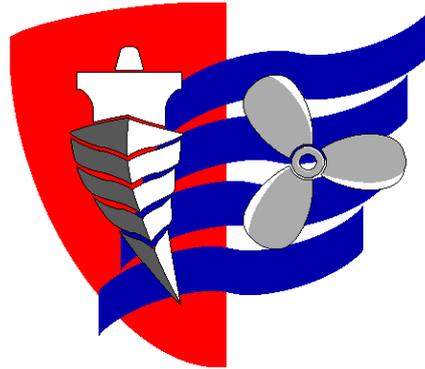


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Máster

**DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO
ELÉCTRICO PARA UNA FLOTA DE UNA
COMPAÑÍA NAVIERA**

*Design of electrical maintenance plan for a
fleet of a shipping company*

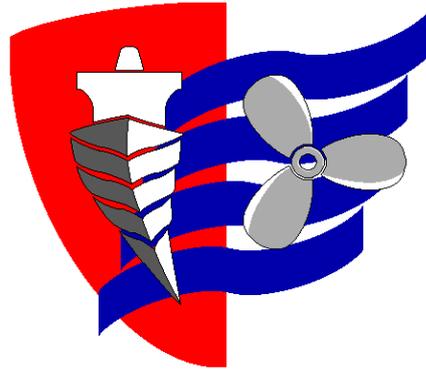
Para acceder al Título de Máster Universitario en
INGENIERÍA MARINA

Autor: Antonio Jesús Callesi González

Director: Manuel Alfredo Girón Portilla

Octubre - 2018

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Máster

**DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO
ELÉCTRICO PARA UNA FLOTA DE UNA
COMPAÑÍA NAVIERA**

*Design of electrical maintenance plan for a
fleet of a shipping company*

Para acceder al Título de Máster Universitario en
INGENIERÍA MARINA

Octubre - 2018

ÍNDICE

Índice	3
Resumen	5
Summary	6
Palabras clave	7
Keywords	7
1 Introducción	9
1.1 Antecedentes.....	9
1.2 Naturaleza del trabajo.....	9
1.3 Contexto técnico.....	10
1.3.1 Criterios del Plan de Mantenimiento de la Compañía.....	11
1.3.2 Instrucciones del Plan de Mantenimiento de la Compañía.....	17
1.4 Justificación y objetivos	18
1.5 Relevancia.....	19
2 Memoria descriptiva.....	21
2.1 Planteamiento del problema	21
2.2 Herramientas de resolución.....	21
2.2.1 Normativa relacionada y documentos externos.....	23
2.3 Metodología.....	23
2.3.1 Tipos de mantenimiento	26
2.3.2 Mantenimiento correctivo	27
2.3.3 Mantenimiento correctivo no programado	28
2.3.4 Mantenimiento correctivo programado o diferido	29
2.3.5 Mantenimiento preventivo	30
2.3.6 Mantenimiento preventivo programado	32

2.3.7	Mantenimiento preventivo predictivo	34
3	Aplicación práctica.....	38
3.1	Software de mantenimiento	39
3.2	El plan de mantenimiento eléctrico - PME	39
3.3	Elaboración del plan de mantenimiento eléctrico - PME.....	39
3.4	Diseño del plan de mantenimiento eléctrico - PME	43
3.5	Propósitos del plan de mantenimiento eléctrico - PME.....	44
3.5.1	Análisis de Vibraciones	46
3.5.2	Análisis de Ultrasonidos	49
3.5.3	Análisis Termográficos	50
3.5.4	Análisis en Motores Eléctricos.....	52
3.5.5	Análisis por endoscopia.....	53
3.6	Costes generales del plan de mantenimiento eléctrico - PME.....	53
3.7	Costes específicos del plan de mantenimiento eléctrico - PME	55
3.7.1	Costes directos de la empresa ofertante	56
3.7.2	Costes indirectos de la empresa ofertante	57
4	Conclusiones	63
5	Referencias bibliográficas.....	66
5.1	Libros.....	66
5.2	Páginas Web	66
6	Anexos.....	68

RESUMEN

Este proyecto desarrolla las pautas a seguir para la realización y posterior ejecución de un Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), específico para compañías navieras que dispongan de buques en líneas regulares, con la particularidad de que este mantenimiento se realiza con personal especialista de tierra y con equipos específicos, estableciendo el grueso de las actuaciones a la llegada del buque a puerto. Se estudian en profundidad las necesidades específicas y se analizan las incidencias de estos mantenimientos en la eficiencia de equipos e instalaciones.

El objetivo del proyecto consiste en conseguir la funcionalidad permanente del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), el cual establecerá las actuaciones en función de la operatividad del equipo o instalación y conjuntamente con la operatividad del buque, teniendo en cuenta, que la previsión de la mayoría de las actuaciones se llevará a cabo cuando el buque se encuentre en servicio de operativa de tierra, sin que esta deba ser interrumpida, para reducir al mínimo las posibles interferencias.

Se concreta un ámbito de aplicación inicial de estudio del presente proyecto en la compañía BENHARD SCHULTE CANARIAS, propietaria de dos buques gemelos, OPDR CANARIAS y OPDR ANDALUCIA, que realizan ruta regular fija entre Sevilla y las Islas Canarias, realizando rotación semanal. Estos buques son de tipo CON-RO, transportan contenedores y carga rodada de manera simultánea.

Como conclusión, se puede resaltar que el argumento que defiende esta forma de actuación, no solo es económico, desde el punto de vista cuantificable, si no que se tiene en cuenta la alta cualificación del personal asistente desde tierra, la utilización de medios y equipos de alto desarrollo tecnológico. Todo ello persiguiendo el objetivo fundamental de la compañía naviera: La seguridad y funcionalidad de sus buques.

SUMMARY

This project develops the guidelines to be followed for the realization and subsequent execution of an Electric Maintenance Plan (PME), specific for shipping companies that have ships on regular lines, with the particularity that this maintenance is carried out with specialized personnel of land and with specific equipment, establishing the most of the actions at the arrival of the ship to port. The specific needs are studied in depth and the incidences of these maintenance in the efficiency of equipment and facilities are analyzed.

The objective of the project is to achieve the permanent functionality of the Electrical Maintenance Plan (PME), which will establish the actions depending on the operation of the equipment or installation and together with the operability of the vessel, taking into account that the forecast of the Most of the actions will be carried out when the ship is in ground operating service, without it having to be interrupted, to minimize possible interference.

An initial scope of study of the present project is specified in the company BENHARD SCHULTE CANARIAS, owner of two twin vessels, OPDR CANARIAS and OPDR ANDALUCIA, which carry out regular fixed route between Seville and the Canary Islands, carrying out a weekly rotation. These vessels are CON-RO type, transport containers and ro-ro cargo simultaneously.

As a conclusion, it can be highlighted that the argument that defends this form of action, is not only economic, from the quantifiable point of view, but that it takes into account the high qualification of the assistant personnel from the ground, the use of means and equipment. of high technological development. All this pursuing the fundamental objective of the shipping company: The safety and functionality of its ships.

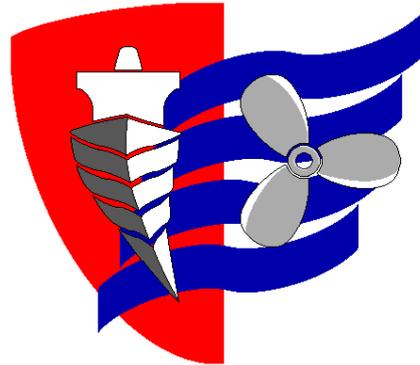
PALABRAS CLAVE

Plan de Mantenimiento eléctrico, Compañía Naviera, Línea regular, Seguridad

KEYWORDS

Electric Maintenance Plan, Shipping Company, Regular Line, Safety

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



INTRODUCCIÓN

1 INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El presente trabajo se presentará en la Escuela Técnica Superior de Náutica, como Trabajo Fin de Máster al objeto de obtener el título de Máster en Ingeniería Marina, trata sobre un estudio técnico de un Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME) aplicado a buques que establecen rutas de navegación regulares, con el objetivo de marcar las pautas a seguir para la realización de un plan de mantenimiento eléctrico y su posterior puesta en marcha, contando con la colaboración de personal de tierra.

Esta forma de llevar a cabo los trabajos del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), se justifica y se argumenta desde el punto de vista de obtener una mayor eficiencia de los equipos y sistemas, mayor rentabilidad económica, así como obtener las máximas garantía de funcionalidad del buque, en aras de la seguridad a bordo y el desarrollo económico de la compañía Naviera.

Actualmente la compañía no tiene definido el Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME). El objeto de este proyecto será el desarrollo del mismo, integrándolo en sistema de gestión de mantenimiento implantado por la compañía y estableciendo modificaciones en el mismo. Cabe resaltar, como una de las modificaciones propuestas más significativa, la sustitución de la figura del electricista a bordo, por la de una empresa especializada en trabajos eléctricos que ejecutará los mantenimientos con personal ajeno a la tripulación y siguiendo los estrictos requisitos establecidos en el Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME).

1.2 NATURALEZA DEL TRABAJO

El presente proyecto desarrolla un estudio técnico y económico de un Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), ejecutado en su mayor parte por una empresa especializada y con personal ajeno a la tripulación. Sirva como análisis y concreción de estudio la Naviera BERNHARD SCHULTE CANARIAS,

propietaria de los buques OPDR Canarias y OPDR Andalucía. Esta naviera establece rutas fijas semanales entre Sevilla y las Islas Canarias, con los dos buques gemelos de tipo Con-Ro.

1.3 CONTEXTO TÉCNICO

Los Buques OPDR Andalucía y OPDR Canarias, son propiedad de la compañía naviera BENHARD SCHULTE CANARIAS, con sede en Santa Cruz de Tenerife (Islas canarias), son del tipo CON/RO carrier equipados para carga de contenedores y carga rodada (reefers) de manera simultánea.

Los buques fueron construidos en el Astillero Fujian Mawei Shipbuilding Ltd. China en el año 2007 bajo la supervisión de la sociedad de clasificación Germanischer Lloyd y diseñados de manera específica para permitir la navegación por el río Guadalquivir, para acceder al puerto de Sevilla.

Estos buques tienen una capacidad para 500 TEUs, pudiendo cargar contenedores de 20, 40 y 45 pies en la cubierta de contenedores, además de cargar en sus dos bodegas rolltrailers y carga rodada. El acceso a la bodega principal (carga hold) es gracias a la rampa situada a popa, mientras que a la bodega inferior (lower hold) se accede levantando las tapas de acceso a la rampa de dicha bodega inferior. El sistema empleado para actuar sobre la rampa y estas tapas de acceso a la bodega inferior es el sistema hidráulico MacGregor, el mismo que se emplea para el ascensor que permite cargar o descargar desde la bodega hasta la cubierta de contenedores.



Figura 1. Buques: OPDR Andalucía / OPDR Andalucía.

Fuente: OPDR Andalucía, (2018).

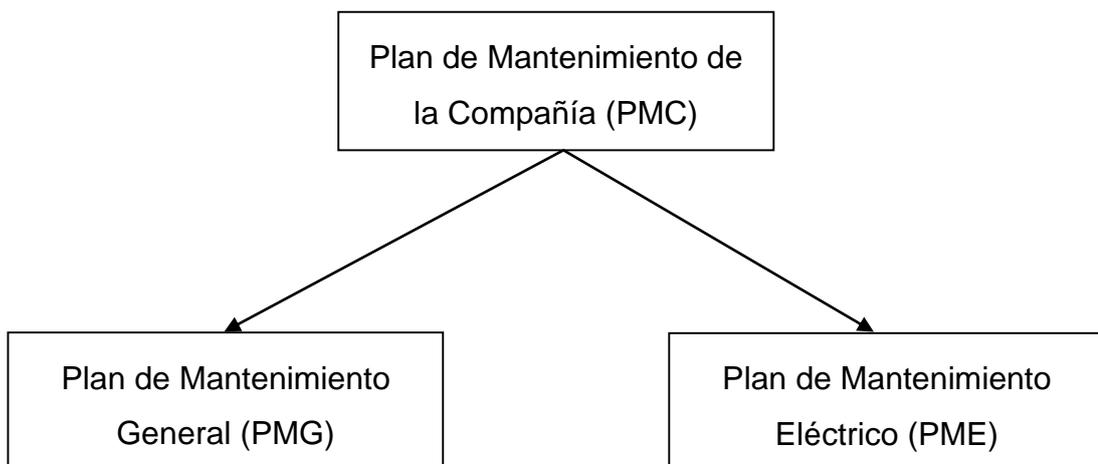
Cuentan con una eslora entre perpendiculares de 136,7 metros y 145 metros de eslora total, 22 metros de manga, calado máximo de 6 metros, arqueo bruto de 11.197 T.

