



Universidad
Politécnica
de Cartagena

GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS

MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO

TRABAJO FIN DE GRADO

AÑO: 2020

AUTOR: SERGIO GARCÍA GARCÍA

DIRECTOR: GREGORIO MUNUERA SAURA

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	10
1. INTRODUCCIÓN.	12
2. ALCANCE.....	13
3. ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	14
3.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS SOBRE EL MANTENIMIENTO.	14
3.2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS SOBRE EL RUIDO SUBMARINO.....	15
4. FUENTES VIBRO-ACÚSTICAS EN BUQUES.....	18
4.1. CONSIDERACIONES VIBRO-ACÚSTICAS EN UN SUBMARINO DIÉSEL-ELÉCTRICO.....	19
4.2. COMPONENTES PRINCIPALES DE LA FIRMA ACÚSTICA EN UN SUBMARINO DIÉSEL-ELÉCTRICO.....	22
4.2.1. RUIDO RADIADO (FIRMA DE RUIDO EN CAMPO LEJANO).....	24
4.1.1.1. <i>Ruido de Transmisión Directa.</i>	25
4.1.1.2. <i>Ruido de Transmisión Estructural y Aérea.</i>	28
4.1.1.3. <i>Propagación del Ruido Radiado.</i>	29
4.2.2. RUIDO PROPIO (FIRMA DE RUIDO EN CAMPO CERCANO).....	30
4.2.2.1. <i>Emisión y Vías de Transmisión del Ruido Propio.</i>	30
4.2.2.2. <i>Influencia de la Velocidad en el Ruido Propio.</i>	32
4.2.2.3. <i>Importancia del conocimiento del Ruido Propio.</i>	34
4.2.3. ECOSONAR.	35
5. LISTA DE FUENTES SONORAS PRINCIPALES.	36
6. AISLAMIENTO DE LA VIBRACIÓN.	40
6.1. CONTROL DE LA VIBRACIÓN.....	40
6.1.1. MÉTODO PASIVO.	40
6.1.2. MÉTODO ACTIVO.	41



6.2. MEDIDAS CONTRA LA VIBRACIÓN.	42
6.3. MONTAJES ANTIVIBRATORIOS.	43
6.3.1 TIPOS DE MONTAJES ANTIVIBRATORIOS.	44
6.3.1.1. <i>Montaje Elástico Simple.</i>	45
6.3.1.1. <i>Montaje Elástico Doble.</i>	46
6.3.2. EXIGENCIAS SOBRE LOS CAMINOS DE TRANSMISIÓN ASOCIADOS AL TIPO DE MONTAJE.....	47
6.3.3. TIPOS DE CAMINOS DE TRANSMISIÓN ASOCIADOS AL TIPO DE MONTAJE.....	48
6.3.3.1. <i>Exigencias de Trazado sobre las Tuberías.</i>	48
6.3.3.2. <i>Exigencias de Trazado sobre los Conductos de Aire.</i>	51
6.4. DISPOSITIVOS DE AISLAMIENTO CONTRA LA VIBRACIÓN.	52
6.4.1. TACOS ELÁSTICOS.....	52
6.4.1.1. <i>Criterios de Instalación de Tacos Elásticos.</i>	56
6.4.2. ACOPLAMIENTOS ALTAMENTE FLEXIBLES.	58
6.4.3. SOPORTES ELÁSTICOS PARA TUBERÍAS.....	61
6.4.3.1. <i>Criterios de Soportado de Soportes Elásticos para Tuberías.</i>	62
6.4.4. SOPORTES ELÁSTICOS PARA CABLES.	64
6.4.5. TORNILLOS DE NIVELACIÓN.	64
6.4.6. TOPES.	64
6.4.7. ACOPLAMIENTOS FLEXIBLES DE TUBERÍAS Y FUELLES DE EXPANSIÓN.....	64
6.4.7.1. <i>Requisitos de los Acoplamientos Flexibles y Fuelles de Expansión.</i>	65
6.4.7.2. <i>Criterios de Instalación de los Acoplamientos Flexibles y Fuelles de Expansión.</i>	66
7. AISLAMIENTO DEL RUIDO.	68
7.1. CONTROL DEL RUIDO.	68
7.1.1. MÉTODO PASIVO.	68

7.1.2. MÉTODO ACTIVO.	69
7.2. MEDIDAS CONTRA EL RUIDO.	70
7.2.1. MEDIDAS CONTRA EL RUIDO RADIADO.	70
7.2.1.1. <i>Velocidades Máximas del Flujo en los Fluidos de los Circuitos en Funcionamiento en las Condiciones Acústicas.</i>	71
7.2.2. MEDIDAS CONTRA EL RUIDO PROPIO.	73
7.2.3. MEDIDAS CONTRA EL ECOSONAR.....	73
7.3. DISPOSITIVOS DE AISLAMIENTO CONTRA EL RUIDO.	74
7.3.1. MATERIAL AISLANTE.	74
7.3.2.1. <i>Pasamamparos y Pasacubiertas.</i>	75
7.3.2. VÁLVULAS Y REDUCTORAS.....	76
7.3.3. SILENCIOSOS.....	76
7.4. RUIDO AÉREO.....	76
7.4.1. NIVELES MÁXIMOS DE RUIDO AÉREO EN LOS LOCALES.....	77
7.4.2. NIVELES MÁXIMOS DE RUIDO AÉREO EN EQUIPOS.	78
8. MANTENIMIENTO. DEFINICIONES Y TIPOS APLICABLES AL SUBMARINO, REPUESTOS, HERRAMIENTAS Y EQUIPOS A BORDO.....	79
8.1. TIPOS DE MANTENIMIENTO.	80
8.1.1. MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	81
8.1.1.1. <i>Mantenimiento Preventivo Sistemático o Programado.</i>	82
8.1.1.2. <i>Mantenimiento Preventivo Predictivo.</i>	82
8.1.1.3. <i>Aplicación del Mantenimiento Preventivo en el Submarino.</i>	83
8.1.2. MANTENIMIENTO CORRECTIVO.	84
8.1.2.1. <i>Mantenimiento Correctivo Inmediato.</i>	85
8.1.2.2. <i>Mantenimiento Correctivo Diferido.</i>	85
8.1.2.3. <i>Aplicación del Mantenimiento Correctivo en el Submarino.</i>	85
8.1.3. REPUESTOS A BORDO.	86
8.1.4. HERRAMIENTAS Y EQUIPOS A BORDO.....	87

9. TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO DE LAS FUENTES VIBRO-ACÚSTICAS DEL SUBMARINO.	88
9.1. ANÁLISIS DE VIBRACIONES.	88
9.1.1. MONTAJE DE ACELERÓMETROS.	93
9.1.2. IDENTIFICACIÓN DE ESPECTROS.	94
10. PRINCIPALES TAREAS DE MANTENIMIENTO DE LAS FUENTES VIBRO-ACÚSTICAS DEL SUBMARINO.	96
10.1. AUXILIARES DE PROA.	96
10.1.1. ELECTROBOMBAS DE REFRIGERACIÓN DE AGUA DULCE.	97
10.1.1.1. <i>Mantenimiento Preventivo.</i>	97
10.1.1.2. <i>Mantenimiento correctivo.</i>	98
10.1.2. CLIMATIZADORES.	100
10.1.2.1 <i>Mantenimiento Preventivo.</i>	101
10.1.2.2. <i>Mantenimiento Correctivo.</i>	102
10.1.3. ELECTROBOMBAS DE AGUA DE MAR.	103
10.1.3.1. <i>Mantenimiento Preventivo.</i>	103
10.1.3.2. <i>Mantenimiento Correctivo.</i>	104
10.1.4. ELECTROBOMBAS AUTOCEBADAS.	105
10.1.4.1. <i>Mantenimiento Preventivo.</i>	105
10.1.4.2. <i>Mantenimiento Correctivo.</i>	106
10.1.5. ELECTROBOMBAS DE REFRIGERACIÓN DE AGUA DESIONIZADA.	107
10.1.5.1. <i>Mantenimiento Preventivo.</i>	108
10.1.5.2. <i>Mantenimiento Correctivo.</i>	109
10.1.6. ELECTROBOMBA VOLUMÉTRICA DE ACHIQUE PRINCIPAL.	110
10.1.6.1 <i>Mantenimiento Preventivo.</i>	110
10.1.6.2. <i>Mantenimiento Correctivo.</i>	111
10.1.7. ELECTROBOMBA DE ACEITE HIDRÁULICO.	113
10.1.7.1. <i>Mantenimiento Preventivo.</i>	113

10.1.7.2. <i>Mantenimiento Correctivo</i>	114
10.1.8. ELECTROBOMBA DE AGITADO DEL ELECTROLITO.....	115
10.1.8.1. <i>Mantenimiento Preventivo</i>	115
10.1.8.2. <i>Mantenimiento Correctivo</i>	116
10.1.9. ELECTROCOMPRESORES FRIGO-VÍVERES.....	117
10.1.9.1. <i>Mantenimiento Preventivo</i>	117
10.1.9.2. <i>Mantenimiento Correctivo</i>	119
10.1.10. CONJUNTO UNIDADES CONDENSADORAS.....	120
10.1.10.1. <i>Mantenimiento Preventivo</i>	120
10.1.10.2. <i>Mantenimiento Correctivo</i>	121
10.1.11. CONVERTIDOR ESTÁTICO DE 115 V/60 Hz.....	122
10.1.11.1. <i>Mantenimiento Preventivo</i>	122
10.1.11.2. <i>Mantenimiento Correctivo</i>	123
10.2. AUXILIARES DE POPA.....	124
10.2.1. ELECTROCOMPRESORES DE AIRE DE ALTA PRESIÓN.....	124
10.2.1.1. <i>Mantenimiento Preventivo</i>	125
10.2.1.2. <i>Mantenimiento Correctivo</i>	126
10.2.2. ELECTROBOMBAS DE REFRIGERACIÓN DE AGUA DE MAR.....	126
10.2.3. ELECTROBOMBAS DE REFRIGERACIÓN DE AGUA DULCE.....	126
10.3. AUXILIARES DE CENTRO.....	127
10.3.1. ELECTROCOMPRESOR DE AGITADO DEL ELECTROLITO.....	127
10.3.2. ELECTROBOMBA DE SERVICIO HIDRÁULICO COMÚN.....	127
10.3.2.1. <i>Mantenimiento Preventivo</i>	127
10.3.2.2. <i>Mantenimiento correctivo</i>	128
10.3.3. ELECTROBOMBAS VOLUMÉTRICAS DE SERVICIO HIDRÁULICO EXTERIOR.....	130
10.3.3.1 <i>Mantenimiento Preventivo</i>	130

10.3.3.2. <i>Mantenimiento Correctivo</i>	131
10.3.4. VENTILADORES DE AIRE DE VACIADO Y AIRE FRESCO.....	132
10.3.4.1 <i>Mantenimiento Preventivo</i>	132
10.3.4.2. <i>Mantenimiento Correctivo</i>	134
10.3.5. CLIMATIZADORES.	134
10.4. DIÉSEL - GENERADORES.	135
10.4.1. GRUPO DIÉSEL/ALTERNADOR RECTIFICADOR GENERADORES (DARs).....	135
10.4.1.1 <i>Mantenimiento Preventivo</i>	136
10.4.1.2. <i>Mantenimiento Correctivo</i>	138
10.4.2. ELECTROBOMBAS PRECALENTADORAS DE LOS DARs.	140
10.4.2.1. <i>Mantenimiento Preventivo</i>	140
10.4.2.2. <i>Mantenimiento Correctivo</i>	141
10.4.3. CONVERTIDOR ESTÁTICO DE 115 V/60 Hz.....	142
10.4.4. CLIMATIZADORES.	142
10.5. PROPULSIÓN.....	142
10.5.1. MOTOR ELÉCTRICO PRINCIPAL (MEP).....	142
10.5.1.1. <i>Mantenimiento Preventivo</i>	143
10.5.1.2. <i>Mantenimiento Correctivo</i>	145
10.5.2. CLIMATIZADOR.	147
10.6. PLANTA HIDRÁULICA.....	147
10.6.1. PLANTA HIDRÁULICA UNIDAD.	147
10.6.1.1. <i>Mantenimiento Preventivo</i>	147
10.6.1.2. <i>Mantenimiento Correctivo</i>	148
10.7. CUADROS ELÉCTRICOS.	151
10.7.1. ARMARIOS CONVERTIDORES.	151
10.8. LOCALES FRIGORÍFICOS.	151

10.8.1. CONJUNTOS EVAPORADORES.	151
10.8.1.1. <i>Mantenimiento Preventivo.</i>	151
10.8.1.2. <i>Mantenimiento Correctivo.</i>	152
10.8.2. VENTILADORES FRIGO-VÍVERES.	153
10.9. ESTRUCTURA DEL CASCO NO RESISTENTE DE POPA.....	153
10.9.1. HÉLICE.	153
10.9.1.1. <i>Mantenimiento Preventivo.</i>	154
10.9.1.2. <i>Mantenimiento Correctivo.</i>	154
10.9.2. LÍNEA DE EJES.....	157
10.9.2.1. <i>Mantenimiento Preventivo.</i>	157
10.9.2.2. <i>Mantenimiento Correctivo.</i>	158
10.10. VELA.....	162
10.10.1. DIFUSORES DE GASES DE ESCAPE.....	162
10.10.1.1. <i>Mantenimiento Preventivo.</i>	163
10.10.1.2. <i>Mantenimiento Correctivo.</i>	164
10.10.2. MÁSTIL DE INDUCCIÓN “SNORKEL”.	165
10.10.2.1. <i>Mantenimiento Preventivo.</i>	166
10.10.2.2. <i>Mantenimiento Correctivo.</i>	167
11. CONCLUSIONES.....	169
12. BIBLIOGRAFÍA.....	170



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fuentes vibro-acústicas de un submarino.	19
Figura 2. Submarino Diésel-Eléctrico Convencional.	20
Figura 3. Aislamiento Vibro-Acústico típico en un submarino.....	21
Figura 4. Banda de frecuencias de sensores acústicos.....	23
Figura 5. Organigrama sobre las fuentes de ruido.....	24
Figura 6. Cavitación de la hélice.	25
Figura 7. Ruido de cavitación.	26
Figura 8. Sección Placa Vórtice del Difusor de Gases de Escape.	28
Figura 9. Resumen de las fuentes y los caminos de transmisión del ruido.....	29
Figura 10. Fuentes de ruido propio.	31
Figura 11. Fuentes de Ruido Propio y nivel de las mismas en función de la velocidad.....	32
Figura 12. Nivel isótropo espectral del Ruido Propio para submarinos en condición de Snorkel... 33	
Figura 13. Resumen de influencia de la Velocidad en el Ruido Propio.	34
Figura 14. Montaje Elástico Simple (EMT5, EMT5 (*) o EMCAR).	45
Figura 15. Montaje Elástico Simple (EMP).	45
Figura 16. Montaje Elástico Doble (EMT7, EMT7 (*) o EMAPS).	46
Figura 17. Simbología conexionado.....	48
Figura 18. Montaje elástico sobre plataforma suspendida. Instalaciones de fluido distinto al agua de mar.	49
Figura 19. Montaje elástico sobre plataforma suspendida. Instalaciones de agua de mar sometidas a la presión de inmersión.	49
Figura 20. Montaje elástico sobre plataforma suspendida. Instalaciones de agua de mar no sometidas a la presión de inmersión.....	50
Figura 21. Montaje elástico sobre casco resistente.....	51
Figura 22. Atenuación Vibratoria.....	53
Figura 23. Altura bajo carga nominal.....	54
Figura 24. Taco Elástico de frecuencia natural de 5 a 12 Hz.	54
Figura 25. Taco Elástico de frecuencia natural de 5 a 12 Hz. Características Dimensionales.	55
Figura 26. Taco Elástico de Alta Carga MN10.	55
Figura 27. Taco Elástico de Alta Carga MN10. Características Dimensionales.	56
Figura 28. Esquemas de montaje.....	57
Figura 29. Disposición de acoplamiento altamente flexible.....	58
Figura 30. Acoplamiento altamente flexible.	59
Figura 31. Acoplamiento altamente flexible. Características dimensionales.	60
Figura 32. Gráfico de Rango de par máximo admisible en función del tiempo.	60
Figura 33. Gráfico de Par vibratorio en función del tiempo.....	61

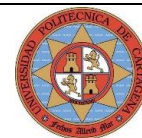
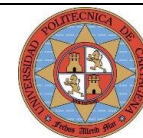




Figura 34. Material aislante.....	75
Figura 35. Tipos de mantenimiento.....	80
Figura 36. Curva de fiabilidad del mantenimiento preventivo.	83
Figura 37. Espectro base.	89
Figura 38. Proceso de Transformada Rápida de Fourier. Gráfica de diagnóstico espectral.	90
Figura 39. Montaje de acelerómetros en máquinas grandes.....	93
Figura 40. Electrobomba de refrigeración de agua dulce.....	99
Figura 41. Climatizador.....	102
Figura 42. Electrobomba volumétrica de achique principal.	112
Figura 43. Grupo Diésel/Alternador Rectificador Generador (DAR).	139
Figura 44. Motor Eléctrico Principal (MEP).....	146
Figura 45. Planta Hidráulica Unidad.....	150
Figura 46. Hélice.....	156
Figura 47. Tipos de desalineación.....	159
Figura 48. Método de alineación con láser.....	161
Figura 49. Difusores de gases de escape.	165
Figura 50. Mástil de inducción “Snorkel”.....	168



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Influencia de la frecuencia y la velocidad en el ruido propio.....	33
Tabla 2. Fuentes de Ruido Principales de un Submarino.	39
Tabla 3. Valores máximos de la velocidad media en los circuitos de agua dulce, agua salada y combustible.	72
Tabla 4. Valores máximos de la velocidad media en los circuitos de aceite de engrase y fluido de transmisión hidráulica.	73
Tabla 5. Niveles máximos de ruido aéreo de los diferentes locales del submarino.....	77
Tabla 6. Mantenimiento preventivo. Electrobomba de refrigeración de agua dulce.	97
Tabla 7. Mantenimiento correctivo. Electrobomba de refrigeración de agua dulce.	99
Tabla 8. Mantenimiento preventivo. Climatizadores.	101
Tabla 9. Mantenimiento correctivo. Climatizadores.	102
Tabla 10. Mantenimiento preventivo. Electrobombas de agua de mar.	103
Tabla 11. Mantenimiento correctivo. Electrobombas de agua de mar.	105
Tabla 12. Mantenimiento preventivo. Electrobombas autocebadas.	106
Tabla 13. Mantenimiento correctivo. Electrobombas autocebadas.	107
Tabla 14. Mantenimiento preventivo. Electrobombas de refrigeración de agua desionizada.	108
Tabla 15. Mantenimiento correctivo. Electrobombas de refrigeración de agua desionizada.	110
Tabla 16. Mantenimiento preventivo. Electrobomba volumétrica de achique principal.	110
Tabla 17. Mantenimiento correctivo. Electrobomba volumétrica de achique principal.	112
Tabla 18. Mantenimiento preventivo. Electrobomba de aceite hidráulico.	113
Tabla 19. Mantenimiento correctivo. Electrobomba de aceite hidráulico.	115
Tabla 20. Mantenimiento preventivo. Electrobomba de agitado del electrolito.	116
Tabla 21. Mantenimiento correctivo. Electrobomba de agitado del electrolito.	117
Tabla 22. Mantenimiento preventivo. Electrocompresor frigo-viveres.....	118
Tabla 23. Mantenimiento correctivo. Electrocompresor frigo-viveres.....	119
Tabla 24. Mantenimiento preventivo. Conjunto unidades condensadoras.	120
Tabla 25. Mantenimiento correctivo. Conjunto unidades condensadoras.	121
Tabla 26. Mantenimiento preventivo. Convertidor estático de 115 V/60 Hz.....	122
Tabla 27. Mantenimiento correctivo. Convertidor estático de 115 V/60 Hz.....	124
Tabla 28. Mantenimiento preventivo. Electrocompresor de aire de alta presión.	125
Tabla 29. Mantenimiento correctivo. Electrocompresor de aire de alta presión.	126
Tabla 30. Mantenimiento preventivo. Electrobomba servicio hidráulico común.....	128
Tabla 31. Mantenimiento correctivo. Electrobomba servicio hidráulico común.....	129
Tabla 32. Mantenimiento preventivo. Electrobomba volumétrica de servicio hidráulico exterior	130
Tabla 33. Mantenimiento correctivo. Electrobomba volumétrica de servicio hidráulico exterior.	132
Tabla 34. Mantenimiento preventivo. Ventilador de aire de vaciado y aire fresco.	133

Tabla 35. Mantenimiento correctivo. Ventilador de aire de vaciado y aire fresco.	134
Tabla 36. Mantenimiento preventivo. Grupo Diésel/Alternador Rectificador Generador (DAR). 137	
Tabla 37. Mantenimiento correctivo. Grupo Diésel/Alternador Rectificador Generador (DAR). 139	
Tabla 38. Mantenimiento preventivo. Electrobomba precalentadora de grupo DAR.	140
Tabla 39. Mantenimiento correctivo. Electrobomba precalentadora de grupo DAR.	142
Tabla 40. Mantenimiento preventivo. Motor Eléctrico Principal (MEP).	144
Tabla 41. Mantenimiento correctivo. Motor Eléctrico Principal (MEP).	146
Tabla 42. Mantenimiento preventivo. Planta Hidráulica Unidad.	148
Tabla 43. Mantenimiento correctivo. Planta Hidráulica Unidad.	149
Tabla 44. Mantenimiento preventivo. Conjunto evaporador.	152
Tabla 45. Mantenimiento correctivo. Conjunto evaporador.	153
Tabla 46. Mantenimiento preventivo. Hélice.	154
Tabla 47. Mantenimiento correctivo. Hélice.	156
Tabla 48. Mantenimiento preventivo. Línea de ejes.	158
Tabla 49. Mantenimiento correctivo. Línea de ejes.	162
Tabla 50. Mantenimiento preventivo. Difusores gases de escape.	163
Tabla 51. Mantenimiento correctivo. Difusores gases de escape.	164
Tabla 52. Mantenimiento preventivo. Mástil de inducción “Snorkel”.	166
Tabla 53. Mantenimiento correctivo. Mástil de inducción “Snorkel”.	167

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS	
	MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	

1. INTRODUCCIÓN.

Los submarinos, independientemente de su tamaño y forma, emiten al mar un conjunto de radiaciones sonoras que forman la denominada firma acústica. Esta firma se caracteriza por identificar a un buque, del mismo modo que las huellas dactilares identifican al ser humano. La importancia de este tipo de firma es conocida desde principios del siglo pasado, especialmente en el ámbito de la defensa. Como ejemplo, las detecciones de buques basados en su firma acústica tuvieron gran importancia en el ámbito naval durante el transcurso de la Segunda Guerra Mundial.



Es importante que un submarino tenga capacidad de sigilo en para llevar a cabo muchas de sus misiones, Para lograrla, el submarino debería minimizar el ruido que se emite en el agua (Ruido Radiado). Además, sería beneficioso que la presencia del submarino no pudiera ser detectada por métodos de sonar activos, donde una señal de sonar es emitida desde otra plataforma y recibe las señales reflejadas.

Recientemente, la tecnología de control de vibraciones desarrollada intenta ocultar vibraciones tonales generadas por máquinas, que utilizan sistemas no lineales aislantes que normalmente darían lugar a la radiación de la señal tonal de ruido acústico.

Otras razones para utilizar las tecnologías en el control de ruido y vibraciones a bordo de un submarino son para minimizar su exposición al personal de la dotación, proporcionar un trabajo cómodo al medio ambiente, reduciendo así la fatiga del personal, reducir la fatiga de las partes de la maquinaria, lo que resulta en una mejora en fiabilidad y reducción de los costes de mantenimiento.

La finalidad del presente trabajo es identificar las principales fuentes de indiscreción de un submarino convencional con propulsión del tipo diésel-eléctrica. El estudio de la firma acústica de este tipo de buques depende de las condiciones de navegación en las que se encuentre, ya sea navegando en superficie con los motores diésel en funcionamiento, o navegando en inmersión con funcionamiento único del motor eléctrico principal.



El ámbito de aplicación puede ser válido tanto para submarinos, como para buques de superficie, teniendo siempre en cuenta las condiciones de navegación de cada uno de ellos y realizando las consideraciones oportunas.

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

2. ALCANCE.

El alcance del presente trabajo consiste en:

- Describir las fuentes vibro-acústicas principales de un submarino diésel-eléctrico.
- Analizar detalladamente cada sistema que pueda generar un alto nivel de firma acústica.
- Establecer procedimientos de mantenimiento correctivo y preventivo orientados a minimizar el ruido estructural y aéreo.

	TRABAJO FIN DE GRADO	
	GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS	
	MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	

3. ANTECEDENTES HISTÓRICOS.

3.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS SOBRE EL MANTENIMIENTO.



La historia del Mantenimiento está íntimamente ligada a la evolución técnica e industrial de la humanidad, comienza a finales del siglo XIX con la mecanización de los procesos industriales, donde a raíz de dicha mecanización surgió la necesidad de las primeras reparaciones. Hasta 1914, las acciones de mantenimiento no se consideraban importantes, y se ejecutaban por el mismo personal de operación o producción sin ningún tipo de planificación.

Con la llegada de la Primera Guerra Mundial y de la implantación de la producción en serie por la compañía Ford Motor, las fábricas establecieron programas mínimos de producción y, en consecuencia, surgió la necesidad de llevar a cabo el mantenimiento de las máquinas de la línea de producción en el menor tiempo posible, por lo que se comienzan a controlar los fallos y paradas de las máquinas para disminuir los retrasos en la producción.

Así, durante el año 1920, aparece el concepto de Mantenimiento Correctivo, que se ocupa solamente de la reparación de la máquina cuando se para o cuando se produce el fallo de la misma.

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 industrial-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.

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

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.

3.2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS SOBRE EL RUIDO SUBMARINO.



Durante la Primera Guerra Mundial, la tecnología acústica se orientó a la detección de aeronaves. Se determinó que los motores de las aeronaves emitían un conjunto de tonos predecibles en el rango de 80 a 130Hz. Se desarrollaron filtros ajustables a este rango, rechazando señales acústicas que interfieren con otras frecuencias.

Fue la creciente preocupación por los ataques submarinos alemanes lo que condujo en 1915 a intensificar los dispositivos de detección submarina.

Los principales trabajos en acústica submarina fueron realizados por Wood en UK y Hayes en USA en el campo de los arrays de sónares pasivos.

Uno de los primeros sistemas de detección y localización pasiva fue el SC americano, mediante el cual se sumergían bajo el agua 2 tubos con bulbos sensitivos separados 5 pies. Los bulbos se conectaban a los oídos mediante tubos de aire con terminación similar a un estetoscopio, teniendo una capacidad biaural en el rango de frecuencias en torno a 500 Hz, operando tanto en buques de superficie como en submarinos, situándose fuera del casco y a bajas velocidades. El SC tuvo como sucesor natural el denominado tubo MB, que tenía 6 bulbos a cada lado en lugar de uno, siendo el principio de funcionamiento idéntico al de su antecesor el SC.

El Tubo MV fue el dispositivo de escucha no eléctrico más avanzado, permitía seguir a submarinos a distancias de 2000 yardas navegando a 20 nudos.

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

El ruido propio generado por un buque en movimiento causaba un efecto perjudicial, lo que conllevó al desarrollo de dispositivos con hidrófonos remolcados para alejar lo máximo posible el sensor del campo del ruido propio, el cual cabe destacar el Tubo U-3 dentro de estos sistemas.



Langevin en 1917 demostró la detección de un submarino con un sistema activo, para lo cual utilizó un equipo de transmisión de radio operando a 38 KHz con un transductor piezoeléctrico. El transductor tenía el tamaño apropiado para determinar ambas distancias y dirección, con la cualidad añadida de ser independiente del ruido radiado por el objetivo, por lo que el sonar activo era capaz de detectar su localización de rápidamente.

Durante el periodo de entreguerras, la principal región de frecuencias de interés era de 10 a 30 KHz, por encima del ruido propio del buque, permitiendo la generación de pulsos estrechos de energía acústica con sensores de tamaño moderado. Los transductores británicos se basaron en dispositivos piezoeléctricos, mientras que los americanos se basaron en dispositivos magnetostrictivos.

Los alemanes se centraron en dispositivos de escucha pasiva, estudiando los ruidos producidos por hélices, maquinaria y olas de proa, utilizando los resultados para el diseño de nuevos buques, lo que condujo al diseño del sistema GHG, de diseño elíptico e instalado en la proa, formado por 60 hidrófonos a cada banda.

Los estudios desarrollados por Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial condujeron a la publicación del artículo “*Física del Sonido en el Mar*”, formulando las bases teóricas dónde se describe la propagación del sonido en el agua, reverberación, y la reflexión del sonido de submarinos, barcos y estelas de mar. Se realizaron mediciones experimentales en todo el mundo de la velocidad del sonido en distintas estaciones, condiciones meteorológicas y profundidades.

Terminada la Segunda Guerra Mundial, el trabajo en acústica submarina continuó teórica y prácticamente en las regiones audibles y de ultrasonidos. Se identificaron las características del ruido ambiente de los océanos y se determinaron experimentalmente los coeficientes de absorción de sonido por debajo de los 100 Hz y por encima del MHz.

	<p style="text-align: center;">TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO</p>	
---	---	---

Comenzaron a introducirse técnicas de procesado digital de la señal a finales de los años 60. A partir de entonces los submarinos han sido diseñados con la intención de reducir la energía acústica generada, mejorando la capacidad de detección de señales acústicas débiles, dejando inutilizados los modelos sencillos anteriores.

