondicionado-y-ventilacion/evaporador-de-aire.html>.

7.4.2.4. Válvula de expansión termostática

Las válvulas de expansión termostática son dispositivos sumamente importantes en los sistemas de refrigeración, dado que el trabajo que realizan es regular la inyección de refrigerante en estado líquido al evaporador. Para Meneses (2001), la responsable de la inyección de refrigerante líquido es la válvula de expansión, puesto que se encarga del llenado del evaporador para la absorción de calor, y afirma que:

Un componente esencial lo constituye la válvula de expansión, que controla el flujo del refrigerante a los evaporadores. La más común es la válvula de expansión termostática que controla la inyección, manteniendo constante un grado de sobrecalentamiento del refrigerante en la salida del evaporador, situación que permite mantener al evaporador completamente lleno de refrigerante (p. 26).

Figura 18. **Válvula de expansión termostática**



Fuente: Directindustry. *Válvula de expansión termostática*. Consultado el 6 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://www.directindustry.es/prod/danfoss-refrigeration-air-conditioning/product-35691-2059657.html>.

7.4.3. Elementos eléctricos de un sistema de refrigeración

Los elementos eléctricos que componen un sistema de refrigeración pueden variar según las dimensiones, ya que hay que tomar en cuenta la antigüedad del equipo, dado que los equipos modernos presentan elementos electrónicos. Por lo general los fallos potenciales aparecen en componentes eléctricos de potencia; “se deben examinar regularmente los cuadros eléctricos y centros de control de motores. Si no lo hace, el calor podría acumularse hasta el punto de fundir conexiones y provocar averías e incluso incendios” (Ingeniero, 2011, p.15). Los elementos comunes son: el motor del compresor, tablero principal, tablero de

distribución, panel de control, válvula solenoide, temporizador de deshielo, termostato, presostatos y ventiladores.

7.5. Empresas exportadoras de hortalizas

Las empresas exportadoras de hortalizas ofrecen productos de alta calidad al consumidor, dado que se debe garantizar la inocuidad del producto desde el proceso agrícola hasta la entrega como producto terminado; además, tiene que cumplir con las regulaciones establecidas. Según Vilda (2014), “las plantas de proceso tienen una excelente infraestructura, un eficiente manejo de la cadena de frío y buenas prácticas de manufactura” (p. 5).

7.5.1. Historia de exportación

Según lo expone Padilla (2014), “a partir de los años setenta del siglo XX, una parte importante de la población rural guatemalteca comenzó a dedicarse al cultivo de productos agrícolas no tradicionales como arveja, brócoli, ejote (o ejote francés) mini hortalizas” (p. 274). Toda la producción de este tipo de hortalizas se destina al mercado externo. En 1986, el 25 % de las exportaciones guatemaltecas representaba los productos no tradicionales y en 2012 este porcentaje aumentó a 72 %.

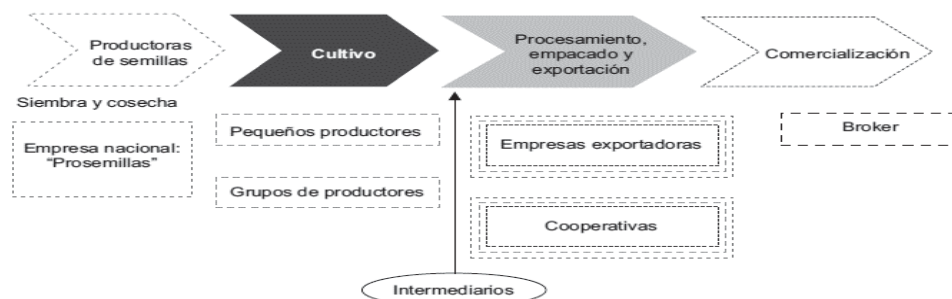
Según el último Censo Agropecuario de Guatemala de 2002/2003 la producción de hortalizas de exportación se distribuye de la siguiente manera: “Chimaltenango (42 %), Sacatepéquez (25 %), San Marcos (14 %), Huehuetenango (9 %), Sololá (7 %) y Quiché (3 %); cuya producción ha aumentado significativamente en los últimos años” (Guzmán, 2016, p. 17).

7.5.2 Exportación de hortalizas de Guatemala

La exportación de hortalizas no tradicionales tiene muchas ventajas por su alta rentabilidad, debido a que requiere menos tiempo de cultivo; a su vez se cultivan varios ciclos del mismo producto. La cadena de hortalizas de exportación comprende la arveja (china y dulce), el brócoli, las variedades importantes de calabacín (zucchini), el elotín (también conocido como minielote) y la minizanaahoria (Padilla, 2014).

La cadena de hortalizas de exportación no tradicionales se divide en cuatro eslabones: la producción de semillas, el cultivo, el procesamiento y la comercialización. Según Guzmán (2016), “Guatemala es el segundo exportador mundial de arveja al mundo, después de Estados Unidos, con el 14 % del mercado mundial; el séptimo exportador mundial de brócoli, y el tercer exportador mundial de ejote francés” (p. 16).

Figura 19. **Eslabones de la cadena de producción de hortalizas de exportación no tradicionales**



Fuente: CEPAL. *Fortalecimiento de las cadenas de valor como instrumento de la política industrial*. Consultado el 8 de septiembre de 2021. Recuperado de https://issuu.com/publicacionescepal/docs/libro123_es/279.

