



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena



---

IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO  
EN CONDICION EN UNA PLATAFORMA NAVAL

---

TRABAJO FIN DE GRADO

DICIEMBRE DE 2016  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA  
GRADO EN INGENIERIA DE LAS TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES  
***SERGIO MORENO CAYUELA***



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

FIGURAS.....	5
TABLAS.....	6
<b>1. OBJETO .....</b>	<b>7</b>
<b>2. ALCANCE.....</b>	<b>8</b>
<b>3. GESTIÓN DE ACTIVOS .....</b>	<b>8</b>
3.1 <i>DEFINICIÓN.....</i>	8
3.2 <i>APLICACIÓN GESTIÓN DE ACTIVOS.....</i>	10
<b>4. SIGLAS Y ABREVIATURAS .....</b>	<b>11</b>
<b>5. INGENIERÍA DEL MANTENIMIENTO .....</b>	<b>12</b>
<b>6. HISTORIA .....</b>	<b>14</b>
<b>7. ESTUDIO DE LA CRITICIDAD .....</b>	<b>15</b>
7.1 <i>INTRODUCCION.....</i>	15
7.2 <i>CRITERIOS PARA LA CRITICIDAD.....</i>	16
7.3 <i>ESTUDIO DE CRITICIDAD POR EQUIPOS .....</i>	18
7.4 <i>ESTUDIO DE CRITICIDAD: ITEMS DE MAYOR A MENOR .....</i>	25
7.5 <i>LISTA DE EQUIPOS SELECCIONADOS PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....</i>	34
<b>8. CONCEPTO Y OBJETIVO DEL MANTENIMIENTO.....</b>	<b>38</b>
<b>9. MAMANTENIMIENTO. DEFINICIONES Y MÉTODOS .....</b>	<b>39</b>
<b>10. TIPOS DE MANTENIMIENTO APLICABLES AL SUBMARINO. RESPETOS, HERRAMIENTAS Y EQUIPOS A BORDO .....</b>	<b>42</b>
10.1 <i>TIPOS DE MANTENIMIENTO SEGÚN CRITICIDAD .....</i>	42
10.2 <i>MANTENIMIENTO CORRECTIVO.....</i>	43
10.2.1 <i>APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO CORRECTIVO AL SUBMARINO.....</i>	44
10.3 <i>MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....</i>	45
10.3.1 <i>APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL SUBMARINO .....</i>	49
10.4 <i>MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN O PREDICTIVO (MBC).....</i>	49
10.4.1 <i>APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO AL SUBMARINO .....</i>	55
10.4.2 <i>DATOS DE PROCESO, HISTÓRICOS Y TENDENCIAS .....</i>	56
10.5 <i>RESPETOS A BORDO .....</i>	57



10.6	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS A BORDO .....	58
<b>11.</b>	<b>POTENCIALES TÉCNICAS DE MBC Y SU APLICABILIDAD AL SUBMARINO.....</b>	<b>59</b>
11.1	ANÁLISIS DE DATOS DE PROCESO .....	60
11.1.1	FUNCIÓN.....	60
11.1.2	DESCRIPCIÓN .....	60
11.1.3	APLICABILIDAD AL SUBMARINO .....	61
11.2	ANÁLISIS DE VIBRACIONES .....	61
11.2.1	FUNCIÓN.....	61
11.2.2	DESCRIPCIÓN .....	62
11.2.3	MONTAJE DE ACELERÓMETROS .....	67
11.2.4	INTERPRETACIÓN DE ESPECTROS.....	69
11.2.5	APLICABILIDAD AL SUBMARINO .....	70
11.3	ANÁLISIS DE ACEITES (LUBRICANTES E HIDRÁULICOS).....	70
11.3.1	FUNCIÓN.....	70
11.3.2	DESCRIPCIÓN .....	71
11.3.3	APLICABILIDAD AL SUBMARINO .....	73
11.4	ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE AVERÍAS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA (MOTORES ALTERNATIVOS) .....	73
11.4.1	FUNCIÓN.....	73
11.4.2	DESCRIPCIÓN .....	74
11.4.3	APLICABILIDAD AL SUBMARINO .....	76
11.5	MONITORIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA FRENTE A CORROSIONES.....	76
11.5.1	FUNCIÓN.....	76
11.5.2	DESCRIPCIÓN .....	77
11.5.3	APLICABILIDAD AL SUBMARINO .....	78
11.6	ANÁLISIS DE TERMOGRAFÍAS (INPECCIÓN TERMOGRÁFICA).....	79
11.6.1	FUNCIÓN.....	79
11.6.2	DESCRIPCIÓN .....	79
11.6.3	APLICABILIDAD AL SUBMARINO .....	81
11.7	EQUIPOS DE INSPECCIÓN VISUAL POR ENDOSCOPIA.....	81



11.7.1	<i>FUNCIÓN</i> .....	81
11.7.2	<i>DESCRIPCIÓN</i> .....	81
11.7.3	<i>APLICABILIDAD AL SUBMARINO</i> .....	82
11.8	<i>ANÁLISIS POR ULTRASONIDOS</i> .....	82
11.8.1	<i>FUNCIÓN</i> .....	82
11.8.2	<i>DESCRIPCIÓN</i> .....	83
11.8.3	<i>APLICABILIDAD AL SUBMARINO</i> .....	83
11.9	<i>ANÁLISIS DE MOTORES DE INDUCCIÓN</i> .....	84
11.9.1	<i>FUNCIÓN</i> .....	84
11.9.2	<i>DESCRIPCIÓN</i> .....	84
11.9.3	<i>APLICABILIDAD AL SUBMARINO</i> .....	85
<b>12.</b>	<b>MOMONITORIZACIÓN “ON-LINE” Y “OFF-LINE”</b> .....	<b>86</b>
12.1	<i>MONITORIZACIÓN “ON-LINE”</i> .....	86
12.2	<i>MONITORIZACIÓN “OFF-LINE”</i> .....	87
12.3	<i>COMPARACIÓN “ON-LINE/OFF-LINE”</i> .....	88
<b>13.</b>	<b>PROPUESTA MBC PARA EL SUBMARINO</b> .....	<b>89</b>
13.1	<i>ANÁLISIS DE LAS PRÁCTICAS Y EXPERIENCIAS EXISTENTES EN MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICIÓN EN LA ARMADA</i> .....	89
13.2	<i>LISTA DE EQUIPOS CANDIDATOS AL MBC Y TÉCNICAS APLICABLES</i> .....	90
13.2.1	<i>DATOS DE PROCESO</i> .....	91
13.2.2	<i>ANÁLISIS DE VIBRACIONES</i> .....	91
13.2.3	<i>ANÁLISIS DE TERMOGRAFÍAS (INSPECCIÓN TERMOGRÁFICA</i> .....	92
13.2.4	<i>ANÁLISIS DE ACEITES (LUBRICANTES E HIDRÁULICOS)</i> .....	92
13.3	<i>FICHAS MÁQUINAS</i> .....	92
13.4	<i>CONFIGURACIÓN DE UN MBC “ON-LINE”</i> .....	97
13.4.1	<i>ARQUITECTURA “HARDWARE”</i> .....	97
13.4.2	<i>ARQUITECTURA “SOFTWARE”</i> .....	99
13.5	<i>CONFIGURACIÓN DE UN MBC “OFF-LINE”</i> .....	99
13.5.1	<i>ARQUITECTURA “HARDWARE”</i> .....	99
13.5.2	<i>ARQUITECTURA”SOFTWARE”</i> .....	101



13.6	ORGANISMO EN TIERRA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICION.....	101
<b>14.</b>	<b>PPRINCIPALES TAREAS DE MANTENIMIENTO .....</b>	<b>103</b>
14.1	MOTOR ELÉCTRICO PRINCIPAL.....	103
14.2	GRUPO DIÉSEL/ ALTERNADOR-RECTIFICADOR.....	105
14.3	PLANTA HIDRAULICA.....	105
14.4	COMPRESOR DE SOPLADO .....	108
14.5	HÉLICE.....	108
14.6	TIMÓN.....	109
14.7	LÍNEA DE EJES.....	111
<b>15.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>112</b>
<b>16.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>113</b>



## FIGURAS

Figura 1 1: Submarino Convencional.....	7
Figura 6 1: Mantenimiento .....	14
Figura 10-2-1: Mantenimiento Correctivo .....	44
Figura 10-3-1: Intervalos Mantenimiento Preventivo .....	46
Figura 10.3-2: Mantenimiento Preventivo.....	46
Figura 10.3-3: Relación entre la Edad y la Fiabilidad de un Equipo.....	49
Figura 10.4-1: Tiempo anterior al Fallo .....	51
Figura 10.4-2: Ventajas e Inconvenientes de un MBC.....	54
Figura 10.4.1-1: Mantenimiento Preventivo.....	56
Figura 11.2.1-1: Espectro Base.....	62
Figura 11.2.2-1: Proceso de FFT - Gráfica de Diagnostico Espectral.....	64
Figura 11.2.3-1: Montaje de acelerómetros en maquinaria grande .....	68
Figura 11.4-1: Diagnosticador de estado de aceite lubricante SKF-TMEH 1 .....	71
Figura 11.6-1: Ejemplo de cámara termográfica .....	79
Figura 11.6-2: Ejemplo de aplicación para inspección visual remota.....	80
Figura 11.7-1: Endoscopio para inspección visual remota.....	81
Figura 11.8-1: Portable detector de defectos por ultrasonidos .....	82
Figura 14.1-1: Línea de ejes y motores eléctricos de propulsión .....	104
Figura 14.3-1: Planta Hidráulica .....	107
Figura 14.6-1: Sistema de Gobierno.....	110
Figura 14.6-2: Sistema de trinca del timón de buceo de proa .....	110



## TABLAS

Tabla 7.2-1: Criterios para la criticidad.....	16
Tabla 7.3-1: Clasificación criticidad .....	18
Tabla 7.3-2: Estudio criticidad .....	19
Tabla 7.4-1: Items de mayor a menor criticidad.....	26
Tabla 7.5-1: Elementos seleccionados MBC.....	34
Tabla 12.3-1: Comparación de las Configuraciones “On-Line” y “Off-Line”.....	88
Tabla 13.2-1: Técnicas de MBC aplicables a un submarino .....	90
Tabla 13.2-2: Técnicas de MBC aplicables al submarino objeto .....	91
Tabla 14.1 1: Técnicas de MBC aplicables al MEP.....	103
Tabla 14.2 1: Técnicas de MBC aplicables al Grupo Diésel.....	105
Tabla 14.3 1: Técnicas de MBC aplicables a la planta hidráulica.....	106
Tabla 14.4 1: Técnicas de MBC aplicables al compresor de soplado .....	108
Tabla 14.5 1: Técnicas de MBC aplicables a la hélice.....	109
Tabla 14.6 1: Técnicas de MBC aplicables al timón.....	110
Tabla 14.7 1: Técnicas de MBC aplicables a la línea de ejes.....	111

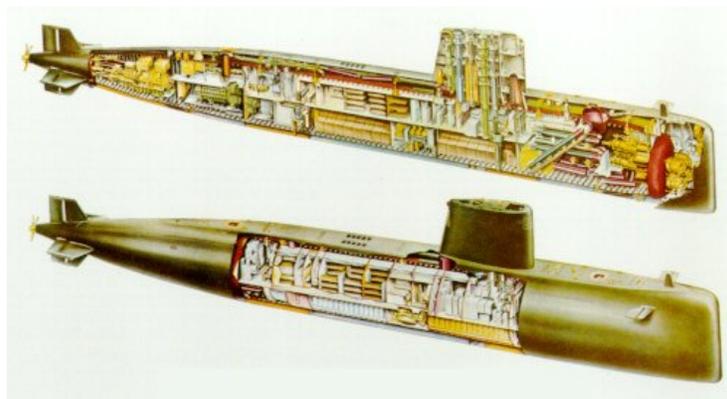


## 1. OBJETO

El objetivo del documento presente es describir y obtener las características preliminares que debe cumplir el Sistema de Mantenimiento Basado en la Condición (MBC) del Submarino, así como de las distintas Técnicas que constituyen el MBC.

El objeto es implantar, en los equipos posibles (en aquellos donde sea justificable), un MBC que permita una evaluación exterior de la condición de la maquinaria (sin desmontajes previos y sin afectar a su funcionamiento normal) y que dilate el tiempo entre las intervenciones de los equipos citados, lo que redundará en un coste menor del mantenimiento y una disponibilidad mayor, sin degradar la seguridad del Submarino.

Así, se pretende determinar los parámetros de mantenimiento específicos de aquellas máquinas o equipos cuya criticidad se considera relevante a bordo, con la finalidad de dilatar el tiempo entre averías (MTBF) o acciones específicas de mantenimiento de equipos de forma preventiva aumentando así la disponibilidad de los equipos, sistemas, etc.; y minimizando al mismo tiempo el coste de mantenimiento y reparación.



**Figura 1-1: Submarino Convencional**



## 2. ALCANCE

El alcance del presente documento consiste en:

- Definir y Analizar los posibles Tipos de Mantenimiento Aplicables al Submarino (Ver Apartado 10),
- Definir y Analizar las posibles Técnicas de MBC Aplicables al Submarino (Ver Apartado 11),
- Analizar las posibles Configuraciones de un MBC para el Submarino (Ver Apartado 12),
- Recomendar una Configuración Preliminar del MBC para el Submarino (Ver Apartado-13).

## 3. GESTIÓN DE ACTIVOS

### 3.1 DEFINICIÓN

El concepto mantenimiento se asocia generalmente a un conjunto de actividades cuyo fin es conservar operativos los activos de la empresa (equipos e instalaciones) durante su vida útil. La necesidad de realizar mantenimiento surgió con la industrialización, como consecuencia de la mecanización de los equipos de producción.

A los equipos les sucede como nos pasa a las personas. A medida que envejecemos, el tiempo tiende a transcurrir más rápidamente. La fase inicial de la vida de un equipo suele estar acompañada de un número relativamente alto de fallos, derivados del periodo de adaptación y aprendizaje, igual que nos ocurre a nosotros al nacer. Transcurrido ese periodo inicial de adaptación, sigue una fase más o menos prolongada de comportamiento estable en cuanto a su fiabilidad. Y finalmente, el equipo entra en una etapa de deterioro progresivo y acumulativo hasta quedar obsoleta.



Para tratar de prolongar al máximo el periodo de vida útil de los equipos es necesaria la función de mantenimiento.

Durante mucho tiempo, el mantenimiento ha sido considerado como una función pasiva encargada de resolver los problemas que surgen en las máquinas y que generan incidencias diarias en el plan de producción. Era un mantenimiento enfocado a la reparación de la avería. En este contexto, que las máquinas presenten averías por sorpresa incluso se ha admitido como un hecho inevitable. A todo ello había que añadir que la dirección de la empresa lo consideraba una carga a soportar, tanto contable como presupuestariamente, y por tanto, el objetivo era exclusivamente minimizar los costes.

El concepto de mantenimiento ha evolucionado en los últimos años y actualmente son muchas las empresas que lo contemplan como una actividad productiva, que requiere gestionarse de forma profesional.

En efecto, si producir es explotar unos medios de producción para obtener productos terminados, mantener significa asegurar la disponibilidad de la producción cuantitativa y cualitativamente, sobre todo si el correcto funcionamiento de los equipos y el ajuste de sus parámetros afectan directamente a la cantidad y calidad del producto final.

En consecuencia, el término Mantenimiento ha derivado en el de Gestión de Activos Físicos, con un enfoque orientado al medio y largo plazo, y dotado de cierto contenido tecnológico como herramienta de apoyo, que implica la planificación de los trabajos, con las menores paradas posibles y en los momentos adecuados. A ello se suma una adecuada administración de los recursos humanos y una gestión técnica económica de la subcontratación. Se han de confeccionar presupuestos y gestionar repuestos. Los responsables de esta importante función tienen que ser capaces de analizar la obsolescencia de activos, basándose en históricos de funcionamiento y costes. Tienen también que tener en cuenta los requisitos legales de inspecciones reglamentarias de determinados activos, así como los requisitos de Control de Calidad y Medioambiental, sujetos a normativas nacionales e internacionales.



La herramienta informática que ayudado a esta profesionalización son los denominados Sistemas de Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador (GMAO) que han permitido a las empresas pasar de una estructura de costes e inmovilizaciones de activos a otra de beneficios, explotación de recursos y gestión de esos activos.

Y la última aportación viene de la mano de la normalización de la gestión de los activos físicos, sobre la base, inicialmente, de la norma británica PAS 55-1, que va da paso a la norma internacional ISO 55001.

Por lo que podemos definir la gestión de activos empresariales como la disciplina que busca gestionar todo el ciclo de vida de los activos físicos de una organización con el fin de maximizar su valor. Cubre procesos como el diseño, construcción, explotación, mantenimiento y reemplazo de activos e infraestructuras. “Empresarial” hace referencia a la gestión de los activos a pesar de que se encuentren en diferentes departamentos, localizaciones, instalaciones, y en algunos casos, incluso diferentes unidades de negocio. La gestión de los activos puede mejorar su rendimiento, reducir costes, extender su vida útil y mejorar el retorno de inversión de los activos.

La gestión de activos empresariales es un paradigma de negocio que integra la planificación estratégica con operaciones, mantenimiento y decisiones de inversión de capital. A nivel de operaciones, la gestión de activos empresariales apela a la eficiencia de todos los activos, incluyendo inventarios, cumplimiento de normativa y recursos humanos combinando las metas de inversión, mantenimiento, reparación y gestión de explotación. Del mismo modo, la gestión de activos empresariales incluye retos que incluyen la mejora de la productividad, maximización del ciclo de vida, minimización del coste total y soporte a la cadena de suministro.

### 3.2 APLICACIÓN GESTIÓN DE ACTIVOS

Esta Norma Internacional ISO 55001:2014 está diseñada para permitir a la organización alinear e integrar su sistema de gestión de activos con los requisitos de otros sistemas de



gestión relacionados, y tiene por objeto especificar los requisitos de un sistema de gestión de activos dentro del contexto de una organización.

Asimismo, esta Norma puede aplicarse a todo tipo de activos y por organizaciones de todo tipo y tamaño, y está destinada a usarse en particular para la gestión de activos físicos, pero también puede aplicarse a otros tipos de activos.

A través de la implementación de la Norma ISO 55001, una Organización podría obtener las siguientes ventajas y beneficios:

- Mejora el rendimiento financiero por mejora de la rentabilidad de las inversiones y la reducción de costes.
- Mejor información para toma de decisiones.
- Minimización de riesgos de operación.
- Mejora en productos y servicios.
- Demostración de responsabilidad social y del cumplimiento de requisitos legales.
- Mejora de la eficiencia y la eficacia

#### 4. SIGLAS Y ABREVIATURAS

CPB	Consola de Propulsión y Baterías
CSI	Consola de Seguridad en Inmersión
DAU	Data Acquisition Unit
FFT	Fast Fourier Transform
GRES	Grado de Esencialidad
LPD	Landing Platform Dock
LSD	Landing Ship Dock



LSS	Subestación Local (Local Substation)
MEP	Motor Eléctrico Principal
MTBF	Tiempo Medio entre Fallos (Mean Time between Failures)
ODBC	Open Data Base Connectivity
PC	Personal Computer
RMS	Valor Cuadrático Medio (Root Mean Square)
SCP	Sistema de Control de la Plataforma
SICP	Sistema Integrado de Control de la Plataforma
MBC	Mantenimiento Basado en la Condición
MITF	Mantenimiento a Intervalos Fijos de Tiempo
TCP	Transfer Control Protocol
USS	United States Ship
VDU	Video Display Unit
GMAO	Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador

## 5. INGENIERÍA DEL MANTENIMIENTO

La ingeniería del mantenimiento industrial requiere de conocimientos técnicos muy específicos, un alto requerimiento de experiencia del personal que lo desenvuelve, con un alto componente de conocimiento tácito, y con poca tradición en transcribir las experiencias que se producen. La ingeniería de mantenimiento es una rama de la ingeniería que se enfoca en la optimización de equipos, procedimientos y presupuestos para lograr una mejor mantenibilidad, fiabilidad de sistemas y disponibilidad de los equipos. También permite



definir estrategias de control y mejorar los procesos dentro de la empresa de forma complementaria o independiente.

La adecuada gestión del conocimiento y la aplicación del conocimiento adquirido en las actividades rutinarias de mantenimiento en la empresa, y su mejora, puede ser observado como un factor o proceso importante que puede influir positivamente en diversas acciones que afectan estratégicamente a toda la empresa, y entre ellas, las acciones que afectan a la fiabilidad, operación en explotación y la eficiencia energética.

Dentro de las responsabilidades de la ingeniería de mantenimiento se encuentra el análisis de equipos, estimación de costes de mantenimiento y evaluación de alternativas, asegurar la optimización de la estructura de organización para el mantenimiento, aplicación de la programas y gestión de proyectos, previsión de piezas de repuesto, evaluación de las habilidades necesarias que se requieren para el personal de mantenimiento, evaluación de los riesgos de seguridad asociados con el mantenimiento de equipos, entre otros.

Los ingenieros de mantenimiento deben poseer un conocimiento significativo de la estadística, probabilidad y la logística, también en los fundamentos de la operación de equipos y maquinaria del cual es responsable.

La ingeniería de mantenimiento es cada vez más importante debido a las crecientes demanda de equipos, sistemas, maquinarias e infraestructura. Desde la revolución industrial muchos dispositivos, equipos, maquinaria y estructuras se han vuelto más complejos, por lo que se necesita más personal y equipos tecnológicos necesarios para llevar a cabo las tareas propias del mantenimiento.