4. FUENTES VIBRO-ACÚSTICAS EN BUQUES.

Para poder minimizar el riesgo de ruido y vibraciones en un buque, es necesario conocer y controlar la influencia de las fuentes de excitación existentes, las frecuencias naturales de la estructura y evitar posibles fenómenos de resonancia.

Para evitar problemas, hay que analizar las principales fuentes de excitación de la vibración y su influencia con la estructura, ya que con altos niveles de excitación puede aparecer una vibración excesiva casi independientemente de las características estructurales del sistema y su amplificación por resonancia.

Las principales fuentes de vibración y ruido en un buque son:

- La maquinaria principal.
- La maquinaria propulsora.
- La hélice propulsora.
- La maquinaria auxiliar.
- Servicio de ventilación, calefacción y aire acondicionado.
- Los efectos del mar.
- Otras fuentes secundarias (Sistemas hidráulicos, bombas, compresores, sistemas de escape, el viento, etc.).

Este trabajo se ha centrado en las fuentes vibro-acústicas de un submarino convencional.

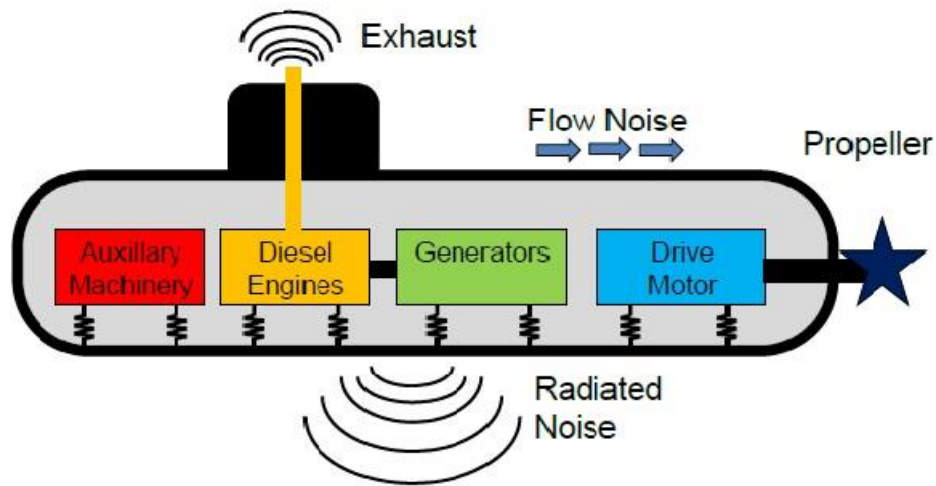


Figura 1. Fuentes vibro-acústicas de un submarino.

4.1. CONSIDERACIONES VIBRO-ACÚSTICAS EN UN SUBMARINO DIÉSEL-ELÉCTRICO.

El submarino diésel-eléctrico utiliza la energía eléctrica del motor eléctrico, que está conectado al eje, para hacer girar la hélice. La energía eléctrica viene de la batería que se recarga por el proceso Snorkel cuando el submarino está navegando, en este proceso se recarga la batería, el submarino sube a la superficie debido a que el motor diésel necesita aire para su combustión y funcionamiento. El generador, que está conectado al motor diésel transforma la energía de motor diésel en energía eléctrica, la energía eléctrica que se produce va a recargar la batería, y cuando el submarino esté operando bajo el agua, no navegará con el motor diésel, si no con el Motor Eléctrico Principal (MEP). Por lo tanto, el equipamiento principal del submarino diésel-eléctrico está formado por uno o varios motores diésel, uno o varios generadores eléctricos, baterías y uno o varios motores eléctricos.

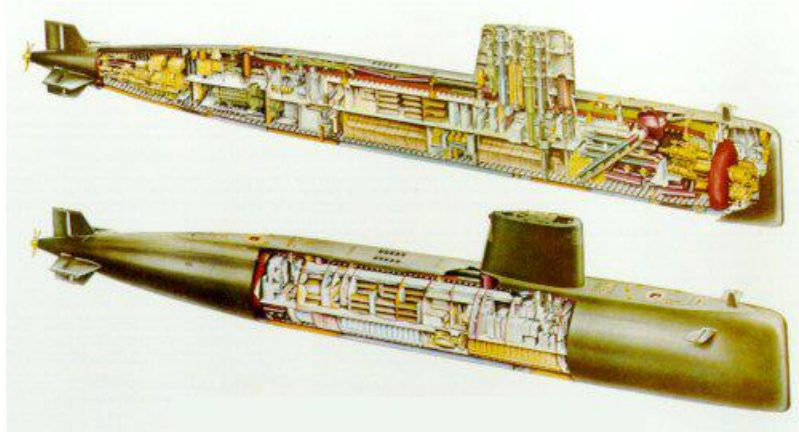


Figura 2. Submarino Diésel-Eléctrico Convencional.

Hay muchas fuentes de ruido y vibración a bordo de un submarino cuya amplitud debe ser controlada para que el submarino tenga capacidad de sigilo. La Figura 1 es una ilustración que muestra varias fuentes vibro-acústicas a bordo de un submarino que incluyen el escape del motor, la maquinaria auxiliar, los motores diésel, los generadores, el motor de propulsión, la hélice y el ruido de flujo sobre el cuerpo exterior del casco.

Las fuentes de ruido incluyen pulsos de presión soportados por fluidos en las tuberías que causan vibración, apertura de las puertas de la tapa del arco, despliegue y retracción de un arreglo remolcado y otros.

La potencia de los motores diésel en un submarino convencional supera los 1 MW (Megavatios) y suele ser la mayor potencia acústica y de sonido del mundo de vibración en la plataforma, por lo que es difícil ocultar acústicamente una fuente tan grande.



Este apartado incluye aquellas consideraciones en relación al ruido y las vibraciones en un submarino diésel-eléctrico convencional, analizándose los caminos de transmisión del ruido y las vibraciones, tanto de los equipos montados en el submarino, como de los sistemas que dan servicio a estos equipos (sistemas de tuberías y sus fijaciones a la estructura del submarino, cables y bandejas de cables y sus fijaciones) observando así los caminos de transmisión y describiendo las medidas necesarias a tener en cuenta tanto en su disposición como en su fijación, y los distintos tipos de ruido generados en el submarino, elementos que generan esos ruidos, su influencia e importancia en la firma acústica del submarino, y los elementos utilizados para limitar o absorber el ruido y las vibraciones en los caminos de transmisión entre los equipos, tuberías, cables y soportes, y el casco del submarino.

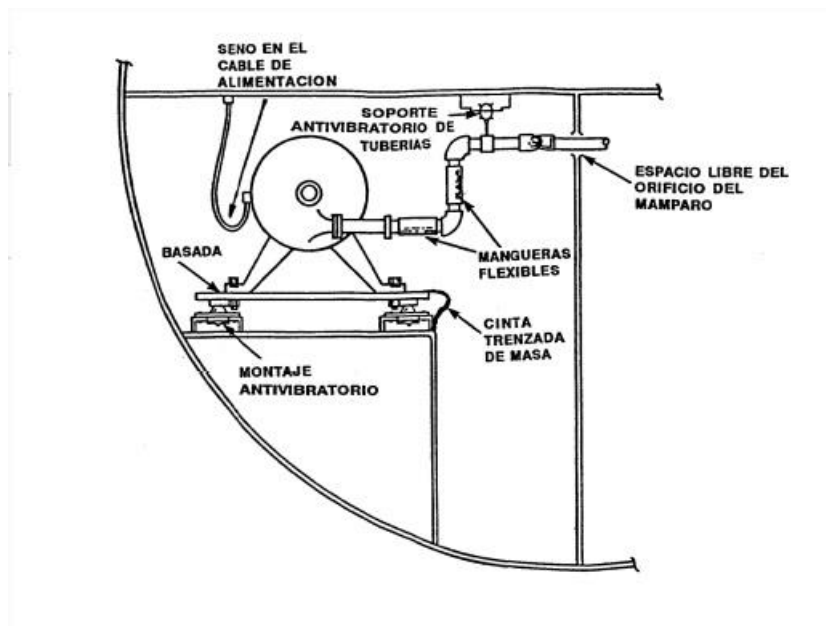




Figura 3. Aislamiento Vibro-Acústico típico en un submarino.

Este tipo de submarino tiene sus propias condiciones de navegación, con el objeto de acotar la firma acústica del buque, que son las siguientes:

- Condición de Patrulla: Profundidad estimada de 150 metros, a una velocidad de 4 nudos.
- Condición de Combate: A una profundidad estimada de 150 metros y con una velocidad de 12 nudos.

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

- Condición de Snorkel: A profundidad de la cota de Snorkel, con una velocidad estimada de 8 nudos y con los grupos diésel-generadores a pleno rendimiento.

Debido al funcionamiento a pleno rendimiento de los grupos diésel-generadores, la condición de Snorkel es la más desfavorable desde el punto de vista acústico del propio submarino.

4.2. COMPONENTES PRINCIPALES DE LA FIRMA ACÚSTICA EN UN SUBMARINO DIÉSEL-ELÉCTRICO.

La firma acústica es el conjunto de sonidos que radia un buque, se le denomina “firma” por ser específica de cada tipo de buque, en este caso de un submarino. La firma está formada por componentes de banda ancha y estrecha, cada uno de ellos con un origen distinto, producido por la maquinaria del objetivo, o su movimiento a través del agua, normalmente consiste en un ancho de banda continuo que contiene varias frecuencias características.

En una firma puede aparecer un tercer tipo de ruido de corta duración, que puede ser una combinación de ruidos en banda ancha y estrecha, se les llama transitorios debido a que no se producen de forma continuada ni dependen del estado operativo de la plataforma. Se incluyen como fuente de ruidos transitorios las bombas hidráulicas, ruidos de timones, descargas de generadores de vapor, sonidos producidos por la tripulación de la plataforma, etc.

La detección por sensores acústicos es posible incluso a distancias considerables (por encima de 10 km), pudiéndose determinar no sólo la presencia y posición del submarino, también otras características del mismo que permitan identificarlo, tales como el sistema propulsor, la velocidad de giro de la línea de ejes o el número de palas de la hélice.

La banda de frecuencias de los sensores acústicos se representa en la siguiente figura:

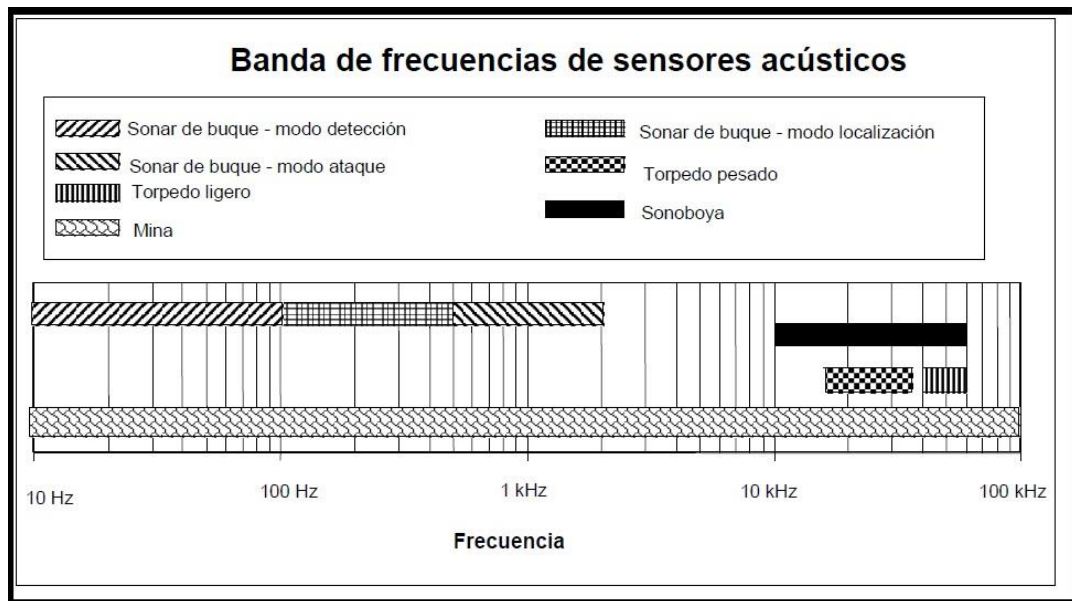


Figura 4. Banda de frecuencias de sensores acústicos.

Las tres principales componentes de la firma acústica de un Submarino son las siguientes:

- Ruido Radiado.
- Ruido Propio.
- Ecosonar.

Aunque el origen del ruido propio y el ruido radiado es el mismo, se diferencian en que, en el primero, el hidrófono va montado a bordo del submarino que produce el ruido y se mueve con él, y en el segundo, el hidrófono está fijo en la mar o va montado en otra plataforma distinta a la que produce el ruido.

El ruido propio es un tipo de ruido muy particular, debido a que se produce como consecuencia, entre otras razones, de llevar montado el sonar en una plataforma más o menos ruidosa.

El organigrama siguiente recopila todas las fuentes de ruido que intervienen en el funcionamiento de un equipo sonar.

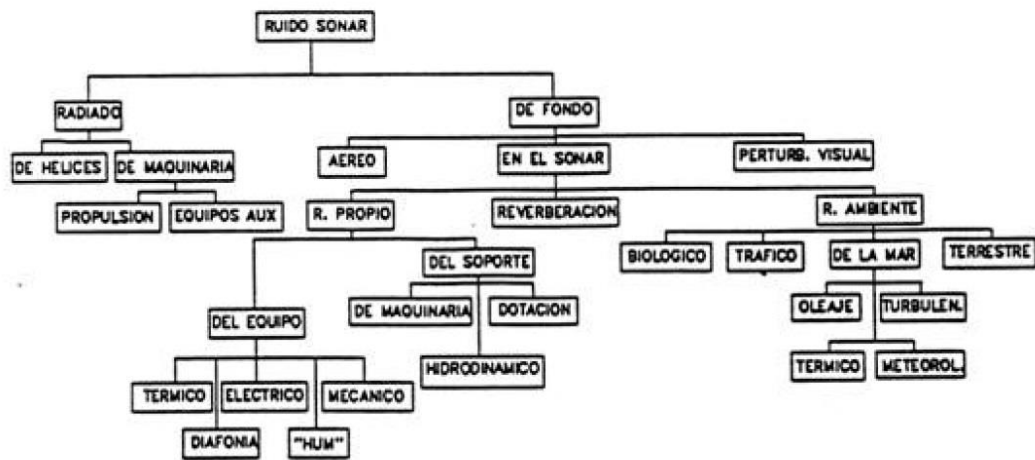


Figura 5. Organigrama sobre las fuentes de ruido.

Desde el punto de vista táctico, el ruido propio interfiere la escucha, mientras que el ruido radiado delata la presencia del buque o submarino.

4.2.1. RUIDO RADIADO (FIRMA DE RUIDO EN CAMPO LEJANO).

El ruido radiado es la señal acústica, involuntariamente radiada por el funcionamiento del submarino, que en campo lejano, permite su identificación por un sensor acústico pasivo de cualquier otro artefacto.

El nivel de ruido radiado en campo lejano se presenta como un nivel de presión omnidireccional en el agua, en dB ref. 1 μ Pa en ancho de banda de 1 Hz a 1.000 metros de distancia.

Las principales fuentes de ruido radiado son:

- Maquinaria (propulsores y auxiliares).
- Hélices (cavitaciones y vibraciones inducidas),
- Efectos hidrodinámicos (flujo, resonancia y cavitación).

Este tipo de ruido es el resultado de la suma de una serie de niveles parciales de ruido producidos por las diferentes fuentes de ruido del submarino. Se han distinguido dos tipos de fuentes de ruido, denominadas respectivamente exteriores (transmisión directa) e interiores (transmisión estructural y aérea) al casco resistente.

4.1.1.1. Ruido de Transmisión Directa.

Se consideran fuentes exteriores la Hélice, el ruido producido por el flujo alrededor de la carena (Ruido Hidrodinámico) y el ruido radiado generado por las diversas exhaustaciones al mar, en especial, el producido por el Difusor de los gases de escape.

El ruido máximo que producen las hélices es debido a la presencia del fenómeno de cavitación, que se origina debido a la rotación de las hélices que producen zonas de baja presión en la superficie de la pala y en su contorno. Cuando la presión generada es menor que la presión de vapor, el agua empieza a formar burbujas. Estas burbujas al desplazarse a zonas de mayor presión implosionan generando ruido intenso.

El ruido de las hélices también se origina cuando hay aceleraciones, cambios de rumbos o la pala está dañada.

La cavitación empieza por el filo de la pala, ya que es la parte que va a mayor velocidad, no obstante si la velocidad de la hélice aumenta, puede llegar a producirse cavitación en toda la pala.

A partir de una determinada velocidad de giro de la hélice, aparece bruscamente la cavitación, que a partir de ese momento, si se sigue aumentando la velocidad, aumenta de forma más gradual. A la velocidad en que aparece la cavitación se le llama “Velocidad Crítica”, y es función de la profundidad de la hélice y de sus revoluciones por minuto (rpm).

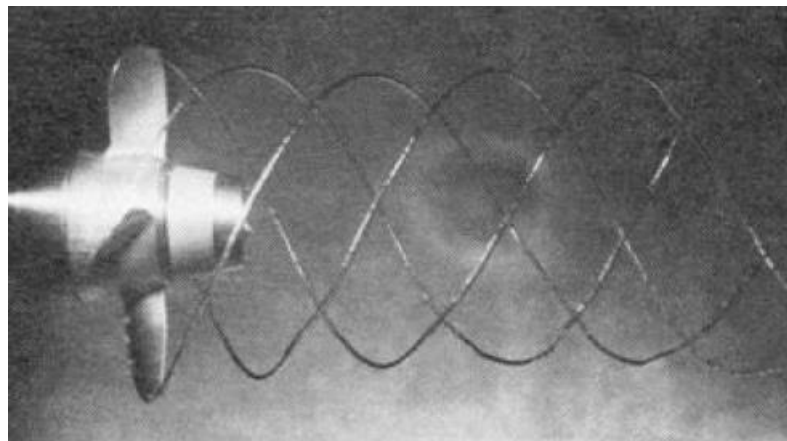


Figura 6. Cavitación de la hélice.

Se puede comprobar igualmente que existe un pico en frecuencias en relación con el momento de colapso de las burbujas más grandes.



$$f_m = \frac{1}{2 a_0} \sqrt{\frac{P}{\rho_0}}$$

Siendo ρ_0 la densidad media del fluido, a_0 el radio máximo de las burbujas, y P la presión de colapso de las burbujas.

A medida que la velocidad crece, el pico de la curva se desplaza a la zona de bajas frecuencias porque a_0 aumenta. Por el contrario cuando la profundidad aumenta el pico se desplaza a la zona de altas frecuencias porque P aumenta.

Una forma de parametrizar esta medida es el coeficiente adimensional K_a , propio de cada hélice, que mide el estado del flujo en relación a la cavitación. Se define como:

$$K_a = \frac{p_v - p_0}{\frac{1}{2} \rho_0 U_a^2}$$

Con p_0 la presión estática ambiental, p_v la presión del vapor de agua, ρ_0 la densidad del agua y U_a la velocidad de avance de la hélice en m/s.

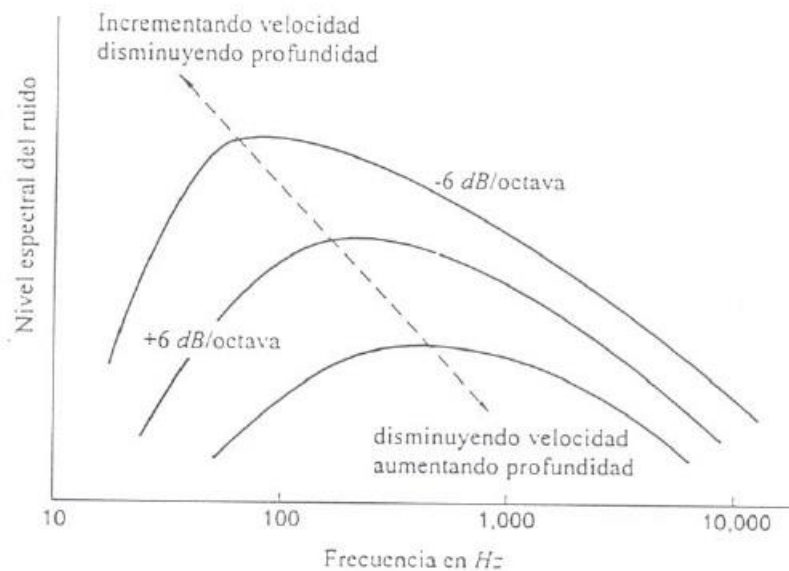




Figura 7. Ruido de cavitación.

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

Otra fuente de ruido radiado es el Ruido Hidrodinámico, este tipo de ruido es originado por el flujo de agua que roza el casco de la embarcación, por lo que en algunas ocasiones es llamado ruido de flujo, y puede inducir frecuencias de resonancia en algunas partes de la estructura. Normalmente el ruido hidrodinámico es menor importancia que el ruido de hélices.

Existe una amplia serie de ruidos que caen dentro de la categoría de ruido hidrodinámico o ruido de flujo. En este tipo de ruido cabe incluir los ruidos de estela, las vibraciones del casco creadas por la presión variable del flujo turbulento, la turbulencia en la capa límite debido a los remolinos generados por la rugosidad y las vibraciones excitadas por el flujo en cavidades o aberturas.

El ruido hidrodinámico es muy importante por su efecto sobre el sonar activo y pasivo. Es una fuente difícil de aislar y medir e incluso muy difícil de controlar. La experiencia, sin embargo dice que este tipo de ruido existe y que tanto en barcos de superficie como en submarinos, crece cuando lo hace la velocidad hasta limitar la actividad del sonar.

A bajas velocidades el ruido de flujo es mucho más débil que el ruido de maquinaria pero sin embargo, crece ampliamente con la velocidad y eventualmente puede llegar a enmascarar cualquier componente del ruido.

Por último los difusores de gases de escape minimizan el ruido radiado al agua absorbiendo energía acústica, y mediante el empleo de un material fonoabsorbente a base de poliuretano de baja impedancia en el interior de las cavidades existentes en la parte inferior del plano de la placa vórtice, donde hacen contacto las burbujas de gas.

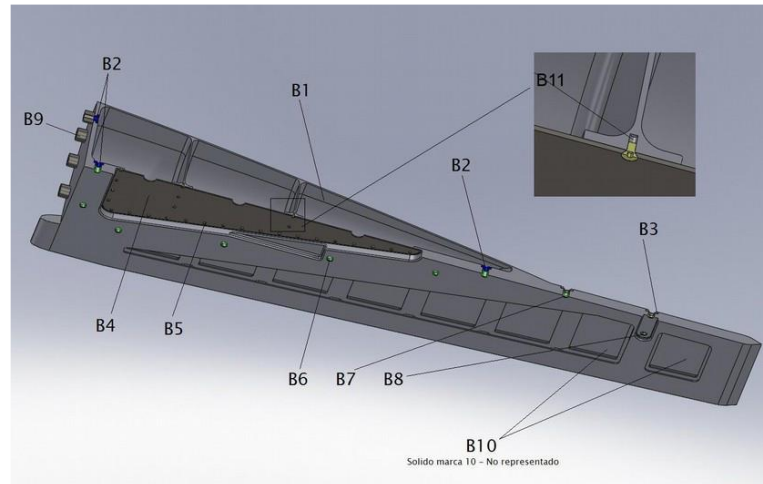


Figura 8. Sección Placa Vórtice del Difusor de Gases de Escape.

4.1.1.2. Ruido de Transmisión Estructural y Aérea.

Las fuentes de ruido interiores son la maquinaria, las tuberías y conductos. La transmisión del ruido de las fuentes interiores puede realizarse por vía estructural (cuando la vibración originada por las máquinas se transmite hasta la estructura del casco resistente, el cual radia en forma de fluctuaciones de presión) o por vía aérea, cuando el ruido producido por las máquinas se transmite en forma de presión sonora por el aire y excita movimientos vibratorios en la estructura del buque, los cuáles a su vez son radiados al agua como en el caso anterior.

Normalmente este tipo de ruidos son debidos a:

- Dispositivos giratorios no balanceados.
- Discontinuidades repetitivas (p.ej., turbinas, dientes de engranajes, etc...).
- Movimientos “adelante-atrás” (p.ej., explosiones de los diésel).
- Cavitación y turbulencia en el flujo de fluidos (bombas, válvulas, conductos).

Estos ruidos son discontinuos y presentes en frecuencias determinadas, y varían con la velocidad de rotación de los sistemas, aumentando con la velocidad de la embarcación.



4.1.1.3. Propagación del Ruido Radiado.

Los caminos de propagación del ruido radiado son principalmente tres:

- Línea directa en el agua.
- Reflexiones de la superficie del mar.
- Reflexiones del fondo marino.

Los cuales se han representado en el siguiente diagrama ejemplificativo:

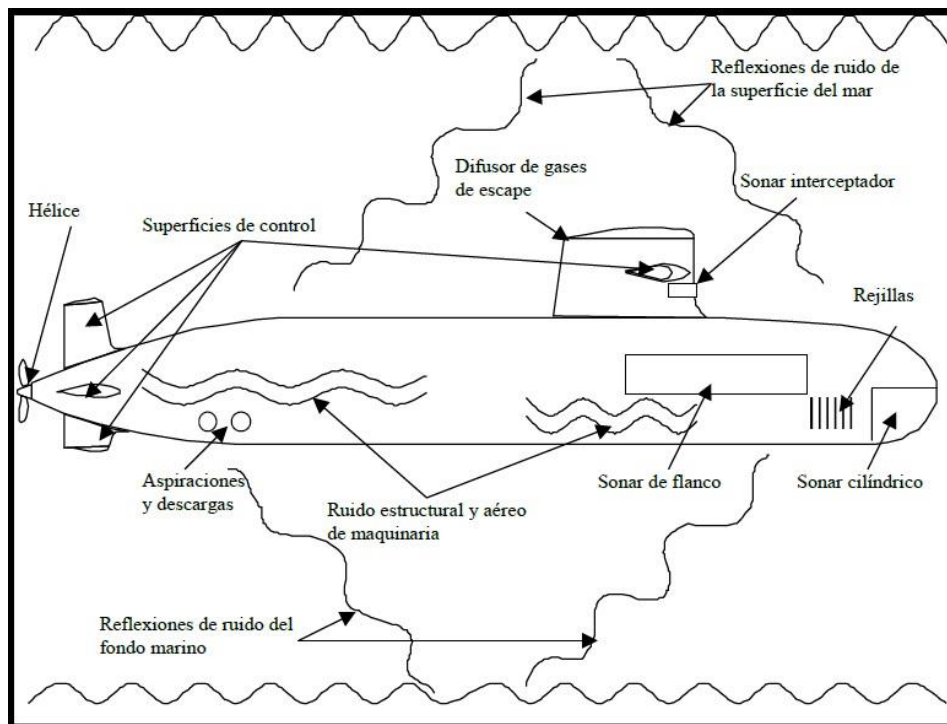


Figura 9. Resumen de las fuentes y los caminos de transmisión del ruido.

4.2.2. RUIDO PROPIO (FIRMA DE RUIDO EN CAMPO CERCANO).

El Ruido Propio es la señal acústica involuntariamente radiada por el funcionamiento del submarino, que en campo cercano interfiere con el funcionamiento de los sensores acústicos propios.

El nivel de ruido propio se presenta como un nivel de presión en el agua en dB ref. 1 μ Pa en ancho de banda de 1 Hz en el campo próximo a la carena del submarino. Está constituido por una serie de niveles de ruido producidos en las proximidades de la carena por las fuentes de ruido del submarino.

La contribución típica de las componentes principales del ruido propio es ligeramente distinta a la del ruido radiado en campo lejano. En especial, se destaca la reducción de la influencia debida al propulsor y el aumento de la influencia del ruido hidrodinámico en la proximidad de los hidrófonos del equipo sonar.

Por lo tanto, en relación al ruido propio, la influencia generada por el ruido hidrodinámico y la proximidad de las fuentes de ruido interiores al casco resistente a los equipos sonar montados en la carena debe controlarse en primera instancia.

4.2.2.1. Emisión y Vías de Transmisión del Ruido Propio.

Al igual que el ruido radiado, las fuentes de emisión y vías de transmisión del ruido propio son idénticas a las del ruido radiado, que son:

- Maquinaria
- Hélices
- Efectos Hidrodinámicos.

Además, se deben incluir los ruidos que pueda producir:

- La dotación.
- La interferencia eléctrica a causa de los equipos a bordo.

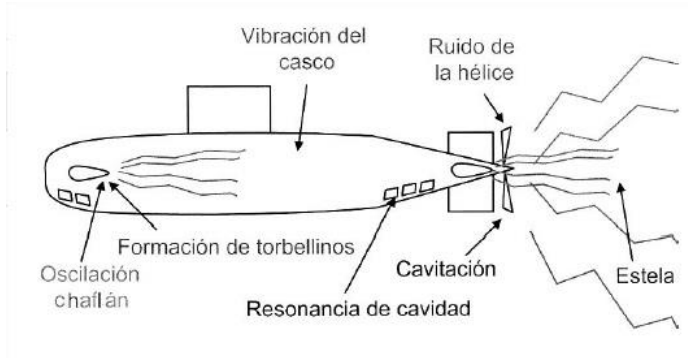


Figura 10. Fuentes de ruido propio.