- El primer eslabón se caracteriza por dominio de empresas extranjeras productoras de semillas, realizan grandes inversiones en investigación y se encargan de vender por intermedio de agencias importadoras al mercado nacional.
- El segundo eslabón lo conforman los pequeños agricultores; pueden ser propietarios o arrendatarios. Son los encargados de la limpieza y la preparación de la tierra, la siembra, el cuidado de las plantas, la cosecha y la entrega a las empresas que realizan el procesamiento y la exportación. Existen cooperativas y asociaciones de campesinos que se dedican a estas tareas, así como algunas empresas procesadoras y exportadoras de hortalizas.
- El tercer eslabón está a cargo de empresarios guatemaltecos dueños o arrendatarios de plantas de refrigeración en las que se realizan la selección, la limpieza y el empaque de las hortalizas. Estos efectúan los trámites de exportación y del envío del producto al extranjero. Asimismo, existen cooperativas y asociaciones de campesinos que se han incorporado a este eslabón de la cadena, que procesan y exportan las hortalizas que producen.
- El cuarto eslabón está a cargo del intermediario que realiza los trámites aduaneros en el extranjero; estos se encargan de vender las hortalizas a las cadenas de supermercados, hoteles y restaurantes del país importador (Padilla, 2014).

7.5.3. Cadena de frío

La cadena de frío es el proceso que reduce la velocidad de deterioro en el producto; evita acarrear una maduración anómala que perjudique; en consecuencia, permite la conservación durante largos períodos de tiempo hasta llegar al consumidor final. Según Meneses (2001), el alto estrés que sufre la cosecha al momento de ser recolectada provoca un incremento de la respiración; por tal motivo debe reducirse la temperatura del producto inmediatamente, luego de cosechar, para evitar el deterioro.

La cadena de frío presenta una serie de actividades ininterrumpidas a temperatura controlada, generalmente se lleva a cabo en cuartos refrigerados de almacenamiento y distribución. El preenfriamiento también conocido como prerrefrigeración es el inicio de la cadena de frío, según se presenta a continuación:

La cadena de frío se inicia en la planta procesadora; al ingresar el producto del campo de producción, este recibe un preenfriamiento en canastas plásticas esto se hace para que el producto libere toda la humedad posible sin deshidratarse y para que el riesgo de condensación en las bandejas sea mínimo; la temperatura a la cual se hace este preenfriamiento es a 30-34 °F durante por lo menos 12 horas (Vilda, 2014, p. 18).

Ventajas del preenfriamiento a las frutas y hortalizas:

- Reduce rápidamente la actividad fisiológica del producto (respiración, transpiración y producción de etileno) reduciéndose el ritmo de maduración.
- Conserva más tiempo la calidad y el peso.

- Disminuye el peligro de ataque de microorganismos.
- Permite transportar largas distancias, especialmente productos perecederos.
- Permite recolectar la fruta con una madurez más avanzada, lo que incide en la mejor calidad del producto.
- Se puede manejar mayor volumen del producto.
- En cargas continuas de un cuarto frío, se evita la oscilación de temperaturas dentro del mismo, porque el producto entra con poca diferencia de temperatura (Meneses, 2001).

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Mantenimiento predictivo

1.1.1. Plan de mantenimiento

1.1.2. Mantenimiento basado en condición (CBM)

1.1.3. Intervalo P-F

1.1.4. Ensayos no destructivos

1.1.5. Termografía

1.1.6. Vibraciones

1.1.7. Análisis de aceite

1.1.8. Inspecciones VOSO

1.2. Criticidad

1.2.1. Técnicas de jerarquización de activos según la criticidad

- 1.2.1.1. Análisis de Pareto
 - 1.2.1.2. Número de prioridad de riesgo NRP
 - 1.2.2. Análisis de modo y efecto de falla (AMEF)
- 1.3. Norma ISO 17359:2011
 - 1.3.1. Análisis beneficio-costo
 - 1.3.2. Auditoría de equipos
 - 1.3.3. Auditoría de confiabilidad y criticidad
 - 1.3.4. Selección apropiada de estrategias de mantenimiento
 - 1.3.5. Selección de método de monitoreo
 - 1.3.6. Adquisición de datos de análisis
 - 1.3.7. Determinación de acciones de mantenimiento
 - 1.3.8. Revisión y medición de la efectividad
- 1.4. Cuartos fríos
 - 1.4.1. Refrigeración
 - 1.4.2. Elementos mecánicos de un sistema de refrigeración
 - 1.4.2.1. Compresor
 - 1.4.2.2. Condensador
 - 1.4.2.3. Evaporador
 - 1.4.2.4. Válvula de expansión
 - 1.4.3. Elementos eléctricos de un sistema de refrigeración
- 1.5. Empresas exportadoras de hortalizas
 - 1.5.1. Historia
 - 1.5.2. Productos de exportación de Guatemala
 - 1.5.3. Importancia de la exportación
 - 1.5.4. Cadena de frío