## 6. HISTORIA

El desarrollo del conocimiento sobre la del Mantenimiento Industrial, está íntimamente ligado a la evolución Técnico-Industrial de la humanidad. Hasta 1914, las acciones de mantenimiento eran consideradas de importancia secundaria y se ejecutaban por el mismo personal de operación o producción sin ningún tipo de planificación.

Con la implantación de la producción en serie por parte de la compañía Ford Motor, las fábricas establecieron programas mínimos de producción y, en consecuencia, surgió la necesidad de constituir unidades para llevar a cabo el mantenimiento de las máquinas de la línea de producción en el menor tiempo posible.

No obstante, el mantenimiento seguía ocupando una posición secundaria en la totalidad de las instalaciones industriales, ya que era considerado simplemente una labor correctiva. Durante la Segunda Guerra Mundial, a consecuencia del desarrollo de la industria militar, aparece el concepto de mantenimiento preventivo motivado por el aumento de la mecanización y la obligación de reducir los plazos de entrega. El aumento de recursos económicos para las acciones de mantenimiento permitió el desarrollo de sistemas de planificación y control.

Entre los objetivos de dicha planificación estaban: el aumento de la disponibilidad de las instalaciones (incrementándose la producción y cumpliendo con los plazos de entrega), alargar la vida útil de los equipos y la reducción de costes por pérdidas de producción.

Con posterioridad, en la década de los 60, comienzan a automatizarse las industrias de forma generalizada, verificándose la ley de “a más máquinas mayor número de fallos”. Es también el momento en el que comienza a extenderse en el sector petroquímico el equipamiento de mantenimiento destinado a la detección de defectos en máquinas, dando lugar al desarrollo de las técnicas predictivas. Durante los últimos veinte años el Mantenimiento ha evolucionado, desde el punto de vista de la gestión, más que cualquier otra disciplina gerencial.



En la actualidad se requiere la máxima disponibilidad de las instalaciones a la vez que se plantea su eficiencia, es decir, minimización de los costes derivados de la Gestión del Mantenimiento. Otros aspectos relevantes, que no pueden ser obviados, son los relacionados con la seguridad de las instalaciones y la protección del Medio Ambiente. Con estos antecedentes y en la situación actual, la gestión del mantenimiento adquiere una gran importancia en el cumplimiento de la misión de cualquier compañía.

Por lo tanto, debe establecerse procedimientos y técnicas propias de la ingeniería que optimicen los recursos que se destinan a la función de mantener operativas las instalaciones.



**Figura 6-1: Mantenimiento**

## **7. ESTUDIO DE LA CRITICIDAD**

### **7.1 INTRODUCCION**

El estudio de criticidad es un método de análisis de los distintos elementos que constituyen una instalación, sistema, equipo o elementos de un equipo que permite detectar los ítems cuyo fallo, total o parcial, causan un mayor impacto en la operación de la instalación sometida al análisis.

Los resultados obtenidos en el análisis sacan a la luz los elementos más vulnerables pudiéndose establecer una jerarquía entre los ítems de criticidad alta, media o baja. Esta



jerarquización servirá para poder realizar un plan de mantenimiento ajustado a las necesidades que presente la instalación.

## 7.2 CRITERIOS PARA LA CRITICIDAD

Para la realización de este estudio de criticidad se han establecido tres parámetros de criticidad CR1, CR2, y CR3. El primero de ellos hace referencia a la indisponibilidad, el segundo hace referencia a los efectos en la seguridad y el tercero a los costes de los activos. Los ítems a estudiar se evalúan con respecto a cada uno de los criterios, obtenidos una puntuación en un rango del 0 al 5.

	Indisponibilidad CR1	Indisponibilidad CR2	Indisponibilidad CR3
5	Indisponibilidad total del submarino por un tiempo superior a 4 meses.	El fallo de los elementos que impliquen riesgo de pérdida de la embarcación y o daños severos en la tripulación.	Mayores 300.000 €
4	Indisponibilidad total del submarino o un sistema por un tiempo comprendido entre 2 y 4 meses.	Fallo de aquellos elementos que comprometan gravemente la navegación de forma segura y o que puedan causar daños leves en la tripulación.	De 300.000 € a 200.000 €



3	Indisponibilidad total del submarino o un sistema por un tiempo comprendido entre 1 y 2 meses	Fallo de aquellos elementos que comprometan gravemente la navegación de forma segura. Sin suponer unos riesgos físicos para la tripulación.	De 200.000 € a 100.000 €
2	Indisponibilidad parcial o total de un sistema o ítem por un tiempo inferior a 1 mes.	Fallo de aquellos elementos que comprometan la seguridad en la navegación. Sin suponer unos riesgos físicos para la tripulación.	De 100.000 € a 50.000 €
1	Indisponibilidad parcial o total de un sistema o ítem que no afecta a la operación del submarino	Fallo de aquellos elementos que comprometan levemente la seguridad en la navegación. Sin suponer unos riesgos físicos para la tripulación.	De 0 € a 50.000 €



0	No hay afectos en la disponibilidad de la embarcación ni en ninguno de los sistemas.	No hay efectos en la seguridad del submarino	0 €
---	--	--	-----

**Tabla 7.2-1. Criterios para la criticidad**

Entre los tres parámetros de análisis de la criticidad existe un rango diferente de importancia o efecto en la criticidad, siendo CR1 y CR2 de mayor influencia que CR3 a la hora de realizar el cálculo del valor de la criticidad del ítem. Por este motivo se aplica una ponderación de la influencia sobre la criticidad total donde CR1 y CR2 tienen una influencia del 40% (cada uno de ellos) y CR3 tienen una influencia del 20%.

### 7.3 ESTUDIO DE CRITICIDAD POR EQUIPOS

En el estudio de criticidad del submarino convencional se ha analizado la criticidad de los ítems de mayor importancia. Obteniendo un valor de criticidad englobado del 0 al 5. Dentro de este rango se consideran ítems de criticidad alta a aquellos que hayan obtenido una puntuación que esté comprendida entre el 3'2 y el 5, de criticidad media a aquellos que hayan obtenido una puntuación que esté comprendida entre el 3'1 y el 1'5, de criticidad baja a aquellos que hayan obtenido una puntuación que esté comprendida entre el 0 y el 1'5.

3'2 a 5	Criticidad alta
1'5 a 3'1	Criticidad media
0 a 1'4	Criticidad baja

**Tabla 7.3-1. Clasificación criticidad**



ÍTEM	CR1	CR2	CR3	0,4	0,4	0,2	CRITICIDAD TOTAL
Conjunto Baterías Proa	5	4	3	2	1,6	0,6	4,2
Conjunto Baterías Popa	5	4	3	2	1,6	0,6	4,2
Bombas Refrigeración Agua Desmineralizada Baterías	2	1	1	0,8	0,4	0,2	1,4
Electrobomba Agua Desionizada	1	1	1	0,4	0,4	0,2	1
Electrocompresor de Agitado	1	1	1	0,4	0,4	0,2	1
Motor Eléctrico Principal	5	5	5	2	2	1	5
Armario Convertidor Estribor	4	4	4	1,6	1,6	0,8	4
Armario Convertidor Babor	4	4	4	1,6	1,6	0,8	4
Chumacera de Empuje	4	4	3	1,6	1,6	0,6	3,8
Intercambiador Refrigeración Agua de Mar	4	3	2	1,6	1,2	0,4	3,2
Electrobomba Agua de Mar Nº1	4	3	2	1,6	1,2	0,4	3,2
Electrobomba Agua de Mar Nº2	4	3	2	1,6	1,2	0,4	3,2
Intercambiador Refrigeración Agua Dulce Popa 1	1	0	1	0,4	0	0,2	0,6
Intercambiador Refrigeración Agua Dulce Popa 2	1	0	1	0,4	0	0,2	0,6
Electrobomba Trasiego Aceite Lubricante Sucio	2	0	1	0,8	0	0,2	1
Electrobomba Trasiego Aceite Lubricante Limpio	2	0	1	0,8	0	0,2	1
Grupo Diésel/Alternador- Rectificador 1	5	5	5	2	2	1	5



Grupo Diésel/Alternador- Rectificador 2	5	5	5	2	2	1	5
Grupo Diésel/Alternador- Rectificador 3	5	5	5	2	2	1	5
Cuadro Local de Alimentaciones Nº1	1	2	1	0,4	0,8	0,2	1,4
Cuadro Local de Alimentaciones Nº2	1	2	1	0,4	0,8	0,2	1,4
Cuadro Local de Alimentaciones Nº3	1	2	1	0,4	0,8	0,2	1,4
Convertidor CC/CA 115V/60Hz Popa	3	3	2	1,2	1,2	0,4	2,8
Convertidor CC/CA 115V/60Hz Proa	3	3	2	1,2	1,2	0,4	2,8
Cuadro de Distribución 230V/50Hz Popa	3	3	2	1,2	1,2	0,4	2,8
Cuadro de Distribución 230V/50Hz Proa	3	3	2	1,2	1,2	0,4	2,8
Convertidor CC/CA 230V/50Hz Popa	4	4	3	1,6	1,6	0,6	3,8
Convertidor CC/CA 230V/50Hz Proa	4	4	3	1,6	1,6	0,6	3,8
Convertidor 115V/400Hz Nº1	3	3	1	1,2	1,2	0,2	2,6
Convertidor 115V/400Hz Nº2	3	3	1	1,2	1,2	0,2	2,6
Cuadro Distribución 115V/400Hz	3	3	1	1,2	1,2	0,2	2,6
Cuadro Principal de Propulsión	4	5	3	1,6	2	0,6	4,2
Cabeza de Baterías de Popa	4	5	3	1,6	2	0,6	4,2



Cabeza de Baterías de Proa	4	5	3	1,6	2	0,6	4,2
Cuadro Principal CC Popa	3	3	1	1,2	1,2	0,2	2,6
Cuadro Principal CC Proa	3	3	1	1,2	1,2	0,2	2,6
Cuadro Distribución CC Proa N°1	3	2	1	1,2	0,8	0,2	2,2
Cuadro Distribución CC Proa N°2	3	2	1	1,2	0,8	0,2	2,2
Cuadro Principal de 115V/60Hz Popa	3	3	1	1,2	1,2	0,2	2,6
Cuadro Principal de 115V/60Hz Proa	3	3	1	1,2	1,2	0,2	2,6
C. Distribución Prioritario Popa	4	4	2	1,6	1,6	0,4	3,6
C. Distribución Prioritario Centro N°1	4	4	2	1,6	1,6	0,4	3,6
C. Distribución Prioritario Centro N°2	4	4	2	1,6	1,6	0,4	3,6
C. Distribución Prioritario Proa N°2	4	4	2	1,6	1,6	0,4	3,6
C. Distribución Prioritario Proa N°1	4	4	2	1,6	1,6	0,4	3,6
C. Distribución No Prioritario Popa	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8
C. Distribución No Prioritario Proa N°2	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8
C. Distribución No Prioritario Proa N°1	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8
Cargador 28VCC Popa	2	1	1	0,8	0,4	0,2	1,4
Batería 28VCC Popa	4	4	3	1,6	1,6	0,6	3,8
Cargador 28VCC Proa	2	1	1	0,8	0,4	0,2	1,4



Batería 28Vcc Proa	4	4	3	1,6	1,6	0,6	3,8
Cuadro de Distribución 28VCC Nº1	1	0	1	0,4	0	0,2	0,6
Cuadro de Distribución 28VCC Nº2	1	0	1	0,4	0	0,2	0,6
Cuadro de Distribución 28VCC Nº3	1	0	1	0,4	0	0,2	0,6
Cuadro de Distribución 28VCC Nº4	1	0	1	0,4	0	0,2	0,6
Cuadro de Distribución 28VCC Nº5	1	0	1	0,4	0	0,2	0,6
Cuadro Principal Alumbrado Prioritario	4	3	2	1,6	1,2	0,4	3,2
Cuadro Principal Alumbrado no Prioritario	2	1	1	0,8	0,4	0,2	1,4
Cuadro Principal Alumbrado no Prioritario	2	1	1	0,8	0,4	0,2	1,4
Cuadro Principal Alumbrado Prioritario	4	3	2	1,6	1,2	0,4	3,2
Cuadro Principal Alumbrado no Prioritario	2	1	1	0,8	0,4	0,2	1,4
Cuadro Principal Alumbrado Prioritario	4	3	2	1,6	1,2	0,4	3,2
Cuadro Interrupt. Alumbrado y Regulación	2	1	1	0,8	0,4	0,2	1,4
Cuadro Principal Alumbrado no Prioritario	2	1	1	0,8	0,4	0,2	1,4



Cuadro Principal Alumbrado no Prioritario	2	1	1	0,8	0,4	0,2	1,4
Cuadro Principal Alumbrado Prioritario	4	3	2	1,6	1,2	0,4	3,2
Cuadro Principal Alumbrado Prioritario	4	3	2	1,6	1,2	0,4	3,2
Cuadro Principal Alumbrado no Prioritario	3	2	1	1,2	0,8	0,2	2,2
Cuadro Control Local Prelubricación Diésel N°1	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8
Cuadro Control Local Prelubricación Diésel N°2	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8
Cuadro Control Local Prelubricación Diésel N°3	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8
Agua de Mar de Refrigeración de Diésel Generadores	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8
Filtro Agua Salada DAR 1	1	0	1	0,4	0	0,2	0,6
Filtro Agua Salada DAR 2	1	0	1	0,4	0	0,2	0,6
Filtro Agua Salada DAR 3	1	0	1	0,4	0	0,2	0,6
Cuadro Control Precal. Agua Dulce DAR N°1	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8
Cuadro Control Precal. Agua Dulce DAR N°2	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8
Cuadro Control Precal. Agua Dulce DAR N°3	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8
Electrobomba Alimentación Precalentador DAR 1	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8



Electrobomba Alimentación Precalentador DAR 2	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8
Electrobomba Alimentación Precalentador DAR 3	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8
Válvulas de Exhaustación	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8
Filtros para Circuitos de Aire/Gas	2	0	1	0,8	0	0,2	1
Filtros para Circuitos de Agua/Gasoil	2	0	1	0,8	0	0,2	1
Filtros para Circuitos de Aceite/Grasa	2	0	1	0,8	0	0,2	1
Ventilador de Aire Viciado	2	0	1	0,8	0	0,2	1
Ventilador de Reserva	2	0	1	0,8	0	0,2	1
Ventilador de Aire Fresco	2	0	1	0,8	0	0,2	1
C.C.L. Ventilador Aire Viciado	2	0	1	0,8	0	0,2	1
C.C.L. Ventilador Reserva	2	0	1	0,8	0	0,2	1
C.C.L. Ventilador Aire Fresco	2	0	1	0,8	0	0,2	1
C.C.L. Calentador Eléctrico de Aire	1	0	1	0,4	0	0,2	0,6
Calentador Eléctrico de Aire	1	0	1	0,4	0	0,2	0,6
Electrobomba Volumétrica Achique Principal	4	4	2	1,6	1,6	0,4	3,6
C.C.L. Bomba Auxiliar Achique Auxiliares Proa	4	4	2	1,6	1,6	0,4	3,6
C.C.L. Bomba Auxiliar Achique Auxiliares Popa	4	4	2	1,6	1,6	0,4	3,6
C.C.L. Bomba Auxiliar Achique Tanque Fugas de la Bocina	4	4	2	1,6	1,6	0,4	3,6



C.C.L. Bomba Auxiliar Achique	4	4	2	1,6	1,6	0,4	3,6
Calentador Eléctrico	1	1	1	0,4	0,4	0,2	1
Electrobomba Autocebada N°1	1	1	1	0,4	0,4	0,2	1
Electrobomba Autocebada N°2	1	1	1	0,4	0,4	0,2	1
Electrobomba Autocebada N°1	1	1	1	0,4	0,4	0,2	1
Electrobomba Autocebada N°2	1	1	1	0,4	0,4	0,2	1
Planta Hidráulica	5	5	2	2	2	0,4	4,4
Cuadro Control Local Bomba Vital	5	5	2	2	2	0,4	4,4
Conjunto Mástil Radar	2	2	2	0,8	0,8	0,4	2
Conjunto Mástil ESM	2	2	2	0,8	0,8	0,4	2
Conjunto Mástil-Antena HF Emergencia	2	2	2	0,8	0,8	0,4	2
Conjunto Mástil SHF	2	2	2	0,8	0,8	0,4	2
Actuadores Hidráulicos Timones	4	4	3	1,6	1,6	0,6	3,8
Hélice	4	4	3	1,6	1,6	0,6	3,8
Eje de cola	4	4	3	1,6	1,6	0,6	3,8
Línea de ejes	4	4	3	1,6	1,6	0,6	3,8
Bocina	4	4	1	1,6	1,6	0,2	3,4
Compresor de soplado	4	4	3	1,6	1,6	0,6	3,8

Tabla 7.3-2. Estudio criticidad

#### 7.4 ESTUDIO DE CRITICIDAD: ITEMS DE MAYOR A MENOR

Con los resultados del análisis para cada ítem se procede a la ordenación de mayor a menor criticidad con el fin de poder agrupar todos los ítems en los tres niveles de criticidad (alta, media y baja).



ÍTEM	CR1	CR2	CR3	0,4	0,4	0,2	CRITICIDAD TOTAL
Motor Eléctrico Principal	5	5	5	2	2	1	5
Grupo Diésel/Alternador- Rectificador 1	5	5	5	2	2	1	5
Grupo Diésel/Alternador- Rectificador 2	5	5	5	2	2	1	5
Grupo Diésel/Alternador- Rectificador 3	5	5	5	2	2	1	5
Planta Hidráulica	5	5	2	2	2	0,4	4,4
Cuadro Control Local Bomba Vital	5	5	2	2	2	0,4	4,4
Conjunto Baterías Proa	5	4	3	2	1,6	0,6	4,2
Conjunto Baterías Popa	5	4	3	2	1,6	0,6	4,2
Cuadro Principal de Propulsión	4	5	3	1,6	2	0,6	4,2
Cabeza de Baterías de Popa	4	5	3	1,6	2	0,6	4,2
Cabeza de Baterías de Proa	4	5	3	1,6	2	0,6	4,2
Armario Convertidor Estribor	4	4	4	1,6	1,6	0,8	4
Armario Convertidor Babor	4	4	4	1,6	1,6	0,8	4
Chumacera de Empuje	4	4	3	1,6	1,6	0,6	3,8
Convertidor CC/CA 230V/50Hz Popa	4	4	3	1,6	1,6	0,6	3,8



Convertidor CC/CA 230V/50Hz Proa	4	4	3	1,6	1,6	0,6	3,8
Batería 28VCC Popa	4	4	3	1,6	1,6	0,6	3,8
Batería 28Vcc Proa	4	4	3	1,6	1,6	0,6	3,8
Actuadores Hidráulicos Timones	4	4	3	1,6	1,6	0,6	3,8
Hélice	4	4	3	1,6	1,6	0,6	3,8
Línea de ejes	4	4	3	1,6	1,6	0,6	3,8
Eje de cola	4	4	3	1,6	1,6	0,6	3,8
Compresor de soplado	4	4	3	1,6	1,6	0,6	3,8
C. Distribución Prioritario Popa	4	4	2	1,6	1,6	0,4	3,6
C. Distribución Prioritario Centro Nº1	4	4	2	1,6	1,6	0,4	3,6
C. Distribución Prioritario Centro Nº2	4	4	2	1,6	1,6	0,4	3,6
C. Distribución Prioritario Proa Nº2	4	4	2	1,6	1,6	0,4	3,6
C. Distribución Prioritario Proa Nº1	4	4	2	1,6	1,6	0,4	3,6
Electrobomba Volumétrica Achique Principal	4	4	2	1,6	1,6	0,4	3,6
C.C.L. Bomba Auxiliar Achique Auxiliares Proa	4	4	2	1,6	1,6	0,4	3,6
C.C.L. Bomba Auxiliar Achique Auxiliares Popa	4	4	2	1,6	1,6	0,4	3,6



C.C.L. Bomba Auxiliar Achique Tanque Fugas de la Bocina	4	3	2	1,6	1,6	0,4	3,6
C.C.L. Bomba Auxiliar Achique	4	4	2	1,6	1,6	0,4	3,6
Bombas Auxiliares de Achique	4	4	2	1,6	1,6	0,4	3,6
Bocina	4	4	1	1,6	1,6	0,2	3,4
Cuadro Principal Alumbrado Prioritario	4	3	2	1,6	1,2	0,4	3,2
Cuadro Principal Alumbrado Prioritario	4	3	2	1,6	1,2	0,4	3,2
Cuadro Principal Alumbrado Prioritario	4	3	2	1,6	1,2	0,4	3,2
Cuadro Principal Alumbrado Prioritario	4	3	2	1,6	1,2	0,4	3,2
Cuadro Principal Alumbrado Prioritario	4	3	2	1,6	1,2	0,4	3,2
Electrobomba Agua de Mar Nº1	4	3	2	1,6	1,2	0,4	3,2
Electrobomba Agua de Mar Nº2	4	3	2	1,6	1,2	0,4	3,2
Intercambiador Refrigeración Agua de Mar	4	3	2	1,6	1,2	0,4	3,2
Convertidor CC/CA 115V/60Hz Popa	3	3	2	1,2	1,2	0,4	2,8



