

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN- REY BALDUINO DE BÉLGICA**

**PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO A CABRESTANTE
HIDRÁULICO PARA ANCLAJE DE BARCO MERCANTE.**

Trabajo de Titulación para optar al Título
Profesional de Ingeniería en MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL

Alumno:

Sr. Dylan Miguel Angel Soto Valenzuela

Profesor guía:

Ing. Aldo Gabriel Fuentes Troncoso

2024

Dedicatoria

Dedico este trabajo de título a todos mis seres queridos, que, desde niño, me han estado apoyando en cada paso que he dado en la vida, entregándome todo su amor y enseñándome que todo se puede con esfuerzo y dedicación.

Se lo dedico a mis abuelos, que ellos siempre han estado apoyándome, me han brindado su cariño incondicional, además de enseñarme que el esfuerzo, respeto y trabajo duro tendrá como resultado el éxito.

RESUMEN

El cabrestante hidráulico de anclaje es crucial en las operaciones marítimas, particularmente en barcos mercantes, ya que permite el manejo seguro del ancla y amarre.

Su mantenimiento adecuado es vital para asegurar la seguridad y eficiencia operativa de la embarcación.

Se define el mantenimiento preventivo como la acción para evitar fallas y el predictivo como la monitorización para detectar fallas antes de que ocurran.

El cabrestante en estudio presenta fallas recurrentes debido a un mantenimiento deficiente y la falta de capacitación del personal, lo que afecta la seguridad y la operación del barco. Se identificaron varias causas mediante un análisis de Ishikawa, como la insuficiente formación de la tripulación y la ausencia de un plan de mantenimiento adecuado. Esto genera tiempo de inactividad, pérdidas económicas y riesgos operativos.

La propuesta de solución incluye un plan de mantenimiento preventivo y predictivo. Las intervenciones regulares de inspección y monitoreo de componentes clave, como tambores, cuerda de amarre y sistemas hidráulicos, aseguran la eficiencia del cabrestante. Además, se implementará un programa de capacitación para el personal, abordando tanto la teoría como la práctica, para mejorar las maniobras y seguridad en su operación.

El análisis económico demuestra que la inversión en el plan de mantenimiento propuesto (valorado en \$11.770.000) es considerablemente más baja que el costo de una falla en el sistema (valorado en \$100.750.000), que incluye pérdidas por inactividad y costos de reparación. La comparación muestra que la implementación del plan de mantenimiento es financieramente rentable y previene grandes pérdidas económicas.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	3
1. MARCO TEÓRICO.....	4
1.1 MANTENIMIENTO INDUSTRIAL	4
1.1.1 Historia del Mantenimiento	4
1.1.2 Tipos de Mantenimiento	6
1.1.3 Técnicas de Análisis de Fallas	8
1.2 CABRESTANTE.....	9
1.2.1 Historia del Cabrestante Marino	10
1.2.2 Tipos de Cabrestantes	11
1.2.3 Partes de un Cabrestante	15
1.2.4 Funciones de un Cabrestante	19
1.2.5 Barcos donde se utilizan Cabrestantes.....	20
1.2.6 De que forma el Cabrestante influye en la Maniobra de Fondeo	22
1.2.7 Factores que pueden afectar la Maniobra de Fondeo	23
1.2.8 Riesgos y Accidentes que se pueden producir en Maniobra de Fondeo	24
1.3 NORMA QUE SE APLICAN EN LOS CABRESTANTES.....	24
1.4 AMBIENTE MARINO	25
CAPÍTULO 2: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	26
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	27
2.1 CABRESTANTE HIDRÁULICO DE ANCLAJE	28
2.2 PARTES DEL CABRESTANTE.....	29
2.3 SISTEMAS DEL CABRESTANTE.....	33
2.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL CABRESTANTE HIDRÁULICO DE ANCLAJE	35
2.5 USO DEL CABRESTANTE EN EL BARCO MERCANTE	36
2.6 DURACIÓN DE LA MANIOBRA DE FONDEO	36
2.7 QUE SE HACE EN EL OVERHAUL	37
2.8 DATOS	42
2.8.1 Diagrama de Pareto.....	43
2.8.2 Diagrama de Ishikawa	44
CAPÍTULO 3: SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	47
3. SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	48
3.1 PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL	48
3.2 COMO SE SOLUCIONARÁ EL PROBLEMA	48

3.2.1	Lubricación de mala calidad	49
3.2.2	Pintura epóxica de baja calidad	50
3.2.3	Falta de capacitación.....	51
3.2.4	Plan de Mantenimiento Preventivo.....	51
3.2.5	Plan de mantenimiento predictivo	53
3.3	GESTIÓN DE REPUESTOS	53
3.4	REGISTRO DEL MANTENIMIENTO	54
3.4.1	Checklist Tambores.....	54
CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN ECONÓMICA		56
4.	EVALUACIÓN ECONÓMICA	57
4.1	PERDIDA POR REPARACIÓN	57
4.2	ANÁLISIS DE COSTOS	57
4.2.1	Costo del Personal involucrado	57
4.2.2	Costo del Plan de Mantenimiento	58
4.2.3	Costo de los insumos y repuestos	59
4.2.4	Costo de capacitaciones	59
4.2.5	Costo total	60
4.3	COSTO VS PÉRDIDA.....	60
CONCLUSIÓN		61
BIBLIOGRAFÍA		62

INDICÉ DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1.	Control Hidráulico	11
Ilustración 1-2.	Control Eléctrico.....	11
Ilustración 1-3.	Control manual	12
Ilustración 1-4.	Motor Eléctrico	12
Ilustración 1-5.	Motor Hidráulico	13
Ilustración 1-6.	Motor de Vapor	13
Ilustración 1-7.	Cabrestante con dos Tambores	14
Ilustración 1-8.	Cabrestante sin Tambor	14
Ilustración 1-9.	Cabrestante con un Tambor	15
Ilustración 1-10.	Eje.....	15
Ilustración 1-11.	Caja Reductora.....	16
Ilustración 1-12.	Motor Hidráulico	16
Ilustración 1-13.	Barbotin	17
Ilustración 1-14.	Cabezal y Tambor	17
Ilustración 1-15.	Balata de freno	18
Ilustración 1-16.	Encapilladores.....	18
Ilustración 1-17.	Izado de ancla	19
Ilustración 1-18.	Remolque de un buque	19
Ilustración 1-19.	Cabrestante en construcción	20
Ilustración 1-20.	Cabrestante en la Minería	21
Ilustración 1-21.	Cabrestante de remolque en un auto.....	21
Ilustración 1-22.	Maniobra de fondeo.....	22
Ilustración 2-1.	Cabrestante Hidráulico de anclaje	28
Ilustración 2-2.	Barbontin del cabrestante	28
Ilustración 2-3.	Eje del Cabrestante	29
Ilustración 2-4.	Caja Reductora por Fuera	29
Ilustración 2-5.	Caja Reductora por Dentro	30
Ilustración 2-6.	Motor Hidráulico	30
Ilustración 2-7.	Barbontin del Cabrestante hidráulico de anclaje	31
Ilustración 2-8.	Tambor y Cabezal del cabrestante hidráulico	31
Ilustración 2-9.	Balata del cabrestante Hidráulico	32
Ilustración 2-10.	Encapilladores del cabrestante Hidráulico.....	32
Ilustración 2-11.	Cabrestante Hidráulico de anclaje	38
Ilustración 2-12.	Sistema Hidráulico.....	39
Ilustración 2-13.	Izado del cabrestante.....	39

Ilustración 2-14.	Desmontaje del cabrestante parte 1	40
Ilustración 2-15.	Desmontaje del cabrestante parte 2	41
Ilustración 2-16.	Desmontaje del cabrestante parte 3	41
Ilustración 2-17.	Diagrama de Pareto.....	44
Ilustración 2-18.	Diagrama de Ishikawa	45

INDICÉ DE TABLAS

Tabla 2-1.- Sistema Hidráulico	33
Tabla 2-2.- Sistema de tracción	33
Tabla 2-3.- Sistemas de control	34
Tabla 2-4.- Sistema Estructural	34
Tabla 2-5.- Sistemas de frenado	34
Tabla 2-6.- Características de la parte de anclaje	35
Tabla 2-7.- Características de la parte de amarre	35
Tabla 2-8.- Datos	42
Tabla 2-9.- Diagrama de Pareto	43
Tabla 3-1.- Tabla de comparación de grasas	49
Tabla 3-2.- Tabla de comparación de pinturas epóxicas	50
Tabla 3-3.- Plan de mantenimiento preventivo	52
Tabla 3-4.- Registro del mantenimiento	53
Tabla 3.5.- Repuestos	54
Tabla 3-6.- Checklist de los tambores	55
Tabla 4-1.- Pérdida de costo	57
Tabla 4-2.- Costo del personal	57
Tabla 4-3.- Costo del plan de mantenimiento	58
Tabla 4-5.- Valores de los insumos y repuestos	59
Tabla 4-6.- Valor de las Capacitaciones	59
Tabla 4-7.- Costo Total.....	60

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

SIGLA

H/H	:	Hora/hombre
IMC	:	Instituto Marítimo de Chile
Ishikawa	:	Diagrama de Causa-Efecto
Camport	:	Cámara Marítima y Portuaria de Chile
DIRECTEMAR	:	Dirección General del territorio marítimo y de marina mercante de Chile
IMC	:	Instituto Marítimo de Chile
Garreo	:	No quedar sujeto al fondo marino
BB	:	Babor (Lado izquierdo del barco)
EB	:	Estribor (Lado derecho del barco)

SIMBOLOGÍA

\$:	Símbolo de moneda (Pesos chilenos)
N°	:	Numero
h	:	Horas (unidad de tiempo)
kg	:	Kilogramo
kN	:	Kilo newton
m/min	:	Metro/Minuto
Nm	:	Newton metro
Bar	:	Unidad de presión
l/min	:	Litros/Minuto
l/rev	:	Litros/revolución
mm	:	Milímetro

INTRODUCCIÓN

El cabrestante o winche marino es un equipo esencial en las operaciones marítimas, utilizado para levantar, arrastrar o mover objetos pesados mediante un motor eléctrico, hidráulico o mecánico. Su funcionamiento, basado en cadenas, cables o cuerdas, es crucial para tareas como el levantamiento de anclas, el cobro de cabos y el remolque de embarcaciones. Este dispositivo garantiza la seguridad y eficiencia en las maniobras de fondeo, tanto en muelles como en zonas de fondeo.

En diversas embarcaciones, el cabrestante es fundamental para asegurar el anclaje de los barcos, operando durante largos periodos, lo que hace que su rendimiento continuo sea vital para el éxito de las operaciones. Un cabrestante en mal estado puede causar retrasos y comprometer la seguridad operativa.

Este proyecto busca desarrollar un plan de mantenimiento para el cabrestante hidráulico de anclaje, con el objetivo de garantizar su funcionamiento óptimo, prolongar su vida útil y mejorar la eficiencia operativa, contribuyendo así a la seguridad y productividad de las operaciones marítimas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta de plan de mantenimiento para cabrestante hidráulico de anclaje de un barco mercante, para mejorar su disponibilidad operativa.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir componentes principales y funcionamiento de cabrestante hidráulico de anclaje.
- Desarrollar el plan de mantenimiento para el cabrestante hidráulico de anclaje una vez determinada la/s falla/s, usando las técnicas de análisis de fallas.
- Analizar y estimar los costos involucrados para el plan de mantenimiento y capacitación desarrollado.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

1. MARCO TEÓRICO

1.1 MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Es toda actividad necesaria para mantener en funcionamiento los equipos e instalaciones, manteniéndolos en condiciones para sus funciones específicas, buscando su máxima disponibilidad y confiabilidad.