2. MARCO METODOLÓGICO

- 2.1. Características del estudio
 - 2.1.1. Enfoque

- 2.1.2. Alcance
 - 2.1.3. Diseño
 - 2.2. Población
 - 2.2.1. Muestra
 - 2.2.2. Criterios de inclusión
 - 2.2.3. Criterios de exclusión
 - 2.3. Unidad de análisis
 - 2.4. Variables
 - 2.4.1. Operacionalización de variables
 - 2.5. Fases del estudio
 - 2.6. Técnicas de análisis de información
 - 2.6.1. Pruebas de normalidad
 - 2.6.2. Análisis multivariado
 - 2.6.3. Series de tiempo
 - 2.7. Técnicas de recolección de datos
 - 2.7.1. Técnica
 - 2.7.2. Instrumentos
 - 2.8. Procesamiento y análisis de datos
- 3. ESTUDIO TÉCNICO
 - 3.1. Descripción del área en estudio
 - 3.2. Misión del área en estudio
 - 3.3. Visión del área en estudio
 - 3.4. Áreas de atención del estudio
 - 3.5. Recursos físicos y tecnológicos del área en estudio
- 4. ARQUETIPO DE SOLUCIÓN
 - 4.1. Funcionalidades del sistema
 - 4.2. Diseño de sistema

- 4.3. Arquitectura de sistema
- 4.4. Operación del sistema
- 4.5. Herramientas de desarrollo
- 4.6. Detalles de la funcionalidad
- 4.7. Documentación de funcionamiento
- 4.8. Presupuesto
 - 4.8.1. Inversión inicial
 - 4.8.2. Inversión de mantenimiento

5. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6. FACTIBILIDAD DE LA PROPUESTA

- 6.1. Factibilidad técnica
- 6.2. Factibilidad económica

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

9. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en el presente trabajo de investigación tiene como objetivo la implementación de un plan de mantenimiento predictivo con base en normas ISO 17359:2011 aplicado a los componentes críticos de un cuarto frío para empresas exportadoras de hortalizas. El enfoque utilizado será mixto, según las variables cualitativas y cuantitativas; además el alcance según la información recolectada y la medida será descriptivo.

9.1. Características del estudio

El enfoque del estudio propuesto es mixto, ya que incluye variables con características cualitativas y cuantitativas. Se usarán mediciones que permitan analizar los datos para obtener índices estadísticos necesarios en la investigación cuantitativa y, por otro lado, las características cualitativas por revisión documental para la recolección de datos.

El alcance de la investigación es descriptivo, dado que se pretende recolectar información y por medio de medición de parámetros podrán describirse los cambios adecuados para mejorar las condiciones de operación y mantenimiento del equipo de refrigeración por medio de un plan. El diseño adoptado será no experimental, ya que se propone un plan de mantenimiento predictivo con base en normas ISO 17359:2011 aplicado a los componentes críticos de un cuarto frío. Se analizará en el estado original sin ninguna manipulación; además, será transversal pues se analizará el comportamiento

evolutivo de los datos históricos recolectados, esto para realizar inferencias acerca de las rutinas de mantenimiento.

9.2. Unidad de análisis

La unidad de análisis será el equipo de refrigeración de un cuarto frío en una empresa exportadora de hortalizas en Guatemala, teniendo en cuenta que el equipo tiene más de 10 años de uso; además se presentará el análisis que permita expandir el plan de mantenimiento a los demás equipos. La muestra utilizada será el cuarto frío ubicado en el área de producto terminado de una empresa exportadora de hortalizas, de la cual se estudiarán los componentes críticos.

9.3. Variables

Las variables macros del estudio e indicadores se describen en la siguiente tabla.

Tabla VIII. Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operativa	Indicador
Plan de mantenimiento predictivo	Según Olarte <i>et al.</i> (2010), el mantenimiento predictivo consiste en ensayos no destructivos utilizados para dar el seguimiento de funcionamiento en los equipos y detectar signos de advertencia que indiquen que algún elemento no trabaja de la manera correcta.	Selección de ensayos no destructivos	Tipo ensayo no destructivo
		Tareas predictivas (recolección de datos, historial de fallas)	% tareas predictivas realizadas en un mes, trimestre o semestre.
		Plan de mantenimiento predictivo	Mantenimiento predictivo

Continuación de la tabla VIII.

Normas ISO 17359:2011	Se definen las directrices de monitoreo de condiciones para el diagnóstico de máquinas y componentes que se pueden medir según los parámetros de vibración, temperatura, tribología y otros (ISO, 2011, p. 1). La criticidad de un activo se encuentra mediante variables o parámetros técnicos e incluso económicos que, según el método utilizado tiene una ponderación del valor dado (GTS confiabilidad, 2018, p.37).	Directrices de monitoreo de condición	de Listado de lineamiento de monitoreo predictivo
Componentes críticos		Criticidad fallas	Valor de criticidad NPR Análisis de modo de falla y efecto AMEF
Cuartos fríos	Un cuarto frío es un almacén que por medio de un equipo de refrigeración genera de manera artificial el cambio de temperatura en un ambiente aislado.	Disponibilidad	$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$ <p>MTBF = tiempo promedio entre Fallas MTTR = tiempo promedio para reparar</p>
Empresas exportadoras de hortalizas	Las empresas exportadoras son instituciones que comercializan el producto fuera de las fronteras nacionales.	Resultados en la empresa exportadora	Seguridad medio ambiente, calidad del producto

Fuente: elaboración propia.

9.4. Fases del estudio

- Fase 1. Aprobación del tema a investigar: en esta fase se aprueba el tema de investigación, al cumplir con las correcciones planteadas por el catedrático del curso y por el coordinador de la maestría.

