Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Estudio sobre la implementación de las tecnologías 4.0 en el mantenimiento de sistemas de un barco

Autor: Luis Galnares Guillén

Tutor: Antonio Jesus Sanchez Herguedas

Tutor: Antonio Jesús Guillén López

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas I
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2024

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Estudio sobre la implementación de las tecnologías 4.0 en el mantenimiento de sistemas de un barco

Autor:

Luis Galnares Guillén

Tutor:

Antonio Jesus Sanchez Herguedas

Profesor Titular

Tutor:

Antonio Jesus Guillén López

Profesor Asociado

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas I

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad

de Sevilla

Sevilla, 2024

Trabajo Fin de Grado: Estudio sobre la implementación de las tecnologías 4.0 en el mantenimiento de sistemas de un barco

Autor: Luis Galnares Guillén
Tutor: Antonio Jesus Sanchez Herguedas
Cotutor: Antonio Jesus Guillén López

El tribunal nombrado para juzgar el trabajo arriba indicado, compuesto por los siguientes profesores:

Presidente:

Vocal/es:

Secretario:

acuerdan otorgarle la calificación de:

El Secretario del Tribunal

Fecha:

Agradecimientos

A mi familia, en especial a mis padres, por aportarme todos los medios para mi desarrollo profesional y apoyarme siempre en mis decisiones a lo largo de mi vida de estudiante.

A mis tutores, por la paciencia y el apoyo constante.

Luis Galnares Guillén

Sevilla, 2024

Resumen

Las tecnologías de la Información y la Comunicación avanzan a pasos agigantados y la humanidad debe contextualizar esto para hacer los procesos más eficientes, como es el caso del mantenimiento del transporte marítimo. Cabe resaltar que este tipo de transporte es muy importante para las economías pues manejan la cadena de suministros. Este trabajo de investigación tuvo como objetivo principal analizar el contexto del mantenimiento 4.0, la situación actual en cuanto a la aplicación de estos sistemas de mantenimiento en los sistemas técnicos de barcos de recreo, y como implementarlo de forma satisfactoria. Para ello, el estudio se orientó metodológicamente en una investigación documental usando como técnicas la observación documental y el fichaje consultando diversos textos, investigaciones y papers sobre el tema. Entre las conclusiones del estudio se tiene que la inteligencia artificial y el mantenimiento 4.0 están revolucionando la forma en que se lleva a cabo el mantenimiento en la industria. Estas tecnologías permiten un enfoque más predictivo y proactivo, lo que resulta en una mayor eficiencia, reducción de costos y tiempos de inactividad no planificados. La combinación de la IA, el IoT y el análisis de datos crea sistemas de mantenimiento inteligente y conectado que están transformando la industria y abriendo nuevas oportunidades para mejorar la productividad y la competitividad.

Palabras clave: Mantenimiento, Mantenimiento 4.0, Inteligencia artificial, análisis de datos.

Abstract

Information and communication technologies are advancing by leaps and bounds and humanity must contextualize this to make processes, such as the maintenance of maritime transport, more efficient. It should be noted that this type of transport is very important for economies as they manage the supply chain. This research work had as main objective to analyze the context of maintenance 4.0, the current situation regarding the application of these maintenance systems in the technical systems of recreational boats, and how to implement it satisfactorily. For this, the study was methodologically oriented in a documentary investigation using observation and documentary recording as techniques, consulting various texts, investigations and works on the subject. Among the conclusions of the study is that artificial intelligence and maintenance 4.0 are revolutionizing the way maintenance is carried out in the industry. These technologies enable a more predictive and proactive approach, resulting in increased efficiency, reduced costs, and unplanned downtime. The combination of AI, IoT and data analytics creates intelligent and connected maintenance systems that are transforming the industry and opening up new opportunities to improve productivity and competitiveness. Keywords: Maintenance, Maintenance 4.0, artificial intelligence, data analysis.

Keywords: Maintenance, Maintenance 4.0, artificial intelligence, data analysis

Objeto

El objeto principal de esta investigación se centra en analizar el mantenimiento 4.0 y estudiar las posibles líneas de modernización del mantenimiento de un barco en este contexto.

Partiendo de este objetivo principal pasaremos por una serie de objetivos parciales para ayudar al entendimiento de este objetivo principal. Haremos una descripción de lo que es el mantenimiento en general. Analizaremos los sistemas principales de un barco, siendo conscientes de que existe una gran variedad de sistemas en un barco, y su criticidad. Haremos una revisión de las tecnologías 4.0 y la utilización de estas en el mantenimiento de barcos.

Índice

Resumen III
Abstract V
Objeto VII

1 Introducción 1
1.1 Revoluciones Industriales 2
1.1.1 Primera Revolución Industrial 2
1.1.2 Segunda Revolución Industrial 3
1.1.3 Tercera Revolución Industrial 4
1.1.4 Cuarta Revolución Industrial 5

2 El mantenimiento en lineas generales 7
2.1 Conceptos del Mantenimiento 7
2.1.1 Fallo o Avería 7
2.1.2 Fiabilidad 8
2.1.3 Disponibilidad 8
2.2 Tipos de Mantenimiento 10
2.3 Indicadores básicos de Mantenimiento. El cuadro de mando integral 13
2.4 Mantenimiento llevado a cabo en un barco 14

3 Descripción de los sistemas del barco y sus fallos más comunes 17
3.1 Sistema de propulsión 17
3.2 Sistema de suministro de combustible para motor y generadores 19
3.3 Sistema Electrico 20
3.4 Sistema Hidráulico 21
3.5 Sistema de Hélice de Proa 22
3.6 Sistema de Agua a Presión 23
3.7 Sistema de Gobierno 23

4 Criticidad de los Sistemas **25**
4.1 Técnicas de análisis de criticidad 25
4.1.1 Método del flujograma de análisis de criticidad (CUALITATIVO) 26
4.1.2 Modelo de criticidad semicuantitativo “MCR” (Matriz de criticidad por riesgo) 28
4.1.3 Método del análisis de criticidad (cualitativo) aplicada a los sistemas del barco 30

5 El Mantenimiento 4.0 **35**
5.1 Tecnologías 4.0 35
5.1.1 La Inteligencia Artificial 36
5.1.2 La Realidad Aumentada 37
5.1.3 Cloud Computing 37
5.1.4 Internet de las cosas (Internet of Things, IoT) 38
5.1.5 Big Data 41

6 Implantación del Mantenimiento 4.0 en los barcos **43**
6.1 Técnicas 4.0 existentes aplicadas a los barcos 45
6.2 Desafíos en la implementación del mantenimiento 4.0 en barcos y posibles lineas de modernización 46

7 Conclusiones **49**

Índice de Figuras 51
Bibliografía 53

1 Introducción

El mantenimiento es una dimensión omnipresente en todas las esferas de la industria, siendo un requisito para el óptimo funcionamiento de cualquier sistema. Diferentes sistemas demandan enfoques de mantenimiento variados, desde procesos simples y rápidos hasta aquellos que destinan una significativa proporción de su vida útil a actividades de mantenimiento. Esta realidad impulsa la búsqueda de métodos que faciliten y agilicen dichos procesos, surgiendo así los sistemas de mantenimiento 4.0.

El mantenimiento 4.0 representa la materialización de una nueva revolución, enmarcada en la denominada cuarta revolución industrial.

Esta corriente fusiona técnicas avanzadas de producción con sistemas inteligentes que se integran armoniosamente en las organizaciones y las funciones desempeñadas por los individuos. La Industria 4.0 consiste en la implantación de una red tecnológica de producción inteligente, para que máquinas, dispositivos y sistemas colaboren. La digitalización del mundo de la producción a través de tecnologías como la computación en la nube, el Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial se está extendiendo a todos los niveles organizativos, desde el diseño y la fabricación hasta las compras y el mantenimiento. La implementación de tecnologías 4.0 en el mantenimiento de sistemas de barcos es una tendencia creciente en la industria marítima.

En este sentido, la implementación de estas tecnologías en el mantenimiento de sistemas de barcos puede mejorar la eficiencia operativa, reducir los costos de mantenimiento y aumentar la seguridad. Algunas de las tecnologías 4.0 que se están utilizando en el mantenimiento de sistemas de barcos incluyen la computación en la nube, el IoT y la inteligencia artificial. La optimización del mantenimiento en barcos utilizando tecnologías 4.0 es un tema de investigación en la actualidad. Es importante conocer los conceptos básicos sobre el mantenimiento industrial y los diferentes tipos de mantenimiento para poder modernizar el mantenimiento de un barco en el contexto de la Industria 4.0.

Con una mirada orientada hacia esta vertiente revolucionaria, nos enfocaremos en el análisis del mantenimiento 4.0 en la industria naval, con énfasis en su aplicación en embarcaciones.

No obstante, antes de detallar en el contexto de esta revolución, resulta esencial contextualizarla a través de una breve exploración de las revoluciones industriales previas, comenzando por la primera revolución industrial.

1.1 Revoluciones Industriales

1.1.1 Primera Revolución Industrial

Se inició en Inglaterra durante la segunda mitad del siglo XVIII, siendo uno de los eventos más decisivos de la historia de la humanidad. Su impacto se extendió a todos los ámbitos de la sociedad y supuso la ruptura de las estructuras socioeconómicas existentes hasta el momento. (Gill, 2019)

Este mismo autor destaca que el coste de la mano de obra en Inglaterra era relativamente elevado. En comparación con el coste de la energía, ya que Inglaterra contaba con abundantes reservas de carbón fácilmente accesibles, y el coste del capital. El éxito del comercio colonial inglés había permitido que Londres se convirtiera en un centro económico extraordinariamente dinámico, lo que presionó los salarios al alza. Estas condiciones incentivaron la adopción de nuevas tecnologías que ahorraban mano de obra, lo que hacía rentable la inversión en innovación. (Gill, 2019)

De esta forma, se daban las condiciones perfectas llevar a cabo este rápido cambio industrial, que fue trasladándose al resto de Europa y del mundo. España se quedó en gran medida al margen de esta primera revolución industrial, aunque si se vieron ciertos cambios en partes del norte de España como País Vasco o Asturias.

Entre las principales características de esta primera revolución industrial se puede destacar:

- La producción industrial a gran escala, especialmente de alimentos.

- El dominio de la burguesía sobre la economía y la política, sustituyendo el poder absoluto de la nobleza y dando origen a la clase social del proletariado.

- El carbón como principal combustible.

- El aceleramiento de las comunicaciones y de los transportes.

- La mecanización y el sistema fabril (producción en serie)

Entre los inventos de este periodo, podemos destacar los siguientes.

- La máquina de hilar, inventada por Richard Arkwright y John Kay, que ayudo a mecanizar la industria textil.

- James Watt inventó la máquina de vapor para otorgar fuerza mecánica a la industria.

- El barco de vapor inventado por Robert Fulton facilitando el transporte.

- George Stephenson aplicó la máquina de vapor a los ferrocarriles, de esta manera también se conseguía un gran avance en el transporte.

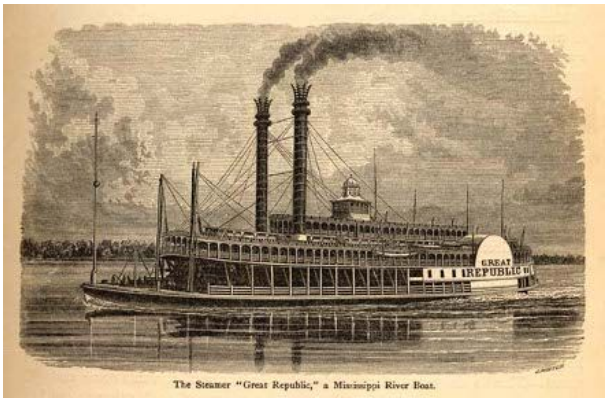

Figura 1.1 El barco de vapor.

1.1.2 Segunda Revolución Industrial

De acuerdo con Mosconi (2015) la Segunda Revolución Industrial, un período de transformación tecnológica y económica, se desarrolló en la segunda mitad del siglo XIX. A diferencia de su predecesora, esta revolución se caracterizó por un mayor avance en la producción industrial y el surgimiento de nuevos sistemas de energía.

Durante este período, se consolidó el uso del acero y el petróleo como fuentes de energía fundamentales, desplazando en gran medida al carbón. La disponibilidad de acero impulsó la fabricación de maquinaria más resistente y eficiente, mientras que el petróleo proporcionó un recurso versátil para la generación de energía y el desarrollo de nuevos medios de transporte.

Una de las innovaciones clave de la Segunda Revolución Industrial fue la electricidad. Gracias a los trabajos de inventores como Thomas Edison y Nikola Tesla, la electricidad se convirtió en un recurso de gran importancia para la industria y la vida cotidiana. Esto permitió la creación de sistemas eléctricos para iluminación, transporte y maquinaria, impulsando aún más la producción en masa. (Mosconi, 2015)

Además, la Segunda Revolución Industrial vio el auge de las líneas de ensamblaje y la producción en serie. La implementación de estas técnicas, iniciadas por Henry Ford en su fábrica de automóviles, optimizó los procesos de fabricación y permitió una mayor eficiencia en la producción de bienes.

Otro elemento distintivo de esta revolución fue el auge de las comunicaciones y el transporte.

El teléfono, inventado por Alexander Graham Bell, revolucionó las formas de comunicación a distancia. A su vez, el transporte experimentó un gran avance con la expansión de redes ferroviarias a nivel mundial, proporcionando una conexión más rápida y eficiente entre diferentes regiones. (Mosconi, 2015)

1.1.3 Tercera Revolución Industrial

La Tercera Revolución Industrial, también conocida como la Revolución Digital o Revolución Tecnológica, tuvo lugar a partir de mediados del siglo XX. Esta fase de transformación se caracterizó por la rápida adopción y expansión de tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), lo que llevó a una automatización y digitalización generalizada de la producción y la sociedad. (Kopacek, 2019).

Un elemento fundamental de esta revolución fue el desarrollo de los ordenadores y la informática. La invención del transistor y la posterior creación de los circuitos integrados permitieron la miniaturización de los ordenadores, facilitando su uso en diversas aplicaciones industriales y comerciales. Los sistemas de información y los programas informáticos se convirtieron en herramientas esenciales para la gestión de procesos, la toma de decisiones y la optimización de operaciones en todas las industrias.