Control constante de las instalaciones y/o componentes, así como del conjunto de trabajos de reparación y revisión necesarios para garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de un sistema.

1.1.1 Historia del Mantenimiento

Se empezó a realizar mantenimiento a las maquinas cuando se entendió su importancia económica, fue con la revolución industrial donde esto sucedió, a finales del siglo 18 y comienzos del siglo 19, antes de esta época no había maquinas industriales que necesitarán ser preservadas.

✓ Primera generación:

La primera etapa en la evolución del mantenimiento se limitaba a la reparación de la maquinaria tras una falla o avería, esto obligaba a paralizar la maquina afectada y, como consecuencia, la producción.

En ese entonces, las reparaciones se trataban con instrumentación y sistemas de control básicos, no era muy complejo encontrar la falla, ya que los componentes eran robustos y visibles.

Como no existía algún plan en la rutina, las preocupaciones por las fallas o averías ocurrían en conjunto con la falla misma, entonces ya no había nada que hacer.

✓ Segunda generación:

Para mediados del siglo 20, las maquinas que se utilizaban en los procesos industriales se encontraban en un estado complejo, por la producción a gran escala y el formato de línea de producción se había fortalecido, entonces el trabajo y el rendimiento de las maquinas dependían cada vez mas de su buen funcionamiento.

La competitividad, la reducción de costos y productividad inicialmente fue aportada por la industria automotriz elevando la importancia de los activos, algo decisivo en la evolución del mantenimiento.

La falla de un elemento en la producción significaba una demora inaceptable que podía tener como consecuencia pérdidas masivas a una empresa, esto se terminó de potenciar durante la segunda guerra mundial.

Esta segunda etapa en la historia del mantenimiento se enfocaba en preservar la vida útil de los activos, en particular los equipos militares, donde el mantenimiento correctivo significaba que al momento de las reparaciones no se podía operar el equipo. Era necesario evitar la falla prematura minimizando impactos y costos, para así disponer el mayor tiempo posible los aviones, barcos y tanques para ir a la batalla.

✓ Tercera generación:

En la década de 1960, el mantenimiento se basaba en dos estrategias, prevención y la corrección, donde las actividades de fondo se consideran de menor importancia y útil solo cuando se producía una falla o avería.

El mantenimiento se limitaba a la mecánica, electricidad, cambios de piezas lubricación o engrases, no había conocimientos de predicción (no existía), las rutinas del operario estaban programadas cada cierto tiempo, pero no se tenían en cuenta las condiciones de operación de cada equipo.

Los planes de mantenimiento eran muy costosos, se realizaban tareas de mantención solo porque estaban en la programación, pero no eran conscientes de si realmente era necesario hacerlas en ese momento.

Como las actividades no suponían mejoras en los equipos o instalaciones, surgió la idea de monitorear con indicadores, sensores y dispositivos a cada activo, para poder predecir un mal funcionamiento o posible avería, de este modo, en lugar de realizar un mantenimiento general, primero se empezó a tomar datos claves de los equipos para determinar la vida útil restante de ciertos componentes críticos. Después, se realizaban acciones en el mantenimiento y se tomaban predicciones, de esta forma, se podía ahorrar en tiempo y recursos, un paso importante en la evolución del mantenimiento.

Se comenzó a aplicar técnicas de verificación mecánicas como el análisis de vibraciones y ruidos, necesitando de personas cada vez más especializadas, ya que no todos los operarios eran capaces de leer y analizar los datos de los sensores. Estos datos se registran para la generación de gráficos de tendencias, evidenciando el comportamiento de la maquina a través del tiempo.

✓ Cuarta generación:

Desde la década de los 70 y 80, el mantenimiento corresponde al mantenimiento productivo total (TPM) el cual se inspira de la filosofía japonesa que revoluciono la industria mundial, esta filosofía busca realizar un mantenimiento obteniendo la máxima calidad aceptable al menor costo posible, el TPM vino de la mano con un concepto llamado mantenimiento autónomo, que se basa en la capacitación de los operarios para realizar tareas básicas de mantenimiento.

La automatización ayudo bastante en esta práctica, ya que posibilito que los operarios pudieran leer indicadores y monitorear sus equipos. Fue fundamental este entrenamiento para lograr la implicación del operario como responsable de la calidad del equipo que la empresa poseía y su fiabilidad operativa, este fue un paso revolucionario en la historia del mantenimiento.

El mantenimiento productivo total engloba al correctivo, preventivo y a la gestión de calidad, por lo que se considera una metodología integral dentro de la evolución del mantenimiento.

Entre 1980 y 2000, el mundo industrial cambio de muchas formas, la revolución informática impacto especialmente en la producción, la calidad, el flujo de trabajo, etc. Desde entonces hasta la actualidad, todas las empresas han tenido que adaptarse a las nuevas tecnologías, el mantenimiento industrial tuvo que modernizarse. Hoy en día un software de mantenimiento es imprescindible para gestionar activos industriales, administrando los equipos de forma ordenada y detallada generando una mejor productividad.

1.1.2 Tipos de Mantenimiento

✓ Mantenimiento correctivo

Esta estrategia se centra en la reparación de los equipos una vez que ha producido la avería, este mantenimiento es reactivo porque puede generar importantes pérdidas de tiempo y dinero. Sin embargo, en algunos otros casos, el mantenimiento correctivo puede ser la mejor opción, cuando la reparación de un equipo es relativamente sencilla y económica.

- a) Ventajas
 - Estrategia simple
 - Equipos de bajo costo
 - Fallas menores
 - Económica
 - Situaciones de emergencia
- b) Desventajas
 - Tiempo de inactividad
 - Costos elevados
 - Pérdida de calidad
 - Riesgos de seguridad

✓ Mantenimiento preventivo

Esta estrategia se centra en realizar inspecciones, limpiezas, lubricaciones y ajustes programados para evitar que se produzcan fallas en los equipos.

- a) Ventajas
 - Reduce el riesgo de averías
 - Minimiza los tiempos de paradas
 - Optimiza la vida útil de los equipos
- b) Desventajas
 - Costo inicial
 - Mas mano de obra
 - Personal capacitado para interpretar datos

✓ Mantenimiento predictivo

Esta estrategia es un enfoque proactivo donde se utilizan datos de los equipos y se analizan para predecir cuándo puede haber una posible falla de un activo, el enfoque se basa en el análisis de datos de sensores, historial histórico y otros datos relevantes para identificar tendencias y patrones que indican una posible falla.

- a) Ventajas
 - Reducción de los tiempos de parada
 - Optimización de costos de mantenimiento
 - Mejora de seguridad
 - Aumento de vida útil del equipo

- b) Desventajas
 - Costo elevado
 - Personal capacitado
 - Sobrecarga de trabajo

✓ Mantenimiento proactivo

Esta estrategia de mantenimiento identifica y aborda las causas raíz de las fallas de los equipos, el enfoque que tiene es ver los fallos de los equipos como algo que se puede anticiparse y eliminarse antes de que se produzcan, reduciendo el tiempo de inactividad no planificado, prolongando la vida útil de los equipos y mejorando la eficiencia operacional general.

- a) Ventajas
 - Mayor durabilidad del equipo
 - Reduce tiempos de parada
 - Aumenta la confiabilidad del equipo
- b) Desventajas
 - Costo adicional en instrumentación
 - Dependencia de la tecnología
 - No se puede aplicar a todos los equipos

1.1.3 Técnicas de Análisis de Fallas

✓ Principio de Pareto

También conocido como la regla del 80/20, es un concepto que sostiene que el 80% de los efectos proviene del 20% de las causas. El principio de Pareto en el mantenimiento se traduce en que la minoría de los problemas es responsable de la mayoría de las fallas y averías

- a) Como funciona en el mantenimiento
 - Identificación de problemas
 - Clasificación de las causas
 - Análisis y ordenación
 - Visualización grafica

- Interpretación y acción

b) Beneficios

- Focalización de esfuerzos
- Priorización de mejoras
- Optimización de recursos
- Mejora continua y aprendizaje
- Comunicación efectiva
- Gestión proactiva de riesgos

✓ Diagrama de Ishikawa

También llamado diagrama de espina de pescado o diagrama causa-efecto, consiste en una poderosa herramienta visual que facilita la identificación y resolución de problemas al desglosarlas, de forma clara y estructurado de una situación específica.

a) Como se hace un diagrama de Ishikawa

Primero se escoge el problema, después se piensa en el término de las 6M que se desglosa en método, maquinaria, mano de obra, materiales, medición y medio ambiente, por último, se dibuja la espina de pescado. Con lo anterior se analiza los resultados y se da un seguimiento.

b) Ventajas

- Mejora procesos
- Brinda mayor visibilidad a los problemas
- Es fácil su implementación
- Previene conflictos futuros
- Fomenta el trabajo en equipo

c) Desventajas

- Interpretación compleja
- Participación limitada
- Enfoque en factores aislados
- Requiere tiempo y recursos

1.2 CABRESTANTE

Un cabrestante o winche marino es un dispositivo mecánico, el que se impulsa mediante un motor eléctrico, hidráulico o mecánico, levantando, arrastrando o desplazando objetos pesados con una cadena, cable o cuerda.

1.2.1 Historia del Cabrestante Marino

En la antigüedad los marineros usaban poleas y rodillos en los barcos para manejar las velas y anclas, aun cuando no existía un cabrestante como lo entendemos hoy, este sistema consistía en un eje sobre el que se enrollaba una cuerda o cadena, utilizándose para labores pesadas, como el izado de anclas o el manejo de la carga.

Este sistema de tracción evoluciono hacia lo que se conoce como un cabrestante primitivo, se basaba de una rueda horizontal o tambor. Los marineros impulsaban por la fuerza para izar las velas y manejar las anclas, usando una rueda de madera que se giraba por varias personas.

En el avance de la navegación y el desarrollo de las grandes embarcaciones, el cabrestante empezó a tomar la forma en la que conocemos hoy en día, paso de ser un sistema manual a un sistema de engranajes más complejo, permitiendo una mayor eficiencia en el izado y manipulación de cargas pesadas.

Donde hubo un verdadero avance en el diseño de cabrestantes marinos ocurrió en la revolución industrial, los cabrestantes empezaron a ser impulsados por motores a vapor en lugar de depender solo de la fuerza humana, esto permitió izar anclas y realizar maniobras con cargas mucho más pesadas sin la necesidad de utilizar un número elevado de tripulantes.

Con el descubrimiento de la electricidad y la mejora de la tecnología en los motores eléctricos, los cabrestantes experimentaban otra evolución, reemplazando los modelos a vapor por cabrestantes eléctricos e hidráulicos, expandiéndose a una amplia variedad de embarcaciones, desde yates hasta grandes buques mercantes.