Convertidor CC/CA 115V/60Hz Proa	3	3	2	1,2	1,2	0,4	2,8
Cuadro de Distribución 230V/50Hz Popa	3	3	2	1,2	1,2	0,4	2,8
Cuadro de Distribución 230V/50Hz Proa	3	3	2	1,2	1,2	0,4	2,8
Convertidor 115V/400Hz Nº1	3	3	1	1,2	1,2	0,2	2,6
Convertidor 115V/400Hz Nº2	3	3	1	1,2	1,2	0,2	2,6
Cuadro Distribución 115V/400Hz	3	3	1	1,2	1,2	0,2	2,6
Cuadro Principal CC Popa	3	3	1	1,2	1,2	0,2	2,6
Cuadro Principal CC Proa	3	3	1	1,2	1,2	0,2	2,6
Cuadro Principal de 115V/60Hz Popa	3	3	1	1,2	1,2	0,2	2,6
Cuadro Principal de 115V/60Hz Proa	3	3	1	1,2	1,2	0,2	2,6
Cuadro Distribución CC Proa Nº1	3	2	1	1,2	0,8	0,2	2,2
Cuadro Distribución CC Proa Nº2	3	2	1	1,2	0,8	0,2	2,2
Cuadro Principal Alumbrado no Prioritario	3	2	1	1,2	0,8	0,2	2,2
Conjunto Mástil Radar	2	2	2	0,8	0,8	0,4	2
Conjunto Mástil ESM	2	2	2	0,8	0,8	0,4	2



Conjunto Mástil-Antena HF Emergencia	2	2	2	0,8	0,8	0,4	2
Conjunto Mástil SHF	2	2	2	0,8	0,8	0,4	2
C. Distribución No Prioritario Popa	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8
C. Distribución No Prioritario Proa N°2	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8
C. Distribución No Prioritario Proa N°1	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8
Cuadro Control Local Prelubricación Diésel N°1	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8
Cuadro Control Local Prelubricación Diésel N°2	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8
Cuadro Control Local Prelubricación Diésel N°3	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8
Cuadro Control Precal. Agua Dulce DAR N°1	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8
Cuadro Control Precal. Agua Dulce DAR N°2	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8
Cuadro Control Precal. Agua Dulce DAR N°3	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8
Electrobomba Alimentación Precalentador DAR 1	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8
Electrobomba Alimentación Precalentador DAR 2	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8



Electrobomba Alimentación Precalentador DAR 3	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8
Válvulas de Exhaustación	2	2	1	0,8	0,8	0,2	1,8
Bombas Refrigeración Agua Desmineralizada Baterías	2	1	1	0,8	0,4	0,2	1,4
Cuadro Local de Alimentaciones Nº1	1	2	1	0,4	0,8	0,2	1,4
Cuadro Local de Alimentaciones Nº2	1	2	1	0,4	0,8	0,2	1,4
Cuadro Local de Alimentaciones Nº3	1	2	1	0,4	0,8	0,2	1,4
Cargador 28VCC Popa	2	1	1	0,8	0,4	0,2	1,4
Cargador 28VCC Proa	2	1	1	0,8	0,4	0,2	1,4
Cuadro Principal Alumbrado no Prioritario	2	1	1	0,8	0,4	0,2	1,4
Cuadro Principal Alumbrado no Prioritario	2	1	1	0,8	0,4	0,2	1,4
Cuadro Principal Alumbrado no Prioritario	2	1	1	0,8	0,4	0,2	1,4
Cuadro Interrupt. Alumbrado y Regulación	2	1	1	0,8	0,4	0,2	1,4
Cuadro Principal Alumbrado no Prioritario	2	1	1	0,8	0,4	0,2	1,4
Cuadro Principal Alumbrado no Prioritario	2	1	1	0,8	0,4	0,2	1,4



Electrobomba Agua Desionizada	1	1	1	0,4	0,4	0,2	1
Electrocompresor de Agitado	1	1	1	0,4	0,4	0,2	1
C.C.L. Ventilador Reserva	2	0	1	0,8	0	0,2	1
C.C.L. Ventilador Aire Fresco	2	0	1	0,8	0	0,2	1
Calentador Eléctrico	1	1	1	0,4	0,4	0,2	1
Electrobomba Autocebada Nº1	1	1	1	0,4	0,4	0,2	1
Electrobomba Autocebada Nº2	1	1	1	0,4	0,4	0,2	1
Electrobomba Autocebada Nº1	1	1	1	0,4	0,4	0,2	1
Electrobomba Autocebada Nº2	1	1	1	0,4	0,4	0,2	1
Intercambiador Refrigeración Agua Dulce Popa 1	1	0	1	0,4	0	0,2	0,6
Intercambiador Refrigeración Agua Dulce Popa 2	1	0	1	0,4	0	0,2	0,6
Cuadro de Distribución 28VCC Nº1	1	0	1	0,4	0	0,2	0,6
Cuadro de Distribución 28VCC Nº2	1	0	1	0,4	0	0,2	0,6



Cuadro de Distribución 28VCC N°3	1	0	1	0,4	0	0,2	0,6
Cuadro de Distribución 28VCC N°4	1	0	1	0,4	0	0,2	0,6
Cuadro de Distribución 28VCC N°5	1	0	1	0,4	0	0,2	0,6
Filtro Agua Salada DAR 1	1	0	1	0,4	0	0,2	0,6
Filtro Agua Salada DAR 2	1	0	1	0,4	0	0,2	0,6
Filtro Agua Salada DAR 3	1	0	1	0,4	0	0,2	0,6
Ventilador de Aire Viciado	1	0	1	0,4	0	0,2	0,6
Ventilador de Reserva	1	0	1	0,4	0	0,2	0,6
C.C.L. Calentador Eléctrico de Aire	1	0	1	0,4	0	0,2	0,6
Calentador Eléctrico de Aire	1	0	1	0,4	0	0,2	0,6

**Tabla 7.2-1. Ítems de mayor a menor criticidad**



7.5 LISTA DE EQUIPOS SELECCIONADOS PARA EL  
MANTENIMIENTO PREDICTIVO

<i>MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICIÓN (MBC) / SUBMARINO</i>							
LISTA DE EQUIPOS CANDIDATOS MBC							
DESCRIPCIÓN	CR	INSTALACIÓN	DATOS DE PROCESO	VIBRACIONES	TERMOGRAFÍA (OFF-LINE)	ACEITES (OFF-LINE)	INSPECCIÓN VISUAL
Motor Eléctrico Principal	5	PROPULSIÓN	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Hélice	3,8		No	Sí	Sí	No	Sí
Eje de cola	3,8		No	Sí	Sí	No	Sí
Chumacera de Empuje	3,8		Sí	Sí	No	Sí	Sí
Línea de ejes	3,8		No	Sí	Sí	No	Sí
Planta Hidráulica	4,4	GOBIERNO	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Actuadores Hidráulicos Timones	3,8		Sí	No	Si	No	Sí
Cabeza de baterías de Popa	4,2	ELÉCTRICA	Sí	No	Sí	No	Sí



Cabeza de baterías de Proa	4,2		Sí	No	Sí	No	Sí
Batería 28VCC Popa	3,8		Sí	No	Sí	No	Sí
Batería 28Vcc Proa	3,8		Sí	No	Sí	No	Sí
Conjunto Baterías Popa	4,2		Sí	No	Si	No	Sí
Conjunto Baterías Proa	4,2		Sí	No	Si	No	Sí
Grupo Diésel/Alternador-Rectificador	5		Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Armario Convertidor Estribor	4		Sí	No	Sí	No	Sí
Armario Convertidor Babor	4		Sí	No	Sí	No	Sí
Convertidor CC/CA 230V/50Hz Popa	3,8		Sí	No	Sí	No	Sí
Convertidor CC/CA	3,8		Sí	No	Sí	No	Sí



230V/50Hz Proa							
Cuadro Principal de Propulsión	4,2		Sí	No	Sí	No	Sí
C. Distribución Prioritario Popa	3,6		No	No	Sí	No	Sí
C. Distribución Prioritario Centro N°1	3,6		No	No	Sí	No	Sí
C. Distribución Prioritario Proa N°1	3,6		No	No	Sí	No	Sí
Cuadro Principal Alumbrado Prioritario	3,2		No	No	Sí	No	Sí
Compresor de soplado	3,8		Si	Si	No	Sí	Sí
Electrobomba Volumétrica Achique Principal	3,6		Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
C.C.L. Bomba Auxiliar Achique	3,6		No	Si	Sí	No	Sí



Auxiliares Proa							
C.C.L. Bomba Auxiliar Achique Auxiliares Popa	3,6		No	Si	Sí	No	Sí
C.C.L. Bomba Auxiliar Achique Tanque Fugas de la Bocina	3,6		No	Si	Sí	No	Sí
C.C.L. Bomba Auxiliar Achique	3,6		No	Si	Sí	No	Sí
Bombas Auxiliares de Achique	3,6		Sí	Sí	Sí	No	Sí
Bocina	3,4		No	No	Sí	No	Sí
Cuadro Control Local Bomba Vital	4,4		No	Si	Si	No	Sí

**Tabla 7.5-1. Elementos seleccionados MBC**



## 8. CONCEPTO Y OBJETIVO DEL MANTENIMIENTO

El mantenimiento se puede definir como el control constante de las instalaciones o de los componentes, así como el conjunto de trabajos de reparación y revisión necesarios para garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de un sistema en general.

Por lo tanto, las tareas de mantenimiento se aplican sobre las instalaciones fijas y móviles, sobre equipos y maquinarias, sobre edificios industriales, comerciales o de servicios específicos, sobre las mejoras introducidas al terreno y sobre cualquier otro tipo de bien productivo.

El objetivo final del mantenimiento industrial se puede sintetizar en los siguientes puntos:

- Evitar, reducir, y en su caso, reparar, los fallos sobre los bienes.
- Disminuir la gravedad de los fallos que no se lleguen a evitar.
- Evitar detenciones inútiles o paros de máquinas.
- Evitar accidentes.
- Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.  
Reducir costes.
- Alcanzar o prolongar la vida útil de los bienes.

En resumen, un mantenimiento adecuado, tiende a prolongar la vida útil de los bienes, a obtener un rendimiento aceptable de los mismos durante más tiempo y a reducir el número de fallos.



## 9. MAMANTENIMIENTO. DEFINICIONES Y MÉTODOS

Cualquier sistema es diseñado y construido para mantener su funcionalidad y disponibilidad el mayor tiempo posible. Esta situación puede conseguirse mediante dos métodos:

- Disponer una muy alta fiabilidad.
- Conseguir que el sistema sea rápida y fácilmente recuperable en caso de fallo.

El primero de ellos tiene el inconveniente de aumentar considerablemente el precio y el segundo la necesidad de disponer de recursos para su recuperación.

La pérdida de la operatividad de un sistema suele ser el resultado de procesos tales como corrosión, abrasión, acumulación de deformaciones, difusión de un material en otro, etc.

A menudo estos procesos se superponen e interactúan los unos con los otros y causan un cambio en el sistema con lo cual cambiarán sus características de actuación. La desviación de esas características respecto a los valores especificados es lo que se considera como fallo del sistema.

Los fallos también pueden ser causados por sobrecargas bruscas, errores de los operadores, reparaciones incorrectas, etc. Por consiguiente, el fallo del sistema puede ser definido como un suceso cuya capacidad para realizar las funciones requeridas, o bien la pérdida de capacidad para satisfacer los requisitos especificados.

Independientemente de las razones de su aparición, un fallo causará la transición del sistema desde su estado satisfactorio a un nuevo estado insatisfactorio, conocido como estado de fallo.

Como consecuencia podemos decir que todos los sistemas creados por el hombre pueden encontrarse en uno de los dos posibles estados:



- Estado de funcionamiento.
- Estado de fallo.

Existe una multitud de sistemas cuya funcionalidad se puede recuperar, y se les denomina sistemas recuperables.

Así, cuando alguien dice que un sistema específico es recuperable, se entiende que después de haber fallado se puede recuperar su capacidad de realizar una función especificada.

Consecuentemente, el término de recuperabilidad será utilizado para describir la capacidad de un sistema para ser recuperado tras su fallo. Para que un sistema recupere la capacidad de realizar una función es, necesario realizar unas tareas especificadas, conocidas como tareas de mantenimiento.

Además de las tareas de mantenimiento consecuentes al fallo durante la operación, un sistema puede requerir tareas adicionales para mantenerlo en estado de funcionamiento.

Generalmente, estas tareas son menos complejas que las necesarias para la recuperación de la funcionalidad, siendo típicas actividades tales como limpieza, ajuste, comprobación e inspección

El proceso durante el que se mantiene la capacidad del sistema para realizar una función es conocido como proceso de mantenimiento, y se define como:

“El conjunto de tareas realizadas por el usuario para mantener la funcionabilidad del sistema durante su vida operativa.”

Es necesario insistir en que se necesitan ciertos recursos para facilitar este proceso. Como el fin principal de estos recursos es facilitar el proceso de mantenimiento, se les designara con el nombre de recursos de mantenimiento (MR). Los recursos necesarios para la realización con éxito de toda tarea de mantenimiento pueden agruparse en las siguientes categorías:

- A. *Abastecimiento o aprovisionamiento*: Es un nombre genérico que incluye el suministro de todos los repuestos, elementos de reparación, consumibles,



suministros especiales y artículos de inventario necesarios para apoyar a los procesos de mantenimiento.

- B. Equipos de prueba y apoyo: Incluye todas las herramientas, equipos especiales de vigilancia de condición, equipos de comprobación, metrología y calibración, bancos de mantenimiento y equipos auxiliares de servicio necesarios para apoyar a las tareas de mantenimiento asociadas al elemento o sistema.
- C. Persona: Se incluye el necesario para la instalación, comprobación, manejo y realización del mantenimiento del elemento o sistema y de los equipos necesarios de prueba y apoyo.
- D. Instalaciones: Incluye las instalaciones especiales precisas para la ejecución de las tareas de mantenimiento. Deben considerarse las plantas industriales, edificios, edificaciones portátiles, fosos de inspección, otras instalaciones para reparaciones especiales y revisiones generales relacionadas con cada tarea de mantenimiento.
- E. Datos técnicos: Procedimientos de comprobación, instrucciones de mantenimiento, procedimientos de inspección y calibración, procedimientos de revisiones generales y especificaciones que son necesarios para realizar las funciones de mantenimiento del sistema. Tales datos no solo se refieren al sistema, sino también al equipo de prueba y apoyo, transporte y manejo del equipo, equipo de instrucción e instalaciones.
- F. Recursos informáticos: Comprende los ordenadores y sus accesorios, “software”, discos y cintas de programas, bases de datos, etc., necesarios para realizar las funciones de mantenimiento. Incluye tanto la vigilancia de la condición como el diagnóstico.



## 10. TIPOS DE MANTENIMIENTO APLICABLES AL SUBMARINO. RESPETOS, HERRAMIENTAS Y EQUIPOS A BORDO

Donde existe maquinaria, es necesario efectuar un mantenimiento de estas máquinas o equipos para conservarlas en correcto estado de funcionamiento y garantizar la seguridad. El objeto del mantenimiento es, por tanto, conseguir que la maquinaria opere sin problemas, especialmente aquella que es “crítica”.

Este mantenimiento puede ser más o menos sofisticado, dependiendo de la naturaleza y “criticidad” de la máquina que se considere, y puede ser agrupado en varios estados que van desde el más simple hasta el más complejo.

Por tanto, en este apartado, se describen los distintos tipos de mantenimiento que actualmente se están aplicando a los Buques de la Armada Española, y se analiza, al mismo tiempo, la aplicabilidad particular de cada uno de ellos al Submarino

### 10.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO SEGÚN CRITICIDAD

Los elementos que se consideran de criticidad alta son elementos con una mayor importancia en la mantenibilidad, ya que su fallo tiene un mayor impacto en la explotación del buque. Por esto es importante reducir al máximo las probabilidades de que se produzca un fallo de estos elementos y por ello el tipo de mantenimiento más adecuados para los elementos de criticidad alta son el mantenimiento preventivo o predictivo. A pesar de esto, aunque se aplique este tipo de mantenimiento, no se podrán evitar averías imprevistas, producidas por deficiencias no aparentes y/o no detectadas en inspecciones preventivas, o bien por otras causas; en estos casos no queda más opción que aplicar el mantenimiento correctivo inmediato.

Con los ítems agrupados en el rango de criticidad media al igual que con los elementos de criticidad alta los tipos de mantenimiento a aplicar son el mantenimiento preventivo o predictivo y el mantenimiento correctivo.



Por último, en los elementos de criticidad baja por su menor importancia en general, se aplicará un mantenimiento del tipo correctivo.

## 10.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

En este tipo de mantenimiento no se toman medidas de ningún tipo hasta que se produce la avería, es decir, la máquina “desatendida” opera hasta que una avería catastrófica o un defecto obliga a la parada. Una vez producida, se desmonta la máquina, se busca el origen de la avería y se reponen las piezas o conjunto defectuoso, previo encargo y adquisición.

De este modo, se puede observar como el Mantenimiento Correctivo es de naturaleza puramente reactiva y se aplica únicamente a equipos o sistemas que ya han fallado de una manera u otra, consistiendo así esta estrategia de mantenimiento en la realización de las acciones de mantenimiento que restauren la capacidad operativa de un equipo cuando se haya producido un fallo o mal funcionamiento en éste.

Este mantenimiento puede ser aplazado para formar parte de una Inmovilización Programada del Buque cuando el impacto del fallo sea mínimo y la función del sistema no se vea afectada o sea aceptable; o no programado, cuando la reparación sea obligatoria y deba ser realizada inmediatamente para retornar el equipo o sistema a su condición de operación normal.

Esta estrategia de mantenimiento se aplica cada vez menos y se suele limitar a equipos y sistemas con poco impacto en la seguridad o disponibilidad del Buque (criticidad baja).

Un ejemplo de mantenimiento correctivo es el reemplazo de una bombilla incandescente cuando ésta se funde.

Las Ventajas e Inconvenientes del Mantenimiento Correctivo son las siguientes:

Ventajas:

- Inversión mínima.

Inconvenientes:



- Pérdidas de disponibilidad, por averías y mantenimientos no esperados o imprevistos en la mayoría de los casos,
- “Stocks” altos en repuestos, ya que la mayoría de las averías se producen antes de tener previstos los correspondientes suministros y el personal de reparación,
- La reparación suele ser más extensa que si el problema se hubiera detectado previamente, dándose casos donde es necesaria la total reposición de la máquina,
- Riesgo de accidentes, puesto que esta situación lleva implícito un problema de inseguridad para el propio personal,
- Gastos por daños secundarios colaterales.



**Figura 10-2-1: Mantenimiento Correctivo**

#### 10.2.1 *APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO CORRECTIVO AL SUBMARINO*

Para el Submarino se recomienda que se aplique el Mantenimiento Correctivo cuando:

- Sea más económico no realizar ningún mantenimiento y reemplazar el componente cuando este falla,
- El fallo del componente no produzca el fallo del sistema o no afecta a la seguridad del personal o del Submarino (criticidad baja).



- El modo de fallo sea evidente al operador y pueda ser fácilmente corregido.

### 10.3 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El objetivo de la estrategia del Mantenimiento Preventivo es la reducción del Mantenimiento Correctivo, eliminando los fallos de los componentes o sistemas.

En el Mantenimiento Preventivo, las acciones de mantenimiento están diseñadas para prevenir o retardar los modos de fallo del componente o sistema y cuya periodicidad está basada en días de calendario, horas de operación, ciclos de una función específica u otras medidas de tiempo. Normalmente, este tipo de mantenimiento requiere cierta intrusión en el equipo, tal como el desmontaje total o parcial para su inspección o reemplazo de un componente (por ejemplo, limpiar el filtro de aceite cada mes), y se procede así a la reparación de los defectos que se encuentren.

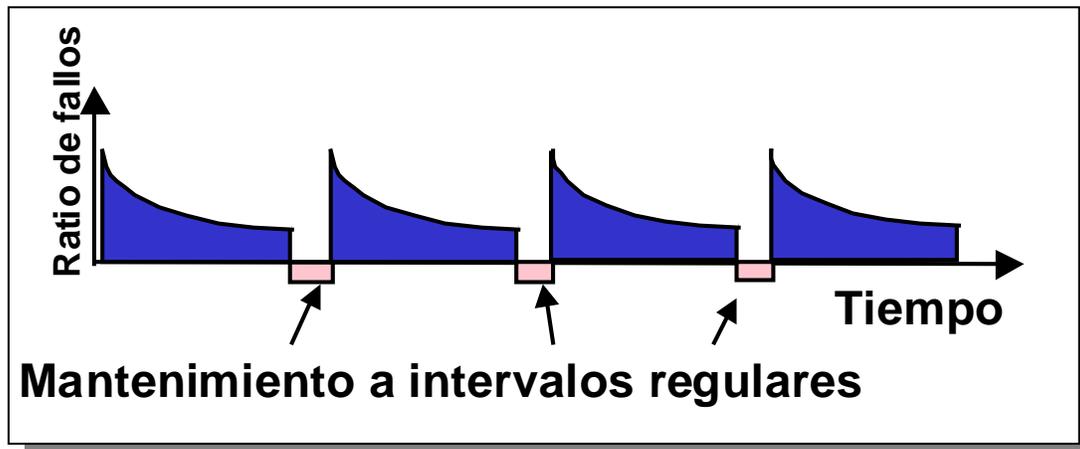
El Mantenimiento Preventivo consiste en:

- Calcular la duración teórica (MTBF) de los equipos o sistemas, o de sus componentes, para que se reemplacen o restauren estos antes de que se sobrepase esa duración,
- Realizar las tareas de inspección y mantenimiento que hayan sido programadas (por ejemplo, planificadas para su realización con una periodicidad fija basada en tiempo de calendario u horas de operación) con objeto de reducir la probabilidad de ocurrencia de un modo de fallo en el equipo o sistema en cuestión.
- Intercalar periodos de operatividad con intervalos de mantenimiento planificado donde se realicen las acciones sobre los equipos (ver la figura 10.3-1).