Actualmente, cada buque cuenta con una tripulación de 16 personas: Capitán, Jefe de Máquinas, 1º Oficial de Cubierta, 1º Oficial de Máquinas, 2º Oficial de Cubierta, Contramaestre, Electricista, Mecánico, 4 Marineros, Cocinero, Camarero y Alumnos de puente y máquinas.

1.3.1 CRITERIOS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA COMPAÑÍA

La política de la compañía BERNHARD SCHULTE CANARIAS, en lo relativo al mantenimiento general de sus buques, establecerá unos procedimientos de mantenimiento que garanticen, en la mayor medida posible, el correcto funcionamiento de conformidad con los reglamentos correspondientes y manuales de los fabricantes de los equipos que tienen instalados los buques, según el tipo y sus características especiales.

El Plan de Mantenimiento de la Compañía (PMC) contemplará la integración del Plan de Mantenimiento General (PMG) conjuntamente con el Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), con el objetivo de alcanzar la mayor eficacia en la ejecución de ambos.



Para que estos procedimientos de mantenimiento sean efectivos, la compañía establecerá para cada uno de sus dos buques (OPDR Andalucía y OPDR Canarias), de acuerdo con sus características y condición, medidas que van más allá del mantenimiento correctivo (reparación de un equipo que no ha funcionado), estableciendo medidas de mantenimientos preventivo y programado (comprobaciones que detecten defectos latentes).

La compañía requerirá a su personal prestar atención a los pequeños detalles que puedan indicar la incorrecta condición de un determinado equipo. De ahí la necesidad de exponer en cuadros informativos síntesis, croquis de operación, para asegurar la continuidad de la eficacia y de la seguridad a pesar de que varíen las personas.

Personas responsables:

1. El primer responsable del cumplimiento del Plan de Mantenimiento de la Compañía (PMC) es la dirección, que dará atribuciones a las siguientes personas encargadas de que se cumplan las Instrucciones y procedimientos.
2. El capitán del buque, como responsable de la organización y cumplimiento de las obligaciones contenidas en Plan de Mantenimiento de la Compañía (PMC).
3. Los oficiales responsables del cumplimiento de las instrucciones generales y de las órdenes del capitán.

Procedimientos:

1. La compañía establece que, el correcto estado del buque y funcionamiento de los equipos que tengan una influencia directa sobre la seguridad de las personas, buque y carga, son objetivos que deben tenerse presentes por todo el personal.
2. La compañía, de acuerdo con el Capitán y el Jefe de Máquinas, definirá a quien corresponde específicamente el mantenimiento de cada uno de los equipos considerados fundamentales para la seguridad y prevención de la contaminación.

3. El mantenimiento se realizará de acuerdo con los libros de instrucciones facilitados por el fabricante de cada uno de los equipos relacionados.
4. Las personas responsables tanto en tierra como en el buque, deberán estar familiarizadas con las exigencias de la Administración de la bandera del buque y también de las Sociedad Clasificadora.
5. Para lograr estos objetivos, la dirección de la compañía en tierra, asignará un inspector como persona cualificada para el control y debido soporte informativo y técnico a los buques, así como de los datos que pudiesen existir en la compañía, incluyendo referencias a las disposiciones y adecuación de las herramientas de mantenimiento, información técnica, respetos y suministros también los medios de protección y seguridad para el personal que lo necesite.
6. La compañía establecerá tres clases de mantenimientos: programado, predictivo y correctivo. Dentro del primero se considera la actuación por horas de funcionamiento según prescripción del fabricante y experiencia a bordo. Dentro del predictivo se atiende el cambio de equipos o partes de equipos derivado de las inspecciones o verificaciones de los mismos, cuando estos no han llegado a fallar, pero se puede observar un deficiente funcionamiento de sus partes. Para el mantenimiento correctivo se considera la reparación de equipos o partes de equipos que han llegado a fallar.
7. Para lograr la mayor eficacia de los mantenimientos programado y predictivo, el personal responsable a quien competa el mismo, establecerán dentro de cada buque, inspecciones o verificaciones regulares por el personal para equipos que se consideran prioritarios para la seguridad del buque y prevención de la contaminación.
8. De estas verificaciones o inspecciones, así como de las reparaciones o cambio de piezas que se realice, de las medidas correctivas que se tomen, se mantendrán informes a bordo, que indiquen claramente las acciones tomadas y las fechas en que se han realizado.

9. El capitán custodiará, con el resto de la documentación del buque, la relativa a la Administración y a la Sociedad Clasificadora, con respecto al mantenimiento del buque, las fechas de las inspecciones reglamentarias rutinarias y las extraordinarias con ocasión de averías con las notas correspondientes, también el de las fechas de caducidad. De toda novedad mantendrá informado a la persona designada.

Mantenimiento de los equipos:

1. Para una planificación del mantenimiento es imprescindible que a bordo del buque esté disponible toda la información técnica de los fabricantes de los equipos, que deberán haber sido suministradas al buque a su entrega por el Astillero donde se construyó, o por el suministrador, en el caso de cambio o instalación de un nuevo equipo.
2. Para cada buque, de acuerdo con los equipos en él instalados, se seguirá la información del fabricante, que indica el procedimiento adecuado de funcionamiento, su mantenimiento, el tipo de lubricante o conservantes a usar, etc. Esta información será estudiada y tenida siempre en cuenta como referencia obligada por el personal encargado de su mantenimiento.
3. Con el fin de asegurar la permanencia a bordo de estos manuales de mantenimiento, en la entrega de mando del capitán y del jefe de máquinas, se rellenará y firmará una relación de los documentos originales o que se hayan ido añadiendo que determinan el mantenimiento de cada equipo.
4. Los diferentes manuales los guardarán cuidadosamente: el Capitán en su oficina, y los referentes exclusivamente al departamento de máquinas, el Jefe de Máquinas. Se procurará no usar normalmente estos originales a lo largo de la vida del buque, trabajando sobre fotocopias que, en caso de extravío, decoloración o deterioro, siempre se podrá recurrir de nuevo al original para nuevas copias.
5. Se establece la actuación periódica de personal técnico de tierra que ejecutará los trabajos establecidos en el Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), con la programación que desarrolla el Software de mantenimiento disponible de la compañía.

Reparaciones:

1. Una reparación no debería ser considerada como un verdadero mantenimiento en sí, pero sin embargo hay partes del buque o equipos que por no tener una directa influencia en la seguridad o preservación del medio ambiente pueden no requerir un especial mantenimiento, pero sí tener una influencia final sobre la seguridad.
2. Cuando se produzca una avería se avisará al capitán que, junto con el jefe de máquinas, la analizará. Se procederá a su reparación si es posible hacerlo con los medios con que cuenta el buque.
3. Inmediatamente que se detecte el mal funcionamiento o avería de un equipo o parte de él, se indicará claramente su estado mediante la colocación de una etiqueta que indique que está **FUERA DE USO, DEFECTUOSO o EN REPARACION**, haciéndose la correspondiente anotación en el Diario de Navegación o Cuaderno de Máquinas.
4. En el caso de que se necesite auxilio exterior se informará rápidamente a la compañía.
5. Si la avería no afecta a la seguridad del buque y puede esperar: el oficial responsable, primer oficial o jefe de máquinas en sus respectivas libretas de futuras reparaciones, anotarán la fecha y el detalle de la operación a realizar, definición, localización, medidas, dimensiones, material, calidades, para la próxima llegada a puerto o parada para diqueado.
6. Pueden dar lugar a reconocimientos extraordinarios por parte de la Administración o por la Sociedad Clasificadora, cuando tenga especial relevancia.

Reparaciones por personal ajeno a la Compañía:

1. El Capitán tiene la responsabilidad de informar a la persona responsable sobre las necesidades de mantenimiento, reparaciones y cuando sea necesaria la ayuda de terceros, procediendo según las instrucciones generales de la compañía.

2. Se tendrá presente la eficacia de la operación y la necesidad de reducir, dentro de lo posible, el tiempo de inmovilización.
3. Los proveedores y contratistas de trabajos, que intervengan en los servicios de mantenimiento conocerán los requerimientos del SGS de la compañía, los de la Administración, de las Sociedades Clasificadoras, del buen hacer, eficacia y seguridad, que se observarán cuando se lleven a cabo trabajos a bordo o en tierra.
4. En el caso de no-conformidad con la reparación, por parte de las personas responsable del buque, no se firmará ningún documento y se informará urgentemente a la persona designada.

Inspecciones estatutarias:

1. La compañía tendrá personal competente y debidamente cualificado que preparará las inspecciones. Se harán las inspecciones periódicas correspondientes previstas en el plan de la Administración, Sociedades Clasificadoras y compañía, por personal acreditado.
2. En el caso de averías que afecten a la seguridad, el capitán del buque informará, primeramente, a la persona designada, y según normativa a la Administración y a la Sociedad Clasificadora.
3. El Capitán y Oficiales responsables del buque acompañarán a los inspectores acreditados en sus servicios a bordo, para facilitar su misión y tomarán buena nota de cuantas observaciones y recomendaciones técnicas se formulen, para su constancia a bordo. El Capitán informará de todo ello a la compañía.
4. El Capitán del buque hará un seguimiento de la documentación que acredite la condición del buque y mantendrá informada a la persona responsable.

Equipos incluidos en el Plan de Mantenimiento de la Compañía (PMC)

1. Casco
2. Refuerzos de la estructura
3. Propulsor principal

4. Motores/Generadores auxiliares
5. Planta eléctrica
6. Equipo de gobierno y servomotor
7. Gobierno de emergencia
8. Botes salvavidas y de rescate
9. Equipo contra incendios
10. Equipo de fondeo, de amarre y de carga
11. Sistema de lastre
12. Bombas y sistema de achique
13. Equipo de navegación del Puente
14. Sistemas de alarma internos
15. Paradas de emergencia de distintos equipos
16. Bomba contra incendios de emergencia
17. Alumbrado de emergencia
18. Equipo de control y separadores de aguas oleosas

1.3.2 INSTRUCCIONES DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA COMPAÑÍA

Orden, limpieza y adecuado mantenimiento son: EFICACIA y SEGURIDAD.

1. La creciente complejidad de los buques, precisa de sus tripulaciones más responsabilidad y menor trabajo físico, pero más planificación y mucho mayor control.
2. Siendo frecuentes los cambios de personal, hacen preciso que toda la información e instrucciones se hagan por escrito, se archiven y que estén debidamente custodiadas por el personal responsable. Usándose normalmente fotocopias de las mismas y manteniendo los originales debidamente archivados.

3. Es más eficaz conservar que reparar, y un buen plan de mantenimiento contemplará el orden, el método, la seguridad y la economía.
4. Conservar lo que esté bien, engrasar con el tipo de lubricante adecuado en los tiempos que proceda.
5. No perder el tiempo, ni dejarse llevar por menudencias, suprimir lo inútil. Mejorar es casi siempre simplificar.
6. En todos los casos las instrucciones para la tripulación deben ser concisas, claras, si es posible con gráficos o croquis, con la debida información de operación y seguridad. Es siempre recomendable su exposición en cuadros de avisos próximos al lugar afectado, archivándose una copia para poder copiar en caso de deterioro del aviso expuesto.

1.4 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Mi experiencia como Oficial de Máquinas de la Marina Mercante, unida a mi experiencia en empresas que desarrollan trabajos de mantenimiento eléctrico a buques desde tierra, me ha servido para entender la importancia del mantenimiento eléctrico de los sistemas y equipos que se encuentran a bordo. En muchos casos este mantenimiento es subestimado o bien llevado a cabo por personal a bordo sin la cualificación necesaria o sin contar con los medios tecnológicos y equipos de control precisos.

Por estos motivos quiero resaltar y desarrollar en este trabajo las diferentes técnicas de mantenimiento eléctrico para la maquinaria, equipos y sistemas que se encuentran a bordo. Este control de mantenimiento eléctrico se establece esencial para la funcionalidad del buque, para la seguridad de las personas a bordo y su entorno y, finalmente, para desarrollo económico de la compañía naviera.

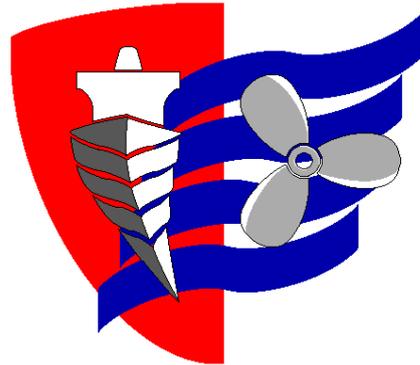
En este proyecto se desarrollan las pautas a seguir para la elaboración y posterior ejecución del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME). Así mismo, se desarrolla en profundidad las técnicas de mantenimiento, aplicado a la parte eléctrica del buque, y la evolución a lo largo del tiempo, en concordancia con la aplicación de las nuevas tecnologías.

