



UNIVERSIDAD NACIONAL



“PEDRO RUIZ GALLO”

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA**

TESIS

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA
METODOLOGÍA PMO PARA INCREMENTAR LA
DISPONIBILIDAD DE LA CAMARA FRIGORÍFICA 3**

AUTOR

Bach. ENRIQUE IVAN RAMIREZ ESTELA

ASESOR

M.SC. ING. ROBISON TAPIA ASENJO

LAMBAYEQUE – PERÚ

13 AGOSTO DEL 2026



UNIVERSIDAD NACIONAL



“PEDRO RUIZ GALLO”

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA**

TESIS

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA
METODOLOGÍA PMO PARA INCREMENTAR LA
DISPONIBILIDAD DE LA CAMARA FRIGORÍFICA 3 EN
LA EMPRESA PROCESADORA PERU S.A.C.”**

Aprobado por el jurado examinador

DR. SEGUNDO HORNA TORRES

DR. OSCAR MENDEZ CRUZ

Presidente

Secretario

M.SC. ING. PERCY NIÑO VASQUEZ

M.SC. ING. ROBINSON TAPIA ASENJO

Vocal

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DECANATO



ACTA DE SUSTENTACION N°0179-2026-FIME



En la ciudad de Lambayeque, siendo las 12:30 p.m. del día jueves 13 de agosto 2026. Se reunieron los miembros del jurado, designados mediante Resolución N°0145-2026-D-FIME-UNPRG, de fecha 11 de agosto 2026, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la Tesis, conformado por los siguientes catedráticos:

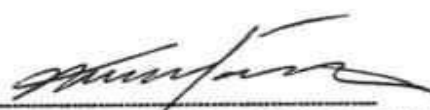
- | | |
|--|------------|
| • Dr. Ing. SEGUNDO ABELARDO HORNA TORRES | PRESIDENTE |
| • Dr. Ing. OSCAR MENDEZ CRUZ | SECRETARIO |
| • M.Sc. Ing. PERCY EDWAR NIÑO VÁSQUEZ | MIEMBRO |
| • M.Sc. Ing. ROBINSON TAPIA ASENJO | ASESOR |

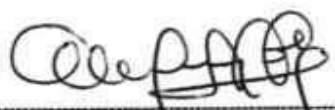
Se recibió la Tesis titulada:

"PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA METODOLOGIA PMO PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LA CAMARA FRIGORIFICA 3 EN LA EMPRESA PROCESADORA PERU S.A.C"

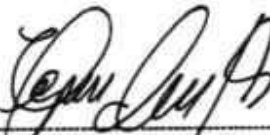
Presentada y sustentada por su autor, Bachiller: **RAMIREZ ESTELA ENRIQUE IVAN**. Finalizada la sustentación de la Tesis, el sustentante respondió las preguntas y observaciones de los miembros del jurado examinador, quienes procedieron a deliberar y acordaron otorgar el calificativo de **APROBADO**, Nota (**17**) en la escala vigesimal, mención **BUENO**. Quedando el sustentante apto para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, de acuerdo a la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente, de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las **1:20 p.m.** del mismo día se da por concluido el acto académico, firmando presente acta el jurado respectivo:


Dr. Ing. SEGUNDO ABELARDO HORNA TORRES
PRESIDENTE


M.Sc. Ing. PERCY EDWAR NIÑO VÁSQUEZ
MIEMBRO


Dr. Ing. OSCAR MENDEZ CRUZ
SECRETARIO


M.Sc. Ing. ROBINSON TAPIA ASENJO
ASESOR



CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, **M Sc. Ing. Robinson Tapia Asenjo**, usuario revisor del documento titulado: **“Plan de Mantenimiento basado en la metodología PMO para incrementar la disponibilidad de la cámara frigorífica 3 en la empresa Procesadora Perú S.A.C”**

Cuyo autor es, **Ramírez Estela Enrique Iván**, identificado con documento de identidad N° **77424734** declaro que la evaluación realizada por el Programa informático, ha arrojado un porcentaje de similitud de **11%**, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque 28 de agosto del 2026



ING. ROBINSON TAPIA ASENJO

DNI: 16742683

ASESOR

Se adjunta:

*Resumen del Reporte automático de similitudes

*Recibo Digital

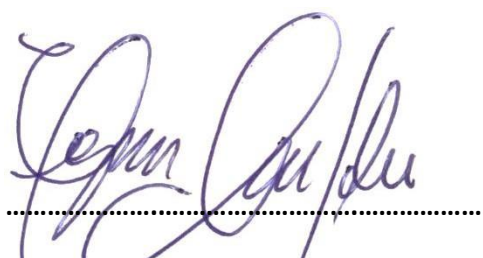
Plan de Mantenimiento basado en la metodología PMO para incrementar la disponibilidad de la camara frigorifica 3 en la procesadora Peru SAC.

INFORME DE ORIGINALIDAD

11 %	11 %	4 %	5 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2 %
2	dspace.espoch.edu.ec Fuente de Internet	1 %
3	cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet	1 %
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1 %
5	1library.co Fuente de Internet	1 %
6	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1 %
7	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
8	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %



ING. ROBINSON TAPIA ASENJO

DNI: 16742683

ASESOR

9	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
10	Submitted to Universidad Senor de Sipan Trabajo del estudiante	<1 %
11	repository.uamerica.edu.co Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.autonoma.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
15	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
16	dspace.uazuay.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.unicordoba.edu.co Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to The University of Fiji Trabajo del estudiante	<1 %
19	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	<1 %



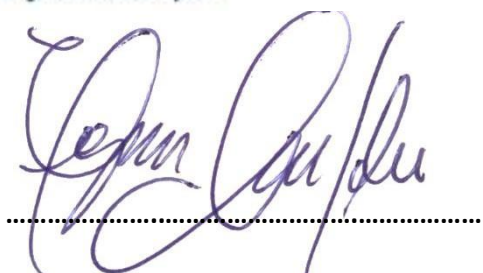
ING. ROBINSON TAPIA ASENJO

DNI: 16742683

ASESOR

21	fdocuments.ec Fuente de Internet	<1 %
22	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %
23	Submitted to University of Lincoln Trabajo del estudiante	<1 %
24	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
25	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
26	issuu.com Fuente de Internet	<1 %
27	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
28	repositorio.unprg.edu.pe:8080 Fuente de Internet	<1 %
29	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
30	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
31	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

repositorio.unjfsc.edu.pe

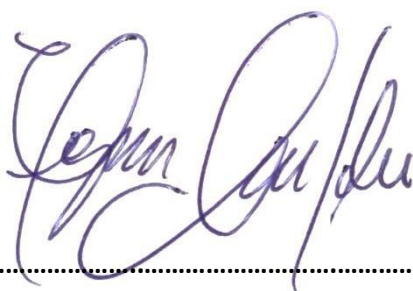


ING. ROBINSON TAPIA ASENJO

DNI: 16742683

ASESOR

32	Fuente de Internet	<1 %
33	Submitted to Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo Trabajo del estudiante	<1 %
34	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
35	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
36	ftp.uni-bayreuth.de Fuente de Internet	<1 %
37	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
38	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
39	repositorio.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
40	Submitted to Universidad Tecnica De Ambato- Direccion de Investigacion y Desarrollo , DIDE Trabajo del estudiante	<1 %
41	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %
42	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %



ING. ROBINSON TAPIA ASENJO

DNI: 16742683

ASESOR

43	es.slideshare.net	Fuente de Internet	<1 %
44	repositorio.puce.edu.ec	Fuente de Internet	<1 %
45	repositorio.udh.edu.pe	Fuente de Internet	<1 %
46	repositorioacademico.upc.edu.pe	Fuente de Internet	<1 %
47	Submitted to Tecsup	Trabajo del estudiante	<1 %
48	Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana	Trabajo del estudiante	<1 %
49	www.beilstein-journals.org	Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Exclude assignment
template

Activo

Excluir bibliografía

Activo

Excluir coincidencias

< 15 words



ING. ROBINSON TAPIA ASENJO

DNI: 16742683

ASESOR



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Enrique Ivan Ramirez Estela
Título del ejercicio: Revision
Título de la entrega: Plan de Mantenimiento basado en la metodología PMO para i...
Nombre del archivo: Tesis_-_RAMIREZ_ESTELA_ENRIQUE_IVAN.docx
Tamaño del archivo: 3.69M
Total páginas: 95
Total de palabras: 20,326
Total de caracteres: 114,640
Fecha de entrega: 23-mar-2026 11:05a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2728322112



UNIVERSIDAD NACIONAL
"PEDRO RUIZ GALLO"



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

"PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA
METODOLOGÍA PMO PARA INCREMENTAR LA
DISPONIBILIDAD DE LA CÁMARA FRIGORÍFICA 3
EN LA EMPRESA PROCESADORA PERÚ S.A.C."

Autor:

BACH. ENRIQUE IVAN RAMIREZ ESTELA

Asesor:

Mg. Sc. ING. ROBINSON TAPIA ASENJO

Lancaster, Perú

2026



ING. ROBINSON TAPIA ASENJO

DNI: 16742683
ASESOR

DEDICATORIA

A mis padres:

Este trabajo es, antes que nada, para ustedes. No hay palabras suficientes que alcancen a expresar la gratitud, el amor y la admiración que siento por cada uno de ustedes. Si hoy estoy culminando esta etapa tan importante en mi vida, es gracias al esfuerzo, sacrificio y apoyo incondicional que me han brindado desde el primer día.

Gracias por ser el ejemplo más claro de compromiso, valentía y perseverancia. Por enseñarme que los sueños se alcanzan con esfuerzo, y que las caídas no son fracasos, sino aprendizajes. Su guía silenciosa, su compañía constante, su amor inquebrantable y su fe en mí han sido mi motor en los momentos de duda y mi refugio en los tiempos difíciles.

Papá, mamá: esta tesis no solo representa el final de una etapa académica, sino también la concreción de un sueño que comenzó en casa, de la mano de su amor y sus enseñanzas.

Todo lo que soy y todo lo que he alcanzado, se lo debo en gran parte a ustedes. Este logro es tan mío como suyo.

Con todo mi cariño y eterno agradecimiento.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco profundamente a Dios, fuente de vida, sabiduría y fortaleza. Gracias por acompañarme en cada paso de este camino, por darme la luz necesaria para continuar aun en los momentos más oscuros y por recordarme, en medio del cansancio o la incertidumbre, que todo esfuerzo tiene su recompensa. Ha sido Su guía la que me ha sostenido en los momentos de debilidad, y Su gracia la que me ha permitido llegar hasta aquí.

A mis padres, pilares fundamentales en mi vida, quienes han estado conmigo desde el inicio de este camino con amor, paciencia y sacrificio. Gracias, papá y mamá, por todo lo que han hecho por mí: por su entrega incondicional, por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por sus palabras sabias, por los valores que me han inculcado, y por ser ejemplo constante de trabajo, humildad y perseverancia. Sin su apoyo moral, emocional y muchas veces material, este logro no habría sido posible. Esta meta alcanzada también les pertenece, porque han caminado a mi lado en cada paso de este proceso.

A mi asesor de tesis, Ing. Robinson Tapia Asenjo, mi más sincero agradecimiento por su orientación, paciencia y compromiso. Gracias por compartir su experiencia y conocimientos con generosidad, por sus observaciones acertadas, y por estar disponible cuando más lo necesitaba. Su acompañamiento fue clave para la culminación de este trabajo, y valoro profundamente cada consejo y cada hora dedicada a guiarme por el mejor camino académico.

Este trabajo es el resultado de muchas manos, muchos corazones y muchas oraciones. A cada uno de ustedes, gracias por ser parte de este logro.

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar en qué medida la metodología PMO influye en la disponibilidad de la cámara frigorífica 3 de la Procesadora Perú S.A.C., una instalación de 120 toneladas utilizada para almacenar productos agroindustriales listos para exportación. El diagnóstico inicial reveló una disponibilidad del 82.76 %, un MTTR de 7.14 horas y un MTBF de 34.31 horas, con un promedio de 3.72 fallas por semana, lo que sugiere un riesgo de pérdida estimado de 235,000 dólares por un tiempo de inactividad superior a 12 horas. La implementación consistió en un programa de capacitación técnica de 32 horas en ocho sesiones y un sistema de gestión de piezas de repuesto clasificado por criticidad. Se modificó la distribución de las intervenciones, reduciendo el mantenimiento correctivo del 83.1 % al 34.2 %, aumentando el mantenimiento preventivo del 16.9 % al 54.0 % y el mantenimiento predictivo mejoró a 11.8 %. Los resultados mostraron mejoras estadísticamente significativas: el MTTR se redujo de 7.14 a 3.15 horas, el MTBF aumentó de 34.31 a 42.15 horas y la disponibilidad operativa aumentó del 82.76 % al 92.89 %, lo que validó la eficacia de la metodología PMO en instalaciones de refrigeración industrial críticas.

Palabras clave: Mantenimiento preventivo, Metodología PMO, Disponibilidad

operativa, Cámara frigorífica, Industria agroindustrial.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the extent to which the PMO methodology influences the availability of cold storage room 3 at Procesadora Perú S.A.C., a 120-ton facility used to store agro-industrial products ready for export. The initial diagnosis revealed an availability of 82.76%, an MTTR of 7.14 hours, and an MTBF of 34.31 hours, with an average of 3.72 failures per week, suggesting an estimated loss risk of \$235,000 for downtime exceeding 12 hours. The implementation consisted of a 32-hour technical training program in eight sessions and a spare parts management system classified by criticality. The distribution of interventions was modified, reducing corrective maintenance from 83.1% to 34.2%, increasing preventive maintenance from 16.9% to 54.0%, and predictive maintenance improved to 11.8%. The results showed statistically significant improvements: MTTR was reduced from 7.14 to 3.15 hours, MTBF increased from 34.31 to 42.15 hours, and operational availability increased from 82.76% to 92.89%, validating the effectiveness of the PMO methodology in critical industrial refrigeration facilities.

Keywords: Preventive maintenance, PMO methodology, Operational availability, Cold storage, Agro-industrial industry.

ÍNDICE

ÍNDICE	xv
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xix
INTRODUCCIÓN	xx
CAPÍTULO I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	22
1.1. Realidad Problemática	22
1.2. Formulación del Problema	24
1.3. Delimitación de la investigación.....	25
1.4. Justificación e importancia de la investigación	25
1.4.1. Justificación Teórica:	25
1.4.2. Justificación Práctica:	26
1.4.3. Justificación Económica:	26
1.5. Limitaciones de la investigación	27
1.6. Objetivos de la investigación.....	28
1.6.1. Objetivo General.....	28
1.6.2. Objetivo Especifico	28
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	29
2.1. Antecedentes de estudio	29
A nivel Internacional:	29
A nivel Nacional:	30
2.2. Bases teóricas.....	33
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	46
3.1. Tipo y Diseño de investigación.....	46
3.2. Población y muestra	47
3.3. Hipótesis	47

3.4. Variables - Operacionalización:.....	47
3.5. Métodos y Técnicas de investigación	49
3.6. Descripción de los instrumentos utilizados	49
3.7. Análisis estadístico e interpretación de datos	49
3.8. Consideraciones Éticas	50
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	51
4.1. Desarrollo de la aplicación de la metodología PMO.....	51
4.1.1. Selección de la cámara mediante matriz de criticidad	51
4.1.2. Indicadores de mantenimiento – Periodo Pre Test (Semana 1 – 32)	52
4.1.3. Paso 1: Recopilación de tareas	54
4.1.4. Paso 2: Análisis de modos de falla.....	59
4.1.5. Paso 3: Racionalización y revisión del análisis de fallas.....	62
4.1.6. Paso 4: Análisis funcional	63
4.1.7. Paso 5: Evaluación de consecuencias	65
4.1.8. Paso 6. Definición de la política de mantenimiento	69
4.1.9. Paso 7: Agrupación y revisión.....	71
4.1.10. Paso 8: Aprobación e implementación	73
4.1.11. Paso 9: Programa dinámico.....	73
4.1.11.1. Capacitación Especializada del Personal.....	73
4.1.11.2. Sistema de Gestión de Repuestos Críticos.....	76
4.1.12. Presupuesto de Ejecución de la Investigación.....	76
Análisis de Resultados Posteriores a la Implementación del PMO:.....	77
CAPÍTULO V. ANÁLISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS	89
CAPITULO VI. CONCLUSIONES:.....	91
Recomendaciones	92
Referencias	93
ANEXOS	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modelo de tabla para la aplicación AMFE.	38
Tabla 2. Modelo de la racionalización y revisión del análisis de modos de falla.	38
Tabla 3. Ilustración del Paso 4.	39
Tabla 4. Evaluación de consecuencias.	39
Tabla 5. Modelo de definición de políticas de mantenimiento a aplicar.	40
Tabla 6: Factores de criticidad total por riesgo (CTR).	42
Tabla 7: Matriz de Criticidad propuesta por el modelo CTR.	43
Tabla 8. Operacionalización de variables.	48
Tabla 9. Resultados de la evaluación CTR de las tres cámaras frigoríficas.	51
Tabla 10. Distribución Semanal de Mantenimiento – Pre-PMO (Semanas 1–32).	53
Tabla 11: Plan de Mantenimiento de la Empresa Procesadora Perú S.A.C.	54
Tabla 12. Indicadores del % de Disponibilidad Pre-Aplicación PMO – Periodo 22 Abril – 01 de Diciembre 2024.	57
Tabla 13. Registro de Inspección Eléctrica y Modos de Falla.	60
Tabla 14. Racionalización y revisión de las fallas.	62
Tabla 15. Análisis Funcional.	64
Tabla 16: Matriz de Criticidad propuesta por el modelo CTR.	65
Tabla 17. Evaluación de Consecuencias.	66
Tabla 18. definición de política de mantenimiento.	69
Tabla 19. Agrupación y revisión.	71
Tabla 20. Relación de temas y duración de las sesiones de capacitación.	73
Tabla 21. Clasificación de la criticidad del sistema de gestión de repuestos.	76
Tabla 22 Presupuesto para la implementación de la metodología PMO en la cámara frigorífica 3.	77

Tabla 23. Resultados del Pre Test: Evaluación de la Disponibilidad Operativa (Semanas 1-32).	78
Tabla 24. Distribución Semanal de Mantenimiento – Post-PMO (Semanas 33–64).	79
Tabla 25. Comparación de Indicadores de Tipo de Mantenimiento.	80
Tabla 26. Estadísticos Descriptivos del Pre Test.	81
Tabla 27. Pruebas de normalidad Pre Test.	82
Tabla 28. Resultados del Post Test: Evaluación de la Disponibilidad Operativa (Semanas 33-64).	83
Tabla 29. Estadísticos Descriptivos del Post Test.	84
Tabla 30. Pruebas de normalidad Pre Test - Post Test.	86
Tabla 31. Comparación de Indicadores Pre y Post Test por Par de Variables.	87
Tabla 32. Registro de Fallas y Análisis de Modos de Falla (FMEA).	100
Tabla 33. Indicadores de Confiabilidad y Disponibilidad (KPIs).....	100
Tabla 34. Programa Anual de Mantenimiento Preventivo.	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cámara frigorífica 3 de la procesadora Perú S.A.C.....	24
Figura 2: Ubicación y Área de la Empresa Procesadora Perú S.A.C. – Chiclayo. Fuente: Google Earth (2024).	25
Figura 3. Etapas o pasos de la Metodología PMO.	36
Figura 4. Paso 1 de la metodología PMO (Recopilación de tareas).	37
Figura 5: Tiempo de reparación promedio (MTTR) y tiempo de inactividad total. Fuente: (Barrera Bustillos & More Bravo, 2024).	44
Figura 6: Pasos a seguir en la investigación para la implementación del PMO.....	47
Figura 7. Unidad 1 de la Cámara 3.....	56
Figura 8. Unidad 2 de la Cámara 3.....	56
Figura 9. Unidad 3 de la Cámara 3.....	57
Figura 10. Evaporadores de las 3 unidades de la cámara 3.	57
Figura 11. Gráfica de la Disponibilidad Pre Aplicación PMO.....	59
Figura 12. Revisión de las Unidades de la cámara 3.....	63
Figura 13. Capacitación personalizada al personal.....	75

INTRODUCCIÓN

El sector agroindustrial peruano se ha posicionado como un sector crucial para la economía nacional. En este contexto, mantener la cadena de frío es un aspecto crucial para garantizar la calidad y la competitividad de los productos destinados a la exportación. La empresa Procesadora Perú S.A.C., dedicada a la agroexportación de productos como mangos, fresas, frijoles, aguacates, arándanos, plátanos y maracuyá, se enfrenta a retos operativos relacionados con la disponibilidad de sus sistemas de refrigeración, especialmente en su cámara frigorífica 3, una instalación crítica de 120 toneladas utilizada exclusivamente para el almacenamiento de productos finales listos para la exportación.