Debe tenerse bien presente (como se desprende claramente de la Figura 10.3-1) que una consecuencia directa de este tipo de mantenimiento sobre un equipo o sistema, que está en



condiciones operativas perfectas, es la de retornarlo a la zona de probabilidad alta de fallo por mortalidad infantil (parte de la curva de la bañera en que éste es nuevo).



**Figura 10 3-1: Intervalos Mantenimiento Preventivo**

El Mantenimiento Preventivo es la estrategia de mantenimiento más extendida en los Buques de la Armada Española.



**Figura 10-3-2: Mantenimiento Preventivo**

Las Ventajas e Inconvenientes del Mantenimiento Preventivo son las que siguen:



Ventajas:

- El beneficio principal del Mantenimiento Preventivo es que suministra un control de los costes de mantenimiento más allá de la estrategia del Mantenimiento Correctivo. Ciertos estudios han mostrado que un programa bien establecido del Mantenimiento Preventivo puede ahorrar alrededor de un 30 % de los costes de mantenimiento respecto a un programa de Mantenimiento Correctivo,
- Se evitan paradas por averías no esperadas.

Inconvenientes:

- El desmontaje periódico total o parcial de una máquina, con la consiguiente parada y reposición de elementos, puede ser excesivamente costoso para la seguridad de funcionamiento que aporta.
- El intervalo entre inspecciones periódicas, si bien está basado en la Teoría de Fiabilidad y Vida Media, es difícil de definir. La elección de la periodicidad de las acciones de este tipo de mantenimiento a tiempo fijo requiere una base estadística sólida, lo cual es difícil de generar cuando el número de buques de una serie es bajo, tal como es el caso de la Armada Española.
- Dificultad para establecer o fijar la periodicidad de este tipo de mantenimiento, ya que se podrían presentar las siguientes situaciones:
  - Que la periodicidad de este tipo de mantenimiento pueda ser demasiado conservadora, con lo cual se podría producir un sobremantenimiento (se inspeccionan máquinas en perfecto estado de operación), con el coste que ello conlleva.
  - Que la periodicidad fijada para este tipo de mantenimiento pueda ser mayor que el Tiempo Medio entre Fallos (MTBF) del equipo/sistema, con lo cual se podrían producir fallos no planificados de dicho equipo/sistema con el consiguiente coste asociado, en este caso



estaríamos ante un submantenimiento, es decir, máquinas con averías y parada inminente puede que no sean tenidas en cuenta.

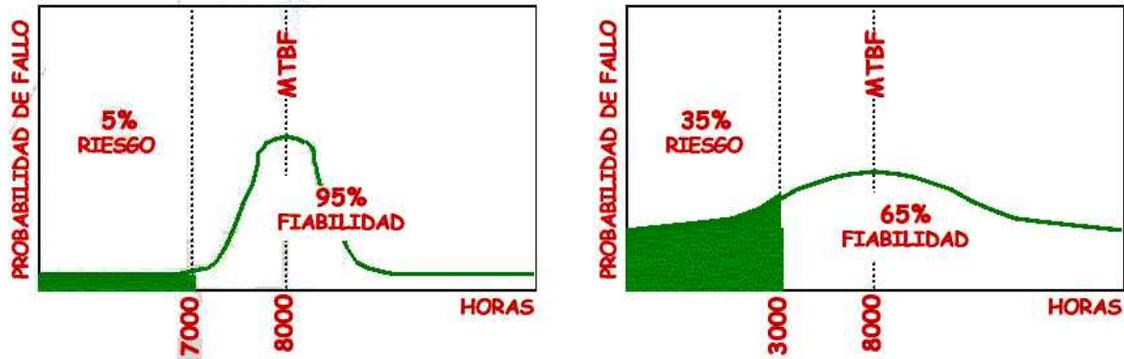
- La manipulación de máquinas en buen estado puede generar averías (retorno a la parte de alta probabilidad de fallo en la curva de la bañera), y a veces, una máquina que operaba correctamente, al ser sometida a una inspección periódica puede quedar, por fallo en el montaje, en peores condiciones que las iniciales, siendo así más propensa al fallo.

Puede no existir una relación clara entre la edad del equipo y su fiabilidad, con lo cual puede ser difícil determinar una periodicidad adecuada que reduzca la probabilidad de fallo, esto es, equipos con probabilidad dispersa de fallos. Ante este caso, la planificación de las intervenciones no garantiza el acierto.

Debe tenerse en cuenta que la solución a este problema es aplicar un Mantenimiento Basado en la Condición, tal como se describe en el siguiente apartado.

Esto queda representado gráficamente en la Figura 10.3-1, donde se pueden ver dos distribuciones distintas de la función de fallos, la de la izquierda es una función concentrada alrededor del MTBF (característica de equipos candidatos a ser tratados por Mantenimiento Preventivo) y la de la derecha es una distribución de fallos disperso respecto a su MTBF (equipos candidatos al MBC).

El mantenimiento preventivo se divide en mantenimiento programado (intervalos de tiempo fijos), mantenimiento predictivo (según condición).



**Figura 10.3-3: Relación entre la Edad y la Fiabilidad de un Equipo**

#### 10.3.1 *APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL SUBMARINO*

Para el Submarino, se recomienda que se aplique el Mantenimiento Preventivo a los equipos que no estén cubiertos ni por el Mantenimiento Basado en la Condición ni por el Mantenimiento Correctivo.

Como se ha indicado, el Mantenimiento Preventivo es la estrategia de mantenimiento más extendida en los Buques de la Armada Española, por lo que se recomienda que éste se aplique masivamente, y a medida que se vaya obteniendo una confiabilidad en el MBC se vayan dilatando las tareas de Mantenimiento Preventivo hasta que incluso algunas de éstas puedan desaparecer. Esto es, el MBC vaya sustituyendo en parte al Mantenimiento Preventivo.

#### 10.4 **MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN O PREDICTIVO (MBC)**

Para minimizar las deficiencias de los métodos tradicionales de mantenimiento y respondiendo a necesidades de reducción de costes, aumento de la disponibilidad y de la seguridad sobre el funcionamiento de los equipos, se configura la necesidad de una metodología que permita una “vigilancia periódica” de las máquinas, especialmente de aquéllas que son críticas, así aparece la estrategia del Mantenimiento Basado en la Condición, cuyos objetivos principales son la reducción del coste y el aumento de la disponibilidad



asociado al empleo del Mantenimiento Correctivo y Mantenimiento Preventivo, como ya se ha mencionado antes.

Para que esta nueva metodología, basada en la vigilancia periódica, sea eficaz frente a los conceptos tradicionales de mantenimiento, deberá cubrir los siguientes objetivos:

- No impedir o limitar el funcionamiento de la máquina durante su ejecución,
- Debe permitir la detección de la avería en fase incipiente antes de que se convierta en catastrófica, así como la identificación o diagnóstico de la causa que la originó, con todas las ventajas inherentes que ambos aspectos comportan.

Así, el Mantenimiento Basado en la Condición, a través de la medida continua o periódica, el análisis y el control de ciertos parámetros, indicadores del “estado de salud” o “condición” de la máquina, cumple con los objetivos anteriores.

El MBC es, por tanto, una metodología que tiene como objetivo asegurar el correcto funcionamiento de las máquinas mediante una vigilancia periódica de ciertos parámetros específicos en las mismas, indicadores de su “condición”, y que se ejecuta sin necesidad de recurrir a desmontajes y revisiones periódicas.

Esta estrategia de mantenimiento consiste en la realización de acciones de mantenimiento para obtener datos del equipo o sistema, cuando la tecnología permite determinar y conocer la tendencia de la condición de la maquinaria a través del análisis de dichos datos, en lugar de abrir e inspeccionar el equipo o sistema en cuestión.

Si en una máquina se conoce el valor que deben tener durante el funcionamiento sus parámetros específicos (tales como temperaturas, presiones, vibraciones, caudales, etc.), el MBC basado en la obtención de los valores actuales de dichos parámetros y su comparación con los valores típicos de funcionamiento, permite conocer el estado real de funcionamiento de la máquina. Si estos parámetros característicos se mantienen dentro del margen de valores que se consideran normales de funcionamiento, se puede afirmar que la máquina opera en condiciones correctas; si por el contrario, el valor de algún parámetro inicia una desviación



de su valor típico o base, dicho parámetro nos permite detectar el tipo de avería que puede producirse, además, la tasa de crecimiento de dicha desviación nos permite confeccionar un gráfico de tendencia que nos permite controlar el estado general de la máquina y del que podemos obtener, de forma aproximada, el tiempo que la máquina puede seguir funcionando sin que la avería sea catastrófica.

La idea que existe detrás de este concepto es que una máquina problemática dará alguna señal de aviso temprana, que se puede medir, de que está comenzando a producirse uno de sus modos inherentes de fallo.

Estas señales (por ejemplo: vibración, temperatura, presencia de partículas de desgaste, etc.) pueden ser medidas, analizadas sus tendencias, y ligadas a un modo de fallo particular, y utilizadas para determinar el comienzo de ciertos modos de fallo.

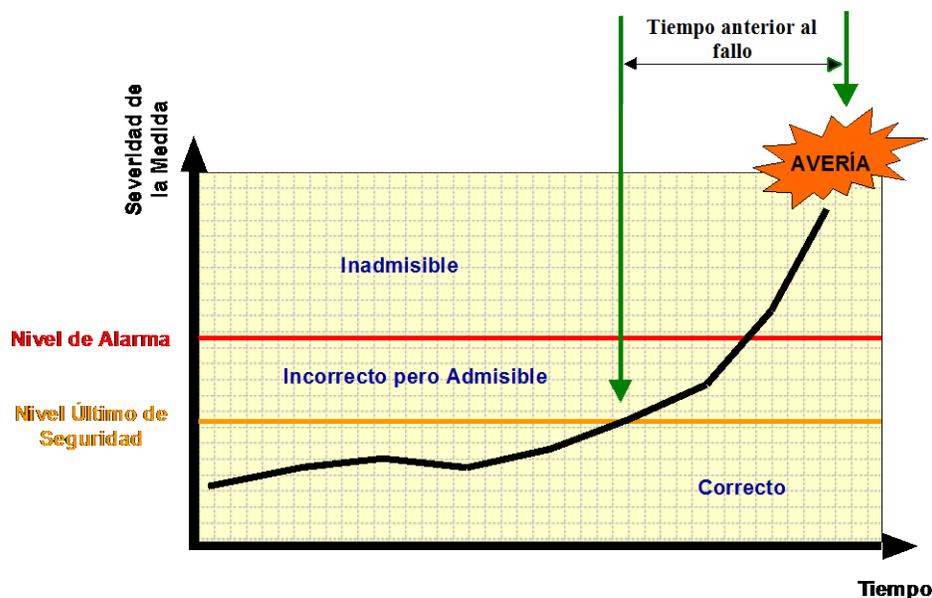


Figura 10.4-1: Tiempo anterior al Fallo

Un ejemplo de esto podría ser el siguiente: Limpiar el filtro de aceite cuando la presión diferencial a través de éste sea mayor de 10 bar.



La información sobre la condición de la máquina puede analizarse para llegar a determinar el modo de fallo presente y el tiempo estimado hasta la avería, para una gestión eficaz de:

- Los recursos de mantenimiento, optimizando las gamas de intervención periódicas planificadas, evitando el incurrir de modo sistemático en un submantenimiento (el elemento se avería sin haber sido intervenido) o en un sobremantenimiento (el elemento se reemplaza sin ser necesario),
- Los resultados del Mantenimiento, determinando las reformas constructivas y los modos operativos que eliminen o atenúen la causa raíz del fallo.

Mediante la monitorización se obtiene un conocimiento mayor de las máquinas, aumentando la seguridad del Buque y un control mayor acerca de la operación correcta de las máquinas, ya que en muchas ocasiones, el fallo está provocado por una mala operación o configuración del sistema asociado y no por un mal diseño del equipo.

En conclusión , el MBC es la combinación de una tecnología (“Hardware” y “Software”) y un equipo humano de personas formadas en las técnicas predictivas aplicables, dominadoras de las herramientas tecnológicas disponibles y experimentadas en la detección, el análisis, el diagnóstico y la gestión de averías. Entendiéndose como tales:

- Técnica predictiva: Tal como análisis de vibraciones, análisis de aceites, análisis de termografías, etc.,
- Tecnología predictiva: “Hardware” y “Software”, tal como por ejemplo un captador/analizador de vibraciones, un analizador de aceites, una cámara termográfica, etc.

Las ventajas que presenta el MBC son las siguientes:

- Se detectan e identifican precozmente los defectos, sin necesidad de parar y desmontar la máquina.
- Se sigue la evolución del defecto en el tiempo hasta que sea peligroso.



- Se puede programar el suministro de repuestos y la mano de obra, así como la parada para corrección dentro de una parada rutinaria.
- Se reparan las máquinas solamente cuando es necesario, por tanto se reduce el coste de mantenimiento.
- Se evitan la mayoría de las paradas por avería, con lo cual aumenta la disponibilidad del buque.
- Se evitan fallos repetitivos identificando y corrigiendo su origen,.
- Permite una selección satisfactoria de las condiciones de operación de la máquina.
- Se reduce el tiempo de reparación, ya que se tiene perfectamente identificada la avería y los elementos que han fallado.

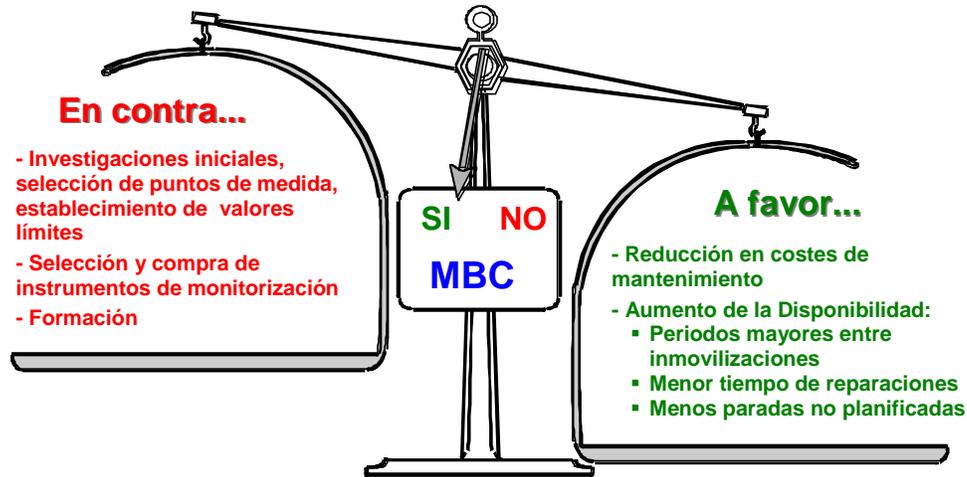
Ciertos estudios han mostrado que un MBC puede:

- Reducir los costes de mantenimiento de un buque respecto al Mantenimiento Preventivo hasta un 40 % en horas-hombre de mantenimiento,
- Aumentar la disponibilidad de un equipo,
- Aumentar la seguridad del buque.

En cambio, los inconvenientes de este tipo de Mantenimiento son los que siguen:

- Investigación y estudios iniciales seleccionando máquinas, identificando puntos de medida, seleccionando valores normales, límite y alarma,
- Inversión inicial (Selección de equipos preparados para el MBC y Compra de instrumentos de adquisición de datos y procesado),
- Formación de personal y equipo de especialistas de apoyo.

En la siguiente Figura 10.5-2 se resumen las ventajas e inconvenientes asociados a un MBC.



**Figura 10.4-2: Ventajas e Inconvenientes de un MBC**

Un concepto importante dentro del Mantenimiento Basado en la Condición es el de identificar los fallos potenciales, esta tarea ha de realizarse para todos los sistemas del Submarino durante la elaboración de las políticas de mantenimiento de los sistemas. De esta forma se identifican los parámetros a medir y los correspondientes límites aceptables de estos.

De cada equipo seleccionado como equipo susceptible de MBC se elabora una Ficha de Equipo, la cual refleja información del mismo, como por ejemplo: condiciones de operación, velocidad, carga, número de etapas, frecuencias excitadoras, frecuencias propias, número de bolas de rodamientos, método de transmisión (por ejemplo: correas o cardan), número de dientes de engranaje, etc. Un ejemplo de plantilla de Ficha de Equipo se muestra en el Apéndice II.

El MBC ha de asegurar el poder llevar a cabo las operaciones de:

- Recolección de datos,
- Almacenamiento de datos,
- Análisis de datos,
- Recomendaciones de acciones de mantenimiento.



El MBC puede ser concebido de forma que trabaje adquiriendo los datos en modo “on-line”, esto es, en continuo o cuasi-continuo, mediante la transmisión por medio de un cableado directo a Unidades de Adquisición de Datos (DAU) a bordo, o bien en “off-line” mediante aparatos portátiles siguiendo rutas que realiza un operador.

Existe MBC tipo “on-line” en servicio en algunos Buques de la Armada Española. En particular, se emplea el análisis de vibraciones en Buques de Superficie (por ejemplo: Fragatas F100 y futuros LHD, BAM y BAC).

Así mismo, encontraremos MBC tipo “off-line” en servicio en algunos Buques de la Armada Española. En particular, se emplea el análisis de vibraciones y análisis de aceites en Buques de Superficie (por ejemplo: Fragatas de la clase “Santa María” y Cazaminas de la clase “Segura”, Fragatas F100 y futuros LHD, BAM y BAC).

#### 10.4.1 *APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO AL SUBMARINO*

Para el Submarino, se recomienda que se aplique, al mayor número de equipos posible, el MBC cuando:

- El valor económico del equipo justifique el coste asociado con su inclusión en el MBC,
- No mermar la Fiabilidad y la Seguridad en Inmersión y a ser posible las aumente.
- El GRES del equipo sea alto (por ejemplo: GRES 3, 4 y 5),
- Se justifique por la Accesibilidad del equipo en cuestión,
- Disponibilidad de una técnica/tecnología predictiva útil en MBC.



**Figura 10.4.1-1: Mantenimiento Preventivo**

#### 10.4.2 *DATOS DE PROCESO, HISTÓRICOS Y TENDENCIAS*

El MBC deberá ir almacenando datos en un histórico tal y como lo realiza actualmente el Sistema Integrado de Control de la Plataforma (SICP). Datos que pueden ser representados gráficamente de modo que se correlacionen diferentes parámetros de los equipos e incluso situaciones del Buque (por ejemplo: hora, temperatura, fecha, presión, datos de navegación, etc.).

La serie de datos o puntos obtenidos en dicho gráfico forman el histórico. La línea de tendencia, es decir la variación del parámetro medido en el tiempo, se emplea para la predicción, también denominado análisis de regresión.

Se establecen unas tolerancias de desviación con respecto de la línea de tendencia a partir de la cual se crea una situación última de seguridad y si es más acusada de alarma.

Así mismo y como auxilio adicional, se podría recibir información predictiva de otras fuentes ajenas al MBC que pueden ser utilizadas por el operador/mantenedor a bordo, por ejemplo mediante el sistema de hidrófonos y acelerómetros pertenecientes al Sistema de Combate, cuya misión es la de conocer y minimizar el ruido propio del Submarino. Dicho sistema



podría dar una alerta, puesto que permite conocer la variación en los niveles de vibraciones generados por la maquinaria en zonas determinadas del Submarino, localizando así los posibles equipos responsables de la variación de la vibración; pero esto sería de forma independiente al SICP, ya que esta información no se encontraría disponible en éste.

## 10.5 RESPETOS A BORDO

El hecho de llevar a bordo todo lo necesario para reparar cualquier tipo de avería es utópico, ya que al final el submarino estaría rebosante de material. Por eso lo ideal es disponer de los repuestos y elementos requeridos para realizar la reparación de los ítems más susceptibles a sufrir averías y más críticos. Algunos ejemplos de respetos a bordo serían:

- Banda de reparación de mangueras.
- Pasadores.
- Grilletes.
- Cables de respeto.
- Set de fusibles.
- Cables eléctricos de respeto.
- Regletas de conexión.
- Set de bombillas de repuesto.
- Rodete de la bomba de agua.
- Correa del motor.
- Juego de tornillos, arandelas y tuercas de distintos tamaños.
- Grasa.
- Espray de aceite lubricante.
- Espray de silicona.
- Alambra.
- Tramo de manquera flexible de gas.
- Abrazaderas Inox.



- Kit de recambios WC.

## 10.6 HERRAMIENTAS Y EQUIPOS A BORDO

A bordo habrá que llevar un mínimo de herramientas que permitan efectuar las distintas tareas de mantenimiento y las pequeñas reparaciones que puedan ser necesarias, teniendo en cuenta que bastantes de estas tareas se realizarán en navegación. Las herramientas y útiles que resultaría interesante llevar a bordo son:

- Endoscopio.
- Analizador-comparador de aceite.
- Refractómetro de análisis de fluido refrigerante.
- Set de destornilladores.
- Set de llaves tubo.
- Set de llaves Allen.
- Set de llaves planas.
- Llaves inglesas (2 tamaños).
- Martillo.
- Mazo de goma.
- Soldador de estaño.
- Tijeras.
- Alicates.
- Alicates de pico de loro.
- Brochas de distintos tamaños.
- Cinta aislante.
- Remachadora manual.
- Mechero.
- Navaja o cuchillo.
- Cincel afilado.