1.5 RELEVANCIA

Resaltar la importancia de la implantación, desarrollo y ejecución del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), conjuntamente al Plan de Mantenimiento General del buque (PMG) ya establecido y la integración de ambos en el Plan de Mantenimiento de la Compañía (PMC). En el PME se tienen en cuenta factores como el personal de a bordo, el personal de tierra que asistirá a los trabajos y la operatividad del buque.

Todo ello, cumpliendo las normativas nacionales e internacionales establecidas y exigidas por las diversas organizaciones competentes, Capitanía Marítima, Sociedades de Clasificación y seguros contratados por la naviera. Así mismo, para la programación y posterior ejecución de los trabajos de mantenimiento del PMC, se seguirán los manuales, instrucciones técnicas y recomendaciones de los fabricantes o servicios técnicos.

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



MEMORIA DESCRIPTIVA

2 MEMORIA DESCRIPTIVA

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El planteamiento del problema, está basado en el estudio de la actividad de los buques de la compañía, unido al continuo afán de mejora en desarrollar una actividad que resulta fundamental para la operatividad de los buques. Se persigue la finalidad una compañía más competitiva en los pilares de la eficiencia productiva, seguridad de la instalación y personal de abordó, frente a los costes económicos de explotación.

Con el objetivo de ofrecer las máximas garantías de operatividad de los buques de la compañía, los máximos niveles de seguridad de los mismos y la seguridad de sus tripulantes a bordo, se plantea el presente proyecto de desarrollo de un Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), dentro del marco del Plan de Mantenimiento de la Compañía (PMC).

El Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME) se complementará con el Plan de Mantenimiento General (PMG) de los buques y ambos quedarán integrados en el Plan de Mantenimiento de la Compañía (PMC).

La característica principal del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME) es que se diseña para ser ejecutado, en su mayor parte, por personal técnico de tierra, ajeno a la tripulación, que realizará las actuaciones cuando los buques se encuentren en puerto e interfiriendo al mínimo en las operaciones de los mismos. Además, contempla la eliminación de la figura del electricista, como personal a bordo, para la reducción de costes.

2.2 HERRAMIENTAS DE RESOLUCIÓN

El Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME) de la compañía BERNHARD SCHULTE CANARIAS para sus buques, contemplará actuaciones tanto por horas de los equipos, como por tiempo transcurrido (semanales, mensuales, anuales...), tal como se regula en los manuales y documentación técnicas de los equipos e instalaciones.

Para la ejecución de este PME, la compañía contará con la utilización del software de mantenimiento, denominado PAL-PMS, que incluye un histórico con los trabajos realizados, un inventario de piezas disponibles de sustitución, tanto a bordo como en almacén de tierra, así como las revisiones y comprobaciones de todos los sistemas y de alarmas del buque. Este programa es la herramienta informática en el que se basa el Plan de Mantenimiento General (PMG) y el Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME) para cumplir con los requisitos establecidos en el Plan de Mantenimiento de la Compañía (PMC).

Este software contempla, fundamentalmente el mantenimiento programado, para la planificación, administración y control de todas las labores programadas por horas de funcionamiento y tiempo en servicio de la maquinaria. Con ello se obtienen datos sobre los trabajos que se han realizado, los que se están realizando y los que quedan por realizar, así como los costes, los presupuestos de reparaciones, inventarios, pedidos, ... Para la obtención del máximo rendimiento posible del programa, es imprescindible que estén introducidos en su base de datos los valores de los elementos necesarios para su control (horas equipos, inventarios, trabajos realizados, pedidos, ...).

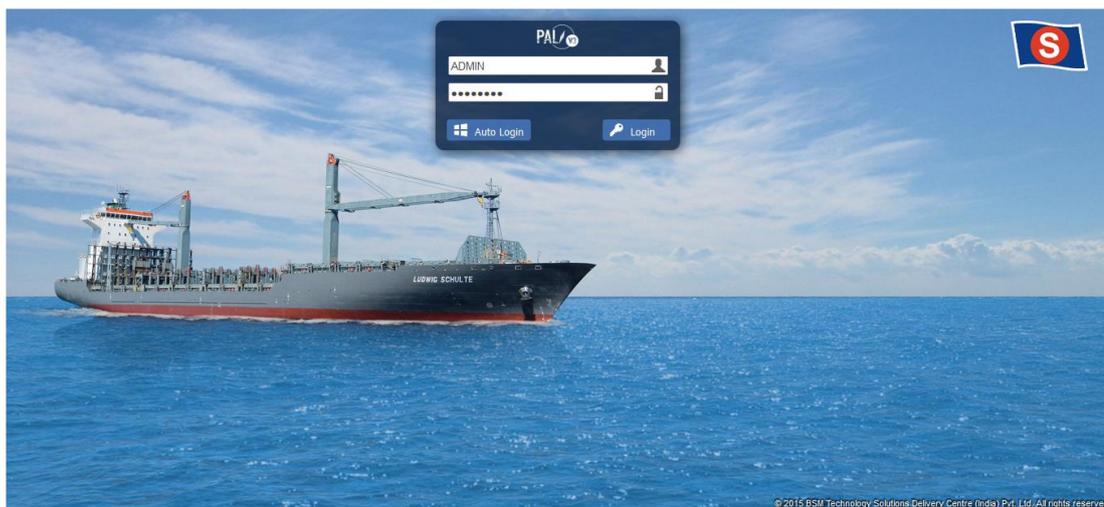


Figura 2. Software Informático compañía Bernhard Schulte Canarias.

Fuente: PAL v3 PMS User Manual Ver 2.3.3.0 (1) - MANUAL PMS BUQUES (2018)

Además de software de mantenimiento, también, y de manera específica para el Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), se prevé la actuación de personal de tierra, perteneciente a una empresa especializada para la realización de los trabajos de mantenimiento. Estos trabajos programados o correctivos, serán otra de las herramientas utilizadas para llevar a cabo el PME. Como ya ha sido explicado, se realizarán en su mayor parte cuando el buque se encuentre atracado y contará con la estrecha colaboración del personal de a bordo, que facilitará datos de los equipos, posibles fallos de los mismos, planificación y organización de los trabajos, ...

Los trabajos de mantenimiento a ejecutar incluirán mediciones, comprobaciones y pruebas, tanto de instalaciones y como de equipos. Estas pueden ser:

- Medición de aislamiento en motores y cuadros eléctricos.
- Termografía Infrarroja
- Análisis de vibraciones.
- Ultrasonidos

2.2.1 NORMATIVA RELACIONADA Y DOCUMENTOS EXTERNOS

- Reglamento de reconocimiento de buques y embarcaciones mercantes, aprobado mediante RD 1837/2000, de 10 de noviembre (BOE 28.11.00)
- Reglas de la Sociedad Clasificadora.
- Manuales y Libros de mantenimiento de los fabricantes de los equipos que tiene instalados el buque.

2.3 METODOLOGÍA

Cuando hablamos de mantenimiento, nos referimos al conjunto de acciones que tienen como objetivo mantener o restaurar un artículo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida, en el contexto marítimo especificamos estas acciones como cualquier actividad necesaria

(observaciones, comprobaciones, mediciones, reemplazos, ajustes, reparaciones, etc...) para mantener o reparar una unidad funcional de forma que ésta pueda cumplir sus funciones correctamente.

También es necesario mencionar, el mantenimiento aplicado a los materiales a bordo y que se define como todas aquellas medidas llevadas a cabo para conservarlos en una condición adecuada o los procesos para lograr esta condición.

El mantenimiento de los buques de la compañía Bernhard Schulte Canarias, no sólo está invertido, enfocado y aplicado al departamento de máquinas, sino que también incluye al departamento de cubierta: todos los sistemas y dispositivos con los que cuentan los barcos en la cubierta (grúas, molinetes, maquinillas, sistema de arriado del ancla, etc...), así como los equipos instalados, también están sometidos a un determinado método de mantenimiento.

Los buques OPDR Canarias y OPDR Andalucía, que son los buques analizados en el presente proyecto, son exactamente iguales, por este motivo, el estudio y desarrollo del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME) será un documento común para ambos buques.

Resulta importante resaltar que, en el mantenimiento de instalaciones y materiales, se incluyen elementos como tuberías, válvulas, racores, ... instalados en los buques, y que, debido al ambiente agresivo en el que están expuestos, se producen corrosiones externas (las que están a la vista) e internas (en el interior de equipos o instalaciones).

Desde el punto de vista del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), las medidas que son llevadas a cabo a bordo para evitar corrosiones, podemos citar la siguiente:

- Aplicación de sistemas eléctricos (corrientes impresas) y ánodos de sacrificio.

Del mismo modo que se estudia y desarrolla el proyecto, quedará establecido una comunicación constante entre ambos buques de la compañía, con el objetivo de facilitar información práctica y útil en cuanto al comportamiento de

equipos, ajustes de los tiempos de mantenimientos, tiempos de cambio de elementos en los diferentes equipos o sistemas y demás información relevante. Esta información se adjuntará al PME, el programa de mantenimiento PAL-PMS dispone de una carpeta para adjuntar informes de los trabajos realizados y cumplimentará el mismo, de tal manera que este plan estará en permanente evolución de mejora para ambos buques.

Cabe destacar, desde el punto de vista de partida del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), que las revisiones que se realizan a los equipos a bordo, vienen dictaminadas por los fabricantes, quienes entregan a la compañía y al buque las pautas a seguir descritas en el libro de mantenimiento.

Normalmente el mantenimiento que se aplica a la maquinaria se fundamenta por horas de funcionamiento, es decir, la casa fabricante marca los periodos de tiempo en los que se deben de realizar los diferentes trabajos de mantenimiento, que pueden ser desde mantenimientos diarios, hasta semanales, mensuales, etc... y además también recomienda el cambio de elementos (piezas). Asimismo, existen equipos en los que el mantenimiento viene reflejado por tiempo, ya que no se dispondrá de datos de horas de funcionamiento.

En el objetivo de la evolución del Plan de Mantenimiento eléctrico (PME), se tiene en cuenta que existen ocasiones en las que las diferencias de actuaciones de mantenimiento que se encuentran entre máquinas del mismo tipo y marca, vienen dadas por factores como:

- **Manipulación:** a la hora de realizar las labores de revisión o reparación, hay que seguir las pautas que establecen los fabricantes, en cuanto a factores como el par de apriete, engrase, ajustes, tolerancias, etc...
- **Niveles de vibraciones:** esta condición está directamente relacionada con desgastes y averías que pueden ser repetitivas en el tiempo, en relación al periodo que marcan los fabricantes; dichas vibraciones pueden estar provocadas por el propio equipo, o bien por el diseño y construcción del barco.

- **Utilización de recambios originales:** este condicionante influye de manera importante en la disminución de manera repetitiva de las averías. La diferencia de colocar unos recambios originales o no, es la base fundamental del mantenimiento de fiabilidad, ya que, si no se utilizan los originales, dicho mantenimiento no tendría sentido.

2.3.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO

Con la implantación del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), aplicado en todos los equipos y sistemas de los buques de la compañía Bernhard Schulte Canarias, coexisten una o varias clases de mantenimiento, dependiendo del tipo de maquinaria, importancia de ésta en la instalación y valor inicial de la misma. Con ello podemos decir que, por ejemplo, no se les aplica el mismo mantenimiento a los equipos críticos que a una bomba de sentinas.

Podemos realizar una clasificación básica de los diferentes tipos de mantenimiento que existen (en función de su aplicación e importancia), y que combinamos dentro del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME):

La clasificación básica de los tipos de mantenimiento que son aplicados, puede describirse de la siguiente manera:

- Mantenimiento de conservación
 - Correctivo
 - Inmediato
 - Diferido
 - Preventivo
 - Programado
 - Predictivo
 - De oportunidad
- Mantenimiento de Actualización

Existen además otras clases de mantenimiento que no aplicamos con mucha frecuencia, pero que su aplicación es necesaria y es ejecutada en el PME:

- Mantenimiento centrado en la fiabilidad
- Mantenimiento Cero Horas

2.3.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Debemos entender el mantenimiento correctivo como la reparación de las averías o fallos en el momento en el que éstas ocurren, es decir, la actuación se llevará a cabo tras una avería que provocó la parada del equipo, de la instalación o de la máquina afectada.

En el caso concreto que afecta al Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME) y, debido al cumplimiento de normativas de seguridad impuestas por las administraciones y otras organizaciones del sector, la aplicación del mantenimiento correctivo se reduce a aquella maquinaria que no posea una importancia vital en la funcionalidad del buque y que no revierta ningún problema en la seguridad del mismo.