Otra característica clave de la Tercera Revolución Industrial fue el advenimiento de Internet. La creación de la World Wide Web en la década de 1990 revolucionó la forma en que las personas se comunican, acceden a la información y realizan negocios. La conectividad global abrió un mundo de oportunidades para el comercio electrónico, la colaboración en línea y la transferencia instantánea de datos, revolucionando la forma en que se llevan a cabo las actividades económicas. (Kopacek, 2019).

Asimismo, la automatización y la robótica se convirtieron en pilares esenciales de esta revolución. Los robots industriales se implementaron ampliamente en la fabricación, permitiendo una mayor eficiencia y precisión en los procesos de producción. La inteligencia artificial (IA) también desempeñó un papel significativo, ya que los algoritmos avanzados y el aprendizaje automático permitieron la automatización de tareas complejas y la toma de decisiones inteligentes en diversas áreas.

La Tercera Revolución Industrial dio paso a la digitalización de la economía y la sociedad, transformando la forma en que interactuamos, trabajamos y vivimos. La convergencia de la electrónica, las TIC y la automatización revolucionó la producción y la distribución de bienes y servicios, dando lugar a nuevas oportunidades de negocio y una mayor eficiencia en los procesos productivos.

1.1.4 Cuarta Revolución Industrial

La Cuarta Revolución Industrial, también conocida como Industria 4.0, representa una etapa de transformación tecnológica sin precedentes que ha venido desarrollándose a partir de la última década del siglo XX. Esta revolución se caracteriza por la convergencia de tecnologías avanzadas, tales como la inteligencia artificial, el Internet de las cosas (IoT), la robótica, el big data y la realidad aumentada, entre otras.

En la Industria 4.0, los sistemas físicos y digitales se integran de manera interactiva, permitiendo la creación de fábricas inteligentes y sistemas productivos altamente automatizados y conectados. La digitalización se extiende a todas las áreas de la industria, desde la planificación y producción hasta la logística y el mantenimiento. (Bado, Tonelli, Poli, Zonta y Casas, 2022)

El Internet de las cosas es un pilar fundamental de esta revolución, ya que permite la interconexión y comunicación entre máquinas, equipos y sensores. Los datos generados por estos dispositivos se utilizan para tomar decisiones en tiempo real, optimizar procesos y predecir posibles fallos, lo que impulsa el mantenimiento predictivo y la eficiencia operativa.

La inteligencia artificial y el aprendizaje automático tienen un papel crucial en la Cuarta Revolución Industrial. Los algoritmos avanzados permiten a las máquinas analizar grandes volúmenes de datos y aprender de ellos, lo que conduce a una mayor automatización de tareas y procesos, así como a una toma de decisiones más precisa y eficiente.

La robótica también ha evolucionado significativamente en esta era. Los robots colaborativos y autónomos trabajan junto a los seres humanos en entornos de producción, mejorando la seguridad y la productividad. La automatización de tareas repetitivas y peligrosas permite a los trabajadores centrarse en actividades de mayor valor añadido.

La realidad aumentada y virtual ofrecen nuevas formas de interactuar con la información y el entorno de trabajo. Estas tecnologías se aplican en la formación de trabajadores, la asistencia en tareas de mantenimiento y la visualización de datos en tiempo real.

A este respecto, Karimi, Fada, Parrilla, Pierce, Koyutürk, French y Braid (2020) señalan que la Cuarta Revolución Industrial está transformando profundamente la industria y la sociedad. Las empresas que adoptan estas tecnologías obtienen ventajas competitivas significativas, al mejorar su eficiencia, flexibilidad y capacidad de adaptación a los cambios del mercado.

En conclusión, la Cuarta Revolución Industrial representa un cambio de paradigma en la forma en que se concibe y se lleva a cabo la producción y la operación de sistemas industriales. La convergencia de tecnologías avanzadas ha dado lugar a una nueva era de automatización, interconexión y digitalización, que impacta positivamente en la productividad, la sostenibilidad y la calidad de vida en el mundo actual.

2 El mantenimiento en lineas generales

De acuerdo con Santos, Silva, Ramos, Campilho y Ferreira (2020) el mantenimiento empieza a adquirir importancia a partir de los años 30 cuando Henry Ford implementó en su empresa un área destinada a las actividades de reparación de los equipos pertenecientes a su sistema de producción.

De esta forma se puede afirmar que el mantenimiento es una disciplina que tiene como objetivo asegurar el buen funcionamiento y prolongar la vida útil de los activos físicos, tales como máquinas, equipos, edificios y otros bienes materiales. El mantenimiento es un proceso integral que abarca desde la planificación y programación hasta la ejecución y evaluación de las actividades de mantenimiento. Existen algunas terminologías que son importantes y utilizaremos en el transcurso del análisis del mantenimiento.

2.1 Conceptos del Mantenimiento

2.1.1 Fallo o Avería

A este respecto, Santos et al (2020) señala que una fallo de un sistema se puede definir como una interrupción o una disfunción en el correcto funcionamiento de un sistema. Según la norma ISO/IEC 23000-2:2006, un fallo puede ser definido como un error o una anomalía en el comportamiento de un sistema o componente que causa o puede causar que el sistema o componente no cumpla con sus especificaciones funcionales, la norma UNE-EN 13306:2018 define fallo como "cese de la aptitud de un elemento para realizar una función requerida". Según la norma UNE-EN 13306 se define avería como "estado de un elemento caracterizado por la inaptitud para realizar una función requerida, excluyendo la inaptitud durante el mantenimiento preventivo o por otras acciones planificadas, o debido a la falta de recursos externos." El fallo es un evento por el cual el elemento pierde su función requerida. La avería es un estado que se caracteriza porque el elemento no puede dar la función requerida.

Además, el informe "Análisis de Confiabilidad de Sistemas" de la Universidad de Carnegie Mellon afirma que "un fallo en un sistema es un evento o condición que provoca una interrupción o una reducción en el desempeño del sistema". En resumen, un fallo de un sistema puede ser entendida como un error o una anomalía que hace que el sistema no cumpla con sus objetivos o funciones previstas.

2.1.2 Fiabilidad

De acuerdo con Nakajima (1988) en términos de mantenimiento, la fiabilidad se refiere a la capacidad de un equipo, sistema o proceso de funcionar de manera consistente y predecible, sin experimentar fallos o interrupciones inesperadas durante un período de tiempo determinado. Según la norma UNE-EN 13306 se define fiabilidad como "aptitud de un elemento de realizar una función requerida bajo unas condiciones determinadas durante un intervalo de tiempo dado."

La fiabilidad del mantenimiento se mide en términos de la capacidad de un equipo o sistema para cumplir con sus funciones de manera continua y confiable durante un período de tiempo específico, lo que se conoce como tiempo entre fallos (TBF, por sus siglas en inglés). También se mide en términos de la capacidad de un equipo o sistema para ser reparado o mantenerse en un estado operativo óptimo durante un período de tiempo específico, lo que se conoce como tiempo de reparación (TTR, por sus siglas en inglés).

2.1.3 Disponibilidad

La disponibilidad se refiere a la capacidad de un sistema, equipo o instalación de estar en funcionamiento y disponible para su uso en cualquier momento en que se necesite. En otras palabras, la disponibilidad se refiere a la medida en que un sistema está listo y operativo para realizar su función prevista cuando se requiere. Se puede medir mediante el tiempo de actividad y el tiempo de inactividad de un sistema.

La disponibilidad es un concepto importante en el mantenimiento, ya que una alta disponibilidad es un indicador de un sistema bien mantenido y confiable. (Nakajima, 1988). Según la norma UNE-EN 13306 se define el estado de disponibilidad como "estado de un elemento caracterizado por el hecho de que puede realizar una función requerida, asumiéndose que se proporcionan los recursos externos si fuesen necesarios."

De esta forma se puede afirmar que el mantenimiento es una actividad crítica para el correcto funcionamiento de cualquier organización, ya que permite reducir los tiempos de inactividad, mejorar la eficiencia y aumentar la vida útil de los activos. Además, el mantenimiento también ayuda a prevenir accidentes y a mantener un ambiente de trabajo seguro para los trabajadores.

La planificación y programación del mantenimiento son esenciales para garantizar que se lleve a cabo de manera efectiva y eficiente. Esto implica la identificación de los activos críticos,

la determinación de las tareas de mantenimiento necesarias y la asignación de recursos, como mano de obra y materiales, para llevar a cabo dichas tareas. (Karimi, et al, 2020)

Por consiguiente, una de las herramientas más importantes en el mantenimiento es el registro y seguimiento de las actividades de mantenimiento. Esto permite a los profesionales de mantenimiento llevar un control riguroso de las tareas realizadas y los resultados obtenidos, lo que les permite identificar y corregir problemas a medida que surgen y mejorar continuamente su proceso de mantenimiento.

El mantenimiento también incluye la formación y capacitación de los trabajadores en el uso y cuidado de los activos. Esto garantiza que los trabajadores conozcan cómo utilizar los activos de manera segura y eficiente, y que estén capacitados para detectar y reportar problemas de manera temprana. (Nakajima, 1988)

En resumen, el mantenimiento es una disciplina esencial para asegurar el buen funcionamiento y prolongar la vida útil de los activos físicos, lo que a su vez mejora la eficiencia y productividad de una organización. Además, un buen programa de mantenimiento también puede ayudar a reducir los costos a largo plazo, ya que evita el reemplazo frecuente de activos y minimiza los tiempos de inactividad.

El mantenimiento también es una parte importante de la responsabilidad ambiental de una organización, ya que permite el correcto funcionamiento de los equipos y maquinarias, lo que a su vez reduce los impactos negativos en el medio ambiente.

En la industria, el mantenimiento se puede llevar a cabo por un equipo interno de mantenimiento o por un contratista externo, dependiendo de las necesidades de la organización. Es importante elegir un contratista confiable y con experiencia en el mantenimiento de los activos específicos de la organización, ya que esto garantiza un buen servicio y resultados efectivos.

Además, en la era digital, la tecnología juega un papel importante en el mantenimiento. Las soluciones tecnológicas, como los sistemas de gestión de mantenimiento y los sensores conectados, están transformando la forma en que se lleva a cabo el mantenimiento. Estos sistemas permiten la automatización de la planificación y programación del mantenimiento, la recopilación y análisis de datos en tiempo real sobre el estado de los activos, y la identificación temprana de problemas potenciales.

Además, la tecnología también está facilitando la colaboración y la comunicación entre los diferentes departamentos y equipos involucrados en el mantenimiento. Esto permite una mayor eficiencia y una toma de decisiones más informada en el proceso de mantenimiento. (Santos et al, 2020).

En conclusión, el mantenimiento es una disciplina crítica para garantizar el correcto funcionamiento de los activos y mejorar la eficiencia y productividad de una organización. La planificación y programación cuidadosa, la utilización de tecnologías avanzadas y la capacitación y formación adecuadas de los trabajadores son esenciales para garantizar un programa de mantenimiento exitoso.

Al final, el mantenimiento es un proceso continuo y dinámico que requiere atención constante y adaptación a los cambios en el entorno y los activos de la organización. Sin embargo, con un enfoque adecuado y una implementación cuidadosa, el mantenimiento puede ser una herramienta valiosa para mejorar la eficiencia, la productividad y la seguridad en cualquier organización.

2.2 Tipos de Mantenimiento

De acuerdo con Nakajima (1988) existen varios tipos de mantenimiento en la industria, aquí están algunos de los más comunes:

- Mantenimiento preventivo:

Es un enfoque pro activo que se realiza con el objetivo de prevenir fallos o problemas antes de que ocurran. Este tipo de mantenimiento se realiza regularmente mediante inspecciones, pruebas y ajustes periódicos en equipos y sistemas. Se basa en la idea de que la prevención es mejor que la curación.

El mantenimiento preventivo es una técnica de gestión de mantenimiento que involucra la programación regular de inspecciones, pruebas, mantenimiento y reparaciones con el objetivo de mantener los equipos en un estado óptimo de funcionamiento.

Además, el mantenimiento preventivo permite planificar y programar los trabajos de mantenimiento con antelación, lo que ayuda a garantizar una disponibilidad continua de los equipos y sistemas. Esto es especialmente importante en aplicaciones críticas, como las plantas de energía, las fábricas y los hospitales, donde un tiempo de inactividad prolongado puede tener consecuencias graves.

- Mantenimiento correctivo:

El mantenimiento correctivo es un enfoque reaccionario que se realiza cuando un equipo o sistema falla y se requiere reparación para restaurar su funcionamiento normal. Este tipo de mantenimiento se realiza después de que ocurra un fallo, con el objetivo de reparar el equipo o sistema dañado lo antes posible.

Es una parte inevitable de cualquier programa de mantenimiento, ya que ningún equipo o sistema es perfecto y siempre existe la posibilidad de que ocurran fallos. Sin embargo, el objetivo es minimizar la frecuencia de estos fallos la mejora continua de los equipos y sistemas.

Este puede ser costoso, ya que puede requerir un tiempo de inactividad prolongado, la reparación o el reemplazo de componentes y equipos costosos, y el trabajo de personal altamente capacitado. Por lo tanto, es importante tener un plan eficaz y eficiente para el mantenimiento correctivo, que incluya procedimientos detallados para la identificación y la reparación de fallos, así como la disponibilidad de repuestos y herramientas necesarias. (Basri, Abdul Razak,,Ab-Samat y Kamaruddin (2017).

- Mantenimiento predictivo:

El mantenimiento predictivo es una técnica que utiliza datos y análisis avanzados para predecir cuándo es probable que ocurra un fallo en un equipo o sistema y, por lo tanto, permite tomar medidas preventivas antes de que ocurra el fallo. Según Basri et al (2018) el mantenimiento predictivo se basa en la recopilación y análisis de datos en tiempo real de los equipos, lo que permite detectar patrones y anomalías en el comportamiento de los mismos. Estos datos se utilizan para predecir cuándo es probable que ocurra un fallo y programar el mantenimiento preventivo en consecuencia.

