

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCION-REY BALDUBUINO DE BELGICA**

**IMPLEMENTAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL
SEPARADOR DE ACEITE CENTRÍFUGO DEL MOTOR PRINCIPAL DE
UN BARCO INDUSTRIAL**

Trabajo de Titulación para optar al Título
profesional de INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL CON LICENCIATURA EN INGENIERÍA

Alumno:

Sebastian Osvaldo Matamala Valdebenito

Profesor Guía:

Juan Jose Figueroa Cohn

2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Implementar un plan de mantenimiento para el separador de aceite Centrifugo del motor principal de un barco industrial.

Nombre del candidato(a): Sebastián Osvaldo Matamala Valdebenito

Carrera / Grado: Ingeniería en mantención Industrial.

Campus: Concepción Departamento: Mecánica.

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Juan Jose Figueroa, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (marcar una opción):

6 meses 12 meses 2 años 3 años 5 años 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 12-01-2026

Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 12-01-2026

Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por brindarme la fortaleza, la perseverancia y la guía necesarias para enfrentar los desafíos presentes a lo largo de este proceso académico.

Asimismo, dedico este trabajo a mi familia, por su apoyo constante, comprensión y motivación incondicional, los cuales han sido fundamentales para alcanzar este logro personal y profesional

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por acompañarme en cada etapa de este proceso, otorgándome la claridad y la constancia necesarias para culminar este trabajo. De manera especial, expreso mi agradecimiento a mi tío Moises Milla Milla , por el apoyo, orientación y experiencia compartida, los cuales fueron de gran ayuda para el desarrollo de este proyecto.

Asimismo, agradezco a los profesores que fueron parte de mi proceso académico, por los conocimientos entregados y por su disposición para orientar mi formación profesional. Finalmente, agradezco a mi familia por su respaldo permanente, confianza y paciencia durante todo el periodo de formación académica.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo diseñar un plan de mantenimiento preventivo para el separador de aceite del motor principal de una embarcación pesquera industrial, considerando las condiciones reales de operación del equipo. La metodología empleada incluyó el diagnóstico del estado actual del separador, la identificación de los principales modos de falla mediante la aplicación de la herramienta AMEF y la priorización de riesgos a través de una matriz de criticidad. A partir de este análisis se elaboró una propuesta de mantenimiento que define actividades, frecuencias y responsables de ejecución. Los resultados obtenidos demuestran que la implementación del plan propuesto permite mejorar la confiabilidad del equipo, reducir la ocurrencia de fallas severas y optimizar los costos asociados al mantenimiento. La relevancia de este estudio radica en su aplicabilidad a otras embarcaciones industriales con características similares, contribuyendo a una gestión más eficiente del mantenimiento naval.

Palabras Clave—Separador de aceite; mantenimiento preventivo; AMEF; confiabilidad; lubricación.

ABSTRACT

The objective of this work was to design a preventive maintenance plan for the main engine oil separator of an industrial fishing vessel, considering the real operating conditions of the equipment. The methodology included the diagnosis of the current condition of the separator, the identification of the main failure modes through the application of the FMEA tool, and the prioritization of risks using a criticality matrix. Based on this analysis, a maintenance proposal was developed defining activities, frequencies, and responsible personnel. The results show that the proposed plan improves equipment reliability, reduces the occurrence of severe failures, and optimizes maintenance costs. The relevance of this study lies in its applicability to other industrial vessels with similar characteristics, contributing to a more efficient management of marine maintenance.

Keywords— Oil separator; preventive maintenance; FMEA; reliability; lubrication.

GLOSARIO

AMEF: Análisis de Modos y Efectos de Falla.

Disponibilidad: Porcentaje de tiempo en que un equipo se encuentra operativo.

FMEA: Failure Modes and Effects Analysis.

Mantenimiento correctivo: Acciones realizadas después de ocurrida una falla.

Mantenimiento preventivo: Conjunto de actividades planificadas destinadas a prevenir fallas.

Matriz de criticidad: Herramienta utilizada para priorizar fallas según su impacto.

Separador de aceite: Equipo centrífugo encargado de eliminar agua e impurezas del lubricante.

Tambor: Elemento rotativo del separador donde se realiza el proceso de separación.

Tamiz previo: Filtro inicial que retiene partículas sólidas antes del ingreso del aceite al separador.

Confiabilidad: Probabilidad de que un equipo cumpla su función sin fallar durante un periodo determinado

Contenido

RESUMEN.....	4
ABSTRACT	4
INDICE DE FIGURAS	9
INDICE DE TABLAS.....	10
INTRODUCCIÓN	11
OBJETIVOS GENERALES	12
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	12
CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	13
1.1 CONTEXTO DE LA INDUSTRIA MARÍTIMA PESQUERA Y LA IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO EN MOTORES PRINCIPALES.....	13
1.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA EN EL BARCO INDUSTRIAL DE LUBRICACIÓN Y ROL DEL SEPARADOR DE ACEITE.....	15
1.3 SITUACION ACTUAL ANALIZADA.....	16
1.4 PROBLEMAS DETECTADOS EN EL MANTENIMIENTO DEL SEPARADOR DE ACEITE	17
1.4.1 ERROR OPERACIONAL: ARRANQUE DEL SEPARADOR CON FRENOS ACTIVADOS	17
1.4.2 FRECUENCIAS DE MANTENIMIENTO INCORRECTAS O INAPLICADAS	17
1.4.3 LIMPIEZA DEFICIENTE DEL BOWL Y LOS DISCOS SEPARADORES	18
1.4.4 USO DE REPUESTOS NO ORIGINALES O EN MAL ESTADO.....	18
1.5 CONSECUENCIAS DE NO IMPLEMENTAR MEJORAS (FALLAS, COSTOS, RIESGOS).	18
1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES DE ESTUDIO.....	19
CAPÍTULO 2: MARCO TEORICO	20
2.1 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR PRINCIPAL Y SU SISTEMA DE LUBRICACION	20
2.1.1 FUNCIONAMIENTO GENERAL DEL MOTOR PRINCIPAL MARINO.....	20
2.1.2 IMPORTANCIA DEL SISTEMA DE LUBRICACION EN MOTORES MARINOS	21
2.1.3 COMPONENTES PRINCIPALES DEL SISTEMA DE LUBRICACION	21
2.1.4 FUNCIONAMIENTO DEL SEPARADOR DE ACEITE DENTRO DEL SISTEMA	22
2.1.5 TIPOS DE SISTEMA DE LUBRICACION EN MOTORES MARINOS	23

2.1.6 FACTORES QUE AFECTAN LA LUBRICACION EN LA INDUSTRIA PESQUERA	23
2.2 OPERACIÓN Y TIPOS DE SEPARADORES DE ACEITE CENTRIFUGOS	23
2.3 IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO EN SISTEMAS MARÍTIMOS.	24
2.3.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO	25
2.3.2 MANTENIMIENTO PREDICTIVO	25
2.4 TÉCNICAS Y METODOLOGÍAS DE MANTENIMIENTO (RCM, AMEF, TPM).	26
2.4.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)	26
2.4.2 ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF / FMEA)	26
2.4.3 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)	27
2.5 INDICADORES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	28
2.5.1 MTBF (MEAN TIME BETWEEN FAILURES)	28
2.5.2 MTTR (MEAN TIME TO REPAIR)	28
2.5.3 DISPONIBILIDAD OPERACIONAL	29
2.5.4 CONFIABILIDAD	29
2.6 NORMATIVAS Y ESTÁNDARES APLICABLES	30
2.6.1 RECOMENDACIONES DEL FABRICANTE	30
2.6.2 NORMAS MARPOL (CONVENIO INTERNACIONAL PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN POR BUQUES)	30
2.6.3 NORMAS ISO RELACIONADAS CON MANTENIMIENTO	31
2.6.4 NORMATIVA MARÍTIMA CHILENA	31
CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE MEJORA	32
3.1 DIAGNÓSTICO DEL SEPARADOR DE ACEITE	32
3.2 ANÁLISIS DE FALLAS RECURRENTES Y MODOS DE FALLA	33
3.2.1 CRITERIOS DE EVALUACIÓN	33
3.2.2 ANALISIS AMEF Y MATRIZ DE CRITICIDAD	34
3.3 PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PROPUESTO PARA EL SEPARADOR DE ACEITE	36
3.3.1 OBJETIVO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO	36

3.3.2 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO ADOPTADA.....	36
3.3.3 PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PROPUESTO	37
3.3.4 JUSTIFICACION TECNICA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO	38
3.3.5 ALCANCE Y APLICABILIDAD DEL PLAN	39
3.3.6 CHECKLISTS Y FORMULARIOS DE MANTENIMIENTO.....	39
3.3.7 ROLES Y RESPONSABILIDADES	41
3.4 SÍNTESIS DEL DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE MANTENIMIENTO	42
CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA Y ANÁLISIS ECONÓMICO	43
4.1 COMPARACIÓN ENTRE EL PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL Y EL PLAN PROPUESTO	43
4.2 EVALUACIÓN TÉCNICA	44
4.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	45
4.3.1 COSTOS ASOCIADOS AL PLAN DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL	45
4.3.2 COSTOS ASOCIADOS AL PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO	46
4.4 SÍNTESIS DE LA EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA	48
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES	49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: FOTOGRAFÍA BARCO INDUSTRIAL PESQUERO. FUENTE: ELABORACION PROPIA.	13
FIGURA 2: FOTOGRAFÍA SEPARADOR CENTRIFUGO EN TERRENO	14
FIGURA 3: CIRCUITO DE LUBRICACIÓN EN UN MOTOR DE BARCO	15
FIGURA 1: DEPÓSITOS DE LODOS Y RESIDUOS CONTAMINANTES EN EL BOWL DEL SEPARADOR CENTRÍFUGO ..	17
FIGURA 5: SECCION TRANSVERSAL DEL SEPARADOR CENTRIFUGO	22
FIGURA 6: DIAGRAMA CONCEPTUAL DEL PROCESO AMEF.	27
FIGURA 7: PILARES DEL TPM.	27