La aplicación de este tipo de mantenimiento correctivo (resolver la avería cuando ocurra), dentro de nuestro Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME) se reducirá, básicamente a los siguientes a los equipos a bordo:

- Magnetotérmicos
- Contactores
- Fusibles
- Relés
- Tarjetas electrónicas
- Programadores

Destacar que estos elementos no pertenecerán, en ningún caso, a equipos catalogados como críticos a bordo, puesto que a estos equipos se le realizará un mantenimiento preventivo programado y de manera conjunta, pruebas y comprobaciones periódicas que aseguren el comportamiento correcto del equipo.

El fallo y parada de alguno de los equipos o elementos anteriormente descritos no revierte problemas en la operatividad de buque, ni pérdidas de tiempo, de

flete, etc... por lo que su reparación se puede realizar en el momento o bien posponerla durante un corto periodo para ejecutarla. En algunos casos, se aplica es la sustitución completa del equipo, ya que económicamente hablando es más rentable el colocar uno nuevo que la inversión que se tiene que hacer en tiempo de trabajo y piezas de respeto (recambios).

Se establecen dos tipos determinados de mantenimiento correctivo:

- Mantenimiento correctivo no programado o inmediato
- Mantenimiento correctivo programado o diferido

2.3.3 MANTENIMIENTO CORRECTIVO NO PROGRAMADO

Se define como el mantenimiento que se realiza al equipo justo después de producirse la avería. Esta situación resulta no ser deseable para la compañía, puesto que puede afectar a:

- La operatividad del buque.
- La producción.
- Los compromisos con clientes.
- Los ingresos, ya que la paralización del buque conllevará unos gastos sustanciales.

Este tipo de manteniendo, aplicado a nuestro Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), es aplicado a aquellos equipos que su avería no provoque una gravedad importante. Del mismo modo, y para hacer frente a la mayor brevedad posible y con la mayor eficacia a la reparación, se tendrán en cuenta los siguientes factores:

- Equipos que dispongan de un equipo montado en “stand-by” (listo para entrar a funcionar en cualquier momento).
- Disposición de un equipo completo en el pañol de respetos.
- Disponibilidad de recambios del equipo (tarjetas, relés, fusibles, contactores, ...)

Debemos matizar que algunos de los equipos, denominados Equipos Críticos, están sometidos a mantenimientos correctivos, sin tener en dicho momento ningún fallo, se les realiza una revisión y reparación de manera periódica, en algunos casos completa, y en otros la sustitución del equipo, pero por mero requerimiento de la Sociedad de Clasificación, Capitanía Marítima y administraciones.

En el caso concreto de las actuaciones y siguiendo el protocolo que establece el Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), para este tipo de mantenimiento, éstas deberán ser resuelta por el personal de a bordo, ya que la reparación del equipo se estima inmediata.

2.3.4 MANTENIMIENTO CORRECTIVO PROGRAMADO O DIFERIDO

El mantenimiento correctivo programado o diferido (también llamado planificado), supone la corrección del fallo cuando se cuenta con el personal, las herramientas, la información y los materiales (recambios) necesarios y, además, el momento de realizar la reparación puede ejecutarse sin influir en la operatividad de funcionamiento del buque.

Este método de aplicación del mantenimiento, conlleva la planificación de la actuación tras producirse el fallo o avería. Generalmente, esta forma de actuación en detrimento de la del mantenimiento correctivo inmediato viene marcada por la importancia del equipo.

En caso de poder mantenerse el equipo o instalación operativo hasta la llegada a puerto, será entonces cuando se realice la reparación del mismo. De este modo, tal como establece el Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME) serían los técnicos de la empresa de tierra, lo que realizasen la reparación.

Para llevar a cabo esta reparación, la empresa de tierra contratada recibirá la información de la avería lo antes posible con el objetivo de planificar los repuestos, herramientas, personal, ...

Este tipo de mantenimiento puede darse en maquinaria que es primordial, que con la máquina en funcionamiento no se pueden subsanar, pero que siempre

y cuando el equipo no corra riesgo, se pospondrá su arreglo para la llegada a puerto. Teniendo en cuenta que se realizará lo antes posible, cuando la máquina esté parada y se realizarán los preparativos necesarios para que todo esté listo a la hora de la llegada del buque a puerto. Se coordinará la actuación con el aviso previo del buque a la empresa de tierra, esta notificación se realizará por escrito mediante un correo electrónico. En el correo se especificarán todos los detalles de la avería y de la instalación y/o equipo.

En las salas de máquinas de los barcos se da lo que se conoce como duplicidad, es decir, el tener parte de los equipos doblados o incluso en algunos casos triplicados en número. Por lo tanto, esto conlleva a que, si uno de los equipos falla, automáticamente otro entra en servicio, por lo que la avería de uno no revierte en más problema que la reparación de éste.

La realidad y, en líneas generales, las ventajas no superan en ningún caso a los inconvenientes, y en un barco en donde la operatividad y la seguridad de la gente y del medio ambiente son fundamentales, el mantenimiento correctivo no tiene cabida como base del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME). Lo que sí es cierto es que, para determinados equipos, sí es efectivo, por lo que convive en mayor o menor grado con el mantenimiento preventivo dentro del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME).

2.3.5 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Podemos definir el mantenimiento preventivo o también denominado “mantenimiento planificado” como el conjunto de actuaciones ejecutadas, de forma periódica, en un equipo o instalación con el objetivo fundamental de optimizar su funcionamiento y evitar paradas imprevistas, es decir, tiene lugar antes de que ocurra el fallo.

Las acciones preventivas del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME) se efectuarán bajo condiciones controladas sin la existencia de error alguno en el sistema. En nuestro caso, se establecen las actuaciones por lo datos

existentes en la base de datos del programa de mantenimiento PAL-PMS, basados en los siguientes parámetros:

- Las recomendaciones de los libros de mantenimiento de los fabricantes de los equipos.
- La experiencia y la pericia del personal a cargo del mantenimiento. Ya que se incluyen informes de actuaciones a los trabajos que se van ejecutando.

Las actuaciones del mantenimiento preventivo programado, que se recogen en el Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), se establecen para la mayoría de los equipos y vienen definidas por los fabricantes. El plan de mantenimiento preventivo cumplirá con los siguientes puntos:

1. Inspecciones periódicas de las instalaciones y equipos para detectar situaciones que puedan provocar fallo o avería y depreciación perjudicial.
2. El mantenimiento necesario para hacer frente a dichas averías antes de que lleguen a revestir gravedad.

En nuestro caso concreto, estos trabajos especificados en los puntos anteriores, serán realizado conjuntamente por el personal de a bordo y por el personal asistente de tierra.

Este tipo de mantenimiento no se aplica a toda la maquinaria instalada, ya que parte de ésta resulta más barata dejarla funcionando hasta lo último y después sustituirla por una nueva, claro está, siempre que dicha situación no revierta ningún riesgo en la seguridad y operatividad del buque.

Este tipo de actuaciones preventivas del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), cumplirán con las siguientes características:

- La mayoría de las tareas se realizarán en momentos en los que la máquina está parada. Se pondrá en funcionamiento cuando las circunstancias lo permitan, para la realización de las pruebas oportunas.
- Se llevarán a cabo siguiendo el programa de mantenimiento PAL-PMS que dispone la compañía, donde se detalla la manera de realizar el

trabajo, el tiempo invertido, las herramientas necesarias para llevarlo a cabo y permite poder disponer de un historial (averías, reparaciones, modificaciones...).

2.3.6 MANTENIMIENTO PREVENTIVO PROGRAMADO

También llamado mantenimiento sistemático, se define como el grupo de actuaciones de mantenimiento que se realizan a un equipo o instalación siguiendo el programa informático PAL-PMS.

Este tipo de mantenimiento programado sistemático es eficaz en equipos en los que se requieren de una disponibilidad media o alta y cuyas averías causan importantes contratiempos al buque y, por consiguiente, a la compañía, por lo que no puede esperarse a que den síntomas de fallo.

Entre las actuaciones que se incluyen están las siguientes:

- Limpiezas técnicas de equipos.
- Sustitución de elementos sometidos a desgaste: por horas de funcionamiento es necesario el cambio de ciertas piezas.
- Comprobación del estado interior de determinados elementos. Existe la necesidad de verificar accesorios internos de las máquinas que no se pueden realizar estando la misma en servicio, y donde se requiere un desmontaje complejo.
- Comprobación del buen funcionamiento de la instrumentación y calibración. Las máquinas más importantes (motores principales, motores auxiliares, caldera, depuradoras, etc...) están monitorizadas para que, de esta forma, se disponga en todo momento de información relativa sobre los parámetros de dicha máquina.
- Verificación de prestaciones. Se trata de comprobar que el trabajo para el que la máquina o instalación ha sido diseñada se está llevando a cabo correctamente.

Uno de los motivos, por los que se argumenta la actuación por parte de personal técnico de tierra especializado en la ejecución de las acciones del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), es que en los procesos en los que se

establece un sistema de mantenimiento programado pueden inducirse averías que el equipo previamente no tenía. Existen determinados equipos se les realizan tareas de mantenimiento con una periodicidad alta, (diaria, cada dos o tres días, semanal, etc...), de modo que su desmontaje/montaje produce daños, desgastes o incluso el mal montaje del mismo, de ahí la necesidad de ser llevados a cabo por personal especializados, con los medios y equipos necesarios.

El mantenimiento programado que se aplicará a bordo de los buques OPDR Canarias y OPDR Andalucía dentro del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), se basa principalmente en:

- Pautas establecidas en los libros de mantenimiento de los fabricantes.
- Revisiones establecidas por el departamento de Mantenimiento de la Compañía.
- Acontecimientos y experiencia: existen tareas que se han incorporado al mantenimiento y que no venían descritas en ningún sitio, pero la experiencia ha demostrado que se deben realizar.

Básicamente el mantenimiento que se va a realizar, se hará en función de:

- **Horas de funcionamiento.** A equipos que cuentan con contadores horarios del tiempo de funcionamiento.
- **Tiempo de servicio.** A equipos que cuentan no disponen de contadores. Generalmente a equipos “estáticos”, es decir, en aquellos en los que no existen elementos móviles.

Aunque parece lo mismo, no lo es, y los equipos que basan el mantenimiento en función de las “horas de funcionamiento” únicamente cuentan el tiempo que la maquina está en marcha (esto significa que, por ejemplo, un mantenimiento que se debe ejecutar a las 100 horas, puede tardar en realizarse seis meses), mientras que “tiempo de servicio” se refiere a la cantidad de tiempo que un equipo lleva instalado, independientemente de si se ha usado mucho o poco. Hay que matizar también que, en numerosos casos, ambas pautas se combinan en una misma máquina, como ocurre, por ejemplo, con los motores principales en donde el mantenimiento

correspondiente a la revisión de sensores se establece por tiempo de servicio (semestral o anual) y no por horas.

Los libros de mantenimiento que las casas de fabricantes de los equipos suministran a la compañía y al buque establecen los periodos para la realización de las tareas de inspección, limpieza, mediciones y cambios de piezas.

Cuando la maquina se encuentre en periodo de garantía, las pautas marcadas por manuales de mantenimiento, se realizarán al pie de la letra, ya que, si se produjera una avería, y el mantenimiento no se hubiera llevado a cabo como dicta la casa, se perdería la garantía y, en consecuencia, el gasto sería doble. Ahora bien, cuando la garantía caduca, se puede ser más flexible con dichos periodos en base a las mediciones de tolerancias y experiencia del personal.

2.3.7 MANTENIMIENTO PREVENTIVO PREDICTIVO

Con el desarrollo de las tecnologías, se han diseñado aparatos o equipos electrónicos que sirven para medir parámetros tales como la temperatura, las presiones, los caudales, las viscosidades, la salinidad, las vibraciones, etc...

Por tanto, el mantenimiento predictivo podemos definirlo como una técnica para pronosticar el punto futuro de rotura o avería de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base a un plan, justo antes de que se produzca la avería.

De este modo, el tiempo inactivo del equipo se reduce al mínimo debido a que no existe una avería mayor, lo que podría incurrir en una paralización de la máquina, y el tiempo de vida de los componentes asociados se maximiza, ya que evitamos el deterioro excesivo de los mismos. Muchos de estos pronósticos se extraen de la información vertida por la monitorización de los equipos, es decir, de la información recogida por los sensores colocados a lo largo de la instalación y en los equipos, transformada y plasmada en el ordenador de la sala de control.

El mantenimiento predictivo modifica los intervalos de mantenimiento programado en una forma predecible. Es por ello que se puedan considerar las siguientes características dentro de éste mantenimiento:

- **Proactivo:** cuando la información permite diferir los mantenimientos programados de componentes si están operando normalmente.
- **Reactivo:** cuando la información de condición indica un problema que requiere mantenimiento correctivo.