La maquinaria en el ruido propio del submarino es particularmente activa en bajas frecuencias sobresaliendo en forma de componentes tonales. A diferencia con otros tipos de ruidos, el originado en la maquinaria es relativamente independiente de la velocidad del barco, debido a que se origina, en su mayor parte, en la misma maquinaria cuyo ritmo de trabajo es independiente de la velocidad, en consecuencia, a bajas velocidades en las que los otros tipos de ruido carecen de importancia, la maquinaria será la causa más importante en el ruido propio.

A mayores velocidades, en altas frecuencias y en aguas poco profundas, el ruido propio predominante procederá del ruido de las hélices, junto con los ruidos de origen hidrodinámico.

El ruido hidrodinámico crece fuertemente con la velocidad, siendo la principal fuente de ruido a altas velocidades.

El ruido eléctrico puede ser un factor importante de ruido propio, si bien su existencia indica más bien un mal funcionamiento o un mal diseño del equipo. Si el submarino tiene que tener como requisito condiciones extremadamente silenciosas, debe tenerse en cuenta la proximidad de la fuente del ruido a los equipos sonar montados en la carena.



4.2.2.2. Influencia de la Velocidad en el Ruido Propio.

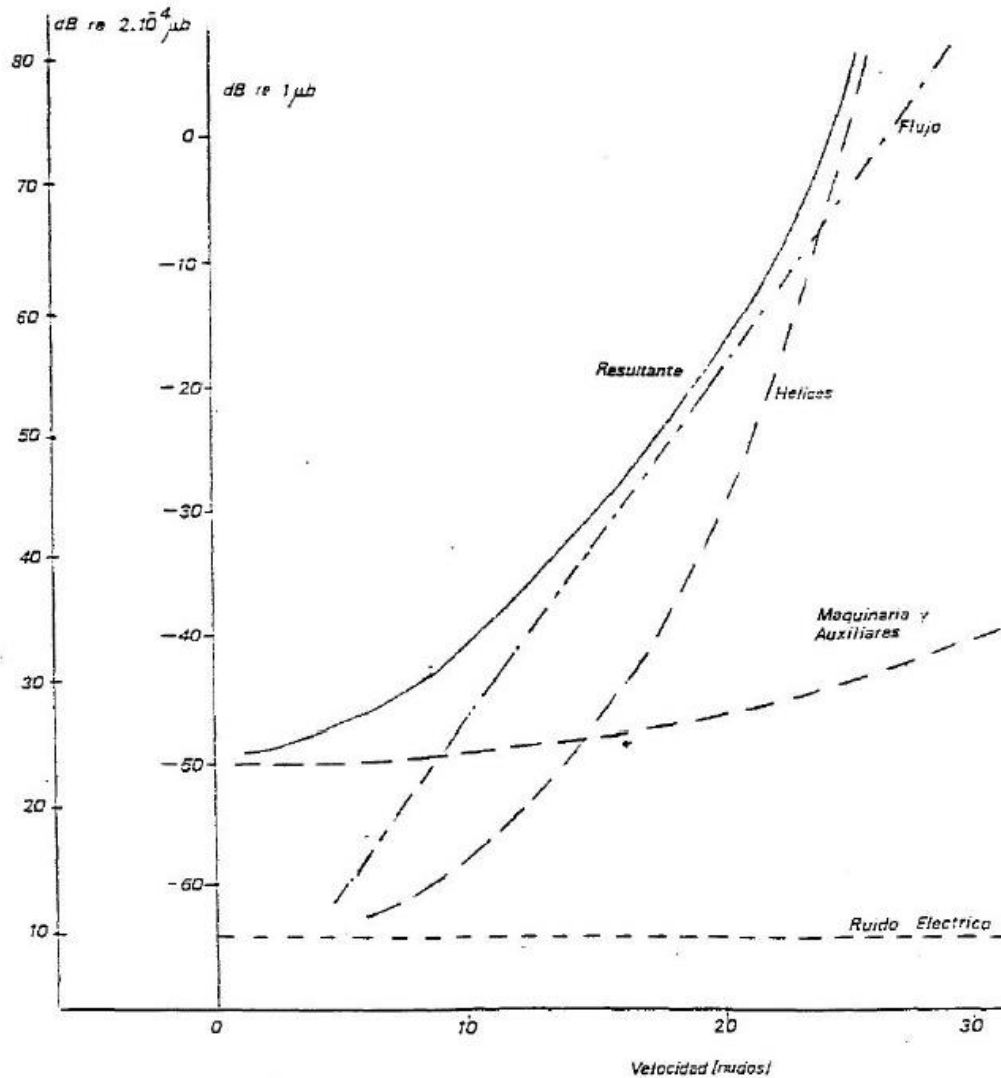


Figura 11. Fuentes de Ruido Propio y nivel de las mismas en función de la velocidad.

A baja velocidad (0-10 nudos), el ruido lo origina principalmente la maquinaria, el cual se conduce través del casco, y se propaga por el agua, comportándose como una onda plana procedente de una sola dirección errónea frente al sonar.

A grandes velocidades (mayores de 10 nudos), el ruido es generado por la capa límite turbulenta, que es el ruido de flujo inducido. Se encuentra cuando el submarino se encuentra a poca profundidad, por lo que predominará la cavitación de la hélice.

En la siguiente tabla se muestra la influencia de la frecuencia y la velocidad en el ruido propio.



	Influencia de la Velocidad	Influencia de la Frecuencia
Cavitación	Umbral	$-20 \log f$
Ruido Hidrodinámico	$60 \log V$	$-30 \log f$
Ruido Mecánico	$20 \log V$	$-20 \log f$

Tabla 1. Influencia de la frecuencia y la velocidad en el ruido propio.

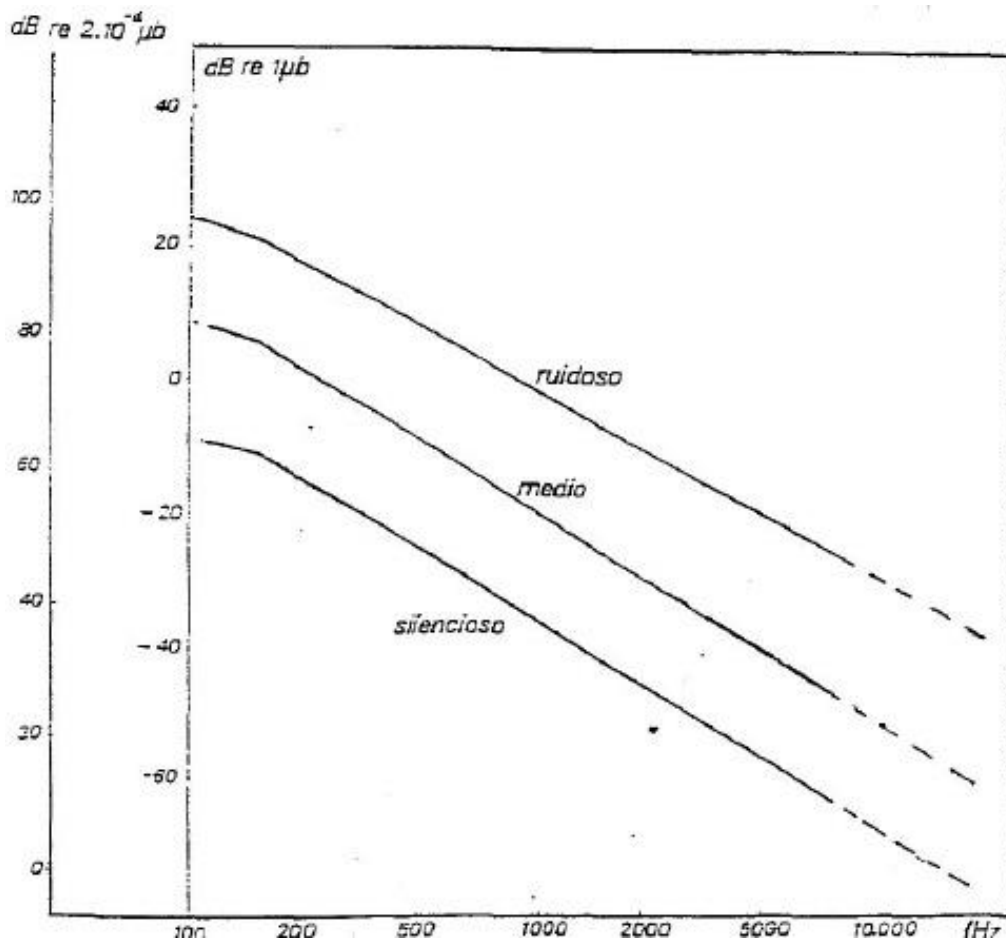


Figura 12. Nivel isotrópico espectral del Ruido Propio para submarinos en condición de Snorkel.

Se observa en la Figura 12 que el nivel isotrópico espectral del ruido propio en submarinos decrece con la frecuencia en 60 dB/octava aproximadamente, por lo que los clasifica en silenciosos, nivel de ruido medio o ruidosos.



4.2.2.3. Importancia del conocimiento del Ruido Propio.

El conocimiento del Ruido Propio del Submarino proporcionará datos precisos sobre los sistemas de detección y escucha, en particular:

- El alcance teórico de detección pasiva.
- Maniobras favorables.
- Frecuencias óptimas de escucha.
- Tiempo de preaviso del dispositivo de alerta.
- Influencia de los auxiliares y dispositivos arrastrados.
- Determinación de las interferencias eléctricas y/o acústicas.
- Influencia del ruido de las hélices.
- Influencia de domos y pantallas.

La siguiente figura resume de manera cualitativa las fuentes del Ruido Propio del Submarino.

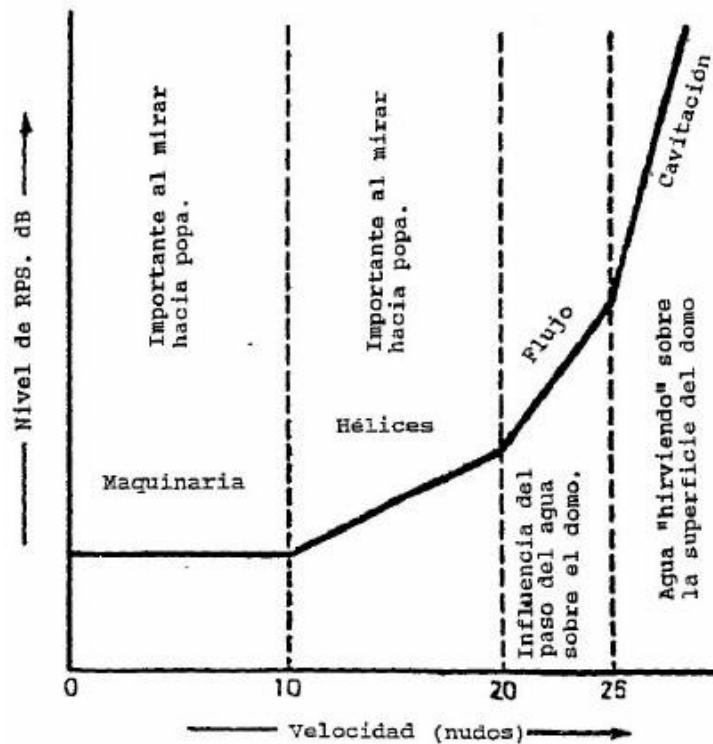


Figura 13. Resumen de influencia de la Velocidad en el Ruido Propio.

4.2.3. ECOSONAR.

El sensor acústico activo emite pulsos de energía de presión sonora en el agua y detecta la presencia de un objetivo por la energía que éste refleja en la dirección del sensor. El Ecosonar del submarino es la suma de la reflexión de las superficies reflectantes del submarino y se expresa en forma de nivel de área (NES), se define en dB, expresado por la fórmula $10 \log (I_{r_{1m}} / I_i)$, donde:

- $I_{r_{1m}}$, es la intensidad del sonar reflejada a una distancia de referencia de 1 m del centro acústico virtual del Submarino, deducida a partir de medidas en el campo lejano.

- I_i , es la intensidad incidente.

Las superficies principales reflectantes al sonar son aquellas orientadas perpendicularmente a la dirección de incidencia de la señal sonar.

Las superficies metálicas reflejan el sonar en todas las frecuencias, sin embargo, las superficies de fibra de vidrio (siendo el caso del forro de la vela y la superestructura) únicamente son reflectantes a frecuencias altas (superiores a 30 kHz). El espectro de reflexión de las superficies con aire o con fluido en el interior de la superficie es similar.

En el campo lejano, la firma ecosonar mínima se consigue cuando el submarino presenta un mínimo de superficies normales o cuasi-normales a la línea de acción de la amenaza, la cual se considera en un plano horizontal paralelo a la superficie del mar. Sin embargo, en el campo próximo la línea de acción de la amenaza no se debe considerar exclusivamente en un plano horizontal sino en todos los ángulos de elevación.

Un nivel bajo del ecosonar disminuirá la distancia de detección por los sensores acústicos activos del enemigo, aumentando así la capacidad de supervivencia del submarino a los ataques en los que los sensores acústicos activos juegan un papel principal.

5. LISTA DE FUENTES SONORAS PRINCIPALES.

La lista de fuentes sonoras principales determina el conjunto de los elementos críticos para la discreción acústica, tanto interior como exterior al casco resistente.

Específicamente, se centra en la definición de las fuentes de ruido interiores al casco resistente, con el objeto de acotar el alcance de los equipos mecánicos y eléctricos instalados en el submarino, que serán contribuyentes principales a la firma de ruido radiado y que, por consiguiente, deberán cumplir con las exigencias globales para la discreción acústica.

Se identifican las fuentes de ruido principales según su localización en el submarino o sistema al que pertenece, criticidad acústica, tipo de montaje, número de equipos y número de equipos en condición “Snorkel”.

La criticidad acústica se divide en dos tipos:

- CAM (Criticidad Acústica Media).
- CAA (Criticidad Acústica Alta).

En función de este tipo de criticidad, se tendrá en cuenta que las fuentes de ruido operen en condición de Snorkel.

La siguiente tabla muestra las principales fuentes de ruido:

Sistemas	Equipos	Criticidad	Tipo de Montaje	Nº Equipos	Nº Equipos en Condición Snorkel
Auxiliar de Proa	Electrobombas de refrigeración de agua dulce	CAA	EMT7	2	1
	Climatizadores	CAA	EMT5	5	4
	Electrobombas de agua de mar	CAA	EMT7 (*)	2	1
	Electrobombas autocebadas	CAA	EMT7	2	1



TRABAJO FIN DE GRADO
GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS
MARINOS
MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO



	Electrobombas de Refrigeración de Agua Desionizada	CAA	EMT7	2	1
	Electrobomba volumétrica de achique principal	CAM	EMAPS	1	1
	Electrobombas de aceite hidráulico	CAA	EMT7	3	1
	Electrocompresor de agitado del electrolito	CAM	EM7	1	1
	Electrocompresores frigo-viveres	CAA	EMP	2	1
	Conjunto unidades condensadoras	CAA	EMAPS	-	-
	Convertidor estático de 115 V/60 Hz	CAM	EMP	1	1
Auxiliar de Popa	Electrocompresores de aire de alta presión	CAA	EMT7	2	2
	Electrobombas de refrigeración de agua de mar	CAA	EMT7	2	1
	Electrobombas de refrigeración de agua dulce	CAA	EMT7	2	1
Auxiliar centro	Electrocompresor de agitado del electrolito	CAM	EMP	1	1
	Electrobomba de servicio hidráulico común	CAA	EMT7	1	1
	Electrobombas volumétricas de servicio hidráulico exterior	CAA	EMT7	2	1





TRABAJO FIN DE GRADO
GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS
MARINOS
MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO



	Ventiladores aire vaciado y aire fresco	CAA	EMT7 (*)	3	2
	Climatizadores	CAA	EMT5	3	3
Diésel Generadores	Grupo Diésel/Alternador rectificador Generadores (DARs)	CAA	EMT7	3	3
	Electrobombas precalentadora de DARs	CAM	EMP	3	3
	Electroventiladores de DARs	CAM	EMP	6	6
	Convertidor CC/CA 115V/60HZ	CAM	EMT5	1	1
	Climatizador Diésel	CAA	EMT5	1	1
Propulsión	Motor Eléctrico Principal (MEP)	CAA	EMACR	1	1
	Climatizador Propulsión	CAA	EMT5	1	1
Planta Hidráulica	Planta hidráulica unidad	CAA	EMT7	1	1
Cuadros Eléctricos	Armarios Convertidores	CAM	EMP	-	-
Locales Frigoríficos	Conjuntos evaporadores	CAA	EMT5	2	2
	Ventiladores frigo-viveres	CAM	EMT7 (*)	2	2

Estructura del Casco No Resistente Popa	Hélice	N/A	-	-	-
	Línea de ejes	N/A	-	-	-
Vela	Difusores de Gases de Escape	N/A	-	-	-
	Mástil de Inducción ‘‘Snorkel’’	N/A	-	1	1

Tabla 2. Fuentes de Ruido Principales de un Submarino.

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

6. AISLAMIENTO DE LA VIBRACIÓN.

Para cada equipo de la lista de fuentes sonoras principales que estará funcionando durante la verificación de la firma acústica del buque, se establecerá un nivel máximo de vibración, de forma que no comprometa la firma del submarino.

6.1. CONTROL DE LA VIBRACIÓN.



Los métodos de control de vibraciones consisten principalmente en alterar el trayecto de transmisión mediante la instalación de sistemas de aislamiento de vibraciones pasivos, adaptativos-pasivos o activos.

Un método para controlar la fuente de vibración generada por un motor diésel es utilizar un motor bien equilibrado, como una configuración V8 que sea inherentemente libre de momentos. Otro método consiste en utilizar sistemas electrónicos avanzados de inyección diésel con algoritmos de ajuste que ajustan continuamente la cantidad de combustible y el momento de entrega, que se utiliza para reducir la vibración generada por los motores diésel.

6.1.1. MÉTODO PASIVO.

Es el método más utilizado para atenuar la vibración del equipo, consiste en montar un aislador de vibraciones que altere la trayectoria de la vibración. Hay muchos tipos y configuraciones de aisladores pasivos de vibración como resortes de metal, caucho sintético, cable en espiral y muchos más. La mayoría de estos aisladores están diseñados para funcionar con una relación lineal constante entre la cantidad de fuerza aplicada al aislador y su deflexión, lo que se denomina la Ley de elasticidad de Hooke.

Los aisladores de vibraciones también funcionan con una relación no lineal entre la fuerza aplicada y su desplazamiento. Estos tipos de aisladores son útiles para el aislamiento de choques, donde se puede requerir una fuerza de reacción creciente a medida que aumenta la deflexión.

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

Un aspecto peculiar de los aisladores de vibraciones no lineales es la posibilidad de utilizarlos para impedir la vibración tonal.

Otra clase de control de vibración pasiva consiste en ajustar automáticamente las características del aislador mientras está instalado y en funcionamiento, y se denomina control adaptativo-pasivo.

El sistema adaptativo-pasivo utiliza el mismo principio que los neutralizadores de vibración sintonizados, sólo que puede sintonizarse con la frecuencia de la vibración perturbadora. La sintonía se consigue ajustando la longitud de los brazos en voladizo sobre los que se fijan las masas rígidas, lo que altera la rigidez efectiva del sistema y, por lo tanto, la frecuencia de resonancia del dispositivo. El sistema requiere baja potencia para operar, un microcontrolador y un actuador. Los actuadores sólo funcionan cuando el dispositivo necesita ser reajustado por el sistema de control automático para que coincida con la frecuencia de vibración perturbadora.



Otra técnica pasiva que se utiliza para reducir la vibración es un amortiguador de vibraciones de masa, que consiste en una masa, un resorte y un elemento amortiguador.

El dispositivo se fija a una estructura vibratoria y la vibración se atenúa mediante amortiguación.

6.1.2. MÉTODO ACTIVO.

Los sistemas de aislamiento activo de vibraciones utilizan una fuerza de contracción para reducir la vibración de una fuente, normalmente se utilizan en combinación con sistemas de aislamiento pasivo de vibraciones, de modo que si el sistema activo falla, el sistema pasivo seguirá proporcionando cierta atenuación de la vibración.

Uno de las características de los sistemas de aislamiento activo de vibraciones es reconocer la importancia de la transmisión de la potencia vibratoria tanto en movimiento de traslación como de rotación desde la fuente de vibración, a través del aislador y hacia la estructura receptora.

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

Los sistemas activos de aislamiento de vibraciones que sólo actúan a lo largo de un único eje de traslación pueden provocar a veces un aumento de los niveles de vibración debido a la negligencia en la transmisión de la fuerza de vibración a lo largo de los ejes de rotación.

6.2. MEDIDAS CONTRA LA VIBRACIÓN.



Cualquier condición no satisfactoria que resulte de la excitación de una frecuencia de resonancia en cualquier equipo por la hélice, línea de ejes, Motor Eléctrico Principal (MEP), grupos Diésel-Alternador-Rectificador (DARs) o cualquier otra fuerza excitadora se corregirá por medio de un reforzado local, instalación de tacos elásticos, modificación de los componentes o cualquier otro procedimiento.

Los equipos delicados, tales como los armarios eléctricos y electrónicos, y las consolas multifunción se protegerán mediante tacos elásticos.

Las conexiones y otros componentes que tengan cierres de estanqueidad (p.ej.: válvulas, distribuidores, etc.) del sistema hidráulico, de los que no se disponga referencia de su aptitud para instalación en buques, se cualificarán a la vibración mediante una prueba de verificación de la resistencia a la vibración ambiental.

Se aplicarán los principios siguientes en la instalación de los tacos elásticos:

- Utilización de tacos elásticos para los equipos de la lista de fuentes sonoras principales.
- Diseño especial de las suspensiones del Motor Eléctrico Principal (MEP) en razón a su movimiento respecto a la línea de ejes.
- Utilización de tacos elásticos para las plataformas suspendidas de los Locales de Auxiliares Proa, Cámara de Mando y Control, Grupos Diésel Generadores, Cuadros Eléctricos, Ventilación y Auxiliares Popa, encima de los cuales se instalarán el número máximo posible de equipos de la lista de fuentes sonoras principales.

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

- Huelgos para libertad de movimiento alrededor de los equipos y utilización de conexiones flexibles en la tubería y en el cableado para no introducir “cortocircuitos” de transmisión de vibración de los equipos de la lista de fuentes sonoras principales.

6.3. MONTAJES ANTIVIBRATORIOS.

Los montajes antivibratorios tienen dos aplicaciones, como monturas de maquinaria y como soporte de tuberías, los montajes tienen que ser capaces de realizar tres funciones:

- 1) Fuerza para soportar correctamente la parte proporcional correspondiente del peso total de la máquina.
- 2) Suficiente elasticidad para reducir el ruido y las vibraciones soportadas por la estructura, aislando el origen del ruido de la misma.
- 3) Capacidad para limitar o amortiguar los movimientos de la máquina debido a las maniobras del Submarino, mala mar o golpes.

El grado de reducción en la transmisión de vibraciones a la estructura por los polines depende de la frecuencia natural del montaje. Para reducir con efectividad vibraciones o ruidos de baja frecuencia, el montaje antivibratorio, cuando está soportando su carga establecida, tiene que tener una frecuencia natural 1,4 veces inferior a la frecuencia más baja del ruido que tiene que reducir, la mayoría de los montajes antivibratorios que hay en servicio hoy en día tienen frecuencias naturales entre 5 y 15 Hz.

Los amortiguadores se utilizan junto con los montajes antivibratorios para reducir o limitar los desplazamientos de la maquinaria instalada en ellos. Es importante tener en cuenta que los montajes de maquinaria no son montajes antichoque, ya que estos no protegen la maquinaria de las maniobras del buque, mala mar, o golpes, esa función la cumplen los amortiguadores.

Los montajes antivibratorios detienen la transmisión de vibraciones en sentido opuesto a los montajes antichoque, de tal forma que evitan que la vibración normal generada por la maquinaria llegue a la plataforma.

6.3.1 TIPOS DE MONTAJES ANTIVIBRATORIOS.

El tipo de montaje se clasifica según el siguiente criterio:

- EMR: Equipo montado rígidamente a la estructura del submarino.
- EMT5: Equipo montado sobre tacos elásticos, de una frecuencia natural de aproximadamente 5 Hz, dispuestos sobre el casco resistente.
- EMT5 (*): Equipo montado sobre tacos elásticos, de una frecuencia natural de aproximadamente 5 Hz, dispuestos sobre unos elementos antivibratorios especiales (modelo MN10).
- EMACR: Equipo montado sobre arandelas de desacoplamiento, de una frecuencia natural de aproximadamente 15 Hz, dispuestas sobre el casco resistente.
- EMP: Equipo montado rígidamente sobre una plataforma suspendida, dispuesta ésta a través de tacos elásticos de una frecuencia natural de aproximadamente 5 Hz sobre el casco resistente.
- EMT7: Equipo montado sobre tacos elásticos, de una frecuencia natural de aproximadamente 7 Hz, sobre una plataforma suspendida, dispuesta ésta a su vez a través de tacos elásticos de una frecuencia natural de aproximadamente 5 Hz sobre el casco resistente.
- EMT7 (*): Equipo montado sobre tacos elásticos, de una frecuencia natural de aproximadamente 7 Hz, sobre una plataforma suspendida, dispuestos sobre unos elementos antivibratorios especiales (modelo MN10).
- EMAPS: Equipo montado sobre arandelas de desacoplamiento, de una frecuencia natural de aproximadamente 15 Hz, sobre una plataforma suspendida, dispuesta ésta a su vez a través de tacos elásticos de una frecuencia natural de aproximadamente 5 Hz sobre el casco resistente.



6.3.1.1. Montaje Elástico Simple.

Los equipos con montaje elástico simple (ver Figura 14 y 15) tendrán alguno de los tipos de montaje siguientes:

- Equipos sobre tacos elásticos de una frecuencia natural de aproximadamente 5 Hz, montados sobre el casco resistente, designados EMT5 o EMT.
- Equipos sobre tacos elásticos de una frecuencia natural de aproximadamente 1 5 Hz, montados sobre el casco resistente, designados EMCAR.
- Equipos montados rígidamente a una plataforma suspendida, sobre tacos elásticos de una frecuencia natural de aproximadamente 5 Hz, montados sobre el casco resistente, designados EMP.

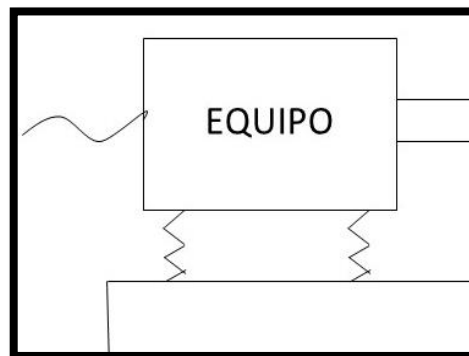


Figura 14. Montaje Elástico Simple (EMT5, EMT5 (*) o EMCAR).

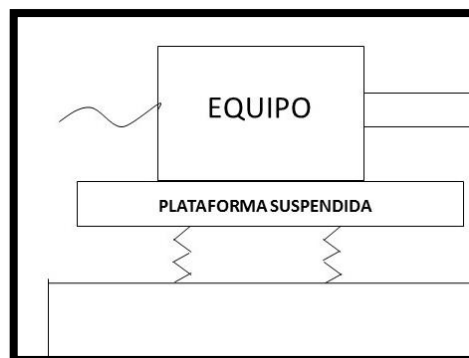


Figura 15. Montaje Elástico Simple (EMP).

6.3.1.1. Montaje Elástico Doble.

Los equipos con montaje elástico doble (ver Figura 16) tendrán alguno de los tipos de montaje siguientes:

- Equipos montados sobre tacos elásticos de una frecuencia natural de aproximadamente 5 Hz, sobre una sub-base la cual a su vez está montada sobre el casco resistente, con tacos elásticos de una frecuencia natural de aproximadamente 5 Hz, designados EMT7 o EMT7 (*).
- Equipos montados sobre tacos elásticos de una frecuencia natural de aproximadamente 15 Hz, sobre una sub-base la cual a su vez está montada sobre el casco resistente, con tacos elásticos de una frecuencia natural de aproximadamente 5 Hz, designados EMAPS.

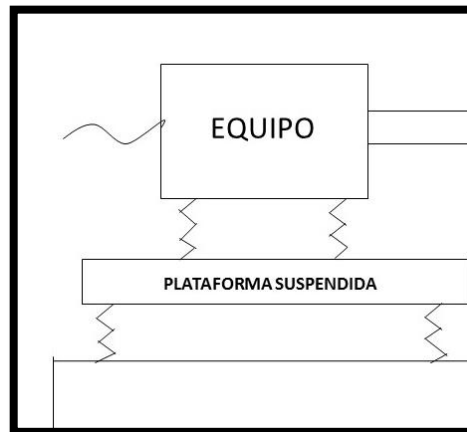




Figura 16. Montaje Elástico Doble (EMT7, EMT7 (*) o EMAPS).

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS	
	MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	

6.3.2. EXIGENCIAS SOBRE LOS CAMINOS DE TRANSMISIÓN ASOCIADOS AL TIPO DE MONTAJE.

Los siguientes criterios básicos se establecen para el trazado de tubería y conductos de aire:

- Los equipos se conectarán al circuito a través de flexibles a la entrada y a la salida, salvo en aquellos circuitos que deban soportar la presión de inmersión.
- Excepto los circuitos de agua de mar que se encontrarán desacoplados, el modo normal de fijación de las tuberías sobre las plataformas suspendidas será rígido.
- El modo normal de fijación de las tuberías sobre el casco resistente (o sobre toda estructura rígidamente unida al casco resistente) será desacoplado.
- Caso particular de los circuitos de agua de mar: con el fin de obtener un contraste de impedancia suficiente y que las tuberías puedan avanzar sobre una base suficientemente desacoplada, las fijaciones por encima y por debajo de los flexibles serán rígidas.
- El modo de fijación de los conductos de ventilación y aire acondicionado sobre las estructuras suspendidas o desacopladas será rígido.
- El modo de fijación de los conductos de ventilación y aire acondicionado sobre el casco resistente será desacoplado.

