



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Máster
CURSO 2017/2018

BUQUE BULKCARRIER DE 44.500 T.P.M.

Máster en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNA

Lucía Cachaza Vázquez

TUTORAS/ES

Luis Manuel Carral Couce

FECHA

SEPTIEMBRE 2018



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CURSO 2017/2018

BUQUE BULKCARRIER DE 44.500 T.P.M.

Máster en Ingeniería Naval y Oceánica

CUADERNO 14

**ESTUDIO SOBRE LA OPTIMIZACIÓN DEL COSTE DE
CICLO DE VIDA DEL BUQUE POR MEDIO DE LA
IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO
BASADO EN LA CONDICIÓN**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
PROYECTO FIN DE MASTER

CURSO 2.017-2.018

PROYECTO NÚMERO 18-03

TIPO DE BUQUE: Bulkcarrier

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: ABS SOLAS
MARPOL. DOBLE CASCO

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 44.500 T.P.M. Grano, mineral, carbón

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 15 nudos en servicio AL 85% MCR +15%. MM
15.000 millas a la velocidad de servicio.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Escotillas de accionamiento
hidráulico.

PROPULSIÓN: Motor diesel acoplado a una hélice de paso fijo

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 28 personas

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Los habituales en este tipo de buque

Ferrol, Octubre de 2.017

ALUMNO: D^a Lucía Cachaza

ÍNDICE

1 Referencias.....	6
2 Introducción	7
3 Conceptos básicos	8
4 Mantenimiento basado en la condición (MBC)	9
5 Técnicas de mantenimiento utilizadas desde comienzos del siglo XX.....	11
6 Fallo potencial y fallo funcional. intervalo pf.	12
7 Tipos de tareas de mantenimiento basado en la condición.....	13
7.1 Análisis de vibraciones.....	13
7.2 Análisis de motores eléctricos de inducción.....	14
7.3 Termografía.....	15
7.4 Análisis de aceites	16
7.5 Unidad central de SMBC.....	17
8 El RCM. Proceso de desarrollo de un plan de mantenimiento	18
8.1 Estudio del equipo y de su entorno operativo	18
8.2 AMFE (Análisis de los Modos de Fallo y Efectos).....	18
8.3 Diagrama de decisión RCM	18
8.3.1 Tareas a condición	19
8.3.2 Tareas de reacondicionamiento cíclico	19
8.3.3 Tareas de sustitución cíclica	19
8.3.4 Combinación de tareas.....	19
8.3.5 Tareas de búsqueda de fallas	19
8.3.6 Rediseño	19
9 Plan de mantenimiento según recomendaciones del fabricante vs Plan de mantenimiento del mismo equipo aplicando técnicas de MBC.	20
9.1 Sistema de ventilación	20
9.2 Motor propulsor	23
10 Beneficios obtenidos tras la aplicación del RCM/MBC	32
10.1 Beneficio en Ventilación.....	32
10.2 Beneficio del Motor propulsor.....	32
10.3 Beneficio económico total	33
11 Consideraciones antes de modificar un Plan de mantenimiento recomendado por el fabricante.....	34
12 Implicación de los fabricantes en los resultados de los estudios RCM/MBC	35
13 Conclusiones	36

14 Bibliografía 37

ANEXO I. AMFE de ventilador eléctrico 38

ANEXO II. Registros del diagrama de decisión de RCM ventilación 50

ANEXO III. AMFE Motor propulsor 53

ANEXO IV. Registros del diagrama de decisión RCM del motor propulsor..... 60

ANEXO V. Diagrama de decisión RCM 63

1 REFERENCIAS

Para el estudio realizado en este cuaderno, se han empleado principalmente los siguientes libros y artículos de referencia en el ámbito del Mantenimiento Basado en la Condición:

John Moubray. Reliability Centred Maintenance (RCM). Mantenimiento centrado en Confiabilidad. Ediciones: 1991,1997, Español en 2004. ISBN: 09539603-2-3.

Vivek S. Narnaware, Ganesh D.Gosavi, Pravin V. Jadhav, Rahul D. Gorle. International Journey. Implementation of Reliability Centered Maintenance in Air Compressor Unit. ISSN 0976 – 6340 (Print).ISSN 0976 – 6359 (Online).

García Garrido, Santiago. 2018. Guía 8. Mantenimiento Predictivo. Mantenimiento Basado en Condición. Guías Técnicas IRIM. ISBN: 978-84-697-9433-3.

2 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este cuaderno es demostrar los beneficios que aportaría la instalación en el buque de un Sistema de Mantenimiento Basado en la Condición (SMBC).

Cada día la competencia es mayor en el mundo del transporte marítimo. De cara a ganar competitividad, este cuaderno del TFM propone la instalación en este buque de un SMBC.

El sistema propuesto es un sistema de complejidad baja-media y con técnicas sobradamente experimentadas que le confieren una gran precisión en la detección temprana de fallos potenciales.

Se han utilizado las tecnologías consideradas más favorables desde el punto de vista de la relación coste – beneficio y que obtienen un retorno de la inversión inicial en un menor espacio de tiempo.

Los objetivos del SMBC instalado en este buque son:

1.- Reducir el número de horas de mantenimiento a realizar por la dotación, lo que implicaría:

- Mayor “disponibilidad”: relación entre las horas de operación y las horas totales
- Disminución de los gastos de mano de obra de mantenimiento.

2.- Reducir el gasto en repuestos y consumibles. Con la implantación de este sistema los mantenimientos se programarían en función de la condición de la máquina. Normalmente si la máquina está en buenas condiciones los mantenimientos se retrasarían, con lo cual el número de repuestos y consumibles necesarios sería menor.

3.- Incrementar la Fiabilidad (Probabilidad de que un sistema, aparato o dispositivo cumpla una determinada función bajo ciertas condiciones durante un tiempo determinado). Este sistema también es capaz de detectar si un determinado mantenimiento es necesario adelantarlo (normalmente esto ocurre en muy pocos casos, pero puede ocurrir), con lo cual, si no lo tuviésemos instalado, el mantenimiento no se adelantaría y la máquina funcionaría un cierto tiempo en unas condiciones que podrían deteriorarla prematuramente

3 CONCEPTOS BÁSICOS

A lo largo de este estudio se utilizarán acrónimos en español y en ciertos casos en inglés, porque en ocasiones las traducciones de los mismos no son de uso común en las publicaciones relacionadas con este tema. Por lo que a continuación se listan los acrónimos que se emplearán a lo largo del presente cuaderno:

- AMFE: ANÁLISIS DE MODOS DE FALLO Y EFECTOS (FMEA: FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS)
- F: FUNCIÓN
- FF: FALLO FUNCIONAL
- FFT: FOURIER FAST TRANSFORM
- FMEA: FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (AMFE: ANÁLISIS DE MODOS DE FALLO Y EFECTOS)
- HH: HORAS HOMBRE
- MBC: MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICIÓN
- MF: MODO DE FALLO
- RCM: RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (MANTENIMIENTO BASADO EN LA FIABILIDAD)
- SMBC: SISTEMA DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICIÓN

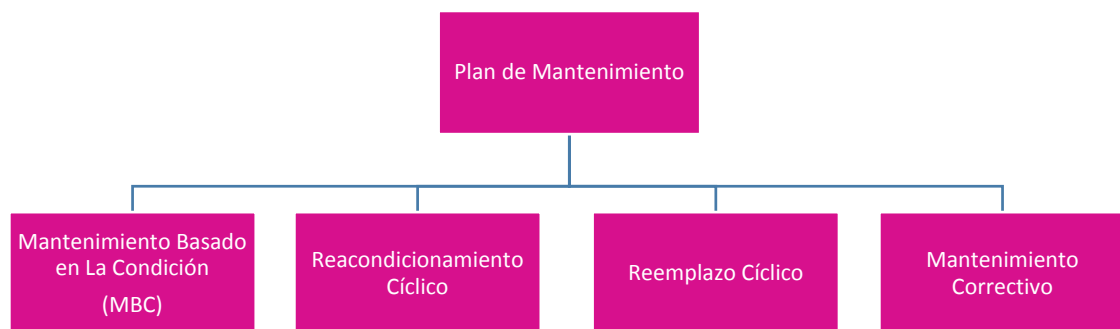


Figura 1 Plan de Mantenimiento. Tipos de Tareas

El plan de mantenimiento es aquel en que se definen y desarrollan todas las tareas de mantenimiento necesarias para que el buque se encuentre siempre en las mejores condiciones de operatividad.

Los tipos de tareas de mantenimiento más comúnmente utilizadas son:

- **Mantenimiento basado en la condición (predictivo o MBC).**
- Reacondicionamiento cíclico (programado).
- Reemplazo cíclico (programado).
- Mantenimiento correctivo (dejar que el equipo falle).

4 MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICIÓN (MBC)

Los fabricantes suelen recomendar los siguientes tipos de tareas de mantenimiento:

- Reacondicionamiento cíclico (programado).
- Reemplazo cíclico (programado).

Las tareas recomendadas por los fabricantes, normalmente programadas a tiempo fijo, llevan consigo un coste muy elevado que se pretende minimizar con el MBC (Mantenimiento Basado en la Condición).

El MBC es un sistema que tiene por objetivo proporcionar diagnóstico y la posibilidad de mantenimiento basado en la predicción, en función de la tendencia de una serie de parámetros monitorizados, con los que se pretende conocer el estado de la condición (salud) de la maquinaria.

Por lo tanto esta técnica asume que hay características medibles y observables que son indicadores de la condición de la maquinaria.

El SMBC (Sistema de Mantenimiento Basado en la Condición) comprende el equipo y el software utilizado para monitorizar y proporcionar diagnóstico basado en la condición de funcionamiento de los equipos seleccionados.

En este apartado es muy importante la palabra PREDICCIÓN. Este sistema pretende “predecir” cuando va a ocurrir un fallo con un tiempo suficiente para poder realizar el mantenimiento de forma programada y que no afecte al normal funcionamiento del equipo/buque.

Los planes de mantenimiento indicados por los fabricantes suelen ser únicos y no suelen incluir todos los entornos operativos posibles, por tal motivo en algunos casos el plan de mantenimiento recomendado por el fabricante será excesivo para un entorno operativo poco exigente y será muy escaso para entornos operativos muy exigentes.

La idea del MBC es, por un lado, poder sobrepasar los intervalos de mantenimiento indicados por el fabricante del equipo (después de haber realizado un estudio detallado del entorno operativo del activo) y continuar funcionando con la máquina hasta que la “predicción” recomiende realizar un mantenimiento.

Entre otras cosas, en este caso obtendríamos un ahorro en tiempo consumido en operaciones de mantenimiento y en repuestos utilizados.

Por otro lado, para las máquinas sobrecargadas (entorno operativo más exigente que el considerado por el fabricante del equipo), se podría producir un fallo antes de alcanzar el momento en el que el fabricante recomienda realizar el mantenimiento. El SMBC podría detectar esta situación e indicarnos que es necesario un mantenimiento con anterioridad a la recomendación del fabricante.

En este caso, estaríamos ganando en disponibilidad, porque evitaríamos una parada de la máquina no programada, posiblemente durante una navegación.

Por todo lo indicado en los párrafos anteriores el MBC intenta acerca los periodos de mantenimiento al momento en que la máquina realmente lo necesita, ni antes ni después; en una palabra el MBC trata de OPTIMIZAR el mantenimiento de una máquina o activo en función de su entorno operativo.

Las decisiones de retrasar o adelantar los mantenimientos en relación a las recomendaciones del fabricante no deben ser tomadas por una persona solamente.