La consideración del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME) contempla, de manera significativa la utilización de este tipo de mantenimiento preventivo predictivo, ya que se considera más funcional, económico y con mayores garantías operativas para los buques. El hecho de evitar posibles averías importantes, que no solamente dañan una pieza, sino que puedan repercutir además en el resto de elementos que la acompañan o incluso, prevenir las paradas indeseadas del buque, argumentan de manera favorable las actuaciones que llevarán a cabo el personal de tierra.

También, destacamos el nivel elevado de fiabilidad de los equipos e instalaciones a los que se les aplica este tipo de mantenimiento, debido al estudio en profundidad que se realiza a los mismos y el hecho de producirse una advertencia previa que indica que algo anómalo está sucediendo, antes de que pueda oírse, verse o sentirse.

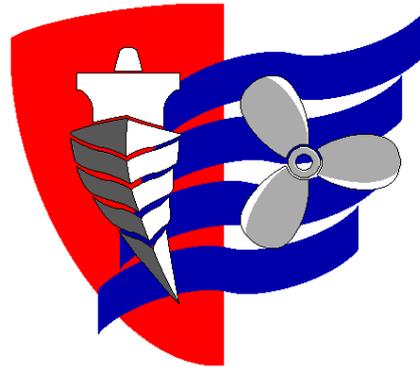
Entre las consideraciones fundamentales que el mantenimiento predictivo tiene, destacamos las siguientes:

- **Utilizado** en equipos críticos para las operaciones.
- **Requiere** un sistema de monitoreo sofisticado, mantenimiento de información y evaluación continuas.
- **Emplea** varias tecnologías para determinar la condición del equipo o de los componentes mediante la medición y el análisis de la tendencia de parámetros físicos con el objeto de detectar, analizar y corregir problemas en los equipos antes de que se produzca una avería.

Las diferentes técnicas, que se ponen en práctica en la ejecución del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), son las siguientes:

- **Monitorización:** se utilizan sensores, cables, tarjetas electrónicas y el software disponible en el control de la sala de máquinas. Este sistema informático aporta numerosa información sobre el estado de la maquinaria en general y posibilita interactuar con los equipos.
- **Análisis de vibraciones.** Este procedimiento indica si el funcionamiento de los dispositivos es el correcto mediante la utilización de equipos captadores de vibraciones y el posterior análisis de los resultados obtenidos.
- **Análisis de Ultrasonidos.** Es un procedimiento complementario al análisis de vibraciones, su utilización es fundamentalmente en máquinas rotativas con velocidades de giro superiores a las 300 revoluciones por minuto.
- **Análisis Termográfico.** Podemos definir la termografía como radiografías térmicas realizadas a la maquinaria e instalación con el fin de detectar “focos calientes” con relación a la temperatura óptima y que, evidentemente, revelan un funcionamiento incorrecto de algún punto determinado.
- **Análisis en Motores Eléctricos.** Debido al elevado número de motores eléctricos de inducción existentes a bordo, se prevé el análisis de los mismos de manera exhaustiva para la detección de problemas y anomalías. Este análisis se llevará a cabo con la utilización de diferentes equipos y procedimientos.
- **Análisis por Endoscopias.** Con ellas se consigue acceder a lugares de la máquina sin necesidad de desmontarla y así comprobar su estado, ahorrándose con ello un dinero y un tiempo en horas de actuación.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



APLICACIÓN PRÁCTICA

3 APLICACIÓN PRÁCTICA

Debido a la característica de regularidad de viajes que realizan los buques de la compañía BERNHARD SCHULTE CANARIAS, con horarios establecidos, nos permite programar los días de actuación de los trabajos de mantenimiento eléctrico:

Buque OPDR Canarias

Actuación de los trabajos:

Puerto: Sevilla / Días: lunes (Tarde) y martes (Mañana)

Buque OPDR Andalucía

Actuación de los trabajos:

Puerto: Sevilla / Días: jueves (tarde) y viernes (mañana)

La justificación de esta forma de plantear la ejecución de los trabajos que establezca el Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), recae en varios factores, entre los que se encuentra el económico, ya que de este modo la compañía, no necesita disponer a bordo de personal técnico eléctrico para ello. Del mismo modo, se tienen en cuenta la importante disponibilidad de medios técnicos de los que dispone una empresa que asiste desde tierra. También, la utilización de equipos tecnológicos que no están disponibles a bordo, así como personal altamente cualificado específicamente en las tareas a desarrollar.

Para llevar a cabo las actuaciones marcadas en el PME, se prevé que dos operarios técnicos cualificados, asistan a los buques en los días concretados anteriormente, en jornada de 8 horas de trabajo cada uno. Se contempla la posibilidad de que este personal deba embarcar para la realización de algún trabajo que, por su complejidad, tiempo de ejecución, análisis del funcionamiento o bien por causas de operatividad del buque, este deba hacerse en ruta durante la navegación del buque.

3.1 SOFTWARE DE MANTENIMIENTO

Se denomina software de mantenimiento al sistema informático creado y basado fundamentalmente en el mantenimiento programado, para la planificación, administración y control de todas las labores programadas por horas de funcionamiento y tiempo en servicio de la maquinaria. Con este programa se obtienen datos sobre las labores que se han realizado, se están realizando y quedan por realizar, así como los costes de inventario y los presupuestos de reparaciones, siempre y cuando los valores de los elementos estén introducidos en su base de datos.

3.2 EL PLAN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO - PME

El plan de Mantenimiento Eléctrico (PME) consiste en la descripción detallada de las tareas de mantenimiento preventivo y, en casos concretos, correctivo, asociadas a un equipo o máquina, desde el punto de vista eléctrico, explicando las acciones, plazos y recambios a utilizar.

De todos modos, existe un conjunto de equipos que se consideran “no mantenibles” desde un punto de vista del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), y en los cuales es mucho más económico aplicar un mantenimiento puramente correctivo (en inglés se denomina *run to failure*, o “utilizar hasta que falle”).

3.3 ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO - PME

En la elaboración del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), pueden cometerse toda una serie de errores que es necesario conocer anticipadamente para tratar de evitarlos. De todas formas, no hay que olvidar que un plan de mantenimiento con errores es mucho mejor que trabajar sin plan de mantenimiento, ya que, de este modo, estaríamos basando toda la actividad en la reparación de averías.

En la realización del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), seguimos lo que se denomina un “modelo de planificación de mantenimiento”. Este modelo

normalmente se basa en el mantenimiento de conservación, fundamentado en la coexistencia de los dos tipos más importantes de mantenimiento que hay, el mantenimiento correctivo y el mantenimiento preventivo.

Concretamente, la elaboración del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), puede realizarse de diferentes formas:

- **Modo 1:** recopilando las instrucciones e indicaciones que las casas fabricantes de los diferentes equipos.
- **Modo 2:** basándonos en protocolos de mantenimiento, que parten de la idea de que los equipos se pueden agrupar por tipos, y a cada tipo le corresponde la realización de una serie de tareas, con independencia de quien sea la casa fabricante.
- **Modo 3:** basándonos en un análisis de fallos que pretenden evitarse.

Con el objetivo de realizar el Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME) de la manera más completa posible, abordaremos su realización desde dos modos diferentes. Por un lado, recopilamos las instrucciones e indicaciones de fabricantes y servicios técnicos y por otro, analizamos los fallos de los equipos, realizando un mantenimiento preventivo predictivo. Los datos que resultan de este mantenimiento predictivo, se incluirán en la base de datos de programa de mantenimiento PAL-PMS que dispone la compañía.

	C	WP	Job Order No.	Job Title	Equipment Code	Equipment Name	Next Due Date	Next Due Hrs.	Interval	Frequency	Last Done Date
			V-BASP000145/14	CONFIRM GOOD CONDITION OF CABLE...	895.03	NAVIGATION LIGHTS	06-Dec-2014	0	3	MONTH	06-Sep-2014
			V-BASP000146/14	STARTER PANEL ELECTRICAL ROUTINES	844.01.10.01	EL MOTOR/PANEL BOILER PRIMARY FAN	07-Dec-2014	0	3	MONTH	07-Sep-2014
			V-BASP000147/14	STARTER PANEL ELECTRICAL ROUTINES	373.02.02	NO. 2 EXHAUST FAN	07-Dec-2014	0	3	MONTH	07-Sep-2014
			V-BASP000148/14	STARTER PANEL ELECTRICAL ROUTINES	573.02.01.01	EL MOTOR/STARTER GALLEY EXHAUS...	07-Dec-2014	0	3	MONTH	07-Sep-2014
			V-BASP000149/14	STARTER PANEL ELECTRICAL ROUTINES	584.01.02.01	EL MOTOR/PANEL ACCOMMODATION L...	08-Dec-2014	0	3	MONTH	08-Sep-2014
			V-BASP000150/14	STARTER PANEL ELECTRICAL ROUTINES	702.01.02.01	EL MOTOR / STARTER HFO PURIFIER N...	08-Dec-2014	0	3	MONTH	08-Sep-2014
			V-BASP000151/14	STARTER PANEL ELECTRICAL ROUTINES	701.01.01.01	EL MOTOR / STARTER HFO TRANSFER ...	08-Dec-2014	0	3	MONTH	08-Sep-2014
			V-BASP000152/14	TEST ALARMS/LOWDOWN/SHUTDOWN	PP0012	M/E HFO CIRC. PUMPS -LOW PRESSURE...	08-Dec-2014	0	3	MONTH	08-Sep-2014
			V-BASP000153/14	STARTER PANEL ELECTRICAL ROUTINES	702.02.01	EL MOTOR / STARTER D/O PURIFIER	08-Dec-2014	0	3	MONTH	08-Sep-2014
			V-BASP000142/14	TEST ALARMS/LOWDOWN/SHUTDOWN	MSW0013	DC 24 V SOURCE FAIL	09-Aug-2015	0	12	MONTH	09-Aug-2014

Figura 3. Software Informático compañía Bernhard Schulte Canarias.

Fuente: PAL v3 PMS User Manual Ver 2.3.3.0 (1) - MANUAL PMS BUQUES (2018)

Tal como establece el protocolo de actuación del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), el personal técnico de tierra realizará un mantenimiento fundamentalmente preventivo y, en menor porcentaje de ejecución, un mantenimiento correctivo. En cambio, el personal de a bordo realizará un mantenimiento fundamentalmente correctivo y que no pueda esperar a la llegada del buque a puerto para su ejecución.

Descritos los argumentos empleados para la realización del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), es el momento de plantear la realización del mismo en dos fases diferenciadas:

- **Fase 1:** Realizaremos un plan inicial, basado en instrucciones de los fabricantes (modo más básico de elaborar un plan) o en instrucciones genéricas según el tipo de equipo, completados siempre por la experiencia de los tripulantes (Jefe de máquinas y Oficiales) que habitualmente trabajan con los equipos, máquinas e instalaciones. También se tendrá en cuenta las obligaciones legales de mantenimiento que tienen algunas instalaciones.
- **Fase 2:** Una vez elaborado este plan inicial y con él ya en funcionamiento, realizaremos un plan más avanzado basándonos en el análisis de fallos de cada uno de los equipos, máquinas e instalaciones existentes a bordo. Este análisis permitirá no sólo elaborar el Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), sino que además permitirá proponer mejoras que eviten esos fallos, crear procedimientos de mantenimiento o de operación e incluso seleccionar el repuesto necesario.

En esta fase dos, resulta fundamental la colaboración de la tripulación, que aporte los datos necesarios de los equipos en funcionamiento durante la navegación y la estancia en puerto del buque, con el objetivo de promover mejoras al PME.

Otros factores importantes, y que hay que tener muy en cuenta a la hora de realizar un correcto Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), son:

- Relación de maquinaria diferenciada por zonas.

- Recopilación, revisión y análisis de los manuales de mantenimiento de los equipos proporcionados por los fabricantes de los mismos.
- Complimentación de las fichas de mantenimiento que dispone el programa PAL-PMS, en el que se anotan de los puntos de revisión, piezas a sustituir, tiempo invertido, referencia de recambios específicos, personal que lleva a cabo la tarea, lista de comprobaciones (*check list*) y periodicidad de los controles.
- Previsión y stock de recambios.
- Catalogación de los equipos críticos.
- Control, revisión y actualización de las incidencias y reparaciones.

Al igual que ocurre con todos aquellos conceptos que conciernen al buque, el mantenimiento, que es uno de ellas, se encuentra regulado por una serie de organismos, como son:

- Sociedades de Clasificación: a través de sus reglamentos.
- Administración del país: existen una serie de normas que cumplir a través de su legislación.
- Organizaciones Internacionales: la IMO mediante acuerdos entre países (SOLAS, MARPOL, etc...).
- Agrupaciones de Fletadores o usuarios como OCIMF (Oil Companies International Marine Fórum), etc.
- Fabricantes: éstos reportan las pautas a seguir en su utilización y cuidado, así como las recomendaciones en base el mantenimiento que se les debe realizar a los equipos instalados en el buque.