Sobre este tipo de mantenimiento se tratará más adelante en profundidad, ya que es la base del mantenimiento 4.0. Es importante tener en cuenta que la elección del tipo de mantenimiento adecuado depende de muchos factores, incluyendo el tipo de equipo o sistema, el uso previsto, el entorno y el presupuesto disponible. La combinación de estos diferentes tipos de mantenimiento es importante para tener un enfoque integral y eficaz en el mantenimiento de equipos y sistemas. Cada tipo de mantenimiento tiene sus propios objetivos y enfoques, y combinarlos de manera adecuada puede ayudar a maximizar la disponibilidad y la eficiencia de los equipos y sistemas, así como a minimizar los costos y el tiempo de inactividad.

Segun la norma UNE-EN 13306:2018 se realiza la siguiente clasificación:

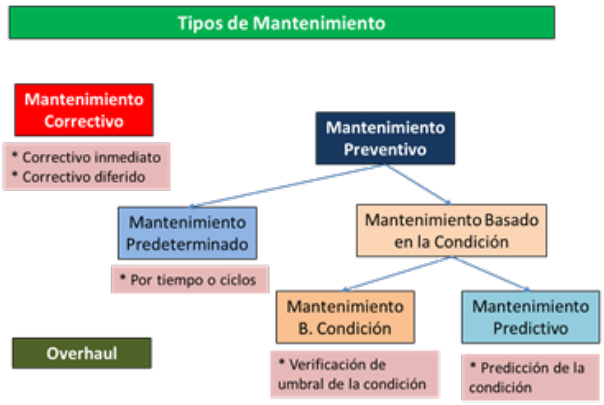

Figura 2.1 Tipos de Mantenimiento.

Mantenimiento correctivo:

Mantenimiento que se realiza después del reconocimiento de una avería y que está destinado a poner a un elemento en un estado en que pueda realizar una función requerida.

- Mantenimiento correctivo inmediato:

Mantenimiento correctivo que se realiza sin dilación después de detectarse una avería, a fin de evitar consecuencias inaceptables.

- Mantenimiento correctivo diferido:

Mantenimiento correctivo que no se realiza inmediatamente después de detectarse una avería, sino que se retrasa de acuerdo con reglas dadas.

Mantenimiento preventivo:

Mantenimiento llevado a cabo para evaluar y/o mitigar la degradación y reducir la probabilidad de fallo de un elemento. Es el mantenimiento que se realiza antes de la ocurrencia del fallo, con objeto de evitarlo y aumentar la fiabilidad.

- Mantenimiento predeterminado:

Mantenimiento preventivo que se realiza de acuerdo con intervalos de tiempo establecidos o con un número definido de unidades de funcionamiento, pero sin análisis previo de la condición del elemento.

- Mantenimiento basado en la condición:

Mantenimiento preventivo que incluye una combinación de la evaluación de las condiciones físicas, el análisis y las posibles acciones de mantenimiento posteriores.

NOTA. La evaluación de la condición se puede realizar mediante la observación del operador y/o inspección, y/o pruebas, y/o monitorización de la condición de los parámetros del sistema, etc., realizada de acuerdo con un cronograma, bajo petición o en forma continua.

· Mantenimiento predictivo:

Mantenimiento basado en la condición que se realiza siguiendo una predicción obtenida del análisis repetido o de características conocidas y de la evaluación de los parámetros significativos de la degradación del elemento.

Revisión general (overhaul):

Conjunto exhaustivo de acciones de mantenimiento preventivo que se realizan con objeto de mantener el nivel requerido de desempeño de un elemento.

Auto mantenimiento; mantenimiento autónomo:

Acciones de mantenimiento que son realizadas por un operador de explotación.

2.3 Indicadores básicos de Mantenimiento. El cuadro de mando integral

El Cuadro de Mando Integral (BSC) es una herramienta de gestión que permite a las organizaciones alinear su estrategia con sus objetivos y medir el desempeño en diferentes áreas clave. Kaplan y Norton propusieron este marco en 1992, y ha sido ampliamente utilizado desde entonces en todo tipo de organizaciones. Para aplicarlo al ámbito del mantenimiento, se pueden considerar los siguientes indicadores básicos:

1. Indicadores de eficacia del mantenimiento:

- Disponibilidad de los equipos: mide el porcentaje de tiempo que los equipos están disponibles para ser utilizados.

- Tiempo medio entre fallos (MTBF): indica el tiempo promedio que transcurre entre las averías de los equipos.

- Tiempo medio de reparación (MTTR): mide el tiempo promedio que se tarda en reparar los equipos una vez que se ha detectado una avería.

2. Indicadores de eficiencia del mantenimiento:

- Costo de mantenimiento: mide los costos totales del mantenimiento (preventivo y correctivo) en relación con el valor de los activos mantenidos.

- Costo de mantenimiento por unidad producida: mide los costos de mantenimiento en relación con la cantidad de unidades producidas.

3. Indicadores de seguridad del mantenimiento:

- Índice de accidentes de trabajo: mide el número de accidentes de trabajo relacionados con el mantenimiento en relación con el número total de horas trabajadas.

- Índice de frecuencia de accidentes de trabajo: mide la tasa de accidentes de trabajo relacionados con el mantenimiento en relación con el número de trabajadores expuestos.

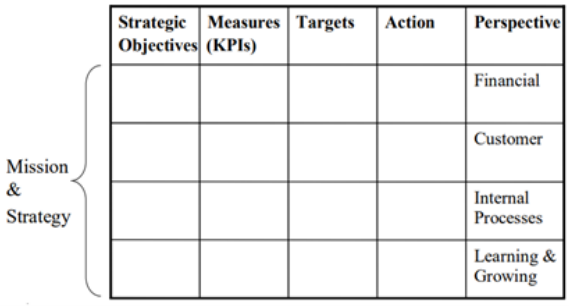

Figura 2.2 Cuadro de mando integral.

Para aplicar el CMI a estos indicadores, se pueden seguir los siguientes pasos:

- Definir la estrategia de mantenimiento: se deben establecer los objetivos y metas de mantenimiento en línea con la estrategia general de la organización.

- Identificar los indicadores clave: se deben seleccionar los indicadores más relevantes para medir el desempeño del mantenimiento en relación con los objetivos establecidos.

- Establecer los objetivos e indicadores: se deben definir los objetivos y las metas específicas para cada indicador seleccionado, y se deben establecer los valores de referencia para cada uno.

- Establecer los planes de acción: se deben definir los planes de acción necesarios para lograr los objetivos establecidos y mejorar los indicadores clave.

- Realizar un seguimiento y análisis continuo: se deben medir y analizar regularmente los indicadores seleccionados para evaluar el progreso hacia los objetivos establecidos y tomar medidas correctivas si es necesario.

El BSC es una herramienta poderosa para mejorar el desempeño del mantenimiento en una organización. Al aplicarlo de manera efectiva, se puede mejorar la eficacia, la eficiencia y la seguridad del mantenimiento, y alinear mejor el mantenimiento con la estrategia general de la organización. (Basri et al, 2018)

2.4 Mantenimiento llevado a cabo en un barco

De acuerdo con Maharachpong, Geater y Chongsuvivatwong (2006) el mantenimiento de barcos es esencial para garantizar la seguridad, la eficiencia y la longevidad de un barco. La naturaleza marina puede ser adversa, y los barcos están expuestos a una variedad de factores que pueden afectar su estructura, maquinaria y sistemas. Por lo tanto, es importante mantener regularmente el barco para asegurarse de que esté en buenas condiciones y funcione de manera segura y eficiente.

Mantenimiento de la estructura

La estructura de un barco incluye la quilla, el casco, las cubiertas y otros componentes estructurales. Estos componentes están expuestos a la corrosión, la fricción y la fatiga debido a las condiciones marinas y deben ser inspeccionados y reparados periódicamente.

Los daños en la estructura deben ser reparados de inmediato, ya que pueden afectar la seguridad y la estabilidad del barco. La inspección de la estructura debe incluir una revisión visual de las uniones, las soldaduras, las superficies de contacto y los materiales de construcción para detectar cualquier señal de debilidad o daño. (Maharachpong et al, 2006)

Mantenimiento de la maquinaria

Según Eklund (2005) la maquinaria de un barco incluye los motores, los sistemas eléctricos,

hidráulicos y de refrigeración. Estos sistemas son cruciales para el funcionamiento del barco y deben ser revisados y mantenidos regularmente para asegurarse de que estén funcionando correctamente.

El mantenimiento de la maquinaria debe incluir una inspección visual de los componentes, la limpieza de las partes móviles, la lubricación y la reparación de cualquier componente dañado. Además, se deben realizar pruebas periódicas de los sistemas para asegurarse de que estén funcionando correctamente y para detectar cualquier problema antes de que cause daños graves.

Mantenimiento de las comunicaciones y de la navegación

Los sistemas de comunicaciones y navegación son esenciales para la seguridad y la eficiencia de un barco. Estos sistemas incluyen equipos de comunicaciones, GPS, radar, etc. y deben ser mantenidos y verificados regularmente. (Eklund, 2005).

El mantenimiento de estos sistemas debe incluir una inspección visual de los componentes, la limpieza y la reparación de cualquier componente dañado. Además, se deben realizar pruebas periódicas para asegurarse de que estén funcionando correctamente y para detectar cualquier problema antes de que cause interrupciones en la comunicación o en la navegación.

Mantenimiento de los sistemas de cubierta

Los sistemas de babor y estribor incluyen los sistemas de amarre, anclas, cabos y winches. Estos sistemas son cruciales para la seguridad y la eficiencia del barco y deben ser revisados y mantenidos regularmente.

En este sentido, de acuerdo con Dubey y Roy (2003) el mantenimiento de los sistemas de cubierta debe incluir una inspección visual de los componentes, la limpieza y la reparación de cualquier componente dañado. Además, se deben realizar pruebas periódicas para asegurarse de que estén funcionando correctamente y para detectar cualquier problema antes de que cause daños graves.

Mantenimiento de los sistemas de seguridad

De esta manera, los sistemas de seguridad de un barco incluyen los extintores de incendios, las balsas de salvamento, los chalecos salvavidas y otros elementos similares. Estos sistemas deben ser revisados y mantenidos regularmente para asegurarse de que estén funcionando correctamente y estén disponibles en caso de emergencia. (Decelis y Vella, 2007)

El mantenimiento de los sistemas de seguridad debe incluir una inspección visual de los componentes, la prueba de los sistemas y la reparación de cualquier componente dañado. Además, se deben realizar ejercicios de prueba periódicos para asegurarse de que los sistemas de seguridad estén en buenas condiciones y estén listos para su uso en caso de emergencia.

Mantenimiento de la pintura y acabados

La pintura y los acabados de un barco están expuestos a la intemperie, la corrosión y otros

factores adversos. Es importante mantener la pintura y los acabados en buenas condiciones para proteger la estructura del barco y mantener su aspecto atractivo.

De acuerdo con Decelis y Vella (2007) el mantenimiento de la pintura y los acabados debe incluir una limpieza regular y una inspección visual para detectar cualquier señal de desgaste o daño. La reparación de la pintura y el acabado puede incluir la aplicación de una nueva capa de sellador y pintura, la reparación de las áreas dañadas y la limpieza para asegurarse de que la superficie esté en buenas condiciones.

En resumen, el mantenimiento de barcos es esencial para garantizar la seguridad, la eficiencia y la longevidad de un barco. Es importante realizar inspecciones regulares, realizar reparaciones oportunas y llevar a cabo pruebas periódicas de los sistemas para asegurarse de que el barco esté en buenas condiciones y funcione de manera segura y eficiente.

3 Descripción de los sistemas del barco y sus fallos más comunes

Para entender los tipos de mantenimiento y la importancia de este, primero es importante tener una idea clara de los sistemas que encontramos a bordo. Vamos a describir los mas importantes y utilizados que encontramos a bordo.

No.	Componente
1	Sistema de propulsión
2	Sistema de suministro de combustible
3	Sistema eléctrico
4	Sistema hidráulico
5	Sistema de hélice de proa
6	Sistema de agua a presión
7	Sistema de gobierno

3.1 Sistema de propulsión

De acuerdo con Zhang (2016) una embarcación se mueve por el agua propulsada por elementos, tales como ruedas de paletas o hélices. Estos elementos imparten velocidad y movimiento de la embarcación a una columna de agua en la dirección opuesta a la dirección en la que se desea mover la embarcación. Una fuerza, llamada fuerza de reacción (porque reacciona a la fuerza de la columna de agua) es desarrollada contra el elemento de velocidad-impartida. Esta fuerza, también llamada empuje, se transmite al barco y hace que la embarcación se mueva a través del agua.

Dentro del sistema de propulsión encontramos la hélice de popa y la hélice de proa, la cual se

encuentra colocada a 90º con respecto al eje de propulsión de la hélice de popa. Esta le proporciona mayor capacidad de maniobra a la embarcación. El sistema de propulsión de la hélice de proa, al funcionar con el sistema hidráulico para suministrarle la potencia, lo describiremos por separado más adelante. (Zhang, 2016)

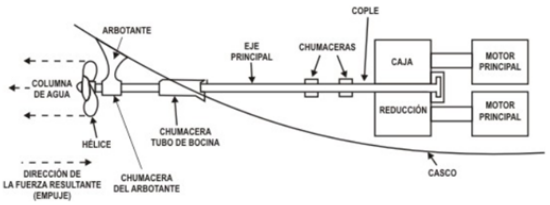

Figura 3.1 Sistema de propulsión.

El sistema de propulsión del barco consta de las siguientes partes:

- Motor principal: llevan a cabo la transformación de la energía mecánica necesaria para crear el movimiento y la fuerza de empuje de la nave. Dentro de este sistema también encontramos el sistema de suministro del combustible necesario, que describimos más adelante.

- Caja reductora: se encarga de aumentar la fuerza o el par a velocidades muy bajas, aumentando la fuerza de empuje.

- Ejes de propulsión: transmiten el movimiento desde los motores y reductores hasta el propulsor o hélice a lo largo del buque.

- Hélice: convierte la fuerza que produce el motor en impulso para mover la embarcación en el agua. Tenemos la posibilidad de manejar el pitch de la hélice, que es el paso de hélice.