1.2.2 Tipos de Cabrestantes

Los cabrestantes marinos se pueden diferenciar por:

✓ Tipo de control

Acá nos referimos si es manual o de tensado automático



Ilustración 1-1.- Control Hidráulico

Fuente: Internet



Ilustración 1-2.- Control Eléctrico

Fuente: Internet



Ilustración 1-3.- Control manual

Fuente: Internet

✓ Tipo de accionamiento

Los cabrestantes pueden ser accionados por diferentes mecanismos de energía, ya sea eléctrico, hidráulico o a vapor.



Ilustración 1-4.- Motor Eléctrico

Fuente: Internet



Ilustración 1-5.- Motor Hidráulico

Fuente: Elaboración propia

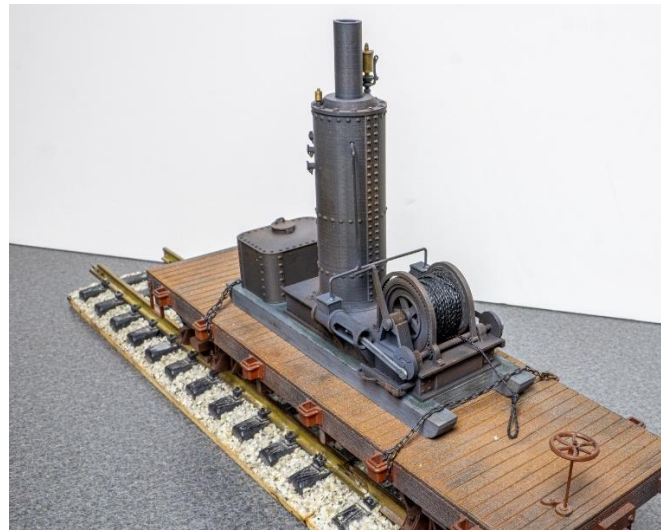


Ilustración 1-6.- Motor de Vapor

Fuente: Internet

✓ Número de tambores

Aquí nos referimos a la cantidad de tambores asociados a cada accionamiento



Ilustración 1-7.- Cabrestante con dos Tambores

Fuente: Elaboración propia

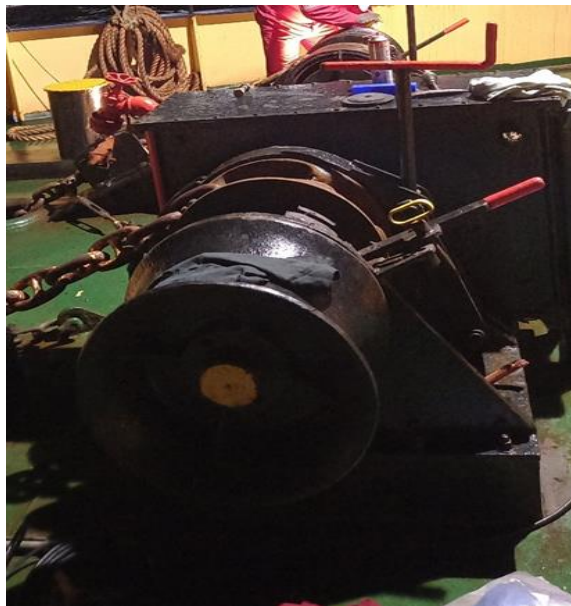


Ilustración 1-8.- Cabrestante sin Tambor

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 1-9.- Cabrestante con un Tambor

Fuente: Elaboración propia

✓ Tipos de frenos

Hay diferentes tipos de frenos en un cabrestante puede ser de banda, disco, tornillo mecánico, freno hidráulico, o aplicado por resorte.

1.2.3 Partes de un Cabrestante

✓ Eje

Es la pieza central que conecta el tambor con el sistema de transmisión de potencia, transmitiendo la energía desde el motor al tambor.

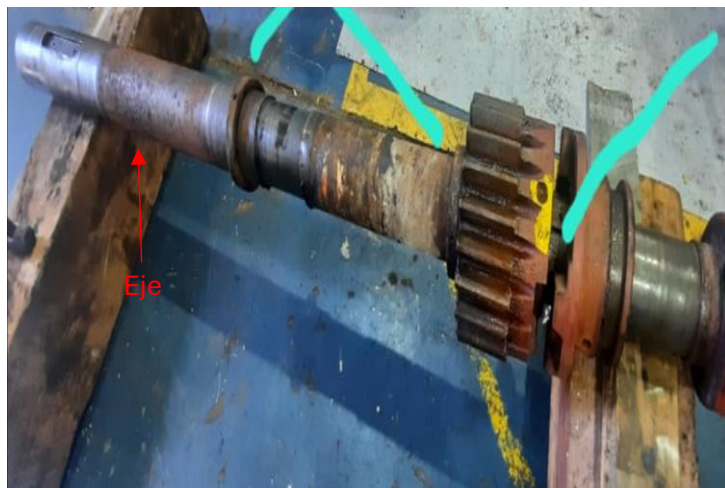


Ilustración 1-10.- Eje

Fuente: Elaboración propia

✓ Caja reductora de engranajes (Piñón y corona)

Es el sistema de transmisión que convierte la energía del motor hidráulico o eléctrico en el movimiento del Balbontín, el motor se conecta con un piñón y a su vez engrana con una corona reduciendo la velocidad del motor y aumentando el torque.



Ilustración 1-11.- Caja Reductora

Fuente: Elaboración propia

✓ Motor Hidráulico o eléctrico

Es el que produce la potencia necesaria para accionar el sistema de tracción. Este puede ser eléctrico o hidráulico, dependiendo del cabrestante.



Ilustración 1-12.- Motor Hidráulico

Fuente: Elaboración propia

✓ Barbontín

Es la parte que guía la cadena, al operar el cabrestante para levantar y bajar el ancla, el Barbontín mantiene alineada la cadena y ancla, evitando que se enrede.

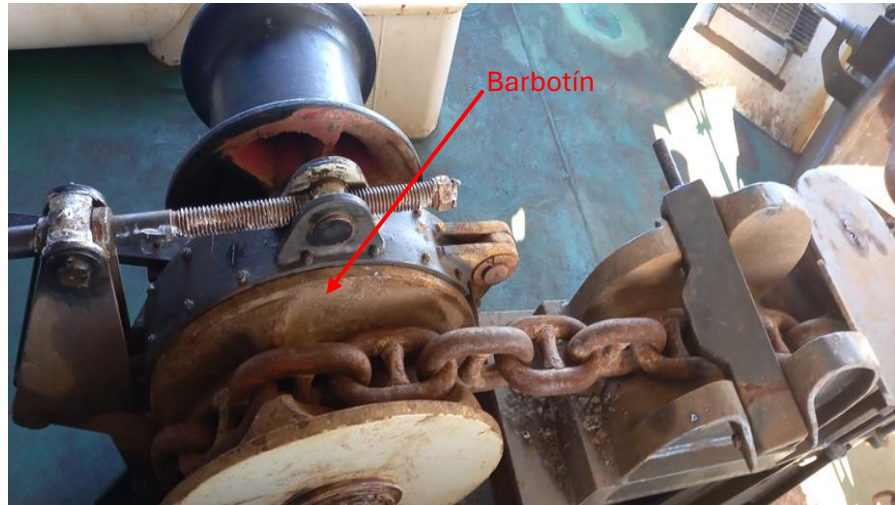


Ilustración 1-13.- Barbontín

Fuente: Elaboración propia

✓ Tambores y cabezal

Es la parte principal donde se enrolla y desenrolla la espía o cable de acero.

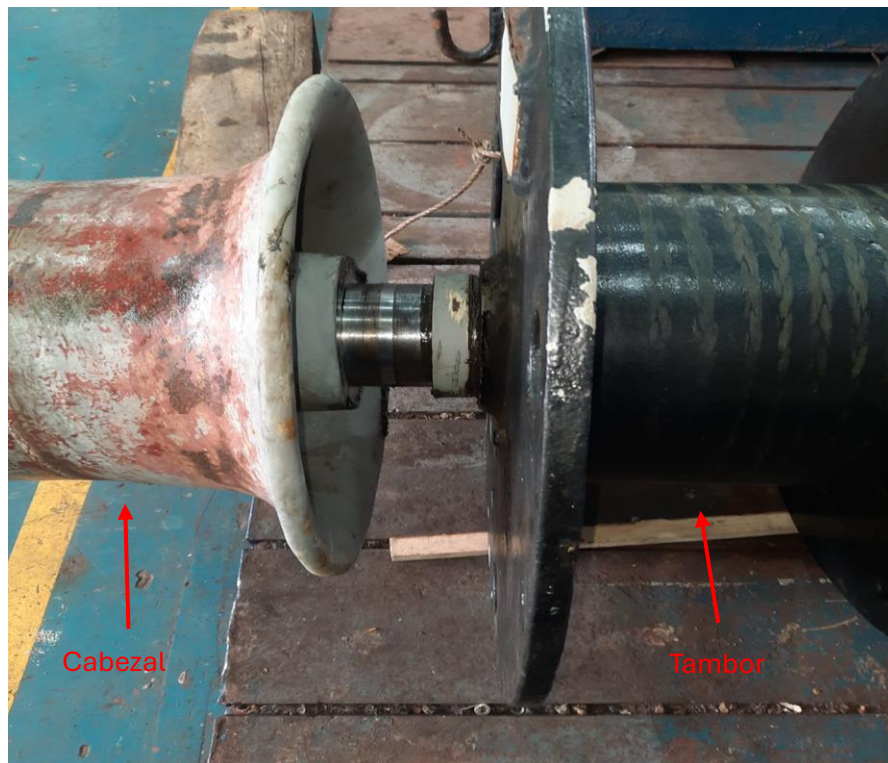


Ilustración 1-14.- Cabezal y Tambor

Fuente: Elaboración propia

✓ Balatas de frenos

Es el sistema de freno que se utiliza para controlar la velocidad de bajada y subida de la cadena y el ancla, generando fricción, ralentizar el movimiento o deteniendo el movimiento por completo.



Ilustración 1-15.- Balata de freno

Fuente: Elaboración propia

✓ Encapilladores

Son los que permiten acoplar o desacoplar la transmisión de fuerza al tambor.

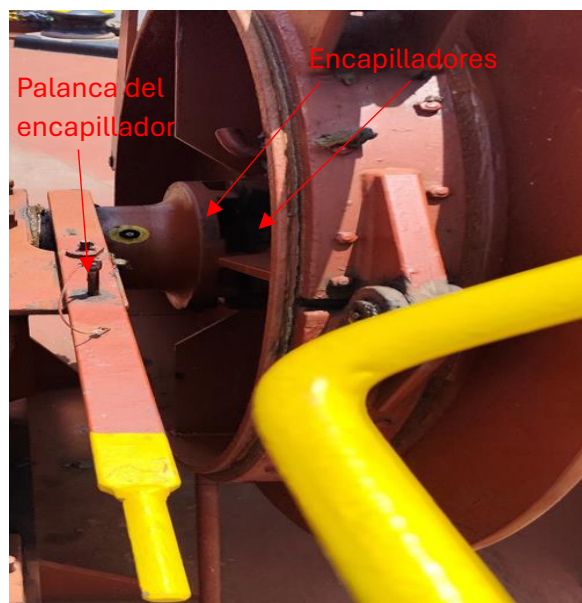


Ilustración 1-16.- Encapilladores

Fuente: Elaboración propia

1.2.4 Funciones de un Cabrestante

Las funciones del cabrestante son levantar anclas de babor (BB) y estribor (EB), cobrar cabos o espías, remolcar buques y rescatar objetos hundidos.