- Kit de agujas.
- Punzón Inox.
- Linterna estanca.
- Bomba engrasadora.
- Llave afloja tornillos.
- Analizadores de vibraciones.
- Cámara termográfica.

## 11. POTENCIALES TÉCNICAS DE MBC Y SU APLICABILIDAD AL SUBMARINO

Existe una amplia variedad de técnicas que podrían ser utilizadas como parte de un Mantenimiento Basado en la Condición. A continuación, en los siguientes puntos, se hace una descripción de dichas técnicas por orden de mayor a menor aplicación potencial a bordo del Submarino.

Las técnicas predictivas que pueden constituir el MBC incluyen, pero no están limitadas a:

- Inspección Visual.
- Análisis de Datos de Proceso (por ejemplo: Temperatura, Presión, r.p.m., etc.).
- Análisis de Vibraciones en Máquinas Rotativas.
- Análisis de Aceites (Lubricantes e Hidráulicos).
- Análisis y Diagnóstico de Averías en Motores de Combustión Interna (Motores Alternativos).
- Control y Protección de la Estructura frente a Corrosiones.
- Análisis de Termografías (Inspección Termográfica).
- Equipos de Inspección Visual por Endoscopio.
- Análisis por Ultrasonidos.
- Análisis de Motores de Inducción.



## 11.1 ANÁLISIS DE DATOS DE PROCESO

### 11.1.1 *FUNCIÓN*

La vigilancia de los datos de los Parámetros de Proceso de los sistemas y equipos es la herramienta básica en un MBC. Estos datos se obtienen a través del Sistema de Control de la Plataforma (SCP) y son las variables escalares asociadas a la operación, control, vigilancia y alarma de la plataforma. Dicha información es almacenada directamente por el SICP y podría ser puesta a disposición/explotación por un MBC.

### 11.1.2 *DESCRIPCIÓN*

Los Parámetros de Proceso son valores escalares que se obtienen directamente de la variable física cuasi-estática medida (por ejemplo: revoluciones, temperatura de un fluido, presión en un conducto, velocidad de un fluido, etc.).

Estas variables cuasi-estáticas son capturadas por un sistema convencional de control. En el caso del Submarino será el Sistema Integrado de Control de la Plataforma (SICP) y se almacenarán en un disco para su futuro análisis, si fuera deseable (es decir, una “caja negra”).

Se podrá utilizar la información almacenada por el SICP creándose históricos, de los cuales se pueden obtener diagramas de tendencias de las variables y correlaciones entre variables. Las correlaciones entre las variables consisten en combinar la información disponible de forma que sea información útil y con valor para el mantenimiento, por ejemplo: potencia, rendimiento, etc.

Adicionalmente se podrían introducir valores límite últimos de seguridad y de alarma para que las variables medidas y las correlaciones puedan ser comparadas y de esta manera presentar información al operador respecto a las necesidades o posibles necesidades de mantenimiento de los equipos.



Debe tenerse en cuenta que los SICP instalados en los Buques de la Armada están dotados de la capacidad de almacenamiento de información y de alarmas generadas en la operación de los equipos para el control y la seguridad del Buque. De forma que se aumenta la funcionalidad del SICP al ser utilizado como parte de un MBC.

Exigirá un esfuerzo adicional de Ingeniería en la elección de los parámetros y los estados límite de los equipos y en el desarrollo de interfaces y programas que posibiliten esta funcionalidad. Estos parámetros podrán ser de muy diferente naturaleza, es decir, desde más sencillos (como podrían ser, por ejemplo, Número de Horas de Funcionamiento o Indicación de Estado ON/OFF del Equipo) hasta más complejos (como pueden ser Temperaturas o Presiones, por ejemplo).

Como ejemplo de la importancia de la vigilancia de los parámetros de proceso conjuntamente con las demás técnicas de monitorización, podemos considerar el caso de una bomba. Mediante el análisis de vibraciones se puede conocer cuál es la condición mecánica del equipo. Pero ninguna de estas técnicas da indicación del rendimiento de la bomba, de tal modo, que la bomba puede estar funcionando con un rendimiento menor del 50 % y un análisis de vibraciones no podría detectar esta condición. Si el MBC vigilara periódicamente las presiones de entrada y salida de la bomba y el consumo eléctrico de ésta, se podría determinar cuál es el rendimiento con el que está trabajando utilizando la curva de caudal de la bomba.

### 11.1.3 *APLICABILIDAD AL SUBMARINO*

Ver apartado 13.2.1

## 11.2 ANÁLISIS DE VIBRACIONES

### 11.2.1 *FUNCIÓN*

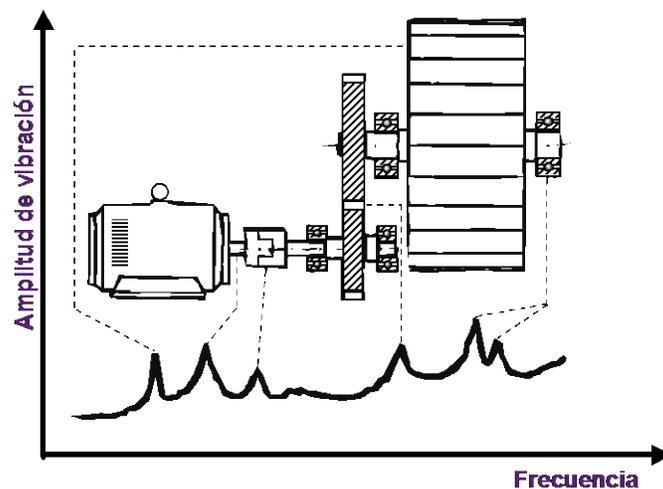
Dado que una parte importante de los sistemas y equipos montados a bordo del Submarino son partes móviles, el análisis de las vibraciones es una componente clave del MBC.



Esta técnica está limitada a la vigilancia de la condición mecánica de los equipos, y no otros parámetros críticos requeridos para mantener la fiabilidad y eficiencia de la maquinaria. Es por ello, que el análisis de vibraciones tiene ciertas limitaciones para vigilar procesos críticos y conocer el rendimiento de la maquinaria.

El análisis de las vibraciones se basa en los principios siguientes:

- Toda máquina cuando funciona correctamente, tiene un cierto nivel de vibraciones. Esto podría considerarse como el espectro base característica de esta máquina y de su funcionamiento satisfactorio. El espectro base contendrá picos de vibración a frecuencias discretas correspondiendo a las componentes del equipo (por ejemplo: engranajes, rodamientos, etc.), tal como se muestra en la siguiente Figura 11.2.1-1,



**Figura 11.2.1-1: Espectro Base**

- Cada defecto, aún en fase incipiente, lleva asociados unos cambios específicos en las vibraciones del espectro base, lo cual permite su identificación.

## 11.2.2 DESCRIPCIÓN

La implantación de un sistema de análisis de vibraciones consiste en lo siguiente:



## 1. Medición:

Para poder captar y cuantificar las vibraciones se recurre a convertirlas en señales eléctricas proporcionales, esto se consigue con un captador o transductor de vibraciones (Voltios y Amperios).

La efectividad del análisis de vibraciones requiere que la señal eléctrica presente la vibración con la mayor precisión posible. Por ello es de suma importancia la elección del captador más apropiado de los existentes en el mercado y la instalación en el lugar adecuado.

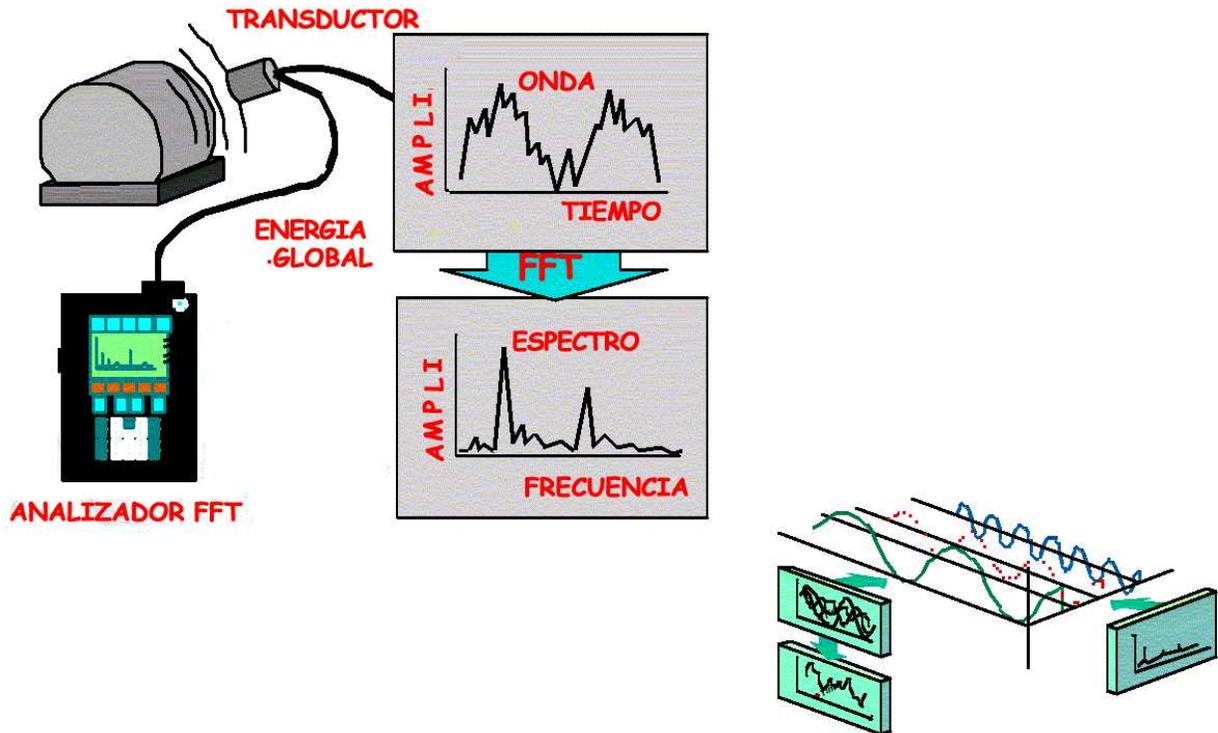
El captador puede ser de desplazamiento, de velocidad y de aceleración, según el parámetro que interese medir.

Un montaje seguro en la localización correcta y un cableado cuidadoso son imprescindibles también para garantizar unos buenos resultados.

Una vez realizada la instalación de los equipos se realiza una primera medida para definir el estado de correcto funcionamiento; con esta medida se confeccionan los gráficos de tendencia.

## 2. Tratamiento de la señal:

La presentación de la señal en un osciloscopio no permite efectuar un diagnóstico de averías. Para lograr esto será necesaria la descomposición de la señal de vibración en varios componentes armónicos simples de diferentes frecuencias mediante los Analizadores de Señales Dinámicas. Estos analizadores presentan el espectro de la vibración o gráficos de Amplitud-Frecuencia.



**Figura 11.2.2-1: Proceso de FFT - Gráfica de Diagnostico Espectral**

### 3. Diagnóstico:

La comparación del espectro obtenido en la máquina con el espectro base, por personal formado en el análisis de vibraciones, permitirá efectuar el diagnóstico de la avería o las posibles averías. Para hacerlo con la mayor efectividad posible será necesario tener el conocimiento suficiente de la máquina y de sus condiciones de operación: velocidad, carga, número de etapas, frecuencias excitadoras, frecuencias propias, número de bolas de rodamientos, números de dientes de engranaje, etc.

### 4. Asignación de los niveles último de seguridad y de alarma:

Se parametrizan las bandas de frecuencia de interés en función de los modos de fallo potenciales de cada máquina y se asignan los niveles de alerta y alarma para el control de condición operativa indicando al operador la existencia de niveles de vibración anormales.



Cuando se desarrolla un problema mecánico, se varían los picos asociados al espectro base que delata el origen del problema.

#### 5. Recomendaciones para el mantenimiento:

La emisión conjunta del diagnóstico e informe de la condición operativa con recomendaciones paliativas para las máquinas afectadas, al jefe de mantenimiento, completa el método.

En los puntos 1, 3 y 4 es fundamental la implicación del fabricante del equipo a monitorizar. La obtención de un espectro base es de la mayor importancia, y este modelo debe ser proporcionado por el fabricante del equipo, y si esto no fuera posible por la experiencia del Astillero (FAT, HAT y SAT). Debe tenerse en cuenta que existen muy pocos fabricantes con experiencia en los puntos 3 y 4 anteriores, por tanto, se prevé la asistencia de un contratista especializado en el análisis de vibraciones. A veces puede ser recomendable que este especialista sea el mismo suministrador de los dispositivos de monitorización.

Los dispositivos técnicos principales para la realización de esta técnica son:

- Sensores de vibración monoaxial, biaxial o triaxial.
- Colector/Analizador o Unidad de Adquisición de Datos (DAU),
- “Software” específico.

El sensor, denominado también en ocasiones captador, es el dispositivo que permite la conversión de un parámetro físico en una señal eléctrica. Los sensores miden la amplitud de la onda que es la intensidad o magnitud de la vibración, y es indicativa de la severidad de la misma, los más habituales son:

- Acelerómetros: Que expresan la amplitud como una aceleración (“g” RMS (eficaz)). Esta magnitud se utiliza para la medida de altas frecuencias (típicamente por encima de los 1.000 Hz) donde los cambios de velocidades son muy grandes,
- De velocidad: Que expresan la amplitud como una velocidad (“mm/s” RMS (eficaz) o “milésimas de pulgada/s” RMS (eficaz)). Es la magnitud más adecuada



para un rango medio de frecuencias (típicamente entre 10 y 1.000 Hz) donde se suelen presentar la mayor parte de los problemas mecánicos,

- De desplazamiento: Que expresan la amplitud como un desplazamiento (“micras” pico a pico o “milésimas de pulgada” pico a pico). Es la magnitud más adecuada para bajas frecuencias (típicamente hasta 10 Hz), donde las aceleraciones son bajas.

A su vez, cada uno de los tres anteriores tipos de captadores pueden ser monoaxiales, biaxiales o triaxiales.

El Colector/Analizador o Unidad de Adquisición de Datos (DAU) es el dispositivo que realiza el análisis y tratamiento de la señal y el diagnóstico. Dependiendo del modelo de que se trate, su configuración y características son muy variadas:

- “On-line” midiendo, en tiempo real o cuasi-real en multiplexado, varias máquinas,
- “Off-line”,
- Mono o multicanal,
- Aptitud para funcionar en condiciones atmosféricas desfavorables,
- Compatibilidad con los distintos sistemas operativos.

El rango de frecuencia a medir en vibraciones de los equipos es típicamente hasta 10 kHz. El colector/analizador emplea tratamientos de demodulación y procesamiento digital y presenta la información al operador en espectros en banda estrecha y/o banda ancha y/o, también, en un valor representativo global. Por tanto, en caso de que se adoptasen soluciones de medida continua (“on-line”), la señal eléctrica del sensor no sería posible introducirla en la red del SICP sin ser antes procesada digitalmente mediante una DAU.

Una variable dinámica captada (por ejemplo: voltios, amperios) procesada digitalmente (por FFT) ofrece información de valores escalares para posible detección de fallos y realización de gráficos de diagnóstico.

El análisis de vibraciones en máquinas rotativas es un método sobradamente probado que ha dado muy buenos resultados en muchos campos de la industria incluidos entre ellos la



Industria Marítima. El primero en emplear estas técnicas fue la US Navy, que comenzó a utilizar el análisis de vibraciones a partir de los años 60 con resultados excelentes, y la Armada Española está actualmente utilizando esta técnica en los arsenales de Ferrol, Cartagena y la Base Naval de Rota.

En equipos rotativos, los defectos que pueden ser detectados son los siguientes:

- Desequilibrios,
- Desalineaciones,
- Eje doblado,
- Desgaste de cojinetes,
- Inestabilidad del aceite,
- Excentricidad,
- Roces del rotor,
- Engranajes en mal estado,
- Barras de rotor rotas,
- Excentricidad del estator,
- Defectos en rodamientos.

Se recomienda la frecuencia de toma de datos tabulada, en función de su número de revoluciones y de su GRES, para los equipos a ser controlados por análisis de vibraciones. Como regla general, se aplicará esta periodicidad pero cuando se sospeche que un equipo está saliendo de su espectro base, se visitará más a menudo para confirmar y diagnosticar el problema.

### 11.2.3 *MONTAJE DE ACELERÓMETROS*

La localización exacta de la toma de datos y la forma de sujeción debe ser una propuesta a realizar por el fabricante del equipo a monitorizar, pero si esto no fuera posible se seguirán las normas generales siguientes:

En máquinas pequeñas se puede medir con un sólo punto,



En máquinas grandes se requiere un punto de medida radial por cojinete. También puede ser necesario un punto de medida axial, por ejemplo: como se muestra en la Figura 11.2.3-1.

Los métodos de sujeción, descritos en orden de mayor a menor excelencia, son los siguientes:

- *Fijo atornillado*: Es el mejor método, pero en ciertas circunstancias de ejecución difícil. Es de la mayor importancia contar con la colaboración de los suministradores de los equipos sobre los que se van a instalar los sensores,
- *Portátil mediante acople rápido*: Consiste en dos variantes, una es pegar una base o placa de montaje de acero inoxidable magnético al equipo, y la segunda variante sería el prescindir de la base magnética y unir la placa de montaje con el acelerómetro por medio de una rosca rápida (media vuelta),
- *Acelerómetro portátil sujetado a mano*: Es un sistema muy práctico, pero tiene los inconvenientes de que sufre variaciones de precisión sobre todo a las frecuencias altas ( $>2$  kHz). Este sistema, por tanto, no debe ser empleado pues se filtran de forma no intencionada, posibles elementos de juicio en el diagnóstico de los fallos.

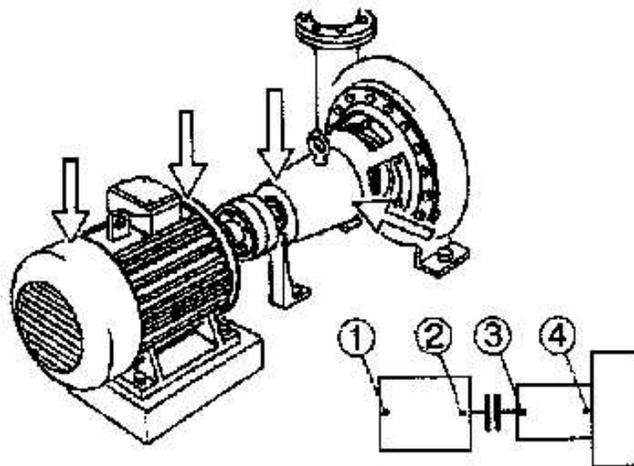


Figura 11.2.3-1: Montaje de acelerómetros en maquinaria grande



#### 11.2.4 *INTERPRETACIÓN DE ESPECTROS*

Una vez obtenidos de una forma metódica y precisa los datos de vibraciones de una máquina donde se ha detectado un problema, es necesario identificar cual ha sido su causa y así buscar la forma y momento de reparación más eficiente, es decir, que elimine el fallo y su coste económico sea el mínimo posible.

Un defecto puede localizarse al comparar las amplitudes de las vibraciones tomadas. Normalmente una máquina que funciona correctamente tiene valores que suelen seguir una línea con tendencia ligeramente ascendente o constante. Cuando en algún momento los valores aumentan o la tendencia asciende de una forma inesperada, se puede pensar en la presencia de algún problema.

Generalmente, los valores de la amplitud que se comparan son los de velocidad. Una vez observado que ésta ha aumentado de una forma inesperada, es importante comparar los valores de la energía de impulsos, estos valores indicarán la gravedad del problema. Así un fallo puede detectarse al encontrar una tendencia de velocidad ascendente de forma imprevista y unas aceleraciones altas.

También es posible que existiendo un problema haya valores de picos altos y de repente disminuyan y poco a poco aumenten, esto puede dar lugar a un fallo total, donde la máquina deje de funcionar. Valores altos de picos pueden ser indicadores en la mayor parte de los casos de problemas de rodamientos, acoplamientos y en los casos más extraños de problemas hidráulicos.

Generalmente, la amplitud máxima de vibración se da en los puntos donde se localiza el problema, aunque muchas veces la vibración es transmitida a otros puntos de la máquina aunque en ellos no se encuentre el problema. El análisis de los espectros puede indicar el tipo de defecto existente, pero muy pocas veces aparecen problemas únicos y por tanto espectros donde se refleje un defecto claramente. La experiencia y el conocimiento de la máquina son



dos factores fundamentales a la hora de identificar la causa que produce una vibración importante.

Es esencial, una vez corregido el problema, seguir la evolución de la reparación. De esta forma se conocerá si realmente existía el defecto, si estaba situado en el punto con máxima vibración y lo que es más importante, seguir la evolución tras la reparación y asegurarse que el problema ha desaparecido.

El estudio de los datos de vibraciones, de sus espectros, es la manera para encontrar las causas y la forma de corregir el defecto que ellas indican. Sólo es importante prestar especial atención a las vibraciones que vayan acompañadas de otros efectos como ruido, pérdida de aceite o cualquier fallo, o bien los valores de amplitudes que sean excesivos comparados con otros en funcionamiento correcto, en esos casos se analizará la forma de los espectros que identificarán las causas de los problemas.