El sistema de propulsión de la embarcación es un sistema que no solo suministra la fuerza para que el barco se desplace, sino que, en muchas ocasiones, también es el motor que da movimiento a la PTO del sistema hidráulico. Aunque a bordo solemos contar con más de una PTO, una de ellas más grande, que suele ir unida al motor principal, y por tanto es la que más fuerza aporta. Por estas dos cosas es un sistema de gran importancia a bordo, con la perdida de motor se perdería la propulsión mecánica de la embarcación y la perdida de la mayor fuerza hidráulica. (Cui , Wang y Huang , 2011).

A bordo revisamos las temperaturas de todos los elementos del sistema, cuando el motor está en uso, una vez cada 45 minutos. Esto lo hacemos mediante un termómetro infrarrojo, aunque contamos con cámaras térmicas dentro de la sala de máquinas que podemos observar desde el puesto de mando, estás no dan una información muy exacta de los puntos concretos que debemos revisar. Es de gran importancia revisar estas temperaturas, ya que por lo general es el problema más frecuente que encontramos en este sistema. Esto es debido a los cambios de temperatura del agua del mar, la cual usamos para refrigerar los sistemas, y la temperatura exterior, que en muchas ocasiones dificulta la refrigeración de la sala de máquinas.

También existen numerosas partes que tenemos que cambiar frecuentemente, ya sea por mantenimiento preventivo o mantenimiento correctivo. Entre ellas encontramos los impeller para las bombas de agua del sistema de refrigeración, que por calentamientos o por desgaste acaban deshaciéndose. Es importante revisar esto ya que en alguna ocasión los trozos de impeller se introducen en el sistema de refrigeración obstruyendo el acceso del líquido refrigerante a algunas zonas del motor.

Estos calentamientos a vecen conllevan al rebosado del líquido refrigerante por su ebullición, lo que conlleva sus posterior llenado para alcanzar los niveles óptimos. El buen estado de los retenes es un aspecto importante, ya que se ocasionan fugas de aceite, y el buen estado de los filtros, que, en el caso del aceite, al introducir aceite con partículas en el motor ocasionamos un desgaste muy acelerado de las distintas partes en el interior del motor. (Vukelic , 2015).

Encontramos en ocasiones problemas mucho más graves, que ocurren menos frecuentemente, como la rotura del eje de transmisión o la deformación o rotura de la junta de culata. Pero estos fallos suelen estar ocasionados por fallos más leves como los comentados anteriormente, de ahí su importancia a la hora de realizar mantenimientos.

3.2 Sistema de suministro de combustible para motor y generadores

Este sistema tiene como misión proveer de combustible al motor principal (MP) y a los generadores en las condiciones requeridas.

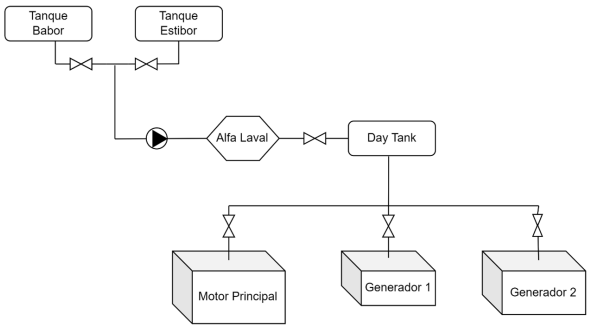

Figura 3.2 Sistema de suministro de combustible.

El sistema de suministro de combustible consta de las siguientes partes:

- Tanques de babor y de estribor

- Sistema de limpiado del combustible (Alfa Laval): mediante un recipiente giratorio. La fuerza centrífuga empuja el agua y las partículas sólidas hacia el exterior.

- Válvulas

- Bomba de diésel

- Day Tank: depósito de combustible con mucha menor capacidad que los depósitos de estribor y babor. Existe para mayor seguridad del sistema en general.

Este sistema es menos dado a sufrir averías y por lo general es más fácil su mantenimiento. Pero también cuenta con numerosas partes que hay que mantener controladas.

Por norma general se hace una limpieza de los depósitos de estribor y babor todos los años, ya que en estos se acumula un poso considerable a lo largo del año. En función del país en el que se reposta, encontramos diésel más o menos limpio. El day-tank se limpia una vez al año también, aunque no es necesaria la limpieza tan frecuente, ya que cuenta con la Alfa Laval que elimina la gran mayoría de partículas presentes en el diésel.

Si que es de gran importancia una limpieza frecuente de la Alfa Laval. Los filtros son limpiados después de cada llenado del day-tank, esto es un proceso que hace el sistema de manera automática, y sustituidos frecuentemente. La bomba que extrae el diésel de los depósitos no suele ocasionar problemas en el sistema, pero se le realiza un mantenimiento preventivo semestral y se sustituye por una nueva cada 3 años.

Aunque este sistema en escasas ocasiones falla, es importante no perder la atención que necesita, ya que un fallo de este sistema bloquea todos los sistemas que funcionan a partir del diésel, perderíamos hidráulica, propulsión, y pérdida de capacidad de generación de electricidad.

3.3 Sistema Electrico

De acuerdo con Bardetsky y Lee (2016) este sistema tiene como misión generar y/o proveer de energía eléctrica a los diferentes consumidores del barco. Las características básicas del sistema vienen definidas por los usos, las especificaciones de los elementos y el requerimiento de menor consumo energético posible.

Las necesidades de energía eléctrica a bordo son muy dependientes de la situación de operación y por ello el dimensionamiento del sistema requiere la realización de un balance eléctrico. Este balance eléctrico se basa en la estimación de consumo eléctrico medio en cada situación de operación.

Partes importantes del sistema eléctrico y que además son las más importantes de mantener para evitar fallos graves en el sistema son:

- Inversor

- Baterías de servicio, motores y emergencia

- Cargador de baterías

- Des-conectores

Frecuentemente se ocasionan a bordo black-outs debidos a sobre cargas del sistema, esto se ocasionan porque la capacidad de suministro de las baterías no es la suficiente para alimentar a todos los servicios del barco, por lo que para la utilización de algo más, aparte de los servicios básicos del barco, cuando nos encontramos desenchufados de shore power, es necesario arrancar alguno de los generadores, y en función del nivel de requerimientos encender generadores de mayor potencia o menor.

Estos black-outs pueden ocasionar daños en los sistemas, al igual que pueden ocasionar un peligro por la pérdida de toda la instrumentación de navegación; GPS, radar, VHF. Aunque cada vez son mas los barcos que cuentan con una fuente de alimentación independiente para los sistemas de seguridad o navegación. Otro fallo que encontramos en este sistema es la existencia de cables y conexiones en mal estado por la humedad, la fricción o la temperatura. Es importante mantener siempre en buen estado todos los cables y conexiones, ya que ocasionan perdidas de potencia o cortocircuitos y sobre todo para evitar males mayores como puede ser un incendio. Por esto es de vital importancia mantener una buena aireación en las zonas de más concentración de elementos eléctricos. (Bardetsky y Lee , 2016)

3.4 Sistema Hidráulico

El sistema hidráulico utiliza un fluido a presión para mover componentes mecánicos. Dentro de un barco encontramos numerosas partes que funcionan a través de la hidráulica, como pueden ser los whinches, que sirven para subir, bajar y cazar las velas, o para subir y bajar el rezón (ancla para la maniobra de fondeo), movimiento de grúas para carga y descarga de mercancías, o como hemos mencionado antes, para mover la hélice de proa. (Li y Chow, 1993)

Para el funcionamiento del sistema hidráulico necesitamos una PTO (Power Take Off), se suele contar con mas de una, en ocasiones la más grande conectada al motor principal y otra conectada a uno de los generadores. Estas se conectan mediante un embrague, el cual permite su desconexión cuando el uso de la PTO no es necesario, o hay que realizar un mantenimiento.

Los fallos que solemos encontrar en este sistema son las siguientes;

La contaminación del aceite hidráulico, esta es una de las principales causas de muchos fallos, por eso es importante asegurarse de que tanto los componentes como el aceite se encuentran siempre limpios. La presencia de suciedad conlleva al desgaste de las distintas partes, por ello usamos filtros que ayudan a eliminar esas partículas existentes.

El envejecimiento térmico de las mangueras hidráulicas también es algo que se observa en este tipo de sistemas. El sobrecalentamiento conlleva al envejecimiento prematuro de los elastómeros y los plásticos dentro del tubo, lo que resulta en un fallo en la manguera.

Es importante revisar las conexiones de todas las mangueras, estas son otra causa de fallo

en el sistema, ocasiona la perdida de aceite hidráulico y también puede conllevar a accidentes graves del operario. (Li y Chow, 1993)

3.5 Sistema de Hélice de Proa

Existen hélices de proa con funcionamiento hidráulico y con funcionamiento mediante motor eléctrico. Por lo general los hidráulicos son los más utilizados ya que suministran una mayor potencia. En el caso de barcos grandes siempre encontraremos sistemas de hélice de proa que funcionan mediante presión hidráulica.

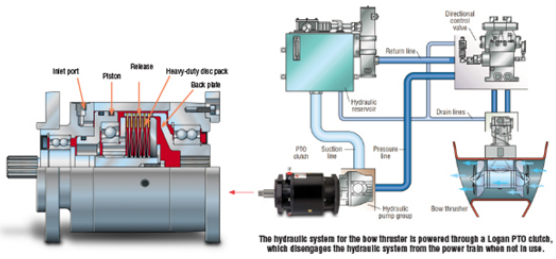

Figura 3.3 Sistema hidráulico de hélice de proa.

El gráfico presentado es un ejemplo de un sistema de hélice de proa hidráulico, pero existe otra variante del sistema, que lo hace más complejo y que se encuentra frecuentemente presente. Este consta de un tren que soporta la hélice y que se encuentra dentro del casco cuando esta no está en uso. A la hora de utilizarla, mediante el sistema hidráulico este tren sale por debajo del casco del barco, introduciendo la hélice en el agua. Las partes de este sistema son:

- PTO: como se mencionó antes, esta es la bomba que realiza la presión en el líquido.

- Embrague: Este nos permite conectar y desconectar la PTO del motor

- Válvula de control direccional: es el control de extensión y retracción para sus cilindros hidráulicos. Provee la ruta del flujo de la bomba a los cilindros o la reserva de fluido. (Vektek, 2019)

- Hélice de proa

- Tanque de aceite hidráulico

Dentro de este sistema encontramos los mismos fallos descritos en el apartado de sistema hidráulico, ya que este sistema funciona de manera hidráulica. Pero también suelen presentarse otros fallos independientes al sistema hidráulico.

Normalmente este tipo de sistemas no permiten realizar un mantenimiento total “in situ”, ya

que las condiciones meteorológicas y de trabajo no facilitan el acceso al mismo cuerpo de las palas. Es por eso que se ha dotado a este sistema de maniobra de largas horas de funcionamiento con pocas necesidades de mantenimiento. (Li y Chow, 1993)

El mantenimiento se realizará a los posibles efectos del fouling, rugosidades,corrosión, erosión, oxidación, ensuciamiento, aumento de los pesos, movimientos delas piezas, holguras, hasta conseguir que la hélice post-reparada tenga un aspecto como de nueva y un rendimiento óptimo. (Teresa Martínez Creixenti)

Los túneles para las hélices de proa suelen ser estrechos para la gran mayoría de barcos, esto hace que se cree cavitación en la hélice, provocando que sean extremadamente ruidosas, pero más importante, que crean muchas vibraciones en la hélice. Estas vibraciones exigen un buen control de todas las piezas y la comprobación de la correcta alineación del eje.

3.6 Sistema de Agua a Presión

El sistema de agua presión recorre todo el barco, y es utilizado tanto para el agua dulce para consumo de friegaplatos, lavadora, fregaderos, duchas, etc… como para el agua salada para la refrigeración de sistemas eléctricos, aire acondicionado, neveras, etc.

Dentro de este sistema encontramos numerosas bombas de agua, de distintos tamaños y capacidades, gran cantidad de válvulas y tuberías tanto de PVC como de cobre.

Los fallos que este sistema suele presentar son, por lo general, de fácil reparación. Las más comunes son fugas en las conexiones o pequeños poros en tuberías. Las bombas tienen un mantenimiento sencillo y barato, aunque cuando estas necesitan ser reemplazadas si es elevado si precio de compra, por lo que el buen mantenimiento de estas es importante.

3.7 Sistema de Gobierno

Para el gobierno del barco necesitamos un sistema hidráulico para mover la pala del timón. En la imagen X podemos ver un simple gráfico del sistema con las partes mas importantes. Este sistema, aunque funciona de manera hidráulica, va independiente del sistema hidráulico general del barco, ya que necesita menos potencia hidráulica para su funcionamiento. (Murawski, 2018). Pistón actuador: se trata de un embolo que puede moverse dentro de un cilindro por el que se introduce el aceite a presión por uno de los extremos.

- Bomba de aceite: en el gráfico anterior la bomba es manual, y el el movimiento del propio timón la que lo acciona. En el caso de nuestro barco de estudio esta bomba cuenta con una ayuda electromecánica, ya que la pala del timón es de gran tamaño.

- Mecha del timón: es la parte superior del timón que se introduce por el casco para ser conectado con el pistón actuador.

- Limera: es por donde se introduce la mecha.

- Pala del timón: constituida por un plano vertical que puede pivotar a fin de desviar el flujo de agua para cambiar la dirección de la embarcación.

En cuanto a los fallos que este sistema presenta, encontramos los fallos presentes en sistemas hidráulicos, y también encontramos fallos ocasionados por el desgaste de piezas en continuo contacto con el mar, o que sufren un continuo rozamiento, como es el caso de la fogonadura de la pala del timón. (Murawski, 2018).

En un barco encontramos muchos más sistemas, pero en este comentamos estos sistemas arriba descritos ya que son los más críticos a la hora del funcionamiento de una embarcación. Estos son los sistemas a los que más atención prestamos cuando realizamos mantenimientos a bordo.

Actualmente el mantenimiento que se realiza a bordo a los sistemas es muy básico, sin ningún tipo de estudio previo ni específico para cada embarcación en concreto. Los mantenimientos preventivos que se realizan a bordo son los que el fabricante de cada parte de un sistema recomienda, estos mantenimientos no están sujetos a las condiciones de uso que cada embarcación le da a cada maquina o mecanismo. En función del nivel de uso que se le dé, si es un sistema de respeto o si es el sistema principal, o incluso las condiciones meteorológicas de cada zona en la que navega el barco, el mantenimiento preventivo no debe de ser igual. (Murawski, (2018).