- Fase 2. Planteamiento de la problemática: permite describir el contexto del problema y la descripción para plantear las preguntas necesarias para la posible solución, así como la justificación y los objetivos.
- Fase 3. Revisión bibliográfica: consta del enriquecimiento del tema en estudio y las posibles soluciones al planteamiento del problema, establecer los antecedentes, marco teórico y marco metodológico.
- Fase 4. Aprobación de protocolo: esta fase permite la finalización del trabajo de investigación después de haber sido satisfactoria la revisión por parte de la Escuela de Posgrados de la Facultad de Ingeniería.
- Fase 5. Recolección de información: en esta fase se recolectan datos históricos de fallos ocurridos en la empresa, se realizan entrevistas a los encargados de mantenimiento y se analizan los componentes críticos del equipo de refrigeración (compresor, ventiladores, tableros de energía, entre otros).
- Fase 6. Análisis de información: en esta fase se realizan visitas a la empresa para la identificación de los equipos, componentes y la respectiva codificación; por otra parte, se realizará la reunión con el personal operativo para discutir el historial de mantenimiento que permita identificar los modos de falla, efecto y criticidad.
- Fase 7. Interpretación de información: la séptima fase consiste en seleccionar las estrategias apropiadas de mantenimiento según la criticidad y accesibilidad de medición. Más adelante, se debe seleccionar el método de monitoreo de condición predictivo a implementar; además, el

personal que realizará la medición de técnicas predictivas debe contar con experiencia.

- Fase 8. Trabajo de campo: consiste en la adquisición inicial de datos de análisis, la toma de medidas predictivas y la observación de tendencias para comparar con criterios de alerta, y de esta manera determinar las acciones de mantenimiento y retroalimentación para actualizar el histórico de condición para la generación de tendencias.
- Fase 9. Presentación de propuesta: esta última fase permite tener los resultados del monitoreo de condición de los componentes críticos de los cuartos fríos en estudio, de la empresa exportadora de hortalizas. Por consiguiente, se contará con los criterios de alerta, los indicadores y la propuesta del plan de mantenimiento predictivo que mejore la disponibilidad de los equipos de refrigeración.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Las técnicas de análisis de información permiten por medio de herramientas de recolección, procesamiento y análisis de datos obtener la información necesaria. La investigación documental y de campo permite analizar la información, con la finalidad de establecer un plan de mantenimiento predictivo adecuado.

Las técnicas e instrumentos de recolección de datos para la investigación serán, según lo expuesto en la tabla de operacionalización de variables; en primer lugar, se analizará la variable plan de mantenimiento predictivo; se utilizará para el enfoque cuantitativo la técnica o herramienta de revisión documental y los instrumentos a utilizar serán los lineamientos de monitoreo de condición conforme a la norma ISO 17359:2011, el registro de los equipos y componentes, historial de fallas, encuestas, ficha técnica de los equipos y el registro de mantenimiento predictivo. Así mismo, los datos recolectados según las variables de enfoque cualitativo serán tomados por los instrumentos de entrevistas y observación.

Las entrevistas permiten conocer la situación actual del equipo y sus componentes, teniendo en cuenta que los técnicos tienen relación directa con la gestión de mantenimiento. Las entrevistas tendrán una secuencia desde la planificación, aplicación y registro. La observación directa permite identificar las fallas críticas originadas en el tiempo; para ello se utilizarán listas de chequeo de observación.

El procesamiento y análisis de datos utilizado para la investigación será la estadística descriptiva para el modelado de gráficas de tendencia y de barras, obtenidas de la recolección de datos. La información se ordenará y almacenará para ser procesada en el programa de Microsoft Excel.

11. CRONOGRAMA

El presente cronograma tiene como finalidad la organización cronológica desde la aprobación del protocolo de investigación, el proceso de solución y la presentación del informe final. El tiempo propuesto de solución es de 4 meses.

Tabla IX. **Cronograma de actividades**

2021-2022																	
No.	Actividades	Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero			
		Semanas				Semanas				Semanas				Semanas			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Aprobación de protocolo	■	■														
2	Identificar equipo, componentes y codificación		■	■													
3	Verificar modos de falla, efectos y criticidad			■	■	■											
4	Selección de estrategias de mantenimiento					■	■										
5	Selección de método de monitoreo					■	■	■									
6	Adquisición de datos de análisis							■	■	■							
7	Determinar acciones de mantenimiento									■	■	■					
8	Revisión y medición de la efectividad											■	■				
9	Redacción de informe final												■	■	■	■	

Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

La realización del presente estudio cuenta con los recursos humanos, financieros, tecnológicos y de acceso a la información. La factibilidad de realizar la investigación para cumplir con cada una de las fases descritas es viable, ya que se cuenta con el apoyo de las diferentes partes involucradas en el proceso.

El recurso humano usado para el estudio consiste en la colaboración de un profesional encargado de la asesoría del trabajo de investigación, un especialista profesional en ensayos no destructivos, un técnico de mantenimiento eléctrico, un técnico experto en el área de refrigeración y el estudiante encargado de la investigación que implementará los procedimientos necesarios para el correcto proceso de monitoreo.

El recurso tecnológico utilizado para la investigación consta de una computadora portátil, un teléfono celular, una impresora, acceso a internet y equipo de ensayos no destructivos que provee el especialista. Además de los paquetes de cómputo necesarios para la realización del proyecto, en este caso Microsoft Office, formularios de Google, Google Meet, Zoom y otros.

Los recursos financieros utilizados para la elaboración del estudio de la propuesta de un plan de mantenimiento predictivo a cuartos fríos de una empresa exportadora de hortalizas, serán realizados con financiamiento personal del investigador, además de otros gastos que se presenten en el transcurso de la investigación.