Ilustración 1-17.- Izado de ancla

Fuente: Internet

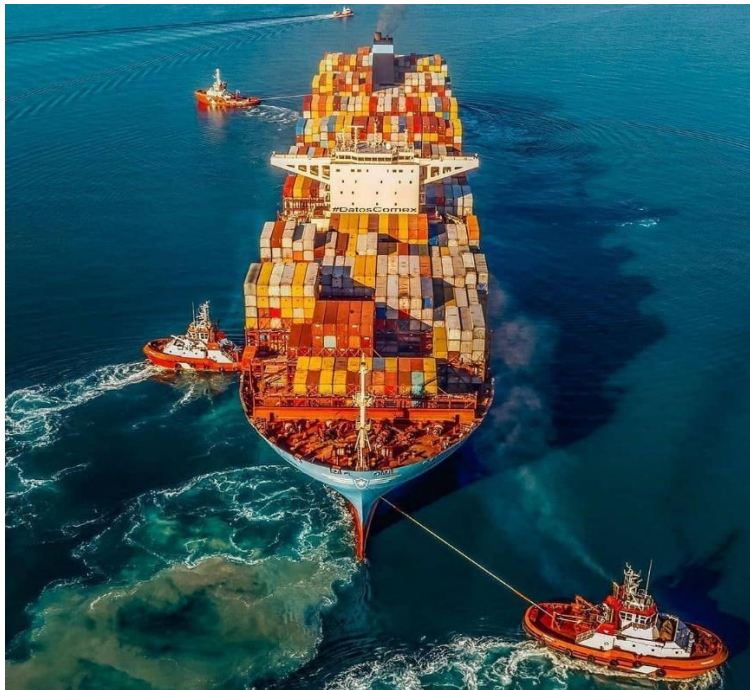


Ilustración 1-18.- Remolque de un buque

Fuente: Internet

1.2.5 Barcos donde se utilizan Cabrestantes

Los cabrestantes se utilizan en todo tipo de transportes marítimos para levantar anclas o cobrar espías, también se utilizan para enrollar líneas de amarre en el barco, ya sea de forma horizontal o vertical.

Además, se utilizan en una gran variedad de industrias y lugares, como la construcción, la minería, espectáculos, vehículos, entre otros.



Ilustración 1-19.- Cabrestante en construcción

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 1-20.- Cabrestante en la Minería

Fuente: Internet



Ilustración 1-21.- Cabrestante de remolque en un auto

Fuente: Internet

1.2.6 De que forma el Cabrestante influye en la Maniobra de Fondeo

✓ Que es maniobra de fondeo

Es una técnica que consiste en amarrar un cuerpo flotante al fondo del mar o de un lago, utilizando anclas, cadenas o amarras.

El objetivo es inmovilizar el barco para que pueda descansar, reparar averías, esperar a la tripulación o a que mejore el clima.

Para fondear se debe elegir un lugar seguro o abrigado del viento con un fondo que permita que el ancla se agarre bien sin poner peligro ni dificultar su extracción.

Los mejores fondos son de arena fina o gruesa, mientras que los peores son los de piedra o material duro.

El fondeo es una maniobra importante que puede afectar la seguridad del buque y de la tripulación.

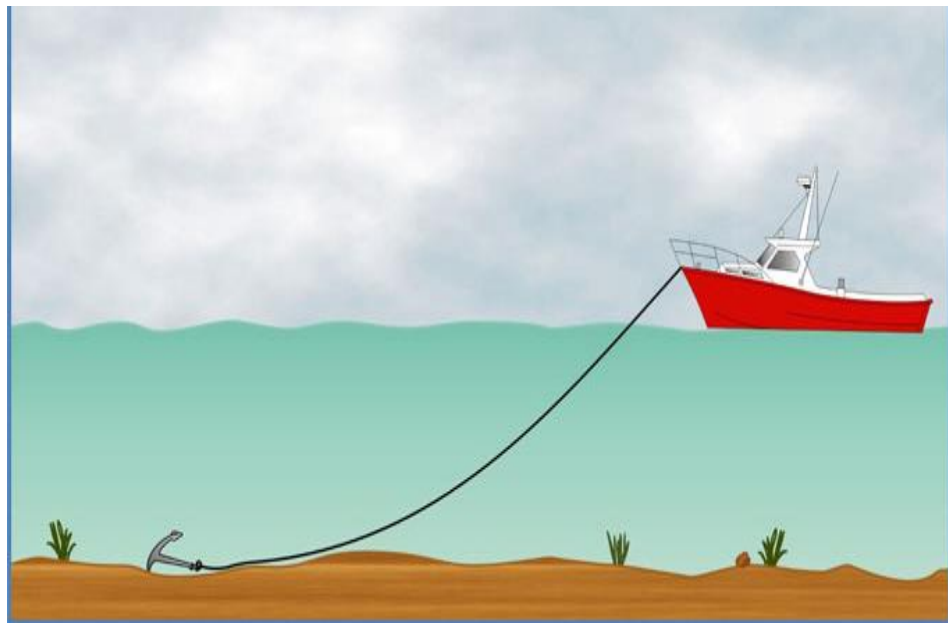


Ilustración 1-22.- Maniobra de fondeo

Fuente: Internet

✓ Como influye el cabrestante

El cabrestante es clave en la maniobra de fondeo, ya que proporciona la fuerza necesaria para manipular la cadena y ancla en las diferentes etapas de la maniobra de fondeo.

Como primera etapa tenemos el despliegue del ancla, el cabrestante nos permite bajar el ancla de manera controlada y lenta, evitando un descenso descontrolado.

Como segunda etapa tenemos el ajuste de la tensión de la cadena, con el ancla en el fondo marino, el cabrestante nos permite ajustar la longitud necesaria de cadena asegurando que el ancla quede firme en el fondo del mar.

Como tercera etapa tenemos la subida del ancla, el cabrestante nos facilita una recuperación controlada y eficiente.

En situaciones de tormentas, marea alta, corrientes o vientos fuertes, el cabrestante se vuelve crucial, ya que nos permite ajustar de manera rápida el ancla y cadena asegurando que siga firme en su lugar.

1.2.7 Factores que pueden afectar la Maniobra de Fondeo

Condiciones meteorológicas, como el oleaje, la marea, las corrientes y vientos fuertes.

Tipo de ancla, el tipo de ancla debe ser adecuado para el tipo de fondeo y las dimensiones del barco.

Líneas de fondeo, el tipo y la longitud de las líneas de fondeo depende de la embarcación, la profundidad de la zona de fondeo y las condiciones meteorológicas.

Maniobra, se debe realizarse correctamente para evitar el garreo del ancla (el ancla no queda sujeta al fondo marino y el barco se empieza a desplazar).

Trafico marino, no se debe fondear en las rutas más frecuentadas y con condiciones de mala visibilidad

1.2.8 Riesgos y Accidentes que se pueden producir en Maniobra de Fondeo

Si el cabrestante está en mal estado no tendría control sobre ancla y cadena, liberándose de manera descontrolada generando daños a la estructura del casco, también perderíamos el ancla y la cadena.

Al no poder manejar el cabrestante de ancla adecuadamente, el barco podría moverse sin control, lo que conlleva a colisiones con otras embarcaciones, plataformas, rocas e incluso quedar atrapado en una corriente peligrosa.

En una situación de emergencia no podríamos detener a tiempo el barco para evitar una colisión.

La falta de comunicación igual puede producir un riesgo para la embarcación, si no se tiene una buena comunicación el ancla se puede soltar de manera incorrecta y puede dañar la hélice o las aletas (timón).

- ✓ Elementos de EAPP a utilizar en accionamiento de cabrestante
- ✓ Casco
- ✓ Auditivos
- ✓ Overol
- ✓ Guantes
- ✓ Radio

1.3 NORMA QUE SE APLICAN EN LOS CABRESTANTES

DIRECTEMAR (Dirección general del territorio marítimo y de marina mercante) establece normativas en las certificaciones e inspecciones, también en las condiciones de seguridad, operación y mantenimiento en los equipos de los buques, donde se incluyen los cabrestantes de anclaje.

1.4 **AMBIENTE MARINO**

El ambiente marino puede afectar en el funcionamiento de los cabrestantes de anclaje y su vida útil. Factores como la corrosión (salinidad del agua), las condiciones extremas (oleaje, vientos fuertes, tormentas y diferentes temperaturas) y la acumulación de residuos marinos.

El agua salada y las condiciones extremas aceleran la oxidación de las piezas más expuestas del cabrestante (estructura, tambores, ejes, frenos, cadena, bujes de bronce), además que la fricción que se produce por los oleajes y vientos fuertes nos deriva a un desgaste prematuro por el vaivén que se produce, la acumulación de residuos marinos en los componentes externos y cadena pueden bloquear el equipo.

Las diferentes temperaturas igual pueden afectar a los cabrestantes desalineándolos, esto aumenta la fricción de las partes móviles produciéndose desgastes prematuros.

CAPÍTULO 2: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante mi practica en Puerto Montt, tuve el privilegio de trabajar en el mantenimiento de equipos en barcos mercantes, barcos salmoneros y barcos de alimentación para acuicultura, donde pude observar que los cabrestantes de anclaje utilizados en estas embarcaciones fallaban con bastante frecuencia. El mal funcionamiento de estos equipos no solo causaba interrupciones en las operaciones, sino que también, representaba un riesgo potencial para la seguridad de los tripulantes e integridad de las embarcaciones, generando elevados costos monetarios, asociados a las reparaciones, tiempos de inactividad y posibles sanciones.

Las autoridades marítimas o portuarias imponen estas sanciones, ya sean económicas o la detención del barco, por el incumplimiento de las normativas de seguridad relacionadas con los cabrestantes de anclaje. Si el cabrestante no está en condiciones de operar de manera segura, estas autoridades sancionaran con multas y la detención del barco. Además, si se considera que la falta de mantenimiento fue la causa del problema, la empresa naviera podría verse obligada a cubrir los costos de reparación del cabrestante. Por otro lado, si se llegara a perder el ancla, se impondrán multas por no cumplir con las normativas de seguridad y mantenimiento, además de la suspensión temporal de la operación del barco debido al incumplimiento de las normativas y el mal manejo del cabrestante.

Las fallas que más presencié en los cabrestantes fueron desgastes de bujes de bronce, ejes, molinetes y rodamiento (si es que va montado en rodamiento). Al hablar de desgastes, la causa de estos es la fricción que se produce por el mal mantenimiento en los canales de engrase, el cabrestante tiene un intervalo entre engrases, por ende, al pasar ese tiempo la grasa se endurece, tapando el canal de engrase, entonces los cabrestantes siguen trabajando con esos canales tapados produciéndose un desgaste prematuro en el eje y dañándolos.

El agua de mar también perjudica estos componentes, ya que trabajan en condiciones extremas, produciéndose corrosión, que daña a estos equipos.

Además, se evidencia una mala comunicación entre el astillero (responsable de generar las ordenes de trabajo) y la empresa contratista que se encarga del mantenimiento. Se solicitaba reparar un problema específico del cabrestante, al realizar el mantenimiento, se hallaba un problema mayor o diferente al especificado. Por otro lado, tampoco se generaban informes del mantenimiento realizado.