Normalmente se realizan análisis RCM (Reliability Centered Maintenance, en español, mantenimiento basado en la fiabilidad) en los que participan varias personas involucradas tanto en el diseño (incluyendo al fabricante / suministrador), como en la operación y el mantenimiento del equipo o activo a analizar. Todos ellos, liderados por una persona denominada Facilitador, que no necesariamente es un experto en el activo, pero sí es un experto en el proceso RCM (ver *Figura 2 Componentes de un grupo de trabajo RCM*)

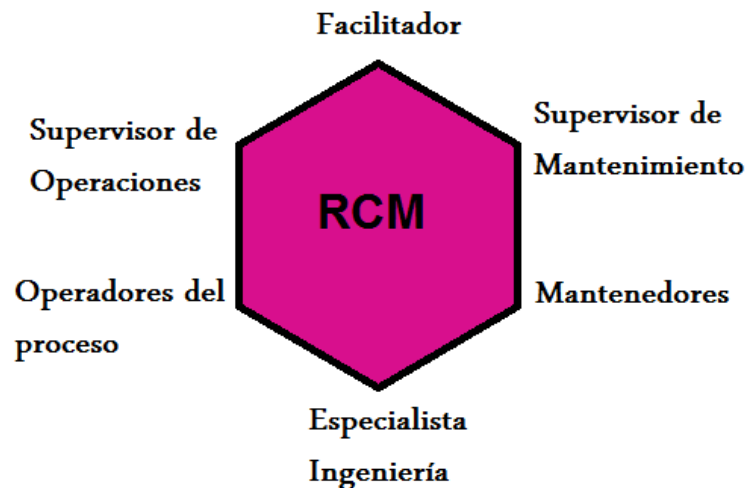


Figura 2 Componentes de un grupo de trabajo RCM

De estos análisis RCM se obtiene un nuevo plan de mantenimiento optimizado en relación al plan del mantenimiento recomendado por el fabricante, incluyendo tareas MBC, que son el objeto del presente estudio.

5 TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO UTILIZADAS DESDE COMIENZOS DEL SIGLO XX

La figura 3 representa la evolución de la filosofía de mantenimiento a lo largo del siglo XX y XXI.

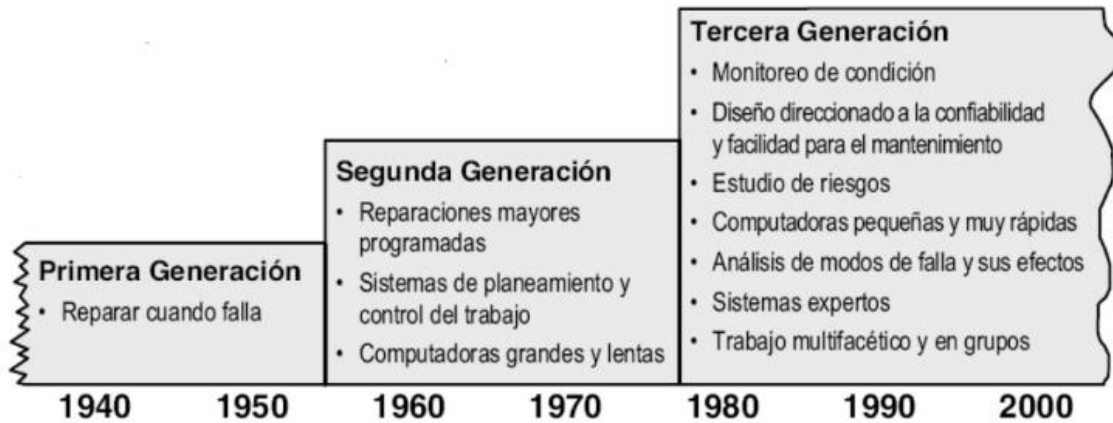


Figura 3 Evolución de la filosofía de mantenimiento a lo largo del siglo XX y XXI

Desde la década de los años 30 se puede seguir el rastro de la evolución del mantenimiento a través de tres generaciones. El RCM / MBC está convirtiéndose en la piedra fundamental de la Tercera Generación, pero esta generación sólo se puede ver en perspectiva, y a la luz de la Primera y Segunda Generación.

6 FALLO POTENCIAL Y FALLO FUNCIONAL. INTERVALO PF.

El mantenimiento predictivo o mantenimiento basado en la condición aplica técnicas no destructivas en las máquinas para predecir cuándo requieren operaciones de reparación.

Para ello, se debe monitorizar un parámetro (vibración, temperatura, presión, etc....) que nos pueda dar una idea clara de estado de salud (condición) de la máquina estudiada.

Se hace un seguimiento de los parámetros y en función de la variación de ese parámetro sabremos si la máquina está perdiendo parcialmente su función.

La máquina será operativa mientras sea capaz de dar las prestaciones necesarias para que pueda cumplir con la función para que ha sido instalada en el sistema.

En este punto es importante definir dos conceptos:

FALLO POTENCIAL: es el punto en el que comenzamos a intuir que la máquina está perdiendo prestaciones de forma que en el plazo de un tiempo se producirá el FALLO FUNCIONAL.

FALLO FUNCIONAL: es el punto en el que la máquina ya no es capaz de cumplir con la función encomendada.

El intervalo temporal entre FALLO POTENCIAL Y FALLO FUNCIONAL se denomina intervalo PF (ver *Figura 4 Intervalo PF*) y es un valor muy importante en el MBC, ya que de él va a depender la frecuencia de la toma de muestras para el MBC. Normalmente el intervalo de toma de muestras será ligeramente inferior a la mitad del intervalo PF.

Por otro lado, si el intervalo PF es tan corto que no diese tiempo de reacción para realizar el mantenimiento, sería necesario una monitorización on-line. En caso contrario, sería también válida la monitorización off-line.

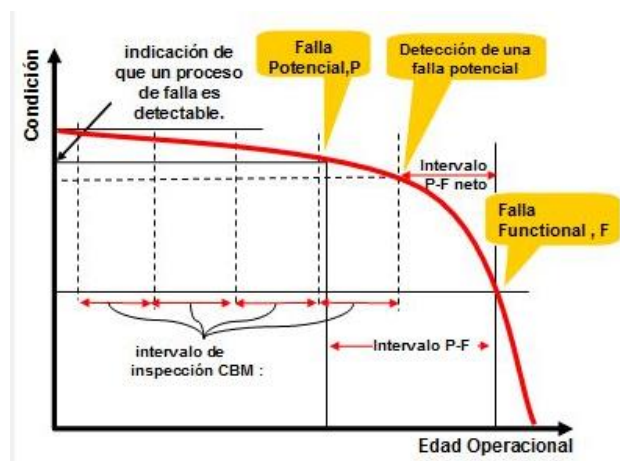


Figura 4 Intervalo PF

7 TIPOS DE TAREAS DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICIÓN

Antes de entrar en detalle en los estudios RCM, de dónde se obtendrá el tipo de mantenimiento a aplicar, vamos a enumerar y explicar brevemente los tipos de técnicas utilizadas en las tareas de mantenimiento basadas en la condición:

7.1 Análisis de vibraciones

En términos generales, una vibración es la oscilación de un cuerpo con respecto a un punto de referencia.

El análisis de vibraciones, permite diagnosticar el estado de las máquinas y sus componentes mientras funcionan normalmente dentro de una planta o buque.

El análisis de vibraciones, sirve para determinar el estado de cada uno de los componentes de los equipos con el fin de programar las actividades de mantenimiento respectivas, sin afectar al desarrollo normal de la planta de producción o de la instalación industrial o naval.

Con el desarrollo de esta tecnología, se ha conseguido disponer en el mercado equipos analizadores de vibración y paquetes informáticos que agilizan y facilitan el análisis de vibraciones, porque entregan al usuario las gráficas de las señales de las vibraciones para que se pueda realizar su interpretación y emitir un diagnóstico acertado.

Todas las máquinas generan vibraciones como parte normal de la actividad, sin embargo, cuando falla alguno de sus componentes, las características de estas vibraciones cambian, permitiendo bajo un estudio detallado identificar el lugar y el tipo de fallo que se está presentando, su rápida reparación y mantenimiento.

El análisis de vibraciones está basado en la interpretación de las señales de vibración tomando como referencia los niveles de tolerancia indicados por el fabricante o por las normas técnicas.

En un buque, debido al gran número de equipos funcionando simultáneamente, se suele realizar una medida base inicial del equipo real funcionando en su entorno operativo y en unas condiciones de funcionamiento del resto de equipos del buque conocidas, y compararla con medidas posteriores del mismo equipo y en las mismas condiciones de funcionamiento del buque.

Los fallos que se pueden detectar en las máquinas por medio de sus vibraciones son las siguientes:

- Desequilibrio.
- Desalineamiento
- Defecto de rodamientos
- Ejes torcidos
- Desajuste mecánico
- Defecto de transmisiones por correa
- Defectos de engranajes
- Problemas eléctricos

La toma de medida de vibraciones puede ser:

On line: El sensor de toma de vibraciones está permanentemente conectado con el Sistema de Mantenimiento Basado en la Condición.

Off line: Las medidas se toman sobre unos zócalos instalados para tal efecto en las máquinas a monitorizar por medio de un colector portátil. La periodicidad de las medidas se calculará en función del intervalo PF.

Los equipos comerciales que se utilizan para esta técnica del MBC son principalmente:

- Acelerómetro.



- Colector portátil.



<http://www.en.dspllogger.com/>

7.2 Análisis de motores eléctricos de inducción

Otra de las técnicas de mantenimiento basado en la condición son los análisis de corriente de alimentación y flujo magnético de dispersión, cuando se trata de diagnosticar motores eléctricos de inducción:

Corriente de Alimentación. El espectro de corriente eléctrica se ha venido aplicando en el diagnóstico de problemas de barras rotas en motores de inducción de jaula de ardilla. La

técnica es fiable en altos regímenes de carga, pero el tipo de avería no es frecuente en general. Para la toma de datos se utiliza la pinza amperimétrica.



Figura 5 Pinza amperimétrica midiendo intensidad en una de las fases

<https://nerdtechy.com/best-clamp-meter>

Flujo de Dispersión. El espectro de flujo magnético es una técnica con la que se puede llevar un control de la evolución de fallos de aislamiento, cortocircuitos de espiras, y otros problemas relacionados con estator y rotor.

Para esta técnica se utilizan los medidores de flujo magnético.



Figura 6 Medidos de flujo magnético utilizado durante una toma de medidas

<http://jultika.oulu.fi/files/isbn9514269381.pdf>

7.3 Termografía

La termografía es una herramienta única que sirve para determinar cuándo y dónde se necesita mantenimiento, puesto que las instalaciones eléctricas y mecánicas suelen calentarse antes de fallar. Al descubrir estos puntos calientes con una cámara termográfica,

se puede llevar a cabo una medida preventiva. De este modo, es posible evitar costosas averías o accidentes.

Una cámara termográfica es un fiable instrumento capaz de analizar y visualizar la distribución de la distribución de temperatura de superficies completas de equipamiento eléctrico y maquinaria con rapidez y precisión.

Ejemplos de fallos en instalaciones que se pueden detectar con termografía:

- Conexiones recalentadas
- Conexiones mal aseguradas
- Defectos de aislamiento



Figura 7 Cámara termográfica durante una toma de datos

7.4 Análisis de aceites

La lubricación que proporciona el aceite es un elemento fundamental para evitar o disminuir la fricción y la pérdida de energía (calor) entre las superficies en contacto, disminuyendo así el desgaste e incrementando la vida útil de los equipos.

El análisis de aceites, el cual, a diferencia del resto de las tecnologías de mantenimiento predictivo, no evalúa directamente anomalías o síntomas en los equipos, evalúa las condiciones del aceite desde su último mantenimiento y a través de valores de referencias permite hacer correlaciones para determinar las condiciones de desgaste de los equipos.



<https://www.businesswire.com/news/home/20170628005622/en/FerroCheck-2000-Magnetometer-Series-Spectro-Scientific-AddS>

7.5 Unidad central de SMBC

Todos los datos capturados por cada uno de los sensores de cada máquina que está monitorizada deben llegar a la unidad central del SMBC.

Para aquellos equipos monitorizados “on line” los datos llegan de forma directa a través del cableado o a través de conexiones inalámbricas.