Todas estas obligaciones y recomendaciones establecidas por la Administración, así como las dadas por los fabricantes de los equipos y maquinaria, más la propia experiencia del Armador, constituyen la base para la ejecución de los Planes de Mantenimiento.

En líneas generales, además, otros factores fundamentales muy a tener en cuenta en la planificación del mantenimiento, son los siguientes:

- Solicitudes de mantenimiento.
- Programación del mantenimiento a realizar.

- Ejecución de las tareas de mantenimiento.
- Control sobre los costes generados.
- Cumplimiento de objetivos.

3.4 DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO - PME

En el siguiente esquema se exponen los pasos básicos a seguir para la realización del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME).

OBJETIVOS

- Reducir los costes generados por el mantenimiento. Contempla las actuaciones de mantenimiento que realice la tripulación, como los costes de la empresa especializada contratada para las actuaciones cuando el buque se encuentre en puerto.
- Alargar y mejorar la vida y eficiencia de equipos, máquinas e instalaciones a bordo.

CONTROL

- Control de los costes económicos derivados del mantenimiento **predictivo** aplicado. Incluirá la contabilización de horas-hombre destinadas a las actuaciones que establece el PME.
- Control de los costes económicos derivados del mantenimiento **correctivo** aplicado. Incluirá la contabilización de horas-hombre destinadas a las actuaciones que establece el PME y al control de gastos de recambios y materiales empleados.
- Control, a través del programa informático PAL-PMS, del histórico de trabajos de mantenimientos realizados.

EJECUCIÓN

- Actuaciones llevadas a cabo por la tripulación. Fundamentalmente se reducirán a mantenimientos correctivos no programado y las funciones de vigilancia y control de parámetros durante la navegación.

- Actuaciones llevadas a cabo por el personal técnico de tierra. Este personal se encargará de llevar a cabo la mayor parte de las actuaciones referidas al PME, como son:
 - o Actuaciones recogidas en el programa informático PAL-PMS de carácter preventivo.
 - o Mediciones, toma de datos y análisis para las actuaciones contempladas dentro del ámbito del mantenimiento preventivo predictivo.
 - o Actuaciones dentro del ámbito del mantenimiento correctivo programado.
- Toda la información detallada de las ejecuciones será incluida en el programa PAL-PMS, para su análisis y posterior mejora del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME)

PROGRAMACIÓN

- Se tendrá en cuenta la programación de las actuaciones a llevar a cabo, establecidas en el programa de PAL-PMS.
- En el caso de tener que acometer varias actuaciones, éstas se priorizarán por equipos, sistemas o instalaciones en función de su relevancia en aspectos como la seguridad, operatividad del buque, incidencia en la navegación, ...

SOLICITUD

- En caso de necesitar actuaciones concretas, por parte del personal técnico de tierra, se procederá a solicitar la asistencia con la mayor antelación posible, enviando un mail con todos los detalles posibles de la actuación, con el objetivo de organizar los medios, personal y repuestos necesarios.

3.5 PROPÓSITOS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO - PME

La intención que tiene la compañía BERNHARD SCHULTE CANARIAS, es la obtención a corto, y sobre todo a largo plazo, de objetivos básicos como:

1. Mantener el buque fiable, operativo y disponible en cualquier momento para realizar el trabajo que desempeña, cumpliendo con todas las normativas legales a las que tiene obligado cumplimiento.
2. Mantener el buque en condiciones óptimas de seguridad para la tripulación, el transporte, la carga y las instalaciones que le rodean (puertos, canales, terminales, centros de atraque en el interior de las ciudades, ...).
3. Mantener la vida útil de los equipos el máximo tiempo posible. Es cierto que existen determinados dispositivos en los que es económicamente más rentable la sustitución que su reparación.
4. Garantizar la competitividad de la compañía en la actividad a la que se dedica (transporte de contenedores y carga rodada) innovando nuevas técnicas y procesos más automatizados.

Destacar también, que la compañía BERNHARD SCHULTE CANARIAS persigue como uno de los propósitos fundamentales, por los que contempla llevar a cabo el Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME) con la empresa especializada de tierra, llevar la ejecución de los trabajos por el camino del mantenimiento preventivo predictivo. Esta forma, permitirá anticiparse a los posibles fallos de equipos y minimizará los costes derivados de actuaciones que pudieran dilatarse más en el tiempo, todo ello haciendo más fiable y efectivo el Plan.

Par ello, establecen una serie de actuaciones a realizar a bordo de los buques de manera periódica, que ofrezcan datos relevantes sobre el estado de los equipos e instalaciones. Con este objetivo, se busca tener la capacidad de adelantarse al posible fallo del equipo mediante el análisis del funcionamiento del equipo, siguiendo las directrices marcadas en el Plan de Mantenimiento Eléctrico de los buques, en su apartado de mantenimiento preventivo predictivo.

3.5.1 ANÁLISIS DE VIBRACIONES

El análisis de vibraciones es una herramienta básica en la que se fundamentará el mantenimiento preventivo predictivo de los buques OPDR Canarias y OPDR Andalucía. Se basa en el principio de que toda máquina, cuando funciona correctamente, posee un mínimo nivel de vibraciones y ruidos, debido a los pequeños defectos de fabricación. Esto podría considerarse como el “estado básico” o “Nivel Base” característico de esa máquina en su funcionamiento satisfactorio. Por ello, cualquier defecto de esa máquina llevará asociado un incremento del nivel de vibración, detectable mediante una medición, y que indicará un cambio en la vibración, que a su vez permitirá la identificación de una posible avería.

Se estima que, resultará importante el análisis de vibraciones en los buques, ya que posiblemente es uno de los mayores problemas que se pueden dar en los equipos y sistemas que disponemos a bordo. Hay que tener en cuenta el medio al que nos referimos, ya que, a bordo, todos los equipos e instalaciones están sometidos a las vibraciones producidas por el casco y las condiciones de navegabilidad (vientos, temporales, corrientes, ...).

La implantación de este sistema requerirá la captación y posterior cuantificación de las vibraciones mediante un “captador” de vibraciones. El captador puede ser de desplazamiento (amplitud), velocidad o aceleración, según el parámetro que interese medir. Y a continuación, se deben asignar niveles de alarma y fallo, para poder comparar el espectro obtenido en la máquina con el espectro de la firma característica del equipo.

Destacar que estamos ante una técnica que no es nueva. El análisis de vibraciones se aplica con eficacia desde hace más de 30 años en máquinas rotativas.

Mediante el análisis de las vibraciones aplicado a las maquinarias rotativas que se dispongan a bordo, se podrán diagnosticar con precisión problemas de desequilibrio, de desalineación, holguras, roces, ejes doblados, poleas excéntricas, rodamientos y engranajes. Los equipos que se disponen a bordo, susceptibles de estudio, serían:

- Bombas centrífugas.
- Ventiladores de bodegas, ventilación forzada en sala de máquina, ventiladores y extractores en habilitación...
- Motores eléctricos existentes a bordo.
- Compresores rotativos (compresores de aire de arranque, aire para servicio y aire de control).

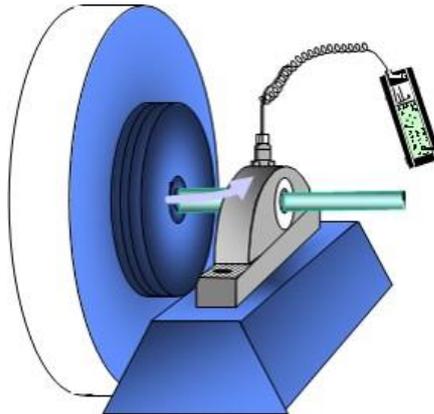


Figura 4. Análisis de vibraciones en equipos

Fuente: Exponav Fundación (2018)

En cuanto al tipo de vibraciones que podremos detectar, nos encontramos:

1. Vibración libre, aleatoria o de ramdon: Este tipo de vibración está causada por un sistema o equipo que vibra debido a una excitación instantánea.
2. Vibración forzada o periódica: este tipo de vibración está causada por un sistema o equipo que vibra debido a una excitación constante de las causas que genera dicha oscilación. Estas vibraciones pueden ser de tipo simple o compuestas, en función de la gráfica que se desarrolle por los datos obtenidos en el equipo de medición. También podemos decir, que estos tipos de vibraciones pueden a su vez dividirse en vibraciones amortiguadas y vibraciones no amortiguadas.

La mayoría de los equipos instalados a bordo de los buques OPDR Andalucía y OPDR Canarias, disponen de amortiguadores de vibraciones, los cuales están diseñados con los objetivos de absorber las vibraciones producidas por el propio equipo y por otro, también reducirán las vibraciones que le llegan al

equipo procedentes de otros equipos del buque (motor principal, motores, auxiliares, otros equipos, ...).

Estos amortiguadores son, en la mayoría de los casos, de goma con cierta rigidez y dureza, como es el caso de los instalados en los compresores de aire y en depuradoras. Pero en otros casos, son aparentemente rígidos y muy duros, como es el caso de los instalados en el Motos Principal y en los Motores Auxiliares.

Las razones fundamentales por las que una máquina comienza a vibrar y, por tanto, es susceptible de sufrir una avería son:

- Desequilibrio: este se produce por la distribución no uniforme de masas que está sometidas a la rotación.
- Falta de alineación: este fenómeno suele producirse en acoplamientos elásticos, por ejemplo, en el equipo formado por motor eléctrico y bomba.
- Excentricidad: se produce cuando la línea central del eje, no es la misma que la línea central del rotor y el centro de rotación.
- Defectos en rodamientos y/o cojinetes: Se produce por el desgaste de estos o una mala colocación de los mismos.
- Defectos de engranajes: Se produce cuando la transmisión de equipo, compuesta por engranajes dentados, sufre un deterioro en los mismos (por falta de material o desgaste).
- Defectos en correas: Se produce en correas dentadas, cuando en las que existe una falta de dientes o bien por una elongación por desgaste de la misma. También en las correas lisas, pueden producirse vibraciones por el desgaste de la misma, principalmente por elongación (aumento del diámetro de la correa).
- Holguras: las holguras se van agudizando a lo largo del tiempo, con el funcionamiento del equipo o bien, aparecen porque hubo un mal montaje del equipo. Cabe mencionar, que los equipos disponen de holguras asumibles y necesarias constitutivamente, las medidas de estas, quedan reflejadas en la documentación y manuales del equipo.

- Falta de lubricación: En el caso de dos piezas metálicas que están en continuo contacto, si se pierde la lubricación entre ambas por algún motivo, aumentara la temperatura de las piezas y provocara la disminución de las tolerancias que existen entre ambas.
- Montaje inadecuado: un mal montaje del equipo suele ser causa de que aparezcan vibraciones.

3.5.2 ANÁLISIS DE ULTRASONIDOS

Este método de análisis aportará datos sobre las ondas de sonido de alta frecuencia producidas por el equipo a analizar. Estas ondas de sonido analizadas no son perceptibles por el oído humano, de ahí que sea necesario la utilización de equipos específicos. Resaltar también la dificultad de captar estas ondas de sonido en la sala de máquinas de los buques, ya que, en este lugar, en nivel de ruido ambiental es elevado.

Es habitual, que cualquier defecto en un equipo produzca un sonido, cuando éste sonido, tenga una frecuencia por encima del rango de captación del oído humano (entre 20 y 20.000 Hz) se considerará ultrasonido. El defecto o anomalía que se detectado pueden ser fricciones mecánicas, arcos eléctricos, fugas de presión, pérdidas de vacío....

La característica fundamental de estos defectos o anomalías en los equipos, es que sus ondas sonoras son de corta longitud, por lo que se atenúan rápidamente sin producir rebotes, (lo que dificulta su detección al oído humano) y hacen que el ruido ambiental de la sala de máquinas o de otro lugar del buque, no interfiera en la detección del ultrasonido.

La fundamental aplicación práctica a utilizar a bordo, se realizará en equipos de máquinas rotativas que giren a velocidades elevadas. El problema fundamental que nos permitirá detectar en el equipo analizado, será la detección de fricción en estas máquinas rotativas (por ejemplo, en acoples Motor eléctrico – bomba).



Figura 5. Análisis de vibraciones en equipos
Fuente: Terotecnic (2018)

3.5.3 ANÁLISIS TERMOGRÁFICOS

La Termografía Infrarroja es una técnica de análisis que se planificará su utilización a bordo de los buques OPDR Andalucía y OPDR Canarias, dentro del ámbito del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), como un sistema de mantenimiento preventivo predictivo. El análisis será realizado por el personal técnico de tierra asistente a los buques, su posterior valoración de resultados y conclusiones finales resultarán de la puesta en común con el personal de a bordo y el inspector de la compañía.