Esto conlleva a que se realicen muchos más mantenimientos correctivos en los sistemas que necesitan un mantenimiento más frecuente que el recomendado por el fabricante y que se realicen más mantenimientos preventivos de los necesarios en sistemas que no necesitan tanto mantenimiento como nos dice el manual del usuario. Esto implica que los costes de mantenimiento se eleven mucho, e impide al barco realizar las rutas planeadas en el tiempo y con las paradas concretadas.

No solo es importante realizar un buen mantenimiento de los sistemas, sino que también lo es tener una buena organización de las piezas de recambio que se llevan a bordo y de esta manera tener capacidad de reparación sin la necesidad de recurrir a envíos costosos y frecuentemente lentos fuera del puerto base donde la embarcación suele hacer la parada anual para varada, mantenimiento general y abastecimiento de todo lo necesario para el mantenimiento preventivo y posibles correctivos que tengamos que realizar durante la navegación.

4 Criticidad de los Sistemas

4.1 Técnicas de análisis de criticidad

Las técnicas de análisis de criticidad son herramientas que permiten identificar y jerarquizar por su importancia los activos de una instalación sobre los cuales vale la pena dirigir recursos (humanos, económicos y tecnológicos). En otras palabras, el proceso de análisis de criticidad ayuda a determinar la importancia y las consecuencias de los eventos potenciales de fallos de los sistemas dentro del contexto operacional en el cual se desempeñan (Woodhouse, 1994).

El término "crítico" y la propia definición de criticidad pueden tener diferentes interpretaciones dependiendo del objetivo que se está tratando de jerarquizar. El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de un proceso de producción complejo, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable. Desde esta óptica existe una gran diversidad de posibles criterios que permiten evaluar la criticidad de un activo de producción. Los motivos de priorización pueden variar según las oportunidades y las necesidades de la organización. A continuación, se presentan algunos criterios comunes a utilizar dentro de los procesos de jerarquización:

- flexibilidad operacional (disponibilidad de función alterna o de respaldo)

- efecto en la continuidad operacional / capacidad de producción

- efecto en la calidad del servicio

- efecto en la seguridad, ambiente e higiene

- costos de paradas y del mantenimiento

- frecuencia de fallos / confiabilidad

- condiciones de operación (temperatura, presión, fluido, caudal, velocidad)

- flexibilidad / accesibilidad para inspección mantenimiento

- requerimientos / disponibilidad de recursos para inspección y mantenimiento

- disponibilidad de repuestos. . . . . .

Específicamente, para el desarrollo de este capítulo, varias de las metodologías de análisis de criticidad a ser evaluadas están constituidas por métodos de priorización que generan resultados de criticidad sustentados en la teoría del riesgo, concepto que mezcla el factor fiabilidad (frecuencia de fallos) y el factor severidad/consecuencia del fallo (impacto de los fallos en: seguridad, ambiente, calidad, producción, etc.) (Jones, 1995). Es importante mencionar que los resultados que se obtienen con la aplicación de las técnicas de criticidad representan la materia prima con la cual se debe iniciar cualquier proceso de optimización basado en la aplicación de técnicas de Ingeniería de fiabilidad y mantenimiento. A continuación, se presentan dos modelos de jerarquización basados en la evaluación del riesgo y orientados a identificar los sistemas críticos de un barco (Parra y Omaña, 2001).

4.1.1 Método del flujograma de análisis de criticidad (CUALITATIVO)

En este primer método Parra y Omaña (2001) se presenta una técnica que hace referencia a un análisis puramente cualitativo sobre la jerarquía de sistemas. Como podemos observar en la Figura de abajo, el resultado del proceso es una clasificación de nuestros sistemas en tres categorías: A, B C, siendo los sistemas tipo A los sistemas de mayor prioridad.

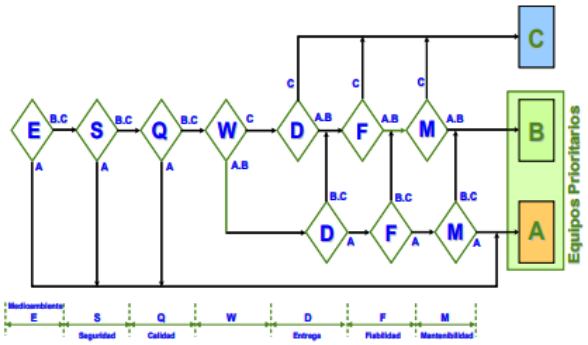

Figura 4.1 Flujograma de análisis de criticidad..

Para llegar a esa clasificación final se procede de forma secuencial a realizar una serie de preguntas al sistema natural conformado en el barco para tal fin. La secuencia marca la importancia que da el sistema a cada atributo que se analiza a la hora de establecer la prioridad de este. De alguna forma, el orden en la secuencia marca el peso que damos en nuestra gestión a cada uno de los atributos.

De cada pregunta existen tres respuestas posibles A, B ó C que nos sirven para caracterizar al sistema.

Por ejemplo:

· La primera pregunta hace referencia al medio ambiente (E), un sistema se podría considerar como de categoría A, si un fallo de este puede provocar que la nave tenga que recurrir a avisar a las autoridades públicas por problemas que pudiesen afectar a la salud de las personas y del medio ambiente (por ejemplo: Una fuga de aceite hidráulico al mar). El sistema sería de categoría B si un fallo de este provocase una contaminación o afección que pudiera gestionarse en el interior del barco (por ejemplo, una fuga de aceite en las sentinas del barco). Finalmente, un sistema se podría considerar de categoría C si un fallo de este no produjese ningún tipo de contaminación medioambiental.

· Las cuestiones de seguridad (S) se consideran a continuación. Los activos de categoría "A" serán aquellos cuyos fallos pueden producir accidentes que provocan absentismo laboral temporal o permanente en el lugar de trabajo. Los fallos en activos de la categoría "B" podría causar daños menores a la gente en el trabajo, no producen la ausencia de trabajo. Una vez más, los activos de la categoría "C" son activos cuyos fallos no pueden crear consecuencias relacionadas con la seguridad de las personas.

· La calidad (Q) es la siguiente cuestión que debe evaluarse utilizando el flujograma. El procedimiento para esta evaluación es muy similar al que ya hemos llevado a cabo para la evaluación medio ambiental de los equipos. Los fallos de calidad también pueden producir un importante impacto externo. Categoría A se dedica ahora a los activos que pueden causar retrasos en la llegada a destino del barco, o la alteración de la rutina de los clientes a bordo. Categoría "B" y "C" sería que los activos que, cuando no se mantienen adecuadamente, podría sufrir fallos que producen sólo una consecuencia interna o que no ocasionan ningún impacto, respectivamente.

· El tiempo de trabajo de un activo (W) también puede condicionar su criticidad. En este caso de estudio, los activos que trabajan continuamente serán de categoría "A". Los activos que se utilizan ocasionalmente en el día a día estarán bajo categoría "B". Finalmente, cuando los activos solo son utilizados ocasionalmente a lo largo de la vida a bordo, los incluiremos en la categoría "C". En algunas ocasiones el trabajo extra que se requiere para el mantenimiento correctivo de activos, como media, también se puede considerar dentro de este criterio. Los activos que requieren una gran cantidad de horas extras para ser reparados entrarían en categoría "A", y así sucesivamente.

· La entrega (D), que en el caso de los barcos lo podemos considerar la correcta función final del propio sistema, es un criterio relacionado con el impacto operacional de un fallo del activo. Los activos de categoría "A" son ahora los que producen un paro en toda la utilización del barco cuando fallan. Los activos de categoría “B” pueden dejar sólo parte del buque parado al fallar. Por último, los activos que no producen una interrupción significativa de la navegación serían de la categoría "C".

·La fiabilidad (F) se introduce como criterio igualmente en el flujograma y se relaciona con la

frecuencia de fallo que pueda existir en un activo que no se mantiene correctamente. En nuestro caso de estudio, consideramos como categoría "A" los activos con frecuencia de fallo menor de 5 h. Los activos con frecuencias de fallo mayor de 5 h y menor de 24 h se incluirán en la categoría "B". Finalmente, para activos con frecuencias de fallo superiores a 24 h, utilizaríamos la categoría "C". Es normal tener en cuenta un criterio de frecuencia que produce el 20

·La mantenibilidad (M), o aptitud del activo para ser mantenido, es el último criterio que debe ser tenido en cuenta. Este criterio se relaciona con el tiempo medio necesario para reparar un fallo. Los activos que requieren un tiempo medio de reparación de más de 24h se catalogan como "A". Entre 1 y 24horas estaría en categoría "B". Por último, aquellos cuyo tiempo medio de reparación es inferior a 1hora estarían dentro de categoría "C".

4.1.2 Modelo de criticidad semicuantitativo “MCR” (Matriz de criticidad por riesgo)

El modelo propuesto está basado en la estimación del factor Riesgo a través de las siguientes expresiones:

Riesgo = FF x C

Dónde:

FF = Frecuencia de fallos (número de fallos en un tiempo determinado)

C = Consecuencias de los fallos a la seguridad, ambiente, calidad, producción, etc.

C = (Impacto en Seguridad y Medio Ambiente (SHA) x 0,2) +

(Impacto en Calidad (IC) x 0,2) +

(Impacto Ruta (IR) x 0,2) +

(Impacto por Baja Mantenibilidad (BM) x 0,2) +

(Costos de Mantenimiento (CM) x 0,2)

A continuación, se presentan los factores ponderados diseñados para el proceso de jerarquización de los factores de frecuencia y consecuencias de fallos: **Factor de frecuencia de fallos (FF) (escala 1 - 5)**

- Sumamente improbable: menos de 1 evento en 3 años

- Improbable: 1 evento en 3 años

- Posible: 1 evento en 1 año

- Probable: entre 1 y 5 eventos al año

- Frecuente: más de 5 eventos por año

Factores de Consecuencias (escala 1 - 5)

Impacto Seguridad y Medio Ambiente (SHA)

5- Alto riesgo de vida del personal, daños graves a la salud del personal y/o incidente ambiental mayor (catastrófico), derrames y fugas que exceden los límites permitidos

3- Riesgo de vida del personal o daños menores a la salud del personal y/o incidente ambiental menor, derrames fáciles de contener y fugas repetitivas

1- No existe ningún riesgo de salud ni de daños ambientales

Impacto en Ruta (IR)

5- Desvío de ruta mayor del 75

4- Desvío de ruta entre el 50

3- Desvío de ruta entre el 25

2- Desvío de ruta entre el 1

1- Desvío de rutano necesario

Impacto por Baja Mantenibilidad (BM)

5- Tiempos de reparación y logística muy grandes

3- Tiempos de reparación y logística intermedios

1- Tiempos de reparación y logística pequeños

Impacto en Costos de Mantenimiento (CM)

5- Daños irreversibles al sistema, costos de reparación incluyendo materiales y HH supera en un 75 % el valor del equipo

4- Costos de reposición incluyendo materiales y HH se ubican entre un 50 % y el 74 % del valor del equipo

3- Costos de reparación incluyendo materiales y HH, se ubican entre un 25 % y el 49 % del valor del equipo

2- Costos de reparación incluyendo materiales y HH, se ubican entre un 10 % y el 24 % del valor del equipo

1- Costos de reparación incluyendo materiales y HH, se ubican por debajo del 10 % del valor del equipo

Los resultados de la evaluación de los factores anteriores se presentan en una matriz de criticidad 5 x 5 (ver Figura de abajo), donde el eje vertical está formado por cinco niveles de frecuencia de fallos, mientras que el eje horizontal está formado por cinco niveles de consecuencias de fallos. La matriz está dividida en cuatro zonas que representan cuatro niveles de criticidad:

Zonas de criticidad:

B = Baja criticidad

M = Media criticidad

A = Alta criticidad

MA = Muy Alta criticidad

Frecuencia						
	5	A	MA	MA	MA	MA
	4	A	A	A	A	MA
	3	M	M	M	A	MA
	2	B	B	B	M	M
	1	B	B	B	M	M
		1	2	3	4	5
		Consecuencias				

Figura 4.2 Matriz de criticidad.

4.1.3 Método del análisis de criticidad (cualitativo) aplicada a los sistemas del barco

A continuación, procederemos a aplicar el modelo de criticidad cualitativo a los sistemas que previamente analizamos, con el propósito de jerarquizar dichos sistemas. Este ejercicio debe ser ejecutado en la planificación del mantenimiento y la gestión de suministros en las embarcaciones, de esta forma tendremos una idea clara de las situaciones en las que nos podemos encontrar ante el fallo de alguno de los sistemas.

Avanzaremos a través del flujograma hasta alcanzar la jerarquización adecuada para cada sistema.

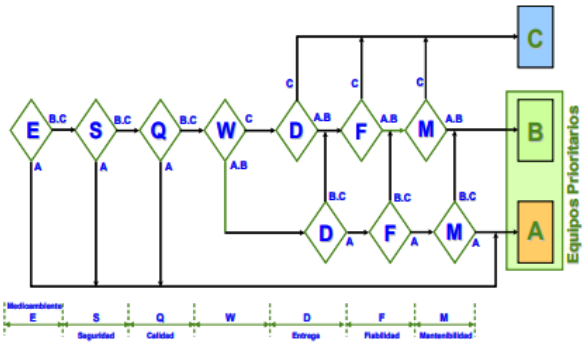

Figura 4.3 Flujograma de análisis de criticidad.

Siguiendo el mismo orden que en el apartado en el que vemos los sistemas, empezaremos por analizar el sistema de propulsión.

Sistema de propulsión

La primera interrogante se refiere al impacto ambiental, y en el caso del sistema de propulsión, cualquier problema asociado debe ser comunicado de inmediato a las autoridades, ya que la pérdida de control de la nave puede resultar en una colisión que genere fugas de aceite, combustible o incluso el hundimiento del barco, ocasionando así una catástrofe medioambiental. En virtud de esto, en la fase inicial del flujograma, clasificamos el sistema como de categoría A.