Los problemas mecánicos más comunes en las máquinas que producen vibraciones son desequilibrio entre ejes, falta de alineación de acoplamientos, defectos en rodamientos y engranajes y problemas eléctricos.

#### 11.2.5 *APLICABILIDAD AL SUBMARINO*

Ver apartado 13.2.2

### 11.3 **ANÁLISIS DE ACEITES (LUBRICANTES E HIDRÁULICOS)**

#### 11.3.1 *FUNCIÓN*

El análisis de aceites es una técnica predictiva muy ventajosa dado que proporciona las informaciones siguientes de la condición del aceite y de los equipos:

- Degradación del aceite: Oxidación, nitratación, pérdida de viscosidad,
- Contaminación exterior, presencia de agua, polvo de sílice, etc.,
- Desgaste de la máquina.



Gracias a esta información es posible optimizar las acciones correctivas en el aceite, detectar anomalías en la instalación, y prevenir averías debidas a fenómenos como la fatiga, desgastes, abrasión, “pitting”, escarificación, exfoliación, etc.



**Figura 11.4-1: Diagnosticador de estado de aceite lubricante SKF-TMEH 1**

### 11.3.2 DESCRIPCIÓN

La técnica consta de las siguientes fases:

- Muestreo del aceite,
- Análisis del aceite, ya sea mediante medida magnetométrica del índice de la permeabilidad magnética del aceite, mediante medida del nivel de partículas contaminante, etc.,
- Informe en el que se indican las anomalías encontradas, generado automáticamente por el “software” específico de la técnica.

A la hora de realizar el muestreo es importante que el sistema de lubricación del equipo sea independiente del sistema de lubricación de otros equipos puesto que en caso contrario, de registrarse alguna anomalía se podría discernir su origen.

Para el análisis de aceite se podrían utilizar algunos de los medios siguientes:

- Un analizador simple portátil de aceites que indica el estado general de la muestra basándose en el nivel de partículas contaminantes. Indica cuándo el



estado de la muestra sobrepasa los límites aceptables, y cuándo es necesario un análisis más exhaustivo en laboratorio,

- Un ferrógrafo de lectura directa que mediante la medición de la permeabilidad magnética del aceite determinará qué muestra es problemática y cuál no,
- Envío de muestras al laboratorio para realizarles un análisis más exhaustivo y poder determinar las partículas contaminantes presentes en la misma y el posible origen de las mismas, utilizando las técnicas de espectrometría de emisión para análisis en general, espectrometría de absorción para degradación y contaminación, cromatografía de gases disueltos y ferrografía para medir la contaminación y el desgaste.

Tal como se puede apreciar, las posibilidades han sido clasificadas atendiendo al tamaño de las partículas que deseen ser detectadas. El analizador portátil detecta virutas y partículas de gran tamaño. Los ferrógrafos de lectura directa cubren el rango crítico de tamaños entre 1 y 250 micras. Por último, un espectroscopio puede detectar partículas incluso inferiores a 1 micra (hasta un tamaño de partícula de 3 micras se considera que el desgaste es normal).

Posteriormente, se descargan los datos recogidos por el analizador a la base de datos o se introducen manualmente si el análisis se ha realizado en el laboratorio; para su almacenamiento. La técnica se completa con la emisión del correspondiente informe de diagnóstico y recomendaciones.

Esta técnica se suele implementar en modo “off-line”.



### 11.3.3 *APLICABILIDAD AL SUBMARINO*

Ver apartado 13.2.4

## 11.4 ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE AVERÍAS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA (MOTORES ALTERNATIVOS)

### 11.4.1 *FUNCIÓN*

El atractivo de esta técnica radica en la posibilidad de detectar una serie de defectos en máquinas alternativas de varios cilindros que un simple análisis de vibraciones no consigue poner de manifiesto debido a que el espectro es demasiado nutrido.

Es una técnica de análisis muy interesante para la supervisión de máquinas alternativas, principalmente aplicable a motores de combustión interna, aunque es posible su aplicación a compresores alternativos y bombas de desplazamiento positivo de alta presión.

Se basa en la medición de las magnitudes siguientes:

- Presión dinámica de la cámara,
- Posición angular del cigüeñal,
- Vibraciones y Ultrasonidos,
- Presión y Temperatura estáticas en la aspiración y descarga,
- Punto de encendido (ciclo “Otto”).

No es imprescindible para una monitorización/supervisión correcta de un motor la recolección de todas esas magnitudes, solamente con la presión y posición del cigüeñal se puede hacer un análisis de la condición del motor de combustión.

Posteriormente, el sistema correlacionará las mediciones y presentará los resultados en forma de:

- Curvas de Presión - Ángulo de Cigüeñal,
- Ondas de Vibración,
- Ondas de Ultrasonidos - Curvas de Presión,



- Curvas de Ignición.

Los defectos que pueden ser detectados en motores de combustión son los siguientes:

- Desequilibrio de presiones de encendido,
- Fugas en las válvulas y segmentos de pistón,
- Camisas de cilindros rayadas o desgastadas,
- Defectos en las articulaciones de bielas,
- Daños en los apoyos de cojinetes,
- Defectos en los turbocargadores y bombas de agua y aceite,
- Exceso de vibración en la estructura de bancada,
- Potencia mecánica baja y consumo anómalo de combustible.
- En el caso de los compresores se pueden detectar:
  - Holguras mecánicas y cabeceo de los pistones,
  - Fugas en las válvulas y segmentos de pistón,
  - Pulsación,
  - Restricción del paso del fluido,
  - Descargadores tarados inapropiadamente,
  - Exceso de carga sobre las bielas,
  - Desgaste de camisas de los cilindros,
  - Pérdida de carga excesiva en las válvulas,
  - Capacidad mecánica baja.

#### 11.4.2 DESCRIPCIÓN

Existen varios productos comerciales de inspección. A continuación, se presentan dos alternativas posibles: una la tecnología “Windrock”, y otra el posible empleo de un colector bicanal convencional.



Para realizar las lecturas de presión se necesita que los cilindros de la máquina alternativa dispongan de las llamadas válvulas “Kiene”. Esta válvula es un dispositivo que en situación de medida permite insertar una sonda sin interferir el correcto funcionamiento del motor, y que en ausencia de sonda de presión queda cerrado al exterior (evitando fugas de la cámara). Por el lado de la rosca se realiza la instalación sobre la culata, en el otro extremo se enrosca la sonda de presión.

Esta técnica podría aplicarse tanto en modo “on-line” como “off-line”, en su caso.

#### 11.4.2.1 Tecnología Windrock

Para la toma de mediciones de ultrasonidos, vibraciones y temperaturas no se requiere ningún tratamiento ni mecanizado especial del cilindro.

La tecnología “Windrock” ofrece la posibilidad de monitorización en continuo (“on-line”) o el empleo de un equipo portátil (“off-line”).

La diferencia entre los dos sistemas radica en la necesidad en caso del “on-line” de sensores especiales para soportar las altas temperaturas, dado que estos estarán permanentemente fijados sobre el motor.

El analizador dispone de un acelerómetro y un sensor ultrasónico que permiten detectar vibraciones y golpes (por ejemplo: el picado de bielas).

El análisis de la señal con la muestra del gráfico correspondiente y la emisión de un diagnóstico en caso de detección de alguna anomalía completan esta técnica.

#### 11.4.2.2 Colector Bicanal Convencional

Dado que la compra de un sistema portátil de diagnóstico de motores diésel con la tecnología “Windrock” es una opción bastante cara (del orden de ocho veces el coste de esta alternativa), y ya que en el caso de los motores diésel de velocidad media lo que interesa conocer son el diagrama cerrado y el diagrama abierto en cada cilindro, se recomienda investigar la opción de un colector bicanal convencional.



Con este sistema únicamente se toman datos de presión en el interior del cilindro y la posición del cigüeñal mediante el citado colector bicanal. Con estos datos se pueden obtener el diagrama abierto (presión del cilindro en función de la posición del cigüeñal) y el diagrama cerrado (presión del cilindro en función del volumen de la cámara de combustión).

La presentación del diagrama abierto o cerrado, así como el cálculo del área de éste, se llevaría a cabo de un modo automático por un programa en un PC.

Para determinar la posición del cigüeñal puede utilizarse una lámpara estroboscópica acoplada al colector bicanal, o más sencillo una sonda tacométrica en el volante de inercia

#### 11.4.3 *APLICABILIDAD AL SUBMARINO*

Esta técnica de análisis de motores alternativos no es fácil de realizar a bordo del Submarino, mediante ninguna de las dos técnicas mencionadas, debido a la dificultad de encontrar motores cuya culata permita medir presión de combustión en cilindro.

### **11.5 MONITORIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA FRENTE A CORROSIONES**

#### 11.5.1 *FUNCIÓN*

La protección de la estructura frente a las corrosiones se puede abordar por cuatro técnicas diferentes, pero que son complementarias:

- La primera técnica básica consiste en el esquema de pintado (para proteger todo el buque),
- La segunda técnica se basa en la utilización de ánodos de sacrificio (para la protección local particular de las zonas en sombra para las corrientes impresas),
- La tercera técnica se basa en la monitorización del nivel de corrosión sufrido por la estructura,



- La cuarta técnica se basa en la utilización de corrientes impresas (para proteger todo el buque), es decir, se controla el nivel de corrosión, basándose en la monitorización por medio del circuito de corrientes impresas.

El sistema convencional (tradicional) que se emplea para proteger el casco de los buques de la corrosión es el resultado de aplicar las dos primeras técnicas mencionadas, es decir, por medio de un esquema de pintado y de la instalación de ánodos de sacrificio, que se inspeccionan y se reemplazan en periodos de tiempo determinados, períodos de inmovilización (esta solución forma parte del Mantenimiento Preventivo de la gran mayoría de los Buques actuales, y de los Submarinos de la Serie S-70).

Sin embargo, como evolución del sistema de protección, cada vez más buques emplean las diferentes técnicas comentadas, al principio de este apartado, simultáneamente, ya que, por ejemplo, se están introduciendo sistemas de protección galvánica por corrientes impresas en Buques de Superficie de la Armada (por ejemplo: Corbetas de la clase “Descubierta”, LPD de la clase “Galicia” y Fragatas de la clase F-100), los cuales formarán parte del Mantenimiento Basado en la Condición.

Si se instalase a bordo la técnica basada en la utilización de corrientes impresas, se podría disponer de información acerca del estatus de corrosión del casco y su esquema de pintado.

Con carácter altamente innovador, la US Navy está investigando la aplicación de sistemas de corrientes impresas en tanques en el interior del casco de buques de superficie (por ejemplo: LSD-47 USS “Rushmore”).

#### 11.5.2 DESCRIPCIÓN

La técnica de las corrientes impresas consiste en:

- Mantener la diferencia de potencial entre el casco y el agua de mar en tal nivel que evite al máximo posible la corrosión por reacción electroquímica mediante la



aplicación de una corriente eléctrica. Para ello se cuenta con unos electrodos de referencia y unos ánodos no consumibles,

- La monitorización del sistema de corrientes impresas se realiza por medio de los electrodos de referencia,
- Los ánodos de Titanio-Óxido de Rutenio/Iridio o Titanio platinado son los encargados de mantener la diferencia de potencial que provoquen el equilibrio.

Ventajas de las corrientes impresas:

- Reducción costes de mantenimiento,
- Predicción posibles fallos de la estructura aumentando la fiabilidad y disponibilidad del buque.

Inconvenientes de las corrientes impresas:

- Coste inicial alto,
- Empacho,
- Impacto en el balance eléctrico de un Submarino no nuclear,
- Aumento de las firmas eléctricas y electromagnética,
- Personal a bordo formado para el correcto empleo del sistema.

Esta técnica, en su caso, se podría aplicar tanto en modo “on-line” como “off-line”.

### 11.5.3 *APLICABILIDAD AL SUBMARINO*

La conclusión final a la que hemos llegado, es que esta técnica predictiva no debería ser aplicada o instalada a bordo del Submarino, como se comenta arriba, e ha optado por desestimar dicha técnica debido a sus inconvenientes.

No como técnica predictiva, para proteger el casco de los buques de la corrosión, se empleará el sistema convencional (tradicional) resultado de aplicar dos técnicas mencionadas al



principio de este apartado: el esquema de pintado y la instalación de ánodos de sacrificio, que se inspeccionan y se reemplazan en periodos de tiempo determinados, períodos de inmovilización.

## 11.6 ANÁLISIS DE TERMOGRAFÍAS (INPECCIÓN TERMOGRÁFICA)

### 11.6.1 *FUNCIÓN*

Esta técnica se fundamenta en el hecho de que todo objeto cuya superficie tiene una temperatura absoluta superior al cero absoluto radia energía con una longitud de onda que depende de la temperatura. Gracias a una imagen infrarroja esta energía radiada es transformada en una imagen del objeto. Variaciones de la temperatura puede indicar averías.



**Figura 11.6-1: Ejemplo cámara termográfica**

### 11.6.2 *DESCRIPCIÓN*

El equipo necesario consiste en una cámara infrarroja y un monitor de vídeo. La cámara susceptible solo a la radiación infrarroja convierte el calor en una señal eléctrica que después se muestra como una imagen del objeto en tiempo real en el monitor, los componentes del sistema aparecerán reflejados en distintos colores dependiendo de su temperatura. Gracias a



su “software” el sistema tiene capacidad para guardar las imágenes tomadas y asignarlas a cada máquina en concreto y generar un histórico de la misma.

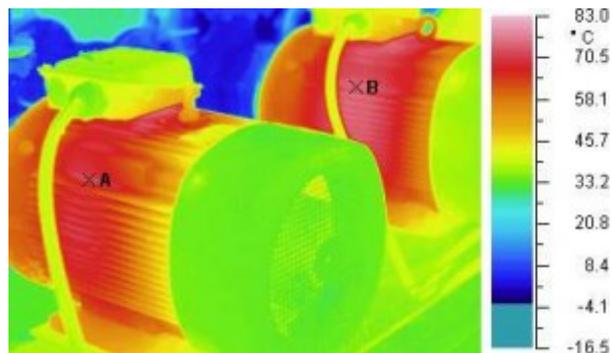
La termografía infrarroja es útil en la inspección de equipos eléctricos para detectar componentes y conexiones defectuosas. Las vibraciones, la contaminación química, la corrosión, la fatiga y los defectos de montaje incrementan la resistencia eléctrica y como consecuencia se produce un aumento de temperatura. Con este sistema de infrarrojos estos incrementos de temperatura pueden ser rápidamente detectados.

Las desventajas de este sistema es que es un sistema caro y ha de realizarse la termografía durante la operación normal del equipo, con apertura de armarios y carcasas de equipos, y esto en el caso particular de un Submarino puede no ser posible.

Los equipos a que se puede aplicar son principalmente eléctricos (por ejemplo, cuadros principales y secundarios, centros de carga, conmutadores, baterías, generadores, motores eléctricos, etc.).

Los sobrecalentamientos detectados son clasificados según un grado de severidad que permiten decidir que se pueden llevar a cabo.

Se trata de una técnica aplicable solo en modo “off-line” y “off-line”.



**Figura 11.6-2: Ejemplo aplicación termografía**



### 11.6.3 *APLICABILIDAD AL SUBMARINO*

Ver apartado 13.2.3

## 11.7 **EQUIPOS DE INSPECCIÓN VISUAL POR ENDOSCOPIA**

### 11.7.1 *FUNCIÓN*

La inspección boroscópica es una técnica que es bien conocida en el ámbito del mantenimiento y que, la Armada Española, ya utiliza en las inspecciones realizadas en los Motores de Combustión y en las Turbinas de Gas LM-2500 montadas en sus Buques.

Principalmente, las inspecciones boroscópicas se utilizan como ayuda en la inspección visual interna del equipo y como prevención de daños en piezas internas.



**Figura 11.7-1: Endoscopio para inspección visual remota**

### 11.7.2 *DESCRIPCIÓN*

En los motores diésel se puede inspeccionar la cámara de combustión explorando la camisa del cilindro, la cabeza del pistón, la culata y válvulas. El endoscopio se introduce al desmontar la válvula de inyección de combustible.



La desventaja es que es una técnica intrusiva en la que hay que desmontar parte del equipo, por lo que esta técnica es aconsejable utilizarse dentro del MBC en estudio del Submarino, ya que en este caso no resulta ser técnicamente viable.

### 11.7.3 *APLICABILIDAD AL SUBMARINO*

Esta técnica predictiva no es aconsejable utilizarse a bordo del Submarino, como se comenta en el apartado anterior.

## 11.8 ANÁLISIS POR ULTRASONIDOS

### 11.8.1 *FUNCIÓN*

Esta técnica se basa en el hecho de que todos los fallos operativos y de fugas en equipos son causa de una emisión ultrasónica o sonidos de alta frecuencia.

Cuando un fluido se desplaza a través de una fuga, de la zona de alta frecuencia a la zona de baja frecuencia, la rápida expansión del mismo causa turbulencias y estas turbulencias llevan asociado componentes ultrasónicos. Generalmente estos ultrasonidos tendrán una longitud de onda corta y las ondas cortas tienden a propagarse en una única dirección. Debido a esa característica, aislar este sonido de los sonidos de fondo y localizar su procedencia será relativamente fácil.



**Figura 11.8-1: Portable detector de defectos por ultrasonidos**



### 11.8.2 DESCRIPCIÓN

Su campo de aplicación es la industria química y petroquímica, distribución de gas, industria papelera, generación y distribución de potencia, aviación, industria naval, etc. Concretamente, en el campo de la industria naval sus aplicaciones son las siguientes:

- Pruebas de estanqueidad estructural,
- Detección de fugas en sistemas neumáticos,
- Detección de fugas en válvulas,
- Problemas de lubricación en cojinetes: Detecta faltas de lubricación, “sobrelubricación” y puede usarse en cojinetes de alta y baja velocidad. En este caso en concreto, conviene destacar que la combinación de la técnica de ultrasonidos con el análisis de vibraciones ha dado resultados excelentes,
- Fugas en el sistema de refrigeración,
- Malas conexiones eléctricas, problemas de arcos eléctricos, falta de aislamiento, análisis de descargas parciales y efecto corona,
- En estos casos se recomienda la utilización de esta técnica como técnica complementaria a la termografía,
- En intercambiadores de calor, calderas, y condensadores detecta fugas en tuberías y en la carcasa.
- Control de la correcta operación de purgadores de vapor,
- Detección de cavitación en bombas.

### 11.8.3 APLICABILIDAD AL SUBMARINO

Esta técnica sólo sería aplicable a bordo del Submarino en modo “off-line”, pero de todos modos, esta técnica predictiva no va a ser utilizada o aplicada dentro del MBC en este estudio,



ya que en este caso no resulta ser de gran utilidad en comparación con el resto de técnicas que serán utilizadas dentro de este MBC en estudio.

## 11.9 ANÁLISIS DE MOTORES DE INDUCCIÓN

### 11.9.1 *FUNCIÓN*

El análisis de motores de inducción puede abordarse por dos técnicas básicas predictivas, que son, complementarias. La primera es el análisis de vibraciones, ya descrito en el apartado 11.2, y la segunda, denominada análisis de motores de inducción, que se describe a continuación.

### 11.9.2 *DESCRIPCIÓN*

El análisis de motores de inducción consiste en:

- El análisis de vibraciones podría detectar, aparte de las vibraciones mecánicas, desequilibrios entre el rotor y el estator, daños en los devanados del estator y en los aislamientos, etc.,
- Con el análisis de motores de inducción, propiamente dicho, podremos detectar resistencias anormalmente altas en el rotor, defectos en las uniones soldadas, malas conexiones, barras del rotor rotas, etc. La técnica consiste en realizar las dos mediciones siguientes:
  - Medida de la corriente de alimentación con la pinza amperimétrica: Esta medida puede realizarse bien en los cables de alimentación, bien en el amperímetro del cuadro de control,
  - Medida de dispersión del flujo magnético con una sonda montada sobre el estator del motor.

La pinza amperimétrica puede ser conectada a los colectores de datos propios del análisis de vibraciones.



El último paso es la generación del informe de diagnóstico, en el que se indica el tipo de problema, la sintomatología del mismo y las recomendaciones paliativas.

Los componentes técnicos para poder realizar este análisis son: pinza amperimétrica, colector de datos y “software” específico.

Existen en el mercado “sondas inteligentes” portátiles que supone la integración de 4 tipos distintos de sensores para la captura, almacenamiento y análisis de datos predictivos:

- Eléctricos: Para análisis del flujo magnético de dispersión,
- Mecánicos: Para análisis de vibraciones mecánicas,
- Térmicos: Para medida de la temperatura de la carcasa del motor y la temperatura ambiente,
- Operativos: Para las medidas de r.p.m., % de carga, arranques y paradas y tiempo de operación.

Los datos se transfieren a un PC compatible para su análisis, elaboración de informes y la presentación de resultados.

### 11.9.3 *APLICABILIDAD AL SUBMARINO*

Esta técnica, como tal (que sólo es aplicable a motores de inducción asíncronos), parece aconsejable para ser utilizada dentro del MBC en estudio del Submarino, puesto que:

- en el caso del MEP, éste es un motor de imanes permanente síncrono y se encuentra, por tanto, fuera de su campo de aplicación,
- y para el resto de motores de inducción AC con rotor de jaula de ardilla del Submarino, esta técnica no resulta ser técnicamente viable, puesto que se trata de motores de pequeña y media potencia, y por tanto no muy grandes de tamaño, con lo que éste no sería compatible con el tamaño del dispositivo a instalar en estos para poder aplicar esta técnica predictiva.