Mediante este análisis conseguimos medir y visualizar temperaturas de superficie con precisión. Las cámaras termográficas son capaces de medir la energía con sensores infrarrojos, capacitados para “ver” en estas longitudes de onda. Esto permite medir la energía radiante emitida por los objetos y, por consiguiente, determinar la temperatura de la superficie a distancia, en tiempo real y sin contacto.

El objetivo de la utilización de este análisis, es que un gran número de problemas y averías en el entorno naval están precedidos por cambios de temperatura que pueden ser detectados mediante la monitorización de temperatura con sistema de termografía por Infrarrojos. Esta monitorización

de la temperatura queda reflejada en un dispositivo denominado cámara termográfica o de termovisión.

Para la utilización correcta de la cámara termográfica o de termovisión, resultará necesario conocer los siguientes datos:

- Condiciones del entorno: resulta fundamental conocer las condiciones de humedad y temperatura del aire, estos datos serán facilitados por el personal de a bordo, ya que se disponen de aparatos de medida. También, se hará necesario saber la distancia desde la cámara termográfica hasta el equipo analizado.
- Características de la superficie del objeto analizada: esta característica está basada en el denominado “coeficiente de emisividad”.

La emisividad, por definición es la proporción de radiación térmica emitida por la superficie del objeto analizado debido a su temperatura. La emisividad toma valores entre 0 y 1, de tal forma, los cuerpos que se muevan entre dichos valores, se les considera “Cuerpos Grises”, en cambio, los que tienen un valor de 1, se les considera “cuerpos negros”.

Así mismo, podemos definir el coeficiente de emisividad como el número adimensional que relaciona la habilidad de un objeto real para irradiar energía térmica, con la habilidad de irradiar si este fuera un cuerpo negro.

$$\varepsilon = \frac{\text{radiación emitida por una superficie}}{\text{radiación emitida si fuera un cuerpo negro}}$$

ε = Emisividad

Un cuerpo negro, por consiguiente, tiene un coeficiente $\varepsilon = 1$, mientras que un objeto real que analicemos, ε se mantendrá con valores menores que 1.

La termografía por infrarrojos es una técnica de inspección de probada eficacia en el mantenimiento de equipos eléctricos. La visualización de las imágenes térmicas, junto con la capacidad de medida radiométrica de temperatura superficial sin contacto, hacen de esta técnica la herramienta más potente para localización y evaluación de defectos de “puntos calientes” en mantenimiento eléctrico.



Figura 6. Termografía por Infrarrojos

Fuente: CTI Consultores de Tecnología e Ingeniería (2018)

Tal como se establecerá en el Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), las principales actuaciones de análisis Termográfico se realizarán en los siguientes equipos disponibles a bordo:

- Motores eléctricos
- Cuadros eléctricos
- Acoplamientos mecánicos, rodamientos, cojinetes y engranajes

3.5.4 ANÁLISIS EN MOTORES ELÉCTRICOS

Debido a la importancia y el gran número de motores eléctricos existentes a bordo de los buques OPDR Canarias y OPDR Andalucía, el Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), ejecutado desde el punto de vista predictivo, incluye la tecnología del análisis del circuito del motor para los motores eléctricos de inducción.

Los problemas electromecánicos típicos que pueden detectarse y confirmarse con esta tecnología son:

- Problemas en la calidad de la alimentación, detectable por prueba de potencia.

- Fallos en el circuito de potencia, detectables por las pruebas estándar y la prueba de potencia.
- Defectos en el aislamiento, detectable por la prueba estándar, el índice de polarización y la prueba de voltaje a pasos.
- Fallos de estator, detectable por la prueba estándar, influencia de rotor, la prueba de potencia y la prueba de arranque.
- Fallos de rotor, detectable por análisis de vibraciones, prueba estándar, prueba de la influencia de rotor, evaluación de rotor y prueba de arranque.
- Defectos en el entrehierro, detectable por análisis de vibraciones, prueba estándar, influencia de rotor y prueba de excentricidad.

3.5.5 ANÁLISIS POR ENDOSCOPIA

Se trata de la realización de análisis de equipos, mediante inspecciones visuales, en lugares de difícil acceso. Esta técnica de análisis resultará útil a bordo de los buques, ya que se trata de un ensayo no destructivo, que revela datos importantes sobre el estado del equipo y sin necesidad de desmontar.

El hecho de no necesitar desmontar un equipo para proceder a su inspección, reduce el tiempo en el que el equipo no está disponible, también, reduce el coste de la actuación, ya que se reducen los tiempos de desarme y evita los posibles fallos en el montaje del mismo.

3.6 COSTES GENERALES DEL PLAN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO - PME

El mantenimiento de los buques es un capítulo fundamental para la compañía BERNHARD SCHULTE CANARIAS, que afecta tanto para el personal de tierra como para la tripulación.

Como en cualquier actividad, el Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME) tiene como objetivo la conservación de los equipos e instalaciones y la seguridad de éstos y del personal. En el caso de los buques tiene una importancia

especial, ya que una paralización, resultado de una avería, puede tener consecuencias fatales, no sólo por el coste de la pérdida de actividad, sino porque si ocurre cerca de la costa, o en el paso de la navegación por el río Guadalquivir o durante una maniobra, puede suponer incluso la pérdida del buque.

Para evitar estas situaciones, la mayor parte de los equipos de los buques OPDR Canarias y OPDR Andalucía están duplicados y, por otro lado, el mantenimiento que se realiza es fundamentalmente preventivo.

Cabe destacar que, uno de los capítulos que supone mayor cuantía para la compañía, después del personal (aunque la mitad de la actividad de la tripulación se dedica a labores de mantenimiento, estos costes se engloban dentro de los de personal) son los del mantenimiento.

A continuación, podemos apreciar la incidencia del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME) en los costes generales de la compañía BERNHARD SCHULTE CANARIAS:

- **Cotes fijos de la compañía**
 - o Los costes que se emplean en mantener a los buques en servicio óptimo y cumpliendo la reglamentación de seguridad que se le exige.
 - o Los costes que se generan en los viajes, tales como gastos de puerto (atraque/desatraque, servicios, practicaje, etc.). Estos gastos se consideran fijos, por tratarse de una compañía naviera que realiza rutas regulares, por los que están considerados en la planificación inicial de la productividad de los buques.
 - o Los costes de la plantilla, tripulantes y personal de tierra.
 - o El coste de la partida del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME) ejecutado por la empresa especializada de tierra.
- **Costes variables de la compañía**
 - o Costes de mantenimiento de los buques, principalmente por mantenimiento correctivo.

- Costes generados por circunstancias climatológicas adversas, en el caso de necesitar remolcadores para atracar/desatracar.

Dentro de los denominados costes fijos, la compañía BERNHARD SCHULTE CANARIAS considera cero los costes de capital, por ser buques que actualmente ya están amortizados. Los costes derivados del mantenimiento suponen de un 20 a un 25% de los costes fijos.

Uno de los objetivos perseguido por la compañía, dentro del capítulo de los gastos derivados del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), es minimizar el conjunto de costes que lo forman, sin que se vea mermado la eficacia del mismo y la fiabilidad de los buques, para ello incide en los siguientes aspectos:

- Costes de astilleros y talleres: conlleva el mayor gasto.
- Los respetos (piezas pertenecientes a los diferentes equipos instalados) y materiales (herramientas, químicas, etc...).
- La paralización del buque: el tiempo que deja de realizar la actividad, conlleva una minimización de los ingresos y por tanto una repercusión económica en la compañía.
- Los gastos de puerto, combustibles, etc.... debidos a las reparaciones.

3.7 COSTES ESPECÍFICOS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO - PME

En este apartado abordaremos los costes de la ejecución, de manera específica del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), con una empresa especializada de tierra y con personal técnico competente.

Consultados valores económicos de los costes derivados de empresas especializadas en el sector, con capacidad de personal técnico, equipos e instalaciones para desarrollar los trabajos del PME con absolutas garantías, estimamos que los buques tienen las siguientes necesidades:

- Buque OPDR Canarias: Dos operarios x dos días de trabajo
- Buque OPDR Andalucía: Dos operarios x dos días de trabajo

Total: 4 Unidades de operarios x 4 Jornadas de trabajo (Semanales)

Los Costes del personal por parte de la empresa ofertante de los trabajos de mantenimiento, podemos desarrollarlos calculando el valor del coste de trabajador por una hora de servicio.

3.7.1 COSTES DIRECTOS DE LA EMPRESA OFERTANTE

Son costes específicos para los distintos grupos profesionales que dispone la empresa. Principalmente, estos gastos son en concepto de nóminas de los trabajadores. Concretándolo en el caso de los requerimientos de la oferta, se describen para la categoría profesional de oficial de primera.

Estos cálculos deben estar basados en los datos de la empresa del ejercicio anterior, es decir año 2017. Para la obtención de los datos, se toman los que se reflejan en el Convenio Colectivo de sector de pequeña y mediana industria del Metal, año 2018.

En la siguiente tabla se desglosa el coste de la hora neta en base al salario del trabajador:

JORNADA DE TRABAJO ANUAL 1.736 H.	Oficial 1ª
Sueldo Base anual	13.939,35
Prorrata P. Extra	4.646,45
Plus Empleo Estable	552,03
Primas de complemento	0,00
Transporte	1.050,40
Horas Extras	13,75
Horas Extras acordadas por patronal y sindicato	13,75
Horas Extras según convenio	18,59
Dietas	36,21
Medias Dietas	15,47
Comidas	6,00
Pernoctaciones	0,00
Festivos 14 al año (33% PERSONAL)	237,49
Plus Jefe de equipo 20%	0,00
Pluses P.T.P. 1 circunstancia	1.663,20
Pluses P.T.P.2 circunstancia	8,72
Pluses P.T.P. 3 circunstancia	9,50
Plus a Turnos Lunes Viernes 7% (33 % Pers.)	325,25
Plus a Turnos Lunes Domingo 13%	1.812,12
Nocturnidad de 22.00 a 6.00 de 1 a 4 x h. 30%	2,41
Nocturnidad de 22.00 a 6.00 más de 4 h. J. com.	1.393,94
Plus de embarque	38,91
Devengo Anual	22.414,17
Coste Hora Neta	12,91

3.7.2 COSTES INDIRECTOS DE LA EMPRESA OFERTANTE

Son los costes que asume la empresa y que deben repercutir en el precio de la mano de obra de cada trabajador. Los costes que son cuantificables y aplicables a la tabla de cálculo, se dividen en los siguientes apartados:

- Compras y alquileres: Tanto de equipos como de maquinaria. Hay que hacer especial mención, en este apartado, a que se deben incluir los gastos de amortización de los equipos de medición que están previstos su utilización a bordo, para la realización de ensayos y mediciones, tal como se recoge en el Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME).
- Profesionales externos a la empresa contratados: Estos gastos son debidos a costes de abogados, notarios, ... que realizan gestiones en la empresa pero que no forman parte de la misma. La cuantificación de estos gastos para el año 2018, se hace en base a los costes en este mismo apartado, pero de año 2017 y aplicando un incremento.
- Seguros: Son los gastos derivados del abono de los seguros obligatorios que tiene suscrito la empresa. Estos seguros incluyen el seguro de responsabilidad civil de la empresa, seguro de convenio, seguro de accidentes, ... del mismo modo, se cuantifican con el coste abonado el año 2017 y se le aplica un incremento estimado del 5 %.
- Gastos Financieros: Principalmente, se trata de los gastos derivados de la gestión de las cuentas bancarias. Estos gastos son debido al mantenimiento de las cuentas, gastos por transferencias, gestiones bancarias...
- Publicidad: Son los gastos que la empresa estima que debe realizar para publicitar su negocio. El coste va en función de la planificación anual y en base a las vías de desarrollo que se pretendan cubrir.
- Luz, agua, varios: En este apartado se incluyen los gastos derivados de los suministros contratados por la empresa, se tendrá en cuenta el año anterior (2017) para hacer la estimación de gastos del año 2018.
- Impuestos y tasas: Son los gastos derivados de la actividad empresarial desarrollada. Son fácilmente cuantificable, teniendo en cuenta los gastos de este apartado en el año 2017.

- Nóminas y dietas: Estos son los gastos sujetos en las nóminas que son abonados por parte de la empresa y suponen unos costes indirectos, que van en función del número de trabajadores, por esta razón, deberá hacerse una estimación de número de empleados medio que dispondrá la empresa para el año en curso.
- Seguros Sociales: Se trata de uno de los gastos abonados por parte de la empresa que suponen un mayor desembolso (suele corresponder aproximadamente al 40 % del salario bruto que percibe el trabajador). Como en el apartado anterior, también va en función del número de trabajadores de la empresa, además de otros factores, como la categoría profesional de estos. Del mismo modo que el apartado anterior, se debe realizar una estimación para cuantificar este gasto.