Los problemas identificados en la cámara frigorífica 3 indican una disponibilidad promedio de tan solo el 83%, muy por debajo del 90%, considerado el estándar mundial para equipos críticos. Si bien ninguna normativa técnica específica exige un porcentaje de disponibilidad designado para las cámaras frigoríficas, las normas internacionales de mantenimiento industrial recomiendan que los equipos críticos mantengan una disponibilidad mínima del 90% para garantizar la continuidad operativa y evitar pérdidas financieras (Traction, 2026). Este escenario supone un posible riesgo financiero de US\$235.000 si el tiempo de inactividad supera las 12 horas, lo que pone en peligro la calidad del producto final y las obligaciones contractuales de la empresa. El plan de mantenimiento existente presenta deficiencias considerables, ya que se basa principalmente en medidas correctivas, con un mantenimiento preventivo anual insuficiente y una planificación sistemática deficiente basada en enfoques técnicos sólidos.

En este contexto, el presente estudio propone determinar en qué medida la metodología PMO (Planned Maintenance Optimization) afecta a la disponibilidad de la cámara frigorífica 3 de Procesadora Perú S.A.C. Para lograr este objetivo, se plantearon objetivos específicos, entre los que se incluyen el diagnóstico del estado actual de disponibilidad mediante indicadores de mantenimiento, el desarrollo de

estrategias de mantenimiento basadas en la metodología PMO, la implementación del plan de mantenimiento optimizado y la evaluación de los resultados de disponibilidad obtenidos tras la implementación.

El estudio se organiza en seis capítulos principales. El capítulo I analiza el problema de investigación, el capítulo II muestra el diseño teórico y los fundamentos teóricos, el capítulo III describe el diseño metodológico, por último, el capítulo IV presenta los resultados obtenidos y ofrece una evaluación comparativa de los indicadores de disponibilidad.

CAPÍTULO I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad Problemática

En el sector industrial, la implementación de metodologías que optimizan la gestión y el mantenimiento de equipos resulta esencial para garantizar su operatividad y prolongar su vida útil. Una de estas metodologías es la optimización del mantenimiento planificado (PMO), que se orienta a estandarizar y mejorar procesos mediante principios organizativos y estratégicos que promueven la eficiencia operativa (Vera-Zambrano & Torres-Rodríguez , 2021). La metodología PMO es una herramienta estratégica que mejora la gestión del mantenimiento. Esta herramienta permite reducir los momentos de inactividad, reducir costes y optimizar la disponibilidad, al priorizar tareas críticas y establecer rutinas de mantenimiento fundamentadas en estándares específicos (Cuervo Rodríguez & Cruz Álvarez , 2021).

Por ello, surgen investigaciones como la de (Sánchez Rodríguez, 2020), quien aplica PMO para mejorar la disponibilidad de equipos de refrigeración en una embotelladora. Este estudio demuestra que la estandarización de procesos puede reducir las fallas de los equipos y mejorar su disponibilidad. De igual forma, (Cayo Sicha, 2021) diseña un sistema de mantenimiento preventivo aplicado a contenedores refrigerados, evidenciando que el análisis de criticidad y la aplicación del método Kaizen pueden reducir el tiempo de inactividad en un 30% y mejorar la eficiencia de los equipos, gracias a una adecuada planificación de las inspecciones.

Mientras tanto, (Calua Jara & Mendo Julcamoro, 2020) desarrollaron un plan de mantenimiento preventivo para equipos de refrigeración en un supermercado, logrando incrementar su disponibilidad en un 11% y superar el objetivo establecido por la empresa. Este estudio resalta la importancia de un enfoque sistemático y preventivo para mitigar fallas crónicas y optimizar los recursos técnicos.

La Procesadora Perú S.A.C. se dedica a la exportación de productos agroindustriales como mango, fresa, frijol de palo, palta, arándano, plátano y

maracuyá. Para preservar la calidad de estos productos, resulta fundamental mantener operativos sus sistemas de refrigeración, los cuales están distribuidos en tres cámaras diseñadas para operar a -20°C . Si bien la empresa cuenta con tres cámaras frigoríficas, la cámara frigorífica 3, con una capacidad de 120 t, representa la instalación más crítica al estar dedicada exclusivamente al almacenamiento de producto terminado, listo para exportación, a diferencia de las cámaras 1 y 2 (de 52 t y 78 t respectivamente) que almacenan producto en proceso. La selección de esta cámara como objeto de estudio se fundamenta en una evaluación multicriterio que se muestra en la Tabla 9 del capítulo IV. Esta cámara está equipada con compresores Copeland Discus y Bitzer, además de evaporadores y condensadores BOHM. Dada su función estratégica en la cadena de exportación, la inactividad de más de 12 horas en la cámara frigorífica 3 puede generar pérdidas económicas de hasta \$ 235,000, poniendo en riesgo la calidad del producto terminado y los compromisos comerciales de la empresa.

El plan de mantenimiento actual presenta limitaciones críticas que han llevado a una disponibilidad promedio de solo 83% en la cámara frigorífica 3, muy por debajo del 90% requerido para este tipo de instalaciones. Las principales causas de esta baja disponibilidad incluyen que, a pesar de que las labores deberían realizarse cada 4000 horas, el mantenimiento preventivo solo se ejecuta una vez al año, resultando insuficiente. Las actividades realizadas incluyen limpieza de filtros, cambio de aceite y reemplazo del filtro secador, pero carecen de una programación sistemática. El personal encargado no tiene formación en planificación de mantenimiento, y las decisiones se basan en experiencia empírica y registros físicos en formatos no estandarizados. Además, los equipos, con más de 20 años de operación, no cuentan con manuales técnicos actualizados, lo que ha generado una alta dependencia del mantenimiento correctivo. Este enfoque resulta en costos elevados, estimados en \$2,000 por intervención, afectando principalmente compresores y filtros debido a lubricación insuficiente y control deficiente.

Figura 1. Cámara frigorífica 3 de la procesadora Perú S.A.C.



Fuente. *Elaboración propia.*

Por este motivo, se propone mejorar el plan de mantenimiento basado en la metodología PMO para incrementar la disponibilidad de la cámara frigorífica 3 de 83% a 90% en la Procesadora Perú S.A.C., optimizando específicamente el mantenimiento preventivo. La investigación busca, de manera general, implementar un modelo de gestión eficiente que optimice la operatividad de los equipos y reduzca costos asociados a fallas e inactividad. De forma específica, se plantea analizar el estado actual de las unidades de refrigeración, diseñar estrategias adaptadas al contexto operativo, actualizar los procesos de mantenimiento y fortalecer la logística de recursos. La aplicación de esta metodología permitirá garantizar la continuidad operativa, mejorar la sostenibilidad económica y aumentar la productividad de la empresa.

1.2. Formulación del Problema

- ¿En qué medida la implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología PMO influye en la disponibilidad de la cámara frigorífica 3 de la empresa Procesadora Perú S.A.C.?

1.3. Delimitación de la investigación

La investigación se desarrolla en la empresa Procesadora Perú S.A.C., ubicada en Pradera 9, Chiclayo, con una extensión aproximada de 7,537 m² y un perímetro de 385 metros. La empresa cuenta con tres cámaras de refrigeración: la cámara 1 de 52 t, la cámara 2 de 78 t y la cámara frigorífica 3 de 120 t. El estudio se enfocará exclusivamente en la cámara frigorífica 3, debido a su función en el almacenamiento de producto terminado para exportación.



Figura 2: Ubicación y Área de la Empresa Procesadora Perú S.A.C. – Chiclayo. Fuente: Google Earth (2024).

1.4. Justificación e importancia de la investigación

1.4.1. Justificación Teórica:

La presente investigación proporciona un marco estructurado para mejorar la disponibilidad de equipos críticos (Rodríguez Barrios, 2021). La integración de esta metodología permitirá una planificación más eficiente, promoviendo estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo. Asimismo, contribuirá al desarrollo del conocimiento en la gestión de activos industriales, facilitando la sistematización de procesos y la toma de decisiones basadas en indicadores de rendimiento. Este enfoque teórico permitirá establecer un modelo replicable en otras instalaciones con características similares, favoreciendo la sostenibilidad operativa en el sector.

1.4.2. Justificación Práctica:

En el campo práctico, esta investigación busca mejorar la operatividad de la cámara frigorífica 3 de la empresa Procesadora Perú S.A.C., optimizando su mantenimiento preventivo para incrementar su disponibilidad. Esta cámara, con una capacidad de 120 t, es la instalación más crítica, ya que está dedicada exclusivamente al almacenamiento de producto terminado listo para exportación, a diferencia de las cámaras 1 y 2, que almacenan productos en proceso. La implementación de la metodología PMO permitirá establecer estrategias efectivas de mantenimiento, reduciendo intervenciones correctivas y prolongando la vida útil de los equipos (Vega Leon Vargas y otros, 2024).

1.4.3. Justificación Económica:

Desde el punto de vista económico, el presente estudio busca reducir los costos asociados a las fallas e inactividad de la cámara frigorífica 3, cuya interrupción operativa por más de 12 horas puede generar pérdidas de hasta \$235,000 debido al deterioro del producto terminado y al incumplimiento de compromisos comerciales. Actualmente, el mantenimiento correctivo implica un gasto elevado, estimado en \$2,000 por intervención, afectando principalmente compresores y filtros debido a la falta de un mantenimiento preventivo adecuado, lo que incrementa la frecuencia de fallas y reparaciones imprevistas. Mediante la implementación de esta herramienta, se espera incrementar la disponibilidad de la cámara frigorífica 3 del 83% al 90%, optimizando el mantenimiento preventivo y reduciendo la necesidad de intervenciones correctivas. Esta mejora permitirá minimizar costos operativos, prolongar la vida útil de los equipos de refrigeración y garantizar la rentabilidad del proceso de exportación, fortaleciendo así la competitividad de la empresa en el mercado agroindustrial.

1.5. Limitaciones de la investigación

Una de las principales limitaciones es el acceso a la información técnica detallada sobre los equipos de refrigeración, ya que muchos de estos tienen más de 20 años de operación y no cuentan con manuales actualizados. Esta situación dificulta la definición precisa de los parámetros operativos y de mantenimiento, lo que obliga a depender de registros físicos en formatos no estandarizados y del conocimiento práctico del personal técnico. Asimismo, la ausencia de un sistema estructurado de monitoreo de fallas restringe el análisis cuantitativo de tendencias y patrones de averías, lo que podría afectar la comparación precisa entre el estado actual y los resultados obtenidos luego de la implementación del plan de mantenimiento.

Otra limitación radica en la necesidad de reestructurar el enfoque actual del mantenimiento, el cual se basa en intervenciones correctivas y en una programación preventiva limitada. Si bien existen registros de las actividades realizadas, estos no siguen un sistema digitalizado o estandarizado, lo que dificulta la planificación y el análisis comparativo. La falta de un esquema formal de seguimiento puede representar un desafío al momento de medir con precisión los cambios en la disponibilidad de la cámara frigorífica 3 antes y después de aplicar la metodología PMO, lo que obliga a definir indicadores claros y verificables para evaluar su impacto de manera objetiva.

Asimismo, el personal encargado del mantenimiento no cuenta con formación específica en planificación estratégica bajo la metodología PMO, lo que puede generar resistencia al cambio y requerir un proceso de adaptación estructurado. Actualmente, las decisiones de mantenimiento se fundamentan en experiencia operativa y registros manuales sin una estructura sistemática. Esta dependencia de criterios subjetivos puede generar variabilidad en la ejecución del plan de mantenimiento y condicionar la precisión de los resultados obtenidos. A pesar de estas limitaciones, la investigación busca mitigar estos impactos mediante un análisis comparativo antes y después de la

implementación de la metodología PMO, garantizando una evaluación objetiva de su impacto en la disponibilidad de la cámara frigorífica 3.

1.6. Objetivos de la investigación

1.6.1. Objetivo General

- Determinar en qué medida la metodología PMO influye en la disponibilidad de la cámara frigorífica 3 de la empresa Procesadora Perú S.A.C.

1.6.2. Objetivo Especifico

- Diagnosticar el estado actual de la disponibilidad de la cámara frigorífica 3 mediante indicadores de mantenimiento en la empresa Procesadora Perú S.A.C.
- Diseñar estrategias de mantenimiento basadas en la metodología PMO para la cámara frigorífica 3 en la empresa Procesadora Perú S.A.C.
- Implementar el plan de mantenimiento optimizado aplicando la metodología PMO en la cámara frigorífica 3 de la empresa Procesadora Perú S.A.C.
- Evaluar los resultados de disponibilidad obtenidos tras la implementación del plan de mantenimiento optimizado en la cámara frigorífica 3 de la empresa Procesadora Perú S.A.C.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

A nivel Internacional:

La investigación de (Cuervo Rodríguez & Cruz Álvarez , 2021) tuvo como objetivo elaborar un plan para mejorar el plan de mantenimiento (PMO) de una bomba centrífuga de 15 HP 4x3 MCM serie 178 en PSC Energy. El estudio utilizó un método cuantitativo con un enfoque aplicado y un marco descriptivo-analítico. La investigación identificó las piezas con mayor riesgo de criticidad y realizó un análisis en cascada de las piezas de la bomba. El resultado fue que el desarrollo y el uso adecuado de la metodología PMO facilitaron el seguimiento de los pasos descritos en la metodología del estudio. Esto fue muy importante para elaborar y llevar a cabo acciones de mantenimiento eficaces y garantizar que los activos se mantuvieran con la frecuencia adecuada.

Del mismo modo, el estudio de (Rodríguez Navas & Díaz Rangel, 2023) tuvo como propósito principal elaborar una propuesta de plan de mantenimiento basado en PMO, para los transformadores de distribución de 6,3kV de la Subestación Eléctrica de 115kV de la Planta Vasconia del Oleoducto de Colombia (ODC). La investigación utilizó una técnica cualitativa con alcance descriptivo y un diseño de investigación acción, organizado en tres fases secuenciales. El resultado final del estudio fue el establecimiento de un plan de mantenimiento específico para los transformadores, que redujo procedimientos redundantes o ineficientes, permitiendo una gestión más estratégica y eficaz de estos activos vitales. Se puede afirmar que el uso de la técnica de PMO en el contexto de los transformadores de la Subestación Eléctrica de la Central de Vasconia tiene el potencial de aumentar en gran medida la fiabilidad de estos activos esenciales.

Asimismo, el estudio realizado por (Sánchez Ayte & Condori Alvarez, 2023) tuvo como objetivo general establecer un plan de mantenimiento basado en la técnica de PMO para prevenir paradas imprevistas en 167 máquinas flexográficas KW de una instalación de envases flexibles ubicada en Ate Vitarte. La investigación utilizó una técnica cuantitativa con un alcance aplicado y un diseño pre-experimental. El resultado global del estudio demostró que la implantación del plan de mantenimiento basado en la PMO logró una gran reducción de los tiempos de inactividad no programados. En concreto, se produjo un descenso de 20 horas y 53 minutos de tiempo de inactividad no programado, una reducción del 35,9% en comparación con 2022. Además, se produjo un aumento de 45 horas y 26 minutos en el tiempo dedicado al mantenimiento preventivo.

Igualmente, el estudio realizado por (Cando Tintín & Morán Guamán, 2023) tuvo como propósito mejorar el plan de mantenimiento de la flota vehicular de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A. mediante el uso del método de Optimización del Mantenimiento Planificado (OMP). El estudio utilizó una combinación de métodos descriptivos y aplicados, así como una metodología de investigación-acción. El resultado total del estudio fue el diseño de un nuevo plan de mantenimiento óptimo, que redujo el número de trabajos de mantenimiento de 56 a 46, lo que supone una reducción del 17,86%. Pudimos reducirlo deshaciéndonos de tareas del plan original que eran innecesarias y repetitivas. También se comprobó que el plan de mantenimiento actualizado de la zona tenía una eficacia media global del 67%.

A nivel Nacional:

(Hilario Gutierrez, 2024), en su estudio que tiene por título "Propuesta de mejora del mantenimiento preventivo en sistemas de refrigeración comercial con refrigerante CO₂ para minimizar los incumplimientos de servicio en la empresa Booster Group Perú SAC durante el año 2023", tienen como objetivo principal mejorar el proceso de mantenimiento preventivo de sistemas de refrigeración comercial con

refrigerante CO₂, enfocándose en reducir el incumplimiento de servicios en la empresa Booster Group Perú SAC. Para ello, emplearon una metodología de enfoque híbrido, con un alcance descriptivo y un diseño no experimental. La muestra estuvo constituida por los equipos de refrigeración de la empresa, y se utilizó un instrumento de recolección de datos basado en indicadores de gestión de mantenimiento, análisis de ciclos de refrigeración y herramientas de ingeniería. Los resultados recogidos sugirieron que la ejecución de un plan de formación y el rediseño del diagrama de flujo, aplicados en combinación con herramientas como AMEF, Ishikawa y Pareto, aumentaron considerablemente la disponibilidad de los equipos de refrigeración.

Así mismo, (Portocarrero Chavez & Gonzales Cayturo, 2024), en su investigación orientada a proponer un modelo para incrementar la disponibilidad de cargadores, plantean como objetivo el diseño de un modelo para mejorar la disponibilidad operacional de los equipos mineros, mitigando los tiempos muertos que afectan la rentabilidad de la empresa. El estudio emplea un método cuantitativo, no experimental - transversal. La muestra estuvo constituida por palas cargadoras de bajo perfil pertenecientes a la flota de la empresa examinada. Para la recogida de datos se utilizaron instrumentos como el análisis documental, entrevistas estructuradas y simulaciones mediante el software Arena. Se concluye que la adopción de ese modelo no sólo permite optimizar los procedimientos de mantenimiento, sino que también tiene un impacto benéfico en los ingresos de la empresa, lo que se comprobó a través de un análisis financiero con indicadores como el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

A su vez, (Andrade Lopez & Prado Hidalgo, 2023), en su estudio sobre la Aplicación de un modelo de gestión de mantenimiento sustentado en la metodología RCM para mejorar la disponibilidad de equipos críticos en la línea de producción de carmín en una empresa de colorantes naturales ubicada en Lima, proponen como

objetivo general mejorar la disponibilidad operativa de dichos equipos mediante la aplicación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Empleó un método cuantitativo, no experimental - transversal. La muestra estuvo constituida por los equipos críticos de la línea de producción de carmín de la empresa en estudio. Para la recolección de datos, se utilizaron instrumentos como análisis de registros operacionales, identificación y jerarquización de fallas, así como indicadores de mantenimiento antes y después de la intervención. Entre los resultados más destacados, se logró una mejora significativa en la disponibilidad de los equipos clave mediante el uso del modelo RCM, minimizando las fallas repetidas y aumentando la eficiencia operativa.