## 12. MOMONITORIZACIÓN “ON-LINE” Y “OFF-LINE”

Algunos equipos del Submarino podrían estar monitorizados permanentemente (en modo “on-line”), y otros podrían estarlo de forma “off-line” (se añadirían al sistema con el auxilio de un colector de datos portátil, el cual se empleará para la toma de datos a la conveniencia del operador). Dicho colector de datos podría procesar las mediciones de la misma manera que lo hace la parte “on-line” del sistema, y así, las mediciones tomadas con los colectores de datos portátiles serían descargadas al ordenador de MBC para la detección de fallos, análisis y almacenaje de datos.

A continuación, pasamos a describir, de forma general, cada una de estas dos posibles opciones

### 12.1 MONITORIZACIÓN “ON-LINE”

La monitorización “on-line” consiste en que se está permanentemente captando los datos desde los sensores instalados en los equipos a diagnosticar. El MBC está funcionando al completo desde los sensores hasta las Consolas de Operador (CPB “Consola de Propulsión y Baterías” y CSI “Consola de Seguridad en Inmersión”) y ordenadores. Se realiza automáticamente la detección en modo rutinario de comparación de los parámetros monitorizados con los límites de alarma. Se requiere únicamente la intervención posterior de un operador en caso de que se supere algún límite de alarma registrado por el sistema; el operador puede investigar las causas de la alarma y analizar las tendencias.

El almacenamiento de datos de proceso del que se encarga de modo automático.

Un MBC “on-line” consta de un “hardware” compuesto por unos sensores fijos permanentemente a las maquinas a diagnosticar, cableados hasta las Unidades de Adquisición de Datos (DAU) (en caso de que éstas sean necesarias), una interface con el SICP por medio de las Subestaciones Locales (LSS) y un servidor de discos donde se almacena toda la información recogida. Además, consta de un “software” que está procesando continuamente en automático, comparando los niveles de los equipos con sus



estados límite y dando alarmas si fuera necesario. El diagnóstico y análisis de tendencias se puede efectuar en tiempo real o simplemente almacenando la información para posterior estudio.

Se pueden presentar dos posibilidades, según se estén captando datos en paralelo a todos los equipos simultáneamente (en caso que los que el análisis en régimen transitorios sea importante), o bien mediante un multiplexado, en donde según una secuencia establecida, se van interrogando sensores uno tras otro. Esta última posibilidad exige del equipo de monitorización unas menores prestaciones en cuanto a velocidad de proceso.

## 12.2 MONITORIZACIÓN “OFF-LINE”

La monitorización “off-line” consiste en que un operador capta los datos manualmente realizando una ruta de recolección, con el auxilio de un colector/analizador de datos portátil, por el Submarino con una periodicidad establecida (por ejemplo: mensual). Las mediciones tomadas con los colectores de datos portátiles serían descargadas en una unidad de almacenamiento de datos para su posterior diagnóstico y análisis de tendencias.

Para facilitar la comparación de los parámetros capturados (repetibilidad), se deberían medir los equipos bajo las mismas condiciones de trabajo (por ejemplo: en condición “snorkel” a 8 nudos) con la misma configuración de los sistemas en operación. Debe tenerse en cuenta que en un buque de guerra es muy difícil conseguir que las condiciones de entorno y configuración de los sistemas a bordo estén iguales cada vez que se captura la información, por ello podría ser difícil diferenciar potenciales fallos de equipos o variaciones de entorno de trabajo.

El almacenamiento de los datos de proceso del que se encarga de modo totalmente “on-line” el SICP seguiría corriendo de modo independiente.

Un MBC “off-line” consta de un “hardware” que es el ya comentado colector/analizador de datos portátil junto con sus sensores que pueden estar fijos o no a los equipos, dependiendo



de la posibilidad de acceso, y además consta también de un “software” que preferiblemente estará instalado en tierra donde se realizan los diagnósticos y análisis de tendencias.

En esta modalidad de MBC ha de tenerse en cuenta la necesidad de un personal específicamente dedicado a la recopilación de los datos realizando rondas periódicas.

Dada la dificultad de acceso a ciertos equipos del Submarino se podrían instalar en estos los sensores permanentemente y así, se podría acceder a ellos a través de cajas de conexionado.

### 12.3 COMPARACIÓN “ON-LINE/OFF-LINE”

En la siguiente Tabla 12.3 1 se comparan las Ventajas e Inconvenientes de las Configuraciones “On-Line” y “Off-Line”:

	Ventajas	Inconvenientes
“On-line”	<ul style="list-style-type: none"> <li>– No requiere personal dedicado a bordo,</li> <li>– Alta fiabilidad de los datos monitorizados,</li> <li>– Produce alertas y alarmas en tiempo real.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Coste inicial alto,</li> <li>– Requiere instalación de varios equipos a bordo,</li> <li>– Instalación fija a equipos determinados,</li> <li>– Requiere personal cualificado para instalar/desinstalar equipos monitorizados.</li> </ul>
“Off-line”	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Coste inicial bajo,</li> <li>– Monitorización de cualquier equipo,</li> <li>– Pocos equipos a bordo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Necesidad de personal dedicado a bordo,</li> <li>– Fiabilidad reducida de datos,</li> <li>– No existen alarmas ni alertas.</li> </ul>

**Tabla 12.3-1: Comparación de las Configuraciones “On-Line” y “Off-Line”**



### **13. PROPUESTA MBC PARA EL SUBMARINO**

En este apartado se presenta la Propuesta de MBC para el Submarino, desarrollando, de forma preliminar, los resultados de los procesos identificados en el Organigrama para la Implantación de un Programa de MBC en el Submarino (ver el Apéndice I).

#### **13.1 ANÁLISIS DE LAS PRÁCTICAS Y EXPERIENCIAS EXISTENTES EN MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICIÓN EN LA ARMADA**

Como antecedentes a la implantación del MBC en el Submarino, existe el estudio de su implantación en las Fragatas de la Clase F-100.

Dicho estudio tenía como objetivo:

- Efectuar un análisis de las herramientas “hardware” y “software” específicos de MBC disponibles en el mercado,
- Seleccionar una serie de equipos de la Fragata F-100 susceptibles de la aplicación de técnicas de MBC,
- Definición de la estrategia a seguir para la implantación de un Sistema de Mantenimiento Basado en la Condición en las Fragatas F-100.

Las conclusiones obtenidas de tal estudio son las siguientes:

- Existe el “software” y “hardware” comercial capaz de integrar todas las tecnologías de MBC que se consideran de aplicación a bordo de un buque de guerra y es posible su integración con el SICP,
- La Armada Española ya está aplicando actualmente algunas de las técnicas predictivas que se han analizado en este estudio, aunque no ha sido implantado hasta el momento a bordo de ningún buque, como un sistema integrado.



## 13.2 LISTA DE EQUIPOS CANDIDATOS AL MBC Y TÉCNICAS APLICABLES

De las técnicas predictivas posibles a emplear en el Sistema de Mantenimiento Basado en la Condición, se consideran aplicables en el estado actual del Proyecto del Submarino las técnicas que se comentan a continuación.

Técnica	Aplicable	Comentarios
<i>Datos de Proceso</i>	Sí	Datos de proceso vigilados y registrados por el SICP. Susceptible de ser empleado por el MBC “On/Off-Line”
<i>Análisis de Vibraciones</i>	Sí	Lista de equipos a monitorizar mediante la técnica de Análisis de Vibraciones en el MBC “Off-Line”  <i>Off-Line</i> : Rutas con colectores de datos que se integran en el SICP.
<i>Análisis de Motores Alternativos</i>	No	En Motor MTU396, que previsiblemente llevará nuestro submarino, ninguna de las dos configuraciones de culata existentes para este motor permiten medir presión de combustión en cilindro actualmente.
<i>Análisis de Aceites</i>	Sí	Modo “Off-Line”: Toma de muestras y análisis en tierra por laboratorio.
<i>Monitorización Corrosión Estructura</i>	No	Tras tantear mercado de corrientes impresas, se desestima la instalación a bordo de esta técnica, debido a sus inconvenientes.
<i>Endoscopia</i>	No	Solo aplicable en periodos de inmovilización y cubierto por el análisis de motores alternativos, no resulta ser técnicamente viable.
<i>Análisis de Motores de Inducción</i>	No	No es aplicable a motores de imanes permanentes.  Se medirán las variables de proceso y las vibraciones en los motores eléctricos principales.
<i>Termografías</i>	Sí	Modo “Off-Line”, sin interferir funcionamiento normal de los cuadros y convertidores eléctricos.
<i>Ultrasonidos</i>	No	Esta técnica no va a ser utilizada, ya que en este caso no resulta ser de gran utilidad en comparación con el resto de técnicas que serán utilizadas dentro de este MBC.

**Tabla 13.2-1: Técnicas de MBC Aplicables a un Submarino**



Del mismo modo, para el Submarino, se considera que las técnicas de MBC que son susceptibles de ser utilizadas en modo “on-line” y “off-line” son las siguientes:

	“On-Line”	“Off-Line”	Experiencia en la Armada
<i>Datos de Proceso</i>	Sí	Sí	Sí
<i>Análisis de Vibraciones</i>	No	Sí	Sí
<i>Análisis de Motores Alternativos</i>	No	No	No
<i>Análisis de Motores de Inducción</i>	No	No	No
<i>Monitorización Corrosión Estructura</i>	No	No	No
<i>Análisis de Aceites</i>	No	Sí	Sí
<i>Endoscopia</i>	No	No	Sí
<i>Termografías</i>	No	Sí	Sí
<i>Ultrasonidos</i>	No	No	No

**Tabla 13.2-2: Técnicas de MBC aplicables al Submarino objeto**

### 13.2.1 DATOS DE PROCESO

Esta técnica predictiva podría ser aplicada a bordo del Submarino tanto en modo “on-line” como en modo “off-line”, pero principalmente sería en modo “on-line”, aprovechando para ello la gran cantidad de información que recoge el SICP.

### 13.2.2 ANÁLISIS DE VIBRACIONES

Esta técnica predictiva sería aplicada a bordo del Submarino sólo en modo “off-line” ya que no creemos conveniente en este caso su aplicación en modo “on-line”, debido a que por los



tipos de equipos instalados a bordo del Submarino no estimamos necesaria una monitorización “on-line” de estos, además de no desear hacer más complejo el Submarino con la instalación de nuevos dispositivos/sistemas.

Para el caso concreto del MEP, comentar que se propone el empleo del análisis de vibraciones sólo en modo “off-line” debido a que:

- tras consulta con el fabricante, éste indica que el equipo va suficiente monitorizado con los 4 sensores de temperatura que ya lleva, y que darían una alarma temprana de un posible fallo en los cojinetes del MEP (principal fallo potencial de éste),
- las bajas r.p.m. del MEP a las que como mucho éste girará (del orden de 150 r.p.m., con avante máximo) no justifican el empleo del análisis de vibraciones en modo “on-line”, pues dicho análisis en modo “off-line” puede garantizar una precoz detección de fallo. En otras palabras, en caso de aparición de un fallo, éste no degenerará con la rapidez que justifique el empleo de un análisis de vibraciones en modo “on-line”.

Por lo tanto, según todo esto, como conclusión se propone el análisis de vibraciones en modo “off-line” para el MEP.

### 13.2.3 *ANÁLISIS DE TERMOGRAFÍAS (INSPECCIÓN TERMOGRÁFICA)*

Esta técnica predictiva sería aplicada a bordo del Submarino en modo “off-line”, tal y como se puede observar en la Lista elaborada con los Equipos Candidatos al MBC.

### 13.2.4 *ANÁLISIS DE ACEITES (LUBRICANTES E HIDRÁULICOS)*

Esta técnica predictiva sería aplicada a bordo del Submarino en modo “off-line”, tal y como se puede observar en la Lista elaborada con los Equipos Candidatos al MBC.

## 13.3 FICHAS MÁQUINAS

De cada equipo seleccionado como equipo susceptible de Mantenimiento Basado en la Condición se elaborará una Ficha de Equipo, la cual reflejará información del mismo, relevante para el MBC, como por ejemplo: condiciones de operación, velocidad, carga,



número de etapas, frecuencias excitadoras, frecuencias propias, número de bolas de rodamientos, número de álabes, método de transmisión (por ejemplo: correas o cardan), números de dientes de engranaje, etc., así como el tipo/s de técnicas a aplicar en el MBC



## FICHA DE MÁQUINA

FECHA \_\_\_\_\_

MÁQUINA \_\_\_\_\_

LOCAL \_\_\_\_\_

CÓDIGO \_\_\_\_\_

PERIODICIDAD \_\_\_\_\_

CRITICIDAD \_\_\_\_\_

### MOTOR:

Tipo.....  
Fabricante ...  
Modelo.....  
Nº Serie....  
Potencia....  
R.P.M.....  
Voltaje.....  
Corriente....  
Nº Polos....  
Nº Barras ...  
Velocidad ...  
Nº Ranuras.  
Carga %....

### COJINETES / RODAMIENTOS:

C / R	Posición	Marca y Número	Nº Bolas/Rodillos	Diámetro	R.P.M.

### ACOPLAMIENTO:

Tipo..... Características.....

### CORREAS :

Tipo..... Nº de Correas..... Nº Dientes.....  
Longitud Correa..... Ø Polea 1..... Ø Polea 2.....

### CAJA DE ENGRANAJES:

Índice.....  
Nº Dientes.....  
Velocidades.....

### RODETE:

R.P.M.....  
Nº de Álabes ...

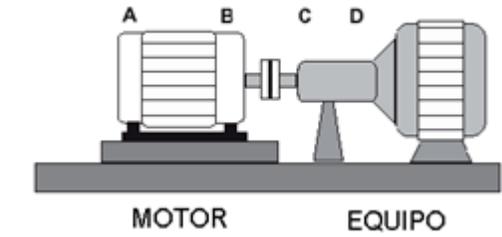




### CROQUIS DE LA MÁQUINA

#### VIBRACIONES:

Puntos de Medida:



### VARIOS (FOTOS)



### 13.4 CONFIGURACIÓN DE UN MBC “ON-LINE”

Una de las reglas de partida en la concepción del MBC es el de aportar la cantidad mayor de información, para un diagnóstico correcto, con la simplicidad mayor posible para la plataforma y reducir las tareas del personal embarcado.

Como consecuencia de la evaluación efectuada durante el presente documento, a continuación se establece una propuesta para el diseño del MBC en modo “on-line” para los Datos de Proceso del Submarino. La arquitectura del sistema se descompone en la arquitectura “hardware” y en la arquitectura “software”.

A modo de comentario o ejemplo, mencionar que para la diagnosis de los motores diésel, los datos de proceso típicos de los diésel (r.p.m., temperatura de los gases escape de los cilindros, temperatura de los gases de escape a la entrada de la turbo, temperatura de los gases de escape a la salida de la turbo) ya se toman en continuo por parte del SCIP (“on-line”), pero el análisis de estos datos, propiamente dicho, se recomienda hacerse en puerto, dado el gran tiempo y complejidad que supone el manejo y estudio de esta extensa cantidad de datos.

#### 13.4.1 ARQUITECTURA “HARDWARE”

El MBC ha de integrarse en el Buque como un Subsistema del Sistema Integrado de Control y Supervisión de la Plataforma (SICP). El MBC no deberá afectar a las prestaciones del SICP respecto al control de la plataforma ni de la seguridad del Submarino.

El SICP es un sistema integrado de arquitectura distribuida basado en autómatas industriales para la adquisición y proceso de señales, una red de alta capacidad de fibra óptica utilizando protocolos TCP/IP y consolas de operador basadas en modificar con pantallas, todo ello bajo entorno Windows. Por tanto, el “hardware” y “software” utilizado por el MBC para procesamiento de datos y de interface hombre-máquina será compatible para la integración con el SICP.



De esta forma, las estaciones de trabajo del MBC serán las propias consolas del SICP (VDU) y la impresora de color necesaria para la impresión de informes y gráficos será, asimismo, la impresora del módulo de impresoras del SICP.

Las consolas del SICP, actuarían como clientes presentando los datos históricos, que se adquirirían de la Base de Datos de los Datos de Proceso del SICP en la unidad de almacenamiento que actuase como servidor. En principio, la configuración propuesta es un puesto con acceso pleno de lectura y escritura (Estación de Supervisor) e ilimitados accesos de lectura (Clientes).

La filosofía de trabajo del MBC es la siguiente:

- Recolección y almacenamiento de datos durante el funcionamiento normal del Buque,
- En modo automático, el MBC comparará los valores obtenidos actuales y los contrastará con los valores límites, de modo que pueda generar avisos y alarmas en tiempo real,
- Se podrán enviar los datos al organismo de mantenimiento en tierra de la Armada que realizará los análisis, recomendaciones y seguimientos oportunos.

La ruta de información para los Datos de Proceso será la siguiente:

- Captación de Datos por el SICP,
- Almacenamiento de la información en las propias Consolas de Operador (CPB “Consola de Propulsión y Baterías” y CSI “Consola de Seguridad en Inmersión”),
- A través de las Consolas de Operador y mediante el empleo de aplicaciones “software” de MBC de datos de proceso, se procesará automáticamente la información y se obtienen alarmas y avisos,
- Posterior envío a un organismo en tierra de los históricos.



#### 13.4.2 ARQUITECTURA “SOFTWARE”

El “software” de infraestructura que proporcionará todos los servicios necesarios para comunicaciones, control y gestión de recursos será el Sistema Operativo Windows.

En cuanto al “software” de aplicación es necesario, la adquisición o desarrollo de paquetes o funcionalidades de diagnóstico.

#### 13.5 CONFIGURACIÓN DE UN MBC “OFF-LINE”

Como consecuencia de la evaluación efectuada en el presente documento, a continuación se establece una propuesta para el diseño del MBC en modo “off-line” del submarino convencional. Esta opción del MBC es una solución de complejidad menor que la anterior.

El Análisis de Aceites se realizaría en modo “off-line”, al igual que ocurriría con el Análisis Termográfico, el Análisis de Vibraciones y algunos Datos de Proceso de Equipos correspondientes al Análisis de Datos de Proceso que se analizasen de esta forma.

La arquitectura del sistema se descompone, al igual que en el apartado anterior, en la arquitectura “hardware” y en la arquitectura “software”.

##### 13.5.1 ARQUITECTURA “HARDWARE”

Este MBC será un sistema independiente del SICP.

La filosofía de trabajo del MBC es de recolección de los datos de vibraciones en modo manual y almacenamiento de datos de proceso durante el funcionamiento normal del Submarino, así como de imágenes termográficas provenientes del análisis termográfico y de otros datos procedentes del análisis de aceites, para almacenamiento en el servidor de discos y envío a tierra donde el departamento de mantenimiento realizará los análisis, recomendaciones y seguimientos oportunos.

En este caso, el MBC es un sistema ajeno al SICP, con el que se tendrá una interfaz, en este caso a través de un driver ODBC. El software de análisis de vibraciones y demás, correrá en



las consolas, pero no estará integrado en la aplicación HMI, únicamente se incluirá un acceso directo en la aplicación para ejecutar dichos programas.

Se instalará un servidor de discos como base de datos, que estaría alimentada por todos los datos “off-line” mencionados arriba que se introducirían en esta base de datos desde los colectores portátiles o por introducción manual por el teclado u otro medio adecuado a cada caso en cuestión.

El sistema de MBC dispondrá de:

- 1 Colector de Datos/Analizador portátil de vibraciones con acelerómetro monoaxial,
- Cajas de Conexionado (para el Análisis de Vibraciones) en caso de que éstas sean necesarias,
- 1 Cámara Infrarroja,
- 1 Analizador de Aceites,
- 1 Servidor de Discos para almacenar todos los datos de recolectados procedentes de las diferentes técnicas predictivas aplicables en modo “off-line”.

Se estima que en una operación normal, en el transcurso de una misión tipo, se realizará una ronda, cada 30 días, que incluya la monitorización de todos los equipos, si se tuviese sospechas de que alguno de los equipos pueda estar entrando en algún modo de fallo se debe aumentar la frecuencia de inspección.

Como ya se comentó con anterioridad, para facilitar la comparación de los parámetros capturados (repetibilidad), se deberían medir los equipos bajo las mismas condiciones de trabajo (por ejemplo: en condición “snorkel” a 8 nudos) con la misma configuración de los sistemas en operación. Debe tenerse en cuenta que en un buque de guerra será muy difícil conseguir que las condiciones de entorno y configuración de los sistemas a bordo estén iguales cada vez que se captura la información, por ello podría ser difícil diferenciar potenciales fallos de equipos o variaciones de variaciones de entorno de trabajo.



La ruta que seguirá la información será la siguiente:

- Captación de vibraciones y demás datos de interés por colectores/analizadores portátiles o equipo adecuado aplicable para cada caso en cuestión,
- Paralelamente captación en continuo de datos de proceso por el SICP,
- Descarga en el servidor de discos de toda la información recolectada,
- Almacenamiento del histórico de datos de proceso en las MFFC,
- Vertido en PC del organismo en tierra de la información (tanto de vibraciones como de datos de proceso, como del resto),
- Análisis en tierra de toda la información.

#### 13.5.2 *ARQUITECTURA "SOFTWARE"*

El "software" de infraestructura que proporcionará todos los servicios necesarios para comunicaciones, control y gestión de recursos será el Sistema Operativo Windows.