INDICE DE TABLAS

TABLA 1:ANALISIS AMEF Y MATRIZ DE CRITICIDAD DEL SEPARADOR DE ACEITE FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	34
TABLA 2:CLASIFICACIÓN NIVEL DE RIESGO FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	35
TABLA 3: PLAN DE MANTENIMIENTO ESTRUCTURADO FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	37
TABLA 4: CHECKLIST PREVIO AL ARRANQUE FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	39
TABLA 5: CHECKLIST DURANTE LA OPERACIÓN FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	40
TABLA 6: CHECKLIST POST- OPERACIÓN FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	40
TABLA 7: ROLES Y RESPONSABILIDADES FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	41
TABLA 8: COMPARACIÓN ENTRE PLAN ACTUAL Y PLAN PROPUESTO FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	43
TABLA 9: COSTOS ESTIMADOS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL (CORRECTIVO) FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	45
TABLA 10: COSTOS ESTIMADOS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO PREVENTIVO FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	46
TABLA 11: COMPARACIÓN COSTOS ANUAL PLAN ACTUAL Y PLAN PROPUESTO FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	47

INTRODUCCIÓN

La operación continua de las embarcaciones pesqueras industriales exige altos niveles de confiabilidad en los sistemas mecánicos que permiten el funcionamiento del motor principal. Dentro de estos sistemas, la lubricación ocupa un rol fundamental, y el separador de aceite centrífugo constituye un componente crítico para asegurar que el aceite mantenga sus condiciones adecuadas de pureza y desempeño. La importancia de este equipo radica en su capacidad para eliminar agua e impurezas, evitando el desgaste prematuro de componentes del motor y reduciendo el riesgo de fallas durante la navegación.

En la embarcación analizada se han identificado deficiencias en la ejecución y gestión del mantenimiento del separador de aceite, tales como prácticas no estandarizadas, intervenciones realizadas sin procedimientos formales y ausencia de un plan de mantenimiento acorde a las condiciones reales de operación. La naturaleza del problema se relaciona, por tanto, con la falta de una metodología estructurada que permita prevenir fallas recurrentes y garantizar la continuidad operacional del sistema de lubricación. El alcance de este estudio abarca el diagnóstico del estado actual del equipo, la identificación de sus principales modos de falla y la elaboración de un plan de mantenimiento adaptado a su contexto operativo.

La propuesta de solución consiste en el diseño de un plan de mantenimiento preventivo y predictivo sustentado en herramientas de análisis, que permita priorizar fallas según su criticidad y establecer tareas, frecuencias y responsables de ejecución. La metodología utilizada para desarrollar esta memoria incluye la recopilación de información técnica, el levantamiento de antecedentes en terreno, el análisis del funcionamiento del sistema y la construcción de protocolos ajustados a la realidad del barco.

OBJETIVOS GENERALES

Implementar un plan de mantenimiento a un separador de aceite centrífugo en la línea de lubricación del motor principal de un barco industrial, con el propósito de mejorar la confiabilidad del sistema y reducir la ocurrencia de fallas operacionales.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar las condiciones actuales de operación y las prácticas de mantenimiento existentes del separador de aceite en el sistema de lubricación del motor principal.
- Identificar los principales modos de falla del separador de aceite y evaluar su nivel de criticidad mediante la aplicación de un análisis AMEF y una matriz de criticidad, en condiciones reales de operación en barcos industriales.
- Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo y predictivo, estableciendo frecuencias, tareas específicas, responsables y recursos necesarios según la realidad operativa del equipo.
- Proponer indicadores de gestión de mantenimiento que permitan evaluar el desempeño del plan implementado y su impacto en la continuidad operacional del motor principal.

CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 CONTEXTO DE LA INDUSTRIA MARÍTIMA PESQUERA Y LA IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO EN MOTORES PRINCIPALES.

La industria marítima pesquera representa uno de los sectores más relevantes dentro de la economía chilena, tanto por su aporte en exportaciones como por su capacidad de generar empleo en zonas costeras. Chile posee una de las mayores zonas económicas exclusivas del mundo y una flota pesquera industrial altamente activa, dedicada a la captura de especies como jurel, anchoveta y sardina, las cuales son trasladadas hacia plantas procesadoras para su transformación en harina y aceite de pescado o productos destinados al consumo humano. Los barcos pesqueros industriales operan de manera continua durante las temporadas de pesca, permaneciendo en faena por varios días o incluso semanas. Esto exige un alto nivel de confiabilidad de todos los sistemas mecánicos a bordo, especialmente del motor principal, encargado de la propulsión del buque y de mantener operativos los sistemas auxiliares, como los de refrigeración, combustible y lubricación.



Figura 1: fotografía Barco Industrial Pesquero.
Fuente: Elaboracion propia.

IMPLEMENTAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL SEPARADOR DE ACEITE CENTRÍFUGO DEL MOTOR PRINCIPAL

Dentro de este último sistema, el separador de aceite centrífugo cumple una función esencial: mantener el aceite lubricante libre de impurezas, agua y partículas metálicas. Esto evita el desgaste prematuro de cojinetes, ejes y superficies internas del motor, permitiendo una operación segura y eficiente durante largas jornadas de trabajo en condiciones marítimas adversas.

El mantenimiento adecuado de este equipo es fundamental para evitar fallas que puedan comprometer la operación del buque, afectar la captura de recursos y generar pérdidas económicas significativas para la empresa pesquera. Por ello, un plan de mantenimiento adaptado a las condiciones reales de operación se vuelve indispensable para asegurar la continuidad del servicio y el cumplimiento de las normas ambientales y de seguridad marítima vigentes.



Figura 2: fotografía separador centrífugo en terreno
Fuente: elaboración Propia

1.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA EN EL BARCO INDUSTRIAL DE LUBRICACIÓN Y ROL DEL SEPARADOR DE ACEITE.

El sistema de lubricación del motor principal de un barco pesquero industrial se encarga de suministrar aceite limpio y a presión a todos los componentes móviles del motor, reduciendo la fricción, disipando el calor y evitando el desgaste mecánico.

Durante la operación continua, el aceite se contamina por partículas metálicas, residuos de combustión, hollín, agua y otros contaminantes propios del ambiente marino.

Para garantizar la limpieza del aceite, este pasa a través de un separador centrífugo, un equipo que utiliza la fuerza centrífuga para eliminar sólidos y agua del aceite lubricante. El separador consta de un tambor giratorio o "bowl" que, rota a altas velocidades, generando una fuerza que separa las fases según su densidad: los sólidos se acumulan en la periferia del tambor, el agua se separa y es expulsada, mientras que el aceite limpio retorna al sistema de lubricación.

Este proceso permite prolongar la vida útil del aceite, reducir el consumo de repuestos, evitar sobrecalentamientos y mantener la eficiencia operativa del motor principal. Sin embargo, el funcionamiento óptimo del separador depende directamente de la correcta ejecución de su mantenimiento preventivo, la calibración de sensores, la limpieza de discos internos y la inspección de sus válvulas y sellos.

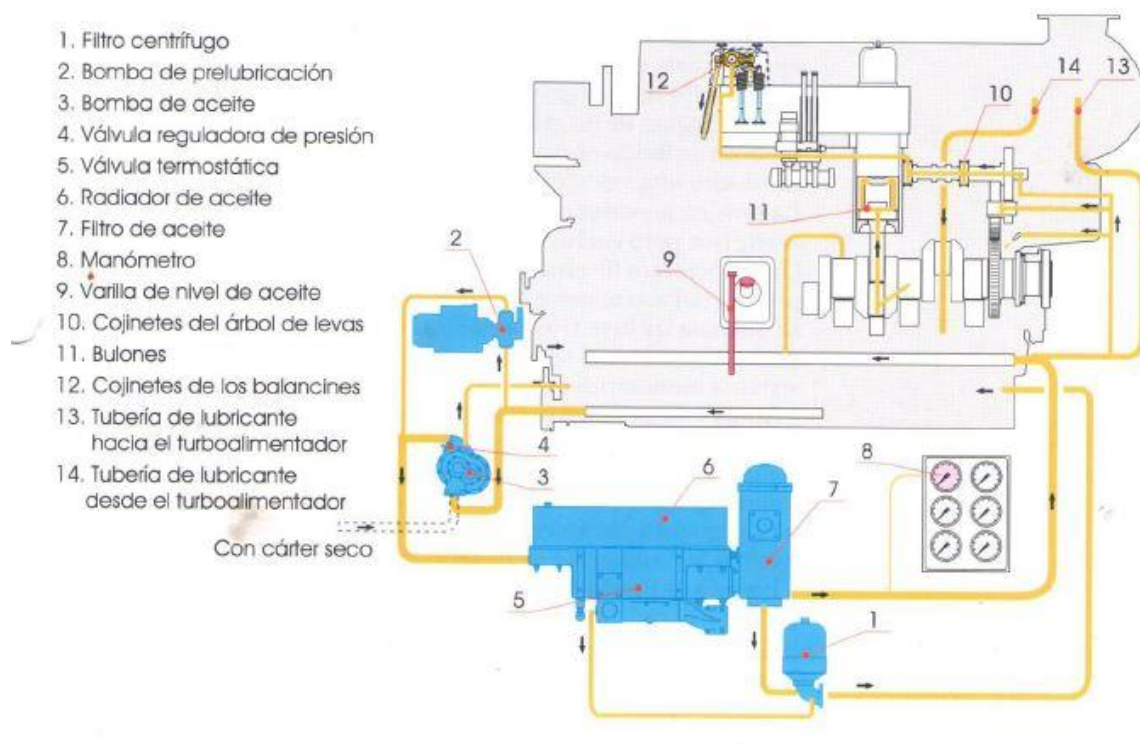


Figura 3: Circuito de lubricación en un motor de barco

Fuente: Ingeniero Marino

1.3 SITUACION ACTUAL ANALIZADA

La embarcación industrial evaluada forma parte de una flota pesquera que opera de manera continua durante las temporadas de captura, sometida a condiciones ambientales y operativas altamente exigentes, como humedad salina, variaciones térmicas, vibraciones constantes y largas jornadas de funcionamiento del motor principal. En este contexto, el separador de aceite centrífugo cumple un rol fundamental para mantener la calidad del lubricante, sin embargo, la situación actual revela importantes deficiencias en su gestión y mantenimiento.