En relación con el acceso a la información de mantenimiento e histórico de fallos se cuenta con los respectivos permisos, así como el acceso a los equipos e infraestructura que se pretende estudiar.

A continuación, se presenta la tabla de cuantificación del presupuesto de inversión para el estudio de investigación.

Tabla X. **Presupuesto de la investigación**

No.	Descripción	Recurso	Valor	Porcentaje (%)
1	Cuota única asesor	Humano	Q. 2 500.00	11
2	Especialista END	Humano	Q. 3 500.00	16
3	Técnico electricista	Humano	Q. 1 000.00	4.5
4	Técnico en refrigeración	Humano	Q. 1 000.00	4.5
5	Investigador	Humano	Q. 3 000.00	13.5
6	Computadora, impresora e internet	Tecnológico	Q. 1 000.00	4.5
7	Equipo ensayos no destructivos	Tecnológico	Q. 7 000.00	31
8	Vehículo y combustible	Transporte	Q. 1 200.00	5.5
9	Alimentación	Alimentación	Q.1 000.00	4.5
10	Hojas, lapiceros, lápices, entre otros.	Materiales	Q. 120.00	0.5
11	Imprevistos	Otros gastos	Q. 1000.00	4.5
Total			Q. 22 320.00	100%

Fuente: elaboración propia.

13. REFERENCIAS

1. Abad, J. y Guamán, A. (2021). *Plan de ampliación de servicios de monitoreo de condición como valor agregado a clientes estratégicos de Hivimar S. A.* (Tesis de maestría). Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador. Recuperado de <http://201.159.222.99/bitstream/datos/10647/1/16233.pdf>.
2. Aldana, D. (2017). *Aplicación de la termografía infrarroja como método de inspección no destructivo para el mantenimiento predictivo del proceso de extrusión de tubería en PVC.* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/60891>.
3. Altmann, C. (2009). ¿Cómo mejorar la confiabilidad de un sistema complejo? *Revista Protección y Seguridad*. 55(325), pp. 59-68. Uruguay: URUMAN. Recuperado de <http://www.mantenimiento mundial.com/notas/ConfiabilidadCA.pdf>.
4. Aránguiz, A., Gatica, N., Böhme, J., y Wolfgang, W. (2019). *Desarrollo de la auditoría integral AMORMS (Asset Management, Operational Reliability and Maintenance Survey), aplicada a los procesos de gestión de activos y mantenimiento de una planta de celulosa.* Universidad de Sevilla. Recuperado de <https://5f9c7078a6fdccfd7b8ddefc/Desarrollo-de-la-auditoria-integral-AMORMS-Asset-Management-Operational-Reliability-Maintenance-Survey->

aplicada-a-los-procesos-de-gestion-de-activos-y-mantenimiento-de-una-planta-de-Celulosa.pdf.

5. Arias, J. (2020). *Proyecto de tesis, guía para la elaboración* (Vol. 1). Arequipa, Perú: Biblioteca Nacional del Perú N° 2020-05577. Obtenido de www.agogocursos.com.
6. Beltrán, J., Carmona, M., Carrasco, R., Rivas, M. y Tejedor, F. (2009). *Guía para una gestión basada en procesos*. Instituto Andaluz de Tecnología, España. Recuperado de https://www.euskadi.eus/web01-s2ing/es/contenidos/informacion/bibl_digital/es_documento/adjuntos/Guia%20para%20una%20gestion-basada-procesos.pdf.
7. Blanco, J., y Duque, O. (2018). Ingeniería de mantenimiento basada en confiabilidad a los equipos altamente críticos de la empresa comercializadora LICRATEX C. A. *Revista Mundo Fesc*, Vol. 8 Número 15, pp. 41-48. Recuperado de <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/251/438>.
8. Cámara del Agro y Agrequima (2015). *El agro es vital para la economía del país: elementos de propuesta de política agrícola para Guatemala*. Guatemala: Cámara del Agro y Agrequima. Recuperado de <https://www.camaradelagro.org/wp-content/uploads/sites/24/2017/07/Propuesta-Pol%C3%ADtica-Agr%C3%ADcola.pdf>.
9. Conesa, J. (2011). Sistema de refrigeración por compresión. *Experimentación en Ingeniería Química III*. España: Universidad de

Alicante. Recuperado de <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/17271/1/refrigeracion.pdf>.

10. Diaz, C. (2008). *Automatización del análisis de modos de falla y efectos FMEA en la ingeniería de mantenimiento aplicado para la industria ecuatoriana*. (Tesis de Ingeniería Industrial). Escuela Politécnica Nacional, Quito. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/889/1/CD-1771%282008-11-05-11-33-01%29.pdf>.
11. Duffuaa, S., Rauouf, A., y Dixon, J. (2012). *Sistemas de mantenimiento*. México D. F., México: Limusa Wiley.
12. Estrada, J. (2020). *Diseño de un plan de mantenimiento predictivo aplicado a los compresores de aire para la fábrica de pisos, azulejos y fachaletas cerámicas de Samboro, S. A. basado en la norma ISO 17359*. (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/15000/>.
13. Estupiñan, E., y Saavedra, P. (2007). *Alcances de la implementación de nuevas técnicas de análisis en los programas de mantenimiento predictivo – proactivo en la industria*. (Tesis de Ingeniería Mecánica). Chile: Universidad de Concepción. Recuperado de <https://docplayer .es/9297232-Alcances-de-la-implementacion-de-nuevas-tecnicas-de-analisis-en-los-programas-de-mantenimiento-predictivo-proactivo-en-la-industria.html>.
14. Flores, E. (2017). *Diseño de rutas de mantenimiento preventivo (PMR) y vosoa para los equipos de la línea tres de cal, Cementos Progreso S. A.* (Tesis de Ingeniería Industrial). Universidad de San Carlos,

Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/7192/1/Elmer%20Aroldo%20Flores%20Cabrera.pdf>.