Para aquellos equipos monitorizados “off line” los datos llegan a través de los colectores portátiles, o los propios equipos de medida, como son: analizadores de aceite, cámaras termográficas, etc.

La unidad central del SMBC suele ir instalada en un rack standard.

8 EL RCM. PROCESO DE DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO

El estudio RCM se basa en que los activos deben de ser capaces de realizar unas funciones para las que han sido instaladas dentro de un sistema. Por lo tanto el punto de partida para un estudio RCM son las funciones de los activos o equipos.

8.1 Estudio del equipo y de su entorno operativo

El primer paso para realizar un RCM es conocer en detalle la máquina y su entorno operativo.

En cuanto a la máquina es necesario disponer de información acerca de su despiece completo y su distribución interna, así como conocer en detalle el funcionamiento de la misma.

Además de conocer perfectamente la máquina, es importante conocer su entorno operativo, es decir el contexto en el que está funcionando y cuáles de sus funciones se están utilizando.

8.2 AMFE (Análisis de los Modos de Fallo y Efectos)

Para la explicación de este punto es interesante seguir el *ANEXO I. AMFE de ventilador eléctrico* y *ANEXO III. AMFE Motor propulsor* de este documento.

El AMFE (análisis e los modos de fallo y efectos, FMEA en inglés) es el documento en el que se listan:

- COLUMNA FUNCIÓN: Las funciones del equipo en este entorno operativo, tanto sean funciones primarias (suministrar aire a una presión determinada) como las funciones secundarias (contener el aire sin fugas).
- COLUMNA FALLO FUNCIONAL: El fallo funcional indica cómo se puede perder la función que estamos tratando. Normalmente es la negación de la función (columna anterior). Puede ser la negación total o parcial de la función.
- MODO DE FALLO: La causa del fallo, lo que coloquialmente llamamos avería.
- EFECTOS DEL FALLO: En esta columna queda registrado qué sucede cuando falla.

8.3 Diagrama de decisión RCM

Una vez que hemos llegado a conocer los modos de fallo y sus consecuencias, para cada modo de fallo se pasa un diagrama de decisión (ver anexo 5), intentando buscar la tarea más adecuada para mitigar ese modo de fallo y que las consecuencias sean nulas o las menores posibles.

El diagrama de decisión comienza con varias preguntas para hacer una clasificación del Modo de Fallo en:

- Fallo evidente / fallo oculto
- Si afecta a la Seguridad
- Si afecta al medioambiente
- Si tiene consecuencias operacionales
- Si no tiene consecuencias operacionales

Para cada uno de los casos anteriores se realizan preguntas intentando conseguir la mejor solución para el modo de fallo que estamos analizando:

- Tareas a condición

- Tareas de reacondicionamiento cíclico.
- Tareas de sustitución cíclica.

Para algunos tipos de modos de fallo también se pregunta si:

- Se podría realizar una combinación de tareas
- Se podría realizar una tarea de búsqueda de fallas
- Rediseño

8.3.1 Tareas a condición

Las tareas a condición (MBC), como se ha visto, tienen por objetivo proporcionar diagnóstico y la posibilidad de mantenimiento basado en la predicción, en función de la tendencia de una serie de parámetros monitorizados, con los que se pretende conocer el estado de la condición (salud) de la maquinaria.

8.3.2 Tareas de reacondicionamiento cíclico

Las tareas de reacondicionamiento cíclico consisten en reparar el equipo a intervalos regulares de tiempo. Este tipo de tareas son muy costosas a lo largo del ciclo de vida del buque y solo se utilizan si no es posible una tarea de MBC.

8.3.3 Tareas de sustitución cíclica

Las tareas de sustitución cíclica son tareas en las cuales se sustituye un equipo o componente a intervalos regulares de tiempo por otro equipo disponible en el pañol de repuestos del buque o en tierra. Esta tarea da una mayor disponibilidad porque suele ser más rápida que la tarea de reacondicionamiento cíclico, pero también es muy costosa a lo largo del ciclo de vida del buque. Solamente se realizan estas tareas si se han descartado las tareas de MBC y las de reacondicionamiento cíclico.

8.3.4 Combinación de tareas

En ocasiones una única tarea no es suficiente para mitigar un modo de fallo, por lo cual se opta por realizar una combinación de tareas, siempre y cuando esta combinación sea efectiva para ello.

8.3.5 Tareas de búsqueda de fallas

Cuando los modos de fallo son ocultos es necesario en ocasiones realizar una tarea de búsqueda de fallos. Esta situación se suele dar en los elementos de protección de los equipos. No sabemos si un sistema de protección está fallado hasta que el equipo necesite ese sistema de protección. Para comprobar que el sistema de protección está funcionando correctamente se suele simular un fallo en el equipo para ver si se dispara el sistema de protección. A esto se le llama tarea de búsqueda de fallas.

8.3.6 Rediseño

Cuando los modos de fallo no pueden mitigarse con ningún tipo de tarea y el modo de fallo no es asumible, será necesario rediseñar el equipo para eliminar ese modo de fallo o para hacer posible que exista alguna tarea que lo pueda mitigar.

9 PLAN DE MANTENIMIENTO SEGÚN RECOMENDACIONES DEL FABRICANTE VS PLAN DE MANTENIMIENTO DEL MISMO EQUIPO APLICANDO TÉCNICAS DE MBC.

Para el buque sobre el que estamos trabajando, se ha aplicado el Mantenimiento Basado en la Condición en:

- El sistema de ventilación (los ventiladores del sistema de ventilación)
- El motor propulsor.

Tal y como se ha comentado anteriormente es importante conocer:

- La función del equipo.
- Los componentes del equipo.
- Entorno operativo.

A continuación, se desarrolla el AMFE, rellenando los datos indicados en el punto 6.2 de este documento. (ver *ANEXO I. AMFE de ventilador eléctrico* y *ANEXO III. AMFE Motor propulsor*).

Posteriormente, para cada modo de fallo del AMFE, se pasa el diagrama de decisión (ver *ANEXO V. Diagrama de decisión RCM*), según el punto 6.3 de este documento, quedando registrados los datos de la hoja de decisión en el *ANEXO II. Registros del diagrama de decisión de RCM ventilación* y *ANEXO IV. Registros del diagrama de decisión RCM del motor propulsor*.

9.1 Sistema de ventilación

Para este estudio se ha elegido uno de los ventiladores eléctricos del sistema de ventilación del buque objeto de este TFM.

La función de este tipo de ventilador es introducir aire limpio o extraer el aire viciado de los locales atendidos para producir una renovación del mismo y con ello conseguir unas condiciones ambientales dentro del rango exigido por el contrato del buque.

Los componentes principales de este ventilador son: Rodete, Motor y Carcasa. El rodete es de aluminio y está directamente acoplado al motor. El motor es de jaula de ardilla. La carcasa está fabricada en acero y bridada en ambos extremos. Además dispone de sus propias cajas de terminales de conexión así como de puertas para la inspección tanto del impulsor como del motor.

El entorno operativo es que se trata de un ventilador de funcionamiento continuo y vital para la operatividad del buque.

Tabla 1: Plan de mantenimiento típico de un fabricante de ventiladores, tal y como se desarrollaría sin haber realizado un estudio RCM:

F_FF_MF	TAREA ANTES RCM	TIPO TAREA	HH TAREA	PERIODICIDAD	Nº VECES AÑO	HH AÑO
1A1	Comprobación de la posición de los interruptores de los ventiladores Vitales.	INSPECCIÓN	0,25	1 MES	12	3
1A2, 1A3, 1A4, 1A5, 1B1, 1B2, 1B3, 1B4, 1C1, 1C2, 1C3, 1C4, 2A1	Desmontar, reparar e instalar motor eléctrico y ventilador de los ventiladores.	PROGRAMADO	5	2 AÑOS	0,5	2,5
1A6	Realizar reapriete de todos los tornillos de conexiones eléctricas del cuadro del Ventilador Eléctrico.	PROGRAMADO	2	1 AÑO	1	2
2A2	Re-apretar sujeciones del ventilador.	PROGRAMADO	1	1 AÑO	1	1
3A1, 3A2	Re-apretar tornillos de brida de sujeción del ventilador y comprobar estado de la junta.	PROGRAMADO	1	1 AÑO	1	1
CARGA DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO ANUAL (PM DEL FABRICANTE)						9,5

Tabla 2: Plan de mantenimiento de un ventilador según los resultados del estudio RCM-MBC.

F_FF_MF	TAREA DESPUES RCM	TIPO TAREA	HH TAREA	PERIODICIDAD	Nº VECES AÑO	HH AÑO
1A2,1A4, 1A5,1B1, 1B3,1B4, 1C1,1C3, 1C4,2A1, 2A2	Monitorización de las vibraciones del conjunto motor-ventilador.	MBC_TOMA DATOS	0,1	3 MESES	4	0,4
1A2,1A3, 1A4,1A5, 1B1,1B2, 1B3,1B4, 1C1,1C2, 1C3,1C4, 2A1, 2A2	Reparar el conjunto motor-ventilador cuando lo indique la tarea de inspección.	MBC_CORRECTIVA	5	5 AÑOS	0,2	1
1A3,1B2, 1C2	Monitorización de las corrientes de cada fase en el cuadro de control de ventilador y flujo magnético en el motor.	MBC_TOMA DATOS	0,2	3 MESES	4	0,8
1A6	Monitorización con cámara termo gráfica la temperatura de las conexiones eléctricas del cuadro de control.	MBC_TOMA DATOS	0,1	3 MESES	4	0,4
1A6	Realizar reapriete de todos los tornillos de conexiones eléctricas del cuadro del Ventilador Eléctrico	MBC_CORRECTIVA	2	5 AÑOS	0,2	0,4
3A1, 3A2	Monitorización de la presión en el conducto de ventilación.	MBC_TOMA DATOS	0,1	3 MESES	4	0,4
3A1	Reapriete de tornillos del conducto de ventilación.	MBC_CORRECTIVA	1	5 AÑOS	0,2	0,2
3A2	Sustitución de junta de estanqueidad del conducto de ventilación.	MBC_CORRECTIVA	1	5 AÑOS	0,2	0,2
CARGA DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO ANUAL (PM OBTENIDO DEL RCM)						3,8

9.2 Motor propulsor

Como se indica en el AMFE la función principal del motor propulsor es proporcionar la potencia necesaria para que, transmitida a través del sistema de engranaje-eje-hélice, el buque pueda desplazarse a la velocidad de diseño.

El motor propulsor consta de

- Un bloque de cilindros-cárter + culatas, que no se va a entrar a analizar en profundidad porque las tareas derivadas de esta parte se corresponderían a tareas a desarrollar en tierra, dada su complejidad. Solamente se analizará las posibles fugas de fluidos que se produzcan.
- Sensores y Panel de Control.
- Sistema de Lubricación.
- Sistema de Combustible.
- Sistema de Refrigeración.
- Sistema de Aire de Arranque.

El entorno operativo es que se trata de un motor único con lo cual su pérdida produciría la pérdida de la función principal del motor y del buque, lo que nos lleva a que se producirían consecuencias operacionales.

Cabe destacar que el sistema MBC que se ha tenido en cuenta en este estudio es la instalación /utilización de:

- Analizador de Aceites
- Analizador de líquido refrigerante.
- Instalación de manómetros de presión diferencial en diferentes filtros.
- Instalación de sensor de nivel de aceite en el cárter.

NOTA: Con una instalación de equipos MBC más ambiciosa el ahorro obtenido sería mayor.

Tabla 3: Plan de mantenimiento típico de un fabricante de motores, tal y como se desarrollaría sin haber realizado un estudio RCM.