Actualmente, el mantenimiento del separador se realiza mayoritariamente de forma correctiva y sin una planificación estructurada. Las intervenciones dependen de la experiencia del personal a bordo, lo que genera inconsistencias en las tareas realizadas y falta de trazabilidad en los registros de mantenimiento. Estas prácticas han derivado en problemas recurrentes tales como acumulación excesiva de lodos en el bowl, presencia de agua en el aceite lubricante, desgaste prematuro de sellos, variaciones en la presión del sistema de lubricación y episodios de vibración anormal del equipo.

A esto se suma la ausencia de procedimientos estandarizados para desmontaje, limpieza, armado y puesta en marcha, lo que ha ocasionado errores operativos que afectan directamente la eficiencia del separador. Además, las frecuencias de mantenimiento utilizadas no corresponden a las condiciones reales de operación del barco, que trabaja bajo regímenes de alta carga y pocas detenciones, provocando que el equipo opere en rangos cercanos a su límite de diseño sin una supervisión adecuada.

En conjunto, el análisis evidencia la necesidad urgente de implementar un plan de mantenimiento preventivo y predictivo adaptado a las condiciones reales de operación, con procedimientos claros, control de parámetros, capacitación del personal y uso de repuestos certificados, para garantizar la continuidad operativa y reducir el riesgo de fallas críticas.



Figura 4: Depósitos de lodos y residuos contaminantes en el bowl del separador centrífugo
Fuente: elaboración Propia

1.4 PROBLEMAS DETECTADOS EN EL MANTENIMIENTO DEL SEPARADOR DE ACEITE

1.4.1 ERROR OPERACIONAL: ARRANQUE DEL SEPARADOR CON FRENOS ACTIVADOS

Se identificó que uno de los errores operacionales más recurrentes corresponde al arranque del separador con los frenos del tambor aún activados. Esta mala práctica provoca que el equipo no alcance su velocidad nominal, sobrecargando el motor eléctrico y generando un aumento de temperatura por fricción interna. Como consecuencia, se produce un desgaste acelerado de rodamientos, acoplamientos y superficies del tambor, además de generar vibraciones que pueden comprometer la estabilidad del equipo. Esta situación se debe principalmente a la ausencia de un protocolo formal de verificación previa al arranque y a una falta de capacitación estandarizada para los operadores.

1.4.2 FRECUENCIAS DE MANTENIMIENTO INCORRECTAS O INAPLICADAS

Se evidenció que las tareas de mantenimiento del separador no se realizan siguiendo intervalos definidos, sino que dependen de la disponibilidad del personal o de la experiencia previa, lo que genera grandes variaciones en los tiempos de intervención. Esta falta de control provoca acumulación excesiva de lodos, reducción de la eficiencia de separación, mayor presencia de agua en el aceite lubricante y desgaste prematuro de componentes internos. La inexistencia de un programa formal, adaptado a las condiciones reales del barco, demuestra la necesidad de un plan de mantenimiento preventivo basado en horas efectivas de operación y en la condición real del aceite tratado.

1.4.3 LIMPIEZA DEFICIENTE DEL BOWL Y LOS DISCOS SEPARADORES

Se detectó que la limpieza interna del tambor y de los discos separadores se realiza sin un procedimiento estandarizado, lo que ha ocasionado errores como el montaje incorrecto de discos, la permanencia de residuos adheridos y pérdidas de balance dinámico del rotor. Estas prácticas generan vibraciones excesivas, disminuyen la eficiencia del proceso y aumentan el riesgo de daño estructural del tambor. La falta de lineamientos claros y la ausencia de herramientas adecuadas influyen directamente en la calidad de estas intervenciones.

1.4.4 USO DE REPUESTOS NO ORIGINALES O EN MAL ESTADO

En algunos casos se han utilizado repuestos no originales, de baja calidad debido a limitaciones de presupuesto o disponibilidad. El uso de sellos, juntas, rodamientos o discos no certificados compromete la hermeticidad del tambor, reduce la eficiencia de separación y genera vibraciones que aceleran el deterioro del equipo.

1.5 CONSECUENCIAS DE NO IMPLEMENTAR MEJORAS (FALLAS, COSTOS, RIESGOS).

La falta de implementación de mejoras en el mantenimiento del separador de aceite del motor principal genera una serie de consecuencias operacionales, económicas y de seguridad que afectan directamente la disponibilidad del barco pesquero industrial. En primer lugar, la ausencia de un programa de mantenimiento adecuado incrementa la probabilidad de fallas críticas en el separador, como desgaste acelerado del bowl, obstrucción por lodos, desbalance del rotor y pérdida de capacidad de separación, lo que deriva en un aumento del contenido de agua y partículas metálicas en el aceite lubricante. Esta contaminación afecta el rendimiento del motor principal, provocando desgaste en cojinetes, pérdida de presión de aceite, incremento de la temperatura interna y posibilidad de fallas severas como gripado de componentes. Desde el punto de vista económico, la falta de mejoras implica mayores costos por consumo de aceite lubricante, intervenciones correctivas no programadas, reemplazo prematuro de piezas, tiempos muertos en faena y disminución del rendimiento global del barco. Operar con equipos sin mantenimiento adecuado también incrementa el riesgo de emergencias a bordo, como incendios por sobrecalentamiento, fugas de aceite, vibraciones excesivas y posibles daños al sistema eléctrico del separador. Finalmente, las fallas repetitivas pueden generar incumplimiento de normativas marítimas, afectar la seguridad de la tripulación y comprometer la continuidad operativa de la embarcación durante la temporada pesquera. En conjunto, estas consecuencias demuestran que no implementar mejoras no solo aumenta los costos y fallas técnicas, sino que también pone en riesgo la operación completa del barco.

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES DE ESTUDIO

El presente estudio tiene como alcance principal el análisis del estado actual del separador de aceite utilizado en la línea de lubricación del motor principal y la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo aplicable no solo al barco pesquero industrial evaluado, sino también a otras embarcaciones de características similares, considerando que la mayoría de la flota utiliza este mismo tipo de equipo para la purificación de aceite lubricante. La propuesta generada busca estandarizar las actividades de mantenimiento, mejorar la confiabilidad del separador y establecer procedimientos claros que puedan implementarse en distintos barcos, independientemente del modelo específico del separador o del fabricante. No obstante, el estudio presenta ciertas limitaciones relacionadas con el alcance técnico disponible durante el levantamiento de información. En particular, no se realizaron análisis de laboratorio del aceite lubricante ni mediciones vibracionales del rotor del separador debido a que la embarcación no cuenta con los instrumentos necesarios para ejecutar dichas pruebas, por lo que el diagnóstico se basa únicamente en observación directa, historial de fallas entregado por la tripulación y la experiencia del personal de máquinas. Asimismo, el proyecto no incluye una evaluación de costos detallada para la implementación del plan en toda la flota, por tratarse de un estudio centrado en el diseño técnico del mantenimiento y no en aspectos presupuestarios globales. A pesar de estas limitaciones, el análisis realizado permite desarrollar un plan de mantenimiento robusto, realista y replicable en otros barcos pesqueros que utilicen un separador de aceite con funciones y principios de operación similares.

CAPÍTULO 2: MARCO TEORICO

2.1 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR PRINCIPAL Y SU SISTEMA DE LUBRICACION

El motor principal de un barco pesquero industrial constituye el corazón de la propulsión de la embarcación y, por lo tanto, uno de los sistemas más críticos en términos de confiabilidad, eficiencia energética y seguridad operacional. En la mayoría de los buques pesqueros industriales chilenos, se utilizan motores diésel de combustión interna de gran potencia, los cuales convierten la energía térmica del combustible en energía mecánica que se transmite al eje propulsor y posteriormente a la hélice.

Estos motores deben operar de manera continua durante extensas jornadas de navegación y faena, bajo condiciones ambientales exigentes, como variaciones de carga, humedad, vibraciones y altas temperaturas en sala de máquinas. Debido a estas exigencias, el sistema de lubricación se vuelve un componente esencial para el correcto funcionamiento y durabilidad del motor, ya que reduce la fricción entre las piezas móviles, evita el desgaste, ayuda a disipar el calor y contribuye a la limpieza interna del motor.

2.1.1 FUNCIONAMIENTO GENERAL DEL MOTOR PRINCIPAL MARINO

El motor diésel marino está compuesto principalmente por un bloque motor, pistones, cigüeñal, válvulas, sistema de inyección, refrigeración y lubricación. El principio básico de funcionamiento se basa en el **ciclo de combustión interna**, donde el aire se comprime dentro del cilindro, se inyecta combustible diésel, y al producirse la combustión, la expansión de los gases impulsa el pistón hacia abajo. El movimiento lineal del pistón se transforma en movimiento rotatorio del cigüeñal, que posteriormente se transmite al eje propulsor del barco.

La eficiencia del motor depende de la correcta **lubricación** de los componentes en movimiento, especialmente cojinetes, bielas, muñones, pistones y válvulas. Si el aceite no circula adecuadamente o se encuentra contaminado, se produce fricción excesiva, desgaste acelerado, aumento de la temperatura y, en casos extremos, **gripado o daño severo del motor**.

2.1.2 IMPORTANCIA DEL SISTEMA DE LUBRICACION EN MOTORES MARINOS

El sistema de lubricación tiene como finalidad crear una película de aceite entre las superficies metálicas en contacto, reduciendo la fricción y el desgaste. Además, cumple funciones secundarias pero igualmente vitales:

- **Enfriamiento:** absorbe parte del calor generado por la combustión y lo disipa al pasar por el cárter o intercambiadores de calor.
- **Limpieza:** arrastra partículas de hollín, restos metálicos y productos de combustión hacia los filtros o separadores.
- **Sellado:** contribuye a la estanqueidad entre los aros del pistón y la pared del cilindro, mejorando la compresión.
- **Protección anticorrosiva:** crea una película que protege las superficies metálicas del contacto directo con el aire, la humedad o los gases ácidos.