Esta clasificación nos conduce de manera directa al término del flujograma, señalando que se trata de un sistema de categoría A.

Sistema de suministro de combustible

La relevancia del sistema en cuestión radica en su papel crucial en el funcionamiento del sistema de propulsión. Aunque puede ser catalogado como esencial, se debe tener en cuenta que existen alternativas para el suministro de combustible en caso de un fallo, mediante la presencia de múltiples depósitos y la posibilidad de derivar el combustible por diversas rutas. En consecuencia, no se considerará estrictamente indispensable para el funcionamiento del sistema de propulsión.

En términos medioambientales, una fuga en el sistema se limitaría al interior del barco y, por ende, sería controlable. Por consiguiente, se clasifica como un impacto de categoría B. Desde el punto de vista de la seguridad, un fallo en este sistema no debería desencadenar accidentes que resulten en ausencias laborales, situándolo en la categoría B en cuanto a seguridad.

En cuanto a la calidad, los problemas inherentes a este sistema no deberían perturbar significativamente el plan de navegación del buque, ya que generalmente se pueden resolver en ruta sin afectar el curso de la navegación. Por lo tanto, se le asigna una categoría B. En lo que respecta al trabajo del activo, dado que el sistema opera las 24 horas para suministrar combustible a los generadores incluso cuando la propulsión no está activa, se considera de categoría A.

En relación con la entrega, es decir, si un fallo en este sistema conduce a la paralización total del barco, se han previsto diversas alternativas para el suministro de combustible en caso de fallo, categorizándolo como un sistema de categoría C. En cuanto a la fiabilidad del sistema, se destaca por su baja propensión a fallos, siendo clasificado como de categoría C en este aspecto.

En resumen, este sistema en su conjunto se clasifica como de categoría C. Este análisis se alinea con el enfoque aplicado a los demás sistemas.

Sistema Eléctrico

Medio ambiente, categoría C.

Cuestiones de seguridad, categoría A. El mal estado de este sistema puede ocasionar un accidente grave a un trabajador.

Por tanto llegamos a que este es un sistema de categoría A.

Sistema Hidráulico

Medio ambiente, categoría BC, puede ocasionar una fuga de aceite en sentinas.

Cuestiones de seguridad, categoría B, el mal estado de este sistema puede ocasionar una lesión grave a un empleado, pero al ser algo muy poco probable lo categorizaremos como B.

Cuestión de calidad, categoría B, ya que un fallo de este sistema puede gestionarse de manera que no influye a la vida a bordo de los clientes o a la entrega de carga.

Cuestión de tiempo de trabajo, categoría AB, ya que son de uso frecuente en la vida a bordo.

Cuestión de entrega, categoría BC, no paraliza las operaciones del barco.

Cuestión de fiabilidad, categoría C, la frecuencia de fallo es superior a las 24h por norma general.

Con esto llegamos a que este sistema es de categoría C.

Sistema de hélice de proa

Medio ambiente, categoría BC, la fuga será interna.

Cuestiones de seguridad, categoría BC, es difícil que ocasione daño a alguien del personal

Cuestión de calidad, categoría BC, en caso de fallo de este sistema la maniobra será más reducida, por lo que se requerirá de apoyo externo, pero no ocasionará retraso ni perturbaciones en la vida de los clientes a bordo.

Cuestión de tiempo de trabajo, categoría C, este es un sistema que solo se utiliza en las maniobras, durante las operaciones de navegación no es utilizado.

Cuestión de entrega, categoría C, un fallo en este sistema no ocasiona paro en el trascurso de las operaciones del barco.

Con esto llegamos a que nuestro sistema de hélice de proa es de categoría C.

Sistema de Agua presión

Medio ambiente, categoría BC, un fallo es este sistema no ocasionaría problemas graves en el medio ambiente.

Cuestión de seguridad, categoría BC, ya que un fallo en este sistema no puede ocasionar un accidente grave en la salud del personal de trabajo.

Cuestión de calidad, categoría A, un fallo en este sistema ocasionaría problemas en la vida a bordo de los clientes.

Por tanto, este es un sistema de categoría A

Aquí debemos tener en cuenta el estilo de barco en el que nos encontramos, en este caso podría cambiar entre categoría A o B en función de si llevamos clientes a bordo o no. En un barco de carga no sería un problema mayor, se podrían usar alternativas temporales.

Sistema de gobierno

Medio ambiente, categoría A, como en el caso del sistema de propulsión, si perdemos el gobierno de la embarcación debemos comunicarlo inmediatamente a las autoridades ante la posibilidad de colisiones y por tanto catástrofes medioambientales.

Por lo tanto, este es un sistema de categoría A.

Esta constituye la metodología empleada para la jerarquización de sistemas conforme a nuestro modelo de criticidad. Es imperativo destacar que esta aproximación no es completamente precisa,

No.	Componente	Nivel de Criticidad
1	Sistema de propulsión	A
2	Sistema de suministro de combustible	C
3	Sistema eléctrico	A
4	Sistema hidráulico	C
5	Sistema de hélice de proa	C
6	Sistema de agua a presión	A
7	Sistema de gobierno	A

y la obtención de conclusiones podría variar en función de distintos modelos de criticidad. En este contexto, se evidencia claramente la existencia de dos categorías dentro de los sistemas de clase A; el sistema de agua a presión, si bien no posee la misma preeminencia que el sistema de gobierno, adquiere relevancia cuando se persigue la optimización de la calidad de la experiencia del cliente a bordo. En consecuencia, si bien algunos sistemas mantienen inalterado su nivel de importancia independientemente del objetivo o uso del buque, existen otros para los cuales su significado está intrínsecamente vinculado con la finalidad y aplicación específica de la embarcación.

5 El Mantenimiento 4.0

5.1 Tecnologías 4.0

De acuerdo con James, Kumar, Khan, y Asjad (2023) el mantenimiento 4.0 es un concepto que surge de la Industria 4.0, que representa la cuarta revolución industrial y el uso de nuevas tecnologías para hacer más eficientes los procesos e incrementar la productividad. El objetivo del mantenimiento 4.0 es digitalizar los procesos de mantenimiento, permitiendo la comunicación entre máquinas, personas y sistemas mediante el uso de IoT y robots autónomos capaces de diagnosticar de manera predictiva y preventiva posibles fallos, generar órdenes de trabajo, ejecutar los programas de mantenimiento, ingresar a lugares que implican riesgo de seguridad para las personas, interactuar, optimizar e integrar todos los procesos operativos, administrativos y sistemas.

El mantenimiento 4.0 busca aumentar, garantizar y obtener la producción dentro de índices de confiabilidad deseados. En términos generales, se refiere al conjunto de actividades y acciones que tienen como objetivo preservar o restaurar un activo a un estado en el cual lleve a cabo su función requerida. El mantenimiento 4.0 se apoya en el monitoreo de la maquinaria para optimizar las tareas de mantenimiento de manera que las tareas de reparación se realizan sólo cuando son estrictamente necesarias. (James, et al (2023).

En tal sentido, el mantenimiento 4.0 es una evolución del mantenimiento industrial tradicional que utiliza tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia y la productividad en la industria. El objetivo es digitalizar los procesos de mantenimiento, permitiendo la comunicación entre máquinas, personas y sistemas mediante el uso de IoT y robots autónomos capaces de diagnosticar de manera predictiva y preventiva posibles fallos, generar órdenes de trabajo, ejecutar los programas de mantenimiento, ingresar a lugares que implican riesgo de seguridad para las personas, interactuar, optimizar e integrar todos los procesos operativos, administrativos y sistemas.

El mantenimiento 4.0 es un enfoque innovador en la gestión de la mantenibilidad de los equipos y maquinarias, que se basa en la combinación de tecnologías avanzadas, como el Internet

de las cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA), la realidad aumentada (RA) y la nube. La implementación de este enfoque permite mejorar la eficiencia, la eficacia y la predictibilidad del mantenimiento, lo que a su vez reduce los costos, aumenta la disponibilidad de los equipos y mejora la calidad de los productos y servicios que se proporcionan. (Silvestri, Forcina, Introna, Santolamazza, y Cesarotti, (2020).

El mantenimiento 4.0 utiliza una combinación de tecnologías para recopilar, analizar y utilizar datos en tiempo real sobre la operación de los equipos. Los sensores y dispositivos conectados a los equipos recopilan datos sobre el funcionamiento de los mismos, que se utilizan para identificar problemas antes de que se conviertan en fallos críticos y para determinar el momento óptimo para llevar a cabo el mantenimiento preventivo. Además, también se pueden utilizar para monitorear el rendimiento y la eficiencia de los equipos y para identificar áreas en las que se puede mejorar su funcionamiento.

5.1.1 La Inteligencia Artificial

La inteligencia artificial (IA) y el mantenimiento 4.0 son dos conceptos que están estrechamente relacionados y que están transformando la forma en que se lleva a cabo el mantenimiento en la industria. La IA se refiere a la capacidad de las máquinas y sistemas informáticos para realizar tareas que normalmente requerirían de la inteligencia humana, como el aprendizaje, la toma de decisiones y la resolución de problemas. (Dalzochio, Kunst, Pignaton, Binotto, Sanyal, Favilla, y Barbosa (2020)

Por otro lado, el mantenimiento 4.0 es una evolución del mantenimiento industrial tradicional que utiliza tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia y la productividad en la industria. La combinación de la IA y el mantenimiento 4.0 ha abierto nuevas posibilidades en el campo del mantenimiento industrial. A través del uso de algoritmos y modelos de aprendizaje automático, la IA puede analizar grandes cantidades de datos en tiempo real y predecir posibles fallos o problemas en los equipos y maquinarias. Esto permite llevar a cabo un mantenimiento predictivo, es decir, realizar intervenciones antes de que ocurran los fallos, evitando así tiempos de inactividad no planificados y reduciendo los costos asociados. La IA también puede ser utilizada para optimizar los programas de mantenimiento, identificando patrones y tendencias en los datos recopilados y ajustando las estrategias de mantenimiento en consecuencia. (Dalzochio, et al, 2020)

Además, la IA puede ayudar en la detección temprana de anomalías y en la identificación de posibles mejoras en los procesos de mantenimiento. En la industria 4.0, la IA y el mantenimiento 4.0 se combinan con otras tecnologías como el Internet de las cosas (IoT) y el análisis de datos para crear sistemas de mantenimiento inteligentes y conectados. Los sensores y dispositivos IoT recopilan datos en tiempo real sobre el rendimiento de los equipos, y estos datos son analizados por algoritmos de IA para detectar patrones y anomalías. Esto permite una toma de decisiones más informada y basada en datos, lo que conduce a una mayor eficiencia y reducción de costos en el mantenimiento. (Dalzochio, et al, 2020)

De esta forma, la inteligencia artificial y el mantenimiento 4.0 están revolucionando la forma en que se lleva a cabo el mantenimiento en la industria. Estas tecnologías permiten un enfoque más predictivo y proactivo, lo que resulta en una mayor eficiencia, reducción de costos y tiempos de inactividad no planificados. La combinación de la IA, el IoT y el análisis de datos crea sistemas de mantenimiento inteligentes y conectados que están transformando la industria y abriendo nuevas oportunidades para mejorar la productividad y la competitividad.

Por consiguiente, la inteligencia artificial es una rama de la informática que busca desarrollar algoritmos y sistemas que permitan a las máquinas simular la inteligencia humana y realizar tareas que requieren inteligencia, como el aprendizaje, la toma de decisiones y la resolución de problemas.

En tal sentido, el papel de la Inteligencia Artificial dentro del Mantenimiento 4.0 consiste en analizar los datos recopilados y generar informes y alertas basados en patrones y tendencias. Esto permite a los equipos de mantenimiento responder más rápidamente y de manera más efectiva a los problemas, lo que mejora la eficiencia del mantenimiento y reduce los tiempos de inactividad. La IA también se utiliza para realizar diagnósticos de problemas, identificar causas subyacentes y sugerir soluciones.

5.1.2 La Realidad Aumentada

La realidad aumentada también es una parte importante del mantenimiento 4.0. De acuerdo con (James, et al (2023) consiste en una tecnología que permite superponer elementos virtuales en un entorno real a través de un dispositivo electrónico, como un smartphone o una tableta. Estos elementos virtuales pueden ser textos, imágenes, vídeos o cualquier otro tipo de información digital que se integra en el mundo real. La realidad aumentada se utiliza en una variedad de aplicaciones, incluyendo juegos, entretenimiento, educación, marketing y diseño.

La realidad aumentada es una tecnología disruptiva que está cambiando la forma en que interactuamos con el mundo que nos rodea, según declaraciones del CEO de Apple Tim Cook. En tal sentido, La RA permite a los equipos de mantenimiento visualizar información sobre el equipo en tiempo real y superponerla sobre el equipo real. Esto permite una mejor comprensión de la situación y una solución más efectiva y eficiente de los problemas. La RA también se utiliza para mejorar la formación y el entrenamiento de los equipos de mantenimiento, permitiéndoles ver información detallada sobre los equipos y su funcionamiento, lo que mejora su conocimiento y habilidades.

5.1.3 Cloud Computing

De acuerdo con Jo, Khan y Kim, (2019) señalan que el cloudcomputing es un componente esencial del mantenimiento 4.0, que es un enfoque de la gestión de mantenimiento basado en la recopilación, análisis y uso de datos en tiempo real para optimizar la eficiencia y la efectividad de las operaciones de mantenimiento. En este contexto, el cloudcomputing permite la entrega de

servicios de computación a través de internet, lo que permite a los equipos de mantenimiento acceder a datos y herramientas desde cualquier lugar con conexión a internet.

Asimismo, el cloud computing también es una herramienta valiosa para la implementación del mantenimiento predictivo en el contexto del mantenimiento 4.0. Al recopilar y analizar datos de sensores y otros dispositivos conectados en tiempo real, el cloud computing puede ayudar a los equipos de mantenimiento a detectar problemas antes de que se conviertan en fallos importantes. También puede proporcionar análisis en tiempo real para ayudar a los equipos de mantenimiento a tomar decisiones informadas sobre cómo manejar los problemas que se detectan. (Jo et al, 2019)

Además, el cloud computing puede ser utilizado para implementar sistemas de mantenimiento asistido por computadora (CMMS, por sus siglas en inglés) que permiten a los equipos de mantenimiento llevar un seguimiento de las actividades de mantenimiento, planificar y programar tareas, y acceder a información relevante en tiempo real. Estos sistemas pueden ser implementados en la nube, lo que permite el acceso remoto y en tiempo real a los datos relevantes.