F_FF_MF	SUBSISTEMA	TAREA ANTES RCM	TIPO TAREA	HH TAREA	PERIODICIDAD 1	PERIODICIDAD 2	Nº VECES AÑO	HH AÑO
2A1	GENERAL	Inspeccionar el Motor Propulsor Principal para Ver si Hay Fugas o Conexiones Flojas.	PROGRAMADO	2,5	1 DIA		365	912,5
1A1	SENSORES Y PANEL CONTROL	Inspeccionar los Dispositivos de Alarma y de Parada del Motor Propulsor Principal.	PROGRAMADO	2	6 MESES		2	4
1A2	SENSORES Y PANEL CONTROL	Inspeccionar Control e Indicadores del Motor Propulsor Principal.	PROGRAMADO	0,5	1 DIA		365	182,5
1A3	SENSORES Y PANEL CONTROL	Limpiar y Verificar los Captadores Magnéticos del Motor Propulsor Principal.	PROGRAMADO	1	6 MESES		2	2
1A4	LUBRICACIÓN	Comprobar el Nivel de Aceite del Cáster del Motor Propulsor Principal.	PROGRAMADO	0,5	1 DIA		365	182,5
1A4	LUBRICACIÓN	Rellenar hasta el nivel correcto de Aceite del Cáster del Motor Propulsor Principal.	SEGÚN SEA REQUERIDO	1	R	3 MESES	4	4

1B3	LUBRICACIÓN	Cambiar el Aceite del Motor Propulsor Principal. Limpiar la Rejilla de Aspiración del Cáster del Motor Propulsor Principal.	PROGRAMADO	8	3 MESES		4	32
1B3	LUBRICACIÓN	Limpiar e Inspeccionar los Respiraderos del Cáster del Motor Propulsor Principal.	PROGRAMADO	1	3 MESES		4	4
1A5	LUBRICACIÓN	Limpiar y Vaciar el Filtro Duplex de Aceite.	PROGRAMADO	3	3 MESES		4	12
1A5	LUBRICACIÓN	Limpiar los Filtros Centrífugos de Aceite del Motor Propulsor Principal.	PROGRAMADO	2	3 MESES		4	8
1B2	LUBRICACIÓN	Inspeccionar el Detector de Partículas Metálicas.	PROGRAMADO	0,5	3 MESES		4	2
1A6	COMBUSTIBLE	Purgar Agua y Sedimentos del Tanque de Uso Diario de Combustible del Motor Propulsor Principal.	PROGRAMADO	0,25	1 DIA		365	91,25
1A6	COMBUSTIBLE	Purgar Agua y Sedimentos de los Filtros Primarios de Combustible.	PROGRAMADO	0,25	1 DIA		365	91,25

1B4	COMBUSTIBLE	Limpiar y Cambiar los Elementos Filtrantes de los Filtros de Combustible del Motor Propulsor Principal.	PROGRAMADO	3	3 MESES		4	12
1A7	REFRIGERACIÓN	Sustituir el líquido refrigerante del Motor Propulsor Principal / Tratar el líquido refrigerante de modo que recupere sus características.	PROGRAMADO	6	6 MES		2	12
1A7	REFRIGERACIÓN	Comprobar el Nivel de Refrigerante del Sistema de Refrigeración del Motor Propulsor Principal. y rellenar hasta alcanzar el nivel óptimo si fuese necesario.	PROGRAMADO	0,5	15 DIAS		24	12
1A8	AIRE ARRANQUE	Purgar Agua y Sedimentos de la Botella de Aire del Motor Propulsor Principal.	PROGRAMADO	0,5	1 MES		12	6
1A8	AIRE ARRANQUE	Limpiar la Rejilla del Arrancador Neumático del Motor Propulsor Principal.	PROGRAMADO	0,5	2 MES		6	3
1A8	AIRE ARRANQUE	Limpiar la Caja del Lubricador de Aire del Motor de Arranque Neumático	PROGRAMADO	1	1 AÑO		1	1
CARGA DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO ANUAL (PM DEL FABRICANTE)								1574

Tabla 4: Plan de mantenimiento de un motor según los resultados del estudio RCM-MBC.

F_FF_MF	SUBSISTEMA	TAREA DESPUES RCM	TIPO TAREA	HH TAREA	PERIODICIDAD 1	PERIODICIDAD 2	Nº VECES AÑO	HH AÑO
2A1	GENERAL	Inspeccionar el Motor Propulsor Principal para Ver si Hay Fugas o Conexiones Flojas. Reparar si es necesario.	PROGRAMADO	2,5	1 DIA		365	912,5
1A1	SENSORES Y PANEL CONTROL	Inspeccionar los Dispositivos de Alarma y de Parada del Motor Propulsor Principal. Reparar si es necesario.	PROGRAMADO	2	6 MESES		2	4
1A2	SENSORES Y PANEL CONTROL	Inspeccionar Control e Indicadores del Motor Propulsor Principal. Reparar si es necesario.	PROGRAMADO	0,5	1 DIA		365	182,5
1A3	SENSORES Y PANEL CONTROL	Limpiar y Verificar los Captadores Magnéticos del Motor Propulsor Principal.	PROGRAMADO	1	6 MESES		2	2

1A4	LUBRICACIÓN	Rellenar hasta el nivel correcto de Aceite del Cáster del Motor Propulsor Principal cuando así lo indique el sistema automático de control de nivel de aceite.	MBC CORRECTIVA	1	R	3 MESES	4	4
1B3	LUBRICACIÓN	Obtener una Muestra de Aceite del Cáster del Motor Propulsor Principal.	MBC TOMA DE DATOS	0,5	6 MESES		2	1
1B3	LUBRICACIÓN	Cambiar el Aceite del Motor Propulsor Principal. Limpiar la Rejilla de Aspiración del Cáster del Motor Propulsor Principal.	MBC CORRECTIVA	8	R	6 MESES	2	16
1B3	LUBRICACIÓN	Limpiar e Inspeccionar los Respiraderos del Cáster del Motor Propulsor Principal.	MBC CORRECTIVA	1	R	6 MESES	2	2
1A5	LUBRICACIÓN	Inspeccionar Presión Diferencial del Filtro Duplex de Aceite	MBC TOMA DE DATOS	0,25	3 MESES		4	1
1A5	LUBRICACIÓN	Limpiar y Vaciar el Filtro Duplex de Aceite.	MBC CORRECTIVA	3	R	6 MESES	2	6
1A5	LUBRICACIÓN	Inspeccionar Presión Diferencial de Los Filtros Centrífugos de Aceite.	MBC TOMA DE DATOS	0,25	3 MESES		4	1

1A5	LUBRICACIÓN	Limpiar los Filtros Centrifugos de Aceite del Motor Propulsor Principal.	MBC CORRECTIVA	2	R	6 MESES	2	4
1B2	LUBRICACIÓN	Inspeccionar el Detector de Partículas Metálicas.	PROGRAMADO	0,5	3 MESES		4	2
1A6	COMBUSTIBLE	Purgar Agua y Sedimentos del Tanque de Uso Diario de Combustible del Motor Propulsor Principal.	PROGRAMADO	0,25	1 DIA		365	91,25
1A6	COMBUSTIBLE	Purgar Agua y Sedimentos de los Filtros Primarios de Combustible.	PROGRAMADO	0,25	1 DIA		365	91,25
1B4	COMBUSTIBLE	Inspeccionar Presión Diferencial de Los Filtros Centrifugos de Combustible del Motor Propulsor Principal.	MBC TOMA DE DATOS	0,25	3 MESES		4	1
1B4	COMBUSTIBLE	Limpiar y Cambiar los Elementos Filtrantes de los Filtros de Combustible del Motor Propulsor Principal.	MBC CORRECTIVA	3	R	6 MESES	2	6

1A7	REFRIGERACIÓN	Realizar Análisis del Refrigerante del Motor Propulsor Principal.	MBC TOMA DE DATOS	0,5	3 MESES		4	2
1A7	REFRIGERACIÓN	Sustituir el líquido refrigerante del Motor Propulsor Principal / Tratar el líquido refrigerante de modo que recupere sus características.	MBC CORRECTIVA	6	R	12 MESES	1	6
1A7	REFRIGERACIÓN	Rellenar líquido refrigerante hasta alcanzar el nivel óptimo.	MBC CORRECTIVA	0,5	R	6 MESES	2	1
1A8	AIRE ARRANQUE	Purgar Agua y Sedimentos de la Botella de Aire del Motor Propulsor Principal.	PROGRAMADO	0,5	1 MES		12	6
1A8	AIRE ARRANQUE	Limpiar la Rejilla del Arrancador Neumático del Motor Propulsor Principal.	PROGRAMADO	0,5	2 MES		6	3
1A8	AIRE ARRANQUE	Limpiar la Caja del Lubricador de Aire del Motor de Arranque Neumático	PROGRAMADO	1	1 AÑO		1	1
CARGA DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO ANUAL (PM OBTENIDO DEL RCM)								1346,5

El significado de los títulos de las columnas de las tablas:

- F_FF_MF: FUNCIÓN / FALLO FUNCIONAL / MODO DE FALLO
- TAREA ANTES RCM: Lista de tareas con un plan de mantenimiento sin utilizar técnicas RCM/MBC.
- TAREA DESPUES RCM: Lista de tareas con un plan de mantenimiento utilizando técnicas RCM/MBC.
- TIPO TAREA: INSPECCIÓN / PROGRAMADO /MBC_TOMA DATOS / MBC_CORRECTIVA
- HH TAREA: Horas hombre consumidas cada vez que se realiza la tarea
- PERIODICIDAD_1: Periodicidad de la tarea
- PERIODICIDAD_2: Periodicidad estimada con MBC (para las tareas con periodicidad R = cuando sea requerido)
- Nº VECES AÑO: Número de veces que esa tarea se desarrollará en un año
- HH AÑO: Horas hombre consumidas por esta tarea en un año.

10 BENEFICIOS OBTENIDOS TRAS LA APLICACIÓN DEL RCM/MBC

Entre las ventajas que proporciona el mantenimiento predictivo se indican las siguientes:

- Reduce los tiempos de parada imprevistos.
- Permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo.
- Optimiza la gestión del personal de mantenimiento.
- La verificación del estado de la maquinaria permite confeccionar un archivo histórico del comportamiento mecánico.
- Toma de decisiones sobre la parada de un equipo en momentos críticos.
- Permitir el conocimiento del historial de actuaciones.
- Facilita el análisis de las averías.
- Permite el análisis estadístico del sistema.
- Como último beneficio, se incluye el beneficio económico.

Se incluye a continuación comparativa de los costes en horas de mantenimiento del plan de mantenimiento recomendado por el fabricante y el recomendado por el estudio RCM.

10.1 Beneficio en Ventilación

CARGA DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO ANUAL (PM DEL FABRICANTE)= 9,5 horas.

CARGA DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO ANUAL (PM OBTENIDO DEL RCM)= 3,8 horas.

DIFERENCIA ANUAL DE CARGA DE TRABAJO ANUAL: $9,5 - 3,8 = 5,7$ horas

Valor hora estimada: 25 euros/hora.

Ahorro económico anual: $5,7 \text{ horas} \times 25 \text{ euros/hora} = 142,5$ Euros

Si este sistema se aplicase a 50 ventiladores el ahorro sería de: $142,5 \text{ euros} \times 50 = 7.125$ euros.

Si lo extendemos al ciclo de vida, que es de 25 años, tenemos: $7.125 \times 25 = 178.125$ euros.

Datos obtenidos de diferentes fabricantes indican que la instalación de un MBC para esta cantidad de sistemas rondaría los 70.000 Euros.

El ahorro sería de: $178.125 - 70.000 = 105.625$ euros

10.2 Beneficio del Motor propulsor

CARGA DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO ANUAL (PM DEL FABRICANTE)= 1574 horas.

CARGA DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO ANUAL (PM OBTENIDO DEL RCM)= 1346,5 horas.

DIFERENCIA ANUAL DE CARGA DE TRABAJO ANUAL: $1574 - 1346,5 = 227,5$ horas

Valor hora estimada: 25 euros/hora.

Ahorro económico anual: $227,5 \text{ horas} \times 25 \text{ euros/hora} = 5.687,5$ Euros

Si lo extendemos al ciclo de vida, que es de 25 años, tenemos: $5.687,5 \times 25 = 142.187$ euros.