Debido a estas funciones múltiples, el sistema de lubricación se considera un **sistema vital** en la propulsión del barco y en la disponibilidad operacional de la flota pesquera.

2.1.3 COMPONENTES PRINCIPALES DEL SISTEMA DE LUBRICACION

Un sistema de lubricación típico de un motor principal marino se compone de los siguientes elementos:

1. **Cárter o tanque de aceite:** depósito donde se almacena el aceite lubricante.
2. **Bomba de aceite:** impulsa el aceite a través del circuito bajo presión constante.
3. **Filtros de aceite:** retienen partículas sólidas y contaminantes gruesos.
4. **Enfriadores o intercambiadores de calor:** regulan la temperatura del aceite antes de recircularlo.
5. **Separador de aceite centrífugo:** elimina agua y partículas finas por diferencia de densidad.
6. **Válvulas de alivio y control de presión:** mantienen el flujo y evitan sobrepresiones.
7. **Conductos y galerías internas:** distribuyen el aceite a los puntos críticos del motor.
8. **Sensores de presión y temperatura:** monitorean el estado del circuito.

El aceite circula desde el cárter a la bomba, pasa por los filtros, atraviesa el intercambiador de calor, llega a los puntos de lubricación del motor y luego regresa al tanque. Parte del aceite es derivada hacia el **separador centrífugo**, donde se purifica antes de ser reutilizada.

2.1.4 FUNCIONAMIENTO DEL SEPARADOR DE ACEITE DENTRO DEL SISTEMA

El **separador centrífugo** es un equipo auxiliar fundamental para mantener las propiedades físico-químicas del aceite lubricante. Su principio de operación se basa en la **fuerza centrífuga**, que separa las partículas sólidas y el agua del aceite en función de su densidad.

Cuando el aceite contaminado ingresa al separador, este pasa a través de un **tambor giratorio (bowl)** que puede alcanzar velocidades de rotación entre 6.000 y 10.000 rpm. La fuerza centrífuga generada (equivalente a varios miles de veces la gravedad terrestre) hace que las partículas más densas —como residuos metálicos, carbonilla y agua— se desplacen hacia la periferia del tambor, mientras que el aceite limpio se dirige hacia el centro y es extraído para su recirculación al motor.

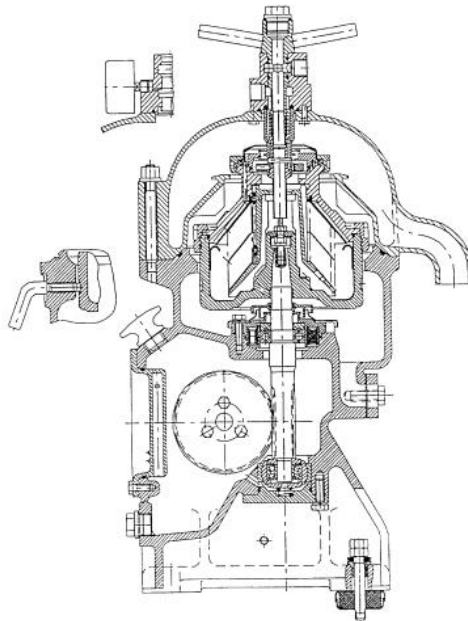


Figura 5: Sección Transversal del separador centrifugo
Fuente: Manual del fabricante Westfalia Separator AG

2.1.5 TIPOS DE SISTEMA DE LUBRICACION EN MOTORES MARINOS

En los motores principales marinos existen dos tipos principales de sistemas de lubricación:

- **Sistema de cárter húmedo:** el aceite se almacena directamente en el cárter y se bombea desde allí al motor. Es común en motores medianos o auxiliares.
- **Sistema de cárter seco:** el aceite se almacena en un tanque separado y se recircula mediante bombas de alimentación y retorno. Este sistema se usa en **motores grandes de barcos pesqueros industriales**, ya que permite una mejor regulación térmica y facilita el mantenimiento del aceite mediante el separador centrífugo.

En ambos casos, el control de la calidad del aceite es fundamental, y se recomienda que la **concentración de agua no supere el 0,5%** y que la **presión de aceite** se mantenga dentro de los límites especificados por el fabricante

2.1.6 FACTORES QUE AFECTAN LA LUBRICACION EN LA INDUSTRIA PESQUERA

Los barcos pesqueros industriales operan en condiciones ambientales extremas: cambios de temperatura, salinidad del aire, vibraciones constantes y largos períodos de operación continua. Estos factores pueden alterar la eficiencia del sistema de lubricación. Entre los más relevantes destacan:

- **Altas temperaturas en sala de máquinas**, que aceleran la oxidación del aceite.
- **Humedad y condensación**, que incrementan la presencia de agua en el sistema.
- **Vibraciones excesivas**, que pueden provocar microfugas en válvulas o uniones.
- **Contaminación cruzada**, producto del contacto con agua de sentina o de refrigeración.
- **Falta de mantenimiento preventivo**, que conlleva acumulación de residuos en el separador y pérdida de eficiencia.

Estos factores explican la importancia de contar con un **plan de mantenimiento adaptado a las condiciones reales de operación**, que considere la frecuencia de uso del motor, las horas de faena, el tipo de aceite y las condiciones ambientales del mar.

2.2 OPERACIÓN Y TIPOS DE SEPARADORES DE ACEITE CENTRIFUGOS

Los separadores de aceite son equipos fundamentales dentro del sistema de lubricación del motor principal en embarcaciones pesqueras industriales, ya que permiten mantener la

calidad del aceite mediante la eliminación continua de agua, sedimentos y partículas metálicas. Su función es esencial para garantizar la confiabilidad del motor, evitar desgaste prematuro de componentes y mantener parámetros adecuados de presión, viscosidad y limpieza del lubricante. El principio de funcionamiento de estos equipos se basa en la fuerza centrífuga, donde un tambor rotatorio (bowl) gira a gran velocidad y genera un campo de fuerza capaz de separar componentes de diferentes densidades. El aceite contaminado ingresa al tambor, y debido a la rotación, las partículas más densas se desplazan hacia la periferia, mientras que el aceite limpio se concentra en la parte central y es descargado nuevamente hacia el sistema de lubricación.

En la industria marítima existen distintos tipos de separadores utilizados según la necesidad de operación, siendo los más comunes los separadores tipo purificador y los clarificadores. El modo purificador se utiliza cuando el aceite contiene agua y sólidos, mientras que el modo clarificador se emplea principalmente cuando la contaminación corresponde solo a partículas sólidas. Ambos sistemas utilizan pilas de discos internos que aumentan la superficie de separación, mejoran el flujo y permiten una limpieza eficiente del lubricante. Además, los separadores pueden configurarse para operar en paralelo o alternancia, dependiendo de la demanda de la sala de máquinas y de la carga térmica del motor principal.

En cuanto a su diseño, tradicionalmente se han utilizado separadores manuales, que requieren detener el equipo para desmontar el tambor, extraer los discos y retirar manualmente los lodos acumulados. Este tipo de separador requiere un alto nivel de habilidad del operador y un mantenimiento más frecuente, ya que su eficiencia depende de una limpieza interna adecuada y periódica. Sin embargo, en flotas industriales modernas se han implementado con mayor frecuencia los separadores automáticos o auto-limpiantes, los cuales realizan ciclos de limpieza interna sin necesidad de desmontaje del bowl. Estos equipos funcionan con un sistema hidráulico o de agua de cierre que permite abrir brevemente el tambor y expulsar los lodos hacia un tanque de residuos. Los ciclos de descarga pueden programarse por tiempo, presión o condiciones del aceite, lo que permite mantener un funcionamiento continuo incluso durante largas jornadas de faena pesquera.

2.3 IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO EN SISTEMAS MARÍTIMOS.

El mantenimiento preventivo y predictivo constituye una estrategia fundamental para asegurar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos críticos en embarcaciones

marítimas, especialmente en sistemas como motores principales, separadores de aceite, bombas de combustible, generadores y maquinaria auxiliar. Ambos enfoques permiten anticipar fallas, reducir riesgos operativos y mantener la continuidad del funcionamiento durante las faenas pesqueras, donde las detenciones no programadas pueden generar pérdidas económicas significativas y comprometer la seguridad de la tripulación.

La importancia del mantenimiento preventivo y predictivo en sistemas marítimos radica principalmente en que estos equipos operan en condiciones de trabajo severas, expuestos a altas cargas térmicas, presencia de agua salina, vibraciones y periodos prolongados de operación continua. La falla de un solo componente puede afectar negativamente el funcionamiento general del barco, disminuir la seguridad operativa o incluso ocasionar emergencias a bordo. En sistemas como el separador de aceite, la aplicación de mantenimiento preventivo garantiza que el aceite lubricante mantenga sus propiedades óptimas, evitando daños en el motor principal y reduciendo la probabilidad de fallas críticas durante la navegación. Asimismo, las prácticas predictivas permiten identificar tempranamente anomalías en parámetros como presión, caudal o eficiencia del separador, facilitando la toma de decisiones informadas y asegurando una operación confiable.

2.3.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo se define como el conjunto de actividades programadas que se realizan de manera anticipada con el objetivo de evitar fallas, basándose en intervalos de tiempo, horas de operación o recomendaciones del fabricante. Incluye tareas como limpieza, lubricación, ajuste de parámetros, reemplazo de partes desgastadas y verificaciones funcionales periódicas. Este tipo de mantenimiento actúa antes de que el equipo presente un problema evidente, lo que permite mantener un nivel adecuado de desempeño, asegurar un funcionamiento estable y prolongar la vida útil de los componentes. En el contexto marítimo, el mantenimiento preventivo es esencial debido a que los equipos operan en ambientes hostiles, con alta humedad, vibración constante, cambios de carga y acceso limitado a repuestos durante la navegación.