Del mismo modo, (Cardenas Laura & Sullca Pinedo, 2024) realizaron una investigación con la finalidad de adoptar un Plan de Mantenimiento Preventivo utilizando la técnica de PMO para incrementar la disponibilidad de los buses del Corredor Morado operados por Mapretrack S.A.C. en Lima. El estudio empleó una metodología cuantitativa con enfoque aplicado y diseño pre-experimental, concentrándose en la flota de buses del Corredor Morado como muestra para el análisis. La implementación del plan de mantenimiento basado en PMO generó enormes beneficios, indicando un incremento en la disponibilidad de los buses de 83,35% a 92,42%. Se invirtió en mantenimiento preventivo y correctivo, alcanzando montos de 80% y 20%, respectivamente. Tuvo como resultado la ejecución del plan de mantenimiento preventivo optimizado mejoró la disponibilidad operativa de la flota y demostró factibilidad económica, evidenciada por un Valor Presente Neto (VPN) de S/ 348,190.58, (TIR) de 22.82% y una relación beneficio-costos de 2.81, destacando así la efectividad y rentabilidad de la metodología PMO dentro del transporte urbano.

Finalmente, el estudio realizado por (Rodriguez Barrios, 2021) El objetivo principal fue mejorar la accesibilidad de las bombas filtrantes mediante el desarrollo de un sistema de mantenimiento para una empresa minera situada en Cajamarca. El

estudio empleó una metodología cuantitativa con un enfoque práctico y un marco pre-experimental. La muestra del estudio comprendió las dos únicas bombas del modelo HM200, designadas como PP025 y PP026, situadas en la zona de filtración de una instalación concentradora de mineral. El principal resultado de la aplicación del paradigma PMO fue una notable disminución del trabajo no programado. La proporción de trabajos no programados disminuyó del 44,86% del total de trabajos realizados en un año al 2,38% previsto, lo que indica una mejora significativa en la planificación y ejecución del mantenimiento.

2.2. Bases teóricas

Mantenimiento Preventivo:

Comprende un conjunto sistemático de actividades programadas orientadas a preservar la funcionalidad y extender la vida útil de los activos industriales. Esta metodología se fundamenta en intervenciones planificadas según criterios temporales o condicionados, ejecutadas previamente a la manifestación de fallas críticas (Rayme Flores & Diaz Dumont, 2021). Su implementación requiere un análisis pormenorizado de los patrones de deterioro, estableciendo protocolos de inspección, lubricación, ajuste y reemplazo de componentes que evidencian desgaste previsible, con el objetivo primordial de mitigar interrupciones operacionales imprevistas.

PMO:

La implementación de la PMO como método de mantenimiento implica pasos y fundamentos que serán de gran relevancia cuando se lleve a cabo en un contexto industrial, ya que permite evaluar las acciones de mantenimiento efectivas y su idoneidad para cualquier activo físico en funcionamiento (Ponce Mostacero, 2019).

Ventajas del PMO

- La técnica de mantenimiento PMO permite generar una considerable cantidad de registros documentados, sustentados en los criterios empleados para estructurar el plan de mantenimiento (Amézquita Díaz, 2017).
- A través de esta metodología se logra identificar los requerimientos de mantenimiento de cada activo, mediante el análisis de su historial operativo. No obstante, esta técnica no contempla todos los modos posibles de falla, sino que se enfoca principalmente en aquellos que presentan mayor probabilidad de ocurrencia, por lo que el registro de auditoría que ofrece es limitado.
- Gracias a su base de datos robusta, el enfoque PMO permite preservar información valiosa que contribuye a reducir el impacto de la rotación de personal en la empresa.
- La implementación del PMO no exige el uso de modelos matemáticos sofisticados; su aplicación se basa en una evaluación detallada de las actividades de mantenimiento llevadas a cabo en un determinado activo. Esto lo convierte en un método accesible que favorece el trabajo colaborativo, ya que no requiere conocimientos avanzados en matemática o estadística.
- En términos de recursos, esta herramienta analítica es eficiente, ya que puede ser aplicada por un equipo interdisciplinario que incluya a mecánicos, electricistas, técnicos en instrumentación y operadores. Aunque no es necesario que los participantes sean expertos en sus respectivas áreas, su contribución es clave para el análisis, haciendo un uso moderado del capital humano disponible.
- El PMO se apoya en las tareas ya ejecutadas por el personal de planta y en el conocimiento práctico que estos poseen sobre los equipos intervenidos. Al emplear la experiencia operativa como eje fundamental, fomenta la

participación activa de los trabajadores y se adapta de forma efectiva a la dinámica de las operaciones industriales.

- Finalmente, esta metodología se basa tanto en los trabajos previos de mantenimiento como en los datos históricos de funcionamiento de los equipos, siendo ideal para su aplicación en sistemas que ya se encuentran en operación comercial.

Desventajas del PMO

- Esta metodología necesita datos sobre los fallos de los equipos, desde su fase operativa, para construir la lista de modos de fallo, por lo tanto, tiene un requisito medio de información histórica.
- Las normas de gestión de documentos creadas para ser compatibles con RCM lo son con PMO, sin embargo, no existe legislación que haya previsto el uso de PMO, por lo tanto, es una metodología que tiene un cumplimiento medio de las normas internacionales.

Proceso de implementación de PMO

La implementación de la metodología PMO se fundamenta en la evaluación de la criticidad de los activos físicos y sistemas presentes en el entorno industrial. Esta criticidad puede determinarse mediante el análisis de la jerarquía de los equipos o su nivel de prioridad dentro del programa de mantenimiento. Una vez establecida y cuantificada dicha criticidad, el enfoque del proyecto se orienta hacia el cumplimiento de los objetivos estratégicos de la organización.

Los sistemas considerados críticos son aquellos que inciden significativamente en la operación de la empresa debido a los elevados riesgos que representan para la seguridad y el medio ambiente. Además, estos sistemas pueden generar impactos considerables en los costos operativos, el rendimiento de la

planta y la demanda excesiva de mano de obra para su funcionamiento, mantenimiento y atención.

El análisis de criticidad proporciona una base sólida para determinar el orden de prioridad en la evaluación de los sistemas, así como para establecer el grado de importancia de cada análisis que se lleve a cabo.

Según Steve Turner, la PMO tiene nueve etapas que deben aplicarse una vez que se ha identificado la criticidad de los activos. Una vez evaluada la criticidad de los activos, la PMO tiene nueve procesos que deben aplicarse:

1. Recopilación de tareas.
2. Análisis de modos de falla.
3. Racionalización y revisión del análisis de modos de falla.
4. Análisis funcional.
5. Evaluación de consecuencias.
6. Definición de la política de mantenimiento.
7. Agrupación y revisión.
8. Aprobación e implementación.
9. Programa dinámico.

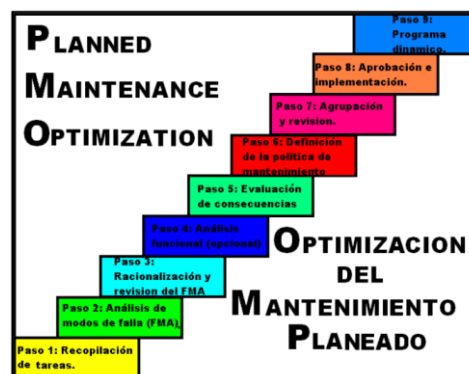


Figura 3. Etapas o pasos de la Metodología PMO.

Recopilación de tareas:

Según (Turner, 2009), el proceso de la PMO comienza con la obtención de información sobre las tareas de mantenimiento que se están realizando en la actualidad, tanto si se documentan formalmente como si se llevan a cabo de manera informal. Todos estos datos deben documentarse en una base de datos.

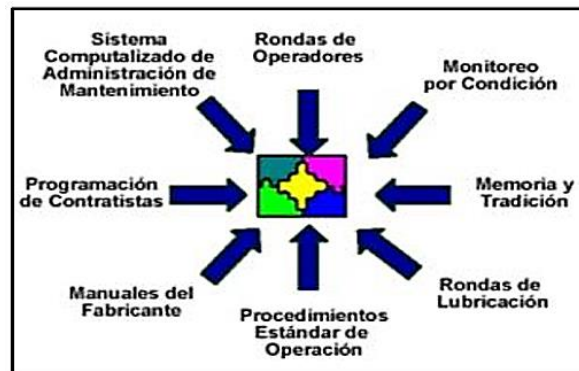


Figura 4. Paso 1 de la metodología PMO (Recopilación de tareas).

Nota: La figura muestra fuentes de información para la realización de tareas en el PMO. Fuente: Revista OMCS Latin América de Turner (2009).

Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (AMFE):

Constituye una metodología sistemática para la identificación, evaluación y priorización de potenciales deficiencias en sistemas, procesos o componentes. Esta herramienta analítica examina exhaustivamente cada elemento funcional, determinando sus posibles modalidades de fallo, causas originarias, mecanismos de detección y consecuencias operacionales (Rojas Lema, 2019). El AMFE permite construir matrices de riesgo cuantificadas mediante indicadores compuestos que consideran severidad, probabilidad y detectabilidad, facilitando así la toma de decisiones informadas respecto a la asignación de recursos preventivos y la implementación de controles mitigatorios proporcionales a la criticidad identificada.

Tabla 1. Modelo de tabla para la aplicación AMFE.

Tarea	Frecuencia	Responsable	Falla
Tarea_1	Diario	Operador	Falla_A
Tarea_2	Diario	Operador	Falla_B
Tarea_3	3 meses	Instalador	Falla_C

Fuente: OCMS Latin America - Pag 12 – Diferencia entre PMO y RCM

Racionalización y revisión del análisis de modos de falla:

La racionalización y revisión del análisis de modos de falla implica un proceso deliberativo multidisciplinario orientado a validar, refinar y priorizar los mecanismos de fallo previamente identificados. Esta fase depura la información mediante criterios técnico-analíticos, eliminando redundancias, consolidando modos correlacionados y calibrando la relevancia de cada uno según evidencia empírica, optimizando así la base analítica para las subsecuentes determinaciones.

Tabla 2. Modelo de la racionalización y revisión del análisis de modos de falla.

Tarea	Responsable	Falla
Tarea_1	Operador	Falla_A
Tarea_4	Instalador	Falla_B
Tarea_7	Mecánico	Falla_A

Fuente: OCMS Latin America - Pag 12 – Diferencia entre PMO y RCM

Análisis funcional

El análisis funcional constituye una evaluación pormenorizada de las prestaciones esperadas de cada componente dentro del sistema integral. Esta etapa define y jerarquiza los parámetros operacionales esenciales, estableciendo valores de referencia y tolerancias aceptables (Chica Mejía &

Hernández Florez , 2009). Su ejecución permite vincular los modos de falla con las degradaciones funcionales específicas, proporcionando el contexto operacional necesario para evaluar la pertinencia de las intervenciones preventivas.

Tabla 3. *Ilustración del Paso 4.*

Tarea	Responsable	Falla	Función
Tarea_1	Operador	Falla_A	Función_1
Tarea_2	Operador	Falla_A	Función_1

Fuente: OCMS Latin America - Pag 13 – Diferencia entre PMO y RCM

Evaluación de consecuencias

La evaluación de consecuencias implica la cuantificación y categorización sistemática de los impactos derivados de cada modo de falla. Esta fase examina las repercusiones en múltiples dimensiones (seguridad, producción, calidad, costos operativos y ambientales), asignando niveles de severidad según criterios predefinidos. Su desarrollo permite establecer prioridades de intervención fundamentadas en el riesgo asociado, optimizando la asignación de recursos preventivos.

Tabla 4. *Evaluación de consecuencias.*

Tarea	Responsable	Falla	Función	Consecuencia
Tarea_1	Operador	Falla_A	Función_1	Operacional
Tarea_3	Instalador	Falla_B	Función_3	Operacional

Fuente: OCMS Latin America - Pag 13 – Diferencia entre PMO y RCM

Definición de la política de mantenimiento

La definición de la política de mantenimiento constituye el proceso decisorio donde se determinan las estrategias óptimas para abordar cada modo de falla.

Esta fase selecciona entre alternativas (preventivo, predictivo, correctivo o rediseño) según criterios de efectividad técnica y viabilidad económica. Su ejecución establece las frecuencias, metodologías y recursos requeridos para cada intervención, configurando el marco referencial para la planificación operativa del mantenimiento.

Tabla 5. *Modelo de definición de políticas de mantenimiento a aplicar.*

Falla	Función	Consecuencia	Política	Rutina
Falla_A	Función_1	Operacional	Inspección	Diaria
Falla_D	Función_2	Operacional	Inspección	Semanal

Fuente: OCMS Latin America - Pag 14 – Diferencia entre PMO y RCM

Agrupación y revisión

La agrupación y revisión comprende la consolidación sistemática de las tareas definidas, optimizando su integración operacional. Esta fase coordina cronológicamente las intervenciones, identificando oportunidades de ejecución simultánea, estandarizando procedimientos similares y equilibrando cargas laborales. Su desarrollo permite racionalizar recursos logísticos, minimizar tiempos improductivos y armonizar los requerimientos de mantenimiento con los imperativos productivos de la organización.

Aprobación e implementación

La aprobación e implementación constituye la transición del programa optimizado hacia su aplicación operativa. Esta fase comprende la validación formal de las modificaciones propuestas, la actualización de documentación técnica, capacitación del personal involucrado y establecimiento de mecanismos de seguimiento. Su ejecución requiere integración con sistemas de gestión existentes, garantizando la adecuada transferencia metodológica hacia los ejecutores directos del mantenimiento.

Programa dinámico

El programa dinámico representa la concepción evolutiva del plan de mantenimiento. Esta fase establece mecanismos sistemáticos para la evaluación continua de efectividad, incorporación de retroalimentación operacional y adaptación a condiciones cambiantes. Su implementación asegura la actualización periódica mediante análisis de indicadores de desempeño, ajustando frecuencias, metodologías y prioridades según la evidencia acumulada, garantizando así la vigencia técnica y económica del programa.

Criticidad total por riesgo (CTR)

Parra y Crespo (2020) mencionan que el análisis de criticidad son herramientas fundamentales para la identificación y priorización de los activos en una instalación, con el fin de asignar los recursos de manera eficaz, ya sean humanos, económicos o tecnológicos. Este enfoque permite evaluar el impacto de los posibles escenarios de fallo dentro del contexto operacional específico, proporcionando una visión más informada para la toma de decisiones y la asignación eficiente de recursos para la asignación eficiente de recursos para garantizar la continuidad y la eficacia de las operaciones. Según (Parra y otros, 2021) las expresiones utilizadas para construir una jerarquía en los sistemas empleando la jerarquía en los sistemas empleando el modelo CTR son las siguientes:

Ecuación 1: Criticidad Total por Riesgo (CTR)

$$CTR = FF.C \quad \dots \text{ecuación (1)}$$

Donde:

FF: Frecuencia de fallos

C: Consecuencias de los eventos de fallos

Ecuación 2: Valor de las Consecuencias (C)

$$C = (IO.FO) + CM + SHA \quad \dots \text{ecuación (2)}$$

Donde: IO: Impacto Operacional

FO: Flexibilidad Operacional

CM: Costos de Mantenimiento

SHA: Impacto en seguridad, higiene y ambiente

En tabla 5 se exponen los factores ponderados de cada uno de los criterios que son evaluados:

Tabla 6: Factores de criticidad total por riesgo (CTR)

FACTOR DE FRECUENCIA (FF)	
Descripción	Puntaje
Frecuente más de 2 eventos al año	4
Probable, 1 - 2 eventos al año	3
Posible, 0.5 a 1 evento al año	2
Improbable, menos de 0.5 al año	1
FACTORES DE CONSECUENCIAS	
Impacto operacional (IO)	Puntaje
Pérdidas mayores 75% producción	10
Pérdidas 50% a 75% producción	7
Pérdidas mayores 25% a 49% producción	5
Pérdidas 10% a 24% producción	3
Pérdidas menores 10% producción	1
Flexibilidad operacional (FO)	Puntaje
No se cuenta con stock para repuestos	4
Se cuenta con stock parcial para repuestos	2
Se cuenta con stock disponible	1
Costos de mantenimiento (CM)	Puntaje

Mayor a 20 000 dólares	2
Menor a 20 000 dólares	1
Impacto en seguridad, higiene y ambiente (SHA)	
	Puntaje
Riesgo alto de pérdida de vida	8
Riesgo medio de pérdida de vida	6
Riesgo mínimo de pérdida de vida	3
No existe riesgo de pérdida de vida	1

Nota. Datos tomados de Nota técnica Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos de Parra y Crespo (2020).

A continuación, en la tabla 7 se muestra la matriz de criticidad donde se jerarquiza los sistemas en áreas de sistemas: “No Críticos (NC), sistemas de Media Criticidad (MC) y sistemas Críticos (C)”.

Tabla 7: Matriz de Criticidad propuesta por el modelo CTR

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Fuente. (Calua Jara & Mendo Julcamoro, 2020)

Mantenibilidad

La mantenibilidad hace referencia a la rapidez y facilidad con la que pueden ejecutarse las actividades de mantenimiento o reparación en un activo. Este concepto está directamente relacionado con las características de diseño del equipo y, generalmente, se evalúa a través del tiempo medio de reparación (MTTR) (Barrera Bustillos & More Bravo, 2024).

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Nº de fallas}}$$

La mantenibilidad suele expresarse en horas mediante el MTTR o mediante el tiempo medio de inactividad (MDT). La figura 4 muestra la distinción entre MDT y MTTR.

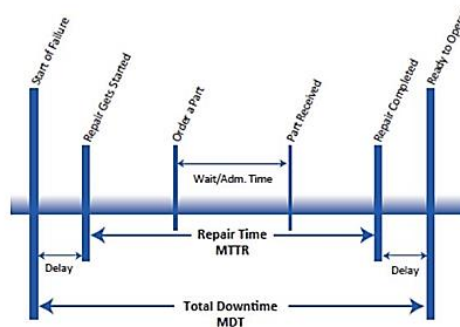


Figura 5: *Tiempo de reparación promedio (MTTR) y tiempo de inactividad total. Fuente: (Barrera Bustillos & More Bravo, 2024).*

Confiabilidad

El tiempo promedio entre fallas (MTBF) es una medida básica de la confiabilidad de un activo. Se calcula dividiendo el tiempo total de funcionamiento del activo por el número de fallos durante un cierto periodo de tiempo (Barrera Bustillos & More Bravo, 2024).

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operación}}{N^{\circ} \text{ de fallas}}$$

Disponibilidad

La disponibilidad puede definirse como la probabilidad de que un activo esté operativo cuando se necesite (Barrera Bustillos & More Bravo, 2024).

Matemáticamente, la disponibilidad (A) se define como:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF - MTTR}{MTBF}$$

Distribución de probabilidad de confiabilidad

Es la probabilidad de que un bien o elemento cumpla las funciones previstas durante un periodo de tiempo determinado en las condiciones establecidas (Barrera Bustillos & More Bravo, 2024).