La instalación de un MBC para esta motor propulsor se estima en unos 40.000 Euros.

El ahorro sería de: $142.187 - 40.000 = 102.187$ euros

10.3 Beneficio económico total

De este estudio se deduce que se puede conseguir un beneficio económico total aplicando técnicas de MBC:

- El ahorro en ventilación sería de $\rightarrow 105.625$ euros
- El ahorro en motor propulsor sería de $\rightarrow 102.187$ euros

Beneficio económico total: $105.625 + 102.187 = 207.812$ euros

11 CONSIDERACIONES ANTES DE MODIFICAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO RECOMENDADO POR EL FABRICANTE

Cuando un astillero se propone realizar los estudios necesarios para optimizar los planes de mantenimiento de un buque, debe tenerse en cuenta que los resultados serán diferentes a los indicados por los fabricantes de los equipos en sus manuales técnicos.

Llegado a este punto tenemos dos problemas con:

- Garantías que los fabricantes de los equipos.

Si un fabricante no acepta las modificaciones a los planes de mantenimiento de sus equipos es casi seguro que tampoco aceptará el coste de las reparaciones en garantía si no se ha seguido el plan de mantenimiento indicado en los manuales técnicos.

- Potenciales futuras intervenciones de mantenimiento que sean requeridas al fabricante del equipo.

Si un fabricante no acepta las modificaciones a los planes de mantenimiento de sus equipos es casi seguro que cuando sea necesario recurrir a él para futuras intervenciones, no mantendrá los precios fijados para tales intervenciones durante la fase de negociación de adquisición de los equipos.

12 IMPLICACIÓN DE LOS FABRICANTES EN LOS RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS RCM/MBC

Por todo lo indicado en el párrafo anterior es imprescindible, que si un astillero pretende optimizar los planes de mantenimiento de los equipos por cualquier técnica, incluyendo las técnicas de RCM/MBC, debe de fijar durante la fase de negociación de la adquisición de los equipos unas cláusulas contractuales que obliguen al suministrador a seguir dando apoyo al equipo durante su vida útil.

Normalmente para que esto ocurra es necesario que el suministrador/fabricante participe en las jornadas de estudio de las modificaciones de los planes de mantenimiento.

En estas jornadas (ver Figura 2 Componentes de un grupo de trabajo RCM) debe haber un Facilitador, que conoce y explica el proceso y personal de Operación, Mantenimiento e Ingeniería (incluyendo Ingeniería del Astillero e Ingeniería del fabricante).

De este modo la ingeniería del fabricante/ suministrador es más fácil que participen del resultado de los estudios, y por lo tanto acepten de buen grado las modificaciones al plan de mantenimiento.

Los párrafos anteriores muestran la necesidad de contar con los fabricantes de los equipos en las modificaciones de los planes de mantenimiento.

Por tal motivo en las especificaciones de compra debe estar incluido dentro del alcance de suministro, las asistencias a esas jornadas, que pueden ser de entre 4-8 días por activo, en función de la complejidad del mismo.

Del mismo modo, debe estar incluido en una cláusula contractual, el hecho de que el fabricante/suministrador se comprometa a aceptar la modificación del plan de mantenimiento basándose en los resultados de las jornadas RCM, en las que también ha participado.

13 CONCLUSIONES

A lo largo de este cuaderno se han expuesto, de forma resumida, tanto la parte técnica necesaria para implementar un SMBC en este buque, como toda la parte contractual (no menos importante) que es necesario acordar con los suministradores de los equipos a monitorizar.

Dado que en los apartados iniciales de este cuaderno se han indicado los objetivos principales, indicaremos a continuación si se consideran alcanzados:

- 1.- Reducir el número de horas de mantenimiento a realizar por la dotación, lo que implica:
 - Mayor “disponibilidad”: relación entre las horas de operación y las horas totales
 - Disminución de los gastos de mano de obra de mantenimiento.

El apartado 10 de este cuaderno indica el ahorro en horas y el beneficio económico, por lo que se considera demostrado.

- 2.- Reducir el gasto en repuestos y consumibles. Con la implantación de este sistema los mantenimientos se programan en función de la condición de la máquina. Normalmente si la máquina está en buenas condiciones los mantenimientos se retrasan, con lo cual el número de repuestos y consumibles necesarios es menor.

Las tablas 1 a 4 de este cuaderno muestran que las periodicidades de los reemplazos de repuestos/consumibles se alargan utilizando un SMBC, lo que implica directamente que el número de repuestos/consumibles necesarios por año será menor, con lo cual el ahorro en repuestos es evidente.

- 3.- Incrementar la Fiabilidad (Probabilidad de que un sistema, aparato o dispositivo cumpla una determinada función bajo ciertas condiciones durante un tiempo determinado). Este sistema también es capaz de detectar si un determinado mantenimiento es necesario adelantarlo (normalmente esto ocurre en muy pocos casos, pero puede ocurrir), con lo cual, si no lo tuviésemos instalado, el mantenimiento no se adelantaría y la máquina funcionaría un cierto tiempo en unas condiciones que podrían deteriorarla prematuramente.

Este caso no está estudiado numéricamente en este cuaderno, pero el hecho de disponer de un sistema que monitoriza la condición de una máquina, siempre nos permite detectar si esta se deteriora prematuramente y nos da un margen de tiempo para actuar antes del fallo, con lo cual la máquina no se detendrá de forma no programada, y como consecuencia la Fiabilidad aumenta.

Después de todo lo indicado consideramos que con la instalación del SMBC se conseguirían los objetivos previstos.

14 BIBLIOGRAFÍA

Buiness Wire. *A Berkshire Hathaway Company*. [En línea] 2017. <https://www.businesswire.com/news/home/20170628005622/en/FerroCheck-2000-Magnetometer-Series-Spectro-Scientific-Adds>.

Hoyos Vázquez, Óscar. *Living Reliability*. [En línea] 2011-2012. <http://www.livingreliability.com/wordpress/posts/el-elusiva-intervalo-p-f/>.

Portable Vibration Analyzers. [En línea] <http://www.en.dsplogger.com/>.

Nerd Tech. *Your Guide to New Technology*. [En línea] 26 de January de 2017. <https://nerdtechy.com/best-clamp-meter>.

Condition Monitoring of Squirrel-cage motors by axial magnetic flux measurements. [En línea] 2003. <http://jultika.oulu.fi/files/isbn9514269381.pdf>.

ANEXO I. AMFE DE VENTILADOR ELÉCTRICO

FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO (Causa del fallo)	EFEECTO DEL FALLO (Que sucede cuando falla)
1	Suministrar aire a una presión de 200 Pa y un caudal de 1000 m ³ /h	A No suministrar aire	1 Falta de suministro de energía eléctrica (interruptor colocado en posición errónea en cuadro de alimentación), por error humano.	<p>Evidencia: ciertos locales se quedan sin suministro de aire y se producirá una pérdida de las condiciones ambientales en dichos locales. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: no, porque es evidente y se pueden tomar las medidas necesarias para que no afecte a la seguridad. El medioambiente no se ve afectado por este modo de fallo.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Dependiendo de la redundancia del sistema de ventilación y la clasificación del ventilador (sistemas vitales / no Vitales) podría afectar. Si el ventilador es vital, y no existiese redundancia, su fallo afectaría a las operaciones. Para este estudio consideraremos que SI existen consecuencias operacionales.</p> <p>Daños secundarios: Si el ventilador alimenta a locales donde se genere gran cantidad de calor (local radio /cámaras de máquinas) podría producirse deterioro de otros equipos por sobrepasar el límite máximo de temperatura. Por lo tanto SI pueden existir daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: "Comprobación de la posición de los interruptores de los ventiladores Vitales. Periodicidad: Mensual.</p>
			2 Motor eléctrico deteriorado por agarrotamiento de los rodamientos,	<p>Evidencia: ciertos locales se quedan sin suministro de aire y se producirá una pérdida de las condiciones ambientales en dichos locales. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: no, porque es evidente y se pueden tomar las medidas necesarias para que no afecte a la seguridad. El medioambiente no se ve afectado por este modo de fallo.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Dependiendo de la redundancia del sistema de ventilación y la clasificación del ventilador (sistemas vitales / no Vitales) odría afectar. Si el ventilador es vital, y no existiese redundancia, su fallo afectaría a</p>

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO (<i>Causa del fallo</i>)	EFECTO DEL FALLO (<i>Que sucede cuando falla</i>)
			<p>las operaciones. Para este estudio consideraremos que SI existen consecuencias operacionales.</p> <p>Daños secundarios: Si el ventilador alimenta a locales dónde se genere gran cantidad de calor (local radio /cámaras de máquinas) podría producirse deterioro de otros equipos por sobrepasar el límite máximo de temperatura. Por lo tanto SI pueden existir daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: “Desmontar, reparar e instalar motor eléctrico y ventilador de los ventiladores”. Periodicidad: 2 años.</p>
		<p>3 Motor eléctrico deteriorado por problemas en los bobinados,</p>	<p>Evidencia: ciertos locales se quedan sin suministro de aire y se producirá una pérdida de las condiciones ambientales en dichos locales. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: no, porque es evidente y se pueden tomar las medidas necesarias para que no afecte a la seguridad. El medioambiente no se ve afectado por este modo de fallo.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Dependiendo de la redundancia del sistema de ventilación y la clasificación del ventilador (sistemas vitales / no Vitales) podría afectar. Si el ventilador es vital, y no existiese redundancia, su fallo afectaría a las operaciones. Para este estudio consideraremos que SI existen consecuencias operacionales.</p> <p>Daños secundarios: Si el ventilador alimenta a locales dónde se genere gran cantidad de calor (local radio /cámaras de máquinas) podría producirse deterioro de otros equipos por sobrepasar el límite máximo de temperatura. Por lo tanto SI pueden existir daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: “Desmontar, reparar e instalar motor eléctrico y ventilador de los ventiladores”. Periodicidad: 2 años.</p>

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO (Causa del fallo)	EFECTO DEL FALLO (Que sucede cuando falla)
		4 Ventilador deteriorado por agarrotamiento de los rodamientos,	<p>Evidencia: ciertos locales se quedan sin suministro de aire y se producirá una pérdida de las condiciones ambientales en dichos locales. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: no, porque es evidente y se pueden tomar las medidas necesarias para que no afecte a la seguridad. El medioambiente no se ve afectado por este modo de fallo.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Dependiendo de la redundancia del sistema de ventilación y la clasificación del ventilador (sistemas vitales / no Vitales) podría afectar. Si el ventilador es vital, y no existiese redundancia, su fallo afectaría a las operaciones. Para este estudio consideraremos que SI existen consecuencias operacionales.</p> <p>Daños secundarios: Si el ventilador alimenta a locales dónde se genere gran cantidad de calor (local radio /cámaras de máquinas) podría producirse deterioro de otros equipos por sobrepasar el límite máximo de temperatura. Por lo tanto SI pueden existir daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: "Desmontar, reparar e instalar motor eléctrico y ventilador de los ventiladores". Periodicidad: 2 años.</p>
		5 Bloqueo del ventilador por roce con la carcasa.	<p>Evidencia: ciertos locales se quedan sin suministro de aire y se producirá una pérdida de las condiciones ambientales en dichos locales. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: no, porque es evidente y se pueden tomar las medidas necesarias para que no afecte a la seguridad. El medioambiente no se ve afectado por este modo de fallo.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Dependiendo de la redundancia del sistema de ventilación y la clasificación del ventilador (sistemas vitales / no Vitales) podría afectar. Si el ventilador es vital, y no existiese redundancia, su fallo afectaría a las operaciones. Para este estudio consideraremos que SI existen consecuencias operacionales.</p>