2.3.2 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Por su parte, el mantenimiento predictivo se basa en la evaluación del estado real de un equipo mediante técnicas de monitoreo y análisis de condición. Esto incluye la revisión de parámetros operativos como temperatura, presión, vibración, consumo energético o análisis del lubricante, con el fin de identificar tendencias y detectar fallas incipientes antes

de que se conviertan en problemas graves. Aunque este proyecto no contempla la realización de análisis de aceite ni mediciones vibracionales, el concepto sigue siendo fundamental, ya que representa un método moderno de gestión de mantenimiento que permite tomar decisiones basadas en evidencia técnica. El mantenimiento predictivo evita intervenciones innecesarias, optimiza los recursos disponibles y aumenta la confiabilidad de los equipos al intervenir únicamente cuando el estado real lo amerita.

2.4 TÉCNICAS Y METODOLOGÍAS DE MANTENIMIENTO (RCM, AMEF, TPM).

2.4.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) es una metodología utilizada para definir las tareas de mantenimiento más adecuadas según las funciones reales que debe cumplir un equipo. Su enfoque se basa en identificar las funciones principales de un sistema, los modos de falla que pueden afectarlo y las consecuencias que dichos fallos tendrían sobre la operación. A partir de este análisis, es posible priorizar intervenciones que permitan mantener la confiabilidad y la disponibilidad del equipo bajo sus condiciones normales de trabajo.

En el ámbito marítimo, el RCM resulta especialmente útil debido a que muchos sistemas operan bajo condiciones severas y con limitaciones de tiempo para realizar reparaciones. Al aplicar esta metodología, se optimizan los recursos de mantenimiento, se reducen fallas inesperadas y se asegura la continuidad de la operación durante las faenas.

2.4.2 ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF / FMEA)

El Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) es una técnica preventiva que permite estudiar de manera sistemática las posibles fallas que pueden presentarse en un equipo o componente. Para cada modo de falla se evalúa la gravedad de sus efectos, la frecuencia con que podría ocurrir y la facilidad para detectarla antes de que genere un problema mayor. Con esta información, se establece un nivel de criticidad que ayuda a priorizar acciones de mantenimiento o mejoras en el diseño del sistema.

En sistemas marítimos, el AMEF es especialmente valioso porque permite anticiparse a condiciones que podrían comprometer la seguridad de la navegación o el funcionamiento de equipos críticos, como motores, sistemas hidráulicos o separadores de aceite. Su uso contribuye a minimizar riesgos operativos y a tomar decisiones más acertadas respecto al mantenimiento.



Figura 6: Diagrama conceptual del proceso AMEF.
Fuente: elaboración Propia a partir de fuente externa

2.4.3 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) es una metodología que busca involucrar de manera activa a todos los integrantes de la organización en el cuidado y correcta operación de los equipos. Su base está en la eliminación de pérdidas, el mantenimiento autónomo realizado por los propios operadores y la mejora continua, lo que permite prolongar la vida útil de los equipos y reducir detenciones no programadas.

En el contexto de embarcaciones y procesos marítimos, el TPM favorece la participación del personal de a bordo en actividades simples pero fundamentales, como inspecciones visuales, limpieza y detección temprana de irregularidades. Esto facilita que las fallas sean identificadas antes de llegar a un nivel crítico, mejorando la disponibilidad de los sistemas y fortaleciendo la cultura de responsabilidad compartida sobre los activos presentes.

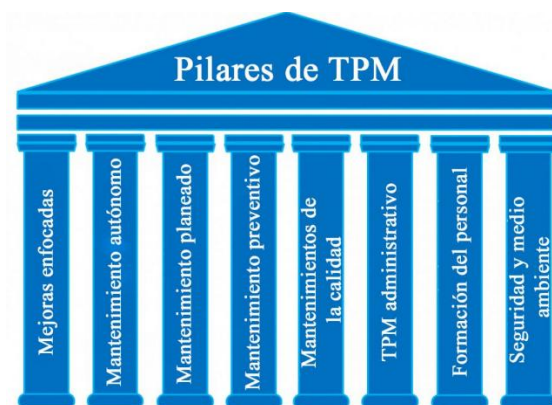


Figura 7: Pilares del TPM.
Fuente: elaboración Propia a partir de fuente externa

2.5 INDICADORES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

Los indicadores de gestión de mantenimiento permiten evaluar el desempeño de los equipos y de las estrategias aplicadas para su conservación. En el ámbito marítimo industrial, donde la continuidad operacional es fundamental, estos indicadores son esenciales para medir la efectividad del mantenimiento, identificar tendencias de fallas y tomar decisiones basadas en datos. Entre los indicadores más utilizados destacan el MTBF, MTTR, la disponibilidad y la confiabilidad, los cuales se describen a continuación.

2.5.1 MTBF (MEAN TIME BETWEEN FAILURES)

El MTBF corresponde al *Tiempo Medio Entre Fallas* y representa el período promedio de funcionamiento de un equipo antes de que ocurra una falla. Se calcula dividiendo el tiempo total de operación entre el número de fallas registradas en ese intervalo. Un MTBF alto indica una mayor confiabilidad del equipo y una gestión de mantenimiento más efectiva. En el caso del separador de aceite centrífugo, este indicador permite evaluar si las intervenciones preventivas están logrando extender los intervalos entre fallas críticas.

Formula:

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total de operacion}}{\textit{Numero de Fallas}}$$

2.5.2 MTTR (MEAN TIME TO REPAIR)

El MTTR, o *Tiempo Medio para Reparar*, refleja el tiempo promedio requerido para recuperar un equipo desde el momento en que se detecta una falla hasta su restitución al servicio. Incluye actividades de diagnóstico, adquisición de repuestos, desmontaje, reparación y pruebas de funcionamiento. Un MTTR bajo es indicador de una buena planificación, disponibilidad de repuestos y personal capacitado.

Formula:

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de Reparacion}}{\textit{Numero de Reparaciones}}$$

2.5.3 DISPONIBILIDAD OPERACIONAL

La disponibilidad combina los indicadores MTBF y MTTR, y expresa la probabilidad de que un equipo se encuentre en condiciones de operar cuando sea requerido. Este indicador es especialmente importante en sistemas críticos como el de lubricación del motor principal, donde la indisponibilidad del separador puede comprometer la integridad del motor.

Formula:

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Una mayor disponibilidad implica que el equipo pasa más tiempo operativo y menos tiempo detenido por reparaciones.

2.5.4 CONFIABILIDAD

La confiabilidad se refiere a la capacidad de un equipo para desempeñar su función sin fallas durante un período específico bajo condiciones establecidas de operación. Se expresa como una probabilidad y suele modelarse mediante distribuciones estadísticas de fallas, especialmente la distribución exponencial en equipos mecánicos.

En términos prácticos, una alta confiabilidad en el separador de aceite minimiza la probabilidad de que el motor principal opere con aceite contaminado, reduciendo los riesgos de desgaste prematuro, sobrecalentamiento y fallas graves.

Formula general (distribución Exponencial):

$$R(t) = e^{-t/MTBF}$$

2.6 NORMATIVAS Y ESTÁNDARES APLICABLES

El mantenimiento de equipos auxiliares en embarcaciones industriales, como el separador de aceite centrífugo, debe cumplir no solo con las recomendaciones del fabricante, sino también con las normativas nacionales e internacionales que regulan la operación segura y ambientalmente responsable de los sistemas mecánicos a bordo. Estas normas establecen criterios técnicos, procedimientos mínimos, controles periódicos y requisitos de documentación que orientan el mantenimiento y la operación del sistema de lubricación del motor principal.

2.6.1 RECOMENDACIONES DEL FABRICANTE

Los fabricantes de separadores de aceite, como Alfa Laval, Mitsubishi u otros proveedores del sector marítimo, establecen manuales técnicos que definen:

- Frecuencias mínimas de mantenimiento.
- Procedimientos de limpieza del bowl y discos.
- Reemplazo de sellos, juntas y rodamientos.
- Parámetros operativos (velocidad, temperatura, presión, cantidad de agua de sellado).
- Uso de repuestos originales o certificados

2.6.2 NORMAS MARPOL (CONVENIO INTERNACIONAL PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN POR BUQUES)

El separador de aceite influye directamente en el manejo y calidad del aceite lubricante, por lo que se relaciona con el cumplimiento de MARPOL, especialmente:

- **Anexo I:** Prevención de la contaminación por hidrocarburos. Exige controlar descargas de aceites, minimizar contaminación y asegurar el adecuado manejo de residuos oleosos a bordo.

Aunque el separador no forma parte del sistema de tratamiento de aguas oleosas, sí afecta la calidad del aceite que circula y, por tanto, su estabilidad y manejo ambiental responsable.

2.6.3 NORMAS ISO RELACIONADAS CON MANTENIMIENTO

Existen estándares internacionales aplicables a la gestión del mantenimiento industrial:

ISO 55000 – Gestión de Activos

Define buenas prácticas para mantener la confiabilidad de los activos físicos a lo largo de su ciclo de vida. Su aplicación en barcos pesqueros ayuda a formalizar procesos y priorizar intervenciones.

ISO 14224 – Recolección y Explotación de Datos de Confiabilidad y Mantenimiento

Entrega lineamientos para:

- Clasificación de fallas.
- Registro de eventos operacionales.
- Determinación de indicadores de desempeño (MTBF, MTTR, disponibilidad).

Es altamente pertinente para estructurar el análisis de fallas del separador.

ISO 17359 – Monitoreo de Condición

Establece la metodología para implementar mantenimiento predictivo basado en:

- Análisis de vibraciones.
- Temperatura.
- Ultrasonido.
- Análisis de aceite.

Aunque el barco estudiado no cuenta con todos los instrumentos, la norma sirve como referencia para futuras mejoras.

2.6.4 NORMATIVA MARÍTIMA CHILENA

En Chile, la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (DIRECTEMAR) regula aspectos de seguridad operacional, inspecciones, certificaciones técnicas y control documental de las embarcaciones. Entre sus requisitos destacan:

- Mantener actualizados los registros de mantenimiento.
- Garantizar condiciones seguras de operación de sistemas mecánicos críticos.
- Cumplir inspecciones periódicas del estado del motor principal y sus equipos auxiliares.

CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE MEJORA

3.1 DIAGNÓSTICO DEL SEPARADOR DE ACEITE

El diagnóstico del separador de aceite se realizó a partir de la observación directa del equipo en operación, entrevistas con el personal de máquinas y el análisis de su comportamiento durante las condiciones reales de trabajo a bordo. Durante esta evaluación se detectaron diversos problemas que afectan directamente el desempeño del equipo y comprometen la eficiencia del proceso de purificación del aceite lubricante del motor principal.

Uno de los principales problemas observados durante el diagnóstico fue que, en reiteradas ocasiones, el tambor del separador no alcanza las revoluciones nominales dentro del tiempo normal de arranque. Esta situación genera una operación deficiente del equipo desde su puesta en marcha, impidiendo que se genere la fuerza centrífuga necesaria para una separación eficiente.

Asimismo, se detectó que, durante el funcionamiento normal del equipo, en algunos periodos se produce una disminución progresiva del número de revoluciones del tambor. Esta reducción de velocidad afecta directamente la eficiencia del proceso de separación, permitiendo que partículas sólidas y humedad permanezcan en el aceite que retorna al sistema de lubricación del motor. Esta condición representa un riesgo importante para los componentes internos del motor principal, ya que incrementa el desgaste, eleva las temperaturas de operación y reduce la vida útil de los elementos lubricados.

Otro hallazgo relevante del diagnóstico corresponde a la presencia de una marcha inestable de la centrifuga durante su operación. Esta condición se manifiesta a través de vibraciones anormales, ruidos irregulares y funcionamiento poco uniforme del equipo. Estas vibraciones están asociadas principalmente a desbalances del tambor, acumulación irregular de lodos en su interior, montaje incorrecto de componentes, desgaste de casquillos y rodamientos, así como a defectos en el conjunto del juego de platos. Este tipo de falla es especialmente crítica, ya que puede derivar en daños estructurales del separador si no se corrige oportunamente.

Finalmente, se detectaron deficiencias graves en el sistema de alimentación de aceite al separador, específicamente en situaciones donde la bomba de aceite presenta problemas de aspiración. Estas fallas están asociadas principalmente a obstrucciones en las tuberías de succión, presencia de fugas en las líneas de aspiración y obstrucciones en el tamiz previo. Esta condición impide el correcto ingreso de aceite al separador, provocando la interrupción total del proceso de purificación.

En síntesis, el diagnóstico efectuado permitió establecer que el separador de aceite presenta una serie de fallas de origen operacional, mecánico y de mantenimiento que afectan directamente su rendimiento, estabilidad y confiabilidad.

3.2 ANÁLISIS DE FALLAS RECURRENTES Y MODOS DE FALLA

Para este análisis se utilizó la metodología **AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Falla)**, complementada con una **matriz de criticidad**, con el objetivo de identificar los principales modos de falla, sus causas, efectos y el nivel de riesgo asociado a cada uno.

3.2.1 CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Para la evaluación de cada modo de falla se utilizaron tres criterios, calificados en una escala de 1 a 5:

- **Frecuencia (F):** Probabilidad de que ocurra la falla durante la operación normal.
- **Severidad (S):** Grado de impacto que genera la falla sobre el separador de aceite y el sistema de lubricación del motor principal.
- **Detectabilidad (D):** Posibilidad de detectar la falla antes de que genere un daño mayor.

El **Número de Prioridad de Riesgo (NPR)** se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\text{NPR} = F \times S \times D$$

3.2.2 ANALISIS AMEF Y MATRIZ DE CRITICIDAD

Tabla 1: Analisis AMEF y Matriz de Criticidad del separador de Aceite

Fuente: Elaboración Propia.

Modo de falla	Causas Identificadas	Efectos en el sistema	F	S	D	NPR	Nivel de Riesgo
El tambor no alcanza las revoluciones nominales o tarda demasiado en alcanzarlas (9560 rpm)	Freno aplicado; tornillos de retención del tambor enroscados; zapatas de embrague desgastadas o aceitada	Sobrecarga mecánica del sistema de transmisión; riesgo de quiebre de los dientes de la corona; daño severo en el conjunto tambor-corona; detención prolongada del separador y altos costos de reparación.	4	5	4	80	Alto
Disminución del número de revoluciones del tambor durante el funcionamiento	Zapatas de embrague aceitada; disminución de rpm del motor	Separación deficiente del aceite; paso de impurezas; desgaste acelerado de componentes del motor principal	3	5	5	75	Alto
La bomba de aceite no aspira	Defecto mecánico en la bomba; tuberías de aspiración obstruidas o entrada de aire al equipo	Separador fuera de servicio; aceite sin purificación; ingreso de contaminantes al motor principal.	3	5	5	75	Alto
La centrífuga presenta una marcha inestable	Acumulación desigual de lodos; montaje incorrecto del tambor; pérdida de presión en el juego de platos	Vibraciones excesivas; daño en rodamientos y eje; posibles detenciones no programadas.	3	4	3	36	Medio

Tabla 2: Clasificación Nivel de riesgo

Fuente: Elaboración Propia

Nivel de Riesgo	Rango de NPR
Alto	61 – 125
Medio	31 – 60
Bajo	1 – 30

El modo de falla asociado a que el tambor no alcance las revoluciones prescritas fue clasificado como el de mayor criticidad, debido al alto riesgo de daño mecánico severo en el sistema de transmisión del separador. En particular, la presencia de tornillos de retención del tambor enroscados durante el arranque puede generar esfuerzos anormales capaces de provocar el quiebre de los dientes de la corona, lo que implica detenciones prolongadas del equipo, elevados costos de reparación y una pérdida significativa de disponibilidad operacional.

3.3 PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PROPUESTO PARA EL SEPARADOR DE ACEITE

3.3.1 OBJETIVO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

El objetivo del plan de mantenimiento preventivo propuesto es reducir la ocurrencia de fallas críticas en el separador de aceite, mejorar la confiabilidad del sistema de lubricación del motor principal y asegurar la continuidad operacional de los barcos industriales. Este plan está diseñado en función de las condiciones reales de operación detectadas durante el diagnóstico del equipo, priorizando los modos de falla de mayor criticidad identificados mediante el análisis AMEF.

3.3.2 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO ADOPTADA

La estrategia de mantenimiento adoptada se basa principalmente en un enfoque de mantenimiento preventivo sistemático, complementado con inspecciones operacionales y controles previos al arranque del equipo. Dado el contexto operacional de los barcos industriales, el plan no considera técnicas de mantenimiento predictivo avanzado, como análisis de aceite o vibraciones, sino que se enfoca en actividades prácticas, repetibles y de fácil implementación por el personal de máquinas.

Esta estrategia permite anticiparse a fallas mecánicas graves, especialmente aquellas asociadas al sistema de transmisión del separador, sin requerir equipamiento especializado ni interrupciones prolongadas de la operación.

3.3.3 PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PROPUESTO

Se presenta el plan de mantenimiento preventivo estructurado en función de los modos de falla identificados como críticos y de riesgo medio, definiendo para cada uno las actividades de mantenimiento, su frecuencia y los responsables de ejecución.

Tabla 3: Plan de mantenimiento estructurado
Fuente: Elaboración Propia

Modo de Falla	Actividad de Mantenimiento	Frecuencia	Responsable
Tambor no alcanza las revoluciones nominales / riesgo de daño en la corona	Verificar que los tornillos de retención del tambor estén completamente liberados antes del arranque	Antes de cada arranque	Motorista
Tambor no alcanza rpm (9560 rpm)	Comprobar liberación del freno del equipo	Antes de cada arranque	Motorista
Sistema de transmisión del separador	Inspección visual del estado de la corona, engranajes y elementos de transmisión	Mensual	Mecánico
Disminución de rpm del tambor en operación	Revisión y limpieza de zapatas de embrague	Quincenal	Mecánico
Disminución de rpm del tambor	Verificación de correcta transmisión de potencia	Mensual	Mecánico
Bomba de aceite no aspira	Limpieza del tamiz previo del sistema de aspiración	Semanal	Motorista
Bomba de aceite no aspira	Inspección de tuberías de aspiración y detección de fugas	Mensual	Mecánico
Disminución de eficiencia de separación	Limpieza interna del tambor y eliminación de lodos acumulados	Cada 8 horas de Operación	Motorista
Marcha inestable del separador	Verificación del correcto montaje del conjunto tambor	Cada desmontaje	Mecánico

3.3.4 JUSTIFICACION TECNICA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

El plan de mantenimiento preventivo propuesto se fundamenta en la identificación y priorización de los modos de falla del separador de aceite mediante el análisis AMEF y la matriz de criticidad, lo que permitió establecer una relación directa entre las causas raíz de las fallas y las actividades de mantenimiento definidas. Desde un punto de vista técnico, el enfoque preventivo adoptado busca controlar las variables operacionales y mecánicas que influyen directamente en la confiabilidad del equipo, tales como el régimen de giro del tambor, la integridad del sistema de transmisión, la estabilidad dinámica del conjunto rotativo y la continuidad del suministro de aceite hacia el separador.

Las inspecciones previas al arranque, orientadas a verificar la liberación de los tornillos de retención del tambor y el correcto funcionamiento del sistema de freno, constituyen una medida crítica para prevenir sobrecargas mecánicas en el sistema de transmisión. La omisión de estos controles puede generar esfuerzos torsionales anormales capaces de provocar fallas catastróficas, como el quiebre de los dientes de la corona, lo que justifica técnicamente la alta prioridad asignada a estas actividades dentro del plan de mantenimiento.

Asimismo, las tareas de limpieza periódica del paquete de discos y del interior del tambor, definidas con una frecuencia de cada 8 horas de operación, permiten controlar la acumulación de lodos y contaminantes que afectan el balance dinámico del tambor y reducen la eficiencia del proceso de separación. Desde el punto de vista mecánico, esta acumulación genera desequilibrios que se traducen en vibraciones, incrementando las cargas sobre rodamientos, eje vertical y componentes estructurales del separador.