2.1 CABRESTANTE HIDRÁULICO DE ANCLAJE

El cabrestante que se utilizará como caso de estudio en este proyecto de titulación, fue fabricado en el año 2003, por la empresa croata llamada Vulkan-Dibo. Fue instalado en un barco mercante chileno llamado Culpeo, este barco se dedica a transportar containers a lo largo de las distintas regiones de Chile.



Ilustración 2-1.- Cabrestante Hidráulico de anclaje

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 2-2.- Barbontin del cabrestante

Fuente: Elaboración propia

✓ Funciones del cabrestante en este barco mercante

El cabrestante es multifuncional, por ende, se puede ocupar para anclar el barco en la zona de fondeo y también para amarrar el barco mercante en el muelle.

2.2 PARTES DEL CABRESTANTE

✓ Eje



Ilustración 2-3.- Eje del Cabrestante

Fuente: Elaboración propia

✓ Caja reductora



Ilustración 2-4.- Caja Reductora por Fuera

Fuente: Elaboración propia

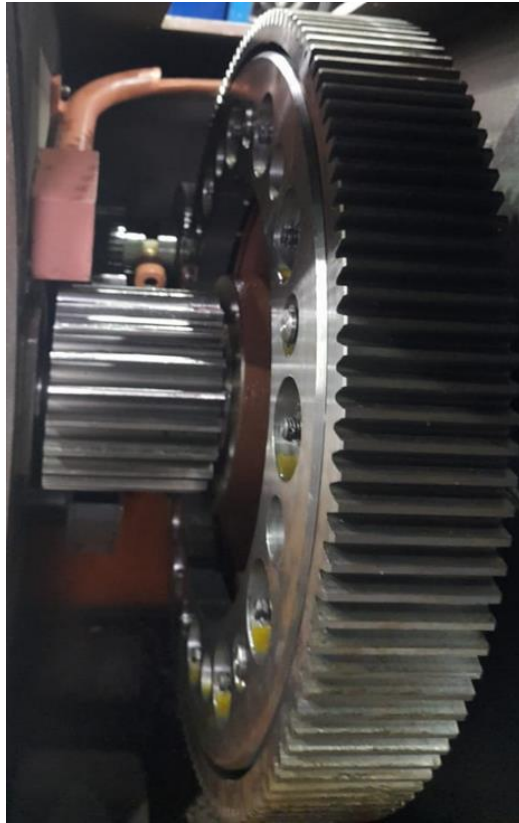


Ilustración 2-5.- Caja Reductora por Dentro

Fuente: Elaboración propia

✓ Motor hidráulico



Ilustración 2-6.- Motor Hidráulico

Fuente: Elaboración propia

✓ Barbontín



Ilustración 2-7.- Barbontín del Cabrestante hidráulico de anclaje

Fuente: Elaboración propia

✓ Tambores y cabezales



Ilustración 2-8.- Tambor y Cabezal del cabrestante hidráulico

Fuente: Elaboración propia

✓ Balata de freno



Ilustración 2-9.- Balata del cabrestante Hidráulico

Fuente: Elaboración propia

✓ Encapilladores



Ilustración 2-10.- Encapilladores del cabrestante Hidráulico

Fuente: Elaboración propia

2.3 SISTEMAS DEL CABRESTANTE

✓ Sistema hidráulico

Tabla 2-1.- Sistema Hidráulico

Bomba Hidráulica	Convierte la energía mecánica en energía hidráulica, generando flujo y presión.
Motor Hidráulico	Convierte la energía hidráulica en energía mecánica para impulsar el cabrestante
Conductos y mangueras hidráulicas	Conectan los componentes del cabrestante y transportan el fluido.
Tanque de fluido hidráulico	Almacena el fluido hidráulico del sistema

Fuente: Elaboración propia

✓ Sistema de tracción

Tabla 2-2.- Sistema de tracción

Tambor	Enrolla y desenrolla el cabo o espía de amarre
Eje	Transmite el movimiento del motor al tambor.
Caja reductora	Reduce la velocidad del motor, aumentando el torque que se aplica en el cabrestante.
Encapillador	Permite acoplar o desacoplar la transmisión de fuerza al tambor del cabrestante.

Fuente: Elaboración propia

✓ Sistema de control

Tabla 2-3.- Sistemas de control

Mando hidráulico	El operador mediante palancas hidráulicas controla la operación del cabrestante (izar, bajar, detener).
Control manual	Es un sistema de operación en el que la manipulación del cabrestante se realiza de forma directa por una persona, sin el uso de sistemas automáticos.

Fuente: Elaboración propia

✓ Sistema estructural

Tabla 2-4.- Sistema Estructural

Base del cabrestante	Es la estructura fundamental o el soporte sobre el cual se monta el conjunto del cabrestante, incluyendo el tambor, motor, los mecanismos de control y entre otros componentes. Su función principal es proporcionar estabilidad y seguridad durante el funcionamiento del cabrestante.
----------------------	---

Fuente: Elaboración propia

✓ Sistema de frenado

Tabla 2-5.- Sistemas de frenado

Balatas	Son componentes del sistema de frenado proporcionando la fricción necesaria para detener el tambor del cabrestante cuando se requiera.
---------	--

Fuente: Elaboración propia

2.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL CABRESTANTE HIDRÁULICO DE ANCLAJE

- ✓ Datos de la parte de anclaje:

Tabla 2-6.- Características de la parte de anclaje

Masa del ancla	8700 kg
Diámetro/grado de la cadena	73 U3
Elevador de cable con freno de banda	uno
Conexión del elevador de cable	con
Material del elevador de cable	Acero fundido
Control de freno del elevador de cable	Manual
Carga de retención/ con tope de cable	1795,5 kN
Tapa de engranaje	Tipo abierto
Tracción nominal	248,3 kN
Tracción máxima	372,5 kn
Velocidad de elevación de ancla	0-9 m/min
Sociedad de clasificación	Registro marítimo Lloyd's
Masa	5900 kg
Relación de transmisión del elevador de cable	6,38
Torque en el motor hidráulico	1627 Nm
Máximo torque en el motor hidráulico/diseño/	1800Nm
Presión diferencial a con carga nominal	225 bar
Presión diferencial con sobrecarga	250 bar
Presión máxima de trabajo	250 bar
Flujo de aceite	200 l/min
Desplazamiento	0,493 l/rev

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Datos de la parte de amarre

Tabla 2-7.- Características de la parte de amarre

Auto tensión	Con
Tambor cilíndrico con freno de banda	dos
Conexión del tambor	Mediante embrague de garra
Dimensión del tambor	490 x 1575 mm
Capacidad del tambor	-
Capacidad del tambor (parte de trabajo en 1 capa)	6 vueltas de cable d 80 mm
Capacidad del tambor (parte de almacenamiento en 6 capas)	200 m
Diámetro del cable	Cuerda sintética de 80 mm
Brida de inmersión	con
Control del freno del tambor	Frenos de banda accionados por muelle con desbloqueo hidráulico
Carga de retención del freno	488 kN máximo
Extremo de alabeo	uno
Dimensión del extremo de alabeo	450 x 450 mm

Material del extremo de alabeo	Hierro fundido
Fuerza de amarre en primera capa de alambre/cuerda	160 kN
Velocidad de amarre en la primera capa de alambre/cuerda	0-20 m/min
Velocidad de cuerda floja	0-45 m/min
Masa	5800 kg aproximado
Clasificación	Certificado de taller
Control	Control local en cada cabrestante
Relación de transmisión del cabrestante	33,79
Torque en el motor hidráulico	1627 Nm
Máximo torque en el motor hidráulico/diseño/	1800 Nm
Presión diferencial con carga nominal	225 bar
Presión máxima de trabajo	250 bar
Flujo de aceite	200 l/min
Desplazamiento	0,493 l/rev

Fuente: Manual del Cabrestante

2.5 USO DEL CABRESTANTE EN EL BARCO MERCANTE

Como se había hablado anteriormente, este barco mercante viaja distancias cortas, por ejemplo: de TALCAHUANO a QUINTERO o de SAN VICENTE a MEJILLONES, entre otras regiones de Chile.

El uso aproximado de cabrestante hidráulico de anclaje es de 15 veces al mes, antes de entrar a dique el barco (2 años en este caso) el cabrestante es utilizado unas 360 veces.

2.6 DURACIÓN DE LA MANIOBRA DE FONDEO

El tiempo de duración de la maniobra de fondeo va a depender del clima que puede afectar la maniobra misma, por ende, el tiempo estimado para fondear en la zona de fondeo es de alrededor de 40 minutos.

Al momento de ir a fondear a muelle, va a depender del practico, cuantos paños estén al fondo del mar y del clima, con que rapidez se realice el fondeo del barco a muelle, el tiempo estimado es de alrededor de 1 hora con 40 minutos.

Para calcular el total de horas que se utilizó el cabrestante en dos años, se tomarán en cuenta los 100 minutos estimados para el fondeo a muelle, así como 180 veces el tiempo estimado para las maniobras de fondeo y 180 veces el tiempo estimado para el fondeo a muelle.

- ✓ Cálculo del tiempo total de operación

Para las maniobras de fondeo a muelle

$$\text{Fondeo a muelle} = 180 \text{ usos} \times 100 \text{ minutos} = 18.000 \text{ minutos}$$

$$18.000 \text{ m} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ m}} = 300 \text{ horas}$$

Para las maniobras de fondeo a zona de fondeo

$$\text{Convertimos los 40 minutos a horas} \frac{40 \text{ m}}{60 \text{ m}} = 0,6667 \text{ horas}$$

$$\text{Fondeo a zona de fondeo} = 180 \text{ usos} \times 0,6667 \text{ h} = 120 \text{ horas}$$

- ✓ Total, de horas de operación en 2 años

$$\text{Total de horas} = 300 \text{ h} + 120 \text{ h} = 420 \text{ horas}$$

2.7 QUE SE HACE EN EL OVERHAUL

El overhaul es un mantenimiento programado que consiste en una revisión, reparación y restauración profunda de los equipos, máquinas o sistemas, con el objetivo de devolverlos a su estado óptimo de funcionamiento, mediante el reemplazo de piezas desgastadas o dañadas. En este contexto, el overhaul se refiere a la intervención completa del barco mercante, donde se realiza un mantenimiento exhaustivo tanto al propio barco como a todos sus equipos.

En el caso del cabrestante hidráulico de anclaje, tiene un mantenimiento programado cada dos años, durante el cual se realiza un overhaul completo. Además, cuenta con un mantenimiento preventivo antes de llegar a dique, que incluye diversas inspecciones y tareas para garantizar su funcionamiento seguro. Este mantenimiento preventivo, que podría considerarse un mini overhaul, se realiza cada seis meses y abarca las siguientes tareas:

Revisión visual semestral de los siguientes componentes:

- ✓ Estructura
- ✓ Cables
- ✓ Componentes del cabrestante
- ✓ Lubricación
- ✓ Sistema hidráulico

✓ Motor

Tras las revisiones visuales, se realizan pruebas de funcionamiento del cabrestante, que incluyen las pruebas de subida y bajada del ancla. Estas pruebas aseguran que el mecanismo este completamente funcional y se realizan de manera regular para verificar que el sistema operativo del cabrestante se encuentre en condiciones óptimas.