En relación a estas reglas de diseño, se hace necesario indicar que la premisa de disponer las fijaciones por encima y por debajo de los flexibles rígidas, con el fin de obtener un contraste de impedancia suficiente, se ha hecho extensible al total de instalaciones críticas para la discreción acústica y no sólo al caso particular de los circuitos de agua de mar.

Por su parte, en relación a las reglas de fijación desacoplada de tubería, se concretan a continuación las reglas de diseño que afectan a las instalaciones hidráulicas, por su gran número e importancia.

En particular, las tuberías de las instalaciones de Generación y Distribución hidráulica se dispondrán desacopladas hasta el primer bloque distribuidor hidráulico, el cual se dispondrá rígido sobre el casco resistente. Del mismo modo, los consumidores también se dispondrán fijados rígidamente.

Como excepción a lo anterior se tienen los consumidores de la instalación hidráulica de accionamiento de los timones, ya que al ser consumidores continuos, siempre están demandando fluido para maniobrar el submarino. Para el resto del circuito, se dispone tubería y fijación desacoplada.

6.3.3. TIPOS DE CAMINOS DE TRANSMISIÓN ASOCIADOS AL TIPO DE MONTAJE.

La convención de símbolos empleada para esquematizar el conexionado será la siguiente:




	FLEXIBLE DE TUBERÍA		SOPORTADO RÍGIDO DE TUBERÍA
	MONTAJE SUSPENDIDO A TRAVÉS DE ELEMENTO ANTIVIBRATORIO		SOPORTADO DESACOPLADO DE TUBERÍA O MONTAJE DESACOPLADO A TRAVÉS DE ELEMENTO ANTIVIBRATORIO

Figura 17. Simbología conexionado.

La clasificación presentada responde al siguiente esquema:

6.3.3.1. Exigencias de Trazado sobre las Tuberías.

Encontramos dos tipos de montaje:

A) Montaje sobre Plataforma Suspendida:

A.1) Instalaciones de fluido distinto al agua de mar:

Montaje elástico sobre plataforma suspendida, tubería rígida sobre plataforma suspendida y desacoplada sobre casco resistente.

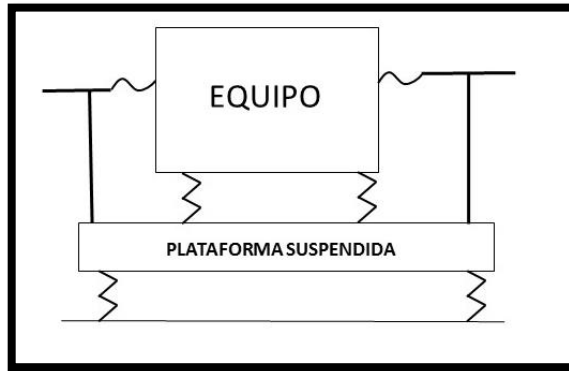


Figura 18. Montaje elástico sobre plataforma suspendida. Instalaciones de fluido distinto al agua de mar.

- Equipo suspendido sobre plataforma suspendida con un tipo de montaje: EMT7.
- Conexión de tubería flexible a la entrada y a la salida del equipo.
- Tubería soportada rígidamente sobre plataforma suspendida.
- Tubería desacoplada sobre casco resistente.
- Conexión de tubería flexible a la entrada y a la salida de la plataforma suspendida.
- Las fijaciones por encima y por debajo de los flexibles serán rígidas.

A.2) Instalaciones de agua de mar sometidas a la presión de inmersión:

Montaje elástico sobre plataforma suspendida, tubería desacoplada sobre plataforma suspendida y rígida sobre casco resistente:

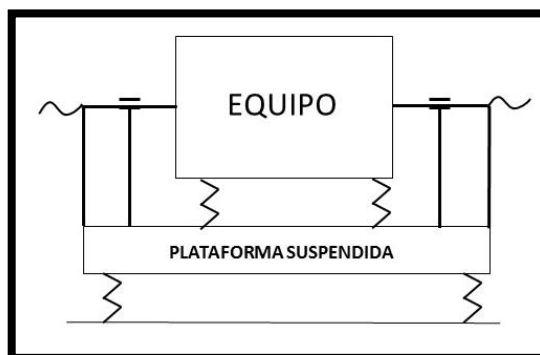


Figura 19. Montaje elástico sobre plataforma suspendida. Instalaciones de agua de mar sometidas a la presión de inmersión.

- Equipo suspendido sobre plataforma suspendida con tipo de montaje EMT7 (*).
- Imposibilidad de conectar tubería flexible a la entrada y a la salida del equipo por condicionantes de seguridad.
- Tubería desacoplada sobre plataforma suspendida.
- Tubería desacoplada sobre casco resistente.
- Conexión de tubería flexible a la entrada y a la salida de la plataforma suspendida.
- Las fijaciones por encima y por debajo de los flexibles serán rígidas.

A.3) Instalaciones de agua de mar no sometidas a la presión de inmersión:

Montaje elástico sobre plataforma suspendida, tubería desacoplada sobre plataforma suspendida y rígida sobre casco resistente:

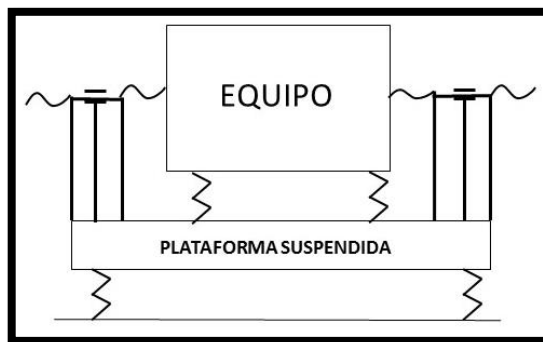


Figura 20. Montaje elástico sobre plataforma suspendida. Instalaciones de agua de mar no sometidas a la presión de inmersión.

- Equipo suspendido sobre plataforma suspendida con tipo de montaje EMT7.
- Conexión de tubería flexible a la entrada y a la salida del equipo.
- Tubería desacoplada sobre plataforma suspendida.
- Tubería rígida sobre casco resistente.
- Conexión de tubería flexible a la entrada y a la salida de la plataforma suspendida.
- Las fijaciones por encima y por debajo de los flexibles serán rígidas.

B) Montaje sobre Casco Resistente:

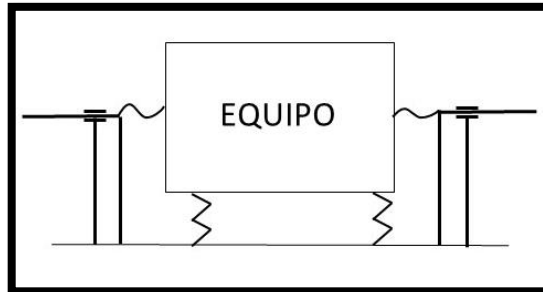


Figura 21. Montaje elástico sobre casco resistente.

- Equipo suspendido sobre casco resistente con tipo de montaje EMT5.
- Conexión de tubería flexible a la entrada y a la salida del equipo.
- Tubería desacoplada sobre casco resistente.
- Las fijaciones por encima y por debajo de los flexibles serán rígidas.

6.3.3.2. Exigencias de Trazado sobre los Conductos de Aire.

- El modo de fijación de los conductos de ventilación y aire acondicionado sobre las estructuras suspendidas o desacopladas será rígido.
- El modo de fijación de los conductos de ventilación y aire acondicionado sobre el casco resistente será desacoplado.
- Para los soportes de los conductos de ventilación y aire acondicionado se utilizarán las bandas de elastómero.
- Las conexiones entre los circuitos de ventilación, así como de aire acondicionado fijados sobre estructuras que tengan movimientos relativos entre sí, se aseguraran mediante manguitos flexibles, capaces de permitir desplazamientos relativos entre las mismas.
- Cuando exista una interfaz entre conducto estructural y conducto desacoplado, se usará un manguito flexible de unión.

6.4. DISPOSITIVOS DE AISLAMIENTO CONTRA LA VIBRACIÓN.

6.4.1. TACOS ELÁSTICOS.

Los tacos elásticos pueden soportar grandes deformaciones y volver luego a aproximadamente a su estado original sin sufrir virtualmente ningún daño. Los soportes elastoméricos son superiores a otros tipos de aisladores en algunos aspectos, ya que para una determinada cantidad de elasticidad, capacidad de deflexión, almacenamiento de energía y disipación precisan de un menor espacio y peso.

Además, pueden ser moldeados con muchas configuraciones distintas de materiales diferentes, por lo general con un coste inferior al de otros tipos de soportes, buen comportamiento dinámico en altas frecuencias, resistencia a la fatiga y a los choques y deformación reducida. Su temperatura de utilización se encuentra entre - 20 °C y 70 °C.

La selección del tipo de taco elástico para un equipo determinado estará de acuerdo con el tipo de montaje.

La elección del número de tacos elásticos dependerá de la frecuencia natural de los mismos, de la masa del equipo y de la carga nominal de los tacos disponibles.

Para las plataformas suspendidas deberá tenerse en cuenta la masa de la propia plataforma, además de todos los equipos instalados sobre la misma. Para los equipos de poca masa (p.ej.: bomba de agua de mar) el número de tacos elásticos deberá ser cuatro.

Para los equipos más pesados y para las plataformas suspendidas, el número de soportes deberán ser como mínimo dos.

La relación entre la frecuencia natural, la carga nominal y la rigidez de un taco elástico es la siguiente:

$$F_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$$



Donde:

F_n es la Frecuencia Natural, medida en Hz.

K es la Rigidez, medida en N/m.

M es la Carga Nominal, medida en kg.

Las características de atenuación vibratoria y de altura bajo carga nominal, arrojan valores estables después de un mes bajo carga a 20 °C:

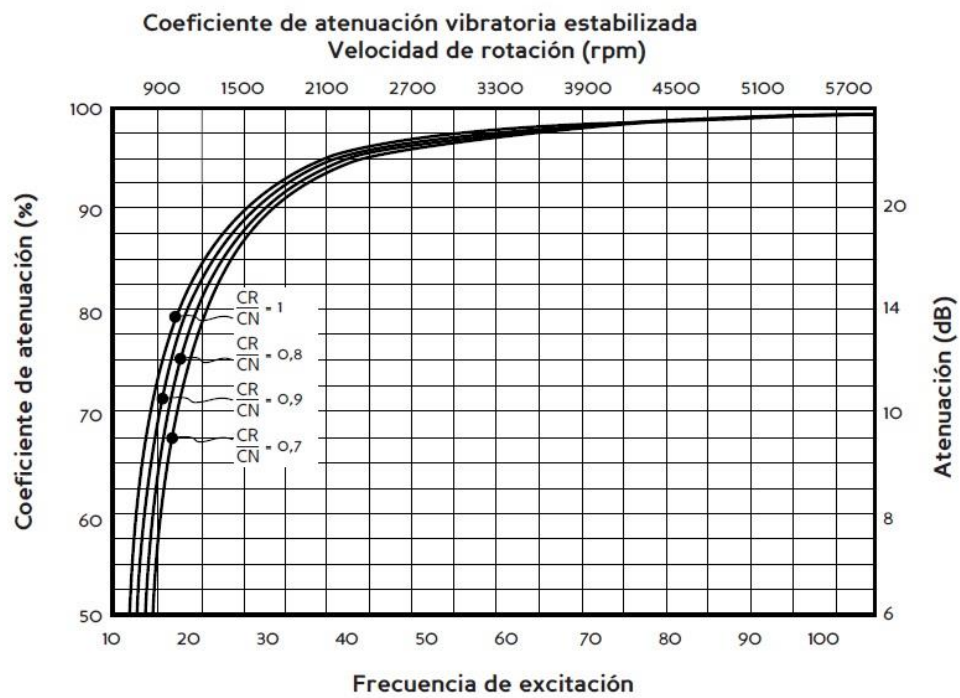


Figura 22. Atenuación Vibratoria.

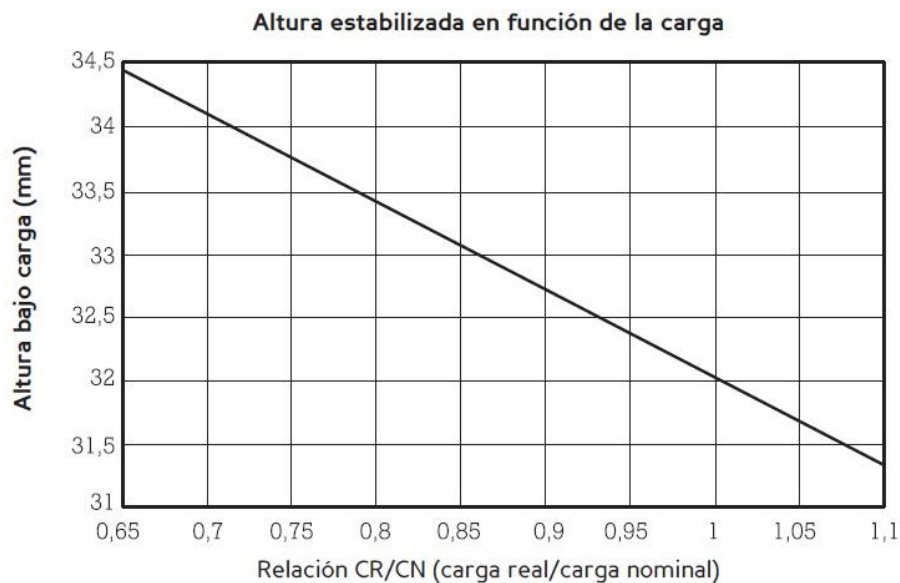


Figura 23. Altura bajo carga nominal.

Los tipos de taco elástico que se suelen utilizar en submarinos diésel-eléctrico son los siguientes:

- Taco Elástico de Frecuencia Natural de 5 a 12 Hz:



Figura 24. Taco Elástico de frecuencia natural de 5 a 12 Hz.

Este tipo de taco elástico de baja frecuencia, con características multiaxiales, está diseñado especialmente para la protección de equipos eléctricos o electrónicos, y de grupos electrógenos embarcados o en puesto fijo. Su forma troncocónica admite grandes desplazamientos y absorbe los choques.

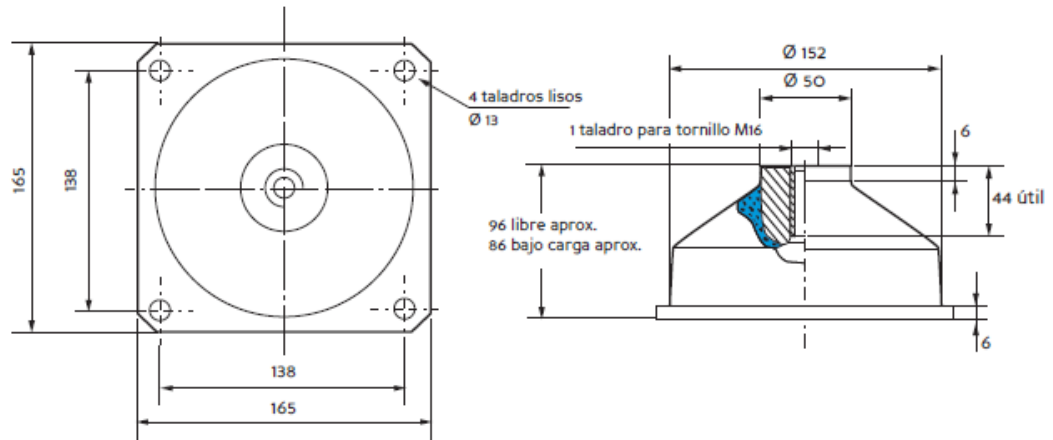


Figura 25. Taco Elástico de frecuencia natural de 5 a 12 Hz. Características Dimensionales.

- Taco Elástico de Alta Carga MN10:



Figura 26. Taco Elástico de Alta Carga MN10.

Este tipo de taco elástico mejora la discreción acústica de las embarcaciones a la vez que amortigua las vibraciones transmitidas al casco por el equipamiento. Protege la maquinaria auxiliar de los choques y las vibraciones.

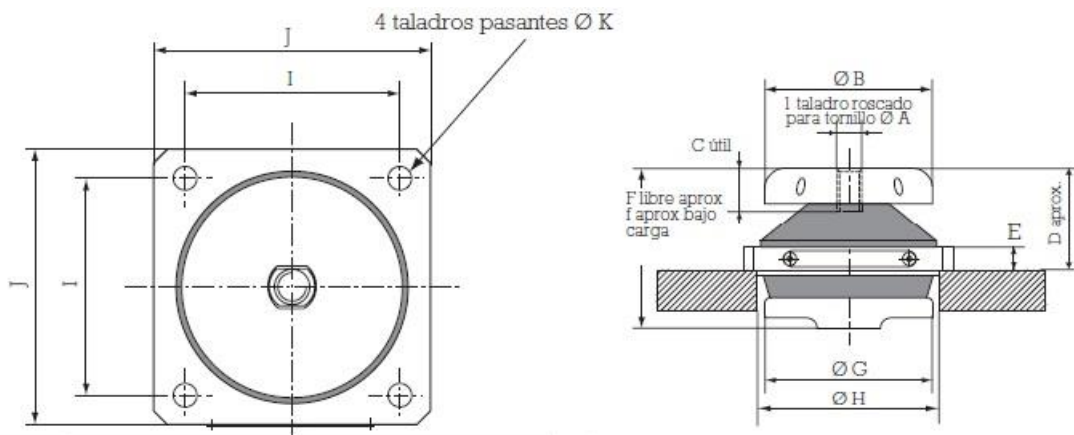


Figura 27. Taco Elástico de Alta Carga MN10. Características Dimensionales.

6.4.1.1. Criterios de Instalación de Tacos Elásticos.

Los tacos elásticos están proyectados para su montaje en compresión y deben instalarse en una superficie plana.

La estructura soportada se fija al nudo por medio de un tornillo de alta resistencia M20 (ver Figura 27).

Para un buen resultado, la carga se debe repartir de manera homogénea. En el caso de la suspensión de un gran armario, los soportes se pueden utilizar como estabilizadores. Se fijarán al armario únicamente después de la estabilización de los soportes principales.

No están diseñados para soportar cargas estáticas en cizallamiento o tracción.

Cualquier conexión a los armarios suspendidos debe ser flexible y capaz de absorber grandes deformaciones para permitir que la suspensión trabaje en las mejores condiciones.

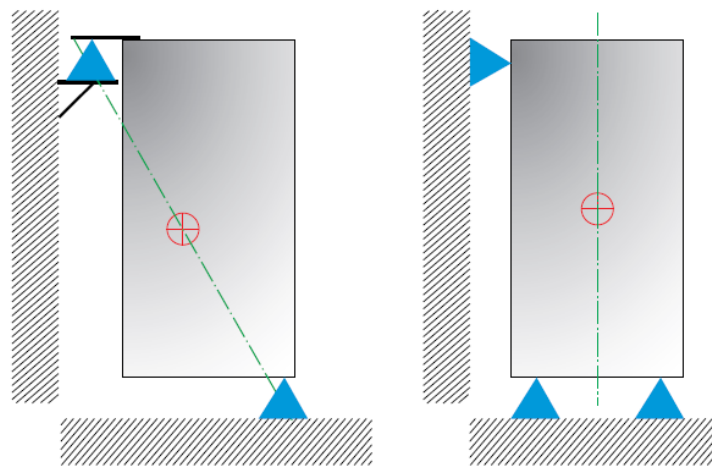


Figura 28. Esquemas de montaje.

Se deberán seguir los siguientes criterios en cuanto a la instalación de los tacos elásticos para un correcto aislamiento y funcionamiento óptimo de la maquinaria:

- La fecha de caducidad supere al menos en 1,5 años la fecha actual.
- Una inspección visual para confirmar que no exista ningún deterioro en la superficie del taco elástico.
- Las superficies superiores e inferiores del taco estén niveladas.
- Confirmar que la altura desde la superficie superior a inferior del soporte esté dentro de la especificación del taco.
- Los tacos elásticos estén protegidos del calor y de una posible agresión por líquidos corrosivos.
- Se puedan ajustar los tornillos de nivelación para poder sacar y poner de nuevo el taco.
- Confirmar que exista suficiente huelgo alrededor del taco para permitir la inspección, ajuste o reemplazo.
- Confirmar que el huelgo alrededor del taco y del equipo cumpla el requisito de resistencia al choque.

- Confirmar que no exista ningún circuito de vibración a través del taco (por ejemplo un tornillo de nivelación demasiado largo).
- Antes de la fase de puesta en servicio, los tornillos de nivelación serán utilizados para no someter a los tacos elásticos a carga.

6.4.2. ACOPLAMIENTOS ALTAMENTE FLEXIBLES.

La unidad submarina clásica consta de grupos electrógenos diésel que bien transmiten la electricidad generada directamente a los motores eléctricos o la almacenan en baterías, con el fin de garantizar la propulsión durante su funcionamiento. Además de la resistencia a impactos, se exigen requisitos de niveles de ruido muy bajos en las unidades propulsoras. En parte, se especifica el uso de materiales que influyan en el comportamiento del posicionamiento. En los submarinos, el espacio es a menudo muy estrecho y, por lo tanto, las unidades propulsoras deben ser muy compactas. Esto también es cierto para los acoplamientos altamente flexibles que se incorporan en la unidad de hélice de paso fijo propulsada por un motor eléctrico por razones técnicas de desplazamiento y ruido. Para casos de emergencia, estos están provistos de un dispositivo a prueba de fallos.

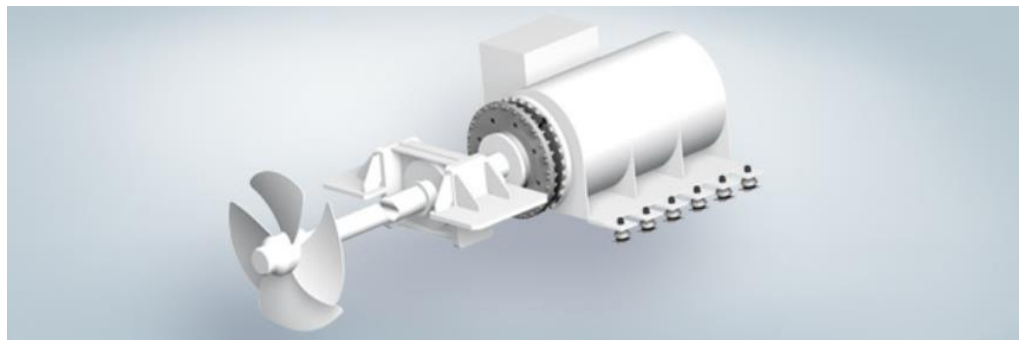


Figura 29. Disposición de acoplamiento altamente flexible.

El acoplamiento altamente flexible es un acoplamiento de caucho torsionalmente flexible que compensa los desplazamientos radiales, axiales y angulares del eje de la maquinaria conectada. El par se transmite a través de elementos a cizalladura.



Los diferentes factores de rigidez a la torsión y amortiguamiento ofrecen la posibilidad de ajustar de manera satisfactoria el comportamiento vibratorio torsional del sistema de accionamiento. Las partes esenciales del acoplamiento son: el elemento elástico torsional, el paquete de membranas que absorben los desplazamientos axiales, y las piezas de conexión a ambas máquinas, conductora y conducida.

Poseen las siguientes ventajas:

- Instalación rápida y sencilla del acoplamiento gracias al diseño segmentado con peso reducido de los segmentos individuales.
- Los segmentos están dispuestos para una carga térmica máxima y, por tanto, una mayor vida útil del sistema.
- Diseño compacto para conseguir unas dimensiones de la unidad que ahorren espacio y peso.



Figura 30. Acoplamiento altamente flexible.

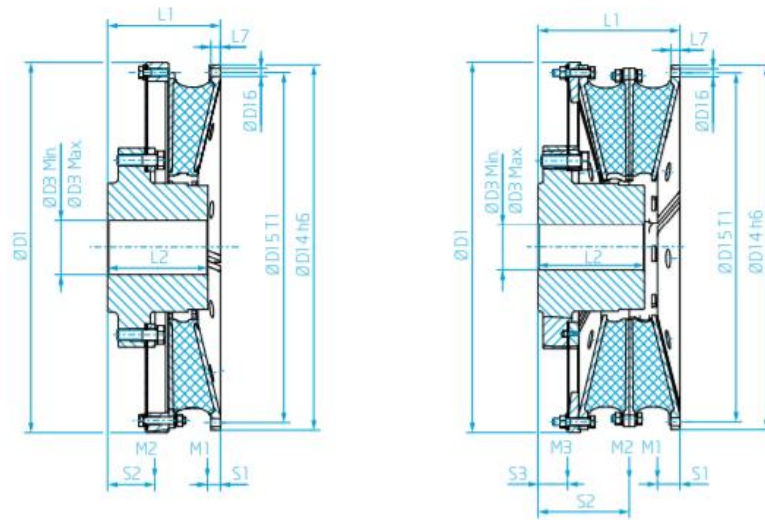


Figura 31. Acoplamiento altamente flexible. Características dimensionales.

Para el correcto funcionamiento del acoplamiento altamente flexible, tendremos que tener en cuenta los siguientes parámetros:

- ΔTK_{max} [kN] (Rango de par máximo admisible): Se produce en condiciones transitorias normales. Las condiciones transitorias normales son inevitables y ocurren durante arranque/parada al pasar por resonancias, enclavamientos eléctricos y mecánicos, maniobras de aceleración o frenado, etc.

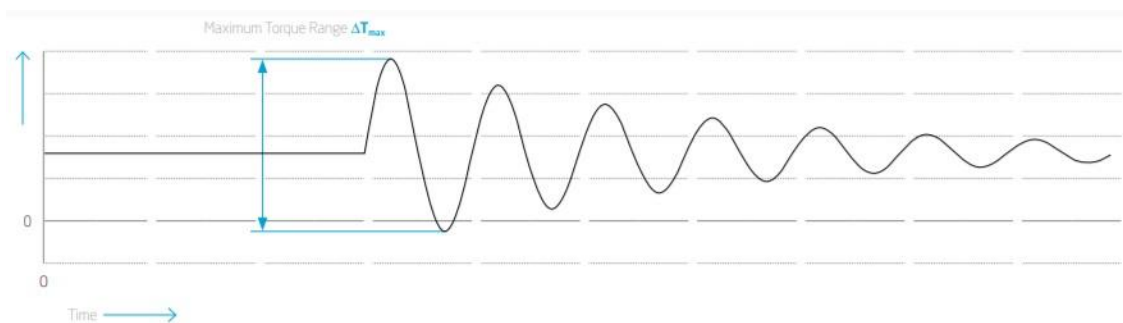


Figura 32. Gráfico de Rango de par máximo admisible en función del tiempo.

- TK_w [kNm] (Par Vibratorio Admisible): Es la amplitud admisible de un par alternante periódico que puede ser soportado continuamente por el acoplamiento. Debe garantizarse que no se supere de forma permanente la pérdida de potencia admisible del acoplamiento.

El par vibratorio de aplicación continua T_w , no debe superar el par vibratorio admisible TK_w , independientemente del par de carga.

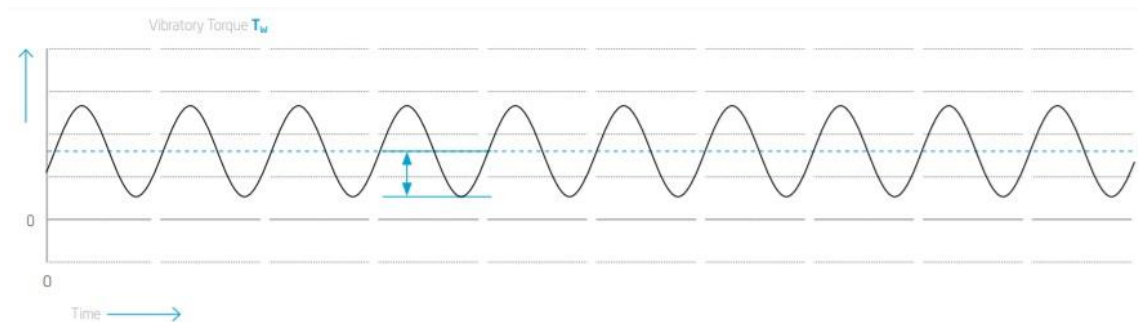


Figura 33. Gráfico de Par vibratorio en función del tiempo.



6.4.3. SOPORTES ELÁSTICOS PARA TUBERÍAS.

Los soportes aportan la solución ideal para compensar los desplazamientos verticales causados por la expansión térmica, trabajan absorbiendo las cargas de las tuberías en forma constante, sin desviaciones significativas a lo largo de todo el recorrido.

La eficacia de su funcionamiento garantiza la seguridad operacional y longevidad del sistema de tuberías.

Están diseñados para utilizarlos como componentes antivibratorios en las instalaciones de tuberías. Los soportes de tuberías proporcionan aislamiento de ruidos entre el submarino y los ruidos generados por las turbulencias del flujo de fluidos dentro de las tuberías, también aíslan las vibraciones transmitidas por las paredes de las tuberías causadas por la maquinaria a la que están conectadas.