15. Flores, J. (2018). *Optimización de tiempo en la ejecución del mantenimiento preventivo en equipos HVAC implementando técnicas de mantenimiento predictivo en la empresa Wood Proyectos S.A.C.* (Tesis de Ingeniería Industrial). Universidad Privada del Norte, Lima, Perú. Recuperado de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14426>.
16. García, S. (2010). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
17. Gómez, A. (2009). *Refrigeración chiapaneca*. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Recuperado de <http://repositorio.digital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/handle/123456789/1543>.
18. Guzmán, V. (2016). *Diagnóstico de la cadena de vegetales (con énfasis en arveja china y arveja dulce)*. Guatemala: MARN. Recuperado de <https://www.marn.gob.gt/Multimedios/9813.pdf>.
19. Herrera-Galán, M. (2017). Aplicación de la gestión de riesgo a equipos y sistemas productivos. *Revista DYNA*. 84(202), pp. 247-254. Medellín Colombia: DYNA. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v84n202/0012-7353-dyna-84-202-00247.pdf>.
20. Hidalgo-Gato, R. (2015). *Contribuciones al preprocesado, procesado y análisis en termografía infrarroja aplicados a ensayos no destructivos*. (Tesis doctoral). Universidad de Cantabria, Santander,

España. Recuperado de <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/6813>.

21. Ingeniero, A. (2011). *Guía de termografía para mantenimiento predictivo*. España: Flir Systems AB. Recuperado de https://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820264/T820264_ES.pdf.
22. ISO 2372. (1987). *Mechanical vibration of machines with operating speeds from 10 to 200 rev/s – Basis for specifying*. Ginebra, Suiza. Recuperado de <https://www.iso.org/standard/7212.html>.
23. ISO 10816. (2003). *ISO 10816 Mechanical vibration. Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating*. Ginebra, Suiza. Recuperado de <https://www.iso.org/standard/18866.html>.
24. ISO 18434-1. (2008). *Condition monitoring and diagnostics of machines – Thermography*. Ginebra, Suiza. Recuperado de <https://www.iso.org/standard/41648.html>.
25. ISO 17359. (2018). *ISO 17359:2018. Condition monitoring and diagnostics of machines*. Ginebra, Suiza. Recuperado de <https://www.iso.org/standard/71194.html>.
26. López, G. (2004). Análisis de vibraciones para el mantenimiento predictivo. *Revista Técnica Industrial*, 255, pp. 25-27. Zaragoza, España. Recuperado de <https://www.tecnicaindustrial.es/wp-content/uploads/Numeros/14/35/a35.pdf>.

27. Marchena, F. (2018). *Implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para aumentar la productividad del área de producción de tableros de la empresa SERTES S.A.A.* (Tesis de Ingeniería Industrial). Universidad César Vallejo, Lima, Perú. Recuperado de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/22981>.
28. Martínez, J. (2013). Diseño de un plan de mantenimiento para un equipo de alta fiabilidad. *Revista Técnica Industrial*. 25/4. pp. 40-53. España: Gerona. Recuperado de <https://www.tecnicaindustrial.es/disenio-de-un-plan-de-mantenimiento-para-un-eq/>.
29. Martínez, L. (2014). *Metodología para la definición de tareas de mantenimiento basado en confiabilidad, condición y riesgo aplicada a equipos del sistema de transmisión nacional.* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/51759/98512103.2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
30. Martínez, L., Martínez, F. y Abad, J. (2006). Mantenimiento: algunas consideraciones sobre el análisis de vibraciones en máquinas rotativas. *Revista DYNA*, 1(75), pp. 23-26. España: Engineering DYNA Publishing. Recuperado de <https://www.revistadyna.com/busqueda/mantenimiento-algunas-consideraciones-sobre-analisis-de-vibraciones-en-maquinas-rotativas>.
31. Meneses, M. (2001). *Planeación y operación de cuartos fríos para frutas y hortalizas.* Quindío, Colombia: Programa Nacional de Capacitación en Manejo Poscosecha y Comercialización de Frutas y Hortalizas,

Convenio SENA - Reino Unido. Recuperado de <https://1library.co/document/y9rl14wy-planeacion-operacion-cuartos-frios-frutas-hortalizas.html>.

32. Mesa, G., Dario, H., Ortiz, Y. y Pinzón, M. (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scientia Et Technica*, vol. XII, p. 157, 1(30). Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira. Recuperado de <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6513>.
33. Morales, S. (2017). *Generación y desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo en base a criticidad, según criterios de estadísticas de falla en Empresa Química Clariant*. (Tesis de Ingeniería Mecánica Civil). Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile. Recuperado de <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/23029>.
34. Morataya, C. (2015). *Propuesta de creación del departamento de confiabilidad y plan de mantenimiento predictivo para equipos críticos en el Ingenio Santa Ana*. (Tesis de Ingeniería Industrial). Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3301/>.
35. Moubray, J. (2004). *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. Asheville, North Carolina, USA: Aladon Ltd.
36. Olarte, W., Botero, M., y Cañon, B. (2010). Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria. *Scientia Et Technica*, vol. XVI, p. 224.