Por tanto, el cloudcomputing es una herramienta fundamental para la implementación del mantenimiento 4.0 y el mantenimiento predictivo. Permite la entrega de servicios de computación a través de internet, lo que permite el acceso remoto a datos y herramientas. También es una herramienta valiosa para la implementación de sistemas de CMMS en la nube, que permiten a los equipos de mantenimiento llevar un seguimiento de las actividades de mantenimiento y acceder a información relevante en tiempo real.

5.1.4 Internet de las cosas (Internet of Things, IoT)

Fue nombrado así por primera vez por Kevin Asthon en 1999, que entonces trabajaba en P&G. Aunque el término fuera nuevo, no lo era la tecnología.

Apareció a principios de los 90 pero no se popularizó hasta mucho después debido a la necesidad de almacenamiento, que entonces resultaba muy caro. Es con la aparición de la Nube, y el desarrollo de la tecnología que permitía generar datos de un tamaño menor, cuando comienza a ser explotado completamente y se comienza a ver su uso frecuente.

De acuerdo con Nižetić, Šolić, López-de-Ipiña, González-de-Artaza, y Patrono (2020). No existe una definición concreta del IOT todavía, pero sabemos que supone, como su nombre indica, dotar de conexión a internet a los objetos. Hay expertos que indican que se podría dotar de conexión a todo elemento que contenga un botón de encendido y apagado, y es cierto que en los últimos años el número de objetos conectados se ha visto aumentado considerablemente.

Una de las principales ventajas que supone el internet de las cosas es la relación que se establece entre ellas, pues, además de cosa-persona, también tendríamos relación cosa-cosa, de manera que no haga falta la intervención de una persona para que se realicen ciertas tareas, o se procese una información. De esta manera podemos automatizar tareas sencillas, sin necesidad de la intervención de una tercera parte. Esta tecnología es capaz de recabar una cantidad mucho

mayor de datos para la optimización o el seguimiento de los sistemas a los que antes no podíamos acceder. Nižetić et al, 2020).

Uno de los elementos claves para el desarrollo del IOT y que resulta también de gran importancia para la Industria 4.0 y el mantenimiento son los sensores. Existe una gran variedad de tipos de sensores en función de las variables que miden o detectan, como podemos ver en la siguiente enumeración:

Según el tipo de parámetro variable:

· Resistivos

Variación de la resistividad o de la conductividad en conductores, semiconductores y aislantes a partir de la magnitud a medir. Ejemplos: Campo magnético (magnetorresistencias) Luz (Fotorresistencias) Concentración de gases, etc

· Capacitivos

Variación de la constante dieléctrica, la separación entre placas o el área de las placas a partir de la magnitud a medir. Ejemplos: Sensores de desplazamiento Proximidad Presión Nivel Humedad Fuerza Inclinación, etc.

· Inductivos

Ejemplos: Sensores y detectores de desplazamiento. Velocidad Aceleración Presión Caudal, flujo, nivel, fuerza, etc

· Magnéticos

Producción de voltajes o corrientes inducidas a partir de magnetismo por aplicación o creación de esfuerzos mecánicos (efecto Villari), campos magnéticos intensos (efecto Wiegand), variaciones de flujo magnético (efecto Faraday), campos magnéticos ortogonales (efecto Hall), calor (efecto Ettingshausen), etc. Ejemplos: Sensores de velocidad lineal (LVS), Caudalímetros electromagnéticos, etc

· Ópticos

Permiten la producción de señales eléctricas a partir de radiaciones luminosas directamente (ej. fotovoltaico) o indirectamente por variación de la resistencia y otros parámetros eléctricos (ej. fotoeléctricos).Ejemplos: Sensores de luz, llama, color y humo, etc

Según la magnitud o variable física a detectar:

· Posición lineal o angular: Caudal y flujo

· Pequeños desplazamientos o deformaciones: Temperatura y humedad

Producción de voltajes o corrientes a partir de temperatura, directa o indirectamente por variación de la resistencia, la aplicación de radiaciones térmicas, etc.

La producción directa de señales eléctricas a partir de variaciones de temperatura se conoce como efecto Seebeck y constituye el principio de funcionamiento de los termopares y de las termópilas.

· Velocidad lineal o angular: Tacto o contacto

· Aceleración o vibración: visión artificial

Permiten la producción de oscilaciones eléctricas a partir de fenómenos físicos resonantes como vibraciones mecánicas, ondas acústicas en cuerdas o cavidades, ondas superficiales en líquidos o sólidos, radiaciones nucleares, etc.

· Fuerza y par: Nivel de solidos o líquidos

Producción de voltajes o corrientes a partir de esfuerzos mecánicos directamente o por variación de la resistencia. Ejemplos: Sensores de fuerza Torque o par Presión Aceleración Vibración, temperatura, etc.

· Presión u Otras variables físico-químicas

Producen señales eléctricas en respuesta a cambios de concentración de sustancias o iones. (industriales, 2013)

Con el IOT se pretende dotar a estos sensores con tecnologías tales como RFID, NFC o WiFi, de manera que obtengamos la información deseada. La RFID (Radio Frequency Identification), identificación por radiofrecuencia, es una de las tecnologías más actuales respecto a sensores. Estos sistemas permiten almacenar y leer datos a través de dispositivos con el objetivo de que puedan ser identificados de manera automática por máquinas.

Se utilizan unas “etiquetas” compuestas por un microchip y una antena donde se almacena la información que identifica al objeto o persona (normalmente un número de serie). Existen los sensores M2M (Machine to Machine), básicamente este sistema tiene como función principal recoger toda la información que no se utilizaba o se perdía por el camino.

Una máquina manda una señal a otra y esta última recaba todos los datos para poder realizar la función para la que se ha creado. Una de las principales ventajas, y el motivo por el que su uso se ha incrementado tanto en los últimos años es que, estos microchips pueden almacenar no solo tarjetas de identificación sino también instrucciones completas de planes de fabricación, o itinerarios que debe seguir el componente.

Por último, debemos mencionar que también se ha comenzado a utilizar el término IIOT, que

se refiere al Industrial Internet of Things. Esta variante implica únicamente que el uso que se le da a la tecnología está centrado en la industria. (Bhuiyan, Rahman, Billah, y Saha, 2021).

5.1.5 Big Data

De acuerdo con Puyol (2019) el big data es un componente esencial del mantenimiento 4.0, que es un enfoque de la gestión de mantenimiento basado en la recopilación, análisis y uso de datos en tiempo real para optimizar la eficiencia y la efectividad de las operaciones de mantenimiento. En este contexto, el big data se refiere a la enorme cantidad de datos generados por sensores, dispositivos y sistemas conectados en los barcos y en los sistemas de mantenimiento.

Es una herramienta valiosa para el mantenimiento 4.0 porque permite el análisis en tiempo real de grandes conjuntos de datos, lo que puede proporcionar información valiosa sobre el rendimiento de los equipos, la eficiencia del proceso y la identificación temprana de problemas de mantenimiento. Los sistemas de big data también pueden proporcionar información detallada sobre el uso de los activos, la duración de las operaciones y la frecuencia de mantenimiento necesaria para mantener los activos en óptimas condiciones de funcionamiento.

Asimismo, se debe destacar que en el contexto del mantenimiento 4.0, se utiliza para alimentar sistemas de mantenimiento predictivo que analizan continuamente los datos de los sensores y otros dispositivos conectados en busca de patrones o anomalías que puedan indicar un problema inminente. Estos sistemas también pueden utilizar algoritmos de aprendizaje automático para analizar patrones históricos de fallos y desarrollar modelos predictivos que ayuden a predecir la probabilidad de fallo de un activo. (Puyol, 2019).

Además, el big data también puede ser utilizado para mejorar la eficiencia del mantenimiento preventivo en el contexto del mantenimiento 4.0. Al recopilar y analizar datos en tiempo real, los equipos de mantenimiento pueden identificar patrones de uso y desgaste en los activos que les permitan programar el mantenimiento preventivo de manera más eficiente y efectiva.

Por tanto, el big data es una herramienta fundamental para el mantenimiento 4.0 y el mantenimiento predictivo. Permite el análisis en tiempo real de grandes conjuntos de datos, lo que puede proporcionar información valiosa sobre el rendimiento de los equipos y la identificación temprana de problemas de mantenimiento. También es una herramienta valiosa para mejorar la eficiencia del mantenimiento preventivo al identificar patrones de uso y desgaste en los activos que permitan programar el mantenimiento preventivo de manera más efectiva.

En conclusión, el mantenimiento 4.0 es un enfoque innovador que combina tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia, la eficacia y la predictibilidad del mantenimiento. Al utilizar tecnologías como IoT, IA, RA y nube, se pueden recopilar y utilizar datos en tiempo real para mejorar la resolución de problemas y la toma de decisiones, lo que a su vez reduce los costos, aumenta la disponibilidad de los equipos y mejora la calidad de los productos y servicios que se proporcionan.

El mantenimiento 4.0 es un enfoque integral que permite a las empresas mejorar la eficiencia

y la eficacia de sus procesos de mantenimiento, lo que a su vez les permite mejorar la calidad de sus productos y servicios, reducir costos y aumentar la satisfacción de sus clientes.

6 Implantación del Mantenimiento 4.0 en los barcos

A continuación, se presentan una serie de pasos necesarios para la implantación del mantenimiento 4.0 en los barcos.

Recopilación de datos en tiempo real

La recopilación de datos en tiempo real es un componente clave de la implementación del mantenimiento 4.0 en barcos. Para recopilar los datos en tiempo real, se utilizan sensores y dispositivos conectados en el barco. Los sensores pueden medir una variedad de variables, como la temperatura, la presión, la vibración y la corriente eléctrica. Estos datos se transmiten a través de la red del barco y se almacenan en la nube para su posterior análisis.

La recopilación de datos en tiempo real permite a los armadores supervisar el rendimiento del barco y detectar problemas en tiempo real. Esto permite tomar medidas inmediatas para corregir los problemas antes de que se conviertan en problemas mayores. Por ejemplo, si se detecta una anomalía en el sistema de refrigeración del barco, se puede programar el mantenimiento de manera proactiva antes de que se produzca un fallo. (James et al, 2023).

El uso de sensores y dispositivos conectados también permite una supervisión remota del barco. Los datos se pueden transmitir a través de la red de la compañía y supervisados desde cualquier lugar del mundo. Esto permite a los armadores supervisar el rendimiento de sus activos en tiempo real y tomar decisiones informadas sobre la programación del mantenimiento. Esto es algo muy útil cuando el barco cuenta con informáticos o ingenieros que trabajan desde el exterior del barco, algo cada vez más frecuente debido al ahorro económico que conlleva.

Análisis de datos

Una vez que se han recopilado los datos, el siguiente paso es analizarlos para identificar patrones y tendencias. El análisis de datos se realiza utilizando técnicas de aprendizaje automático y algoritmos de inteligencia artificial como los que se han descrito anteriormente. Estas técnicas permiten identificar patrones en los datos que pueden no ser evidentes para el ojo humano. (James, et al (2023).

El análisis de datos permite a los armadores predecir el comportamiento futuro del equipo y programar el mantenimiento de manera proactiva. Por ejemplo, los datos recopilados de los sensores en los motores pueden ser analizados para identificar patrones de desgaste que puedan indicar la necesidad de mantenimiento preventivo. Esto permite a los armadores programar el mantenimiento en función del rendimiento real del equipo, en lugar de programarlo en función de un calendario fijo.

El análisis de datos también permite a los armadores identificar patrones de fallos comunes en los equipos y tomar medidas para corregirlos. Por ejemplo, si se detecta que un tipo particular de válvula tiene una tasa de fallo más alta que otros tipos de válvulas, se pueden tomar medidas para corregir el problema, como cambiar a un tipo diferente de válvula.

Optimización de la planificación de mantenimiento

Una vez que se han recopilado y analizado los datos, el siguiente paso es utilizar la información para optimizar la planificación de mantenimiento. La optimización de la planificación de mantenimiento es un proceso continuo que implica la evaluación y el ajuste constante de los planes de mantenimiento para mejorar la eficiencia y la efectividad del mantenimiento.

La implementación del mantenimiento 4.0 permite a los armadores programar el mantenimiento de manera más eficiente y efectiva. Al utilizar los datos recopilados en tiempo real y los patrones identificados en el análisis de datos, los armadores pueden programar el mantenimiento preventivo en función del rendimiento real del equipo. Esto reduce los costos de mantenimiento al reducir la cantidad de mantenimiento innecesario y al permitir que se programen los trabajos de mantenimiento en momentos en que no afecten la producción. (Vukelic G. (2015).

Además, la optimización de la planificación de mantenimiento también puede reducir el tiempo de inactividad del barco al programar el mantenimiento en momentos en que el barco no está en uso. Esto permite que el mantenimiento se realice de manera más rápida y eficiente, lo que reduce el tiempo de inactividad del barco y aumenta su disponibilidad.

Un ejemplo de cómo se puede optimizar la planificación de mantenimiento en un barco es utilizando el análisis de datos para identificar los patrones de uso de los equipos. Por ejemplo, si se descubre que un motor se usa con mayor frecuencia durante ciertos momentos del día, se puede programar el mantenimiento preventivo en momentos en que el motor no está en uso. Esto reduce el impacto del mantenimiento en el funcionamiento y reduce los costos de mantenimiento.

Otro ejemplo es utilizar los datos de los sensores para programar el mantenimiento preventivo en función del rendimiento real del equipo. Por ejemplo, si se detecta una disminución en la eficiencia de un motor, se puede programar el mantenimiento preventivo para corregir el problema antes de que se produzca un fallo. Esto reduce los costos de mantenimiento y reduce el tiempo de inactividad del barco.

6.1 Técnicas 4.0 existentes aplicadas a los barcos

El concepto de Mantenimiento 4.0 en la industria naval no se encuentra ausente en la actualidad, sino que, de hecho, ya ha sido implementado en diversas áreas de este sector. El termino Smart Ship, cada vez más frecuente, surge de esta aplicación de la tecnología 4.0 en los barcos. Este término se refiere a un barco o buque que incorpora tecnologías avanzadas e inteligentes para mejorar su rendimiento, eficiencia y seguridad. Estos buques utilizan diversas soluciones tecnológicas para optimizar sus operaciones y reducir los riesgos asociados con la navegación y el transporte marítimo.

Algunas de las características de un Smart Ship pueden incluir:

- Sensores Avanzados: Utilización de sensores y sistemas de monitoreo para recopilar datos en tiempo real sobre el estado del barco, condiciones meteorológicas, condiciones del mar, etc

- Conectividad: Integración de sistemas de comunicación avanzados que permiten la trasmisión de datos entre el barco y las instalaciones en tierra, facilitando la supervisión remota y la toma de decisiones.

- Automatización: Implementación de sistemas automatizados para diversas funciones, como la navegación, el control de la planta de energía, el monitoreo de la carga, etc.

- Inteligencia Artificial (IA): Utilización de tecnologías de inteligencia artificial para analizar datos, predecir posibles problemas, optimizar rutas y mejorar la eficiencia operativa.

- Eficiencia energética: Implementación de soluciones para mejorar la eficiencia del consumo de combustible y reducir las emisiones, como la optimización de la velocidad, la gestión de energía inteligente, etc.

- Ciberseguridad: Dada la creciente dependencia de la tecnología, los Smart Ship suelen contar con medidas de ciberseguridad para protegerse contra posibles amenazas digitales.

Como hemos visto, los Smart Ship cuentan con numerosas tecnologías 4.0 que ayudan a facilitar y optimizar el día a día de sus operaciones. Cada vez surgen más tecnologías 4.0 enfocadas en el mantenimiento de los barcos. A continuación procederemos a exponer algunos ejemplos de tecnologías 4.0 aplicadas a embarcaciones de este tipo, las cuales contribuyen significativamente a la optimización de sus procesos de mantenimiento. (Strandhagen, Buer , Semini , Alfnes y Strandhagen 2020)

La creación de gemelos digitales, que son réplicas virtuales de los barcos en funcionamiento, permite a los operadores y técnicos simular y analizar diferentes escenarios antes de tomar decisiones cruciales. Mediante la combinación de datos en tiempo real y análisis predictivos, se pueden planificar tareas de mantenimiento de manera más eficiente y minimizar el tiempo de inactividad. Esta técnica ha sido aplicada con éxito en grandes buques de carga y cruceros.

La RA está siendo utilizada para asistir a los técnicos durante las operaciones de mantenimiento. Mediante el uso de dispositivos portátiles, como gafas inteligentes, los trabajadores pueden visualizar información relevante sobre el equipo o componente en el que están trabajando. Esto incluye manuales de reparación, tutoriales y datos en tiempo real, lo que agiliza las tareas de mantenimiento y mejora la precisión.

Los drones marítimos y los robots submarinos están siendo empleados para llevar a cabo inspecciones y tareas de mantenimiento en áreas de difícil acceso o peligrosas para los trabajadores. Estos dispositivos equipados con cámaras de alta resolución y sensores pueden realizar inspecciones detalladas del casco, detectar corrosión, y llevar a cabo labores de limpieza en el fondo del barco.

Son ya muchas las compañías que apuestan por la implementación de los Smart Ships en su flota, algunos ejemplos son; la compañía de navegación Maersk , que ha implementado con éxito la RA en su flota para mejorar la eficiencia del mantenimiento. (Strandhagen, et al, 2020), por otro lado la empresa española de construcción naval Navantia, ha integrado drones submarinos en sus procedimientos de mantenimiento para optimizar la revisión y reparación de sus submarinos. También la compañía Wärtsilä, un empresa finlandesa que suministra soluciones y servicios para esta industria, han estado trabajando en sistemas de gestión de flotas, soluciones de mantenimiento predictivo y tecnologías de eficiencia energética.

6.2 Desafíos en la implementación del mantenimiento 4.0 en barcos y posibles lineas de modernización

La implementación del mantenimiento 4.0 en barcos no está exenta de desafíos. Uno de los mayores desafíos es la falta de estándares y protocolos para la recopilación y el análisis de datos. Esto puede dificultar la interoperabilidad entre diferentes sistemas y dispositivos, lo que puede afectar la eficiencia del mantenimiento.

Otro desafío es la capacidad limitada de la infraestructura de Tecnologías de Información en los barcos. Los barcos a menudo tienen recursos limitados de TI, lo que puede dificultar la implementación de sistemas de mantenimiento 4.0 avanzados. Además, los sistemas de TI en los barcos también pueden ser más vulnerables a los fallos y los errores debido a la naturaleza dinámica y exigente del entorno marítimo. (Mohd Salleh, Selvaduray, Jeevan, Ngah y Zailani, 2021)

La seguridad cibernética también es un desafío importante en la implementación del mantenimiento 4.0 en barcos. Con la creciente cantidad de datos que se recopilan y transmiten, la seguridad cibernética se ha convertido en una preocupación crítica. Es fundamental que los armadores implementen medidas de seguridad robustas para proteger sus sistemas y datos contra amenazas cibernéticas.

Además, la implementación del mantenimiento 4.0 también puede requerir una inversión significativa en tecnología y capacitación. Los armadores deben asegurarse de que sus sistemas de TI y redes sean lo suficientemente robustos para manejar grandes cantidades de datos y soportar la integración de dispositivos y sistemas de mantenimiento 4.0 avanzados. Además, se debe proporcionar capacitación adecuada a la tripulación y al personal de mantenimiento para garantizar que puedan operar y mantener adecuadamente los sistemas de mantenimiento 4.0. Otro desafío en la implementación del mantenimiento 4.0 en barcos es la falta de una cultura de datos sólida. En muchos casos, los armadores y el personal de mantenimiento no están acostumbrados a trabajar con grandes cantidades de datos y a realizar análisis de datos complejos. Es importante que los armadores establezcan una cultura de datos sólida y promuevan la comprensión y la adopción de la tecnología de mantenimiento 4.0 en todos los niveles de la organización.

Además, es importante considerar las implicaciones éticas y legales de la recopilación y el uso de datos. Los armadores deben asegurarse de que están cumpliendo con todas las leyes y regulaciones aplicables con respecto a la privacidad de los datos y la protección de la propiedad intelectual.

En la última fase de nuestro análisis sobre la implementación de tecnologías 4.0 en el mantenimiento de buques, es imperativo abordar las perspectivas de modernización que permitirán maximizar los beneficios derivados de estas innovadoras soluciones. En particular, nos centramos en dos áreas cruciales: la modernización de los sistemas de diagnóstico predictivo y la evolución de la gestión de activos basada en datos, ambas esenciales para programar y optimizar las tareas de mantenimiento de manera eficiente.

En primer lugar, la modernización de los sistemas de diagnóstico predictivo se configura como una prioridad estratégica. La incorporación de algoritmos avanzados y la aplicación de técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje automático permiten un análisis más profundo y preciso de los datos recopilados. La integración de sensores en puntos críticos de la nave, junto con la monitorización en tiempo real, ofrece la capacidad de identificar de manera temprana posibles anomalías y prever fallos en componentes vitales. Este enfoque no solo minimiza los tiempos de inactividad al anticipar problemas, sino que también optimiza la planificación de mantenimiento al priorizar intervenciones según la urgencia y la criticidad de los sistemas.

En paralelo, la evolución de la gestión de activos basada en datos representa un salto significativo hacia la eficiencia operativa. La implementación de sistemas de gestión de activos en tiempo real, que aprovechan datos actualizados y precisos, facilita una programación más inteligente de las tareas de mantenimiento. La utilización de tecnologías de identificación, como códigos de barras y etiquetas RFID, permite un seguimiento exhaustivo de los activos, optimizando la gestión de inventario y garantizando la disponibilidad oportuna de repuestos esenciales. Asimismo, la trazabilidad mejorada contribuye a una gestión más transparente y auditada de los procesos de

mantenimiento.

Adicionalmente, la aplicación de tecnologías de realidad aumentada y virtual en el contexto del mantenimiento de buques introduce una dimensión innovadora. Estas herramientas no solo facilitan la ejecución de tareas complejas al proporcionar asistencia visual en tiempo real, sino que también ofrecen oportunidades para la formación avanzada del personal y la simulación de escenarios, mejorando la preparación para situaciones críticas.

La integración de sistemas de gestión remota es otra línea de modernización clave. Permite la supervisión y el control desde ubicaciones remotas, lo que se traduce en una capacidad de respuesta más rápida a problemas inesperados y una toma de decisiones más eficaz. Al mismo tiempo, la aplicación de tecnologías blockchain para mejorar la trazabilidad de repuestos y registros de mantenimiento agrega una capa adicional de integridad y seguridad a los datos, aspectos cruciales en un entorno marítimo donde la confiabilidad es fundamental.

En conclusión, la modernización en la aplicación de tecnologías 4.0 en el mantenimiento de buques es un proceso continuo que abarca desde la mejora de los sistemas de diagnóstico hasta la evolución de la gestión de activos, la implementación de herramientas de realidad aumentada y virtual, la gestión remota y el aprovechamiento de tecnologías blockchain. Estas iniciativas no solo promueven la eficiencia operativa y la seguridad, sino que también posicionan a la embarcación en la vanguardia de la innovación en el sector marítimo global.

7 Conclusiones

En resumen, la implementación del mantenimiento 4.0 en barcos ofrece muchas ventajas, como una mayor eficiencia del mantenimiento, una mayor disponibilidad del barco y una reducción de los costos de mantenimiento y el tiempo de inactividad. La tecnología de mantenimiento 4.0, como el Internet de las cosas, el análisis de datos y la inteligencia artificial, permite a los armadores recopilar y analizar datos en tiempo real para optimizar la planificación de mantenimiento y tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento.

Sin embargo, la implementación del mantenimiento 4.0 en barcos también presenta desafíos importantes, como la falta de estándares y protocolos para la recopilación y el análisis de datos, la capacidad limitada de la infraestructura de TI en los barcos, la seguridad cibernética y la falta de cultura de datos. Es fundamental que los armadores aborden estos desafíos de manera efectiva para asegurarse de que puedan aprovechar al máximo los beneficios de la tecnología de mantenimiento 4.0.

El mantenimiento 4.0 se está convirtiendo en una práctica cada vez más común en la industria marítima, y se espera que continúe ganando importancia en el futuro. Los armadores que adopten la tecnología de mantenimiento 4.0 pueden mejorar significativamente la eficiencia y la eficacia del mantenimiento, lo que a su vez puede mejorar la disponibilidad y la rentabilidad de sus barcos. La implementación exitosa del mantenimiento 4.0 en barcos requerirá una inversión significativa en tecnología y capacitación, así como la capacidad de abordar los desafíos clave, pero los beneficios pueden ser significativos.

Actualmente, las tecnologías 4.0 se aplican en buques y cruceros, pero en embarcaciones privadas y de menor tamaño su uso es limitado. Con el tiempo, se espera que estas tecnologías sean más asequibles para todos, lo que impulsará su adopción y mejorará el mantenimiento en todas las embarcaciones. Esto promoverá la seguridad, la sostenibilidad y la eficiencia en la industria marítima en su conjunto, facilitando al mismo tiempo la vida de los capitanes al contar con herramientas avanzadas para la toma de decisiones y la gestión operativa.

Índice de Figuras

1.1	El barco de vapor	3
2.1	Tipos de Mantenimiento	11
2.2	Cuadro de mando integral	13
3.1	Sistema de propulsión	18
3.2	Sistema de suministro de combustible	19
3.3	Sistema hidráulico de hélice de proa	22
4.1	Flujograma de análisis de criticidad.	26
4.2	Matriz de criticidad	30
4.3	Flujograma de análisis de criticidad	31

Bibliografía

[1] D.; Poli F.; Zonta D.; Casas J.R. Bado, M.F.; Tonelli. *Digital twin for civil engineering systems: An exploratory review for distributed sensing updating*. Sensors, 2022.

[2] A. Cardama-Aznar, L. Cofre-Roca, J. M. Rius-Casals, J. Romeu-Robert, S. Blanch-Boris, and Miguel Ferrando-Bataller. *Antenas*. Edicions Universidat Politècnica de Catalunya, 2000.

[3] Ke-Lin Du and M. N. S. Swamy. *Wireless Communication Systems: From RF Subsystems to 4G Enabling Technologies*. Cambridge Press, 2010.

[4] R.L. Freeman. *Radio System Design for Telecommunications (1-100 GHz)*. John Wiley, 1987.

[5] José María Hernando-Rábanos. *Transmisión por radio*. Ed. Ramón Areces, 6ª edition, 2008.

[6] Ingeman. *UNE-EN 13306*. AENOR INTERNATIONAL S.A.U, 2018.

[7] John D. Kraus and Ronald J. Marhefka. *Antennas For All Applications*. McGraw-Hill, 2002.

[8] Harvey Lehpamer. *Microwave Transmission Networks*. McGraw-Hill Professional Engineering, 2004.

[9] Stefan M. Moser. How to typeset equations in latex, February 2012.

[10] Juan José Murillo-Fuentes. *Fundamentos de Radiación y Radiocomunicación*. Ed. ETSI. Universidad de Sevilla, 1ª edition, 2007.

[11] A.V. Oppenheim and R.W. Schafer. *Discrete-Time Signal Processing*. Prentice Hall, Inc., 1 edition, 1989.

[12] T. Rappaport. *Wireless Communications: Principles and Practice*. 2003.

[13] Alberto Sendín-Escalona. *Fundamentos de los sistemas de comunicaciones móviles*. McGraw-Hill, 2004.

[14] M. Sierra-Pérez, Belén Galocha-Iragüen, José Luis Fernández-Jambrina, and Manuel Sierra-Castañer. *Electrónica de comunicaciones*. Pearson-Prentice Hall, 2003.

[15] R. Steele. *Mobile radio communications*. Pentech Press, 1992.

[16] N. Wiener. *Extrapolation, Interpolation, and Smoothing of Stationary Time Series, with Engineering Applications.* New York: Wiley, reimpresión del trabajo original publicado en el mit en 1942 edition, 1949.