Deberán instalarse de material elástico para atenuar la vibración transmitida por los sistemas de tubería a la estructura del submarino. Existen dos formas de agrupación de tuberías, una de ellas, la forma más sencilla, consiste en una bandeja de tuberías con una banda elástica de caucho, y la forma alternativa consiste en un bloque de tuberías con tacos elásticos.



	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

En el momento del montaje hay que comprobar que los soportes soportan la misma carga, para ello es preciso asegurarse de que todos estén a la misma distancia de la superficie de fijación. Los soportes se emplean para suspender las canalizaciones y cualquier conjunto que deba fijarse al techo, suspensión de centrales de aire y conductos de distribución, suspensión de generadores de aire caliente de ventilación continua y suspensión de acondicionadores de aire.



6.4.3.1. Criterios de Soportado de Soportes Elásticos para Tuberías.

Las consideraciones generales para el soportado elástico de la tubería serán las siguientes:

- Deberán instalarse soportes elásticos en todos los sistemas de tubería con conexión a todos los equipos de la lista de fuentes sonoras principales.
- Deberán soportar el peso de la tubería, el fluido interior y el aislamiento térmico.
- Deberá utilizarse banda elástica de caucho, para atenuación mayor de la vibración, en el primer soporte junto a la toma, y en el primer soporte junto a la descarga de cada equipo del sistema.
- Los soportes deberán resistir las cargas causadas por la expansión/contracción de la tubería y las vibraciones/movimientos de la plataforma sin restringir el movimiento de flexión requerido por la tubería.
- Los soportes deberán situarse de tal forma que minimicen la proyección de cargas desde la tubería a los equipos y estructura:
- Deberá situarse un soporte junto a cada unión de la tubería.
- Deberá situarse un soporte lo más próximo al extremo del tubo en la conexión al flexible o fuelle de expansión. La distancia máxima deberá ser 300 mm para disminuir las cargas en los flexibles o fuelles y ayudar a alinear el flexible o fuelle con la tubería.

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

- Si el tramo de la tubería que sale de un equipo soportado elásticamente antes del flexible es de 300 mm o inferior, deberá soportarse al propio equipo o chasis intermedio del mismo (este soporte no tiene que ser elástico).
- El soporte deberá tener el tamaño adecuado para sujetar la tubería por medio de la banda de caucho pero no ser demasiado grande como para permitir que la tubería se mueva dentro del soporte. Los soportes dentro de los tanques de aceite o gas-oil no deberán incorporar banda de caucho porque el caucho se degrada y contamina por la acción del fluido.
- Para los sistemas con fluidos calientes, deberá sustituirse la banda de caucho por un aislamiento térmico y montar el soporte con montaje elástico.
- Deberá tenerse en cuenta el margen de desplazamiento requerido por la acción del choque para los equipos y accesorios del sistema. La distancia mínima entre la estructura del submarino y el sistema de tubería con soportes deberá ser 50 mm (metal a metal) y para la tubería con aislamiento térmico 5 mm (aislamiento térmico a aislamiento térmico). La distancia mínima entre los sistemas de tubería con soportes deberá ser 20 mm (metal a metal) y 5 mm (aislamiento térmico a aislamiento térmico).
- Deberán soportarse las válvulas y los accesorios de los sistemas pesados con soportes individuales para impedir que la tubería soporte su peso.
- Deberán agruparse las tuberías de pequeño diámetro (p.ej.: diámetro inferior a 25 mm) y soportar la agrupación en un soporte común.
- Deberán montarse los soportes a la estructura con secciones macizas y no con sección de tubería.
- Para los soportes situados en el interior del casco resistente, no deberán soldarse los soportes directamente al forro del casco resistente.

	TRABAJO FIN DE GRADO	
	GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS	
	MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	

6.4.4. SOPORTES ELÁSTICOS PARA CABLES.

Deberán instalarse soportes elásticos a la estructura del submarino para atenuar la vibración transmitida por los cables eléctricos de potencia con conexión a los equipos principales de la lista de fuentes sonoras principales.

La forma del soporte elástico deberá ser parecida al de la agrupación sencilla de tubería de diámetro pequeño (con bandeja y banda elástica). Únicamente se deberá instalar un soporte elástico en el primer soporte junto a cada equipo o, en el caso de los equipos eléctricos principales, a la entrada y a la salida del equipo. El resto de soportes de los cables eléctricos no necesitan ser elásticos.

6.4.5. TORNILLOS DE NIVELACIÓN.

Cuando los tacos elásticos están cargados sufren el fenómeno con el tiempo de la deflexión estática, el cual depende de la temperatura. Por tanto, será necesario reemplazar los tacos elásticos periódicamente, y para facilitar su sustitución se instalarán tornillos de nivelación en el montaje de la maquinaria pesada y las plataformas suspendidas.

6.4.6. TOPES.

Para restringir los movimientos excesivos, por ejemplo, con el choque o con la inclinación del submarino, se instalarán topes en algunos tacos elásticos.

6.4.7. ACOPLAMIENTOS FLEXIBLES DE TUBERÍAS Y FUELLES DE EXPANSIÓN.

El movimiento del submarino inducirá grandes tensiones en las tuberías si las conexiones entre la máquina y las tuberías no fuesen flexibles, para proporcionar esta flexibilidad, y por lo tanto asegurar que los sistemas críticos de tuberías no sobrepasan los niveles normales de trabajo, se utilizan unos dispositivos tales como acoplamientos flexibles de tuberías y fuelles de expansión. Además de proporcionar flexibilidad a las tuberías, reduce:

- Ruidos soportados por la estructura y que son transmitidos por la maquinaria a través de las paredes de las tuberías;
- Vibraciones de las paredes de las tuberías causadas por turbulencias del flujo de los fluidos.
- Pulsaciones de presión del mismo fluido.

La elección de los acoplamientos flexibles o fuelles de expansión dependerá del diámetro de la tubería, del servicio y del tipo de ruido que se pretenda reducir.



Los acoplamientos flexibles serán típicamente de diámetro entre 12 y 175 mm, y los fuelles de expansión de diámetro entre 32 y 300 mm. Los acoplamientos flexibles tienen un rendimiento superior de atenuación de la vibración y permiten un desplazamiento mayor, por otra parte, los fuelles de expansión, además de atenuar la vibración, reducen la transmisión del ruido hidráulico por el interior de la tubería y su utilización puede ser útil en los sistemas de agua de mar con conexión directa al exterior, con las garantías adecuadas de seguridad.

Debe tenerse en cuenta que los acoplamientos flexibles y los fuelles de expansión tienen menor integridad que las tuberías convencionales, siendo normalmente de caucho impondrán requisitos de mantenimiento. Deberá minimizarse su empleo, particularmente en los sistemas cuyas averías afecten a la seguridad en inmersión del submarino.

6.4.7.1. Requisitos de los Acoplamientos Flexibles y Fuelles de Expansión.

Los requisitos de los acoplamientos flexibles y los fuelles de expansión serán los siguientes:

- Deberán resistir al desplazamiento máximo del equipo tras un choque sin averías.
- Deberán resistir a la presión y temperatura del fluido interior. Debe tenerse en cuenta que puede producirse vacío en casos de mal funcionamiento o manejo del equipo.
- Deberán mantener la flexibilidad bajo todas las condiciones operativas.



	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

- No deberán verse afectados por el fluido interior ni por las materias del exterior con las que puedan estar en contacto (p. ej.: aceite).
- Deberán resistir la acción de un fuego de corta duración
- Deberán estar fabricados de materiales de potencial eléctrico similar al sistema para evitar la corrosión galvánica.

6.4.7.2. Criterios de Instalación de los Acoplamientos Flexibles y Fuelles de Expansión.

Los criterios de instalación serán los siguientes:

- Los acoplamientos flexibles son adecuados únicamente para las fuerzas transversales. Para evitar las cargas axiales y la reacción de carga del equipo se deberán instalar preferiblemente flexibles con curva de 90°. Si la curva del flexible es inferior o superior a 90°, el equipo y su montaje recibirán “reacciones indeseadas”, que se deben a la presión interior.
- Los acoplamientos flexibles deberán disponerse lo más cerca posible del equipo para disminuir la distancia de la tubería del sistema no soportada entre el equipo y el acoplamiento flexible.
- Deberán seleccionarse codos preformados mejor que doblar un trozo de tubo flexible.
- Deberán instalarse los acoplamientos flexibles sin introducir carga de torsión, tensión o compresión. Deberá inspeccionarse la continuidad en la superficie de los acoplamientos flexibles para evitar su torsión y confirmar la instalación correcta sin carga.
- La tubería del sistema deberá alinearse correctamente para no forzar el acoplamiento flexible y se deberá situar el soporte de la tubería del sistema lo más cerca posible al acoplamiento flexible. Deberán utilizarse maquetas rígidas de los acoplamientos flexibles para comprobar la alineación de las tuberías.

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

- Los acoplamientos flexibles de diámetro superior a 20 mm deberán instalarse en un plano vertical. Si se instala un acoplamiento flexible en el plano horizontal, deberá sujetarse teniendo en cuenta la necesidad de mantener su flexibilidad.

- La conexión de los acoplamientos flexibles deberá incluir un anillo metálico para contener la brida de goma del acoplamiento flexible y asegurar un contacto uniforme entre las bridas.

- Los acoplamientos flexibles no deberán pintarse.

- Si están situados en una situación vulnerable donde puedan recibir golpes, deberán protegerse.

- Los acoplamientos flexibles no deberán situarse cerca de las superficies calientes.

- Las bridas de los fuelles de expansión deberán ser paralelas y estar separadas a la distancia adecuada para asegurar la alineación correcta entre las tuberías.



Deberán confirmarse los datos siguientes de los acoplamientos flexibles, tuberías y fuelles de expansión:

- Inspección visual para confirmar que no exista ningún deterioro de la superficie.

- No deberán tener carga de torsión, tensión o compresión. Por tanto, la superficie deberá ser continua y sin ninguna deformación en la línea de referencia del elemento.

- Las bridas de los fuelles deberán ser paralelas y estar separadas a la distancia especificada.

- La prueba de presión del circuito confirme que no existe ninguna fuga.

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

7. AISLAMIENTO DEL RUIDO.

Una de las fuentes de ruido más problemáticas es la maquinaria instalada a bordo.

La reducción de ruidos de la maquinaria en su origen es esencial y únicamente puede ser llevada a cabo mediante un programa efectivo de mantenimientos. Debido a la importancia de la firma acústica del submarino, para reducir el ruido de la maquinaria transmitido a la estructura del submarino se deben instalar dispositivos de aislamiento de ruido, definir los niveles de ruido y establecer medidas de control de ruidos.

7.1. CONTROL DEL RUIDO.



La reducción del ruido acústico de la maquinaria es importante en los submarinos para reducir su firma acústica, los silenciadores de escape se utilizan para reducir el ruido de la planta de energía del motor diésel y normalmente son dispositivos pasivos de control de ruido que no requieren potencia adicional. Los sistemas activos de control de ruido inyectan ruido o potencia acústica en el sistema con el objetivo de atenuar un ruido molesto.

7.1.1. MÉTODO PASIVO.

La atenuación acústica se consigue presentando impedancia al ruido, o a la presión acústica que se propaga a lo largo de un difusor de escape. Estos elementos acústicos se utilizan en silenciadores de los difusores de escape de los motores diésel del submarino.

Otra tecnología para silenciadores de escape se llama silenciador de resonancia adaptivo-pasivo. El término adaptivo significa que el silenciador es capaz de reajustarse a la frecuencia del ruido perturbador, manteniendo así la atenuación acústica para los cambios en la frecuencia del ruido perturbador.

Los atenuadores acústicos adaptivos-pasivos no inyectan energía acústica adicional en el sistema. El único poder la fuente requerida es una fuente de bajo voltaje y un actuador para cambiar la frecuencia de resonancia del dispositivo.

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

Existen silenciadores de tubo de resonancia cuarto de onda que proporcionan atenuación acústica de múltiplos impares de la frecuencia fundamental del dispositivo, significa que el dispositivo atenuará el ruido a una frecuencia fundamental y la producción de armónicos extraños, que es una característica muy deseable para atenuar el ruido de un motor diésel.

Además de disminuir el ruido de escape en un submarino, también es importante absorber el ruido generado por la maquinaria dentro del submarino para reducir la firma acústica.



Los métodos convencionales de absorción acústica implican el uso de espumas o fibras acústicas. El material de absorción acústica de sonidos de baja frecuencia tiene que ser muy grueso, a menudo superior a 100 mm.

7.1.2. MÉTODO ACTIVO.

Es posible lograr el mismo efecto que en el método pasivo, utilizando métodos de control activo en los que una fuente acústica activa puede presentar impedancia a una propagando una onda de presión acústica, sin embargo, la física del control activo del ruido se explica como una fuente anti ruido, que se combina con una onda acústica perturbadora primaria que resulta en la cancelación acústica.

En la práctica, los sistemas de control activo del ruido en los sistemas de escape son difíciles de implementar debido a los gases de escape calientes, y al uso de altavoces convencionales como fuentes de ruido de cancelación.

Estos altavoces convencionales sólo pueden funcionar en condiciones extremadamente limpias, y se debe tener cuidado de protegerlos de los gases calientes que contengan agua, partículas y componentes corrosivos. Al protegerlos con una película delgada, se produce una reducción en el sonido radiado.

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

7.2. MEDIDAS CONTRA EL RUIDO.



Se minimizan las tres componentes que forman la firma acústica del submarino:

- Ruido Radiado.
- Ruido Propio.
- Ecosonar.

7.2.1. MEDIDAS CONTRA EL RUIDO RADIADO.

Durante el diseño se minimizará el ruido radiado del Submarino con las técnicas siguientes:

- Diseño especial de una hélice de ruido bajo.
- Formas de la carena y sus apéndices con la menor resistencia hidrodinámica, para minimizar el ruido hidrodinámico, para ello se instalarán cierres en la vela y en los orificios del casco.
- Instalación de maquinaria con bajo nivel de ruidos.
- Prestar atención a la alineación y equilibrado de los elementos que figuran en la lista de fuentes sonoras principales. Para reducir las vibraciones generadas por los equipos rotativos se deberá aplicar la norma ISO 1.940-1 *“Mechanical Vibration. Balance Quality Requirements for Rotors in a Constant (Rigid) State. Part 1: Specifications and Verification of Balance Tolerances”*.
- Montar los equipos en el interior del casco resistente sobre tacos elásticos. El montaje será tal como se indica en la Tabla 2 (Fuentes de Ruido Principales de un submarino), y se instalarán sobre las plataformas siguientes:
 - Local de Auxiliares Proa.
 - Local de Auxiliares Centro.
 - Local de Auxiliares Popa.
 - Local Planta Hidráulica.

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

- Local de Grupos Diésel Generadores.
- Local de Propulsión.
- Las patas de los equipos que se instalen sobre tacos elásticos, y los polines sobre los que éstos se dispongan, deberán ser de gran rigidez para minimizar la transmisión del ruido estructural.
- Los equipos, pertenecientes a la lista de fuentes sonoras principales, instalados sobre tacos elásticos se proveerán con conexiones flexibles.
- Se evitará la cavitación en válvulas, bombas etc.
- Se fijarán límites a las velocidades máximas del flujo de los fluidos de los circuitos en funcionamiento en las condiciones de discreción acústica (en este caso condición “Snorkel”).

7.2.1.1. Velocidades Máximas del Flujo en los Fluidos de los Circuitos en Funcionamiento en las Condiciones Acústicas.

En estos circuitos predomina el ruido hidráulico. Se denomina ruido hidráulico a la pulsación de la presión en los sistemas de toma y descarga al mar causado por el funcionamiento de los equipos. Una contribución secundaria al ruido hidráulico es la cavitación y turbulencia en los propios circuitos hidráulicos.

Deberán instalarse equipos y accesorios de tal forma que disminuyan las pulsaciones de la presión y la cavitación/turbulencia en las tuberías tal como se indica en el apartado de acoplamientos flexibles y fuelles de expansión elásticos, que disminuyen el ruido hidráulico.

Se excluirán del campo de aplicación de este apartado los circuitos que transporten gases o mezclas difásicas (p. ej.: aire comprimido, aire de ventilación, Nitrógeno, vapor, Freón, etc.), así como los circuitos de longitud pequeña, integrados principalmente en algún equipo (p. ej.: circuitos internos de los intercambiadores de calor).

El valor máximo de la velocidad media de circulación a tener en cuenta para el dimensionamiento de las tuberías dependerá de la viscosidad cinemática del fluido.

Para los circuitos de agua dulce, agua salada y combustible (fluidos de baja viscosidad), la velocidad media de circulación en la parte recta de las tuberías no deberá superar la indicada en la Tabla 3 (Valores máximos de la velocidad media en los circuitos de agua dulce, agua salada y combustible), correspondiente al límite superior del régimen turbulento en la zona de distribución uniforme.

Para los circuitos de aceite de engrase y fluido de transmisión hidráulica (fluidos de alta viscosidad), la velocidad media de circulación en la parte recta de las tuberías no deberá superar la indicada en la Tabla 4 (Valores máximos de la velocidad media en los circuitos de aceite de engrase y fluido de transmisión hidráulica), correspondiente al límite superior del régimen laminar.

En tramos locales pequeños se admitirá el superar ligeramente los valores indicados en las Tablas 3 y 4.

Temperatura (° C)	8	15	20	40	70
Viscosidad (m²/s)	1,36x10 ⁻⁶	1,14x10 ⁻⁶	1,00x10 ⁻⁶	0,66x10 ⁻⁶	0,41x10 ⁻⁶
Velocidad media (m/s) (Di = 20 mm)	2,72	2,28	2	1,32	0,82
Velocidad media (m/s) (Di = 100 mm)	4,76*	3,99	3,5	2,31	1,31

Tabla 3. Valores máximos de la velocidad media en los circuitos de agua dulce, agua salada y combustible.

Nota (*): Cuando la velocidad correspondiente al flujo en el límite del régimen turbulento completamente desarrollado para tuberías lisas sea superior a los 4 m/s, se deberá dimensionar el circuito para limitar la velocidad media de circulación a 4 m/s.

Diámetro (Di) (mm)	20	50	100
Velocidad media (m/s)	4	1,6	0,8

Tabla 4. Valores máximos de la velocidad media en los circuitos de aceite de engrase y fluido de transmisión hidráulica.

7.2.2. MEDIDAS CONTRA EL RUIDO PROPIO.

Se minimizará el ruido propio del submarino utilizando las mismas medidas que se han diseñado para la disminución del ruido radiado.

7.2.3. MEDIDAS CONTRA EL ECOSONAR.

Las formas del casco, vela y superestructura estarán diseñadas de tal forma que presenten el índice de reflexión menor posible, compatible con sus características hidrodinámicas.

Deben tenerse en cuenta las consideraciones siguientes para minimizar la firma del ecosonar del submarino:

- Las superficies y apéndices metálicos de la carena deberán estar inclinados respecto a la vertical. En el caso de que la superficie de la carena sea de fibra de vidrio, la cual es transparente al sónar a frecuencias inferiores a 30 kHz, las superficies metálicas interiores deberán estar inclinadas asimismo respecto a la vertical.
- Las superficies metálicas de la carena no deberán ser ortogonales (es decir se deberán evitar las formas geométricas en forma de diedros y triedros). Si la superficie de la carena es de fibra de vidrio, las superficies metálicas interiores no deberán ser ortogonales.
- La Aplicación de recubrimientos acústicos exteriormente a la carena del submarino.

7.3. DISPOSITIVOS DE AISLAMIENTO CONTRA EL RUIDO.

7.3.1. MATERIAL AISLANTE.

El material aislante es un elemento diseñado para reducir el ruido, cuya forma es parecida a una esterilla de goma, estas esterillas disponen de gran cantidad de espacios de aire que permiten acolchar el material que soportan.

Si la carga que soportan es tan grande que los espacios de aire se chafan, el material aislante pierde su efectividad. No obstante, incluso los materiales aislantes más efectivos no reducen el ruido transmitido a la estructura como lo hace un montaje antivibratorio.

Sin embargo, los materiales aislantes tienen algunas ventajas sobre los montajes antivibratorios.

Una máquina montada sobre un material aislante endurecido no se desplaza tanto durante las vibraciones y choques.

Los materiales aislantes no necesitan tanto espacio entre la máquina y el polín, en algunos casos no se requieren conexiones flexibles de tuberías cuando un componente está instalado sobre un material aislante, pero sí serían necesarias si el mismo componente estuviese sobre un montaje antivibratorio. Esta última ventaja es especialmente importante para componentes de un sistema de tuberías crítico que a causa de movimientos por excesivas vibraciones y golpes puede originar pérdidas, o peligros en la seguridad debido a fallos en las mismas.

La utilización de estos materiales como aislante de ruidos está normalmente limitada a las siguientes situaciones:

- Cuando el componente donde va a instalarse no tiene fuentes de ruido de baja frecuencia.
- Cuando el componente donde va a ser instalado, o las tuberías conectadas al mismo no toleran la cantidad de movimiento que permite los montajes antivibratorios.
- Cuando el componente donde va a ser instalado tiene una frecuencia de movimiento cercana a la frecuencia natural de los montajes antivibratorios.



- Cuando los equipos de diferentes sistemas están montados sobre una base o estructura común, la cual se encuentra aislada del casco con montajes antivibratorios estándar.

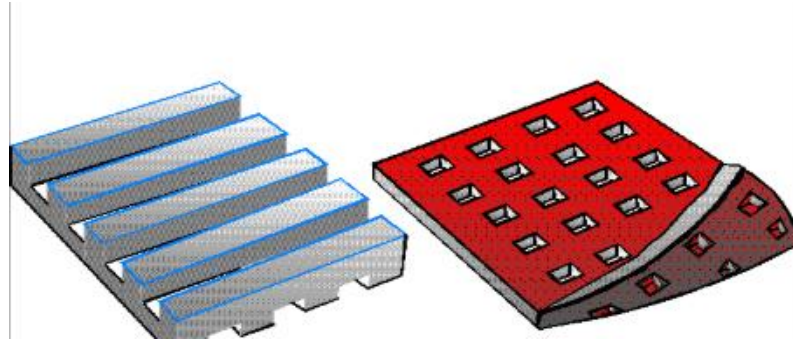


Figura 34. Material aislante.

7.3.2.1. Pasamamparos y Pasacubiertas.

El material aislante se usa habitualmente como pasamanaros y pasacubiertas elásticos, para reducir la transmisión de vibración de los sistemas de tuberías a la estructura del submarino.

Deberá considerarse únicamente la instalación de pasamamparos y pasacubiertas elásticos para aquellos sistemas en operación en la condición acústica de patrulla.

Para la condición acústica de "Snorkel", se deberá considerar una instalación simple, consistente en insertar un anillo de caucho de 10 mm de espesor entre la tubería y la estructura.

Deberán separarse 25 mm las tuberías entre si y de la estructura. En la parte inferior de los pasamamparos o pasacubiertas deberá instalarse un cierre provisional de espuma, sobre el que se realizará el colado de caucho líquido. Cuando el caucho se endurezca se podrá retirar el cierre.

7.3.2. VÁLVULAS Y REDUCTORAS.

El tipo de válvula ideal para este caso, son las válvulas con reducción de presión en multietapas, de aproximadamente menos de 2 bares en cada etapa, sin producir una reducción fuerte de la presión, para conseguir una disminución del ruido hidráulico.

Para los líquidos, no ocurre cavitación si la presión en la válvula no cae por debajo de la presión de vapor del líquido. Para los gases, la velocidad del gas en la contracción del conducto debe ser reducida.

7.3.3. SILENCIOSOS.

Si existieran niveles excesivos de ruido hidráulico deberá aplicarse un tratamiento correctivo. Conociendo la frecuencia del ruido se podría aplicar un silencioso reactivo, este tipo de silencioso utiliza una combinación de cambios de geometría para reflejar la onda de presión hacia la fuente. Los silenciosos reactivos son ideales para los circuitos de fluidos.

Deberá considerarse la instalación de silenciosos en las purgas del sistema de aire comprimido y sistemas de escape de los equipos diésel.

7.4. RUIDO AÉREO.

El nivel del ruido aéreo en un local depende de la contribución de los factores siguientes:



- Equipos en funcionamiento.
- Vibraciones de la estructura.
- Vibraciones en las tuberías y en los circuitos de fluidos.
- Actividad de la dotación.

7.4.1. NIVELES MÁXIMOS DE RUIDO AÉREO EN LOS LOCALES.

En la Tabla 5 se relacionan los niveles máximos del ruido aéreo para los diferentes compartimientos del Submarino Los niveles indicados se han basado en la Resolución A.468 (XII) de la IMO “Resolution Code on Noise Levels Onboard Ships”.

Local	Condición Acústica “Snorkel” (dB)
CAMAROTES	55
CÁMARAS Y COMEDOR	55
CÁMARA DE MANDO Y CONTROL	60
LOCAL RADIO	65
PASILLO	60
LOCALES DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS (BR Y ER)	75
COCINA	75
ASEOS	75
GAMBUZAS	85
LOCAL DE AUXILIARES PROA	85
LOCAL DE TANQUE DE OXÍGENO LÍQUIDO	85
LOCAL DE GRUPOS DIÉSEL GENERADORES	110
LOCAL DE CUADROS ELÉCTRICOS	110
LOCAL DE VENTILACIÓN	110
LOCAL DE PROPULSIÓN	110
LOCAL DE AUXILIARES POPA	110

Tabla 5. Niveles máximos de ruido aéreo de los diferentes locales del submarino.

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

Según la *Resolución MSC.337 (91)*, del 30 de Noviembre de 2012, “*CÓDIGO SOBRE NIVELES DE RUIDO A BORDO DE LOS BUQUES*”, al aplicar los valores límite de exposición (87 dB(A)), en la determinación de la exposición real del trabajador al ruido, se tendrá en cuenta la atenuación que procuran los protectores auditivos individuales utilizados por los trabajadores. Para los valores de exposición que dan lugar a una acción (80 dB(A) – 85 dB(A)) no se tendrán en cuenta los efectos producidos por dichos protectores.



Los niveles del ruido indicados anteriormente no deben sobrepasar ninguna posición de medida con micrófono, estando la maquinaria y los equipos en funcionamiento continuo en el polígono, incluidos los sistemas de ventilación y aire acondicionado en el espacio, área o posición que se inspeccione.

7.4.2. NIVELES MÁXIMOS DE RUIDO AÉREO EN EQUIPOS.

Los niveles del ruido aéreo de los equipos a ser instalados en el Submarino serán los adecuados para que el Submarino en su conjunto pueda cumplir los niveles de ruidos requeridos en el apartado 7.4.1 para las condiciones acústicas definidas.

Para que los equipos en un compartimiento no superen el nivel máximo del ruido aéreo del local deberá aplicarse la fórmula siguiente para obtener el nivel máximo del ruido aéreo de un equipo (NA) en ese local:

$$\text{Ruido (NMA) del local} \geq 7 \text{ dB} + \text{Ruido (NA) de los equipos en el local.}$$

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

8. MANTENIMIENTO. DEFINICIONES Y TIPOS APLICABLES AL SUBMARINO, REPUESTOS, HERRAMIENTAS Y EQUIPOS A BORDO.

En primer lugar, definiremos el concepto de mantenimiento, es un concepto que en función del autor se expresa de diferentes maneras. Habitualmente se define según la Federación Europea de Sociedades Nacionales de Mantenimiento (EFMNS) como:

“Conjunto de acciones técnicas y administrativas cuya finalidad es conservar o restaurar un sistema, subsistema, instalación, planta, máquina, equipo, estructura, edificio, conjunto, componente o pieza en o a la condición que permita desarrollar su función.”

Las tareas o acciones de mantenimiento tienen como objetivo principal la consecución de un número determinado de horas disponibles de funcionamiento de la planta, instalación, máquina o equipo en condiciones de calidad servicio con el mínimo coste, máximo de seguridad para el personal que utiliza y mantiene las instalaciones y maquinaria, y con un mínimo consumo energético y deterioro ambiental.

En lo que respecta a la firma acústica, el aspecto del mantenimiento es muy importante, debido a que los equipos que componen el submarino desprenden ruido y vibraciones, lo que supone una disminución de las funciones propias para las que está diseñado un submarino. Para que se cumplan las condiciones de funcionamiento eficientes de un submarino hay que minimizar el ruido estructura y aéreo mediante procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo.

8.1. TIPOS DE MANTENIMIENTO.



Como en otras disciplinas, el mantenimiento ha evolucionado en varios niveles, dependiendo de innovaciones y adaptaciones que se han ido produciendo, por ello hay que tener una serie de valoraciones en su clasificación:

- Tipo de control que se ejerce sobre la máquina o equipo.
- Medios utilizados para llevar a cabo ese control.
- Instalación sobre la que actúa.
- Volumen de medios que se necesitan o se disponen.

Por lo tanto, el mantenimiento puede ser más o menos sofisticado dependiendo de la naturaleza, “criticidad” o “severidad de funcionamiento” del equipo que consideremos, dando como resultados unos niveles de mantenimiento que clasificaremos de la siguiente manera:



Figura 35. Tipos de mantenimiento.

	TRABAJO FIN DE GRADO	
	GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS	
	MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	



8.1.1. MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

Según la UNE-EN-13306, el mantenimiento preventivo es: *“Mantenimiento ejecutado a intervalos predeterminados o de acuerdo con unos criterios prescritos, y destinados a reducir la probabilidad de fallo o la degradación de funcionamiento de un elemento”*. Es uno de los más utilizados actualmente, cada máquina después de un periodo especificado de operación es sometida a un desmontaje total o parcial para su inspección, de tal forma que si existen desperfectos se procede a la restauración de los problemas. Con la implantación de este tipo de mantenimiento se pretende anticiparse a la avería antes de que esta ocurra.

Es fundamental elegir correctamente los períodos de inspección, de modo que no se produzcan averías en ese intervalo de tiempo, pero sin acortarlos innecesariamente ya que esto lo hace desfavorable a nivel económico.

Sus principales características son:

- Planificación de los trabajos, lo que implica una mejor organización y rentabilidad de los materiales y medios humanos disponibles.
- Inexistencia de urgencias, se realizan reparaciones de calidad y fiabilidad.
- Tendencia a reducir el número de averías y emergencias posibles, por lo que la vida de la máquina se prolonga.
- Conocimiento y previsión de los gastos de mantenimiento (presupuesto), permite un control estricto de los repuestos.
- Existen defectos en las máquinas que únicamente pueden ser detectados durante el proceso de operación como desequilibrios, ruidos, vibraciones, resonancias, etc.

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

8.1.1.1. Mantenimiento Preventivo Sistemático o Programado.

En un tipo de mantenimiento preventivo que se ejecuta de acuerdo a un programa de intervalos de tiempo establecido, o a un número de unidades de funcionamiento, pero sin investigación previa de la condición en la que se encuentra el elemento a mantener.

8.1.1.2. Mantenimiento Preventivo Predictivo.

Este tipo de mantenimiento preventivo incluye una combinación de la monitorización del funcionamiento y/o de los parámetros del elemento a mantener, y el seguimiento de una previsión del análisis y evaluación de los parámetros significativos de la degradación del elemento. La intervención se condiciona en la detección precoz de los síntomas de un posible fallo o avería, mediante una serie de técnicas más o menos complejas, permitiéndonos así predecir con cierta antelación cuando una máquina o componente está a punto de llegar al final de su vida útil.

Sus principales características son:

- Económicamente rentable, permite detectar averías que pudieran ser de gran magnitud, sin necesidad de parar la máquina y desmontarla.
- Planificación de las intervenciones, se puede hacer un seguimiento del daño e intervenir en el momento más adecuado.
- Evitar que se produzcan grandes averías y altamente costosas.
- Disposición de un historial completo de la máquina y de su comportamiento operacional.
- Permite hacer un control de la calidad y de la fiabilidad de la reparación una vez efectuada.
- Requiere poco personal, aunque tienen que tener alta cualificación y especialización (formación técnica continua) para ejecutar los programas de verificación de los equipos.
- Mejora de la seguridad del personal e instalaciones.



8.1.1.3. Aplicación del Mantenimiento Preventivo en el Submarino.

En el submarino observamos que el mantenimiento requiere una atención importante. Es preciso evaluar lo que el mantenimiento del equipo o sistema va a representar en términos de inmovilizaciones, mano de obra, costes y repuestos.

La planificación del mantenimiento preventivo hace que la aparición de fallos de los componentes quede influida por ella, así como la predicción de necesidades de repuestos durante la vida operativa de los sistemas. La documentación de los equipos que era incompleta durante la fase de diseño, queda completada con la entrada en servicio y el funcionamiento real operativo de los equipos y sistemas, permitiendo una revisión y actualización de la política de mantenimiento preventivo.

Se pretende realizar las acciones de mantenimiento preventivo transcurrido un tiempo tal que la fiabilidad de diseño del componente se haya degradado hasta un determinado valor que se considera admisible en función del riesgo que el fallo implica al sistema.

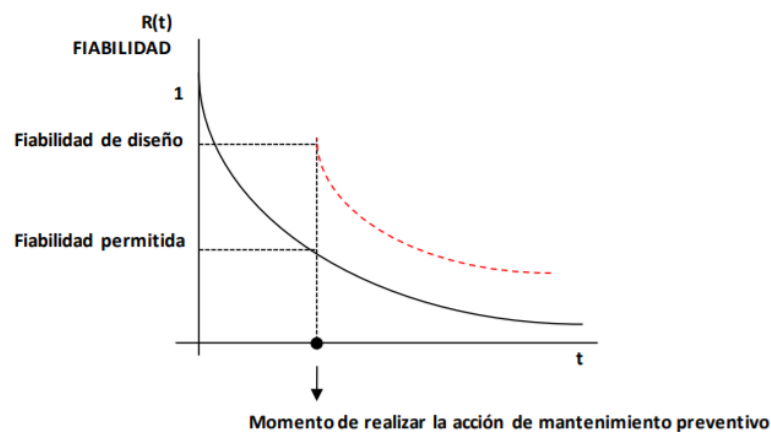




Figura 36. Curva de fiabilidad del mantenimiento preventivo.

Periódicamente y a esos intervalos de tiempo, se va restableciendo la fiabilidad del componente a valores próximos a su fiabilidad de diseño.

	TRABAJO FIN DE GRADO	
	GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS	
	MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	

Todas las tareas de mantenimiento preventivo quedan fijadas a su correspondiente periodicidad para ser realizadas en los periodos de inmovilización del submarino a lo largo del ciclo de vida, o bien, para establecer períodos de inmovilización distintos a los previamente definidos.

En cualquier caso, el objetivo es establecer una política de mantenimiento preventivo que asegure una fiabilidad en los equipos acorde con el riesgo que cada modo de fallo implique, manteniendo la tasa de fallos lo más reducida posible.



8.1.2. MANTENIMIENTO CORRECTIVO.

Según la UNE-EN-13306, el mantenimiento correctivo es: *‘Mantenimiento ejecutado después del reconocimiento de una avería, y destinado a llevar un elemento a mantener a un estado en el que pueda desarrollar una función requerida’*. Este tipo de mantenimiento se aplica normalmente cuando hay elementos los cuales resulta muy difícil determinar su vida útil o prever cuando se producirá el fallo. La principal ventaja es la reducción de costes de inspecciones y reparaciones.

El mantenimiento correctivo se puede realizar inmediatamente después de detectarse la avería, o incluso más adelante, dependiendo de esto se definen el mantenimiento correctivo inmediato o diferido.

Las características principales del mantenimiento correctivo en general son:

- Las averías se suelen producir en cualquier momento, de manera imprevisible, causando grandes perjuicios a la producción. Provocan riesgos de averías importantes.
- Favorece el número de elementos dañados y reduce la vida útil de los órganos de la máquina.
- Incrementan el consumo de repuestos con el riesgo de no poder disponer de ellos en almacén.
- Riesgo de emergencias y siniestros en planta.

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

- Con frecuencia obliga a imponer turnos y jornadas extraordinarias para realizar los trabajos.

- En multitud de ocasiones las intervenciones se plantean con urgencia y un alto grado de precipitación, situación que provoca reparaciones de baja calidad y fiabilidad.

Todo lo anterior repercute en un gran costo por improductividad desde que se produce el fallo hasta la restauración de las condiciones normales de funcionamiento.

8.1.2.1. Mantenimiento Correctivo Inmediato.

El mantenimiento correctivo diferido es un tipo de mantenimiento correctico el cual se realiza inmediatamente después de detectarse una avería, con el fin de evitar consecuencias inaceptables.

8.1.2.2. Mantenimiento Correctivo Diferido.



Es el tipo de mantenimiento correctivo que no se ejecuta inmediatamente después de la detección de una avería, sino que es retrasado de acuerdo con las reglas de mantenimiento dadas.

8.1.2.3. Aplicación del Mantenimiento Correctivo en el Submarino.

En un submarino se recomienda la aplicación de mantenimiento correctivo cuando:

- El fallo del componente no suponga el fallo del sistema, o no afecte a la seguridad del personal o del propio submarino, en este caso se recomienda no realizar ningún mantenimiento, y reemplazar el componente cuando este falla.



- El modo de fallo sea evidente para el operario, y pueda ser fácilmente corregido.

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

8.1.3. REPUESTOS A BORDO.

En un submarino no es posible llevar todo tipo de repuestos para cada tipo específico de avería que se pueda producir, ya que al final estaría el submarino rebosante de material en un espacio tan delimitado, sin contar el aumento de peso que supondría para la estabilidad del mismo. Por esto mismo, lo ideal es disponer de los repuestos requeridos para la reparación de los elementos más susceptibles y críticos a la hora de sufrir averías. Algunos de los repuestos a bordo serían:

- Banda de reparación de mangueras.
- Pasadores.
- Grilletes.
- Cables.
- Set de fusibles.
- Cables eléctricos.
- 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.
- Spray de aceite lubricante.
- Spray de silicona.
- Alambra.
- Tramo de manquera flexible de gas.
- Abrazaderas Inoxidables.
- Kit de recambios para el WC.

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

8.1.4. 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 realizaran en navegación. Las herramientas y útiles que resultarían más interesantes para llevar a bordo son:

- Endoscopio.
- Analizador-comparador de aceite.
- Refractómetro de análisis de fluido refrigerante.
- Set de destornilladores.
- Set de llaves de 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.
- Brochas de distintos tamaños.
- Remachadora manual.
- Mechero.
- Navaja o cuchillo.
- Cíncel afilado.

9. TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO DE LAS FUENTES VIBRO-ACÚSTICAS DEL SUBMARINO.

Existen técnicas de mantenimiento las cuales permiten la medición y análisis del nivel de vibración y ruido de los equipos montados a bordo del submarino con el objeto de evaluar el estado de una máquina, pronosticando de esta manera su futuro, reduciendo costes y accidentes sobre las personas e instalaciones.

9.1. ANÁLISIS DE VIBRACIONES.

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

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:

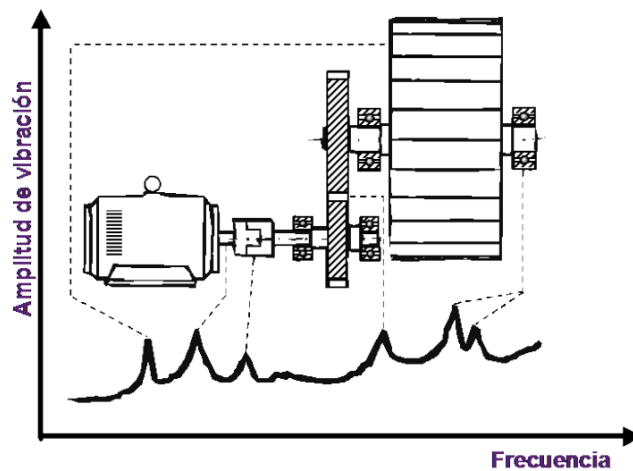


Figura 37. Espectro base.

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

El 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.

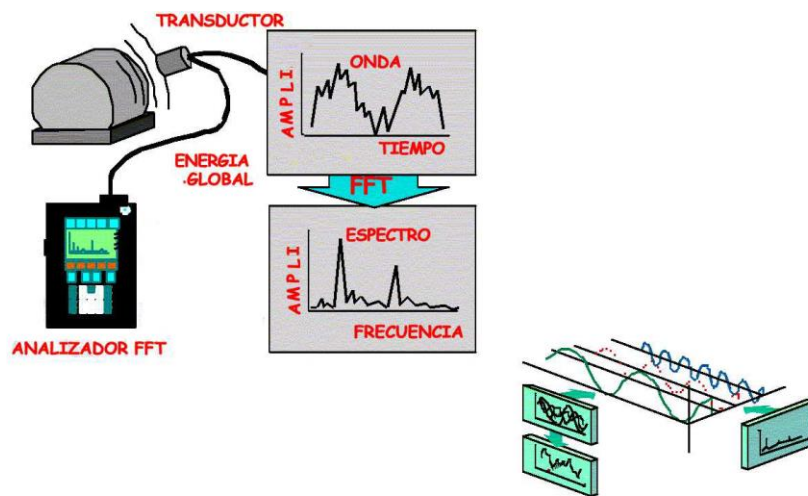




Figura 38. Proceso de Transformada Rápida de Fourier. Gráfica de diagnóstico espectral.

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.

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

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.

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. 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. 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.

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

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.

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

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.

9.1.1. MONTAJE DE ACELERÓMETROS.

Para el montaje de acelerómetros se siguen los siguientes criterios:

- En máquinas pequeñas se puede medir en un sólo punto.
- En máquinas grandes se requiere un punto de medida radial por cojinete. También puede ser necesario un punto de medida axial, tal como se muestra en la Figura 40.

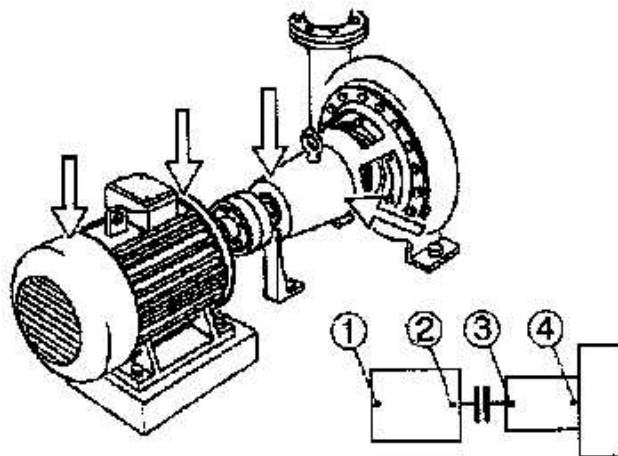




Figura 39. Montaje de acelerómetros en máquinas grandes.

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.

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

- 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.



9.1.2. IDENTIFICACIÓN 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.

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

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.

10. PRINCIPALES TAREAS DE MANTENIMIENTO DE LAS FUENTES VIBRO-ACÚSTICAS DEL SUBMARINO.

Con el fin de reducir el ruido estructural y aéreo, y con ello la firma acústica del submarino, se va aplicar un mantenimiento preventivo y correctivo a los diferentes equipos y sistemas definidos en el apartado de lista de fuentes sonoras principales, los cuales incluyen una serie de tareas que se realizarán con una periodicidad determinada.

10.1. AUXILIARES DE PROA.

Dentro del Sistema Auxiliar de Proa encontramos los siguientes equipos descritos en la lista de fuentes sonoras principales:

- Electrobombas de refrigeración de agua dulce.
- Climatizadores.
- Electrobombas de agua de mar.
- Electrobombas autocebadas.
- Electrobombas de Refrigeración de Agua Desionizada.
- Electrobomba volumétrica de achique principal.
- Electrobombas de aceite hidráulico.
- Electrocompresor de agitado del electrolito.
- Electrocompresores frigo-viveres.
- Conjunto unidades condensadoras.
- Convertidor estático de 115 V/60 Hz.

10.1.1. ELECTROBOMBAS DE REFRIGERACIÓN DE AGUA DULCE.

Son las encargadas de refrigerar el agua dulce que se utilizará principalmente para la refrigeración del motor principal o motor auxiliar directamente. Este tipo de electrobombas es crucial para el funcionamiento del submarino, siempre se encuentra en funcionamiento.

A continuación se describen las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo necesarias para reducir el ruido estructural y aéreo.

10.1.1.1. Mantenimiento Preventivo.

Periodicidad	Elemento	Descripción del Mantenimiento
Diaria	Bomba	Realizar diariamente la inspección de la bomba, la cual consistirá en verificar que no existen vibraciones excesivas o ruidos anormales provenientes de la electrobomba. En caso de apreciarse vibraciones o ruidos excesivos, detener la electrobomba y determinar la causa.
Semestral	Motor eléctrico	Limpieza de las tomas de aire del motor eléctrico.
Anual	Dispositivos antivibratorios	Inspeccionar los dispositivos antivibratorios.
Anual	Motor eléctrico	Verificar el valor de la resistencia de aislamiento del motor eléctrico.
3.000 horas	Motor eléctrico	Sustitución de los cojinetes.
3.000 horas	Bomba	Revisión completa de la bomba.

Tabla 6. Mantenimiento preventivo. Electrobomba de refrigeración de agua dulce.

10.1.1.2. Mantenimiento correctivo.

Avería	Causa probable	Intervención
Vibraciones y Ruido.	Cavitación o aire en el interior de la bomba.	Detener la bomba y verificar que el cuerpo se rellene correctamente.
	Fijación de los componentes de la electrobomba aflojada.	Verificar la fijación de los componentes de la electrobomba.
	Dispositivos antivibratorios dañados o desgastados.	Verificar los soportes de dispositivos antivibratorios y sustituirlos si es necesario.
	Pasos de aire de refrigeración del motor obstruidos.	Detener el motor y limpiar las tomas de aire.
	Rotación del rotor con el estator por reducción del entrehierro.	Desmontar el motor para eliminar posibles cuerpos extraños, o sustituir cojinetes.
	Apertura del relé térmico.	Verificar el calibrado del relé térmico. Volver al instalar el relé y arrancar de nuevo el motor. Si el relé vuelve a saltar, determinar y eliminar la causa de la excesiva absorción de corriente (cortocircuitos, sobrecargas, fricciones, etc.).
	Apertura del interruptor automático o quemadura de uno o más fusibles del circuito de control.	Cerrar el interruptor automático o sustituir el posible, si la avería persiste, verificar el motor.
	Sobrecarga de la bomba.	Verificar que las condiciones de funcionamiento de la bomba se correspondan con sus valores nominales.



	Cojinetes gripados.	Sustituir los cojinetes.
--	---------------------	--------------------------

Tabla 7. Mantenimiento correctivo. Electrobomba de refrigeración de agua dulce.

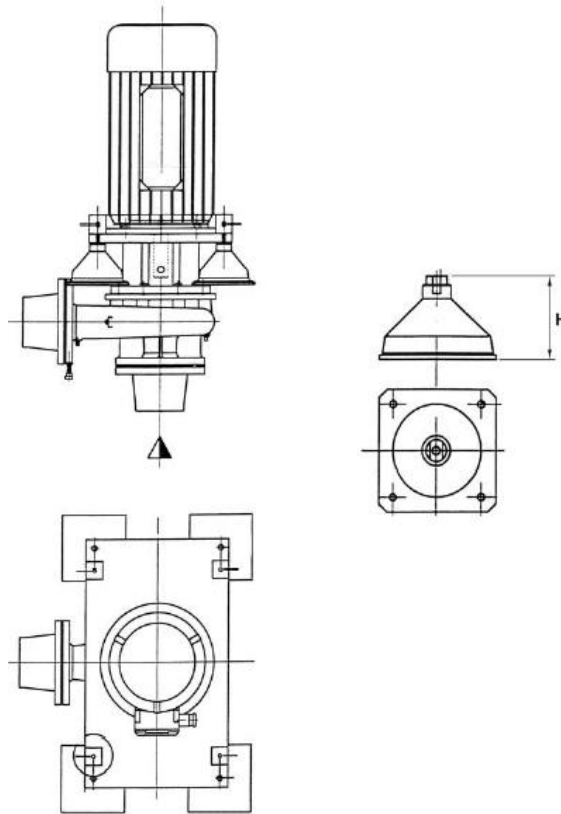




Figura 40. Electrobomba de refrigeración de agua dulce.

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

10.1.2. CLIMATIZADORES.

El aire acondicionado regula la temperatura del aire y la higrometría en los espacios, enfría o seca el aire del espacio, es de tipo monobloque y se compone principalmente de:

- Un circuito aéreo que realiza la filtración, circulación, enfriamiento y secado del aire a tratar.
- Un circuito de refrigeración que proporciona los medios necesarios para la refrigeración del aire.
- Una caja de bornes eléctricos de conexión que realiza la unión entre el aire acondicionado, la unidad de control y de señalización.
- Un sensor de temperatura y humedad dentro del aire acondicionado monitoriza la temperatura del espacio, envía los valores a un regulador de temperatura y de higrometría situados en la unidad de control.

El regulador de temperatura pone en marcha el frío en función de la diferencia de temperatura entre la instrucción del regulador y la temperatura dada por el sensor situado en el aire de renovación, detrás de la rejilla de renovación de aire.

El regulador de higrometría pone en marcha el frío cuando la higrometría es superior a la instrucción. La temperatura tiene prioridad sobre la higrometría.

A continuación se describen las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo necesarias para reducir el ruido estructural y aéreo.

10.1.2.1 Mantenimiento Preventivo.

Periodicidad	Elemento	Descripción del Mantenimiento
Trimestral	Filtros de aire	Limpieza de los filtros de aire.
Trimestral	Depósito del refrigerante	Controlar la carga de refrigerante.
Semestral	Tapón de drenaje	Control del drenaje de partículas condensadas.
Trimestral	Compresor, electroventilador y calentador del cárter	Comprobar el aislamiento del compresor, electroventilador y calentador del cárter.
Semestral	Conexiones eléctricas	Comprobar el apriete y limpieza de las conexiones eléctricas.
Anual	Dispositivos de seguridad	Comprobar el funcionamiento de los dispositivos de seguridad.
Anual	Depósito del refrigerante.	Realización de prueba de fuga de refrigerante.
Cada gran carena	Aire acondicionado	Inspección general de todos los elementos.

Tabla 8. Mantenimiento preventivo. Climatizadores.



10.1.2.2. Mantenimiento Correctivo.

Avería	Causa probable	Intervención
Vibraciones y ruido.	Pérdida de carga de refrigerante, posible fuga.	Rellenar con refrigerante.
	Fallo del ventilador.	Reparar el ventilador.
	Suciedad o mal apriete de las conexiones.	Comprobar limpieza y apriete de las conexiones.
	Avería del compresor.	Sustitución del compresor.

Tabla 9. Mantenimiento correctivo. Climatizadores.

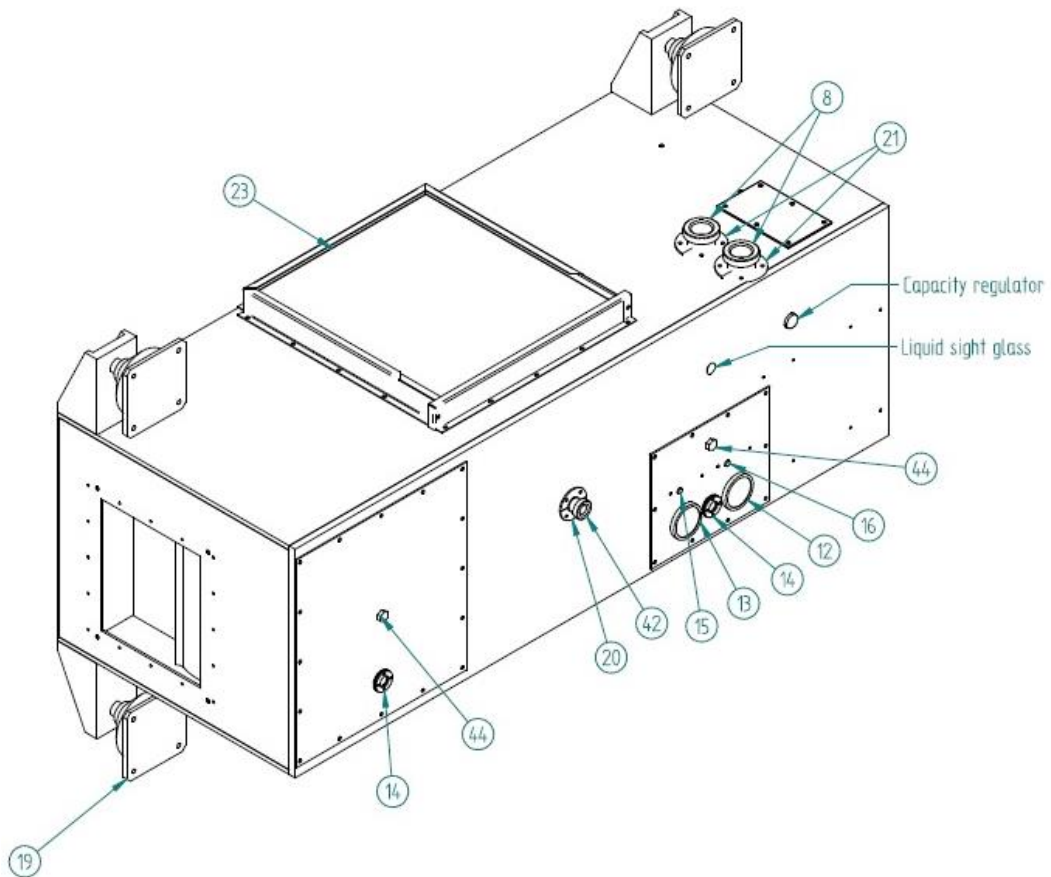


Figura 41. Climatizador.

10.1.3. ELECTROBOMBAS DE AGUA DE MAR.

Se utilizan para transferir o hacer circular el agua de mar o agua salada, tienen diversas aplicaciones de servicios generales a bordo del submarino, como la transferencia de lastre y extinción de incendios.

A continuación se describen las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo necesarias para reducir el ruido estructural y aéreo.

10.1.3.1. Mantenimiento Preventivo.



Periodicidad	Elemento	Descripción del Mantenimiento
Diaria	Bomba	Realizar diariamente la inspección de la bomba, la cual consistirá en verificar que no existen vibraciones excesivas o ruidos anormales provenientes de la electrobomba. En caso de apreciarse vibraciones o ruidos excesivos, detener la electrobomba y determinar la causa.
Semestral	Motor eléctrico	Limpieza de las tomas de aire del motor eléctrico.
Anual	Dispositivos antivibratorios	Inspeccionar los dispositivos antivibratorios.
Anual	Motor eléctrico	Verificar el valor de la resistencia de aislamiento del motor eléctrico.
3.000 horas	Motor eléctrico	Sustitución de los cojinetes.
3.000 horas	Bomba	Revisión completa de la bomba.

Tabla 10. Mantenimiento preventivo. Electrobombas de agua de mar.



10.1.3.2. Mantenimiento Correctivo.

Avería	Causa probable	Intervención
Vibraciones y Ruido.	Cavitación o aire en el interior de la bomba.	Detener la bomba y verificar que el cuerpo se rellene correctamente.
	Fijación de los componentes de la electrobomba aflojada.	Verificar la fijación de los componentes de la electrobomba.
	Dispositivos antivibratorios dañados o desgastados.	Verificar los soportes de dispositivos antivibratorios y sustituirlos si es necesario.
	Pasos de aire de refrigeración del motor obstruidos.	Detener el motor y limpiar la toma de aire.
	Rotación del rotor con el estator por reducción del entrehierro.	Desmontar el motor para eliminar posibles cuerpos extraños, o sustituir cojinetes.
	Apertura del relé térmico.	Verificar el calibrado del relé térmico. Volver al instalar el relé y arrancar de nuevo el motor. Si el relé vuelve a saltar, determinar y eliminar la causa de la excesiva absorción de corriente (cortocircuitos, sobrecargas, fricciones, etc.).
	Apertura del interruptor automático o quemadura de uno o más fusibles del circuito de control.	Cerrar el interruptor automático o sustituir el posible, si la avería persiste, verificar el motor.
	Sobrecarga de la bomba.	Verificar que las condiciones de funcionamiento de la bomba se correspondan con sus valores nominales.

	TRABAJO FIN DE GRADO	
	GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS	
	MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	

	Cojinetes gripados.	Sustituir los cojinetes.
--	---------------------	--------------------------

Tabla 11. Mantenimiento correctivo. Electrobombas de agua de mar.

10.1.4. ELECTROBOMBAS AUTOCEBADAS.

Se utilizan normalmente para la aspiración de sentinas.

A continuación se describen las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo necesarias para reducir el ruido estructural y aéreo.

10.1.4.1. Mantenimiento Preventivo.

Periodicidad	Elemento	Descripción del Mantenimiento
Diaria	Bomba	Realizar diariamente la inspección de la bomba, la cual consistirá en verificar que no existen vibraciones excesivas o ruidos anormales provenientes de la electrobomba. En caso de apreciarse vibraciones o ruidos excesivos, detener la electrobomba y determinar la causa.
Semestral	Motor eléctrico	Limpieza de las tomas de aire del motor eléctrico.
Anual	Dispositivos antivibratorios	Inspeccionar los dispositivos antivibratorios.
Anual	Motor eléctrico	Verificar el valor de la resistencia de aislamiento del motor eléctrico.
3.000 horas	Motor eléctrico	Sustitución de los cojinetes.

3.000 horas	Bomba	Revisión completa de la bomba.
-------------	-------	--------------------------------

Tabla 12. Mantenimiento preventivo. Electrobombas autocebadas.

10.1.4.2. Mantenimiento Correctivo.

Avería	Causa probable	Intervención
Vibraciones y Ruido.	Cavitación o aire en el interior de la bomba.	Detener la bomba y verificar que el cuerpo se rellene correctamente.
	Fijación de los componentes de la electrobomba aflojada.	Verificar la fijación de los componentes de la electrobomba.
	Dispositivos antivibratorios dañados o desgastados.	Verificar los soportes de dispositivos antivibratorios y sustituirlos si es necesario.
	Pasos de aire de refrigeración del motor obstruidos.	Detener el motor y limpiar la toma de aire.
	Rotación del rotor con el estator por reducción del entrehierro.	Desmontar el motor para eliminar posibles cuerpos extraños, o sustituir cojinetes.
	Apertura del relé térmico.	Verificar el calibrado del relé térmico. Volver al instalar el relé y arrancar de nuevo el motor. Si el relé vuelve a saltar, determinar y eliminar la causa de la excesiva absorción de corriente (cortocircuitos, sobrecargas, fricciones, etc.).
	Apertura del interruptor automático o quemadura de uno	Cerrar el interruptor automático o sustituir el posible, si la avería persiste, verificar el motor.

	o más fusibles del circuito de control.	
	Sobrecarga de la bomba.	Verificar que las condiciones de funcionamiento de la bomba se correspondan con sus valores nominales.
	Cojinetes gripados.	Sustituir los cojinetes.

Tabla 13. Mantenimiento correctivo. Electrobombas autocebadas.

10.1.5. ELECTROBOMBAS DE REFRIGERACIÓN DE AGUA DESIONIZADA.

Se emplean normalmente para la refrigeración de las baterías, debido a que cuando se cargan o descargan a un régimen relativamente alto, se calientan bastante debido a la intensificación de su actividad química y al efecto del paso de la corriente, por lo que es necesario el funcionamiento eficiente de estas electrobombas.

A continuación se describen las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo necesarias para reducir el ruido estructural y aéreo.

10.1.5.1. Mantenimiento Preventivo.

Periodicidad	Elemento	Descripción del Mantenimiento
Diaria	Bomba	Realizar diariamente la inspección de la bomba, la cual consistirá en verificar que no existen vibraciones excesivas o ruidos anormales provenientes de la electrobomba. En caso de apreciarse vibraciones o ruidos excesivos, detener la electrobomba y determinar la causa.
Semestral	Motor eléctrico	Limpieza de las tomas de aire del motor eléctrico.
Anual	Dispositivos antivibratorios	Inspeccionar los dispositivos antivibratorios.
Anual	Motor eléctrico	Verificar el valor de la resistencia de aislamiento del motor eléctrico.
3.000 horas	Motor eléctrico	Sustitución de los cojinetes.
3.000 horas	Bomba	Revisión completa de la bomba.

Tabla 14. Mantenimiento preventivo. Electrobombas de refrigeración de agua desionizada.

10.1.5.2. Mantenimiento Correctivo.

Avería	Causa probable	Intervención
Vibraciones y Ruido.	Cavitación o aire en el interior de la bomba.	Detener la bomba y verificar que el cuerpo se rellene correctamente.
	Fijación de los componentes de la electrobomba aflojada.	Verificar la fijación de los componentes de la electrobomba.
	Dispositivos antivibratorios dañados o desgastados.	Verificar los soportes de dispositivos antivibratorios y sustituirlos si es necesario.
	Pasos de aire de refrigeración del motor obstruidos.	Detener el motor y limpiar la toma de aire.
	Rotación del rotor con el estator por reducción del entrehierro.	Desmontar el motor para eliminar posibles cuerpos extraños, o sustituir cojinetes.
	Apertura del relé térmico.	Verificar el calibrado del relé térmico. Volver al instalar el relé y arrancar de nuevo el motor. Si el relé vuelve a saltar, determinar y eliminar la causa de la excesiva absorción de corriente (cortocircuitos, sobrecargas, fricciones, etc.).
	Apertura del interruptor automático o quemadura de uno o más fusibles del circuito de control.	Cerrar el interruptor automático o sustituir el posible, si la avería persiste, verificar el motor.
	Sobrecarga de la bomba.	Verificar que las condiciones de funcionamiento de la bomba se correspondan con sus valores nominales.

	Cojinetes gripados.	Sustituir los cojinetes.
--	---------------------	--------------------------

Tabla 15. Mantenimiento correctivo. Electrobombas de refrigeración de agua desionizada.

10.1.6. ELECTROBOMBA VOLUMÉTRICA DE ACHIQUE PRINCIPAL.

La principal función de esta electrobomba es proporcionar el servicio de achique, tiene por función el evacuar al exterior del casco resistente los líquidos acumulados en sentinas, tanque de purgas, tanque de la línea de ejes y tanques de aguas sucias.

A continuación se describen las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo necesarias para reducir el ruido estructural y aéreo.

10.1.6.1 Mantenimiento Preventivo.

Periodicidad	Elemento	Descripción del Mantenimiento
Diaria	Electrobomba	Control diario del funcionamiento de la electrobomba.
66 horas	Correa	Control de la tensión de la correa.
66 horas	Filtro de aceite	Limpieza del filtro de aceite.
198 horas	By-Pass de aceite	Sustitución del By-Pass de aceite.
198 horas	Motor eléctrico	Revisar estado del motor eléctrico.
Cada 6 años	Tacos elásticos	Sustitución de los tacos elásticos.
Cada gran carena	Electrobomba	Inspección de electrobomba, con el desmontaje de las correas, motor, bomba y elementos que lo conforman

Tabla 16. Mantenimiento preventivo. Electrobomba volumétrica de achique principal.



10.1.6.2. Mantenimiento Correctivo.

Avería	Causa probable	Intervención
Vibraciones y Ruido.	No hay presión de aceite.	Verificar el nivel de aceite. Inspeccionar la bomba.
	Sobrecalentamiento del motor	Verificar el nivel de aceite de los filtros de limpieza después de la parada del motor. Verificar la dirección de rotación de la bomba. Inspeccionar la bomba.
	Dispositivos antivibratorios dañados o desgastados.	Verificar los soportes de dispositivos antivibratorios y sustituirlos si es necesario.
	No hay presión de descarga	Verificar velocidad en el tacómetro. Verificar que la válvula de aislamiento está abierta. Verificar el cebador de la bomba. Verificar que las válvulas de succión y descarga no están obstruidas.
	Pasos de aire de refrigeración del motor obstruidos.	Detener el motor y limpiar la toma de aire.
	No hay caudal.	Verificar velocidad en el tacómetro. Verificar que la válvula de aislamiento está abierta. Verificar el cebador de la bomba.



		<p>Verificar que las válvulas de succión y descarga no están obstruidas.</p> <p>Verificar que la válvula de by-pass no permanezca abierta.</p>
	Mala tensión de las correas.	<p>Ajustar la tensión de las correas.</p> <p>Sustituir las correas.</p>
	Vibración excesiva.	Revisar la electrobomba.
	Ruido anormal.	Revisar la electrobomba.

Tabla 17. Mantenimiento correctivo. Electrobomba volumétrica de achique principal.

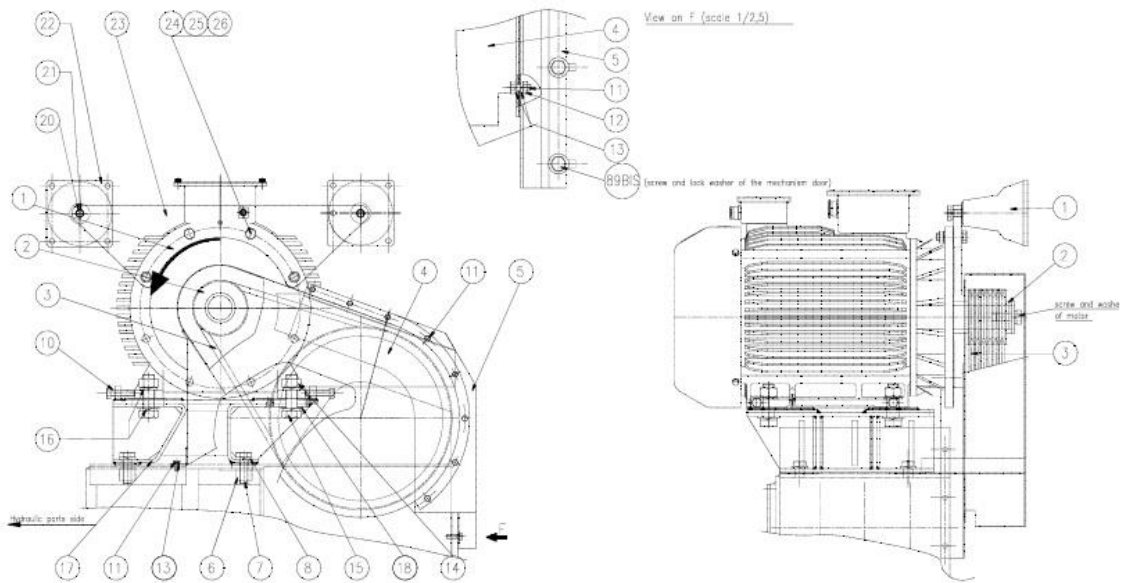


Figura 42. Electrobomba volumétrica de achique principal.

10.1.7. ELECTROBOMBA DE ACEITE HIDRÁULICO.

Es la encargada de suministrar aceite a los circuitos y elementos del submarino que funcionan mediante sistema hidráulico. Esta electrobomba es de vital importancia para el funcionamiento de este tipo de sistemas.

A continuación se describen las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo necesarias para reducir el ruido estructural y aéreo.

10.1.7.1. Mantenimiento Preventivo.

Periodicidad	Elemento	Descripción del Mantenimiento
Diaria	Bomba	Realizar diariamente la inspección de la bomba, la cual consistirá en verificar que no existen vibraciones excesivas o ruidos anormales provenientes de la electrobomba. En caso de apreciarse vibraciones o ruidos excesivos, detener la electrobomba y determinar la causa.
Semestral	Motor eléctrico	Limpieza de las tomas de aire del motor eléctrico.
Anual	Dispositivos antivibratorios	Inspeccionar los dispositivos antivibratorios.
Anual	Motor eléctrico	Verificar el valor de la resistencia de aislamiento del motor eléctrico.
3.000 horas	Motor eléctrico	Sustitución de los cojinetes.
3.000 horas	Bomba	Revisión completa de la bomba.

Tabla 18. Mantenimiento preventivo. Electrobomba de aceite hidráulico.

10.1.7.2. Mantenimiento Correctivo.

Avería	Causa probable	Intervención
Vibraciones y Ruido.	Cavitación o aire en el interior de la bomba.	Detener la bomba y verificar que el cuerpo se rellene correctamente.
	Fijación de los componentes de la electrobomba aflojada.	Verificar la fijación de los componentes de la electrobomba.
	Dispositivos antivibratorios dañados o desgastados.	Verificar los soportes de dispositivos antivibratorios y sustituirlos si es necesario.
	Pasos de aire de refrigeración del motor obstruidos.	Detener el motor y limpiar la toma de aire.
	Rotación del rotor con el estator por reducción del entrehierro.	Desmontar el motor para eliminar posibles cuerpos extraños, o sustituir cojinetes.
	Apertura del relé térmico.	Verificar el calibrado del relé térmico. Volver al instalar el relé y arrancar de nuevo el motor. Si el relé vuelve a saltar, determinar y eliminar la causa de la excesiva absorción de corriente (cortocircuitos, sobrecargas, fricciones, etc.).
	Apertura del interruptor automático o quemadura de uno o más fusibles del circuito de control.	Cerrar el interruptor automático o sustituir el posible, si la avería persiste, verificar el motor.
	Sobrecarga de la bomba.	Verificar que las condiciones de funcionamiento de la bomba se correspondan con sus valores nominales.

	Cojinetes gripados.	Sustituir los cojinetes.
--	---------------------	--------------------------

Tabla 19. Mantenimiento correctivo. Electrobomba de aceite hidráulico.

10.1.8. ELECTROBOMBA DE AGITADO DEL ELECTROLITO.

Dado que la altura de los elementos de batería suele ser bastante significativa, comparada con sus otras dimensiones, el electrólito tiende a sedimentarse y estratificarse. De este modo, su densidad deja de ser uniforme y ello, conlleva una descompensación en el intercambio de cargas. Con el fin de uniformizar la densidad, se emplea un sistema de agitación del electrólito.

La electrobomba inyecta aire a cierta profundidad dentro del contenedor de la batería. Las burbujas generadas producen un arrastre que mueve el electrólito, haciendo que éste se mezcle y que la densidad se vaya poco a poco homogeneizando.

A continuación se describen las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo necesarias para reducir el ruido estructural y aéreo.

10.1.8.1. Mantenimiento Preventivo.

Periodicidad	Elemento	Descripción del Mantenimiento
Diaria	Bomba	Realizar diariamente la inspección de la bomba, la cual consistirá en verificar que no existen vibraciones excesivas o ruidos anormales provenientes de la electrobomba. En caso de apreciarse vibraciones o ruidos excesivos, detener la electrobomba y determinar la causa.

Semestral	Motor eléctrico	Limpieza de las tomas de aire del motor eléctrico.
Anual	Dispositivos antivibratorios	Inspeccionar los dispositivos antivibratorios.
Anual	Motor eléctrico	Verificar el valor de la resistencia de aislamiento del motor eléctrico.
3.000 horas	Motor eléctrico	Sustitución de los cojinetes.
3.000 horas	Bomba	Revisión completa de la bomba.

Tabla 20. Mantenimiento preventivo. Electrobomba de agitado del electrolito.

10.1.8.2. Mantenimiento Correctivo.

Avería	Causa probable	Intervención
Vibraciones y Ruido.	Cavitación o aire en el interior de la bomba.	Detener la bomba y verificar que el cuerpo se rellene correctamente.
	Fijación de los componentes de la electrobomba aflojada.	Verificar la fijación de los componentes de la electrobomba.
	Dispositivos antivibratorios dañados o desgastados.	Verificar los soportes de dispositivos antivibratorios y sustituirlos si es necesario.
	Pasos de aire de refrigeración del motor obstruidos.	Detener el motor y limpiar la toma de aire.
	Rotación del rotor con el estator por reducción del entrehierro.	Desmontar el motor para eliminar posibles cuerpos extraños, o sustituir cojinetes.
	Apertura del relé térmico.	Verificar el calibrado del relé térmico. Volver al instalar el relé y arrancar de nuevo el

		motor. Si el relé vuelve a saltar, determinar y eliminar la causa de la excesiva absorción de corriente (cortocircuitos, sobrecargas, fricciones, etc.).
	Apertura del interruptor automático o quemadura de uno o más fusibles del circuito de control.	Cerrar el interruptor automático o sustituir el posible, si la avería persiste, verificar el motor.
	Sobrecarga de la bomba.	Verificar que las condiciones de funcionamiento de la bomba se correspondan con sus valores nominales.
	Cojinetes gripados.	Sustituir los cojinetes.

Tabla 21. Mantenimiento correctivo. Electrobomba de agitado del electrolito.

10.1.9. ELECTROCOMPRESORES FRIGO-VÍVERES.

Se utiliza para conservar térmicamente y en saludables condiciones los víveres necesarios para la dotación del submarino.

A continuación se describen las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo necesarias para reducir el ruido estructural y aéreo.

10.1.9.1. Mantenimiento Preventivo.

Periodicidad	Elemento	Descripción del Mantenimiento
Semanal	Caja eléctrica	Controlar obstrucciones en los filtros de la caja eléctrica. Controlar obstrucción en el prefiltro antipolvo.
Anual	Cojinetes	Engrasar los cojinetes del motor.

Anual	Junta	Inspeccionar los dispositivos antivibratorios.
Anual	Filtro de aceite	Cambiar el cartucho del filtro de aceite.
Anual	Filtro de eliminación de aceite	Cambiar el cartucho del filtro de eliminación de aceite.
Anual	Filtro de aire	Cambiar el cartucho del filtro de aire.
Anual	Radiador	Limpieza radiador aire/aceite.
Anual	Conexiones eléctricas	Comprobar las conexiones eléctricas y ajustarlas si es necesario.
5.000 horas	Depósito de aceite	Cambio de aceite.
7.500 horas	Válvula de aspiración	Revisar la válvula de aspiración.
12.500 horas	Tubos flexibles	Controlar, y si es necesario, cambiar los tubos flexibles.
12.500 horas	Válvula de mínima presión	Engrasar la válvula de mínima presión.
12.500 horas	Cojinetes del motor del ventilador	Cambiar los cojinetes del motor del ventilador del radiador.
20.000 horas	Ventilador del inversor	Cambiar el ventilador del inversor.

Tabla 22. Mantenimiento preventivo. Electrocompresor frigo-viveres.

10.1.9.2. Mantenimiento Correctivo.

Avería	Causa probable	Intervención
Vibraciones y Ruido.	No se abre la válvula de aspiración.	Controlar que la sonda de presión funcione regularmente; controlar que la electroválvula de mando (electroválvula normalmente cerrada) funcione regularmente. Controlar el sentido de rotación del motor y, si es necesario, proceder de inmediato a modificarlo para evitar daños irreparables al compresor
	La presión supera el valor de presión de alarma.	Controlar la presión de línea, descargar la presión llevándola a los valores de trabajo establecidos.
	El nivel de aceite es demasiado alto, válvula de aspiración defectuosa.	Descargar el aceite hasta alcanzar el nivel correcto.
	Aceite no adecuado al uso del compresor, cartucho separador aire/aceite roto.	Sustituir el aceite con uno apto al uso, cambiar el cartucho separador, apretar los tornillos de la tapa del filtro de eliminación de aceite, llevar el nivel de aceite a la altura justa.
	Holgura en los cojinetes	Cambiar los cojinetes.
	Mala fijación de los dispositivos antivibratorios.	Revisar fijación de los dispositivos antivibratorios.

Tabla 23. Mantenimiento correctivo. Electrocompresor frigo-viveres.

10.1.10. CONJUNTO UNIDADES CONDENSADORAS.

Se encargan de corregir el factor de potencia de la fuente de alimentación de energía eléctrica del submarino.

A continuación se describen las tareas de mantenimiento necesarias para reducir el ruido estructural y aéreo.

10.1.10.1. Mantenimiento Preventivo.

Periodicidad	Elemento	Descripción del Mantenimiento
Mensual	Condensadores	Inspeccionar visualmente los condensadores.
Semestral	Condensadores	Mantener limpios condensadores y reactancias.
Semestral	Tiristores	Comprobar que los tiristores no estén cortocircuitados.
Semestral	Condensadores	Comprobar que la corriente de los condensadores no sea inferior al 75% ni superior al 120% del valor nominal por fase y que no exista un desequilibrio entre fases superior al 15%.
Anual	Condensadores	Comprobar la capacidad de los condensadores.
Anual	Conexiones	Verificar el apriete de las conexiones en los bornes de los distintos elementos de potencia.
Anual	Fusibles	Inspeccionar los fusibles.

Tabla 24. Mantenimiento preventivo. Conjunto unidades condensadoras.

10.1.10.2. Mantenimiento Correctivo.

Avería	Causa probable	Intervención
Vibraciones y Ruido.	Conexiones eléctricas mal conectadas.	Apretar las conexiones eléctricas con el par de apriete adecuado.
	Terminales de los interruptores estáticos sucios.	Limpian los terminales de las unidades condensadoras. Aspirar el polvo y los residuos sólidos.
	Quemadura de las resistencias de los condensadores.	Sustituir las resistencias.
	Regulador deteriorado por quemaduras o endurecimiento.	Sustituir regulador y comprobar que los bornes están apretados con un par de apriete recomendable.
	Suciedad del armario.	Retirar las posibles partículas sólidas, limpiar el interior del armario y las rejillas de ventilación.

Tabla 25. Mantenimiento correctivo. Conjunto unidades condensadoras.

10.1.11. CONVERTIDOR ESTÁTICO DE 115 V/60 Hz.

El convertidor está diseñado para convertir una señal de corriente continua de 360 V, en otra de corriente alterna de alta calidad de 115 V.

A continuación se describen las tareas de mantenimiento necesarias para reducir el ruido estructural y aéreo.

10.1.11.1. Mantenimiento Preventivo.

Periodicidad	Elemento	Descripción del Mantenimiento
Semanal	Convertidor	Inspección visual del convertidor.
Anual	Convertidor	Comprobar si existen en el convertidor partículas contaminantes.
Mensual	Ventilador	Comprobar la vida útil del ventilador, la cual normalmente es de 30.000 horas.
Anual	Dispositivos antivibratorios	Verificar estado de los dispositivos antivibratorios, en caso de esfuerzos continuos y regulares, es necesario sustituirlos.

Tabla 26. Mantenimiento preventivo. Convertidor estático de 115 V/60 Hz.

10.1.11.2. Mantenimiento Correctivo.

Avería	Causa probable	Intervención
Vibraciones y Ruido.	Fallo en la tensión de entrada $V_{in} < 229 \text{ V.}$	Sustituir el detector de tensión de entrada.
	Fallo en la tensión de entrada de alta tensión $V_{in} < 580 \text{ V.}$	Sustituir el detector de tensión de entrada
	Fallo en la tensión auxiliar de baja tensión $V < 220 \text{ V.}$	Sustitución de la fuente de alimentación auxiliar.
	La Entrada de CC de la etapa de potencia la tensión no está disponible después de 3 segundos del inicio del encendido de la carga de condensadores	Sustitución de los fusibles. Retirar la unidad de entrada para evaluar el fallo. Sustituir las unidades de potencia.
	Fallo en la corriente continua de alta tensión, la corriente del colector de al menos una de las conexiones es $> 1.400 \text{ A.}$	Sustituir las unidades de potencia. Sustituir el conjunto de condensadores. Retirar los filtros de las unidades de salida.
	La temperatura de la unidad es demasiado alta ($>100 \text{ }^\circ\text{C}$). Fallo del sistema de refrigeración. Fallo de temperatura. vigilancia	Sustitución del interruptor del circuito. Sustitución de las unidades de potencia. Sustituir los ventiladores del filtro de salida.
	Fallo en la tensión de salida de alta tensión $V_{out} > 130\text{V.}$	Sustituir el control electrónico de 60 Hz.
	Fallo en la frecuencia de salida.	Sustituir el control electrónico de 60 Hz.

	Fallo en el ventilador.	Sustituir el ventilador.
	Exceso de vibración.	Sustitución de los sistemas antivibratorios.

Tabla 27. Mantenimiento correctivo. Convertidor estático de 115 V/60 Hz.

10.2. AUXILIARES DE POPA.

Dentro del Sistema Auxiliar de Popa encontramos los siguientes equipos descritos en la Lista de Fuentes Sonoras Principales:

- Electrocompresores de aire de alta presión.
- Electrobombas de refrigeración de agua de mar.
- Electrobombas de refrigeración de agua dulce.

10.2.1. ELECTROCOMPRESORES DE AIRE DE ALTA PRESIÓN.

Se utilizan fundamentalmente para el arranque de los DARs y motores auxiliares, funcionamiento de máquinas neumáticas, limpieza de tuberías, limpieza de calderas y condensadores, soplado de tanques, nivelado del submarino, purgado, funcionamiento de algunas válvulas sanitarias (W.C.) y snorkel.

A continuación se describen las tareas de mantenimiento necesarias para reducir el ruido estructural y aéreo.

10.2.1.1. Mantenimiento Preventivo.

Periodicidad	Elemento	Descripción del Mantenimiento
Diaria	Electrocompresor	Comprobación externa de la estanqueidad y eliminación de la suciedad en el sistema.
Diaria	Depósito de aceite	Comprobar nivel de aceite.
Cada 4 meses	Electrocompresor	Comprobar estado de pistones, cilindros y camisas.
Anual	Electrocompresor	Comprobar las uniones roscadas.
Anual	Filtro de aire	Cambiar el cartucho del filtro de aire.
Anual	Electrocompresor	Comprobar la protección de zinc.
Anual	Depósito de aceite	Cambio de aceite.
Anual	Electrocompresor	Comprobar las juntas.
Anual	Dispositivos antivibratorios	Verificar estado de los dispositivos antivibratorios, en caso de esfuerzos continuos y regulares, es necesario sustituirlos

Tabla 28. Mantenimiento preventivo. Electrocompresor de aire de alta presión.

10.1.11.2. Mantenimiento Correctivo.

Avería	Causa probable	Intervención
Vibraciones y Ruido.	Rodamiento de la biela defectuoso	Sustituir rodamiento de la biela.
	Cojinete defectuoso	Sustituir el cojinete.
	Cojinete del cigüeñal defectuoso	Sustituir el cojinete del cigüeñal.
	Cojinete del motor defectuoso.	Sustituir el cojinete del motor.
	Bomba de aceite lubricante defectuosa o con fugas	Sustituir la bomba de aceite lubricante.
	Línea de aceite bloqueada	Limpiar la línea de aceite.
	Juntas de conexión o sellos con fugas	Sustituir junta o sello dañado.
	Fuga en las juntas	Desconectar el compresor, esperar a que todas las piezas dejen de estar bajo presión, comprobar el manómetro para esto. Apretar todos los accesorios.

Tabla 29. Mantenimiento correctivo. Electrocompresor de aire de alta presión.

10.2.2. ELECTROBOMBAS DE REFRIGERACIÓN DE AGUA DE MAR.

Descrito en *Apartado 10.1.3.*

10.2.3. ELECTROBOMBAS DE REFRIGERACIÓN DE AGUA DULCE.

Descrito en *Apartado 10.1.1.*

10.3. AUXILIARES DE CENTRO.

Dentro del Sistema Auxiliar de Centro encontramos los siguientes equipos descritos en la Lista de Fuentes Sonoras Principales:

- Electrocompresor de agitado del electrolito.
- Electrobomba de servicio hidráulico común.
- Electrobombas volumétricas de servicio hidráulico exterior.
- Ventiladores de aire de vaciado y aire fresco.
- Climatizadores.

10.3.1. ELECTROCOMPRESOR DE AGITADO DEL ELECTROLITO.

Descrito en *Apartado 10.1.8.*

10.3.2. ELECTROBOMBA DE SERVICIO HIDRÁULICO COMÚN.

A continuación se describen las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo necesarias para reducir el ruido estructural y aéreo.

10.3.2.1. Mantenimiento Preventivo.

Periodicidad	Elemento	Descripción del Mantenimiento
Diaria	Bomba	Realizar diariamente la inspección de la bomba, la cual consistirá en verificar que no existen vibraciones excesivas o ruidos anormales provenientes de la electrobomba. En caso de apreciarse vibraciones o ruidos excesivos, detener la electrobomba y determinar la causa.

Semestral	Motor eléctrico	Limpieza de las tomas de aire del motor eléctrico.
Anual	Dispositivos antivibratorios	Inspeccionar los dispositivos antivibratorios.
Anual	Motor eléctrico	Verificar el valor de la resistencia de aislamiento del motor eléctrico.
3.000 horas	Motor eléctrico	Sustitución de los cojinetes.
3.000 horas	Bomba	Revisión completa de la bomba.

Tabla 30. Mantenimiento preventivo. Electrobomba servicio hidráulico común.

10.3.2.2. Mantenimiento correctivo.

Avería	Causa probable	Intervención
Vibraciones y Ruido.	Cavitación o aire en el interior de la bomba.	Detener la bomba y verificar que el cuerpo se rellene correctamente.
	Fijación de los componentes de la electrobomba aflojada.	Verificar la fijación de los componentes de la electrobomba.
	Dispositivos antivibratorios dañados o desgastados.	Verificar los soportes de dispositivos antivibratorios y sustituirlos si es necesario.
	Pasos de aire de refrigeración del motor obstruidos.	Detener el motor y limpiar las tomas de aire.
	Rotación del rotor con el estator por reducción del entrehierro.	Desmontar el motor para eliminar posibles cuerpos extraños, o sustituir cojinetes.
	Apertura del relé térmico.	Verificar el calibrado del relé térmico. Volver al instalar el relé y arrancar de nuevo el



		motor. Si el relé vuelve a saltar, determinar y eliminar la causa de la excesiva absorción de corriente (cortocircuitos, sobrecargas, fricciones, etc.).
	Apertura del interruptor automático o quemadura de uno o más fusibles del circuito de control.	Cerrar el interruptor automático o sustituir el posible, si la avería persiste, verificar el motor.
	Sobrecarga de la bomba.	Verificar que las condiciones de funcionamiento de la bomba se correspondan con sus valores nominales.
	Cojinetes gripados.	Sustituir los cojinetes.

Tabla 31. Mantenimiento correctivo. Electrobomba servicio hidráulico común.

10.3.3. ELECTROBOMBAS VOLUMÉTRICAS DE SERVICIO HIDRÁULICO EXTERIOR.

A continuación se describen las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo necesarias para reducir el ruido estructural y aéreo.

10.3.3.1 Mantenimiento Preventivo.

Periodicidad	Elemento	Descripción del Mantenimiento
Diaria	Electrobomba	Control diario del funcionamiento de la electrobomba.
66 horas	Correa	Control de la tensión de la correa.
66 horas	Filtro de aceite	Limpieza del filtro de aceite.
198 horas	By-Pass de aceite	Sustitución del By-Pass de aceite.
198 horas	Motor eléctrico	Revisar estado del motor eléctrico.
Semestral	Tacos elásticos	Sustitución de los tacos elásticos.
Cada gran carena	Electrobomba	Inspección de electrobomba, con el desmontaje de las correas, motor, bomba y elementos que lo conforman

Tabla 32. Mantenimiento preventivo. Electrobomba volumétrica de servicio hidráulico exterior.



10.3.3.2. Mantenimiento Correctivo.

Avería	Causa probable	Intervención
Vibraciones y Ruido.	No hay presión de aceite.	Verificar el nivel de aceite. Inspeccionar la bomba.
	Sobrecalentamiento del motor	Verificar el nivel de aceite de los filtros de limpieza después de la parada del motor. Verificar la dirección de rotación de la bomba. Inspeccionar la bomba.
	Dispositivos antivibratorios dañados o desgastados.	Verificar los soportes de dispositivos antivibratorios y sustituirlos si es necesario.
	No hay presión de descarga	Verificar velocidad en el tacómetro. Verificar que la válvula de aislamiento está abierta. Verificar el cebador de la bomba. Verificar que las válvulas de succión y descarga no están obstruidas.
	Pasos de aire de refrigeración del motor obstruidos.	Detener el motor y limpiar la toma de aire.
	No hay caudal.	Verificar velocidad en el tacómetro. Verificar que la válvula de aislamiento está abierta. Verificar el cebador de la bomba.

		Verificar que las válvulas de succión y descarga no están obstruidas. Verificar que la válvula de by-pass no permanezca abierta.
	Mala tensión de las correas.	Ajustar la tensión de las correas. Sustituir las correas.
	Vibración excesiva.	Revisar la electrobomba.
	Ruido anormal.	Revisar la electrobomba.