Por otra parte, la inspección y limpieza sistemática del sistema de aspiración de la bomba de aceite, incluyendo el tamiz previo y las tuberías de succión, resulta fundamental para asegurar un caudal continuo y estable hacia el separador. La interrupción del suministro de aceite constituye uno de los modos de falla más críticos, ya que impide el funcionamiento del equipo y expone directamente al motor principal a la circulación de aceite contaminado, acelerando el desgaste de sus componentes internos.

3.3.5 ALCANCE Y APLICABILIDAD DEL PLAN

El plan de mantenimiento preventivo desarrollado es aplicable a separadores de aceite instalados en barcos industriales dedicados a la actividad pesquera, independientemente del tipo de flota o ruta de operación. Su implementación no requiere instrumentos de medición avanzados ni personal altamente especializado, lo que facilita su estandarización y replicabilidad en distintos barcos con características similares.

Este plan puede ser utilizado como base para la implementación de un sistema de gestión de mantenimiento más amplio, permitiendo futuras mejoras mediante la incorporación de indicadores de desempeño o técnicas de mantenimiento predictivo, según la disponibilidad de recursos y datos operacionales.

3.3.6 CHECKLISTS Y FORMULARIOS DE MANTENIMIENTO

Con el objetivo de estandarizar las actividades de mantenimiento y reducir la dependencia exclusiva de la experiencia del operador, se proponen checklists operacionales que permitan verificar el estado del separador de aceite antes, durante y después de su operación.

Tabla 4: Checklist Previo al arranque

Fuente: Elaboración Propia

Ítem	Verificación a realizar	Método	Conforme	Observaciones
Tornillos de retención del tambor	Confirmar que se encuentren completamente liberados	Visual	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Freno del separador	Verificar que el freno esté totalmente liberado	Operacional	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Estado general del tambor	Comprobar ausencia de daños visibles o cuerpos extraños	Visual	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Sistema de transmisión	Verificar alineación y estado general de corona y engranajes visibles	Visual	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Zapatas de embrague	Comprobar que no estén contaminadas con aceite	Visual	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Nivel de aceite de alimentación	Verificar nivel adecuado para operación	Visual	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Tamiz previo	Verificar que se encuentre limpio y correctamente instalado	Visual	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Tuberías de aspiración	Comprobar ausencia de fugas visibles o conexiones sueltas	Visual	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Condiciones del área	Verificar área limpia y sin elementos sueltos	Visual	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	

IMPLEMENTAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL SEPARADOR DE ACEITE CENTRÍFUGO DEL MOTOR
PRINCIPAL

Tabla 5: Checklist durante la operación

Fuente: Elaboración Propia

Ítem	Verificación a realizar	Método	Conforme	Observaciones
Arranque del tambor	Verificar arranque progresivo y sin sacudidas	Operacional	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Régimen de giro	Confirmar que el tambor alcance régimen normal	Operacional	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Vibraciones	Detectar vibraciones excesivas	(vista/tacto)	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Ruidos	Detectar ruidos metálicos o irregulares	Auditivo	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Flujo de aceite	Confirmar flujo continuo hacia el separador	Visual	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Fugas	Comprobar ausencia de fugas durante operación	Visual	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	

Tabla 6: Checklist Post- operación

Fuente: Elaboración Propia

Ítem	Verificación a realizar	Método	Conforme	Observaciones
Estado general del equipo	Inspección visual posterior a la operación	Visual	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Acumulación de lodos	Verificar presencia excesiva de lodos	Visual	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Limpieza de discos	Confirmar limpieza según frecuencia establecida	Visual	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Registro de horas	Anotar horas de funcionamiento	Administrativo	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Registro de anomalías	Documentar ruidos, vibraciones o eventos	Administrativo	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	

3.3.7 ROLES Y RESPONSABILIDADES

La correcta ejecución del plan de mantenimiento preventivo requiere la asignación clara de responsabilidades al personal involucrado en la operación y mantención del separador de aceite.

Tabla 7: Roles y Responsabilidades
Fuente: Elaboración Propia

Cargo	Responsabilidad
Motorista	Inspecciones diarias, limpieza de discos y checklists operacionales
Mecánico	Mantenciones programadas, inspección de transmisión y bomba
Supervisor de combustión	Supervisión del plan, validación de registros y toma de decisiones

3.4 SÍNTESIS DEL DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE MANTENIMIENTO

A partir del diagnóstico del estado operativo del separador de aceite y del análisis de los modos de falla mediante la metodología AMEF, se estableció una propuesta de plan de mantenimiento preventivo orientada a reducir la ocurrencia de fallas críticas y a mejorar la confiabilidad del equipo bajo las condiciones reales de operación en barcos industriales.

La propuesta desarrollada integra actividades de mantenimiento preventivo, inspecciones operacionales y checklists estandarizados, los cuales permiten controlar los principales riesgos asociados al funcionamiento del separador, especialmente aquellos vinculados al sistema de transmisión, al conjunto rotativo del tambor y al suministro de aceite.

Asimismo, el plan de mantenimiento fue diseñado considerando la ausencia de sistemas de monitoreo sensorial, priorizando técnicas de inspección visual y operativa, coherentes con la realidad operacional de la industria marítima pesquera. De esta forma, el Capítulo 3 establece la base técnica para la evaluación de la propuesta y su posterior implementación, aspectos que serán abordados en el capítulo siguiente.

CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA Y ANÁLISIS ECONÓMICO

4.1 COMPARACIÓN ENTRE EL PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL Y EL PLAN PROPUESTO

El mantenimiento del separador de aceite en barcos industriales ha sido tradicionalmente abordado desde un enfoque reactivo, donde las intervenciones se realizan principalmente después de la ocurrencia de fallas o cuando el equipo presenta un funcionamiento deficiente. Este enfoque conlleva un mayor riesgo de detenciones no programadas y daños a componentes críticos del sistema de lubricación del motor principal.

El plan de mantenimiento propuesto en este estudio introduce un enfoque preventivo estructurado, basado en el análisis de modos de falla (AMEF) desarrollado en el capítulo 3, la estandarización de tareas y la incorporación de checklists operacionales, lo que permite una gestión más sistemática del mantenimiento.

Tabla 8: Comparación entre plan actual y plan propuesto

Fuente: Elaboración Propia

Aspecto	Plan actual	Plan propuesto
Enfoque de mantenimiento	Correctivo	Preventivo
Identificación de fallas	Posterior a la falla	Anticipación mediante inspecciones
Frecuencia de mantenimiento	No estandarizada	Programada
Checklists operacionales	No existen	Implementados
Control de errores operacionales	Limitado	Estandarizado
Riesgo de fallas críticas	Alto	Reducido
Gestión del mantenimiento	Informal	Estructurada

4.2 EVALUACIÓN TÉCNICA

Desde el punto de vista técnico, la implementación del plan de mantenimiento preventivo propuesto permite mejorar significativamente la confiabilidad y disponibilidad del separador de aceite centrífugo del motor principal. La incorporación de inspecciones periódicas, rutinas de limpieza de discos cada 8 horas de operación y controles operacionales estandarizados contribuye a reducir la probabilidad de ocurrencia de fallas críticas durante la operación del buque.

El análisis de modos de falla permitió identificar eventos de alto riesgo, tales como el arranque del equipo con los tornillos de retención enroscados, condición que puede provocar daños severos en la corona del tambor. El plan propuesto incorpora medidas preventivas específicas para mitigar este tipo de fallas, reduciendo el riesgo de daños mecánicos mayores y extendiendo la vida útil de los componentes críticos.

Asimismo, el enfoque preventivo facilita la planificación de las intervenciones de mantenimiento, disminuyendo las detenciones no programadas y permitiendo que las tareas se ejecuten en condiciones controladas, sin afectar significativamente la operación del sistema de lubricación del motor principal.

4.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA

4.3.1 COSTOS ASOCIADOS AL PLAN DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

En el plan de mantenimiento actual, los costos se concentran principalmente en intervenciones correctivas no programadas, originadas por fallas mecánicas y operacionales del separador de aceite. Entre las fallas más recurrentes y de mayor impacto se encuentran el deterioro de la corona del tambor, desgaste del eje vertical del separador y fallas asociadas al sistema de embrague, las cuales se presentan generalmente como consecuencia de errores operacionales o falta de controles preventivos.

Estas fallas correctivas implican intervenciones de alta complejidad, requiriendo desmontaje parcial o total del separador, mayor consumo de repuestos críticos y extensos tiempos fuera de servicio. Adicionalmente, al tratarse de reparaciones no planificadas, las labores suelen ejecutarse bajo presión operativa, incrementando las horas hombre y el riesgo de errores durante la intervención.

Tabla 9: Costos estimados del plan de mantenimiento actual (Correctivo)
Fuente: Elaboración Propia

Concepto	Descripción técnica asociada	Frecuencia anual	Costo anual estimado
Intervenciones correctivas mayores	Reparación o reemplazo de corona del tambor, eje vertical o sistema de embrague	1	\$ 4.000.000
Reemplazo no planificado de repuestos	Cambio de rodamientos, sellos y componentes dañados por fallas severas	2	\$ 2.000.000
Horas hombre de emergencia	Mano de obra adicional por desmontaje, alineación y pruebas posteriores	80 h	\$ 3.000.000
Tiempo fuera de servicio	Detención del separador y del sistema de lubricación del motor principal	12h	\$ 2.400.000
Total anual estimado			\$ 11.400.000

4.3.2 COSTOS ASOCIADOS AL PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

El plan de mantenimiento preventivo propuesto contempla actividades orientadas a evitar la ocurrencia de fallas críticas mediante inspecciones periódicas, controles operacionales y rutinas de limpieza programadas. Estas actividades permiten detectar de forma temprana condiciones anormales, tales como desalineaciones incipientes, acumulación excesiva de lodos o desgaste progresivo de componentes mecánicos.