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO (<i>Causa del fallo</i>)	EFECTO DEL FALLO (<i>Que sucede cuando falla</i>)
			<p>Daños secundarios: Si el ventilador alimenta a locales dónde se genere gran cantidad de calor (local radio /cámaras de máquinas) podría producirse deterioro de otros equipos por sobrepasar el límite máximo de temperatura. Por lo tanto SI pueden existir daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: "Desmontar, reparar e instalar motor eléctrico y ventilador de los ventiladores". Periodicidad: 2 años.</p>
		<p>6 Falta de alimentación eléctrica por conexiones flojas en el cuadro de control.</p>	<p>Evidencia: ciertos locales se quedan sin suministro de aire y se producirá una pérdida de las condiciones ambientales en dichos locales. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: no, porque es evidente y se pueden tomar las medidas necesarias para que no afecte a la seguridad. El medioambiente no se ve afectado por este modo de fallo.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Dependiendo de la redundancia del sistema de ventilación y la clasificación del ventilador (sistemas vitales / no Vitales) podría afectar. Si el ventilador es vital, y no existiese redundancia, su fallo afectaría a las operaciones. Para este estudio consideraremos que SI existen consecuencias operacionales.</p> <p>Daños secundarios: Si el ventilador alimenta a locales dónde se genere gran cantidad de calor (local radio /cámaras de máquinas) podría producirse deterioro de otros equipos por sobrepasar el límite máximo de temperatura. Por lo tanto SI pueden existir daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: "Realizar reapriete de todos los tornillos de conexiones eléctricas del cuadro del Ventilador Eléctrico". Periodicidad: 1 año.</p>
	<p>B Suministrar aire a una presión menor a la requerida</p>	<p>1 Motor eléctrico deteriorado por rodamientos en mal estado,</p>	<p>Evidencia: ciertos locales tienen un suministro de aire insuficiente y se producirá una pérdida de las condiciones ambientales en dichos locales. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: no, porque es evidente y se pueden tomar las medidas necesarias para que no afecte a la</p>

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO (Causa del fallo)	EFECTO DEL FALLO (Que sucede cuando falla)
			<p>seguridad. El medioambiente no se ve afectado por este modo de fallo.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Dependiendo de la redundancia del sistema de ventilación y la clasificación del ventilador (sistemas vitales / no Vitales) podría afectar. Si el ventilador es vital, y no existiese redundancia, su fallo afectaría a las operaciones. Para este estudio consideraremos que SI existen consecuencias operacionales.</p> <p>Daños secundarios: Si el ventilador alimenta a locales dónde se genere gran cantidad de calor (local radio /cámaras de máquinas) podría producirse deterioro de otros equipos por sobrepasar el límite máximo de temperatura. Por lo tanto SI pueden existir daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: “Desmontar, reparar e instalar motor eléctrico y ventilador de los ventiladores”. Periodicidad: 2 años.</p>
		<p>2 Motor eléctrico deteriorado por bobinados en mal estado,</p>	<p>Evidencia: ciertos locales tienen un suministro de aire insuficiente y se producirá una pérdida de las condiciones ambientales en dichos locales. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: no, porque es evidente y se pueden tomar las medidas necesarias para que no afecte a la seguridad. El medioambiente no se ve afectado por este modo de fallo.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Dependiendo de la redundancia del sistema de ventilación y la clasificación del ventilador (sistemas vitales / no Vitales) podría afectar. Si el ventilador es vital, y no existiese redundancia, su fallo afectaría a las operaciones. Para este estudio consideraremos que SI existen consecuencias operacionales.</p> <p>Daños secundarios: Si el ventilador alimenta a locales dónde se genere gran cantidad de calor (local radio /cámaras de máquinas) podría producirse deterioro de otros equipos por sobrepasar el límite máximo de temperatura. Por lo tanto SI pueden existir daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p>

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO (Causa del fallo)	EFECTO DEL FALLO (Que sucede cuando falla)
		3 Ventilador deteriorado por rodamientos en mal estado,	<p>Mantenimiento actual: “Desmontar, reparar e instalar motor eléctrico y ventilador de los ventiladores”. Periodicidad: 2 años.</p> <p>Evidencia: ciertos locales tienen un suministro de aire insuficiente y se producirá una pérdida de las condiciones ambientales en dichos locales. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: no, porque es evidente y se pueden tomar las medidas necesarias para que no afecte a la seguridad. El medioambiente no se ve afectado por este modo de fallo.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Dependiendo de la redundancia del sistema de ventilación y la clasificación del ventilador (sistemas vitales / no Vitales) podría afectar. Si el ventilador es vital, y no existiese redundancia, su fallo afectaría a las operaciones. Para este estudio consideraremos que SI existen consecuencias operacionales.</p> <p>Daños secundarios: Si el ventilador alimenta a locales donde se genere gran cantidad de calor (local radio /cámaras de máquinas) podría producirse deterioro de otros equipos por sobrepasar el límite máximo de temperatura. Por lo tanto SI pueden existir daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: “Desmontar, reparar e instalar motor eléctrico y ventilador de los ventiladores”. Periodicidad: 2 años.</p>
		4 Velocidad lenta del ventilador por roce con la carcasa.	<p>Evidencia: ciertos locales tienen un suministro de aire insuficiente y se producirá una pérdida de las condiciones ambientales en dichos locales. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: no, porque es evidente y se pueden tomar las medidas necesarias para que no afecte a la seguridad. El medioambiente no se ve afectado por este modo de fallo.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Dependiendo de la redundancia del sistema de ventilación y la clasificación del ventilador (sistemas vitales / no Vitales) podría afectar. Si el</p>

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO (Causa del fallo)	EFECTO DEL FALLO (Que sucede cuando falla)
			<p>ventilador es vital, y no existiese redundancia, su fallo afectaría a las operaciones. Para este estudio consideraremos que SI existen consecuencias operacionales.</p> <p>Daños secundarios: Si el ventilador alimenta a locales dónde se genere gran cantidad de calor (local radio /cámaras de máquinas) podría producirse deterioro de otros equipos por sobrepasar el límite máximo de temperatura. Por lo tanto SI pueden existir daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: "Desmontar, reparar e instalar motor eléctrico y ventilador de los ventiladores". Periodicidad: 2 años.</p>
	<p>C Suministrar aire a un caudal menor al requerido</p>	<p>1 Motor eléctrico deteriorado por rodamientos en mal estado,</p>	<p>Evidencia: ciertos locales tienen un suministro de aire insuficiente y se producirá una pérdida de las condiciones ambientales en dichos locales. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: no, porque es evidente y se pueden tomar las medidas necesarias para que no afecte a la seguridad. El medioambiente no se ve afectado por este modo de fallo.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Dependiendo de la redundancia del sistema de ventilación y la clasificación del ventilador (sistemas vitales / no Vitales) podría afectar. Si el ventilador es vital, y no existiese redundancia, su fallo afectaría a las operaciones. Para este estudio consideraremos que SI existen consecuencias operacionales.</p> <p>Daños secundarios: Si el ventilador alimenta a locales dónde se genere gran cantidad de calor (local radio /cámaras de máquinas) podría producirse deterioro de otros equipos por sobrepasar el límite máximo de temperatura. Por lo tanto SI pueden existir daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: "Desmontar, reparar e instalar motor eléctrico y ventilador de los ventiladores". Periodicidad: 2 años.</p>

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO (<i>Causa del fallo</i>)	EFECTO DEL FALLO (<i>Que sucede cuando falla</i>)
		2 Motor eléctrico deteriorado por bobinados en mal estado,	<p>Evidencia: ciertos locales tienen un suministro de aire insuficiente y se producirá una pérdida de las condiciones ambientales en dichos locales. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: no, porque es evidente y se pueden tomar las medidas necesarias para que no afecte a la seguridad. El medioambiente no se ve afectado por este modo de fallo.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Dependiendo de la redundancia del sistema de ventilación y la clasificación del ventilador (sistemas vitales / no Vitales) podría afectar. Si el ventilador es vital, y no existiese redundancia, su fallo afectaría a las operaciones. Para este estudio consideraremos que SI existen consecuencias operacionales.</p> <p>Daños secundarios: Si el ventilador alimenta a locales donde se genere gran cantidad de calor (local radio /cámaras de máquinas) podría producirse deterioro de otros equipos por sobrepasar el límite máximo de temperatura. Por lo tanto SI pueden existir daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: "Desmontar, reparar e instalar motor eléctrico y ventilador de los ventiladores". Periodicidad: 2 años.</p>
		3 Ventilador deteriorado por rodamientos en mal estado,	<p>Evidencia: ciertos locales tienen un suministro de aire insuficiente y se producirá una pérdida de las condiciones ambientales en dichos locales. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: no, porque es evidente y se pueden tomar las medidas necesarias para que no afecte a la seguridad. El medioambiente no se ve afectado por este modo de fallo.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Dependiendo de la redundancia del sistema de ventilación y la clasificación del ventilador (sistemas vitales / no Vitales) podría afectar. Si el ventilador es vital, y no existiese redundancia, su fallo afectaría a las operaciones. Para este estudio consideraremos que SI existen consecuencias operacionales.</p>

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO <i>(Causa del fallo)</i>	EFECTO DEL FALLO <i>(Que sucede cuando falla)</i>
			<p>Daños secundarios: Si el ventilador alimenta a locales dónde se genere gran cantidad de calor (local radio /cámaras de máquinas) podría producirse deterioro de otros equipos por sobrepasar el límite máximo de temperatura. Por lo tanto SI pueden existir daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: "Desmontar, reparar e instalar motor eléctrico y ventilador de los ventiladores". Periodicidad: 2 años.</p>
		<p>4 Velocidad lenta del ventilador por roce con la carcasa.</p>	<p>Evidencia: ciertos locales tienen un suministro de aire insuficiente y se producirá una pérdida de las condiciones ambientales en dichos locales. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: no, porque es evidente y se pueden tomar las medidas necesarias para que no afecte a la seguridad. El medioambiente no se ve afectado por este modo de fallo.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Dependiendo de la redundancia del sistema de ventilación y la clasificación del ventilador (sistemas vitales / no Vitales) podría afectar. Si el ventilador es vital, y no existiese redundancia, su fallo afectaría a las operaciones. Para este estudio consideraremos que SI existen consecuencias operacionales.</p> <p>Daños secundarios: Si el ventilador alimenta a locales dónde se genere gran cantidad de calor (local radio /cámaras de máquinas) podría producirse deterioro de otros equipos por sobrepasar el límite máximo de temperatura. Por lo tanto SI pueden existir daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: "Desmontar, reparar e instalar motor eléctrico y ventilador de los ventiladores". Periodicidad: 2 años.</p>

FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO (Causa del fallo)	EFEECTO DEL FALLO (Que sucede cuando falla)
2	Mantener un nivel sonoro menor de 65 dB, medido a 1 metro de distancia.	A Mantener un nivel sonoro superior al requerido	1 Rodamientos en mal estado (motor y/o ventilador) sin afectar a velocidad del ventilador.	<p>Evidencia: ciertos locales tienen un nivel sonoro por encima del habitual. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: Aunque se produciría una “contaminación” sonora, no existen efectos para la seguridad o medioambiente, porque es evidente y se pueden tomar las medidas necesarias para que no afecte a la seguridad ni al medioambiente.</p> <p>Consecuencias Operacionales: No existen porque hemos indicado en el modo de fallo que la velocidad no se ve alterada sensiblemente.</p> <p>Daños secundarios: No existen porque hemos indicado en el modo de fallo que la velocidad no se ve alterada sensiblemente y las prestaciones de la máquina en cuanto a caudal y presión están invariables.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: “Desmontar, reparar e instalar motor eléctrico y ventilador de los ventiladores”. Periodicidad: 2 años.</p>
			2 Soportado del electroventilador defectuoso por tornillos flojos	<p>Evidencia: ciertos locales tienen un nivel sonoro por encima del habitual. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: Aunque se produciría una “contaminación” sonora, no existen efectos para la seguridad o medioambiente, porque es evidente y se pueden tomar las medidas necesarias para que no afecte a la seguridad ni al medioambiente.</p> <p>Consecuencias Operacionales: No existen porque hemos indicado en el modo de fallo que la velocidad no se ve alterada sensiblemente.</p> <p>Daños secundarios: No existen porque la velocidad no se ve alterada sensiblemente y las prestaciones de la máquina en cuanto a caudal y presión están invariables.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: “Re-apretar sujeciones del ventilador”. Periodicidad: 1 año.</p>

FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL		MODO DE FALLO (Causa del fallo)	EFEECTO DEL FALLO (Que sucede cuando falla)
3	Mantener la estanqueidad del sistema de ventilación en el que se encuentra.	A	No mantener la estanqueidad del sistema de ventilación	1 Tornillos flojos en la brida de sujeción del ventilador al conducto de ventilación.	<p>Evidencia: ciertos locales tienen un suministro de aire insuficiente y se producirá una modificación de las condiciones ambientales de los locales alimentados por este ventilador y del local en el que está instalado el ventilador. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: no, porque es evidente y se pueden tomar las medidas necesarias para que no afecte a la seguridad. El medioambiente no se ve afectado por este modo de fallo.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Dependiendo de la redundancia del sistema de ventilación y la clasificación del ventilador (sistemas vitales / no Vitales) podría afectar. Si el ventilador es vital, y no existiese redundancia, su fallo afectaría a las operaciones. Para este estudio consideraremos que SI existen consecuencias operacionales.</p> <p>Daños secundarios: Si el ventilador alimenta a locales donde se genere gran cantidad de calor (local radio /cámaras de máquinas) podría producirse deterioro de otros equipos por sobrepasar el límite máximo de temperatura. Por lo tanto SI pueden existir daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: "Re-apretar tornillos de brida de sujeción del ventilador y comprobar estado de la junta". Periodicidad: 1 año.</p>
				2 Junta de estanqueidad entre ventilador y conducto deteriorada.	<p>Evidencia: ciertos locales tienen un suministro de aire insuficiente y se producirá una modificación de las condiciones ambientales de los locales alimentados por este ventilador y del local en el que está instalado el ventilador. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: no, porque es evidente y se pueden tomar las medidas necesarias para que no afecte a la seguridad. El medioambiente no se ve afectado por este modo de fallo.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Dependiendo de la redundancia del sistema de ventilación y la clasificación del ventilador (sistemas vitales / no Vitales) podría afectar. Si el ventilador es vital, y no existiese redundancia, su fallo afectaría a</p>

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO (<i>Causa del fallo</i>)	EFECTO DEL FALLO (<i>Que sucede cuando falla</i>)
			<p>las operaciones. Para este estudio consideraremos que SI existen consecuencias operacionales.</p> <p>Daños secundarios: Si el ventilador alimenta a locales dónde se genere gran cantidad de calor (local radio /cámaras de máquinas) podría producirse deterioro de otros equipos por sobrepasar el límite máximo de temperatura. Por lo tanto SI pueden existir daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: "Re-apretar tornillos de brida de sujeción del ventilador y comprobar estado de la junta". Periodicidad: 1 año.</p>

ANEXO II. REGISTROS DEL DIAGRAMA DE DECISIÓN DE RCM VENTILACIÓN

Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tarea Propuesta	Frecuencia	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			
							O1 N1	O2 N2	O3 N3						
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado. Rediseño consistente en instalar sensor de temperatura en cada local atendido, para que dentro de la operación se detecte este modo de fallo de forma temprana y no sea necesaria ninguna tarea de mantenimiento. Adicionalmente se propone adiestramiento a las dotaciones.		
1	A	2	S	N	N	S	S						Tarea de Inspección: Monitorización de las vibraciones del conjunto motor-ventilador. Tarea de Reparación: Reparar el conjunto motor-ventilador cuando lo indique la tarea de inspección.	3 meses Cuando sea requerida	Dotación Arsenal.
1	A	3	S	N	N	S	S						Tarea de Inspección: Monitorización de las corrientes de cada fase en el cuadro de control de ventilador y flujo magnético en el motor. Tarea de Reparación: Reparar el conjunto motor-ventilador cuando lo indique la tarea de inspección.	3 meses Cuando sea requerida	Dotación Arsenal.
1	A	4	S	N	N	S	S						Tarea de Inspección: Monitorización de las vibraciones del conjunto motor-ventilador. Tarea de Reparación: Reparar el conjunto motor-ventilador cuando lo indique la tarea de inspección.	3 meses Cuando sea requerida	Dotación Arsenal.
1	A	5	S	N	N	S	S						Tarea de Inspección: Monitorización de las vibraciones del conjunto motor-ventilador. Tarea de Reparación: Reparar el conjunto motor-ventilador cuando lo indique la tarea de inspección.	3 meses Cuando sea requerida	Dotación Arsenal.
1	A	6	S	N	N	S	S						Tarea de Inspección: Monitorización con cámara termo gráfica la temperatura de las conexiones eléctricas del cuadro de control. Tarea de Reparación: Realizar reapriete de todos los tornillos de conexiones eléctricas del cuadro del Ventilador Eléctrico"	3 meses Cuando sea requerida	Dotación Dotación

1	B	1	S	N	N	S	S						Tarea de Inspección: Monitorización de las vibraciones del conjunto motor-ventilador. Tarea de Reparación: Reparar el conjunto motor-ventilador cuando lo indique la tarea de inspección.	3 meses Cuando sea requerida	Dotación Arsenal.
1	B	2	S	N	N	S	S						Tarea de Inspección: Monitorización de las corrientes de cada fase en el cuadro de control de ventilador y flujo magnético en el motor. Tarea de Reparación: Reparar el conjunto motor-ventilador cuando lo indique la tarea de inspección.	3 meses Cuando sea requerida	Dotación Arsenal.
1	B	3	S	N	N	S	S						Tarea de Inspección: Monitorización de las vibraciones del conjunto motor-ventilador. Tarea de Reparación: Reparar el conjunto motor-ventilador cuando lo indique la tarea de inspección.	3 meses Cuando sea requerida	Dotación Arsenal.
1	B	4	S	N	N	S	S						Tarea de Inspección: Monitorización de las vibraciones del conjunto motor-ventilador. Tarea de Reparación: Reparar el conjunto motor-ventilador cuando lo indique la tarea de inspección.	3 meses Cuando sea requerida	Dotación Arsenal.
1	C	1	S	N	N	S	S						Tarea de Inspección: Monitorización de las vibraciones del conjunto motor-ventilador. Tarea de Reparación: Reparar el conjunto motor-ventilador cuando lo indique la tarea de inspección.	3 meses Cuando sea requerida	Dotación Arsenal.
1	C	2	S	N	N	S	S						Tarea de Inspección: Monitorización de las corrientes de cada fase en el cuadro de control de ventilador y flujo magnético en el motor. Tarea de Reparación: Reparar el conjunto motor-ventilador cuando lo indique la tarea de inspección.	3 meses Cuando sea requerida	Dotación Arsenal.

1	C	3	S	N	N	S	S							Tarea de Inspección: Monitorización de las vibraciones del conjunto motor-ventilador. Tarea de Reparación: Reparar el conjunto motor-ventilador cuando lo indique la tarea de inspección.	3 meses Cuando sea requerida	Dotación Arsenal.
1	C	4	S	N	N	S	S							Tarea de Inspección: Monitorización de las vibraciones del conjunto motor-ventilador. Tarea de Reparación: Reparar el conjunto motor-ventilador cuando lo indique la tarea de inspección.	3 meses Cuando sea requerida	Dotación Arsenal.
2	A	1	S	N	N	S	S							Tarea de Inspección: Monitorización de las vibraciones del conjunto motor-ventilador. Tarea de Reparación: Reparar el conjunto motor-ventilador cuando lo indique la tarea de inspección.	3 meses Cuando sea requerida	Dotación Arsenal.
2	A	2	S	N	N	S	S							Tarea de Inspección: Monitorización de las vibraciones del conjunto motor-ventilador. Tarea de Reparación: Reparar el conjunto motor-ventilador cuando lo indique la tarea de inspección.	3 meses Cuando sea requerida	Dotación Arsenal.
3	A	1	S	N	N	S	S							Tarea de Inspección: Monitorización de la presión en el conducto de ventilación. Tarea de Reparación: Reapriete de tornillos del conducto de ventilación.	3 meses Cuando sea requerida	Dotación Dotación
3	A	2	S	N	N	S	S							Tarea de Inspección: Monitorización de la presión en el conducto de ventilación. Tarea de Reparación: Sustitución de junta de estanqueidad del conducto de ventilación.	3 meses Cuando sea requerida	Dotación Dotación

ANEXO III. AMFE MOTOR PROPULSOR

FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL		MODO DE FALLO (Causa del fallo)	EFEECTO DEL FALLO (Que sucede cuando falla)
1	Suministrar la potencia necesaria para que el buque se pueda desplazar bajo las condiciones de diseño	A	No suministrar potencia o suministrar potencia insuficiente	1 No se dan las condiciones de arranque o los dispositivos que inhiben el arranque están deteriorados.	<p>Evidencia: El motor no arranca y el buque no se puede desplazar. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: No, porque es evidente y se pueden tomar las medidas necesarias para que no afecte a la seguridad. El medioambiente no se ve afectado por este modo de fallo.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Dado que solo existe un Motor Propulsor, si este falla, el buque no se puede desplazar. Por lo tanto SI existen consecuencias operacionales.</p> <p>Daños secundarios: No se producirían daños en otros equipos por lo cual se considera que no existen daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: "Inspeccionar los Dispositivos de Alarma y de Parada del Motor Propulsor Principal". Periodicidad: 6 Meses.</p>
				2 Control del motor propulsor inoperativo,	<p>Evidencia: El motor no arranca y el buque no se puede desplazar. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: No, porque es evidente y se pueden tomar las medidas necesarias para que no afecte a la seguridad. El medioambiente no se ve afectado por este modo de fallo.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Dado que solo existe un Motor Propulsor, si este falla, el buque no se puede desplazar. Por lo tanto SI existen consecuencias operacionales.</p> <p>Daños secundarios: No se producirían daños en otros equipos por lo cual se considera que no existen daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: "Inspeccionar Control e Indicadores del Motor Propulsor Principal". Periodicidad: 6 Meses.</p>

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO (<i>Causa del fallo</i>)	EFECTO DEL FALLO (<i>Que sucede cuando falla</i>)
		3 Captadores magnéticos de posición de cigüeñal y otros ejes sucios o deteriorados,	<p>Evidencia: El motor no arranca y el buque no se puede desplazar. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: No, porque es evidente y se pueden tomar las medidas necesarias para que no afecte a la seguridad. El medioambiente no se ve afectado por este modo de fallo.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Dado que solo existe un Motor Propulsor, si este falla, el buque no se puede desplazar. Por lo tanto SI existen consecuencias operacionales.</p> <p>Daños secundarios: No se producirían daños en otros equipos por lo cual se considera que no existen daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: "Limpiar y Verificar los Captadores Magnéticos del Motor Propulsor Principal". Periodicidad: 6 Meses.</p>
		4 Nivel de aceite demasiado bajo que impide que se den las condiciones de arranque.	<p>Evidencia: El motor no arranca y el buque no se puede desplazar. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: No, porque es evidente y se pueden tomar las medidas necesarias para que no afecte a la seguridad. El medioambiente no se ve afectado por este modo de fallo.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Dado que solo existe un Motor Propulsor, si este falla, el buque no se puede desplazar. Por lo tanto SI existen consecuencias operacionales.</p> <p>Daños secundarios: No se producirían daños en otros equipos por lo cual se considera que no existen daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: "Comprobar el Nivel de Aceite del Cáster del Motor Propulsor Principal". Periodicidad: Diario. "Rellenar hasta el nivel correcto de Aceite del Cáster del Motor Propulsor Principal.". Periodicidad: Cuando sea requerido.</p>
		5 Presión de aceite demasiado baja. Filtros de aceite obturados, que	<p>Evidencia: El motor no arranca y el buque no se puede desplazar. Es evidente.</p>