Por otro lado, el cabrestante sigue un programa de lubricación especificado en su manual, el cual indica que se debe engrasar cada dos semanas todas las graseras interiores (ubicadas en el interior del cabrestante) y cada cuatro semanas las partes externas (ubicadas en los extremos del cabrestante).

A continuación, se detallará lo que implica el overhaul completo del cabrestante hidráulico de anclaje marino:

✓ Lo que se hace primero, es una inspección estructural del cabrestante

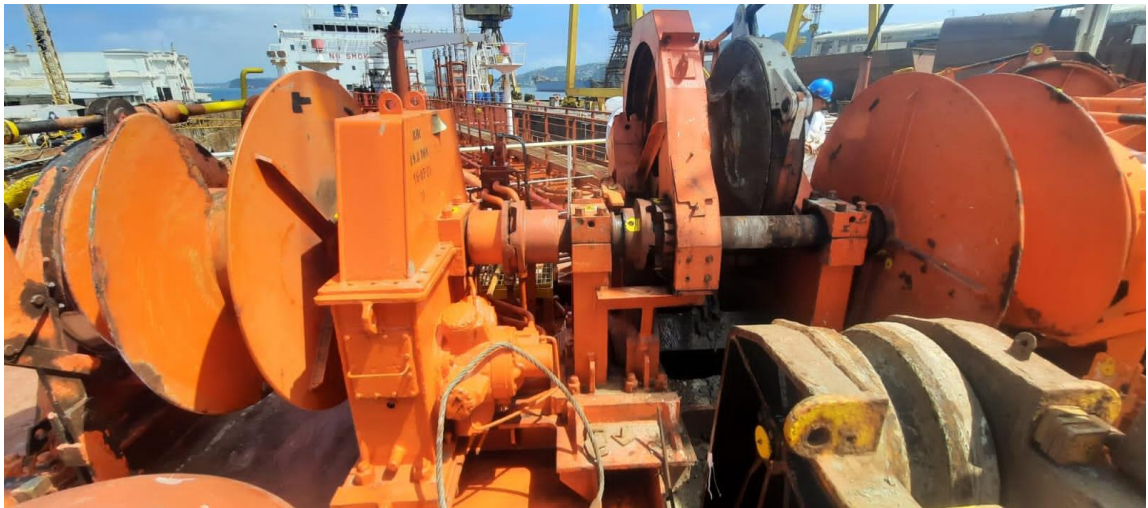


Ilustración 2-11.- Cabrestante Hidráulico de anclaje

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Lo segundo es desmontar toda conexión hidráulica, desconectando motor, bomba, mangueras hidráulicas.



Ilustración 2-12.- Sistema Hidráulico

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Lo tercero es sacar todos los pernos de fijación que mantiene anclado el cabrestante para poder izar el cabrestante completo y llevarlo a taller.



Ilustración 2-13.- Izado del cabrestante

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Estando ya en el taller se empieza a desmontar completo el cabrestante para poder hacer un informe de daños o fallas.



Ilustración 2-14.- Desmontaje del cabrestante parte 1

Fuente: Elaboración propia





Ilustración 2-15.- Desmontaje del cabrestante parte 2

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 2-16.- Desmontaje del cabrestante parte 3

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Con el informe ya completado, con las fallas o daños de los componentes del cabrestante identificados, el superintendente decide que es lo que van a reparar o reemplazar por un componente nuevo (dependiendo de los datos del informe). Por lo general se hace todo lo que dice el informe.
- ✓ Con la decisión del superintendente, se repara o cambia los componentes dañados, por ende, se empieza armar, instalar y probar el cabrestante. Con el fin de quedar 100% operativo.
- ✓ Las pruebas que se realizan en dique son: pruebas de frenos, encapilladores, graseras, la caja de engranaje, motor hidráulico, mando hidráulico, con el fin de identificar posibles problemas en las funciones de amarre y anclaje. Estas pruebas se hacen con presencia a bordo del superintendente, jefe de maquina y otras personas del buque, luego se suben las cadenas para que el barco salga del dique.

2.8 DATOS

Estos datos se sacaron de los informes de fallas antes de que llegue a dique, esta información es de dos años de funcionamiento del cabrestante hidráulico de anclaje hablado anteriormente.

- ✓ Frecuencia de fallas en el cabrestante

Tabla 2-8.- Datos

COMPONENTE	FRECUENCIA	TIEMPO DE INACTIVIDAD (HORAS)
Eje	0	0
Barbontin	0	0
Tambores	1	240
Caja reductora	1	24
Balatas	6	48
Encapillador	3	12
Bujes de bronce	3	28
Bomba hidráulica	1	60

Motor Hidráulico	0	0
Mangueras hidráulicas	4	3,5
Canales de engrase	6	1,5
Mando hidráulico	1	36

Fuente: Elaboración propia

2.8.1 Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto se apoya con el estudio grafico de barras que se clasifica de izquierda a derecha, el diagrama se enfoca en un porcentaje de fallas que se le conoce como 80/20, el 80% de los efectos provienen del 20% de las causas, permitiéndonos enfocarnos en los problemas que representan el 80% según el grafico.

Se realizará el diagrama de Pareto para analizar y desarrollar el plan de mantenimiento para el cabrestante hidráulico de anclaje, se considerará los siguientes datos:

Tabla 2-9.- Diagrama de Pareto

COMPONENTE	FRECUENCIA	TIEMPO DE INACTIVIDAD (HORAS)	TIEMPO TOTAL DE INACTIVIDAD (HORAS)	% ACUMULADO
Tambores	1	240	240	40%
Balatas	2	48	96	56%
Bujes de bronce	3	28	84	70%
Bomba hidráulica	1	60	60	80%
Caja Reductora	1	24	24	84%
Mando hidráulico	1	36	36	90%
Encapillador	3	12	36	96%
Mangueras hidráulicas	4	3,5	14	98%
Canales de engrase	6	1,5	9	100%
Eje	0	0	0	100%
Barbontin	0	0	0	100%
Motor Hidráulico	0	0	0	100%

Fuente: Elaboración propia

Estos datos representan los componentes con más fallas del cabrestante en un periodo de dos años (24 meses), la frecuencia total es de 22 fallas y 599 horas de inactividad total, se deja ordenado con el componente que produjo el mayor tiempo de inactividad del barco al menor tiempo de inactividad.

A continuación, se realizará el Pareto tomando los datos ya mostrados, para efectuar un análisis.

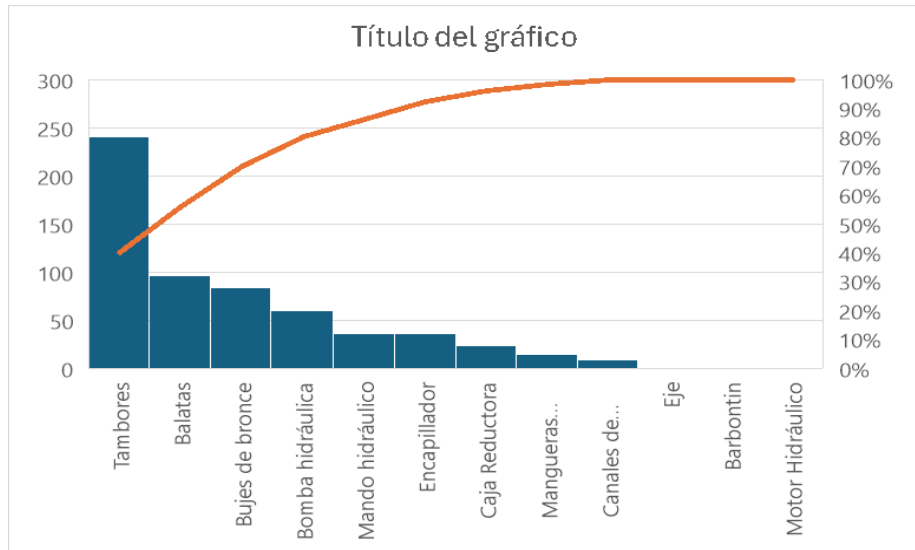


Ilustración 2-17.- Diagrama de Pareto

Fuente: Elaboración propia

El diagrama de Pareto nos dice que el 80% está concentrado en los 4 primeros componentes, que son los siguientes: tambores, balatas, bujes de bronce y bomba hidráulica. Esto quiere decir que asignaremos nuestros esfuerzos en dar la solución a estas fallas funcionales del equipo.

2.8.2 Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa, espina de pescado o también llamado causa-efecto, es una herramienta de análisis que permite la representación gráfica de las posibles causas que explican un determinado efecto.

El uso de Ishikawa es complementado con otras herramientas de análisis como en este caso del diagrama de Pareto, además nos permite priorizar las medidas de acción relevantes a aquellas causas con un mayor porcentaje de desempeño deficiente.

- ✓ El enfoque para realizar el diagrama de Ishikawa se centrará, a modo de ejemplo para este estudio, en uno de los componentes identificados en el análisis de Pareto, seleccionando el tambor debido a que es el componente que más afectaría la operatividad de la embarcación, lo que podría generar un aumento en los costos de reparación y pérdidas económicas. El tambor fue seleccionado porque su mal funcionamiento impactaría directamente en la capacidad de fondear la embarcación en el muelle, lo que provocaría demoras y paradas operativas. Esto no solo afectaría la eficiencia del barco, sino que también generaría costos adicionales por inactividad y reparación.

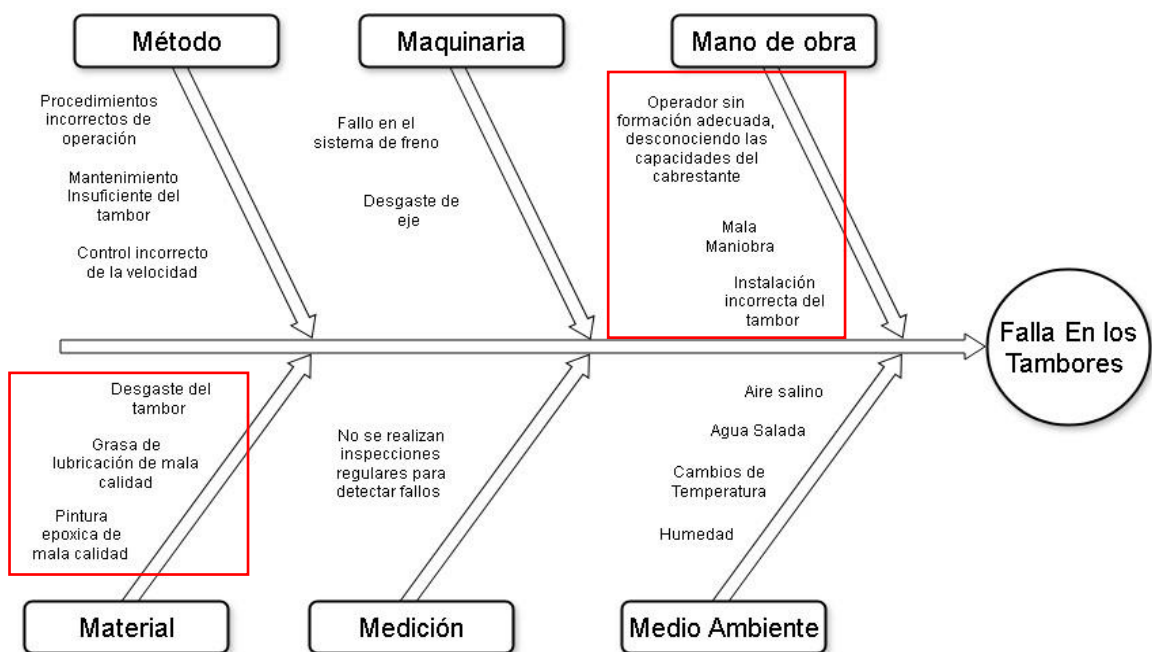


Ilustración 2-18.-Diagrama de Ishikawa

Fuente: Elaboración propia

Análisis

Los problemas principales están relacionados con:

- ✓ Lubricación de mala calidad

El análisis realizado reveló que el lubricante utilizado, no corresponde al recomendado por el manual del cabrestante. Como consecuencia, se ha producido un desgaste prematuro del tambor. Además, se observó, que el procedimiento de la lubricación en los puntos de engrase, no se está llevando a cabo de manera adecuada, lo que agrava el problema.