Los costos asociados al plan propuesto corresponden principalmente a horas hombre programadas y al uso de repuestos menores, los cuales no afectan de forma significativa la operación del buque. A diferencia del plan actual, estas actividades se realizan de manera planificada, reduciendo el riesgo de daños severos en la corona, el eje del separador y otros componentes críticos.

Si bien el plan de mantenimiento preventivo reduce significativamente la ocurrencia de fallas críticas, no es posible eliminar completamente la probabilidad de eventos imprevistos.

Para reflejar este comportamiento real del sistema, se incorpora dentro de los costos del plan propuesto un ítem denominado “Fallas no previstas (riesgo residual)”, el cual considera tanto el costo de intervención del mecánico como la mano de obra asociada, representando un escenario conservador de mantenimiento predictivo en operación real.

Tabla 10: Costos estimados del plan de mantenimiento Propuesto Preventivo
Fuente: Elaboración Propia

Concepto	Descripción técnica asociada	Frecuencia anual	Costo anual estimado
Inspecciones programadas	Verificación periódica del tambor, corona, eje y sistema de embrague	12	\$ 1.700.000
Limpieza de discos (motorista)	Rutina operacional integrada a la función del motorista	90	\$ -
Repuestos menores	Reemplazo preventivo de sellos, juntas y elementos de desgaste	1 set	\$ 700.000
Horas hombre programadas	Mantenimiento preventivo planificado fuera de rutinas operacionales	40 h	\$ 1.300.000
Detenciones programadas	Paradas controladas sin impacto significativo en la operación	6 h	\$ 1.000.000
Fallas no previstas (riesgo residual)	Intervención correctiva menor que incluye, mano de obra de emergencia y repuestos imprevistos	1	\$ 600.000
Total anual estimado			\$ 5.300.000

A partir de las estimaciones de costos presentadas, se realiza una comparación directa entre el plan de mantenimiento actual y el plan de mantenimiento preventivo propuesto. Los resultados evidencian una reducción significativa de los costos anuales de mantenimiento al adoptar un enfoque preventivo, principalmente debido a la disminución de intervenciones correctivas no programadas y a la optimización de las horas hombre.

Tabla 11: comparación costos anual plan actual y plan propuesto
Fuente: Elaboración Propia

Escenario	Costo anual estimado
Plan actual(correctivo)	\$ 11.400.000
Plan propuesto(preventivo)	\$ 5.300.000

La implementación del plan de mantenimiento propuesto permite un ahorro económico anual estimado, calculado como la diferencia entre los costos del plan actual y los costos del plan preventivo propuesto.

$$\text{Ahorro anual} = 11.000.000 - 5.300.000 = 6.100.000 \text{ CLP/año}$$

El ahorro económico estimado se debe principalmente a la reducción de fallas críticas del separador de aceite, tales como el deterioro de la corona del tambor, el desgaste del eje vertical y fallas del sistema de embrague. La disminución de estas fallas reduce el consumo de repuestos críticos, las horas hombre de emergencia y el tiempo fuera de servicio, mejorando la eficiencia operativa del barco.

Si bien el plan de mantenimiento preventivo propuesto incorpora costos asociados a inspecciones programadas y mantenimiento rutinario, estos costos resultan significativamente menores en comparación con los costos derivados de un mantenimiento reactivo. En consecuencia, la relación costo–beneficio del plan propuesto es favorable, justificando su implementación desde el punto de vista técnico y económico.

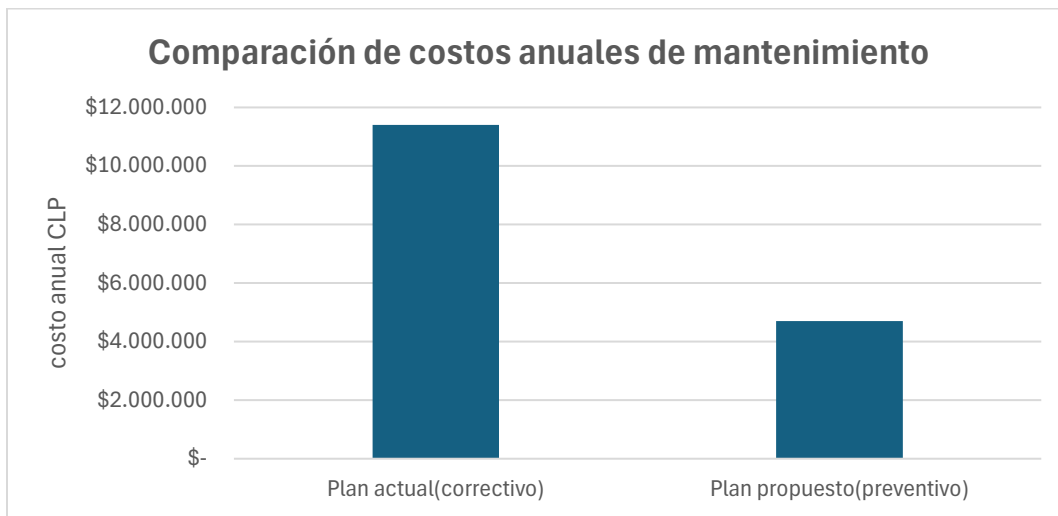


Figura 8: se presenta la comparación gráfica de los costos anuales de mantenimiento entre el plan actual y el plan propuesto

Fuente:Elaboracion propia.

4.4 SÍNTESIS DE LA EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA

La evaluación técnica del plan de mantenimiento propuesto evidencia una mejora significativa en la gestión del separador de aceite del sistema de lubricación del motor principal, principalmente al migrar desde un enfoque correctivo a uno preventivo estructurado. La priorización de componentes críticos como el tambor, la corona dentada, el eje y el sistema de embrague permite enfocar los recursos en los elementos que presentan mayor impacto en la confiabilidad del equipo.

Desde el punto de vista económico, la comparación entre el plan actual y el plan propuesto muestra una disminución relevante de los costos asociados a detenciones no programadas, fallas severas y deterioro prematuro de componentes críticos. En particular, el reemplazo preventivo de rodamientos cada dos años, en lugar de intervenciones reactivas anuales, contribuye directamente a la reducción de costos por repuestos mayores y tiempos fuera de servicio.

Asimismo, la integración de actividades como la limpieza periódica de discos, ejecutada por el personal de máquinas dentro de su rutina operativa, no genera costos adicionales significativos, pero sí impacta positivamente en la eficiencia del proceso de separación y en la vida útil del equipo.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

El desarrollo de este proyecto permitió abordar una problemática relevante en la operación de embarcaciones pesqueras industriales, asociada a la deficiente gestión del mantenimiento del separador de aceite del motor principal. A partir del diagnóstico realizado en condiciones reales de operación, se logró identificar los principales modos de falla del equipo, destacando la influencia de errores operacionales y la ausencia de procedimientos estandarizados como factores determinantes en la ocurrencia de fallas severas.

En relación con los objetivos planteados, se puede afirmar que estos fueron cumplidos satisfactoriamente, ya que fue posible caracterizar el estado actual del sistema, priorizar los componentes críticos mediante herramientas de análisis como el AMEF y la matriz de criticidad, y diseñar un plan de mantenimiento preventivo adaptado a la realidad operacional del buque. Este plan permite establecer tareas, frecuencias y responsables de ejecución, contribuyendo a mejorar la confiabilidad y disponibilidad del sistema de lubricación.

Entre las principales contribuciones del trabajo se encuentra la generación de un modelo de mantenimiento replicable en otras embarcaciones industriales con características similares, lo cual representa un aporte directo a la gestión técnica de la flota. Asimismo, la evaluación técnica y económica evidenció que la propuesta desarrollada es viable y conveniente, al reducir la probabilidad de fallas severas, disminuir las detenciones no programadas y optimizar los costos asociados al mantenimiento del separador de aceite.

Como limitaciones del estudio, se reconoce la ausencia de sistemas de monitoreo por condición, tales como análisis de aceite o medición de vibraciones, lo que obliga a definir las frecuencias de mantenimiento principalmente en base al tiempo de servicio. No obstante, el enfoque adoptado se ajusta a la realidad operacional de los barcos analizados, donde no se dispone de instrumentación avanzada.

Finalmente, se recomienda como línea futura de trabajo la incorporación gradual de técnicas predictivas, tales como análisis periódico de aceite o medición de vibraciones, que permitan evolucionar desde un mantenimiento basado en tiempo hacia uno basado en condición. Estas mejoras permitirían aumentar aún más la confiabilidad del equipo y fortalecer la toma de decisiones en la gestión del mantenimiento naval.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[Alfa15] Alfa Laval. (2015). *Marine oil separators – Operating principles and maintenance guidelines*. Lund, Suecia: Alfa Laval Marine & Diesel Equipment.

[Mobley02] Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance* (2nd ed.). Oxford, Reino Unido: Butterworth-Heinemann.

[Bloch10] Bloch, H. P. y Geitner, F. K. (2010). *Machinery failure analysis and troubleshooting*. Houston, EE.UU.: Gulf Professional Publishing.

[ISO16] International Organization for Standardization. (2016). *ISO 55000: Asset management – Overview, principles and terminology*. Ginebra, Suiza: ISO.

[ISO14] International Organization for Standardization. (2014). *ISO 14224: Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Collection and exchange of reliability and maintenance data*. Ginebra, Suiza: ISO.

[Marine18] Marine Engineering Training. (2018). *Lubrication systems and oil purification in marine engines*. Londres, Reino Unido: Marine Engineering Publications.

[Smith04] Smith, R. y Hawkins, B. (2004). *Lean maintenance*. Oxford, Reino Unido: Elsevier Butterworth-Heinemann.

[Dhillon06] Dhillon, B. S. (2006). *Engineering maintenance: A modern approach*. Boca Raton, EE.UU.: CRC Press.

[ABS13] American Bureau of Shipping. (2013). *Guide for surveys and maintenance of marine machinery*. Houston, EE.UU.: ABS Publications.

[Jardine06] Jardine, A. K. S., Lin, D. y Banjevic, D. (2006). A review on machinery diagnostics and prognostics. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20(7), 1483–1510