37. Orrellana, W. (2019). *Desarrollo de una estrategia de mantenimiento, basado en técnicas no destructivas y la norma ISO 17359 para la línea de producción No. 1 de la planta de jabones de lavandería.* (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/12206/>.
38. Padilla, R. (2014). *Fortalecimiento de las cadenas de valor como instrumento de la política industrial: metodología y experiencia de la CEPAL en Centroamérica.* Santiago de Chile: CEPAL. Recuperado de <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/36743>.
39. Padron, D. (2020). *Propuesta de mejora del plan de mantenimiento del molino vertical de carbón de la industria cementera UCEM, Planta Guapán.* (Tesis de maestría). Universidad de Azuay, Cuenca, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/9722/1/15353.pdf>.
40. Paredes, I. (2018). *Propuesta para la optimización de la gestión de mantenimiento de los enfriadores de gas del centro operativo San Joaquín perteneciente a PDVSA GAS ANACO.* (Tesis de maestría). Universidad Nacional, San Tomé, Venezuela. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/340742124_Propuesta_para_la_optimizacion_de_la_gestion_de_mantenimiento_de_los_enfriadores_de_gas_del_Centro_Operativo_San_Joaquin_perteneciente_a_PDVSA_Gas_Anaco.
41. Penkova, M. (2007). Mantenimiento y análisis de vibraciones. *Revista Ciencia y Sociedad*, XXXII(4), 668-678. Recuperado de <http://repositorio.biblioteca.intec.edu.do/handle/123456789/1250>.

42. Puerto, E. (2012). *Guía técnica para el diseño de cuartos fríos*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Recuperado de https://efrainpuerto.files.wordpress.com/2012/02/puerto_efrain_guia_tecnica_para_el_diseño_de_cuartos_frios.pdf.
43. Royo, J., Rabanaque, G., y Torres, F. (2000). *Análisis de vibraciones e interpretación de datos*. DIDYF España: Universidad de Zaragoza. Recuperado de <https://www.guemisa.com/articulos/vibraciones.pdf>.
44. Salazar, E. (2017). *Análisis beneficio-costo para la adquisición y montaje de un nuevo molino en el tándem A del Ingenio Santa Ana*. (Tesis de Ingeniería Mecánica Industrial). Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/6215/1/Elmer%20Estuardo%20Salazar%20R%C3%ADos.pdf>.
45. Salazar, L. (2019). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de equipos críticos del proceso de producción de hielo en la empresa Lesser S.A.C.* (Tesis de Ingeniería Industrial). Universidad César Vallejo, Lima, Perú. Recuperado de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/31580>.
46. Sánchez, J. (2014). *Diagnóstico de fallas incipientes mediante la variación angular instantánea*. (Tesis de Ingeniería Civil Mecánica). Universidad de Chile, Santiago. Recuperado de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/116263/cf-sanchez_jm.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

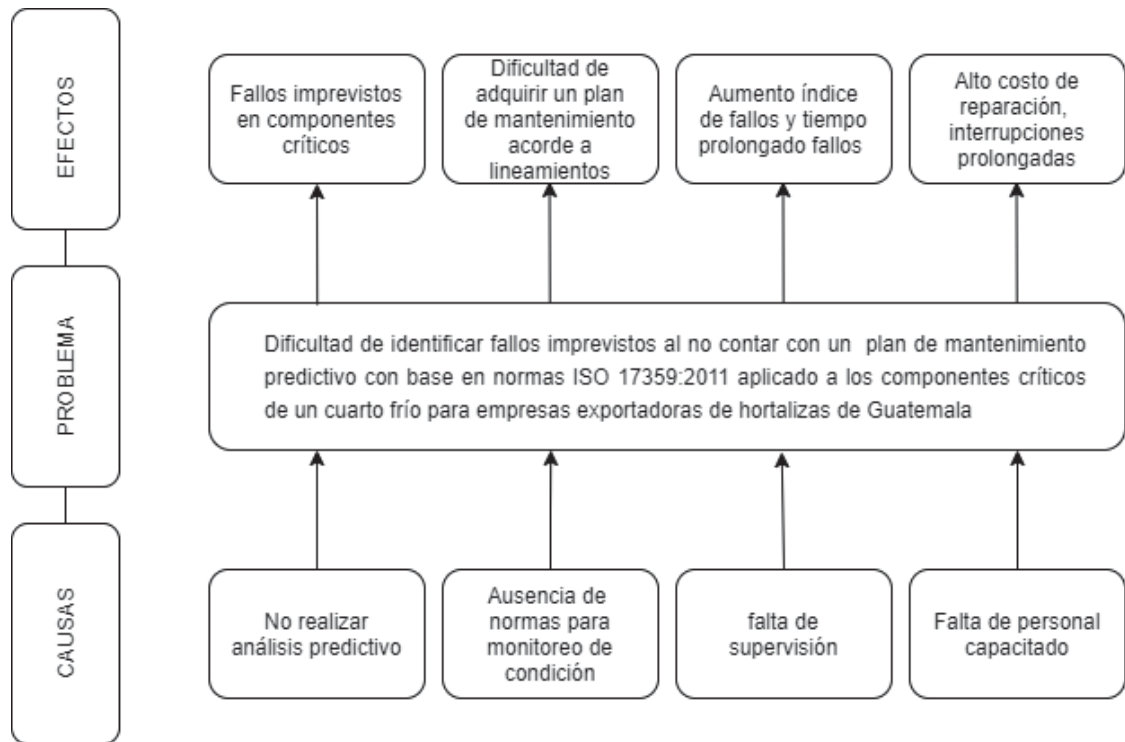
47. Santamaría, R. (2002). *Los 10 errores que no debe cometer en su programa de termografía*. México: Querétaro. Recuperado de <https://www.tam.com.mx/images/descargas/articulos/tam08.pdf>.
48. Santiz, J. (2019). *Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para el área de fábrica de azúcar de Ingenio Trinidad, San Siego, S. A.* (Tesis de Ingeniería Mecánica). Universidad de San Carlos, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1034_M.pdf.
49. Serna, J. (2012). *Desarrollo de un prototipo funcional de bajo costo para la medición de la severidad vibratoria en máquinas rotativas según las normas ISO 2372 y 10816-3*. (Tesis de maestría). Universidad EAFIT, Medellín, Colombia. Recuperado de <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/1242>.
50. Solar, G. (2004). *Análisis de vibraciones para el mantenimiento predictivo*. Grupo Álava, Zaragoza España. Recuperado de <https://www.tecnicaindustrial.es/wp-content/uploads/Numeros/14/35/a35.pdf>.
51. Tejaxún, C. (2019). *Desarrollo de un modelo de gestión de mantenimiento a través del monitoreo de condición, utilizando ensayos no destructivos, bajo la norma ISO 17359:2011 para la conservación de equipos críticos, en la industria avícola*. (Tesis de Maestría). Universidad de San Carlos, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/12162/>.
52. Toapanta, O. (2009). *Implementación de un análisis de mantenimiento basado en condición de los compresores reciprocantes y de tornillo*.