✓ Pintura epóxica

Se encontró que la pintura aplicada no cumple con los requisitos necesarios para operar en un ambiente marino, según las especificaciones del cabrestante. Esto ha causado la aparición de corrosión y desgaste en el tambor.

✓ Falta de capacitación

El análisis también indicó que los operadores no cuentan con los conocimientos necesarios sobre el funcionamiento del cabrestante. Esto ha llevado a un uso incorrecto del equipo, la realización de maniobras inadecuadas y a la sobrecarga del sistema, lo que ha acelerado el desgaste y ocasionando daños en el tambor.

CAPÍTULO 3: SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

3. **SOLUCIÓN DEL PROBLEMA**

3.1 **PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL**

Como se mencionó anteriormente, el cabrestante tiene un mantenimiento programado cada dos años, durante el cual se realiza un overhaul completo. Además, cuenta con un mantenimiento preventivo antes de llegar a dique, que incluye diversas inspecciones y tareas para garantizar su funcionamiento seguro. Este mantenimiento preventivo, que podría considerarse un mini overhaul, se realiza cada seis meses y abarca las siguientes tareas:

Revisión visual semestral de los siguientes componentes:

- ✓ Estructura
- ✓ Cables
- ✓ Componentes del cabrestante
- ✓ Lubricación
- ✓ Sistema hidráulico
- ✓ Motor

Pruebas de funcionamiento:

- ✓ Se realizan regularmente para comprobar que el sistema operativo del cabrestante esté en condiciones óptimas. Esto incluye las pruebas de subida y bajada del ancla, asegurándose de que el mecanismo se encuentre completamente funcional.

Por otro lado, el cabrestante sigue un programa de lubricación especificado en su manual, el cual indica que se debe engrasar cada dos semanas todas las graseras interiores (ubicadas en el interior del cabrestante) y cada cuatro semanas las partes externas (ubicadas en los extremos del cabrestante).

3.2 **COMO SE SOLUCIONARÁ EL PROBLEMA**

A partir de los datos obtenidos del análisis del cabrestante hidráulico de anclaje marino y su componente tambor, así como del diagrama de Ishikawa realizado, se han identificado diversas áreas críticas que afectan el funcionamiento y la eficiencia del equipo. con el objetivo de optimizar su operatividad y prolongar su vida útil, se proponen las siguientes soluciones:

3.2.1 Lubricación de mala calidad

Se tomará como referencia Lubrax Multipurpose EP2 (no especificada en el manual) y Mobilgrease XHP 222 (especificada en el manual) las cuales son adecuadas para cabrestantes hidráulicos de anclaje marino:

Tabla 3-1.- Tabla de comparación de grasas

Especificación	Grasa Lubrax Multipurpose EP2 (no recomendada)	Grasa Mobilgrease XHP 222 (Recomendada)
Tipo de grasa	Multipropósito	Específica para cabrestantes
Viscosidad	Baja	Alta
Temperatura de trabajo	-10°C a 120°C	-20°C a 150°C
Estabilidad al agua	Baja	Alta
Capacidad de carga	Media	Alta
Aplicaciones recomendadas	Maquinaria industrial, cabrestantes, rodamientos	Cabrestantes, sistemas de transmisión, maquinaria marina
Capacidad de carga de presión	Buena capacidad para soportar cargas moderadas	Excelente capacidad para cargas extremas, especialmente en condiciones marinas
Adecuación para condiciones extremas	Adecuada para condiciones de humedad moderada	Excelente para condiciones de alta presión y humedad

Fuente: Elaboración propia

Si el cabrestante opera bajo condiciones severas (como altas cargas, temperaturas extremas y exposición al agua de mar), la Mobil XHP 222 sería la opción más adecuada debido a sus mejores propiedades de resistencia al agua y su capacidad para soportar mayores temperaturas y cargas.

3.2.2 Pintura epóxica de baja calidad

Se tomará como referencia dos pinturas epóxicas, la actualmente utilizada en esta empresa, con denominación Jolten Epoxi y la recomendada por catálogo del cabrestante analizado denominada International Intershield 300 (una opción comúnmente recomendada para aplicaciones marinas, como embarcaciones y equipos expuestos al agua).

Tabla 3-2.-Tabla de comparación de pinturas epóxicas

Especificación	Jolten Epoxi (no recomendada)	International Intershield 300 (Recomendada)
Tipo de pintura	Epóxica genérica	Epóxica marina de alto rendimiento
Resistencia a la corrosión	Baja	Alta
Durabilidad	Media	Alta
Tiempo de secado	Lento	Rápido
Aplicaciones	General	Específica para cabrestante y maquinaria
Resistencia al agua	Buena resistencia al agua y la corrosión	Excelente resistencia al agua
Vida útil del producto	12 meses	12 meses
Resistencia a la abrasión	Buena, resistente a desgaste moderado	Excelente, alta resistencia a la abrasión marina
Propiedades anticorrosivas	Contiene aditivos anticorrosivos, buena protección	Contiene aditivos anticorrosivos de alto rendimiento
Durabilidad	Buena, con mantenimiento adecuado	Excelente, ideal para entornos marinos

Fuente: Elaboración propia

Si el equipo está expuesto a ambientes marinos (agua salada, alta humedad, aire salino) y requiere una protección robusta contra la corrosión y el desgaste, la International Intershield 300 es la opción más adecuada debido a su formulación avanzada para el entorno marino.

3.2.3 Falta de capacitación

Se propone implementar un programa de capacitación para los operadores, a partir de empresas como: Camport (Cámara marítima y portuaria de Chile), IMC (Instituto Marítimo de Chile), Escuela Naval Arturo Prat, DIRECTEMAR, Puerto de Valparaíso, Puerto de San Antonio, entre otras.

Se hará un convenio con el trabajador para que pueda aprender los contenidos de estas capacitaciones (Teoría, Práctica y seguridad) se hará de forma mixta (teoría online y práctica presencial), como se suele estar embarcado por periodos de 1 a 2 meses y descansar el mismo tiempo en tierra (generalmente depende de las condiciones del contrato), estas capacitaciones se harán en su tiempo de descanso con una compensación económica, después de conseguir la certificación (dependiendo de una evaluación continua por 2 años) por mantener el cabrestante en óptimas condiciones.

Por lo mencionado anteriormente es importante tratar las siguientes temáticas:

- ✓ Normas de seguridad en el manejo de equipos hidráulicos.
- ✓ Importancia del engrase en el funcionamiento del cabrestante.
- ✓ Tipos de grasas recomendadas (como Mobil) y su aplicación.
- ✓ Frecuencia de engrase y puntos críticos a lubricar.
- ✓ Inspecciones diarias y semanales: qué revisar y cómo hacerlo.
- ✓ Limpieza de componentes y mantenimiento de partes móviles.
- ✓ Verificación de niveles de aceite y condiciones de la cadena/cabos.
- ✓ Identificación de fallas comunes y sus causas.
- ✓ Procedimientos para reparaciones menores.
- ✓ Cuándo y cómo notificar problemas a un supervisor.

Estas soluciones permitirán abordar los problemas identificados, mejorando la eficiencia del cabrestante y reduciendo costos asociados a reparaciones y tiempos de inactividad.

3.2.4 Plan de Mantenimiento Preventivo

El objetivo de este plan de mantenimiento es reducir significativamente los tiempos de inactividad y aumentar la vida útil de estos componentes críticos que afectan en el funcionamiento óptimo del cabrestante hidráulico de anclaje.

- ✓ Tambores

El segundo ingeniero, como parte del mantenimiento preventivo, supervisará y realizará inspecciones técnicas del equipo y sus sistemas, asegurando que se mantengan en condiciones óptimas de funcionamiento.

El operador de cabrestante, por su parte, tiene la responsabilidad directa de monitorear y operar el cabrestante del barco. En este plan de mantenimiento, su labor incluirá la inspección visual del tambor y la cuerda de amarre, así como la verificación del alineamiento y el funcionamiento adecuado del sistema.

Finalmente, el técnico de mantenimiento será responsable de llevar a cabo las tareas específicas de reparación y ajuste de los sistemas. Además, tendrá a su cargo la elaboración de los registros de mantenimiento detallados, permitiendo un seguimiento adecuado de las intervenciones realizadas.

Tabla 3-3.-Plan de mantenimiento preventivo

Frecuencia	Actividad	Ejecutor	Descripcion del mantenimiento
Mensual	Inspección visual	Operador del cabrestante	Verificar visualmente que no haya grietas, fisuras, desgaste, corrosión o daños en el tambor. Comprobar la limpieza de la superficie del tambor.
Trimestral	Comprobación de alineamiento	Técnico de mantenimiento	Verificar que el tambor este correctamente alineado con el sistema de transmisión
Trimestral	Comprobación de la cuerda de amarre	Técnico de mantenimiento	Revisar la cuerda que pasa por el tambor, buscando posibles torceduras, daños o desgastes.
Mensual	Revisión de los encapilladores	Técnico de mantenimiento	Verificar el funcionamiento del encapillador que acciona el tambor. Asegurandose de que no haya desgaste.
Semestral	Monitoreo de vibraciones	Segundo ingeniero	Identificar cualquier anomalía que pueda indicar un posible desgaste o fallo.
Semestral	Termografía infrarroja	Segundo ingeniero	Inspeccionar los puntos calientes del cabrestante.

Fuente: Elaboración propia

✓ Registro del mantenimiento realizado:

Tabla 3-4.- Registro del mantenimiento

Mantener un registro detallado de cada actividad realizada	Este registro debe incluir: Fecha y hora de la intervención Tipo de mantenimiento realizado Resultado de las inspecciones
--	--

Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Plan de mantenimiento predictivo

La implementación de herramientas de monitoreo para detectar problemas antes de que se conviertan en fallas es fundamental para reducir el tiempo de inactividad no planificada.

Monitoreo de vibraciones: una frecuencia de 6 meses, utilizar sensores de vibración en la bomba hidráulica y descansos del cabrestante para identificar cualquier anomalía que pueda indicar un posible desgaste o fallo.

Análisis de aceite: una frecuencia de cada dos años, para realizar un análisis de aceite hidráulico para detectar residuos, partículas metálicas o desgaste de los componentes internos de la bomba.

Termografía infrarroja: una frecuencia de 6 meses, para utilizar cámaras termográficas para inspeccionar los puntos calientes del cabrestante.

3.3 GESTIÓN DE REPUESTOS

Una parte importante del mantenimiento es tener un inventario adecuado de repuestos para reducir el tiempo de inactividad por falta de piezas. Es recomendable tener repuestos de los componentes más críticos como:

Tabla 3.5.- Repuestos

Respuesto	Cantidad
Grasa Mobilgrease XHP 222 16kg	2
Pintura Epóxica International Intershield 300 14Lts	1
Balatas en rollos de 10mmx100mmx10m	3
Bujes de bronce	4
Filtros Hidráulicos	4
Mangueras Hidráulicas	5
Conectores Hidráulicos	4
Aceite Hidráulico Shell Tellus S2 Vx 210 Lts	2
Mando Hidráulico	1

Fuente: Elaboración propia

3.4 **REGISTRO DEL MANTENIMIENTO**

Es crucial llevar un registro detallado de las inspecciones, actividades, piezas reemplazadas y cualquier anomalía detectada. Con un checklist basado en un plan de mantenimiento preventivo y predictivo nos permitirá tener un control sistemático y organizado sobre el mantenimiento de los componentes del cabrestante hidráulico de anclaje.

3.4.1 **Checklist Tambores**

La siguiente tabla tiene como objetivo registrar todas las actividades de mantenimiento preventivo y de inspección realizadas al cabrestante con el fin de asegurar su funcionamiento óptimo y prevenir posibles fallas.

Cada tarea debe ser completada según la frecuencia establecida, su cumplimiento será validado por el responsable asignado (Segundo Ingeniero/ Técnico de mantenimiento / Operador de cabrestante).

Tabla 3-6.- Checklist de los tambores

Numero de OT								
Fecha (DD/MM/AAA A)	hora	Tarea	Frecuencia	Completado (✓/✗)	Firma del responsable	Piezas reemplazadas	Acciones realizadas	Condicion Final
		Inspección visual	Mensual y antes de utilizar el cabrestante					
		Comprobación de alineamiento	Trimestral					
		Comprobación de la cuerda de amarre	Trimestral y Después de uso intenso del sistema de amarre					
		Revisión de los encapilladores	Mensual y Antes de utilizar el cabrestante					
		Monitoreo de vibraciones	Semestral					
		Termografía infrarroja	Semestral					

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN ECONÓMICA

4. EVALUACIÓN ECONÓMICA

4.1 PERDIDA POR REPARACIÓN

Se tendrá en cuenta que el barco genera \$ 10.000.000 diarios y estuvo inactivo 10 días. El valor de la reparación del tambor, cotizado por la empresa externa Imattex Ingeniería y construcción, fue de \$750.000.

Tabla 4-1.- Pérdida de costo

Pérdida de ingresos por inactividad	\$100.000.000
Costo de reparación total	\$750.000
Rellenado con soldadura	\$300.000
Mecanizado en torno	\$250.000
Mano de obra	\$100.000
Materiales	\$ 50.000
Transporte y logística	\$ 50.000
Costo Total de la falla	\$100.750.000

Fuente: Elaboración propia

4.2 ANÁLISIS DE COSTOS

Una evaluación económica, permite visualizar de mejor manera si el plan de mantenimiento es conveniente ejecutarlo desde el punto de vista financiero. Se contemplará en esta evaluación los precios de mano de obra por horas de cada trabajador involucrado en las actividades a desarrollar del plan de mantenimiento.

4.2.1 Costo del Personal involucrado

Se tendrá en cuenta el valor de mano de obra por hora, del personal involucrado, ya sea operador del cabrestante, técnico mecánico y segundo ingeniero.

Tabla 4-2.- Costo del personal

Empleado	Salario Mensual	Costo (H/H)
Operador del Cabrestante	\$ 800.000	\$5.000
Técnico de Mantenimiento	\$ 1.200.000	\$7.500
Segundo Ingeniero	\$ 2.000.000	\$12.500

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Costo del Plan de Mantenimiento

Tabla 4-3.- Costo del plan de mantenimiento

Frecuencia	Actividad	Ejecutor	Tiempo de ejecución	Valor H/H	N° de trabajos anuales	Total
Mensual	Inspección visual	Operador del cabrestante	2	\$5.000	12	\$120.000
Mensual	Comprobación del alineamiento	Técnico de mantenimiento	2	\$7.500	12	\$180.000
Trimestral	Comprobación de la cuerda de amarre	Técnico de mantenimiento	4	\$7.500	4	\$120.000
Mensual	Revisión de los encapilladores	Técnico de mantenimiento	1	\$7.500	12	\$ 90.000
Semestral	Monitoreo de vibraciones	Segundo Ingeniero	4	\$12.500	2	\$100.000
semestral	Termografía infrarroja	Segundo ingeniero	4	\$12.500	2	\$100.000
Total						\$710.000

Fuente: Elaboración propia

Este tipo de costo se enfoca en la frecuencia de intervenciones anuales que conlleva cada inspección, comprobación, revisión del cabrestante hidráulico de anclaje donde nos da un costo total de \$ 710.000 anuales.

4.2.3 Costo de los insumos y repuestos

Tabla 4-5.- Valores de los insumos y repuestos

Respuesto	Valor (c/u)	Cantidad	Total
Grasa Mobilgrease XHP 222 16kg	\$146.000	2	\$292.000
Pintura Epóxica International Intershield 300 14Lts	\$400.000	1	\$400.000
Mando Hidráulico	\$600.000	1	\$600.000
Balatas en rollos de 10mmx100mmx10m	\$106.000	3	\$318.000
Bujes de bronce	\$100.000	4	\$400.000
Filtros Hidráulicos	\$60.000	4	\$240.000
Mangueras Hidráulicas	\$30.000	5	\$150.000
Conectores Hidráulicos	\$100.000	4	\$400.000
Aceite Hidráulico Shell Tellus S2 Vx 210 Lts	\$900.000	2	\$1.800.000
Análisis de Aceite	\$150.000	1	\$150.000
Camara Termográfica para celular Ht-201	\$400.000	2	\$800.000
Total			\$5.550.000

Fuente: Elaboración propia

4.2.4 Costo de capacitaciones

Tabla 4-6.- Valor de las Capacitaciones

	Valor (c/u)	Cantidad (trabajadores)	Total
Capacitación	\$600.000	6	\$3.600.000
Curso de vibraciones	\$600.000	2	\$1.200.000
Total			\$4.800.000

Fuente: Elaboración propia

4.2.5 Costo total

Tabla 4-7.- Costo Total

Costo Total	
Plan de mantenimiento	\$1.420.000
Insumos y inventario	\$5.550.000
Capacitaciones	\$4.800.000
Total	\$11.770.000

Fuente: Elaboración propia

4.3 **COSTO VS PÉRDIDA**

Costo total en dos años de intervenciones del mantenimiento preventivo y predictivo, además de los insumos, inventario y capacitaciones: \$11.770.000

Costo total de la falla (Perdidas por inactividad + reparación): \$100.750.000

- ✓ Beneficio de realizar el Plan de mantenimiento

El costo total de llevar a cabo la propuesta de mantenimiento (\$11.770.000) es significativamente más bajo que el costo de una posible falla del tambor (\$100.750.000). Si no se realiza el mantenimiento preventivo y predictivo, antes de que ocurra otra falla, las pérdidas pueden ser enormes, tanto en términos de la pérdida de ingresos por inactividad como de los costos de reparación.

- ✓ Beneficio de evitar otra posible falla en el tambor = \$100.750.000 (costo de falla)
- \$11.770.000 (Plan de mantenimiento) = \$87.168.000

Conclusión

Según el análisis económico, el costo de implementar el plan de mantenimiento propuesto (\$11.770.000) es mucho menor que el costo de una posible falla del tambor (\$100.750.000). Por lo tanto, la inversión en un mantenimiento adecuado no solo previene pérdidas significativas, sino que también resulta financieramente rentable. Esta inversión es crucial para evitar costos mucho mayores en el futuro.

CONCLUSIÓN

Gracias al estudio realizado, se pudo identificar de forma más clara, cual es el tipo de mantenimiento adecuado para poder implementar en el cabrestante hidráulico de anclaje marino. La identificación de los distintos tipos de mantenimiento deja en claro que la alternativa más correcta para disminuir los tiempos de inactividad del cabrestante y mejorar su disponibilidad es el mantenimiento preventivo y predictivo. De acuerdo con el análisis, este tipo de mantenimiento mejora la disponibilidad, la vida útil, la eficiencia, evita los tiempos de inactividad y los elevados costos por fallas imprevista del equipo.

La evaluación económica nos muestra que el costo anual del mantenimiento preventivo es solo una fracción del costo de la falla, por ende, es evidente que, al realizar las actividades de mantenimiento propuestas es altamente beneficioso e importante para evitar pérdidas millonarias en caso de que ocurra otro incidente.

Por otro lado, este plan está acompañado de su evaluación económica en pesos chilenos, que nos permite contextualizar de mejor manera el costo asociado a la realización del mantenimiento preventivo y predictivo.

BIBLIOGRAFÍA

Evolución del mantenimiento. Obtenido de:

Gabriel Mancuzo. (2020). Evolución del mantenimiento: Historia y Actualidad

Basado en Hechos reales. (Sin Fecha). Hechos históricos del mantenimiento industrial. Basado en hechos reales. <<https://basadoenhechosreales.com.ar/hechos-historicos-del-mantenimiento-industrial/>>

Cabrestante. Obtenido de:

Enrique Millán. Winches, Cabrestante, Pluma de Carga y Grúas. (11 de febrero del 2022) <<https://www.studocu.com/latam/document/universidad-maritima-del-caribe/maquinas-y-equipos-marinos/winche-equipos-de-atraque-de-un-buque/25312438>>.

Ellsen Marine Winches. (Sin fecha). Winches Marinos. Ellsen marine. <<https://ellsenmarinewinches.com/es/amp/>>

Ellsen Marine Winches. (Sin fecha). Cabrestante de ancla. Ellsen Marine Winches. <<https://ellsenmarinewinches.com/es/anchor-winch/amp/>>

Aircranel lifting Solution. (Sin fecha). ¿Como funciona un cabrestante para barcos? Aircranel Lifting Solution. <<https://aircaneliftingsolution.com/es/winch/how-does-a-boat-winch-work/#:~:text=Un%20cabrestante%20para%20barcos%20es,fondeo%20y%20mantenimiento%20de%20embarcaciones>>

Aicrane Machine. (Sin fecha). Cabrestante Marino. Aicrane Machine. <<https://aicranemachine.com/es/winch/marine-winch/>>

Hisea Marine. (Sin fecha.) La diferencia entre Windlass marino y cabrestante de amarre. Hisea marine. <<https://en.hiseamarine.com/products/the-difference-between-marine-anchor-windlass-and-mooring-winch.html>>

Maniobra de fondeo. Obtenido de:

Foro naval. (22 de octubre del 2023). Fondeo de los buques. Foro Naval. <<https://foronaval.com/2023/10/22/fondeo-de-los-buques/>>

Sail and trip. (Sin fecha). Maniobra de fondeo. Sail and Trip. <<https://sailandtrip.com/maniobra-de-fondeo/>>