La integración de este MBC con el SICP se basará en un módulo ODBC (Open Database Connectivity) para la apertura de Bases de Datos mediante aplicaciones estándar de MicroSoft.

En cuanto al "software" de aplicación será necesario la adquisición o desarrollo de paquetes o funcionalidades de diagnóstico.

#### 13.6 **ORGANISMO EN TIERRA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICION**

Buscar los problemas con la menor información posible (por ejemplo: pocas medias, puede que los puntos de medición no sean los óptimos por alguna causa, etc.), las funciones del Organismo en tierra de la Armada dedicado al Mantenimiento Basado en la Condición serían las siguientes:

- Análisis: Una vez detectado un problema, se trata de definir las causas de este problema (por ejemplo: análisis espectrales, medida de fases, resonancias, etc.),



- Corrección: Se recomienda al Jefe de Mantenimiento una acción correctora específica; por ejemplo: equilibrar, alinear, sustituir rodamiento, etc.,
- Seguimiento: Analizar componentes sustituidos, verificar la reparación.

El Organismo en Tierra de la Armada dedicado al MBC trabajará con:

- Datos de Proceso,
- Vibraciones,
- Análisis de Aceites,
- Termografías.



## 14. PRINCIPALES TAREAS DE MANTENIMIENTO

Con el fin de mantener en buen estado los elementos a los que se les va aplicar un mantenimiento predictivo y preventivo, se les atribuye una serie de tareas de mantenimiento que se realizarán con una periodicidad determinada.

### 14.1 MOTOR ELÉCTRICO PRINCIPAL

El motor eléctrico principal está concebido para permitir maniobras rápidas, flexibles y seguras. El motor comprende dos inductores y dos inducidos distintos montados sobre un eje único que descansa sobre dos cojinetes lubricados con aceite.

Las técnicas de mantenimiento preventivo y predictivo que se llevarán en el motor eléctrico principal serán:

<i>Motor Eléctrico Principal</i>	
Tarea de mantenimiento	Frecuencia de trabajos
Vibraciones (off-line)	Mensual
Termografía (off-line)	Mensual
Aceites (off-line)	Cada 6 meses
Inspección visual	Semanal

**Tabla 14.1-1: Técnicas de MBC aplicables al MEP**

Los datos de proceso como van por comunicación “on-line” los parámetros se recogen de manera continua.

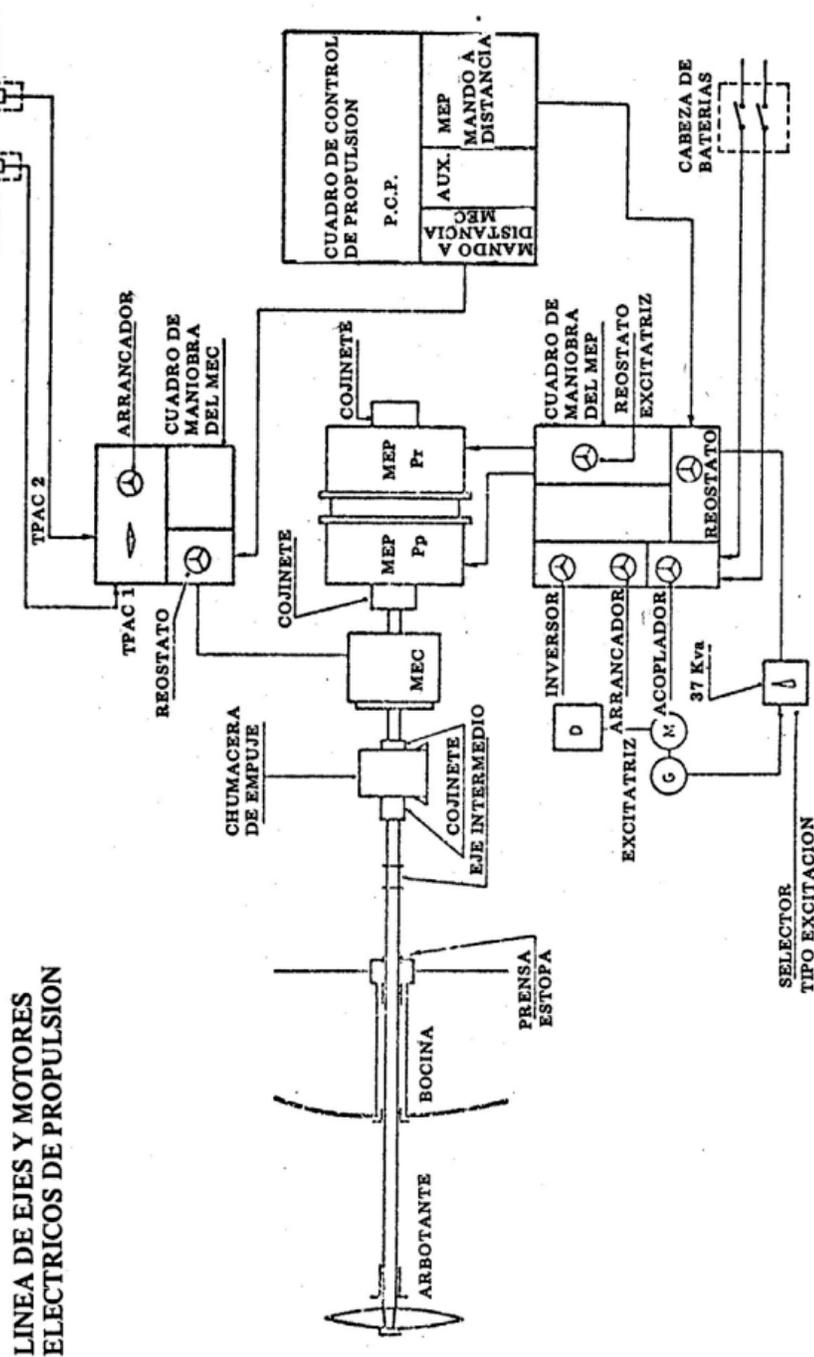


Figura 14.1-1: Línea de ejes y motores eléctricos de propulsión



## 14.2 GRUPO DIÉSEL/ ALTERNADOR-RECTIFICADOR

Las técnicas de mantenimiento preventivo y predictivo que se llevaran en el grupo diésel serán:

<i>Grupo Diésel/ Alternador-Rectificador</i>	
Tarea de mantenimiento	Frecuencia de trabajos
Vibraciones (off-line)	Mensual
Termografía (off-line)	Mensual
Aceites (off-line)	Cada 6 meses
Inspección visual	Semanal

**Tabla 14.2-1: Técnicas de MBC aplicables al Grupo Diésel**

Los datos de proceso como van por comunicación “on-line” los parámetros se recogen de manera continua.

## 14.3 PLANTA HIDRAULICA

La planta hidráulica comprende tres conjuntos idénticos situados en el mismo compartimento.

Un sistema común a los tres conjuntos comprende un tanque de retorno presurizado, un enfriador de aceite equipado con una válvula termostática, un tanque de reserva, aparatos de control y vigilancia.

A cada línea de transmisión de aceite corresponde un conjunto bomba-acumulador, denominados respectivamente NORMAL y EMERGENCIA.

Un tercer conjunto denominado BANAL puede alimentar por intermedio de una conducción provista de válvulas de retención, a uno u otro de los dos conjuntos correspondientes a cada línea.



Las técnicas de mantenimiento preventivo y predictivo que se llevaran en la planta hidráulica serán:

<i>Planta Hidráulica</i>	
Tarea de mantenimiento	Frecuencia de trabajos
Vibraciones (off-line)	Mensual
Termografía (off-line)	Mensual
Aceites (off-line)	Cada 6 meses
Inspección visual	Semanal

**Tabla 14.3-1: Técnicas de MBC aplicables a la planta hidráulica**

Los datos de proceso como van por comunicación “on-line” los parámetros se recogen de manera continua.

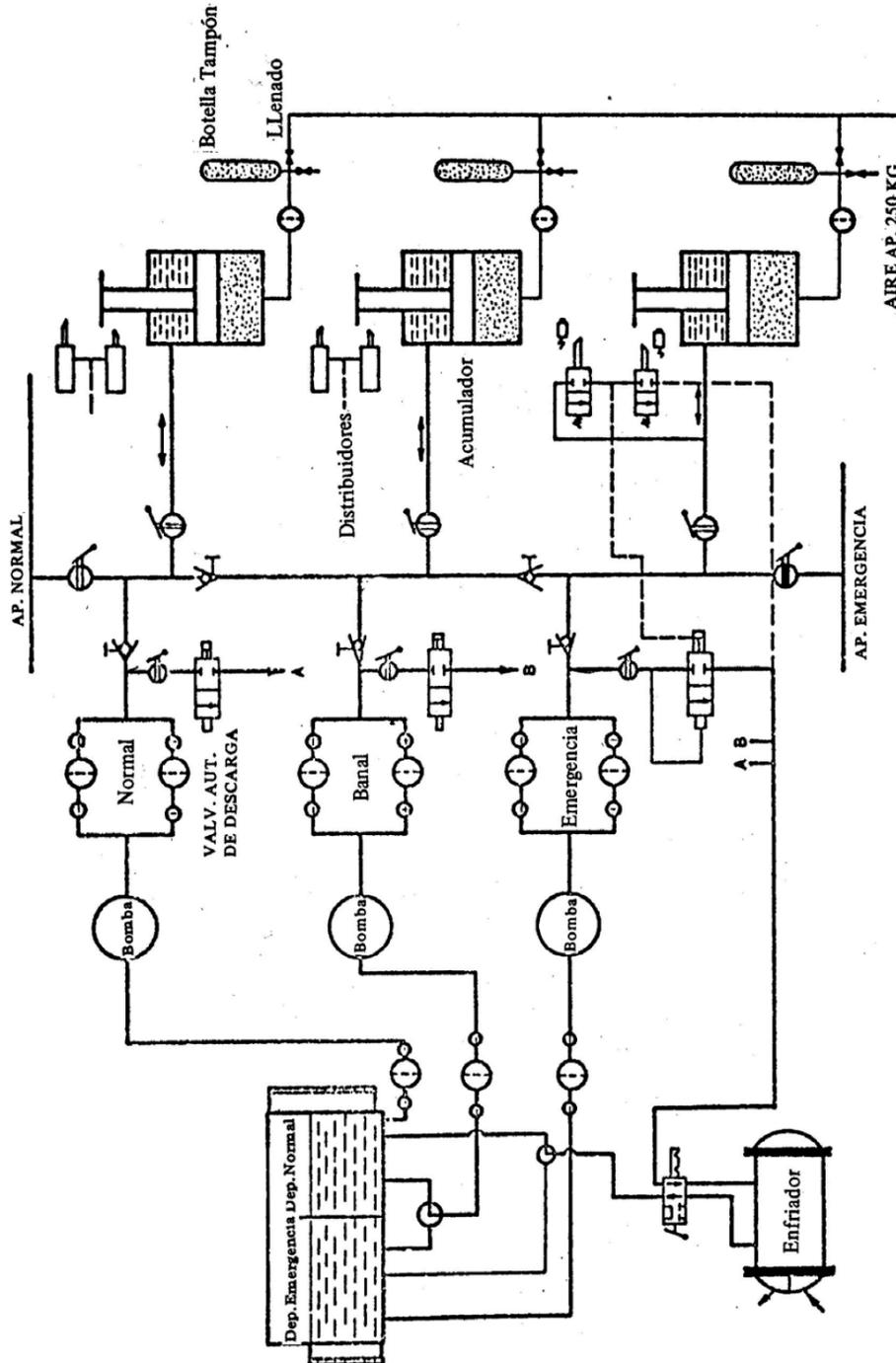


Figura 14.3-1: Planta Hidráulica



#### 14.4 COMPRESOR DE SOPLADO

Las medidas predictivas que se llevaran a cabo son:

<i>COMPRESOR DE SOPLADO</i>	
Tarea de mantenimiento	Frecuencia de trabajos
Vibraciones (off-line)	Mensual
Aceites (off-line)	Cada 6 meses
Inspección visual	Semanal

**Tabla 14.4-1: Técnicas de MBC aplicables al compresor de soplado**

Los datos de proceso como van por comunicación “on-line” los parámetros se recogen de manera continua.

#### 14.5 HÉLICE

La hélice está estudiada para estar exenta de vibraciones a todos los regímenes de velocidad y evitar lo más posible la aparición de la cavitación.

Cuando la línea de ejes está en rotación, la hélice transmite un empuje (variable según la potencia desarrollada) al buque por medio de la chumacera de empuje, necesaria para la transmisión del esfuerzo en avante o atrás.

Uno de los problemas que puede presentar la hélice es la existencia del fenómeno de cavitación, que tiene lugar cuando al girar las hélices a velocidades elevadas, se produce un vacío en la masa de agua que las rodea, formándose entonces una serie de burbujas de vapor de agua, que estallan con un ruido característico.

Las técnicas de mantenimiento predictivo que se llevaran en la hélice serán:



<i>HÉLICE</i>	
Tarea de mantenimiento	Frecuencia de trabajos
Vibraciones (off-line)	Mensual
Termografía (Bocina)	Mensual
Inspección visual	Semanal

**Tabla 14.5-1: Técnicas de MBC aplicables a la hélice**

## 14.6 TIMÓN

El submarino convencional está equipado con un conjunto de tres aparatos de gobierno. Aseguran el funcionamiento de los timones de buceo de proa y popa y del timón vertical.

Los timones son manejados a distancia desde un puesto de gobierno que recibe todos los parámetros necesarios para alcanzar y mantener un rumbo y una cota ordenados.

- **Timón de buceo y timón vertical:** Los elementos constitutivos y los principios de construcción son semejantes para los timones de buceo popa y vertical. Las palas de un mismo timón están hechas sobre dos mechas independientes. La unión entre esas dos mechas se realiza por un brazo de sincronización con el fin de evitar la interferencia de potencia hidráulica.
- **Timón de buceo de proa:** El principio de construcción es análogo al de los otros timones. Está equipado de un sistema para inmovilizar el timón navegando en superficie.

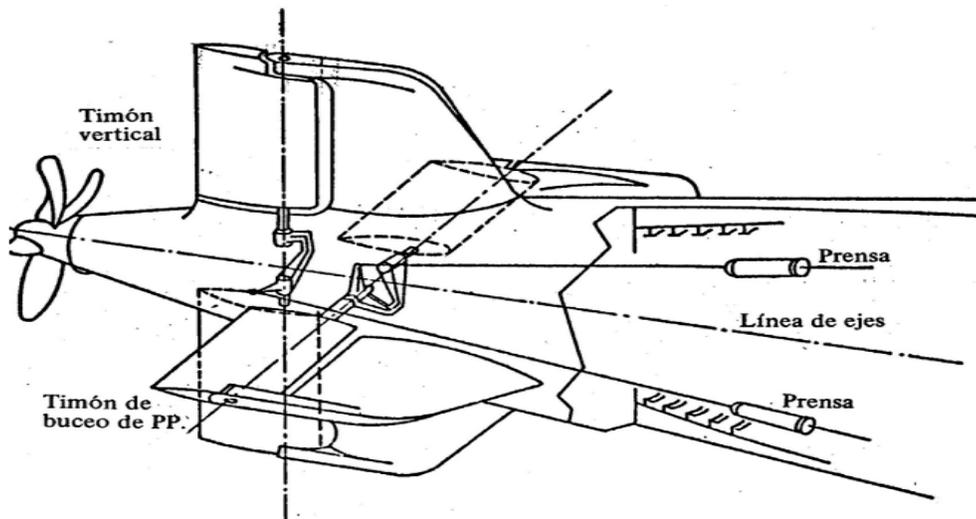
Cada timón es maniobrado por un cilindro de potencia de doble efecto accionado por aceite colocado en el interior del casco resistente. Este cilindro de potencia actúa sobre una transmisión mecánica que atraviesa el casco resistente y acciona un balancín solidario a las mechas de los timones.

Las técnicas de mantenimiento preventivo y predictivo que se llevarán en la hélice serán:

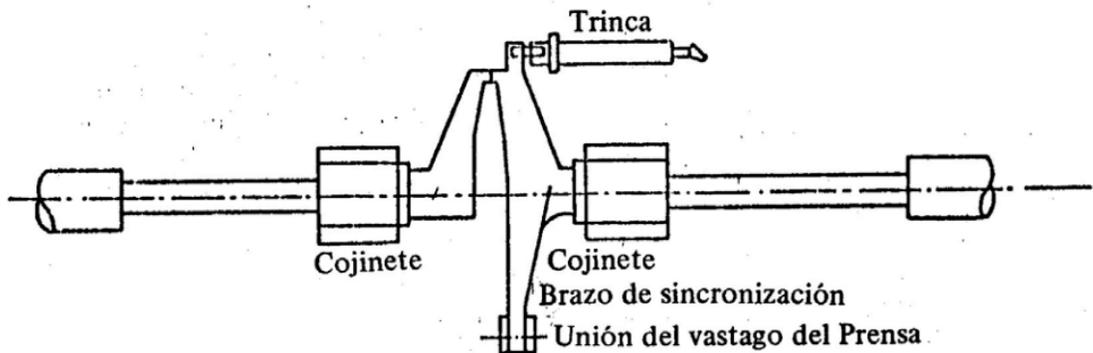


<b>COMPRESOR DE SOPLADO</b>	
Tarea de mantenimiento	Frecuencia de trabajos
Termografía	Mensual
Inspección visual	Semanal

**Tabla 14.6-1: Técnicas de MBC aplicables al timón**



**Figura 14.6-1: Sistema de Gobierno**



**Figura 24.6-2: Sistema de trinca del timón de buceo de proa**



## 14.7 LÍNEA DE EJES

El sistema de ejes es esencialmente el enlace entre la hélice y el motor principal y debe ser operable en todas las condiciones de trabajo sin que falle. El sistema de ejes tiene el equipamiento necesario para convertir el movimiento de rotación de la maquinaria principal, en potencia de empuje necesaria para lograr la propulsión de la embarcación. Este sistema debe cumplir con varios objetivos, los cuales son vitales para la operación del buque.

Las técnicas de mantenimiento preventivo y predictivo que se llevaran en la línea de ejes será:

<i>Grupo Diésel/ Alternador-Rectificador</i>	
Tarea de mantenimiento	Frecuencia de trabajos
Vibraciones (off-line)	Mensual
Termografía (off-line)	Mensual
Aceites (off-line)	Cada 6 meses
Inspección visual	Semanal

**Tabla 14.7-1: Técnicas de MBC aplicables a la línea de ejes**



## 15. BIBLIOGRAFIA

- (1) THEORY AND PRACTICE OF INFADED TECHNOLOGY FOR NONDESTRUCTIVE TESTING.
- (2) FAULT DIAGNOSIS IN DYNAMIC SYSTEMS.
- (3) DIAGNOSTIC- MAINTENANCE DISPONIBILITÉ DES MACHINES TOURNANTES.
- (4) GESTION DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.
- (5) CONCEPTS IN SUBMARINE DESIGN. (ROY BURCHER AND LOUIS RYDILL). CAMBRIDGE UNIVERSITY. 1994.
- (6) RELATING AFFORDABILITY AND PERFORMANCE METRICS IN A MULTIDISCIPLINARY CONCEPTUAL SUBMARINE DESIGN OPTIMIZATION. (C. G. HART AND N. VLAHOPOULOS). NAVAL ARCHITECTURE AND MARINE ENGINEERING DEPT COLLEGE OF ENGINEERING UNIVERSITY OF MICHIGAN.
- (7) UNMANNED UNDERWATER VEHICLE FUEL CELL ENERGY/POWER SYSTEM TECHNOLOGY ASSESSMENT. (KEVIN L. DAVIES AND ROBERT M. MOORE). HAWAII NATURAL ENERGY INSTITUTE (HNEI), SCHOOL OF OCEAN AND EARTH SCIENCE AND TECHNOLOGY (SOEST), UNIVERSITY OF HAWAII AT MANOA.
- (8) DEFENCE STANDARD 02-317, REQUIREMENTS FOR NON-TRANSPORTABLE HIGH PRESSURE GAS CYLINDERS PART 2. BRITISH MINISTRY OF DEFENCE. 2010.
- (9) [33].SUBMERSIBLE VEHICLE SYSTEMS DESIGN. (EUGENE ALLMENDINGER). UNIVERSITY OF NEW HAMPSHIRE. THE SOCIETY OF NAVAL ARCHITECTS AND MARINE ENGINEERS. 1990.



## 16. CONCLUSIONES

Por medio de la incorporación del Sistema de MBC “On/Off-Line” Propuesto, el cual consistiría en:

- Análisis “On/Off-Line” de Datos de Proceso de los Equipos y Sistemas de la Plataforma (por ejemplo: temperaturas, presiones, etc.),
- Análisis “Off-Line” de Vibraciones de Equipos Rotativos Principales,
- Análisis “Off-Line” de Aceites,
- Análisis “On/Off-Line” de Termografías.

El MBC “On/Off-Line” Propuesto ofrece los suficientes elementos de juicio para que el responsable de mantenimiento del Submarino auxiliado por el Organismo en Tierra decida cuando es necesario hacer una determinada acción de mantenimiento sin que se llegue a la avería. De esta manera se considera que:

- Se contribuirá al Cumplimiento de la Disponibilidad del Submarino
- Se reducirán los Costes de Mantenimiento.

No afectará al número de personas de la dotación ni tampoco afectará sensiblemente a sus tareas encomendadas. No obstante, debe tenerse en cuenta se necesitaría disponer de un Organismo en Tierra formado para aprovechar y analizar los datos captados, como ya se ha mencionado antes.