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO <i>(Causa del fallo)</i>	EFECTO DEL FALLO <i>(Que sucede cuando falla)</i>
		impiden conseguir una correcta presión de lubricación, con lo que no se consigue una de las condiciones de arranque.	<p>Seguridad o Medioambiente: No, porque es evidente y se pueden tomar las medidas necesarias para que no afecte a la seguridad. El medioambiente no se ve afectado por este modo de fallo.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Dado que solo existe un Motor Propulsor, si este falla, el buque no se puede desplazar. Por lo tanto SI existen consecuencias operacionales.</p> <p>Daños secundarios: No se producirían daños en otros equipos por lo cual se considera que no existen daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: “Limpiar y Vaciar el Filtro Duplex de Aceite.”. Periodicidad: 3 Meses. “Limpiar los Filtros Centrífugos de Aceite del Motor Propulsor Principal”. Periodicidad: 3 Meses</p>
		6 Combustible de baja calidad por contener una cantidad elevada de agua.	<p>Evidencia: El motor no arranca y el buque no se puede desplazar. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: No, porque es evidente y se pueden tomar las medidas necesarias para que no afecte a la seguridad. El medioambiente no se ve afectado por este modo de fallo.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Dado que solo existe un Motor Propulsor, si este falla, el buque no se puede desplazar. Por lo tanto SI existen consecuencias operacionales.</p> <p>Daños secundarios: No se producirían daños en otros equipos por lo cual se considera que no existen daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: “Purgar Agua y Sedimentos del Tanque de Uso Diario de Combustible del Motor Propulsor Principal”. Periodicidad: Diaria “Purgar Agua y Sedimentos de los Filtros Primarios de combustible”. Periodicidad: Diaria.</p>

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO (Causa del fallo)	EFECTO DEL FALLO (Que sucede cuando falla)
			"Limpiar y Cambiar los Elementos Filtrantes de los Filtros de Combustible del Motor Propulsor Principal". Periodicidad: 3 Meses.
		7 Bajo nivel / baja calidad de líquido refrigerante. No se da una de las condiciones de arranque y el motor no puede arrancar.	<p>Evidencia: El motor no arranca y el buque no se puede desplazar. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: No, porque es evidente y se pueden tomar las medidas necesarias para que no afecte a la seguridad. El medioambiente no se ve afectado por este modo de fallo.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Dado que solo existe un Motor Propulsor, si este falla, el buque no se puede desplazar. Por lo tanto SI existen consecuencias operacionales.</p> <p>Daños secundarios: No se producirían daños en otros equipos por lo cual se considera que no existen daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: "Comprobar el Nivel de Refrigerante del Sistema de Refrigeración del Motor Propulsor Principal y rellenar hasta alcanzar el nivel óptimo si fuese necesario". Periodicidad: 15 Días</p>
		8 Caudal de aire de arranque insuficiente / baja calidad aire de arranque. No se da una de las condiciones de arranque y el motor no puede arrancar.	<p>Evidencia: El motor no arranca y el buque no se puede desplazar. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: No, porque es evidente y se pueden tomar las medidas necesarias para que no afecte a la seguridad. El medioambiente no se ve afectado por este modo de fallo.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Dado que solo existe un Motor Propulsor, si este falla, el buque no se puede desplazar. Por lo tanto SI existen consecuencias operacionales.</p> <p>Daños secundarios: No se producirían daños en otros equipos por lo cual se considera que no existen daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual:</p>

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO (<i>Causa del fallo</i>)	EFECTO DEL FALLO (<i>Que sucede cuando falla</i>)
			<p>“Purgar Agua y Sedimentos de la Botella de Aire del Motor Propulsor Principal”. Periodicidad”: 1 Mes</p> <p>“Limpiar la Rejilla del Arrancador Neumático del Motor Propulsor Principal”. Periodicidad”: 2 Meses.</p> <p>“Limpiar la Caja del Lubricador de Aire del Motor de Arranque Neumático”. Periodicidad”: 1 Año.</p>
	B Suministrar potencia insuficiente	1 Ver Fallo funcional 1A	
		2 Desgaste anormal de los componentes internos del motor por presencia de partículas metálicas en el aceite de lubricación	<p>Evidencia: El motor no es capaz de suministrar la potencia requerida, por lo cual el buque no se puede desplazar a la velocidad de diseño. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: No afecta a la seguridad de las personas ni al medioambiente.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Si, porque en principio esta pérdida de potencia no impedirían la utilización del motor propulsor, pero si incrementaría el consumo y por lo tanto los costes operacionales..</p> <p>Daños secundarios: No se producirían daños en otros equipos por lo cual se considera que no existen daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: “Inspeccionar el Detector de Partículas Metálicas”: Periodicidad: 3 Meses.</p>
		3 Aceite de baja calidad, lo que produciría un desgaste anómalo y pérdida de potencia.	<p>Evidencia: El motor no es capaz de suministrar la potencia requerida, por lo cual el buque no se puede desplazar a la velocidad de diseño. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: No afecta a la seguridad de las personas ni al medioambiente.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Si, porque en principio esta pérdida de potencia no impedirían la utilización del motor propulsor, pero si incrementaría el consumo y por lo tanto los costes operacionales..</p>

FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL		MODO DE FALLO (Causa del fallo)	EFEECTO DEL FALLO (Que sucede cuando falla)
					<p>Daños secundarios: No se producirían daños en otros equipos por lo cual se considera que no existen daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: ""Cambiar el Aceite del Motor Propulsor Principal" Limpiar la Rejilla de Aspiración del Cáster del Motor Propulsor Principal." Limpiar e Inspeccionar los Respiraderos del Cáster del Motor Propulsor Principal." Periodicidad: 3 Meses.</p>
				4 Bajo caudal de combustible por obturación de los filtros de combustible.	<p>Evidencia: El motor no es capaz de suministrar la potencia requerida, por lo cual el buque no se puede desplazar a la velocidad de diseño. Es evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: No afecta a la seguridad de las personas ni al medioambiente.</p> <p>Consecuencias Operacionales: Si, porque en principio esta pérdida de potencia no impedirían la utilización del motor propulsor, pero si incrementaría el consumo y por lo tanto los costes operacionales..</p> <p>Daños secundarios: No se producirían daños en otros equipos por lo cual se considera que no existen daños secundarios.</p> <p>Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI</p> <p>Mantenimiento actual: "Inspeccionar el Detector de Partículas Metálicas": Periodicidad: 3 Meses.</p>
2	Contener todos los líquidos y gases necesarios para su funcionamiento, así como aquellos que se generan durante el mismo.	A	No contener los líquidos y gases necesarios para su funcionamiento, así como aquellos que se generan durante el mismo.	1 Conexiones flojas o fugas por diferentes elementos del motor.	<p>Evidencia: Se producen derrames en el caso de los líquidos o pérdidas en el caso de los gases. El motor arranca y el buque se puede desplazar, pero es posible que en la cámara de máquinas se produzca una elevada concentración de gases que puede ser NO evidente.</p> <p>Seguridad o Medioambiente: Si, puede afectar a la seguridad, porque la pérdida de gases puede ser No evidente e incluso la atmósfera de la cámara de máquinas puede llegar a ser</p>

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO (<i>Causa del fallo</i>)	EFECTO DEL FALLO (<i>Que sucede cuando falla</i>)
			no respirable. El medioambiente no se ve afectado por este modo de fallo. Consecuencias Operacionales: No, porque en principio estas fugas no impedirían la utilización del motor propulsor. Daños secundarios: No se producirían daños en otros equipos por lo cual se considera que no existen daños secundarios. Está cubierto este Modo de Fallo Por el PM inicial.?: SI Mantenimiento actual: “Inspeccionar el Motor Propulsor Principal para Ver si Hay Fugas o Conexiones Flojas”: Periodicidad: Diario.

ANEXO IV. REGISTROS DEL DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM DEL MOTOR PROPULSOR

Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tarea Propuesta	Frecuencia	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	N	S					Inspeccionar los Dispositivos de Alarma y de Parada del Motor Propulsor Principal. Reparar si es necesario.	6 meses	Dotación
1	A	2	S	N	N	S	N	S					Inspeccionar Control e Indicadores del Motor Propulsor Principal. Reparar si es necesario.	Diario	Dotación
1	A	3	S	N	N	S	N	S					Limpiar y Verificar los Captadores Magnéticos del Motor Propulsor Principal.	6 meses	Dotación
1	A	4	S	N	N	S	N	S					REDISEÑO. Instalar sensor de nivel de aceite en el cárter del motor. Adiestramiento a dotaciones. Rellenar hasta el nivel correcto de Aceite del Cárter del Motor Propulsor Principal cuando así lo indique el sistema automático de control de nivel de aceite.	- Cuando sea requerida	Dotación Dotación
1	A	5	S	N	N	S	S						Tarea de Inspección: Inspeccionar Presión Diferencial del Filtro Duplex de Aceite Tarea de Inspección: Inspeccionar Presión Diferencial de Los Filtros Centrifugos de Aceite. Tarea de Reparación: Limpiar y Vaciar el Filtro Duplex de Aceite. Tarea de Reparación: Limpiar los Filtros Centrifugos de Aceite del Motor Propulsor Principal.	3 meses 3 meses - Cuando sea requerida Cuando sea requerida	Dotación Dotación - Dotación Dotación
1	A	6	S	N	N	S	N	S					Purgar Agua y Sedimentos del Tanque de Uso Diario de Combustible del Motor Propulsor Principal.	Diario Diario	Dotación Dotación

																			Purgar Agua y Sedimentos de los Filtros Primarios de Combustible.		
1	A	7	S	N	N	S	S												Tarea de Inspección: Realizar Análisis del Refrigerante del Motor Propulsor Principal. REDISEÑO: Instalar sensor de nivel de líquido refrigerante. Adiestramiento a dotaciones.	3 meses -	Dotación -
																			Tarea de Reparación: Rellenar líquido refrigerante hasta alcanzar el nivel óptimo. Tarea de Reparación: Sustituir / tratar el líquido refrigerante del Motor Propulsor Principal.	Cuando sea requerida Cuando sea requerida	Dotación Dotación
1	A	8	S	N	N	S	N	S											Purgar Agua y Sedimentos de la Botella de Aire del Motor Propulsor Principal. Limpiar la Rejilla del Arrancador Neumático del Motor Propulsor Principal. Limpiar la Caja del Lubricador de Aire del Motor de Arranque Neumático	1 mes 2 meses 1 año	Dotación Dotación Dotación
1	B	1																	IDEM ANTERIOR		
1	B	2	S	N	N	S	N	S											Inspeccionar el Detector de Partículas Metálicas.	3 meses	Dotación
1	B	3	S	N	N	S	S												Tarea de Inspección: "Obtener una Muestra de Aceite del Cáster del Motor Propulsor Principal". Tarea de Reparación: "Cambiar el Aceite del Motor Propulsor Principal" Tarea de Reparación: "Limpiar la Rejilla de Aspiración del Cáster del Motor Propulsor Principal."	6 meses Cuando sea requerida Cuando sea requerida	Dotación Dotación Dotación

														Tarea de Reparación "Limpiar e Inspeccionar los Respiraderos del Cáster del Motor Propulsor Principal."	Cuando sea requerida	
1	B	4	S	N	N	S	S							Tarea de Inspección: "Inspeccionar Presión Diferencial de Los Filtros Centrifugos de Combustible del Motor Propulsor Principal"	3 meses	Dotación
														Tarea de Reparación: "Limpiar y Cambiar los Elementos Filtrantes de los Filtros de Combustible del Motor Propulsor Principal".	Cuando sea requerida	Dotación
2	A	1	N				N	S						Inspeccionar el Motor Propulsor Principal para Ver si Hay Fugas o Conexiones Flojas. Reparar si es necesario.	Diario	Dotación

ANEXO V. DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM