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

Donde λ es la tasa de fallo, que se considera constante y está definido por:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

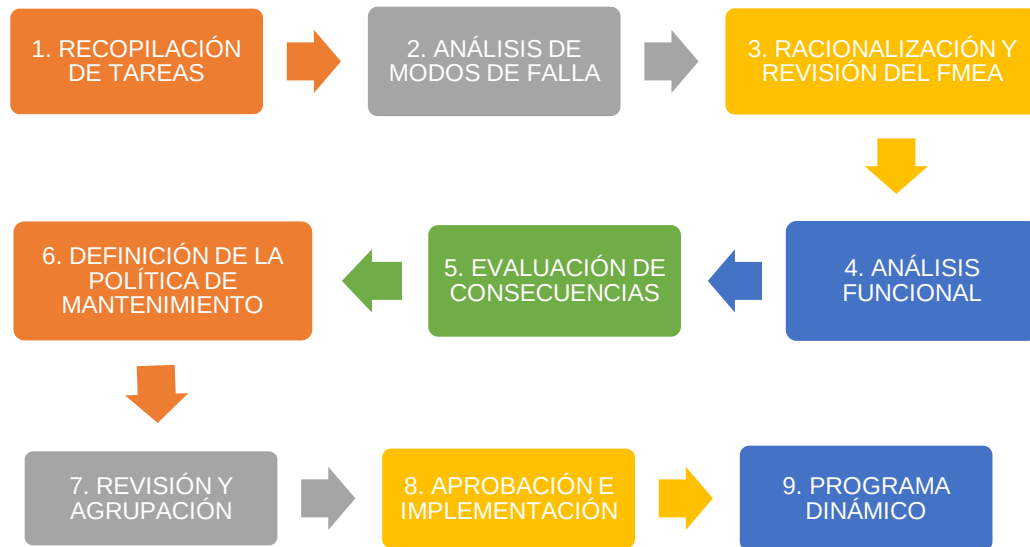
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y Diseño de investigación

El presente estudio es de tipo aplicado, ya que, según (Hernández y otros, 2010), la investigación aplicada se caracteriza por tener como objetivo aplicar o emplear la información obtenida para resolver problemas prácticos de manera rigurosa, organizada y sistemática. En este caso, se trata de diseñar una solución para aumentar la disponibilidad de la cámara frigorífica 3 en la empresa Procesadora Perú S.A.C. mediante un plan de mantenimiento basado en la metodología PMO. Tiene un enfoque cuantitativo, ya que utiliza la recopilación de datos para comprobar hipótesis basadas en mediciones numéricas y análisis estadísticos, proporcionando un proceso secuencial y probatorio que cuantifica los fenómenos mediante estadísticas Sampieri (2014).

Su diseño es preexperimental, ya que, según (Hernández Sampieri y otros, 2010), los diseños preexperimentales se definen por un grado limitado de control y a menudo se emplean como un primer acercamiento al tema de estudio, observando a un grupo después de aplicar algún tratamiento. El impacto de la intervención se evaluará comparando los indicadores de disponibilidad antes y después de la implementación. El alcance de la investigación es explicativo, dado que busca identificar el impacto de la intervención en los indicadores de disponibilidad. El método de investigación es hipotético-deductivo, según (Fernández-Alarcón, 2015), consiste en la comprobación directa sobre el objeto de estudio con el fin de validar la validez o falsedad de ciertas hipótesis previamente formuladas. La hipótesis se validará mediante un esquema basado en el enfoque de la PMO (Cuervo Rodríguez & Cruz Álvarez, 2021), que comprende la descripción de los procesos, la recopilación de información, la ejecución de las tareas de mantenimiento y la medición del rendimiento.

Figura 6: Pasos a seguir en la investigación para la implementación del PMO.



Fuente: Elaboración propia.

3.2. Población y muestra

La población del estudio está conformada por las tres cámaras de almacenamiento de la empresa Procesadora Perú S.A.C. La cámara 1 y la cámara 2 cuentan con dos unidades de refrigeración cada una, mientras que la cámara 3, dedicada al almacenamiento de producto terminado, dispone de tres unidades de refrigeración. La muestra del estudio es la cámara frigorífica 3, ya que en ella se enfocará la investigación para optimizar su disponibilidad operativa. Esta cámara cuenta con tres unidades de refrigeración, cuya gestión de mantenimiento será analizada e intervenida mediante la metodología PMO.

3.3. Hipótesis

La implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología PMO influye positivamente en la disponibilidad de la cámara frigorífica 3 de la empresa Procesadora Perú S.A.C.

3.4. Variables - Operacionalización:

Variable independiente: Plan de mantenimiento basado en la metodología PMO.

Variables dependientes: Disponibilidad.

Tabla 8. Operacionalización de variables.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems / Ítems
Variable independiente: Plan de mantenimiento basado en la metodología PMO	Este enfoque implica la mejora continua de las políticas y procesos de mantenimiento, con el fin de maximizar la eficiencia operativa y minimizar fallos, mediante el empleo de procesos estructurados de diagnóstico, análisis, planificación e implementación para maximizar la eficiencia operativa y reducir el tiempo de inactividad (Chitiva y otros, 2024).	La metodología PMO es un instrumento sistemático esencial para mejorar la eficiencia operativa de la Cámara 3 mediante el diagnóstico y el análisis de las averías de los equipos, lo que facilita la planificación y la ejecución de un plan de mantenimiento que es superior que los programas de mantenimiento tradicionales.	Diagnóstico	- Nº de factores de fallas en la cámara frigorífica 3 - Nº de fallas frecuentes en la cámara frigorífica 3	Diagrama de Pareto
					Ordinal
			Análisis	Nº de fallas críticas en la cámara frigorífica 3	$R = \frac{\# \text{Rep. no programadas}}{\# \text{Rep. Totales}}$
			Planificación	Nº de capacitaciones	Matriz de criticidad
			Implementación	% de Cumplimiento del Plan de Mantenimiento Preventivo	
Variable dependiente: Disponibilidad	La disponibilidad de las unidades de refrigeración se refiere al tiempo durante el cual el equipo está en condiciones operativas, sin interrupciones, y listo para su uso. Esta medida es vital para mantener el funcionamiento continuado y la eficiencia de los procedimientos de la empresa. En la práctica, la disponibilidad se cuantifica como la proporción de tiempo que el sistema está preparado para funcionar o producir en sistemas que funcionan de forma continua (Zamora-Medina y otros, 2022).	La disponibilidad sirve como indicador que muestra la probabilidad de que la Cámara 3 sea funcional y/o accesible cuando sea necesario. La disponibilidad depende de la mantenibilidad y la confiabilidad del equipo.	Mantenibilidad	Tiempo medio de reparación (MTTR)	$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de mantenimiento}}{\text{Nº de Reparaciones}}$
			Confiabilidad	Tiempo medio entre fallas (MTBF)	$MTBF = \frac{\text{Tiempo total disponible} - \text{Tiempo inactividad}}{\text{Número de paradas}}$

Fuente: *Elaboración propia.*

3.5. Métodos y Técnicas de investigación

Para la recolección de datos en esta investigación se emplearán tres técnicas principales:

Observación: Esta técnica permitirá obtener datos directamente del sistema de refrigeración de la cámara frigorífica 3, documentando información cuantificable sobre su funcionamiento, tiempos de funcionamiento, paradas no programadas y comportamiento operacional. La ficha de observación utilizada se muestra en el Anexo 01.

Análisis documental: Esta técnica permitirá examinar la información disponible sobre la cámara frigorífica 3 y sus componentes, incluyendo el historial de mantenimiento, reportes técnicos y documentación existente. Dado que algunos equipos tienen más de 20 años de antigüedad y carecen de manuales actualizados, este análisis será fundamental para comprender su funcionamiento.

3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos serán:

Ficha de observación: Permitirá documentar de manera cuantificable el estado operativo del sistema de refrigeración de la cámara frigorífica 3. Su formato se encuentra en el Anexo 01.

Registros documentales: Este instrumento permitirá proporcionar datos históricos cuantitativos sobre el funcionamiento de la cámara frigorífica 3, incluyendo tiempos de funcionamiento, tasas de fallo y registros de mantenimiento.

3.7. Análisis estadístico e interpretación de datos

Para el desarrollo de la presente investigación, se tendrán en cuenta características y valores cuantificables, como el número de paradas de la cámara frigorífica 3, el tiempo de las paradas por mantenimiento, el MTBF, el MTTR y la disponibilidad operativa. Los datos recopilados se evaluarán mediante estadísticas descriptivas, lo que permitirá evaluar el comportamiento de la variable dependiente antes y después de la implementación del plan de mantenimiento basado en el

enfoque PMO. También se utilizará el software Microsoft Excel para compilar los datos adquiridos y aplicar diversas pruebas estadísticas, obteniendo las tablas y gráficos correspondientes, que se interpretarán de acuerdo con las hipótesis y los objetivos establecidos. Se procesarán los datos históricos y observados con el fin de cuantificar la variación en la disponibilidad de la cámara frigorífica 3 y determinar la influencia del método sugerido en la mejora del sistema de refrigeración.

3.8. Consideraciones Éticas

Se garantizará la confidencialidad de la información técnica proporcionada por la empresa Procesadora Perú S.A.C., utilizando los datos únicamente con fines académicos y respetando principios de integridad en la recopilación y análisis de datos.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1. Desarrollo de la aplicación de la metodología PMO

4.1.1. Selección de la cámara mediante matriz de criticidad

Las tres cámaras frigoríficas de la empresa se evaluaron según los criterios descritos en la Tabla 6 (Factores de criticidad total por riesgo). Los datos utilizados para evaluar cada criterio se recopilaron mediante la observación directa del proceso de producción, el examen de los registros históricos de fallos y consultas al personal técnico responsable del mantenimiento.

En términos de frecuencia de fallos, la cámara frigorífica 3 registró una media de 3,72 fallos por semana entre las semanas 1 y 32, lo que la clasifica como Frecuente (FF = 4), mientras que las cámaras 1 y 2, con intervenciones correctivas menos frecuentes, se clasifican como Posible (FF = 2). En cuanto al impacto operativo, la cámara 3 recibió la puntuación máxima de 10, dado que almacena exclusivamente productos listos para la exportación y su indisponibilidad durante más de 12 horas puede generar pérdidas de hasta 235 000 dólares; la cámara 2 recibió una puntuación de 5 por almacenar productos en tránsito, y la cámara 1 recibió una puntuación de 3 por su función de almacenamiento temporal de productos en proceso. En los tres casos, se asignó una puntuación de flexibilidad operativa de 2, ya que, aunque las piezas de repuesto están disponibles en el mercado nacional, la empresa no mantiene un stock completo en su almacén. En cuanto a los gastos de mantenimiento, la cámara 3 superó la barrera de los 20 000 dólares anuales en intervenciones correctivas (CM = 2), mientras que las cámaras 1 y 2 se mantuvieron por debajo de esa cifra (CM = 1). Por último, ninguna instalación supone un riesgo directo de pérdida de vidas en condiciones normales; por tal motivo las 3 cámaras clasificaron como sin riesgo de pérdida de vidas (SHA = 1). La tabla 10 resume los resultados de la evaluación CTR de las tres cámaras frigoríficas:

Tabla 9. Resultados de la evaluación CTR de las tres cámaras frigoríficas.

Criterio	Cámara 1 (52 t)	Cámara 2 (78 t)	Cámara 3 (120 t)
Frecuencia de Fallos (FF)	2 (Posible)	2 (Posible)	4 (Frecuente)
Impacto Operacional (IO)	3	5	10
Flexibilidad Operacional (FO)	2	2	2
Costos de Mantenimiento (CM)	1	1	2

Criterio	Cámara 1 (52 t)	Cámara 2 (78 t)	Cámara 3 (120 t)
Impacto SHA	1	1	3
Consecuencias (C = IO+FO+CM+SHA)	7	9	17
CTR = FF × C	14	18	68
Clasificación	No Crítico (NC)	Media Criticidad (MC)	CRÍTICO (C)

Nota. Elaboración propia, con base en el modelo CTR de Parra y Crespo (2020).

Los resultados de la evaluación sugieren que la cámara frigorífica 3 obtuvo una puntuación CTR de 68, lo que la sitúa en la categoría Crítica, por encima del umbral de 40. La cámara frigorífica 2 obtuvo una CTR de 18, clasificada como Criticidad Media, mientras que la cámara frigorífica 1 registró una CTR de 14, lo que la sitúa en la categoría No Crítica. La posición de la cámara frigorífica 3 como activo crítico se explica por la convergencia de tres factores determinantes: en primer lugar, su alta frecuencia de fallos, con una media de 3.72 eventos por semana durante el periodo de diagnóstico; en segundo lugar, su mayor impacto operativo, dado que almacena exclusivamente productos terminados destinados a la exportación, cuya pérdida o deterioro podría comprometer los compromisos comerciales de la empresa; y en tercer lugar, los costos acumulados de mantenimiento correctivo, que superan el umbral establecido por el modelo.

Por tal motivo, la cámara frigorífica 3 fue identificada como el activo prioritario sobre el que llevar a cabo el plan de mantenimiento basado en la metodología PMO. Esta selección no excluye a las demás instalaciones del programa de mejora; sin embargo, la jerarquía obtenida justifica que los esfuerzos de mejora se concentren principalmente en la cámara 3, con la intención de replicar las estrategias desarrolladas en las cámaras 1 y 2 en etapas posteriores, según lo permitan los recursos.

4.1.2. Indicadores de mantenimiento – Periodo Pre Test (Semana 1 – 32)- (22 abril 2024-01 diciembre 2024)

Durante el periodo previo a la implementación de la metodología PMO, la gestión del mantenimiento de la cámara frigorífica 3 se basaba principalmente en el mantenimiento correctivo. Las medidas preventivas se limitaban a una evaluación anual que incluía cambios de aceite, limpieza de filtros y sustitución de filtros secadores, sin una programación sistemática ni especificaciones técnicas concretas. Del mismo modo, no se aplicaban medidas de mantenimiento predictivo. Esta

situación se refleja en la distribución semanal de las intervenciones, en la que el mantenimiento correctivo representaba una media del 83.5 % de todas las intervenciones, el mantenimiento preventivo el 16.5 % y el mantenimiento predictivo el 0.0 %.

Tabla 10. *Distribución Semanal de Mantenimiento – Pre-PMO (Semanas 1–32).*

Semana	Total Intervenciones	Preventivo (N°)	% Preventivo	Correctivo (N°)	% Correctivo	Predictivo (N°)	% Predictivo
S1	7	1	14.3%	6	85.7%	0	0.0%
S2	8	1	12.5%	7	87.5%	0	0.0%
S3	7	1	14.3%	6	85.7%	0	0.0%
S4	9	2	22.2%	7	77.8%	0	0.0%
S5	6	1	16.7%	5	83.3%	0	0.0%
S6	7	1	14.3%	6	85.7%	0	0.0%
S7	5	1	20.0%	4	80.0%	0	0.0%
S8	7	1	14.3%	6	85.7%	0	0.0%
S9	7	1	14.3%	6	85.7%	0	0.0%
S10	5	1	20.0%	4	80.0%	0	0.0%
S11	7	1	14.3%	6	85.7%	0	0.0%
S12	7	2	28.6%	5	71.4%	0	0.0%
S13	6	1	16.7%	5	83.3%	0	0.0%
S14	7	1	14.3%	6	85.7%	0	0.0%
S15	7	1	14.3%	6	85.7%	0	0.0%
S16	8	2	25.0%	6	75.0%	0	0.0%
S17	5	1	20.0%	4	80.0%	0	0.0%
S18	6	1	16.7%	5	83.3%	0	0.0%
S19	7	1	14.3%	6	85.7%	0	0.0%
S20	7	1	14.3%	6	85.7%	0	0.0%
S21	6	1	16.7%	5	83.3%	0	0.0%
S22	8	1	12.5%	7	87.5%	0	0.0%
S23	6	1	16.7%	5	83.3%	0	0.0%
S24	7	1	14.3%	6	85.7%	0	0.0%
S25	7	1	14.3%	6	85.7%	0	0.0%
S26	5	1	20.0%	4	80.0%	0	0.0%
S27	8	2	25.0%	6	75.0%	0	0.0%
S28	7	1	14.3%	6	85.7%	0	0.0%
S29	7	1	14.3%	6	85.7%	0	0.0%
S30	8	1	12.5%	7	87.5%	0	0.0%
S31	7	1	14.3%	6	85.7%	0	0.0%
S32	7	1	14.3%	6	85.7%	0	0.0%
TOTAL / PROMEDIO	218	36	16.5%	182	83.5%	0	0.0%

Fuente. Elaboración propia.

4.1.3. Paso 1: Recopilación de tareas

Se recopila información detallada sobre el estado actual del sistema de refrigeración, incluyendo reportes de fallas, registros de mantenimiento y datos operativos. Además, se identifican los principales problemas que afectan la disponibilidad de la cámara frigorífica 3, enfocándose en sus tres unidades de refrigeración, cuya gestión de mantenimiento será analizada mediante la metodología PMO para aumentar su disponibilidad operativa.

Plan de Mantenimiento (Antes de la implementación del PMO)

Tabla 11: Plan de Mantenimiento de la Empresa Procesadora Perú S.A.C..

Nº	Trabajos a realizar	Especialidad	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Mantenimiento Semanal														
1	Medición de parámetros eléctricos en el compresor y ventiladores.	Electricista	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Mantenimiento Quincenal														
2	Limpieza y mantenimiento de tablero eléctrico.	Electricista	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	Control de presiones en cada unidad.	Mecánico Frigorista	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	Inspección y limpieza del aislamiento térmico.	Mecánico Frigorista	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	Revisión del nivel de aceite de las unidades.	Mecánico Frigorista	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Mantenimiento Mensual														
6	Detectar fugas de refrigerante en el sistema.	Mecánico Frigorista	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	Calibración de termómetros digitales.	Mecánico Frigorista	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Mantenimiento Trimestral o Mayor Frecuencia Variable														
8	Limpieza del condensador	Mecánico Frigorista	X		X		X		X		X		X	
9	Inspeccionar y reparar manijas de las puertas de las cámaras	Mecánico Frigorista		X		X		X		X		X		X

Nº	Trabajos a realizar	Especialidad	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
10	Revisión de separadores de aceite	Mecánico Frigorista			X			X			X			X
11	Inspección de resistencias de descongelamiento del evaporador	Electricista			X			X			X			X
12	Limpieza de evaporadores incluyendo los ventiladores, bandeja y tubo de drenaje	Mecánico Frigorista			X			X			X			X
13	Limpieza de válvula solenoide	Mecánico Frigorista	X						X					
14	Lijado y pintado de la base de la unidad	Mecánico Frigorista	X						X					
15	Limpieza de filtros de la válvula de expansión	Mecánico Frigorista	X						X					
16	Inspeccionar y/o cambiar las resistencias y empaquetaduras de las puertas de las cámaras	Electricista				X							X	
17	Cambiar aceite y limpieza de filtro de aceite de la bomba compresor.	Mecánico Frigorista						X						
18	Cambiar filtro secador de cada unidad	Mecánico Frigorista						X						
19	Cambio de filtro cerámico	Mecánico Frigorista						X						
20	Cambio de aislamiento térmico	Mecánico Frigorista						X						
21	Limpieza de filtro de succión	Mecánico Frigorista						X						
22	Inspección de rodamientos y barnizado de motores del condensador	Electricista							X					
23	Inspección de rodamientos y barnizado de motores del evaporador	Electricista							X					
24	Cambio de válvula de expansión	Mecánico Frigorista						X (Cada 5 años)						

Nº	Trabajos a realizar	Especialidad	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
25	Cambio de filtro de succión	Mecánico Frigorista						X (Cada 5 años)						

Fuente: Elaboración Propia

Figura 7. Unidad 1 de la Cámara 3.



Fuente. *Elaboración propia.*

Figura 8. Unidad 2 de la Cámara 3.



Fuente. *Elaboración propia.*

Figura 9. Unidad 3 de la Cámara 3.