(Tesis de Ingeniería Mecánica). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/260>.

53. Vilda, M. (2014). *Diseño de un sistema APPCC en la empresa Exportadora Ghortex, SA, para el proceso de manufactura de arveja (Pisum sativum L.), diagnóstico y servicios, Santo Domingo Xenacoj, Sumpango, Sacatepéquez, Guatemala, C. A.* Universidad de San Carlos, Guatemala. (Tesis de grado). Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/2693/1/TESIS%20SALOME%20VILDA.pdf>.
54. Wirz, D. (2008). *Refrigeración comercial para técnicos de aire acondicionado*. Madrid: Paraninfo.

14. APÉNDICES

Apéndice 1. **Árbol del problema**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Encuesta a personal de Ingeniería y operaciones**



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO. BOLETA # ____.

Instrucciones: la siguiente encuesta tiene como objetivo obtener información general sobre mantenimiento predictivo con base en normas ISO 17359:2011 aplicado a los componentes críticos de un cuarto frío para empresas exportadoras de hortalizas. La información que proporcione será estrictamente confidencial y de carácter académico. Marque con una "X" la respuesta que considere correcta.

1. ¿Conoce sobre especificaciones que deben aplicarse para dar mantenimiento a empresas exportadoras de hortalizas en Guatemala?

- a. Sí
- b. No

2. ¿Cree usted que es indispensable conocer los componentes críticos de un cuarto frío para su correcto mantenimiento?

- a. Sí
- b. No

3. ¿Existe alguna infraestructura que presenta daños con mayor frecuencia en el área de cuartos fríos?

- a. Muros
- b. Sistema de energía
- c. Sistema de temperatura
- d. Ductos

Continuación del apéndice 2.

4. ¿Con qué periodicidad se realiza mantenimiento a los cuartos fríos?

- a. Mensual
- b. Bimestral
- c. Semestral
- d. Anual
- e. Bianual

5. ¿Conoce las normas ISO 17359:2011 aplicadas a los componentes críticos de un cuarto frío en una empresa exportadora de hortalizas?

- a. Sí
- b. No

6. Indique los problemas que se han presentado en cuanto al mantenimiento de un cuarto frío:

Gracias por su colaboración.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Encuesta a personal responsable de la supervisión



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO. BOLETA # ____.

Instrucciones: la siguiente encuesta tiene como objetivo obtener información general sobre los componentes críticos de un cuarto frío para empresas exportadoras de hortalizas. La información proporcionada será estrictamente confidencial. A continuación, encontrará una serie de preguntas; marque con una "X" la respuesta que considere correcta.

1. ¿Conoce los lineamientos de la norma ISO 17359:2011 aplicables a un plan de mantenimiento predictivo?

- a. Sí
- b. No

¿Cuáles son?

2. ¿Con qué periodicidad identifica los componentes críticos y modo de falla comunes en el equipo de refrigeración de un cuarto frío?

- a. Mensual
- b. Bimestral
- c. Semestral
- d. Anual

Continuación del apéndice 3.

3. ¿Cuáles son los beneficios de un plan de mantenimiento predictivo a equipos de refrigeración?

4. ¿Qué tipo de supervisión realiza regularmente?

- a. De campo
- b. Reporte fotográfico
- c. Video llamadas
- d. Informes

5. ¿Determina el estado de los componentes críticos mediante la utilización de tecnología y técnicas predictivas para monitoreo de condición?

- a. Sí
- b. No

Observaciones:

Fuente: elaboración propia.