La tabla siguiente, detalla los costes asumidos por la empresa, en base a los costes indirectos y que repercuten en el precio de la mano de obra. La cantidad económica de partida resulta ser la calculada en la tabla anterior en concepto de mensualidad, es decir, el devengo anual dividido entre los doce meses del año:

	MENSUALIDAD	1.867,85
Cotización por Contingencias comunes Trabajador	4,70%	87,79
Cotización por Desempleo T. General	1,55%	28,95
Cotización por Formación Profesional	0,10%	1,87
	C. OBRERA	118,61
Cotización por Contingencias comunes Empresa	23,60%	440,81
Cotización por Desempleo T. General Empresa	5,75%	107,40
Cotización por Formación Profesional Empresa	0,60%	11,21
Cotización Fondo Garantía Salarial	0,20%	3,74
	I.T.	3,35%
	I.M.S.	3,35%
	C. PATRONAL	688,30
	C. PAT. ANUAL	8.259,62
	COSTE ANUAL	30.673,79
	COSTE HORA	17,67

La suma de todos los gastos, catalogados como costes indirectos de la empresa, tal como se describen en los aparatos anteriormente desarrollados, se dividen por el número medio de trabajadores en el ejercicio 2017. Los datos quedan de la siguiente manera:

- Suma de los costes indirectos anuales (ejercicio 2017): 589.939,04 €
- Número medio de trabajadores (ejercicio 2017): 39,68 Trabajadores

De tal modo, dividiendo ambas cantidades, obtendremos la cifra que se imputa a cada trabajador en concepto de costes indirectos anuales:

- Gasto anual por costes indirectos: 14.867,42 €

Este gasto, se suma al ya calculado de coste anual del trabajador:

- Gasto por coste anual del trabajador (oficial de primera): 30.673,79 €

Total: 45.541,21 €

Esta cantidad total calculada, hay que dividirla por el número de horas de trabajo que se reparten en un año (1736 h.), para obtener el precio de la hora de trabajo:

- Resulta la cantidad de: 26,23 € / h

Una vez obtenido el dato del coste de la hora de trabajo del oficial de primera para la empresa, es el momento de aplicar el porcentaje de beneficio industrial. La aplicación de este incremento es lo que reconoce la empresa como su propio beneficio. En esta simulación, el beneficio industrial se estima en el 15 %, de este modo resulta la siguiente tabla:

39,68 TRABAJADORES MAS 15% BENEIFICIO INDUSTRIAL	14.867,42 €
	45.541,20 €
	26,23 €
	30,17 €

Tal como refleja la tabla, el precio de la unidad de hora por trabajador, tendrá un valor de: **30,17 €**. Valorable en el año 2018 y para la categoría profesional de Oficial de primera.

Coste económico por unidad

1 Operario x 1 día de trabajo: Incluye

- Desplazamiento al puerto de Sevilla
- Herramientas necesarias para ejecutar los trabajos.
- Equipos de diagnosis y medición (Termografía, endoscopia, vibraciones, termómetro laser, ...)

Valoración: 8 horas x 30,17 € = 241,36 €

Coste económico final de la empresa contratada:

Estimada la actuación semanal en: 965,44 €

Teniendo en cuenta que los presupuestos de la compañía BERNHARD SCHULTE CANARIAS, los valora de manera anual, el coste por año quedaría de la siguiente manera:

Coste anual del Mantenimiento ejecutado con empresa externa a los Buques OPDR Canarias y OPDR Andalucía	50.202,88 €
---	-------------

Hay que tener en cuenta que esta cantidad corresponde a una oferta que contempla todos los trabajos que se describen en el Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME) incluyendo la utilización de medios de diagnosis de fallo, como el caso de termografías, análisis de vibraciones, endoscopias, ...

Se debe contemplar la posibilidad de incluir unos costes variables, que contemple incremento de la facturación anual, estos costes serán debido a actuaciones fuera del contrato, tales como, por ejemplo:

- Actuaciones a bordo de los buques en navegación.
- Actuaciones a bordo de los buques en Puertos canarios.
- Horas extras, nocturnas, ...

- Utilización de equipos o medios no contemplados en el Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), por lo tanto, no han sido ofertados.

Estas actuaciones se estiman que, a lo largo del año, puedan suponer un incremento de presupuesto de entre el 20 % y el 30 %.

En caso de necesitarse actuaciones extraordinarias, propias de un mantenimiento correctivo importante, se solicitará un presupuesto específico para dicho trabajo y se cuantificará en el balance económico anual como gastos extraordinarios

Coste económico de la compañía BERNHARD SCHULTE CANARIAS:

Por lo tanto, una vez hecha la valoración económica de la actuación de la empresa que realizará los trabajos cuando los buques se encuentren en puerto, podemos compararlo con el coste económico del tripulante electricista, figura que dejará de existir para proceder a la implantación de Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME):

Coste económico de Tripulante – Electricista a la compañía:

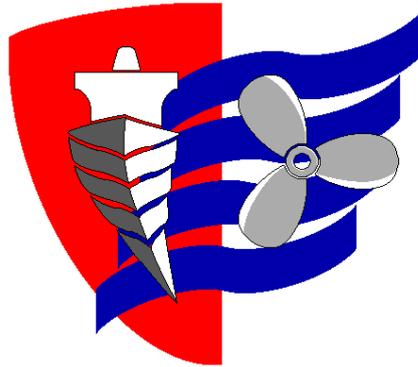
Coste mensual: 3.850 € / Mensual - Coste anual: 46.200 € / Año

Para cubrir las necesidades de ambos buques, además de los periodos de vacaciones de personal, sería necesario de contar en plantilla con tres electricistas, dos de ellos navegando, mientras el tercero está de vacaciones, por tanto, el coste total anual resultaría:

Coste anual del Mantenimiento ejecutado con Electricista a bordo de los Buques OPDR Canarias y OPDR Andalucía	138.000,00 €
---	--------------

Como puede observarse, con el método propuesto para el Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), se consigue el objetivo económico de reducir al mínimo los costes derivados de su ejecución.

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



CONCLUSIONES

4 CONCLUSIONES

Son varias las conclusiones que se pueden desarrollar partiendo del presente proyecto, teniendo en cuenta el método de actuación que describe el Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME), podemos enumerarlas:

Fiabilidad

Maximizar la fiabilidad de los equipos e instalaciones a bordo, para ello se prioriza el mantenimiento preventivo predictivo, en detrimento del mantenimiento puramente predictivo o correctivo.

Las operaciones de mantenimiento preventivo, a intervalos fijos, pueden tener como consecuencia trabajos innecesarios que elevan los costes de mantenimiento y aumentan el riesgo de averías por errores humanos en las reparaciones innecesarias. Por ello, la estrategia predictiva que describe este proyecto, basada en el estado de la maquinaria del buque (de su condición), resulta la adecuada, si bien exige la implantación de análisis de predicciones. Estas actuaciones de análisis y monitorización de datos permiten optimizar las operaciones de mantenimiento y así conseguir el máximo rendimiento de los buques de la compañía.

Es importante el tener en cuenta que la productividad de los buques aumentará en la medida que sus averías disminuyan a lo largo del tiempo. Para lograr esto, es necesario contar con la estrategia de mantenimiento más apropiada, y con el personal capacitado tanto en el uso de las técnicas de análisis y diagnóstico de averías como en el conocimiento de las características de diseño y funcionamiento de las máquinas.

Algunas de las dificultades que nos podemos encontrar a la hora de ejecutar el Plan de mantenimiento Eléctrico (PME) son:

- La interpretación de los datos obtenidos en los análisis predictivos realizados a bordo.
- La disponibilidad de medios para realizar los análisis.
- La cualificación de personal.

Para evitar estas dificultades, es por lo que está estimada la contratación de la empresa especializada que realizará estas funciones.

Por tanto, esta empresa contratada para tal fin, confirmará de manera inmediata, los diagnósticos que requieran mediciones adicionales. Todo ello implica que sería interesante que los sistemas contaran con funciones de diagnóstico automático, para la detección de las averías más graves y que exijan acciones urgentes (sería incluso muy interesante el que estas averías se pudieran detectar con semanas, incluso meses de antelación, mediante la toma de datos y su procesamiento posterior).

Esto a su vez, repercutirá en reducción de los costes de mano de obra para la compañía BERNHARD SCHULTE CANARIAS. Además, si se automatiza y simplifica la logística de la toma de datos, se reducirán costes.

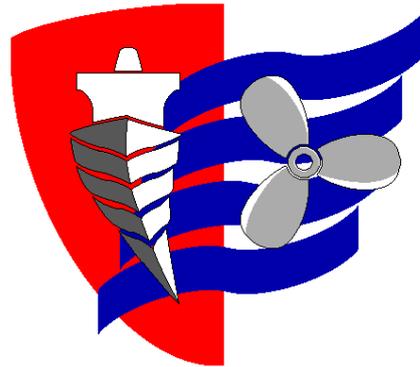
Adicionalmente, los sistemas de diagnóstico predictivo facilitarán al personal del buque información sobre los riesgos presentes y futuros que podrían provocar pérdidas de disponibilidad de las máquinas de los buques, o simplemente pérdidas de rendimiento de las mismas.

Costes

La elaboración del Plan de Mantenimiento Eléctrico (PME) con su posterior puesta en marcha, conllevará una reducción de los costes económicos fijos que la compañía destina para este fin, como ya se ha explicado anteriormente.

Resaltar, que será requerida más implicación por parte de los tripulantes, ya que no se dispondrá a bordo de electricista. Esto desembocará en que parte de los trabajos de mantenimiento, principalmente los relativos a mantenimientos correctivos no programados o inmediatos, deberán ser resueltos por la tripulación a bordo. También conllevará una atención especial a la organización de los trabajos a realizar por la empresa de tierra, con el objetivo de sacar el máximo rendimiento al tiempo que estén a bordo, ya que se dispone de tiempo limitado en la ejecución de los trabajos, ya sean preventivos o correctivos.

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

5.1 LIBROS

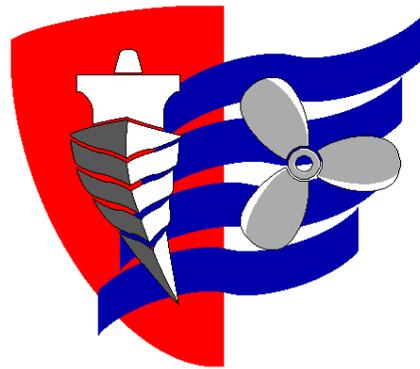
- Newbrough, E. T. (1997). Administración de Mantenimiento Industrial (Organización, Motivación y Control en el Mantenimiento Industrial). Editorial Diana.
- Crespo Márquez A., Moreu de León P. y Sánchez Herguedas A. (2004). Ingeniería de mantenimiento (Técnicas y métodos de aplicación a la fase operativa de los equipos).

5.2 PÁGINAS WEB

- OPDR Andalucía. <http://www.opdr.com/es/flota-equipo/buques/opdr-andalucia.html> [Consultada Febrero 2018]
- Ingeniero Marino. Roberto García
<https://ingenieromarino.com/mantenimiento-del-buque1oparteintroduccion-al-plan-de-mantenimiento/> [Consultada Mayo 2018]
- Exponav Fundación. <https://www.exponav.org/el-mantenimiento-predictivo-en-los-buques/> [Consultada Julio 2018]
- Preditec. <http://www.preditec.com/notas-tecnicas/gestion-y-fiabilidad-del-mantenimiento/monitorizacion-de-maquinaria-en-buques-para-mantenimiento-predictivo/> [Consultada Agosto 2018]
- Solo Mantenimiento <http://solomantenimiento.blogspot.com/> [Consultada Agosto 2018]
- Terotecnic Ingeniería. <https://www.terotecnic.com/index.html> [Consultada Agosto 2018]

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



ANEXOS

6 ANEXOS

Índice de figuras:

- Figura 1: Buques: OPDR Andalucía / OPDR Andalucía. OPDR Andalucía, (2018).
- Figura 2: Software Informático compañía Bernhard Schulte Canarias. Fuente: PAL v3 PMS User Manual Ver 2.3.3.0 (1) - MANUAL PMS BUQUES (2018)
- Figura 3: Software Informático compañía Bernhard Schulte Canarias. Fuente: PAL v3 PMS User Manual Ver 2.3.3.0 (1) - MANUAL PMS BUQUES (2018)
- Figura 4: Figura 4. Análisis de vibraciones en equipos. Fuente: Exponav Fundación (2018)
- Figura 5: Análisis por ultrasonidos. Fuente: Terotecnic (2018)
- Figura 6: Termografía por Infrarrojos. Fuente: CTI Consultores de Tecnología e Ingeniería (2018)

Aviso responsabilidad UC

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Máster de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros,

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Máster, así como el profesor tutor/director no son responsables del contenido último de este Trabajo.”