Fuente. *Elaboración propia.*

Figura 10. Evaporadores de las 3 unidades de la cámara 3.



Fuente. *Elaboración propia.*

Asimismo, se llevó a cabo un monitoreo sobre la disponibilidad de la cámara frigorífica 3, evaluando indicadores como el MTTR y el MTBF de sus tres unidades de refrigeración a lo largo de 32 semanas, comprendidas entre el 22 de abril y el 1 de diciembre de 2024, las cuales reflejaron el estado inicial. Esto permitirá medir el efecto de la implementación de la metodología PMO en la gestión del mantenimiento y la mejora de la disponibilidad operativa.

Tabla 12. Indicadores del % de Disponibilidad Pre-Aplicación PMO – Periodo 22 Abril – 01 de Diciembre 2024.

SEMANA	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD (%)
1	1089.3	230.7	83%
2	1005.7	234.3	81%
3	1674.5	335.5	83%

SEMANA	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD (%)
4	1101.0	219.0	83%
5	1829.5	330.5	85%
6	1089.3	230.7	83%
7	1119.0	221.0	84%
8	1630.5	349.5	82%
9	1819.5	340.5	84%
10	1100.7	219.3	83%
11	1665.0	315.0	84%
12	1839.5	320.5	85%
13	1641.5	338.5	83%
14	906.3	173.8	84%
15	1105.7	214.3	84%
16	1652.0	328.0	83%
17	1089.0	231.0	83%
18	914.3	165.8	85%
19	1106.3	213.7	84%
20	1092.0	228.0	83%
21	1220.0	220.0	85%
22	1653.0	327.0	83%
23	1092.7	227.3	83%
24	1107.3	212.7	84%
25	1085.7	234.3	82%
26	1087.3	232.7	82%
27	1204.0	236.0	84%
28	1634.5	345.5	83%
29	1217.3	222.7	85%
30	1104.0	216.0	84%
31	1098.0	222.0	83%
32	1098.7	221.3	83%

Fuente. *Elaboración propia.*

Para el cálculo de la disponibilidad la consideramos de la siguiente manera:

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

Donde:

D = Disponibilidad

$MTBF$ = Tiempo medio entre fallos

$MTTR$ = Tiempo medio para reparar

Cálculo semana 1:

$$D = \frac{1089.3}{1089.3 + 230.7} * 100$$

$$D = 82.53 \% \approx 83 \%$$

Este cálculo permitió demostrar la disponibilidad del equipo en la primera semana, asegurando que los datos presentados en la Tabla 11 reflejan con precisión la operatividad del sistema a lo largo de las 32 semanas analizadas.

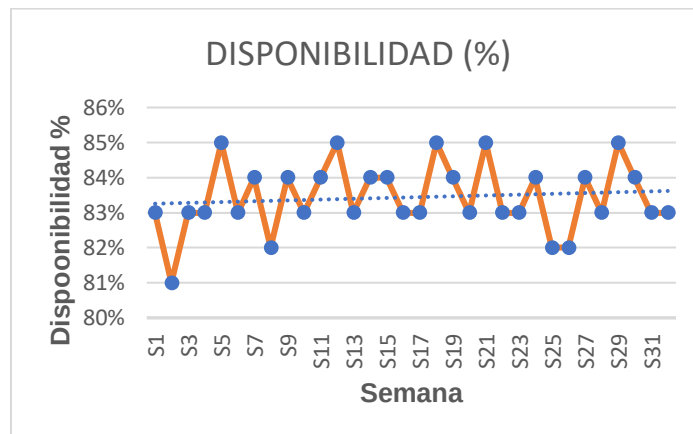


Figura 11. Gráfica de la Disponibilidad Pre Aplicación PMO.

4.1.4. Paso 2: Análisis de modos de falla

El análisis de modos de falla permite identificar y prevenir defectos en la cámara frigorífica 3. Se realizan controles de presión, calibraciones y limpiezas periódicas para evitar sobrecalentamiento, corrosión y fallos en la transferencia térmica. Estas acciones, ejecutadas por especialistas, optimizan el rendimiento y prolongan la vida útil del sistema.

Tabla 13. Registro de Inspección Eléctrica y Modos de Falla.

EVENTO	TAREA	FRECUENCIA	RESPONSABLE	FALLA	MODO DE FALLA
INSPECCIÓN ELÉCTRICA	Medición de parámetros eléctricos en el compresor y ventiladores	Semanal	ELECTRICISTA	Alteración de valores eléctricos, sobrecalentamiento del motor.	Sobrecarga, desbalance de fases, cortocircuito
INSPECCIÓN TABLERO	Limpieza y mantenimiento de tablero eléctrico	Quincenal	ELECTRICISTA	Falso disparo del botón de emergencia, aflojamiento de pernos.	Acumulación de polvo, falso contacto, sobrecalentamiento
CONTROL OPERACIONAL	Control de presiones en cada unidad	Quincenal	MECÁNICO FRIGORISTA	Presiones fuera de rango	Sobrecarga del sistema, pérdida de refrigerante, válvulas obstruidas
INSPECCIÓN ESTRUCTURAL	Inspección y limpieza del aislamiento térmico	Quincenal	MECÁNICO FRIGORISTA	Pérdida de eficiencia en la refrigeración	Deterioro por humedad, desgaste natural, daño físico
INSPECCIÓN LUBRICACIÓN	Revisión del nivel de aceite de las unidades	Quincenal	MECÁNICO FRIGORISTA	Lubricación insuficiente	Fugas en sellos, consumo excesivo, contaminación
DETECCIÓN DE FUGAS	Detectar fugas de refrigerante en el sistema	Mensual	MECÁNICO FRIGORISTA	Pérdida de refrigerante	Microfisuras por porosidad en tuberías, deterioro de juntas y sellos, aflojamiento por vibración mecánica.
CALIBRACIÓN INSTRUMENTAL	Calibración de termómetros digitales	Mensual	MECÁNICO FRIGORISTA	Lectura errónea de temperatura	Desajuste natural, fallo en la calibración interna del sensor.
LIMPIEZA DE CONDENSADOR	Limpieza del condensador	Trimestral	MECÁNICO FRIGORISTA	Baja transferencia de calor	Acumulación de polvo, obstrucción por residuos, corrosión superficial
INSPECCIÓN ESTRUCTURAL	Inspeccionar y reparar manijas de las puertas	Trimestral	MECÁNICO FRIGORISTA	Sellado deficiente	Desgaste por uso, rotura de componentes
INSPECCIÓN SISTEMA DESCONGELADO	Inspección de resistencias de descongelamiento	Cuatrimstral	ELECTRICISTA	Retraso en el proceso de descongelamiento	Resistencias quemadas, conexiones sueltas, controlador averiado
	Limpieza de evaporadores	Cuatrimstral	MECÁNICO FRIGORISTA	Transferencia deficiente de calor	Acumulación de hielo, obstrucción de aletas, bloqueo de drenaje

EVENTO	TAREA	FRECUENCIA	RESPONSABLE	FALLA	MODO DE FALLA
LIMPIEZA DE COMPONENTES	Limpieza de válvula solenoide	Semestral	MECÁNICO FRIGORISTA	Apertura/cierre defectuoso	Obstrucción por impurezas, bobina deteriorada, desgaste mecánico
	Limpieza de filtros de válvula de expansión	Semestral	MECÁNICO FRIGORISTA	Flujo restringido	Acumulación de partículas, hielo en orificio, contaminantes del sistema
INSPECCIÓN ESTRUCTURAL	Inspeccionar/cambiar resistencias y empaquetaduras	Semestral	ELECTRICISTA	Infiltración de aire/formación de hielo	Deterioro de sellos, desgaste por uso, daño mecánico
REEMPLAZO PROGRAMADO	Cambiar aceite y limpieza de filtro de compresor	Anual	MECÁNICO FRIGORISTA	Lubricación deficiente	Degradación del aceite, acumulación de partículas.
	Cambiar filtro secador de cada unidad	Anual	MECÁNICO FRIGORISTA	Humedad en el sistema	Saturación del desecante, eficiencia reducida, fin de vida útil
	Cambio de filtro cerámico	Anual	MECÁNICO FRIGORISTA	Contaminación del sistema	Saturación del filtro, pérdida de capacidad, restricción de flujo
	Cambio de aislamiento térmico	Anual	MECÁNICO FRIGORISTA	Pérdida de capacidad aislante	Deterioro por humedad, compresión del material, daño físico
LIMPIEZA DE COMPONENTES	Limpieza de filtro de succión	Anual	MECÁNICO FRIGORISTA	Flujo restringido al compresor	Acumulación de partículas, deformación de malla, obstrucción parcial
INSPECCIÓN ELECTROMECAÁNICA	Inspección de rodamientos y barnizado de motores (condensador)	Anual	ELECTRICISTA	Falla en ventiladores	Desgaste de rodamientos, deterioro de aislamiento, sobrecalentamiento
	Inspección de rodamientos y barnizado de motores (evaporador)	Anual	ELECTRICISTA	Falla en ventiladores	Desgaste de rodamientos, deterioro de aislamiento, sobrecalentamiento
REEMPLAZO MAYOR	Cambio de válvula de expansión	5 años	MECÁNICO FRIGORISTA	Control inadecuado de refrigerante	Desgaste del orificio, fallo del elemento termostático, obstrucción
	Cambio de filtro de succión	5 años	MECÁNICO FRIGORISTA	Protección ineficiente del compresor	Rotura del elemento filtrante, corrosión, deformación estructural

Fuente. *Elaboración propia.*

4.1.5. Paso 3: Racionalización y revisión del análisis de fallas

Se realiza un análisis integral de los mecanismos de fallo, identificando patrones recurrentes de deterioro y sus relaciones causales. A través de un proceso de selección, se eliminan actividades de mantenimiento redundantes o de bajo impacto, priorizando intervenciones estratégicas con mayor incidencia en la confiabilidad operativa. Esto permite optimizar la asignación de recursos técnicos y económicos, permitiendo una jerarquización de criticidades que sustenta un programa de mantenimiento basado en evidencia empírica y análisis predictivo de fallas.

Tabla 14. Racionalización y revisión de las fallas.

SISTEMA	COMPONENTE	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA
ELÉCTRICO	Motor del compresor	Sobrecarga	Alteración de valores eléctricos, sobrecalentamiento del motor
		Desbalance de fases	Vibración excesiva, consumo irregular de corriente
	Ventiladores	Desgaste de rodamientos	Ruido excesivo, reducción de eficiencia de ventilación
		Deterioro de aislamiento	Fallas intermitentes, riesgo de cortocircuito
	Tablero de control	Acumulación de polvo	Funcionamiento defectuoso, falsos contactos
		Conexiones sueltas	Pérdida intermitente de control, sobrecalentamiento
MECÁNICO	Compresor	Lubricación insuficiente	Desgaste prematuro de componentes móviles
		Fugas en sellos	Pérdida de presión, reducción de capacidad de refrigeración
REFRIGERACIÓN	Condensador	Corrosión superficial	Deterioro progresivo, eventual fuga de refrigerante
	Evaporador	Acumulación de hielo	Transferencia deficiente de calor, mayor tiempo de operación
	Válvula de expansión	Obstrucción por impurezas	Flujo restringido, alimentación irregular al evaporador
	Filtro secador	Restricción de flujo	Caída de presión, reducción de capacidad del sistema
	Filtro de succión	Deformación de malla	Paso de contaminantes al compresor, daño interno
ESTRUCTURAL	Aislamiento térmico	Deterioro por humedad	Pérdida de eficiencia térmica, mayor consumo energético

SISTEMA	COMPONENTE	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA
	Puertas	Desgaste de sellos	Sellado deficiente, infiltración de aire caliente
	Manijas	Desgaste de componentes	Pérdida de hermeticidad
INSTRUMENTAL	Presostatos	Desajuste de calibración	Presiones fuera de rango, operación ineficiente

Fuente. *Elaboración propia*

Figura 12. *Revisión de las Unidades de la cámara 3.*



Fuente. *Elaboración propia*

4.1.6. Paso 4: Análisis funcional

Una vez identificado los modos de falla en el paso 3, este paso de análisis funcional tiene como finalidad evaluar la pérdida de funcionalidad de cada componente, y cómo esto afecta al sistema de refrigeración. Para ello, se determina el impacto operativo de cada falla y se establece la función específica de los elementos analizados. A continuación, se presenta una tabla en la que se detalla la función e importancia de cada componente dentro del sistema de refrigeración.

Tabla 15. Análisis Funcional.

SISTEMA	COMPONENTE	MODO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA	FUNCIÓN
ELÉCTRICO	Motor del compresor	Sobrecarga	Alteración de valores eléctricos, sobrecalentamiento del motor	Convertir energía eléctrica en energía mecánica para accionar el mecanismo de compresión del refrigerante
		Desbalance de fases	Vibración excesiva, consumo irregular de corriente	
	Ventiladores	Desgaste de rodamientos	Ruido excesivo, reducción de eficiencia de ventilación	Proporcionar flujo de aire forzado para optimizar la transferencia térmica en condensador y evaporador
		Deterioro de aislamiento	Fallas intermitentes, riesgo de cortocircuito	
	Tablero de control	Acumulación de polvo	Funcionamiento defectuoso, falsos contactos	Centralizar y gestionar los circuitos eléctricos de control y potencia del sistema de refrigeración
		Conexiones sueltas	Pérdida intermitente de control, sobrecalentamiento	
MECÁNICO	Compresor	Lubricación insuficiente	Desgaste prematuro de componentes móviles	Aumentar la presión del refrigerante en estado gaseoso para iniciar el ciclo termodinámico
		Fugas en sellos	Pérdida de presión, reducción de capacidad de refrigeración	
REFRIGERACIÓN	Condensador	Corrosión superficial	Deterioro progresivo, eventual fuga de refrigerante	Facilitar la transferencia de calor del refrigerante al ambiente para su condensación
	Evaporador	Acumulación de hielo	Transferencia deficiente de calor, mayor tiempo de operación	Absorber calor del espacio refrigerado mediante la vaporización del refrigerante a baja presión
	Válvula de expansión	Obstrucción por impurezas	Flujo restringido, alimentación irregular al evaporador	Regular el flujo de refrigerante líquido al evaporador manteniendo la diferencia de presión requerida
	Filtro secador	Restricción de flujo	Caída de presión, reducción de capacidad del sistema	Retener humedad y partículas contaminantes del sistema de refrigeración
	Filtro de succión	Deformación de malla	Paso de contaminantes al compresor, daño interno	Proteger al compresor de contaminantes sólidos presentes en la línea de succión
ESTRUCTURAL	Aislamiento térmico	Deterioro por humedad	Pérdida de eficiencia térmica, mayor consumo energético	Minimizar la transferencia de calor entre el espacio

SISTEMA	COMPONENTE	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA	FUNCIÓN
				refrigerado y el ambiente externo
	Puertas	Desgaste de sellos	Sellado deficiente, infiltración de aire caliente	Proporcionar acceso hermético al espacio refrigerado con mínima pérdida térmica
	Manijas	Desgaste de componentes	Pérdida de hermeticidad	Facilitar la operación de apertura y cierre hermético de las puertas
INSTRUMENTAL	Presostatos	Desajuste de calibración	Presiones fuera de rango, operación ineficiente	Monitorear y controlar los niveles de presión del sistema para protección y operación eficiente

Fuente. *Elaboración propia*

4.1.7. Paso 5: Evaluación de consecuencias

Este paso es considerado fundamental en la evaluación de consecuencias dentro del análisis de criticidad, ya que permite cuantificar el impacto de los modos de falla en la operatividad del sistema. Mediante el modelo CTR, se determina la criticidad total por riesgo al relacionar la frecuencia de fallos (FF) con las consecuencias (C), calculadas a partir del impacto operacional (IO), la flexibilidad operativa (FO), los costos de mantenimiento (CM) y la seguridad, higiene y ambiente (SHA). Con estos valores, se jerarquizan los sistemas en críticos, de media criticidad y no críticos, optimizando la gestión del mantenimiento.

Ecuación 1: Criticidad Total por Riesgo (CTR)

$$CTR = FF * C$$

Tabla 16: Matriz de Criticidad propuesta por el modelo CTR

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Fuente. *(Barrera Bustillos & More Bravo, 2024)*

Tabla 17. *Evaluación de Consecuencias.*

SISTEMA	COMPONENTE	MODO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA	FUNCIÓN	IO	FO	CM	SHA	FF	C	CTR	NIVEL
ELÉCTRICO	Motor del compresor	Sobrecarga	Alteración de valores eléctricos, sobrecalentamiento del motor	Convertir energía eléctrica en energía mecánica para accionar el mecanismo de compresión del refrigerante	7	2	1	1	4	16	64	C
ELÉCTRICO	Motor del compresor	Desbalance de fases	Vibración excesiva, consumo irregular de corriente	Convertir energía eléctrica en energía mecánica para accionar el mecanismo de compresión del refrigerante	1	2	1	1	3	4	12	MC
ELÉCTRICO	Ventiladores	Desgaste de rodamientos	Ruido excesivo, reducción de eficiencia de ventilación	Proporcionar flujo de aire forzado para optimizar la transferencia térmica en condensador y evaporador	3	4	1	1	3	14	42	MC
ELÉCTRICO	Ventiladores	Deterioro de aislamiento	Fallas intermitentes, riesgo de cortocircuito	Proporcionar flujo de aire forzado para optimizar la transferencia térmica en condensador y evaporador	3	2	1	1	4	8	32	C
ELÉCTRICO	Tablero de control	Acumulación de polvo	Funcionamiento defectuoso, falsos contactos	Centralizar y gestionar los circuitos eléctricos de control y potencia del sistema de refrigeración	1	1	1	1	4	3	12	MC

SISTEMA	COMPONENTE	MODO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA	FUNCIÓN	IO	FO	CM	SHA	FF	C	CTR	NIVEL
ELÉCTRICO	Tablero de control	Conexiones sueltas	Pérdida intermitente de control, sobrecalentamiento	Centralizar y gestionar los circuitos eléctricos de control y potencia del sistema de refrigeración	1	1	1	1	4	3	12	MC
MECÁNICO	Compresor	Lubricación insuficiente	Desgaste prematuro de componentes móviles	Aumentar la presión del refrigerante en estado gaseoso para iniciar el ciclo termodinámico	3	2	1	1	3	8	24	MC
MECÁNICO	Compresor	Fugas en sellos	Pérdida de presión, reducción de capacidad de refrigeración	Aumentar la presión del refrigerante en estado gaseoso para iniciar el ciclo termodinámico	3	2	1	1	4	8	32	C
REFRIGERACIÓN	Condensador	Corrosión superficial	Deterioro progresivo, eventual fuga de refrigerante	Facilitar la transferencia de calor del refrigerante al ambiente para su condensación	5	2	1	1	2	12	24	MC
REFRIGERACIÓN	Evaporador	Acumulación de hielo	Transferencia deficiente de calor, mayor tiempo de operación	Absorber calor del espacio refrigerado mediante la vaporización del refrigerante a baja presión	1	1	1	1	4	3	12	MC
REFRIGERACIÓN	Válvula de expansión	Obstrucción por impurezas	Flujo restringido, alimentación irregular al evaporador	Regular el flujo de refrigerante líquido al evaporador manteniendo la diferencia de presión requerida	1	4	1	1	1	6	6	NC

SISTEMA	COMPONENTE	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA	FUNCIÓN	IO	FO	CM	SHA	FF	C	CTR	NIVEL
REFRIGERACIÓN	Filtro secador	Restricción de flujo	Caída de presión, reducción de capacidad del sistema	Retener humedad y partículas contaminantes del sistema de refrigeración	3	4	1	1	2	14	28	MC
REFRIGERACIÓN	Filtro de succión	Deformación de malla	Paso de contaminantes al compresor, daño interno	Proteger al compresor de contaminantes sólidos presentes en la línea de succión	3	2	1	1	3	8	24	MC
ESTRUCTURAL	Aislamiento térmico	Deterioro por humedad	Pérdida de eficiencia térmica, mayor consumo energético	Minimizar la transferencia de calor entre el espacio refrigerado y el ambiente externo	3	2	1	1	3	8	24	MC
ESTRUCTURAL	Puertas	Desgaste de sellos	Sellado deficiente, infiltración de aire caliente	Proporcionar acceso hermético al espacio refrigerado con mínima pérdida térmica	5	2	1	1	3	12	36	C
ESTRUCTURAL	Manijas	Desgaste de componentes	Pérdida de hermeticidad	Facilitar la operación de apertura y cierre hermético de las puertas	1	2	1	1	2	4	8	NC
INSTRUMENTAL	Presostatos	Desajuste de calibración	Presiones fuera de rango, operación ineficiente	Monitorear y controlar los niveles de presión del sistema para protección y operación eficiente	7	2	1	1	3	16	48	C

Fuente. *Elaboración propia.*

4.1.8. Paso 6. Definición de la política de mantenimiento

En este paso se establecen lineamientos claros para la ejecución del mantenimiento, definiendo la frecuencia óptima de inspecciones, los procedimientos a seguir. Estos elementos permitirán evaluar la efectividad del plan, asegurando su cumplimiento y la mejora continua del sistema de refrigeración.

Tabla 18. *definición de política de mantenimiento.*

SISTEMA	COMPONENTE	MODO DE FALLO	FUNCIÓN	POLÍTICA	FRECUENCIA	RESPONSABLE
ELÉCTRICO	Motor del compresor	Sobrecarga	Convertir energía eléctrica en energía mecánica para accionar el mecanismo de compresión	INSPECCIÓN	150 HR	ELÉCTRICO
ELÉCTRICO	Motor del compresor	Desbalance de fases	Convertir energía eléctrica en energía mecánica para accionar el mecanismo de compresión	MEDICIÓN	250 HR	ELÉCTRICO
ELÉCTRICO	Ventiladores	Desgaste de rodamientos	Proporcionar flujo de aire forzado para optimizar la transferencia térmica	INSPECCIÓN	200 HR	MECÁNICO
ELÉCTRICO	Ventiladores	Deterioro de aislamiento	Proporcionar flujo de aire forzado para optimizar la transferencia térmica	VERIFICACIÓN	500 HR	ELÉCTRICO
ELÉCTRICO	Tablero de control	Acumulación de polvo	Centralizar y gestionar los circuitos eléctricos de control y potencia del sistema	LIMPIEZA	100 HR	ELÉCTRICO
ELÉCTRICO	Tablero de control	Conexiones sueltas	Centralizar y gestionar los circuitos eléctricos de control y potencia del sistema	AJUSTE	300 HR	ELÉCTRICO
MECÁNICO	Compresor	Lubricación insuficiente	Aumentar la presión del refrigerante para iniciar el ciclo termodinámico	LUBRICACIÓN	250 HR	MECÁNICO

SISTEMA	COMPONENTE	MODO DE FALLO	FUNCIÓN	POLÍTICA	FRECUENCIA	RESPONSABLE
MECÁNICO	Compresor	Fugas en sellos	Aumentar la presión del refrigerante para iniciar el ciclo termodinámico	INSPECCIÓN	125 HR	MECÁNICO
REFRIGERACIÓN	Condensador	Corrosión superficial	Facilitar la transferencia de calor del refrigerante al ambiente	VERIFICACIÓN	350 HR	MECÁNICO
REFRIGERACIÓN	Evaporador	Acumulación de hielo	Absorber calor mediante la vaporización del refrigerante	LIMPIEZA	DIARIO	MECÁNICO
REFRIGERACIÓN	Válvula de expansión	Obstrucción por impurezas	Regular el flujo de refrigerante líquido al evaporador	INSPECCIÓN	1000 HR	MECÁNICO
REFRIGERACIÓN	Filtro secador	Restricción de flujo	Retener humedad y partículas contaminantes del sistema	SUSTITUCIÓN	2000 HR	MECÁNICO
REFRIGERACIÓN	Filtro de succión	Deformación de malla	Proteger al compresor de contaminantes sólidos	INSPECCIÓN	500 HR	MECÁNICO
ESTRUCTURAL	Aislamiento térmico	Deterioro por humedad	Minimizar la transferencia de calor entre el espacio refrigerado y el exterior	INSPECCIÓN	750 HR	MECÁNICO
ESTRUCTURAL	Puertas	Desgaste de sellos	Proporcionar acceso hermético con mínima pérdida térmica	VERIFICACIÓN	200 HR	MECÁNICO
ESTRUCTURAL	Manijas	Desgaste de componentes	Facilitar la apertura y cierre hermético de las puertas	INSPECCIÓN	500 HR	MECÁNICO
INSTRUMENTAL	Presostatos	Desajuste de calibración	Monitorear y controlar los niveles de presión del sistema	CALIBRACIÓN	250 HR	ELÉCTRICO

Fuente. *Elaboración propia.*

4.1.9. Paso 7: Agrupación y revisión

Se organizan y estructuran las tareas de mantenimiento en un plan detallado, asegurando que los recursos disponibles sean utilizados de manera eficiente. Además, se lleva a cabo una revisión de las estrategias implementadas, realizando los ajustes necesarios para optimizar su efectividad y adaptarlas a las necesidades operativas de la empresa.

Tabla 19. *Agrupación y revisión.*

SISTEMA	COMPONENTE	ACTIVIDAD	MODO DE FALLO	EFFECTO DE FALLA	FRECUENCIA
ELÉCTRICO	Motor del compresor	Inspeccionar nivel de carga del motor	Sobrecarga	Sobrecalentamiento del motor, reducción de vida útil	150 HR
ELÉCTRICO	Motor del compresor	Medir balanceo de fases eléctricas	Desbalance de fases	Vibración excesiva, consumo irregular de corriente	250 HR
ELÉCTRICO	Ventiladores	Verificar estado de rodamientos	Desgaste de rodamientos	Ruido excesivo, reducción de eficiencia de ventilación	200 HR
ELÉCTRICO	Ventiladores	Comprobar estado del aislamiento	Deterioro de aislamiento	Fallas intermitentes, riesgo de cortocircuito	500 HR
ELÉCTRICO	Tablero de control	Limpiar superficies y componentes	Acumulación de polvo	Funcionamiento defectuoso, falsos contactos	100 HR
ELÉCTRICO	Tablero de control	Ajustar terminales y conexiones	Conexiones sueltas	Pérdida intermitente de control, sobrecalentamiento	300 HR
MECÁNICO	Compresor	Verificar nivel y aplicar lubricante	Lubricación insuficiente	Desgaste prematuro de componentes móviles	250 HR
MECÁNICO	Compresor	Inspeccionar sellos y juntas	Fugas en sellos	Pérdida de presión, reducción de capacidad de refrigeración	125 HR

SISTEMA	COMPONENTE	ACTIVIDAD	MODO DE FALLO	EFEECTO DE FALLA	FRECUENCIA
REFRIGERACIÓN	Condensador	Verificar integridad estructural	Corrosión superficial	Deterioro progresivo, eventual fuga de refrigerante	350 HR
REFRIGERACIÓN	Evaporador	Eliminar acumulaciones de hielo	Acumulación de hielo	Transferencia deficiente de calor, mayor tiempo de operación	DIARIO
REFRIGERACIÓN	Válvula de expansión	Inspeccionar funcionamiento de la válvula	Obstrucción por impurezas	Flujo restringido, alimentación irregular al evaporador	1000 HR
REFRIGERACIÓN	Filtro secador	Sustituir elemento filtrante	Restricción de flujo	Caída de presión, reducción de capacidad del sistema	2000 HR
REFRIGERACIÓN	Filtro de succión	Inspeccionar estado de la malla	Deformación de malla	Paso de contaminantes al compresor, daño interno	500 HR
ESTRUCTURAL	Aislamiento térmico	Inspeccionar estado general	Deterioro por humedad	Pérdida de eficiencia térmica, mayor consumo energético	750 HR
ESTRUCTURAL	Puertas	Verificar hermeticidad de sellos	Desgaste de sellos	Sellado deficiente, infiltración de aire caliente	200 HR
ESTRUCTURAL	Manijas	Inspeccionar mecanismos de acción	Desgaste de componentes	Pérdida de hermeticidad	500 HR
INSTRUMENTAL	Presostatos	Calibrar puntos de activación	Desajuste de calibración	Presiones fuera de rango, operación ineficiente	250 HR

Fuente. *Elaboración propia.*

4.1.10. Paso 8: Aprobación e implementación

Durante el desarrollo de las etapas previas, se contó con la aprobación por parte de la gerencia y del jefe del área de mantenimiento, quienes evaluaron positivamente la propuesta planteada. Esta aceptación permitió continuar con la implementación de las mejoras, generando un entorno favorable para su ejecución dentro de las operaciones de la empresa. La disposición y colaboración de las áreas involucradas contribuyeron significativamente al avance ordenado del proceso y a la integración de la propuesta en las actividades de mantenimiento.

4.1.11. Paso 9: Programa dinámico

Una vez obtenida la aprobación por parte de la jefatura de mantenimiento y los responsables de área, se procede con la implementación del plan optimizado de mantenimiento preventivo, el cual ha sido estructurado en función de la criticidad de los sistemas, los modos de falla identificados y las frecuencias de intervención determinadas. Dicha validación confirma la viabilidad operativa y técnica del plan. Para asegurar la correcta ejecución de las tareas programadas, se desarrollan capacitaciones asincrónicas dirigidas al personal operativo. Este proceso busca garantizar que el personal involucrado cuente con el conocimiento necesario para aplicar las políticas de mantenimiento definidas, promoviendo la estandarización de las tareas, la mejora continua y la reducción de errores humanos.

4.1.11.1. Capacitación Especializada del Personal

Se ha diseñado un programa de capacitación técnica intensiva, enfocado en las necesidades específicas detectadas durante la fase de diagnóstico:

Tabla 20. *Relación de temas y duración de las sesiones de capacitación.*

Especialidad	Temas de Capacitación	Duración	Modalidad
Mecánico – Electricista Senior	- Diagnóstico avanzado de motores de compresor. - Medición y corrección de desbalance de fases. - Verificación de rodamientos en ventiladores. - Análisis del estado de aislamiento.	4 horas	Teórico-práctica en instalaciones de la empresa con casos reales y evaluación final

Especialidad	Temas de Capacitación	Duración	Modalidad
	- Mantenimiento preventivo de tableros de control. - Técnicas de ajuste y verificación de conexiones.		
Mecánico – Frigorista Senior	- Técnicas avanzadas de lubricación de compresores. - Inspección y reemplazo de sellos y juntas. - Detección temprana de fugas. - Análisis vibracional. - Mantenimiento preventivo basado en frecuencias. - Técnicas de sustitución de componentes críticos.	4 horas	Teórico-práctica en instalaciones de la empresa con prácticas en equipos reales y evaluación final
	- Métodos avanzados para eliminación de hielo. - Diagnóstico de válvulas de expansión. - Sustitución de filtros secadores y de succión. - Detección de fugas en condensadores. - Optimización de parámetros de funcionamiento. - Prácticas de seguridad con refrigerantes.	4 horas	Teórico-práctica en instalaciones con intervenciones supervisadas y evaluación final
	- Técnicas de inspección de aislamiento térmico. - Mantenimiento de sellos de puertas. - Reparación de mecanismos de manijas. - Hermeticidad de cámaras de refrigeración.	4 horas	Teórico-práctica con inspecciones reales guiadas y evaluación final

Especialidad	Temas de Capacitación	Duración	Modalidad
	- Análisis termográfico de puntos críticos.		
	- Calibración de presostatos. - Verificación de sensores de temperatura. - Mantenimiento de controladores electrónicos. - Verificación de sistemas de alarma. - Documentación de parámetros operativos.	8 horas	Teórico-práctica con equipos de medición y evaluación final
Supervisores	- Gestión del plan de mantenimiento basado en PMO. - Análisis de indicadores de disponibilidad. - Gestión de repuestos críticos. - Metodología para mejora de disponibilidad. - Liderazgo técnico de equipos multidisciplinarios.	8 horas	Teórico-práctica con análisis de casos, simulaciones y evaluación final

Fuente. *Elaboración propia.*

Figura 13. *Capacitación personalizada al personal.*



Fuente. *Elaboración propia.*

4.1.11.2. Sistema de Gestión de Repuestos Críticos

Tabla 21. Clasificación de la criticidad del sistema de gestión de repuestos.

Criticidad	Criterios	Componentes Identificados	Política de Stock
A - Críticos	- Frecuencia < 250 HR - Impacto directo en disponibilidad - Tiempo de adquisición prolongado	Rodamientos para ventiladores	Stock mínimo para 3 meses de operación + acuerdos con proveedores
		Lubricante para compresor	
		Sellos y juntas de compresor	
		Contactores para tablero de control	
B - Importantes	- Frecuencia entre 250-750 HR - Afecta rendimiento sin parada total	Terminales para conexiones eléctricas	Stock mínimo para 2 meses + proveedores identificados
		Filtros de succión	
		Sellos de puertas	
		Calibradores para presostatos	
C - Regulares	- Frecuencia > 750 HR - Deterioro predecible	Materiales para aislamiento	Stock para intervenciones planificadas
		Refrigerante para recargas menores	
		Elementos filtrantes para filtro secador	
		Componentes de manijas	

Fuente. Elaboración propia.

4.1.12. Presupuesto de Ejecución de la Investigación

El presente presupuesto detalla los recursos necesarios para la ejecución de la investigación, considerando materiales de oficina, apoyo logístico y gastos asociados a la capacitación en la metodología PMO.

Tabla 22

Presupuesto para la implementación de la metodología PMO en la cámara frigorífica 3.

Rubro	Detalle	Costo Unitario (S/.)	Cantidad	Subtotal (S/.)
Materiales de oficina	Hojas A4 (paquete de 500)	S/ 25.00	2 paquetes	S/ 50.00
	Archivadores	S/ 20.00	5	S/ 100.00
	Folders	S/ 2.50	30	S/ 75.00
	Lapiceros y plumones	S/ 3.00	20	S/ 60.00
	Clips, grapas y otros insumos pequeños	S/ 50.00	1 lote	S/ 50.00
Capacitación en metodología PMO	Material de capacitación (Folletos, trípticos para los asistentes)	S/ 50.00	8 sesiones	S/ 400.00
	Alquiler de proyector por sesión	S/ 100.00	8 sesiones	S/ 800.00
Gastos logísticos adicionales	Transporte local para visitas técnicas a la cámara 3	S/ 100.00	6	S/ 600.00
TOTAL :				S/ 2,135.00

Fuente. *Elaboración propia.*

Análisis de Resultados Posteriores a la Implementación del PMO:

El presente análisis examina la evolución de los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad tras la implementación de nuevas tareas bajo la metodología PMO. Los datos evidencian una mejora significativa en la eficiencia operativa, elevando la disponibilidad desde un promedio de 84% durante las primeras 32 semanas, comprendidas entre el 22 de abril y el 1 de diciembre de 2024, que

reflejaron el estado inicial, hasta alcanzar niveles óptimos superiores al 93% en las 32 semanas siguientes, entre el 2 de diciembre de 2024 y el 13 de julio de 2025, tras la implementación de las estrategias. Este notable incremento valida la efectividad de las acciones adoptadas, demostrando cómo una gestión de mantenimiento estructurada y sistemática puede optimizar sustancialmente los recursos técnicos y los procesos operativos industriales.

Tabla 23. Resultados del Pre Test: Evaluación de la Disponibilidad Operativa
(Semanas 1-32).

Semana	Horas Programadas	Horas de Operación	N° de Fallas	Tiempo	MTBF (h)	MTTR (h)	Disponibilidad (%)
				Total de Reparación (h)			
S1	168	139.5	4	28.5	34.88	7.13	83.04%
S2	168	132.5	5	31	26.50	6.20	81.04%
S3	168	140.5	5	23.5	28.10	4.70	85.67%
S4	168	135.5	6	21.5	22.58	3.58	86.31%
S5	168	123.7	4	21.5	30.93	5.38	85.19%
S6	168	129.5	4	38.5	32.38	9.63	77.08%
S7	168	110.5	3	21.7	36.83	7.23	83.59%
S8	168	143	4	21.8	35.75	5.45	86.77%
S9	168	143.8	4	19.8	35.95	4.95	87.90%
S10	168	108.46	3	20.64	36.15	6.88	84.01%
S11	168	135.8	4	32.2	33.95	8.05	80.83%
S12	168	136.5	4	31.5	34.13	7.88	81.25%
S13	168	143	3	23.5	47.67	7.83	85.89%
S14	168	103.5	4	20.38	25.88	5.10	83.55%
S15	168	109.08	4	20.32	27.27	5.08	84.30%
S16	168	142.7	5	23.5	28.54	4.70	85.86%
S17	168	108.05	3	20.67	36.02	6.89	83.94%
S18	168	90.52	4	18.54	22.63	4.64	83.00%
S19	168	109.56	4	20.91	27.39	5.23	83.97%
S20	168	109.02	4	20.18	27.26	5.05	84.38%
S21	168	120.57	3	20.24	40.19	6.75	85.63%
S22	168	138.5	5	29.5	27.70	5.90	82.44%
S23	168	109.54	4	20.94	27.39	5.24	83.95%
S24	168	110.51	4	20.89	27.63	5.22	84.10%
S25	168	108.56	4	30.07	27.14	7.52	78.31%

Semana	Horas Programadas	Horas de Operación	N° de Fallas	Tiempo			Disponibilidad (%)
				Total de	MTBF	MTTR	
				Reparación (h)	(h)	(h)	
S26	168	108.58	3	31.5	36.19	10.50	77.51%
S27	168	118.56	5	20.5	23.71	4.10	85.26%
S28	168	156.09	4	10.7	39.02	2.68	93.58%
S29	168	119.52	4	20.5	29.88	5.13	85.36%
S30	168	109.55	5	21.8	21.91	4.36	83.40%
S31	168	119.5	4	25.7	29.88	6.43	82.30%
S32	168	121.8	4	20.5	30.45	5.13	85.59%

Fuente. *Elaboración propia.*

Esta mejora en la disponibilidad operativa se sustenta en gran medida a la reconfiguración del plan de mantenimiento implementado sobre la cámara 3. Tras la implementación, el mantenimiento preventivo aumentó hasta el 54,0 %, el mantenimiento correctivo disminuyó hasta el 34,2 % y el mantenimiento predictivo alcanzó el 11,8 %, como se muestra en la Tabla 24.

Tabla 24. *Distribución Semanal de Mantenimiento – Post-PMO (Semanas 33–64).*

Semana	Total Intervenciones	Preventivo (N°)	% Preventivo	Correctivo (N°)	% Correctivo	Predictivo (N°)	% Predictivo
S33	8	4	50.0%	3	37.5%	1	12.5%
S34	9	5	55.6%	3	33.3%	1	11.1%
S35	8	4	50.0%	3	37.5%	1	12.5%
S36	9	5	55.6%	3	33.3%	1	11.1%
S37	8	4	50.0%	3	37.5%	1	12.5%
S38	9	5	55.6%	3	33.3%	1	11.1%
S39	8	4	50.0%	3	37.5%	1	12.5%
S40	9	5	55.6%	3	33.3%	1	11.1%
S41	8	4	50.0%	3	37.5%	1	12.5%
S42	9	5	55.6%	3	33.3%	1	11.1%
S43	8	5	62.5%	2	25.0%	1	12.5%
S44	9	5	55.6%	3	33.3%	1	11.1%
S45	8	4	50.0%	3	37.5%	1	12.5%
S46	9	5	55.6%	3	33.3%	1	11.1%

Semana	Total Intervenciones	Preventivo (N°)	% Preventivo	Correctivo (N°)	% Correctivo	Predictivo (N°)	% Predictivo
S47	8	4	50.0%	3	37.5%	1	12.5%
S48	9	5	55.6%	3	33.3%	1	11.1%
S49	8	4	50.0%	3	37.5%	1	12.5%
S50	9	5	55.6%	3	33.3%	1	11.1%
S51	8	5	62.5%	2	25.0%	1	12.5%
S52	9	5	55.6%	3	33.3%	1	11.1%
S53	8	4	50.0%	3	37.5%	1	12.5%
S54	9	5	55.6%	3	33.3%	1	11.1%
S55	8	4	50.0%	3	37.5%	1	12.5%
S56	9	5	55.6%	3	33.3%	1	11.1%
S57	8	4	50.0%	3	37.5%	1	12.5%
S58	9	5	55.6%	3	33.3%	1	11.1%
S59	8	5	62.5%	2	25.0%	1	12.5%
S60	9	5	55.6%	3	33.3%	1	11.1%
S61	8	4	50.0%	3	37.5%	1	12.5%
S62	9	5	55.6%	3	33.3%	1	11.1%
S63	8	4	50.0%	3	37.5%	1	12.5%
S64	9	5	55.6%	3	33.3%	1	11.1%
Total / Promedio	272	147	54.0%	93	34.2%	32	11.8%

Fuente. *Elaboración propia.*

La Tabla 25 compara los indicadores de mantenimiento de ambos periodos, junto con la variación registrada en puntos y el objetivo establecido para cada indicador dentro del marco metodológico de la PMO:

Tabla 25. *Comparación de Indicadores de Tipo de Mantenimiento.*

Indicador	Pre-PMO (S1–S32)	Post-PMO (S33–S64)	Variación (%)
%Mantenimiento Preventivo	16.5%	54.0%	37.5 %
%Mantenimiento Correctivo	83.5%	34.2%	49.3 %
% Mantenimiento Predictivo	0.0%	11.8%	11.8 %
Total Intervenciones	218	272	

Fuente. *Elaboración propia.*

Los resultados comparativos demuestran que la aplicación de la técnica PMO condujo a una mejora importante en la asignación de las intervenciones de mantenimiento en la cámara frigorífica 3. El mantenimiento preventivo aumentó en 37.5 %, el mantenimiento correctivo disminuyó en 49.3 % y el mantenimiento predictivo, que no registró ninguna actividad en el primer periodo, alcanzó una proporción del 11.8 % del total de intervenciones.

Estos resultados muestran que la técnica PMO modificó eficazmente la estrategia de mantenimiento, desplazando el enfoque de la gestión de un enfoque reactivo a uno preventivo y proactivo. Esta reorientación estratégica es la base de la mejora de la disponibilidad operativa de la cámara frigorífica 3.

Tabla 26. *Estadísticos Descriptivos del Pre Test.*

Estadísticos descriptivos						
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación	Varianza
HORAS PROGRAMADAS	32	168	168	168,00	,000	,000
HORAS OPERACIÓN	32	101,50	143,00	127,2878	14,12628	199,552
N_FALLAS	32	3	4	3,72	,457	,209
TIEMPO_TOT_REPARAC	32	20,32	31,50	26,5216	3,35604	11,263
MTBF	32	30,93	36,83	34,3113	1,32491	1,755
MTTR	32	6,38	7,88	7,1431	,37677	,142
DISPONIBILIDAD	32	81,04	84,84	82,7641	,92073	,848
N válido (por lista)	32					

Fuente. *Elaboración propia.*

Podemos apreciar los siguientes estadísticos descriptivos:

Utilizando los valores de estadísticos descriptivos para las variables estudiadas durante 32 semanas, se observa lo siguiente:

- **Horas Programadas:** Se mantiene constante con un valor medio de 168 horas semanales, sin desviación, lo que indica que el tiempo planificado de operación fue siempre el mismo a lo largo de las 32 semanas.
- **Horas de Operación:** Media de 127,29 horas, con una desviación estándar de 14,13 horas, indicando una variabilidad moderada en la cantidad de tiempo real de operación. El mínimo registrado fue 101,50 horas y el máximo 143,00 horas.
- **Número de Fallas (N_Fallas):** Promedio de 3,72 fallas por semana, con baja variabilidad (desviación estándar de 0,46). El número de fallas osciló entre 3 y 4, lo cual refleja una frecuencia de fallas bastante constante.

- **Tiempo Total de Reparación:** Media de 26,52 horas, con una desviación estándar de 3,36 horas. Los tiempos de reparación fueron relativamente estables, fluctuando entre un mínimo de 20,32 horas y un máximo de 31,50 horas.
- **MTBF:** El tiempo medio entre fallas fue de 34,31 horas, con una desviación estándar de 1,32 horas, indicando una buena consistencia en los intervalos de funcionamiento sin fallas. Los valores oscilaron entre 30,93 y 36,83 horas.
- **MTTR:** Promedio de 7,14 horas, con una variación reducida (desviación estándar de 0,38). El tiempo más bajo fue 6,38 horas y el más alto 7,88 horas, mostrando eficiencia relativamente estable en las tareas de reparación.
- **Disponibilidad:** El promedio de disponibilidad fue de 82,76%, con una baja desviación estándar de 0,92%, lo que indica un buen nivel de consistencia en el rendimiento operativo de los equipos. El valor mínimo fue de 81,04% y el máximo 84,84%.

Conclusión:

Durante el periodo analizado, se mantuvo una programación constante de 168 horas semanales. En promedio, los equipos operaron alrededor de 127 horas y presentaron aproximadamente 4 fallas por semana. El tiempo total de reparación fue de aproximadamente 26,5 horas, con un MTBF de 34,3 horas y un MTTR de 7,14 horas. Estos indicadores se reflejan una disponibilidad promedio del 82,76%, evidenciando una continuidad operativa y eficiencia regular en el mantenimiento correctivo.

Hipótesis de la prueba de normalidad:

- **H₀:** Los datos siguen una distribución normal.
- **H₁:** Los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 27. Pruebas de normalidad Pre Test.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
MTBF_Pre_Test	,115	32	,200*	,980	32	,800
MTTR_Pre_Test	,184	32	,008	,944	32	,097
Disponibilidad_Pre_Test	,101	32	,200*	,975	32	,651

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.
a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente. *Elaboración propia.*

Podemos apreciar que:

Utilizando la prueba estadística de Shapiro-Wilk (dado que la cantidad de datos analizados es menor a 50, específicamente 32 semanas), se aprecia lo siguiente:

- **Significación de MTBF:** $0.800 > \alpha$, por lo que no podemos rechazar H_0 .
- **Significación de MTTR:** $0.097 > \alpha$, por lo que no podemos rechazar H_0 .
- **Significación de Disponibilidad:** $0.651 > \alpha$, por lo que no podemos rechazar H_0 .

Conclusión:

A un nivel de significación de 0.05, existe suficiente evidencia estadística para no rechazar la hipótesis nula (H_0); por lo tanto, se puede afirmar que los datos recolectados para las variables MTBF, MTTR y Disponibilidad presentan una distribución normal. Esto permite aplicar con validez análisis estadísticos paramétricos en las siguientes etapas del estudio.

Tabla 28. Resultados del Post Test: Evaluación de la Disponibilidad Operativa (Semanas 33-64).

Semana	Horas Programadas	Horas de Operación	N° de Fallas	Tiempo	MTBF (h)	MTTR (h)	Disponibilidad (%)
				Total de Reparación (h)			
s33	168	150.49	4	10	37.6	2.5	93.77%
s34	168	166.62	4	13	41.7	3.25	92.26%
s35	168	160.25	4	11	40.1	2.75	93.45%
s36	168	155.21	3	14	51.7	4.67	91.67%
s37	168	157.55	4	11	39.4	2.75	93.45%
s38	168	156.65	4	12	39.2	3	92.86%
s39	168	154.29	3	13	51.4	4.33	92.26%
s40	168	163.06	4	14	40.8	3.5	91.67%
s41	168	160.56	4	10	40.1	2.5	94.05%
s42	168	161.15	3	13	53.7	4.33	92.26%
s43	168	157.08	4	11	39.3	2.75	93.45%
s44	168	162.73	4	12	40.7	3	92.86%
s45	168	160.02	3	14	53.3	4.67	91.67%
s46	168	158.77	4	9	39.7	2.25	94.64%

Semana	Horas Programadas	Horas de Operación	N° de Fallas	Tiempo	MTBF (h)	MTTR (h)	Disponibilidad (%)
				Total de Reparación (h)			
s47	168	162.43	4	13	40.6	3.25	92.26%
s48	168	160.18	4	10	40	2.5	94.05%
s49	168	158.91	3	12	53	4	92.86%
s50	168	159.66	4	11	39.9	2.75	93.45%
s51	168	160.75	4	14	40.2	3.5	91.67%
s52	168	161.58	4	13	40.4	3.25	92.26%
s53	168	160.97	3	13	53.7	4.33	92.26%
s54	168	159.82	4	10	39.9	2.5	94.05%
s55	168	158.95	4	12	39.7	3	92.86%
s56	168	160.53	4	11	40.1	2.75	93.45%
s57	168	155.45	4	12	38.9	3	92.86%
s58	168	153.02	3	14	51	4.67	91.67%
s59	168	154.63	4	11	38.7	2.75	93.45%
s60	168	160.74	4	13	40.2	3.25	92.26%
s61	168	161.89	4	11	40.5	2.75	93.45%
s62	168	159.8	4	12	39.9	3	92.86%
s63	168	159	4	9	39.8	2.25	94.64%
s64	168	154	4	14	38.5	3.5	91.67%

Fuente. *Elaboración propia.*

Tabla 29. *Estadísticos Descriptivos del Post Test.*

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
H_Operación	32	150,49	166,62	158,2	3,85
N_Fallas	32	3	5	3,75	,44
Tiempo_Reparación	32	9,00	14,00	11,8	1,45
MTBF_Post_Test	32	38,5	53,7	42,15	4,82
MTTR_Post_Test	32	2,25	4,67	3,15	,65
Disponibilidad_Post_Test	32	91,67	94,64	92,89	0,87
N válido (por lista)	32				

Fuente. *Elaboración propia.*

Podemos apreciar los siguientes estadísticos descriptivos:

Utilizando los valores de estadísticos descriptivos para las variables estudiadas durante 32 semanas en la fase post test, se observa lo siguiente:

- **Horas de Operación:** Promedio de 158.2 horas, con una desviación estándar de 3,85. Los valores registrados oscilan entre un mínimo de 150.49 y un máximo de 166.62 horas.
- **Número de Fallas (N_Fallas):** Promedio de 3,75 fallas, con una desviación estándar de 0,44. El número mínimo de fallas fue 3 y el máximo 4.
- **Tiempo Total de Reparación:** Promedio de 11,8 horas, con una desviación estándar de 1,45. El valor mínimo fue 9,00 horas y el máximo 14,00 horas.
- **MTBF_Post_Test:** Promedio de 42,15 horas, con una desviación estándar de 4,82. Los valores fluctuaron entre 38,5 y 53,7 horas.
- **MTTR_Post_Test:** Promedio de 3,15 horas, con una desviación estándar de 0,65. El tiempo mínimo fue 2,25 horas y el máximo 4,67 horas.
- **Disponibilidad_Post_Test:** Promedio de 92.89%, con una desviación estándar de 0,87%. Los valores oscilaron entre un mínimo de 91,67% y un máximo de 94,64%.

Conclusión:

Los estadísticos descriptivos muestran que, durante el periodo evaluado en la fase post test, los equipos operaron un promedio de 158,2 horas semanales, presentando aproximadamente 3,75 fallas por semana aproximadamente, con un tiempo total de reparación promedio de 11,8 horas. El MTBF fue de 42,15 horas y el MTTR se redujo a aproximadamente 3,15 horas, lo cual resultó en una mejora en la disponibilidad, alcanzando un promedio del 92.89%. Estos resultados evidencian un desempeño operativo más eficiente respecto al periodo previo.

Hipótesis de la prueba de normalidad:

- **H₀:** Los datos siguen una distribución normal.
- **H₁:** Los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 30. Pruebas de normalidad Pre Test - Post Test.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
	o			o		
MTBF_Pre_Test	,115	32	,200*	,980	32	,800
MTTR_Pre_Test	,184	32	,008	,944	32	,097
Disponibilidad_Pre_Test	,101	32	,200*	,975	32	,651
MTBF_Post_Test	,116	32	,200*	,967	32	,431
MTTR_Post_Test	,120	32	,200*	,963	32	,334
Disponibilidad_Post_Test	,114	32	,200*	,972	32	,550

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente. *Elaboración propia.*

Con el objetivo de verificar si las variables analizadas se ajustan a una distribución normal antes de aplicar pruebas paramétricas, se procedió a realizar la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, dado que el tamaño de la muestra es menor a 50 observaciones ($n = 32$). Las variables evaluadas corresponden a los indicadores MTBF, MTTR y Disponibilidad, tanto antes como después de la implementación del plan de mantenimiento basado en la metodología PMO en la Cámara 3 de la empresa Procesadora Perú S.A.C.

A continuación, se detallan los resultados obtenidos:

- MTBF_Pre_Test: valor de significancia = $0.800 > \alpha = 0.05 \rightarrow$ No se rechaza H_0
- MTTR_Pre_Test: valor de significancia = $0.097 > \alpha = 0.05 \rightarrow$ No se rechaza H_0
- Disponibilidad_Pre_Test: valor de significancia = $0.651 > \alpha = 0.05 \rightarrow$ No se rechaza H_0
- MTBF_Post_Test: valor de significancia = $0.431 > \alpha = 0.05 \rightarrow$ No se rechaza H_0
- MTTR_Post_Test: valor de significancia = $0.334 > \alpha = 0.05 \rightarrow$ No se rechaza H_0
- Disponibilidad_Post_Test: valor de significancia = $0.550 > \alpha = 0.05 \rightarrow$ No se rechaza H_0

Conclusión:

Los resultados indican que, para todas las variables analizadas, tanto antes como después de la implementación del plan de mantenimiento basado en la metodología PMO, existe suficiente evidencia estadística para asumir normalidad en la distribución de los datos ($p > 0.05$). Por lo tanto, se justifica el uso de pruebas paramétricas en los análisis comparativos subsiguientes.

Tabla 31. Comparación de Indicadores Pre y Post Test por Par de Variables.

		Estadísticas de muestras emparejadas			
		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	MTTR_Pre_Test	7,14	32	,377	,06660
	MTTR_Post_Test	3,15	32	,65	,07800
Par 2	MTBF_Pre_Test	34,31	32	1,325	,23421
	MTBF_Post_Test	42,15	32	4,82	,10199
Par 3	Disponibilidad_Pre_Test	82,764	32	,873	,16276
	Disponibilidad_Post_Test	92,89	32	1,23522	,21836

Fuente. *Elaboración propia.*

Con el fin de evaluar el efecto de la implementación del plan de mantenimiento basado en la metodología PMO en las variables MTTR, MTBF y Disponibilidad, se analizaron los estadísticos descriptivos de las muestras emparejadas antes y después de la intervención en la Cámara 3 de la empresa Procesadora Perú S.A.C.. A continuación, se detallan los resultados obtenidos:

Par 1 – MTTR:

- Media antes de la implementación: 7,1431
- Media después de la implementación: 3,15
- Interpretación: Se evidencia una reducción significativa en el tiempo promedio de reparación tras la aplicación de la metodología PMO, con una mejora del 55,9%. Este resultado refleja una mejora sustancial en la eficiencia del mantenimiento correctivo, lo que permite una pronta reincorporación de los equipos a la operación.

Par 2 – MTBF:

- Media antes de la implementación: 34,311
- Media después de la implementación: 42,15

- Interpretación: Se observa un incremento significativo en el tiempo medio entre fallas, con una mejora del 22,8%. Este resultado muestra que la metodología PMO no solo mejoró la eficiencia, sino también la confiabilidad de la cámara 3, reduciendo la frecuencia de fallas.

Par 3 – Disponibilidad Operativa:

- Media antes de la implementación: 82,764
- Media después de la implementación: 92,89
- Interpretación: Se aprecia un incremento notable en la disponibilidad de la Cámara 3 del 10,13 %, lo cual representa un logro importante del plan de mantenimiento basado en la metodología PMO. Esto sugiere que los equipos estuvieron más tiempo en funcionamiento efectivo, contribuyendo a una mayor productividad operativa.

Conclusión:

Los resultados muestran que, tras la implementación del plan de mantenimiento basado en la metodología PMO, se lograron mejoras significativas en la disponibilidad operativa y en los tiempos de reparación. Aunque el MTBF presentó una leve disminución, el incremento de la disponibilidad y la reducción del MTTR confirman la efectividad del plan aplicado en la Cámara 3 de la empresa Procesadora Perú S.A.C.

CAPÍTULO V. ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

Como primer objetivo específico se propuso diagnosticar el estado actual de la disponibilidad de la cámara frigorífica 3 mediante indicadores de mantenimiento en Procesadora Perú S.A.C. Los hallazgos para el periodo de enero a agosto de 2024 mostraron deficiencias críticas en el rendimiento operativo, con una disponibilidad del 82,76 %, un MTTR de 7,14 horas y un MTBF de 34,31 horas. La cámara alcanzó solo 127,29 horas efectivas de funcionamiento por semana de las 168 horas previstas y reportó 3,72 fallas cada semana con un total de 26,52 horas de tiempo de reparación, lo que justificaba la necesidad de medidas correctivas. Rodríguez Barrios (2021) descubrió que el trabajo no programado representaba el 44,86 % del trabajo anual total en las bombas de filtro de una empresa minera en Cajamarca, lo que muestra problemas similares que requerían una reparación rápida. Cárdenas Laura y Sullca Pinedo (2024) descubrieron una disponibilidad inicial del 83,35 % en los autobuses operados por Corredor Morado, lo que demuestra que las dificultades con la disponibilidad de los equipos industriales son recurrentes y requieren técnicas específicas.

Como segundo objetivo específico se propuso desarrollar estrategias de mantenimiento basadas en la metodología PMO para la cámara frigorífica 3. La aplicación de esta metodología fue crucial para identificar áreas críticas que requerían capacitación específica y dio lugar a un programa de capacitación técnica de 32 horas académicas, dividido en ocho módulos para distintas especializaciones operativas. Se estableció un marco de gestión para las piezas de repuesto críticas, que se clasificaron según criterios de criticidad (A, B, C) basados en la frecuencia de uso y el impacto en la disponibilidad operativa, y que constituyeron la base técnica para la implementación efectiva del plan optimizado. Cuervo Rodríguez y Cruz Álvarez (2021) encontraron componentes con un riesgo de criticidad elevado en la optimización de bombas centrífugas mediante análisis en cascada y demostraron que la técnica PMO promovía el cumplimiento de los esfuerzos de investigación. Cando Tintín y Morán Guamán (2023) redujeron el trabajo de mantenimiento de la flota de vehículos de la Empresa Eléctrica Riobamba de 56 a 46 (una reducción del 17,86 %) mediante la reducción de los trabajos repetitivos y el logro de una eficiencia media del 67 %.

Como tercer objetivo específico, se planteó implementar el plan de mantenimiento optimizado aplicando la metodología PMO en la cámara frigorífica 3. La implementación contempló la definición de modos de falla, responsables, frecuencias y políticas de mantenimiento, que fueron plasmadas en un plan estructurado con

actividades preventivas y correctivas que incluyeron inspecciones eléctricas, lubricación periódica, limpieza de componentes y sustitución de piezas críticas, permitiendo así pasar de un esquema empírico a un modelo sistemático y controlado. El plan abarcó 17 componentes críticos del sistema de refrigeración, con frecuencias desde inspecciones diarias hasta sustituciones cada 2000 horas, distribuyendo tareas entre electricistas y mecánicos frigoristas, todo ello con un costo total de S/ 2,135.00 que estableció la base metodológica para la evaluación objetiva de la confiabilidad y disponibilidad operativa del sistema de refrigeración. Por su parte, Sánchez Ayte y Condori Álvarez (2023) lograron una reducción del tiempo de inactividad no planificado de 20 horas y 53 minutos en 167 máquinas de impresión flexográfica, lo que representa una reducción del 35,9 % en comparación con el año anterior. Portocarrero Chávez y Gonzales Cayturo (2024) utilizaron simulaciones para demostrar que herramientas como «Repuestos Centrados en la Confiabilidad» mejoran significativamente los indicadores de disponibilidad operativa, y confirmaron su propuesta desde el punto de vista económico con el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de rendimiento (TIR).

Como cuarto objetivo específico, se evaluaron los resultados de la disponibilidad obtenidos tras la implementación del plan de mantenimiento. El análisis comparativo evidenció una reducción del MTTR de 7,14 a 3,15 horas, lo que representa una optimización del 55,9 % en la eficiencia correctiva. Asimismo, el MTBF se incrementó de 34,31 a 42,15 horas, mostrando una mejora del 22,8 % en la confiabilidad del sistema. Finalmente, la disponibilidad operativa pasó de 82,76 % a 92,89 %, lo que significa un incremento del 10,13 %. Estas mejoras fueron estadísticamente significativas ($p < 0,05$), validando objetivamente la efectividad de la metodología implementada. Estos resultados validan la efectividad de la metodología PMO, confirmando que su aplicación sistemática contribuye a prolongar el tiempo de operación de los equipos, reducir la frecuencia de fallas y optimizar la continuidad del servicio. Cárdenas Laura y Sullca Pinedo (2024) demostraron un aumento significativo de la disponibilidad, del 83,35 % al 92,42 %, en los autobuses del Corredor Morado, lo que confirma la eficacia de la PMO y demuestra su viabilidad económica con un valor actual neto (VAN) de 348 190,58 S/ y una tasa interna de rendimiento (TIR) del 22,82 %. Rodríguez Barrios (2021) demostró una reducción considerable del trabajo no programado en las bombas de filtro, del 44,86 % al 2,38 %, lo que sugiere una mejora significativa en la planificación y la ejecución.

CAPITULO VI. CONCLUSIONES:

- El previo diagnóstico de la cámara frigorífica 3 reveló problemas con los indicadores de mantenimiento (enero a agosto de 2024). Los resultados mostraron una disponibilidad media del 82,76 %, con un MTTR de 7,14 horas y un MTBF de 34,31 horas. La cámara estuvo funcionando en promedio 127,29 horas semanales de las 168 horas programadas, con 3,72 averías semanales aproximadamente y un tiempo total de reparación de 26,52 horas, lo cual muestra la necesidad de adoptar medidas de mejora.
- La metodología PMO facilitó la identificación de áreas críticas que requerían una formación específica del personal, lo que dio lugar al desarrollo de un programa de formación técnica intensiva de 32 horas, distribuidas en 8 sesiones para las diferentes áreas especializadas. Esto también permitió lograr un sistema de gestión de piezas de repuesto críticas, clasificadas por niveles de criticidad (A, B, C) en función de su frecuencia de uso y su impacto en la disponibilidad, lo que sentó las bases técnicas para la implementación exitosa del plan de mantenimiento.
- La implementación del plan de mantenimiento basado en la técnica PMO se completó con éxito en las siguientes 32 semanas (agosto de 2024 a marzo de 2025). Durante este periodo, el tiempo medio de funcionamiento aumentó a 158,2 horas semanales, mientras que el número de averías se mantuvo en torno a 3,75 por semana, pero el tiempo total de reparación se redujo significativamente a 11,8 horas, lo que demuestra la eficacia de la táctica aplicada.
- Los resultados recopilados confirman la eficacia del plan de mantenimiento aplicado. Se produjo una reducción estadísticamente significativa del MTTR de 7,14 a 3,15 horas ($p < 0,05$), lo que supone una mejora de la eficiencia del mantenimiento correctivo del 55,9 %. El MTBF registró un incremento de 34,31 a 42,15 horas, representando una mejora del 22,8% y el aumento de la disponibilidad operativa del 82,76 % al 92,89 % ($p < 0,05$) confirma el éxito de la metodología PMO aplicada y confirma estadísticamente que los cambios observados son un resultado directo de la implementación y no de factores aleatorios.

Recomendaciones

- Se recomienda aplicar la metodología PMO en las cámaras 1 y 2 en la Procesadora Perú S.A.C. para aumentar la disponibilidad operativa general de la planta, basándose en los buenos resultados obtenidos en la cámara 3.
- Se recomienda construir un sistema de monitoreo continuo para los indicadores MTTR, MTBF y disponibilidad en la cámara 3, realizando evaluaciones mensuales frecuentes para detectar desviaciones tempranas y mantener los niveles de eficiencia alcanzados.
- Se recomienda mantener actualizado el programa de formación especializada creado con la metodología PMO y asegurarse de que el personal técnico reciba formación continua basada en las necesidades que se han identificado.
- Se debe implementar el sistema de gestión de repuestos críticos en todas las cámaras de procesamiento, la cual clasifica las piezas según su importancia.
- Se recomienda documentar y estandarizar todos los procesos de mantenimiento realizados bajo el enfoque PMO, estableciendo manuales de procedimientos y guías técnicas que permitan repetir la experiencia en otras unidades operativas de la empresa.
- Es recomendable revisar el plan de mantenimiento cada seis meses, teniendo en cuenta lo aprendido y modificando el plan según sea necesario en función de cómo haya cambiado el equipo y cómo se utilice ahora la cámara 3.

Referencias

- Amézquita Díaz, M. (2017). Propuesta de un modelo de oficina de gestión de proyectos (PMO) bajo metodología de Front End Loading para la optimización del desempeño en los proyectos de inversión. *Universitat Politècnica de Valencia*.
<https://doi.org/https://riunet.upv.es/handle/10251/90797>
- Andrade Lopez, R. A., & Prado Hidalgo, D. D. (2023). *Implementación de modelo de gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de equipos críticos de la línea de carmín en una empresa productora de colorantes naturales en Lima – Perú, utilizando RCM*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).
- Avilés Cusco, H. X. (2025). *Propuesta de creación de una PMO basado en la metodología PM2 para el Consorcio León*. Universidad Politécnica Salesiana.
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/30552>
- Barrera Bustillos, J. C., & More Bravo, J. R. (2024). *Aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) para incrementar la disponibilidad de los equipos Scooptrams en la CIA. Minera Santa Luisa S.A. - 2022*. Universidad Nacional del Callao.
- Calua Jara, S. W., & Mendo Julcamoro, E. A. (2020). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad inherente de los equipos de refrigeración de un supermercado en la ciudad de Cajamarca*. Cajamarca: Repositorio de la Universidad Privada del Norte.
- Cando Tintín, J., & Morán Guamán, I. (2023). *Mejora del plan mantenimiento, aplicando la metodología de la optimización del plan de mantenimiento, para el parque automotor de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A.* ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.
- Cardenas Laura, H., & Sullca Pinedo, J. (2024). *Implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología (PMO) para incrementar la disponibilidad de los buses del corredor morado en la empresa Mapretrack S. A. C., Lima, 2023*. Lima: Universidad Privada del Norte.
- Cayo Sicha, L. A. (2021). *Propuesta de sistema de gestión de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad de los contenedores refrigerados en el depósito Medlog, Callao – 2021*. Lima: Repositorio de la Universidad Privada del Norte.
- Chica Mejía, G. H., & Hernández Florez, J. G. (2009). *Modelo para implementación de PMO (Planned Maintenance Optimization)*. Universidad EAFIT.

- Chitiva, A., Hernandez Bello, O., & Felipe Castillo, D. (2024). *Propuesta mejora plan de mantenimiento a las fresadoras de asfalto Caterpillar PM313 basados en la metodología PMO*. Universidad ECCI.
- Cuervo Rodríguez, J., & Cruz Álvarez, N. (2021). *Propuesta de un plan de mantenimiento PMO para la bomba centrífuga mcm series 178 de 15 hp 4x3 para la empresa PSC ENERGY*. Universidad ECCI.
- Fernández-Alarcón, V. (2015). *Fundamentos de la Investigación*. Universitat Politècnica de Catalunya - BarcelonaTech. <https://doi.org/http://doi.org/10.3926/oss.38es>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación*. McGrawHill.
- Hernández, D., Fernández, C., & Baptista, M. (2010). *Metodologia de la investigacion 5ta Edicion*.
- Hilario Gutierrez, G. M. (2024). *Plan de mejora en el proceso de mantenimiento preventivo de sistemas de refrigeración comercial con refrigerante CO2 para reducir el incumplimiento de los servicios en la empresa Booster Group Perú SAC en el 2023*. Lima: Universidad Tecnológica del Perú.
- Parra, C., Tino, G., Parra, J., Crespo, A., Viveros, P., & Kristjanpoller, F. (2021). Metodología básica de análisis de riesgo para evaluar la criticidad de activos industriales, caso de estudio: Línea de manufactura de envases biodegradables. *Ingeman (Acosición para el desarrollo de la ingeniería de mantenimiento, 10*.
- Ponce Mostacero, A. (2019). *OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANEADO EN UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE BEBIDAS CARBONATADAS*. Piura: Mantenimiento Predictivo Basado en Condición.
- Portocarrero Chavez, S. S., & Gonzales Cayturo, D. S. (2024). *Propuesta de modelo para mejorar la disponibilidad de cargadores de bajo perfil mediante el Mantenimiento Planificado y Mantenimiento Autónomo en una empresa de alquiler de maquinaria pesada*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).
- Rayme Flores, M. S., & Diaz Dumont, J. R. (2021). Mantenimiento preventivo para incrementar la productividad en los equipos de medición. *Qantu Yachay, 1(2)*. <https://doi.org/https://doi.org/10.54942/qantuyachay.v1i1.8>

- Rodríguez Barrios, O. (2021). *Diseño de un sistema de mantenimiento de bombas de filtro para aumentar la disponibilidad utilizando la metodología PMO de una empresa minera de Cajamarca*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Rodríguez Navas, E., & Díaz Rangel, D. (2023). *Propuesta de plan de mantenimiento mediante metodología Plan de Mantenimiento Optimizado para los transformadores de la Subestación Eléctrica de 115kV, Planta Vasconia ODC*. Universidad ECCI.
- Rojas Lema, S. (2019). Implementación de análisis modal de fallos y efectos (AMFE). *Dialnet*, 8(1), 64-75.
<https://doi.org/https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6866060>
- Sánchez Ayte, J., & Condori Alvarez, Y. (2023). *Propuesta de un plan de mantenimiento basado en el PMO para reducir paradas no programadas en máquinas flexográficas de 167 KW de una empresa de empaques flexibles, Ate Vitarte*. Universidad Tecnológica de Lima Sur.
- Sánchez Rodríguez, B. E. (2020). *Establecimiento de un sistema de gestión de mantenimiento para el incremento de la disponibilidad de equipos de refrigeración en una empresa embotelladora de bebidas ubicada en la ciudad de Guatemala*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Turner, S. (2009). *PMO - Optimización de Plan de Mantenimiento*. OMCS Latin América.
- Vega Leon Vargas, M. E., Ayala Arrieta, V. A., Oblitas Susanibar, E. W., & Regalado Gonzales, R. L. (2024). *Propuesta de diseño de una PMO para la dirección de proyectos de REDRILSA, bajo la metodología PMO Value Ring*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).
- Vera-Zambrano , R. A., & Torres-Rodríguez , R. (2021). Pautas de un programa de mantenimiento y su importancia en el proceso agroindustrial. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación.*, 4(8).
<https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/40>
- Zamora-Medina, J. R., Briones-Rezabala, L. R., Arteaga-Linzán, Á. R., & Rodríguez-Ramos, P. A. (2022). Determinación de la disponibilidad de un sistema de refrigeración industrial para la industria atunera. *Ingeniería Mecánica*, 25(2).
https://doi.org/http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59442022000200001&script=sci_arttext

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
Problema general ¿En qué medida la implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología PMO influye en la disponibilidad de la cámara frigorífica 3 de la empresa Procesadora Perú S.A.C.? Problemas específicos • ¿Cuál es el estado actual de la disponibilidad de la cámara frigorífica 3 según los indicadores de mantenimiento en la empresa Procesadora Perú S.A.C.? • ¿Qué estrategias de mantenimiento basadas en la metodología PMO pueden diseñarse para mejorar la disponibilidad de la cámara frigorífica 3 en la empresa Procesadora Perú S.A.C.? • ¿De qué manera la implementación de un plan	Objetivo general: Determinar en qué medida la metodología PMO influye en la disponibilidad de la cámara frigorífica 3 de la empresa Procesadora Perú S.A.C. Objetivos específicos: • Diagnosticar el estado actual de la disponibilidad de la cámara frigorífica 3 mediante indicadores de mantenimiento en la empresa Procesadora Perú S.A.C. • Diseñar estrategias de mantenimiento basadas en la metodología PMO para la cámara frigorífica 3 en la empresa Procesadora Perú S.A.C. • Implementar el plan de mantenimiento optimizado aplicando la	Hipótesis General La implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología PMO influye positivamente en la disponibilidad de la cámara frigorífica 3 de la empresa Procesadora Perú S.A.C. Hipótesis específicas • La disponibilidad actual de la cámara frigorífica 3 en la empresa Procesadora Perú S.A.C. presenta deficiencias detectables mediante indicadores de mantenimiento. • El diseño de estrategias de mantenimiento basadas en la metodología PMO permite establecer acciones efectivas para mejorar la	Plan de mantenimiento basado en la metodología PMO Disponibilidad	• Diagnóstico • Análisis • Planificación • Implementación • Mantenibilidad • Confiabilidad	• Nº de factores de fallas en la Cámara frigorífica 3 • Nº de fallas frecuentes en la Cámara • Nº de fallas críticas en la Cámara frigorífica 3 • Nº de capacitaciones • % de Cumplimiento del Plan de Mantenimiento Preventivo • Tiempo medio de reparación (MTTR) • Tiempo medio entre fallas (MTBF)	Metodología: Científica Alcance de la Investigación: Explicativo Tipo de Investigación: Aplicada Diseño de la Investigación: Pre-Experimental Población: Visitantes. Muestra: 100 Técnicas de Recolección de Datos: Cuestionario

de mantenimiento optimizado, basado en la metodología PMO, impacta en el funcionamiento de la cámara frigorífica 3 en la empresa Procesadora Perú S.A.C.? • ¿Cuál es el nivel de mejora en la disponibilidad de la cámara frigorífica 3 luego de implementar el plan de mantenimiento optimizado en la empresa Procesadora Perú S.A.C.?	metodología PMO en la cámara frigorífica 3 de la empresa Procesadora Perú S.A.C. • Evaluar los resultados de disponibilidad obtenidos tras la implementación del plan de mantenimiento optimizado en la cámara frigorífica 3 de la empresa Procesadora Perú S.A.C.	disponibilidad de la cámara frigorífica 3 en la empresa Procesadora Perú S.A.C. • La implementación de un plan de mantenimiento optimizado basado en la metodología PMO mejora significativamente el desempeño operativo de la cámara frigorífica 3 en la empresa Procesadora Perú S.A.C. • La disponibilidad de la cámara frigorífica 3 mejora de manera significativa tras la implementación del plan de mantenimiento optimizado en la empresa Procesadora Perú S.A.C.				Instrumentos de Recolección de Datos: Cuestionario válido.
--	---	---	--	--	--	---

Anexo 2: Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems / Ítems
Variable independiente: Plan de mantenimiento basado en la metodología PMO	Este enfoque implica la mejora continua de las políticas y procesos de mantenimiento, con el fin de maximizar la eficiencia operativa y minimizar fallos, mediante el empleo de procesos estructurados de diagnóstico, análisis, planificación e implementación para maximizar la eficiencia operativa y reducir el tiempo de inactividad (Chitiva y otros, 2024).	El plan de mantenimiento basado en PMO es un instrumento sistemático esencial para mejorar la eficiencia operativa de la Cámara 3 mediante el diagnóstico y el análisis de las averías de los equipos, lo que facilita la planificación y la ejecución de un plan de mantenimiento que es superior que los programas de mantenimiento tradicionales.	Diagnóstico	- Nº de factores de fallas en la Cámara frigorífica 3 - Nº de fallas frecuentes en la Cámara frigorífica 3	Diagrama de Pareto
					Ordinal
			Análisis	Nº de fallas críticas en la Cámara frigorífica 3	$R = \frac{\# \text{Rep. no programadas}}{\# \text{Rep. Totales}}$
			Planificación	Nº de capacitaciones	Matriz de criticidad
			Implementación	% de Cumplimiento del Plan de Mantenimiento Preventivo	Ordinal
Variable dependiente: Disponibilidad	La disponibilidad de las unidades de refrigeración se refiere al tiempo durante el cual el equipo está en condiciones operativas, sin interrupciones, y listo para su uso. Esta medida es vital para mantener el funcionamiento continuado y la eficiencia de los procedimientos de la empresa. En la práctica, la disponibilidad se cuantifica como la proporción de tiempo que el sistema está preparado para funcionar o producir en sistemas que funcionan de forma continua (Zamora-Medina y otros, 2022).	La disponibilidad sirve como indicador que muestra la probabilidad de que la Cámara 3 sea funcional y/o accesible cuando sea necesario. La disponibilidad depende de la mantenibilidad y la confiabilidad del equipo.	Mantenibilidad	Tiempo medio de reparación (MTTR)	$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de mantenimiento}}{\text{Nº de Reparaciones}}$
			Confiabilidad	Tiempo medio entre fallas (MTBF)	$MTBF = \frac{\text{Tiempo total disponible} - \text{Tiempo inactividad}}{\text{Número de paradas}}$

Anexo 2: Instrumentos aplicados.

Tabla 32. Registro de Fallas y Análisis de Modos de Falla (FMEA).

EVENTO	TAREA	FRECUENCIA	RESPONSABLE	FALLA	MODO DE FALLA

Fuente. *Elaboración propia.*

Tabla 33. Indicadores de Confiabilidad y Disponibilidad (KPIs).

Sem	Fecha Inicio	Fecha Fin	Hrs Disp	Mtto Prev	Hrs Falla	Hrs Trab	Nº FALLAS	MTBF	MTTR	Disp (%)	Disp META(%)

Fuente. *Elaboración propia.*

Tabla 34. Programa Anual de Mantenimiento Preventivo.

		PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO ANUAL - CONGELADO										Código: GOP-PR-MN-00-001			
												Versión: 16			
PERIODO:		2025													
FECHA:		10/01/2025													
MAQUINA:		CAMARA DE CONGELADO 3													
OBSERVACIONES:															
TRABAJOS A REALIZAR		ESPECIALIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
LEYENDA		FRECUENCIA													
E	ELECTRICISTA	X					Mensual								
M	MECANICO	XX					Quinsenal								
MF	MECANICO FRIGORISTA	XXXX					Semanal								

OBSERVACIONES: _____