Tabla 33. Mantenimiento correctivo. Electrobomba volumétrica de servicio hidráulico exterior.

10.3.4. VENTILADORES DE AIRE DE VACIADO Y AIRE FRESCO.

Son utilizados en el submarino para transportar aire y gases, trabajando en condiciones de trabajo severas, como temperaturas y presiones elevadas.

A continuación se describen las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo necesarias para reducir el ruido estructural y aéreo.

10.3.4.1 Mantenimiento Preventivo.

Periodicidad	Elemento	Descripción del Mantenimiento
Mensual	Motor eléctrico	Verificar el nivel de vibraciones y amperaje, también verificar estado de conexiones eléctricas.
Semestral	Álabes	Verificar desgaste o corrosión que cause que el ventilador se suelte y no permita generar la corriente de aire.
Semestral	Válvulas de expansión	Verificación y calibración de cada uno de los componentes (manija, eje, cuerpos, asientos,

		etc.), verificación de sellos, fugas y caídas de presión.
Semestral	Panel eléctrico	Revisar que los componentes que lo conforma no presenten deterioro, ni presente ningún daño eléctrico.
Semestral	Tuberías	Verificar que no tenga rotura o desgaste que pueda producir fugas del fluido.
Anual	Eje	Verificar medidas establecidas para el eje, ajustes y tolerancias requeridas para el buen funcionamiento de lo contrario rectificar el eje.
Anual	Rodamientos	Lubricar y verificar estado de rodamientos, que no estén atascados ni presenten agrietamientos. En caso de presentar desgaste cambiarlos.
Anual	Cojinetes	Verificar estado físico, desgaste o rotura de los cojinetes que no permita la correcta alineación y produzca la reducción de velocidad.
Anual	Pernos	Se procede a apagar la máquina y con ayuda de una llave se ajustan y aprietan los pernos que estén sueltos o flojos.

Tabla 34. Mantenimiento preventivo. Ventilador de aire de vaciado y aire fresco.



10.3.4.2. Mantenimiento Correctivo.

Avería	Causa probable	Intervención
Vibraciones y Ruido.	Fallo en motor eléctrico	Sustituir cualquier componente del motor cuando falle.
	Eje dañado o desgastado	Sustituir el eje cuando se encuentre dañado o desgastado.
	Rodamientos dañados o desgastados	Sustituir empaquetaduras cuando se encuentren dañadas o desgastadas.
	Álabes dañados o desgastados	Sustituir álabes cuando se encuentren dañados o desgastados.
	Fallo en la válvula de expansión	Sustituir cualquier componente de la válvula cuando falle.
	Cojinetes dañados o desgastados	Sustituir cojinetes cuando se encuentren dañados o desgastados.
	Tuberías dañadas o desgastadas.	Sustituir tuberías cuando se encuentren dañadas o desgastadas.
	Pernos mal ajustados.	Comprobar y ajustar los pernos con el par adecuado.

Tabla 35. Mantenimiento correctivo. Ventilador de aire de vaciado y aire fresco.

10.3.5. CLIMATIZADORES.

Descrito en *Apartado 10.1.2.*

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

10.4. DIÉSEL - GENERADORES.

Dentro del Sistema Diésel - Generadores encontramos los siguientes equipos descritos en la Lista de Fuentes Sonoras Principales:



- Grupo Diésel/Alternador rectificador Generadores (DARs).
- Electrobombas precalentadora de DARs.
- Convertidor CC/CA 115V/60HZ.
- Climatizador del motor Diésel.

10.4.1. GRUPO DIÉSEL/ALTERNADOR RECTIFICADOR GENERADORES (DARs).

Para los submarinos convencionales, los grupos generadores constituyen los elementos encargados de recargar las baterías. Los principales requisitos de un motor Diésel en un submarino son los siguientes:



- Alto tiempo operativo y largo TBO (Tiempo entre Inspecciones)
- Alta potencia, y Bajo peso.
- Arranque contra alta contrapresión.
- Diseño parcialmente amagnético o compensado magnéticamente.
- Características antichoque.
- Sustentación elástica altamente amortiguadora de ruido, para minimizar los niveles de ruido estructural. (Discreción acústica para evitar detección).
- Bajo nivel de ruido aéreo. (Discreción acústica para evitar detección).

A continuación se describen las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo necesarias para reducir el ruido estructural y aéreo.

	TRABAJO FIN DE GRADO	
	GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS	
	MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	

10.4.1.1 Mantenimiento Preventivo.

Periodicidad	Elemento	Descripción del Mantenimiento
200 horas	Aceite lubricante	Sustitución del aceite lubricante del motor.
200 horas	Filtro de aire	Sustitución del filtro de aire.
200 horas	Filtro agua de mar	Limpieza del filtro de agua de mar.
400 horas	Filtro de combustible	Sustitución del filtro de combustible.
400 horas	Reductora	Sustitución de aceite lubricante de la reductora.
400 horas	Motor diésel	Lubricación y engrase.
600 horas	Tornillos y fijaciones	Comprobar apriete de tornillos y fijaciones.
800 horas	Bomba de inyección	Inspección y ajuste de la bomba de inyección.
800 horas	Cárter	Inspección del tubo de ventilación del Cárter.
800 horas	Bomba de refrigeración	Sustituir rotor de la bomba de refrigeración.
800 horas	Correa	Sustitución de la correa.
Diaria	Aceite	Comprobar nivel de aceite.
Diaria	Refrigerante	Comprobar nivel de refrigerante.
Trimestral	Generador	Inspección visual del generador.
Anual	Líquido refrigerante	Sustituir líquido refrigerante.
Anual	Aislantes	Comprobar aislantes.

	TRABAJO FIN DE GRADO	
	GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS	
	MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	

Anual	Motor diésel	Inspección general del motor diésel.
Anual	Conexiones flexibles	Inspección de conexiones flexibles a la línea de combustible.
Anual	Tacos elásticos	Inspección de dispositivos elásticos antivibratorios, en caso de daño o deterioro sustituir.
Cada 2 años	Sistema de alimentación	Purgado del sistema de alimentación.
Cada 2 años	Colector y línea de escape	Limpieza de colector y la línea de escape.
Cada 5 años	Bobinado	Medir y registrar lecturas de resistencia de bobinados con medidor de aislamiento.

Tabla 36. Mantenimiento preventivo. Grupo Diésel/Alternador Rectificador Generador (DAR).



10.4.1.2. Mantenimiento Correctivo.

Avería	Causa probable	Intervención
Vibraciones y Ruido.	Elevada temperatura por saturación de filtros de cartuchos	Cambiar los filtros de aceite.
	Elevada temperatura por válvula limitadora mal regulada	Cambiar la válvula limitadora.
	Bajo nivel de aceite de lubricación en la bomba de aceite	Rellenar de aceite.
	Baja presión de aceite lubricado en el escape	Verificar estados de las líneas de lubricación por obstrucción y corregir.
	Elemento extraño en la entrada de gases de escape	Verificar estado de la válvula de escape, y retirar el elemento extraño.
	Álabes de la bomba de refrigeración desgastados	Cambiar la bomba.
	Rodamiento de la toma de fuerza de la bomba de refrigeración dañado o desgastado	Cambiar la bomba y/o toma de fuerza.
	Álabes de la bomba principal de refrigerante dañados o desgastados	Cambiar la bomba.
	Rodamiento de la toma de fuerza de la bomba principal de refrigeración dañado o desgastado	Cambiar la bomba y/o toma de fuerza.
Rodamiento de la bomba de alta de toma de combustible dañado o desgastado	Cambiar la bomba y/o rodamiento.	



	Rodamiento de la bomba de transferencia de toma de combustible dañado o desgastado	Cambiar la bomba y/o rodamiento.
	Tacos elásticos desgastados y o dañados.	Cambiar tacos elásticos.

Tabla 37. Mantenimiento correctivo. Grupo Diésel/Alternador Rectificador Generador (DAR).

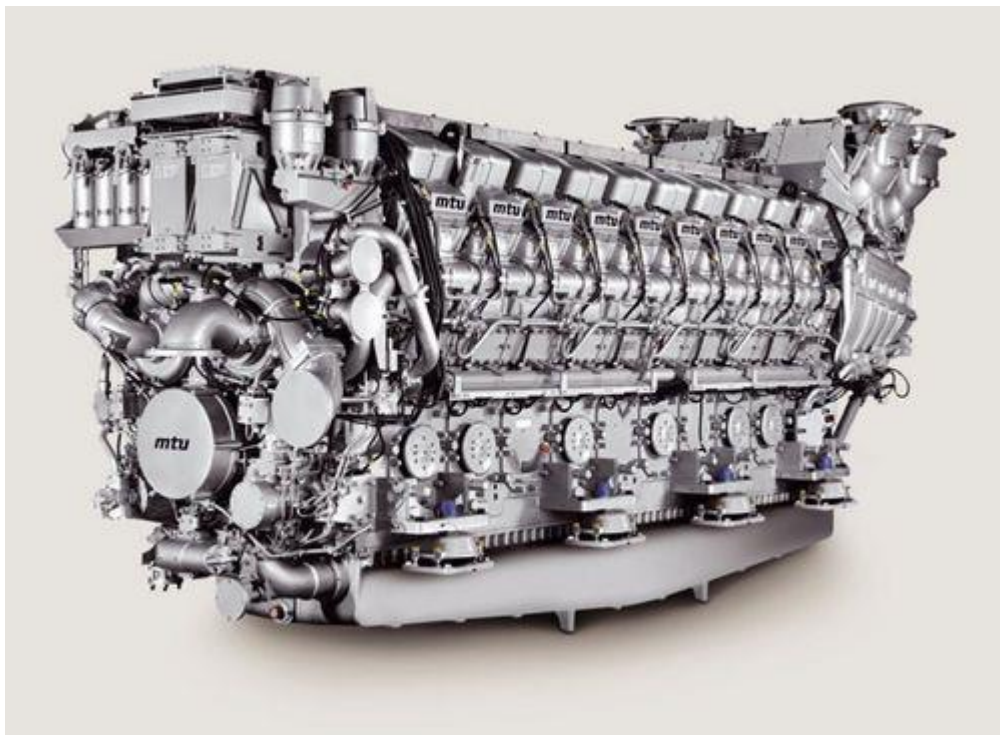


Figura 43. Grupo Diésel/Alternador Rectificador Generador (DAR).

10.4.2. ELECTROBOMBAS PRECALENTADORAS DE LOS DARs.

A continuación se describen las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo necesarias para reducir el ruido estructural y aéreo.



10.4.2.1. Mantenimiento Preventivo.

Periodicidad	Elemento	Descripción del Mantenimiento
Diaria	Bomba	Realizar diariamente la inspección de la bomba, la cual consistirá en verificar que no existen vibraciones excesivas o ruidos anormales provenientes de la electrobomba. En caso de apreciarse vibraciones o ruidos excesivos, detener la electrobomba y determinar la causa.
Semestral	Motor eléctrico	Limpieza de las tomas de aire del motor eléctrico.
Anual	Dispositivos antivibratorios	Inspeccionar los dispositivos antivibratorios.
Anual	Motor eléctrico	Verificar el valor de la resistencia de aislamiento del motor eléctrico.
3.000 horas	Motor eléctrico	Sustitución de los cojinetes.
3.000 horas	Bomba	Revisión completa de la bomba.

Tabla 38. Mantenimiento preventivo. Electrobomba precalentadora de grupo DAR.

10.4.2.2. Mantenimiento Correctivo.

Avería	Causa probable	Intervención
Vibraciones y Ruido.	Cavitación o aire en el interior de la bomba.	Detener la bomba y verificar que el cuerpo se rellene correctamente.
	Fijación de los componentes de la electrobomba aflojada.	Verificar la fijación de los componentes de la electrobomba.
	Dispositivos antivibratorios dañados o desgastados.	Verificar los soportes de dispositivos antivibratorios y sustituirlos si es necesario.
	Pasos de aire de refrigeración del motor obstruidos.	Detener el motor y limpiar las tomas de aire.
	Rotación del rotor con el estator por reducción del entrehierro.	Desmontar el motor para eliminar posibles cuerpos extraños, o sustituir cojinetes.
	Apertura del relé térmico.	Verificar el calibrado del relé térmico. Volver al instalar el relé y arrancar de nuevo el motor. Si el relé vuelve a saltar, determinar y eliminar la causa de la excesiva absorción de corriente (cortocircuitos, sobrecargas, fricciones, etc.).
	Apertura del interruptor automático o quemadura de uno o más fusibles del circuito de control.	Cerrar el interruptor automático o sustituir el posible, si la avería persiste, verificar el motor.
	Sobrecarga de la bomba.	Verificar que las condiciones de funcionamiento de la bomba se correspondan con sus valores nominales.

	TRABAJO FIN DE GRADO	
	GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS	
	MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	

	Cojinetes gripados.	Sustituir los cojinetes.
--	---------------------	--------------------------

Tabla 39. Mantenimiento correctivo. Electrobomba precalentadora de grupo DAR.

10.4.3. CONVERTIDOR ESTÁTICO DE 115 V/60 Hz.

Descrito en *Apartado 10.1.11.*

10.4.4. CLIMATIZADORES.

Descrito en *Apartado 10.1.2.*

10.5. PROPULSIÓN.

Dentro del Sistema de Propulsión encontramos los siguientes equipos descritos en la Lista de Fuentes Sonoras Principales:



- Motor eléctrico Principal (MEP).
- Climatizador de Sistema de Propulsión.

10.5.1. MOTOR ELÉCTRICO PRINCIPAL (MEP).

El motor eléctrico principal recibe la alimentación eléctrica generada en los grupos Diésel generadores, que a través del trabajo de estos motores el submarino es propulsado.



El motor es se encuentra acoplado a un reductor que incorpora un embrague para acoplar o desacoplar el eje de salida hacia la hélice y que acomoda las revoluciones de salida a las vueltas nominales de la misma.

A continuación se describen las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo necesarias para reducir el ruido estructural y aéreo.

	TRABAJO FIN DE GRADO	
	GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS	
	MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	

10.5.1.1. Mantenimiento Preventivo.

Periodicidad	Elemento	Descripción del Mantenimiento
37 semanas	Componentes auxiliares	Inspección general del estado general de juntas, cables, pasamuros, conexiones y corrosión.
37 semanas	Cables, tubos de protección y soportes	Inspección del estado general del estado de los cables, tubos de protección y soportes.
37 semanas	Resistencias de caldeo	Inspección general del estado de las resistencias de caldeo, cables, juntas, pasamuros, conexiones y corrosión
37 semanas	Cuadro principal	Inspección general del estado de los componentes del cuadro principal, cables, juntas, pasamuros, conexiones, pares de apriete y corrosión.
37 semanas	Cojinetes	Engrasar juntas de los cojinetes.
37 semanas	Escobilla de puesta a tierra	Inspección del desgaste y presión de la escobilla de la puesta a tierra.
37 semanas	Estator	Medida de resistencia del aislamiento del estator.
37 semanas	Preostato	Comprobación de funcionamiento del preostato diferencial.
37 semanas	Cojinetes	Cambio de aceite de los cojinetes.
37 semanas	Tornillería	Revisar pares de apriete y estado de la tornillería.

	TRABAJO FIN DE GRADO	
	GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS	
	MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	

37 semanas	Sistema de refrigeración	Revisar estado de juntas y pares de apriete de las uniones del sistema de refrigeración.
37 semanas	Motor	Limpieza del motor.
74 semanas	Resistencias de caldeo	Verificación de las resistencias de caldeo.
364 semanas	Cojinetes	Revisión y desmontaje de los cojinetes.
364 semanas	Juntas radiales	Sustitución de las juntas radiales.
364 semanas	Cojinetes	Medida de aislamiento de los cojinetes.
728 semanas	Pastillas de empuje	Sustituir las pastillas de empuje
Anual	Dispositivos antivibratorios	Sustitución de los dispositivos antivibratorios.

Tabla 40. Mantenimiento preventivo. Motor Eléctrico Principal (MEP).



10.5.1.2. Mantenimiento Correctivo.

Avería	Causa probable	Intervención
Vibraciones y Ruido.	Alimentación desequilibrada.	Comprobar y equilibrar las fases.
	Motor desalineado.	Realignar el motor, limpiar si procede.
	Fallo de las pastillas.	Cambiar las pastillas de empuje.
	Excesiva carga axial.	Revisar acoplamiento, alineación, carga externa, corregir y cambiar las pastillas.
	Nivel de aceite bajo.	Buscar pérdidas en el cojinete y añadir aceite.
	Calidad de aceite degradada.	Cambiar el aceite.
	Período de cambio de aceite incorrecto.	Cambiar el aceite.
	Casquillos del cojinete dañados.	Cambiar aceite, revisar el estado del cojinete y sustituir los casquillos.
	Impurezas en el aceite.	Cambiar aceite, revisar el estado del cojinete y sustituir los casquillos.
	Corriente eléctrica en los cojinetes	Cambiar aislamiento y casquillos de los cojinetes.
	Incorrecto ensamblaje del cojinete	Verificar y corregir el ensamblaje, y ajustar el cojinete.
	Fallo del casquillo	Cambio de los casquillos del cojinete.
Excesivo desgaste	Cambio de los casquillos del cojinete.	



	Pastillas de empuje dañadas	Cambiar el aceite, revisar el estado del cojinete y sustituir las pastillas de empuje.
	Impurezas en el aceite	Cambiar el aceite, revisar el estado del cojinete y sustituir las pastillas de empuje.
	Corriente eléctrica en cojinetes	Cambiar aislamiento y pastillas de empuje.
	Juntas radiales del cojinete dañadas o desgastadas	Cambiar juntas radiales del cojinete.
	Juntas radiales secas	Engrasar las juntas radiales.
	Dispositivos antivibratorios desgastados o dañados	Sustituir los dispositivos antivibratorios.

Tabla 41. Mantenimiento correctivo. Motor Eléctrico Principal (MEP).

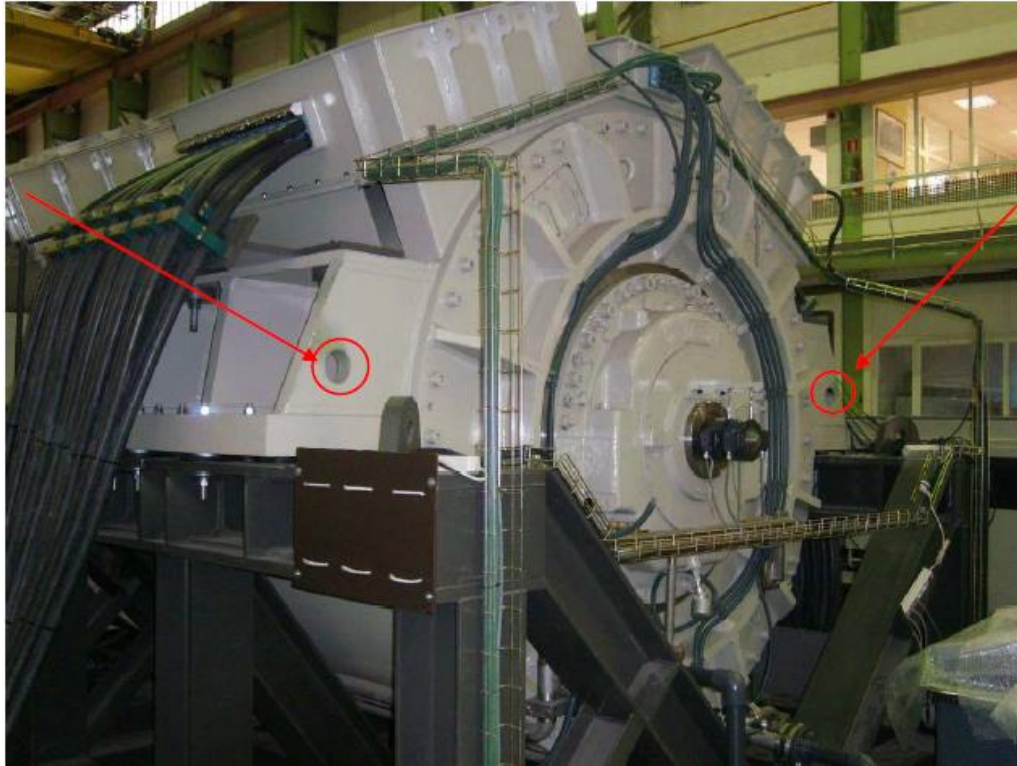


Figura 44. Motor Eléctrico Principal (MEP).

10.5.2. CLIMATIZADOR.

Descrito en *Apartado 10.1.11.*

10.6. PLANTA HIDRÁULICA.

Dentro del Sistema de Planta Hidráulica encontramos el siguiente equipo descrito en la Lista de Fuentes Sonoras Principales:

- Planta Hidráulica Unidad.

10.6.1. PLANTA HIDRÁULICA UNIDAD.

Se encarga de almacenar y suministrar la energía hidráulica necesaria para alimentar a los diferentes elementos del submarino.

A continuación se describen las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo necesarias para reducir el ruido estructural y aéreo.

10.6.1.1. Mantenimiento Preventivo.

Periodicidad	Elemento	Descripción del Mantenimiento
Semanal	Fluido hidráulico	Encender el sistema de funcionamiento para la circulación de fluido hidráulico.
Semanal	Fluido hidráulico	Inspección del nivel de fluido hidráulico.
Semanal	Planta hidráulica unidad	Inspección visual de la planta hidráulica unidad.
36 semanas	Fluido hidráulico	Inspección del estado del fluido hidráulico, en caso de encontrarse en mal estado, vaciar y volver a rellenar.

Anual	Filtro de presión	Sustituir el filtro de presión.
Anual	Filtro de retorno	Sustituir el filtro de retorno.
Cada 7 años	Fluido hidráulico	Reemplazar el fluido hidráulico.
Cada 7 años	Dispositivos antivibratorios	Sustituir los dispositivos antivibratorios.
Cada 7 años	Tuberías de presión	Sustituir las tuberías de presión.
Cada 7 años	Tuberías de retorno	Sustituir tuberías de retorno.
Cada 7 años	Acoplamiento elástico	Sustituir acoplamiento elástico.

Tabla 42. Mantenimiento preventivo. Planta Hidráulica Unidad.

10.6.1.2. Mantenimiento Correctivo.

Avería	Causa probable	Intervención
Vibraciones y Ruido.	Motor eléctrico dañado o desgastado.	Sustituir el motor eléctrico.
	Motor desalineado.	Realignar el motor.
	Válvula de retención dañada o desgastada.	Sustituir válvula de retención.
	Válvula de bloque de control del flujo del enfriador dañada o desgastada.	Sustituir válvula de bloque de control del flujo del enfriador.
	Enfriador del fluido hidráulico del fluido dañado o desgastado.	Sustituir enfriador del fluido hidráulico.
	Válvula del colector de presión dañada o desgastada.	Sustituir válvula del colector de presión.
	Válvula del colector de retorno dañada o desgastada.	Sustituir válvula del colector de retorno.



	Válvula de descarga dañada o desgastada.	Sustituir válvula de descarga.
	Respiradero de aire dañado o desgastado.	Sustituir respiradero de aire.
	Válvula de succión dañada o desgastada	Sustituir válvula de succión.
	Válvula de retorno dañada o desgastada	Sustituir válvula de retorno.
	Bomba hidráulica dañada o desgastada	Sustituir bomba hidráulica.
	Válvula de la bomba hidráulica dañada o desgastada	Sustituir válvula de la bomba hidráulica.
	Silenciador dañado o desgastado.	Sustituir silenciador.
	Filtro de presión dañado o desgastado.	Sustituir filtro de presión.
	Filtro de retorno dañado o desgastado.	Sustituir filtro de retorno.
	Dispositivos antivibratorios dañados o desgastados.	Sustituir dispositivos antivibratorios.
	Acoplamiento elástico dañado o desgastado.	Sustituir acoplamiento elástico.

Tabla 43. Mantenimiento correctivo. Planta Hidráulica Unidad.

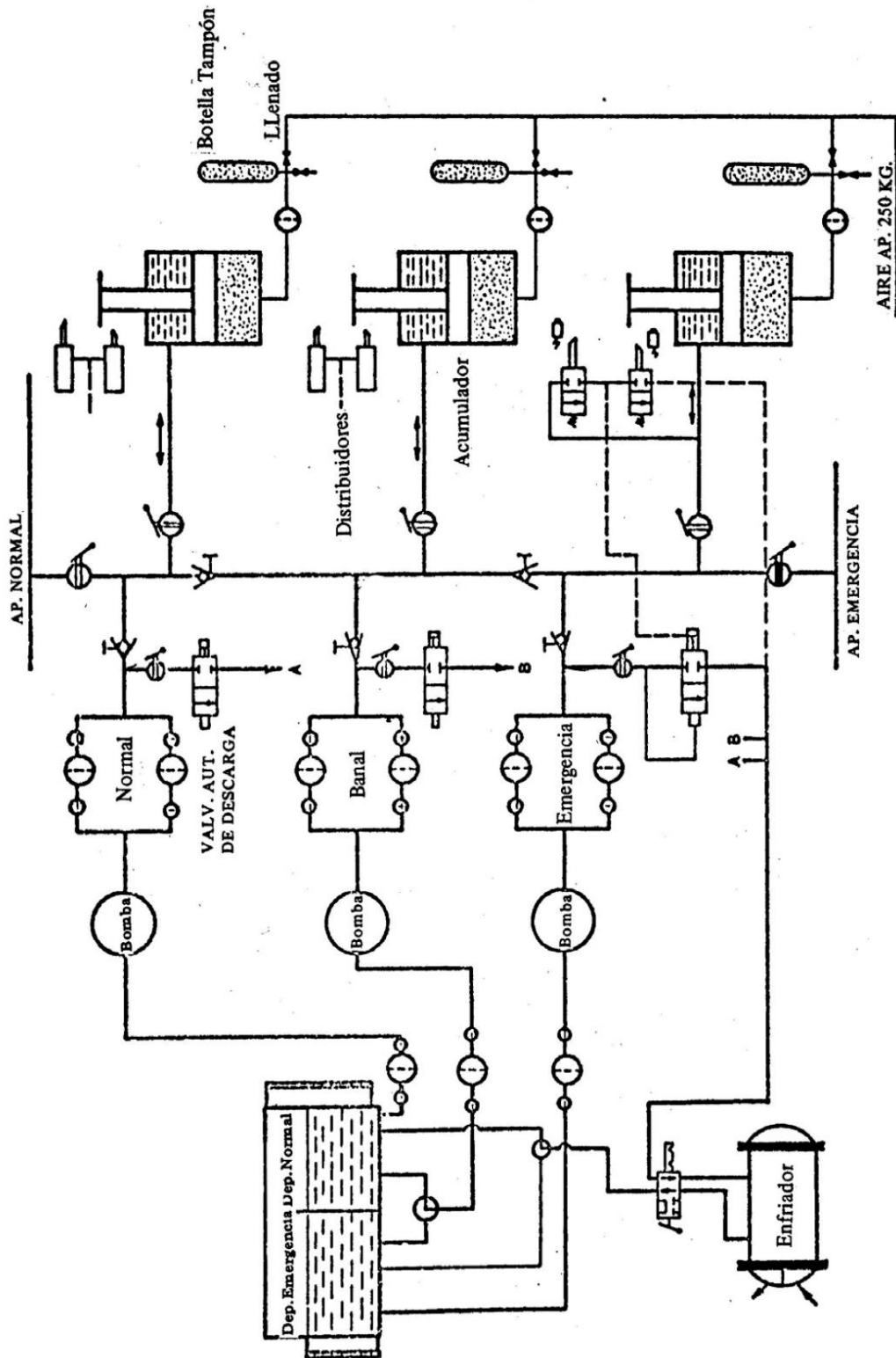


Figura 45. Planta Hidráulica Unidad.

10.7. CUADROS ELÉCTRICOS.

10.7.1. ARMARIOS CONVERTIDORES.

Descrito en *Apartado 10.1.11.*

10.8. LOCALES FRIGORÍFICOS.

Dentro del Sistema de Locales Frigoríficos encontramos los siguientes equipos descritos en la Lista de Fuentes Sonoras Principales:

- Conjuntos Evaporadores.
- Ventiladores de frigo-viveres.

10.8.1. CONJUNTOS EVAPORADORES.

10.8.1.1. Mantenimiento Preventivo.

Periodicidad	Elemento	Descripción del Mantenimiento
Mensual	Evaporadores	Inspeccionar conjunto de evaporadores para comprobar si la temperatura de la cámara es correcta.
Semestral	Conexiones eléctricas	Revisar y apretar todas las conexiones eléctricas.
Semestral	Cableado y aislamientos	Revisar todo el cableado y aislamientos.
Semestral	Contactores	Revisar el correcto funcionamiento de los contactores y el desgaste de los puntos de contacto.

Semestral	Ventiladores	Revisar todos los motores de los ventiladores.
Anual	Aceite y refrigerante	Revisar el nivel de aceite y refrigerante en el sistema.
Anual	Controles de deshielo	Revisar que todos los controles de deshielo estén funcionando correctamente.
Anual	Tubería	Comprobar la resistencia de la tubería para una operación adecuada.
Anual	Tuberías de retorno	Sustituir tuberías de retorno.

Tabla 44. Mantenimiento preventivo. Conjunto evaporador.

10.8.1.2. Mantenimiento Correctivo.

Avería	Causa probable	Intervención
Vibraciones y Ruido.	Motor dañado o defectuoso.	Sustituir el motor eléctrico.
	Sobrecalentamiento demasiado alto.	Ajustar la válvula de expansión termostática.
	Sistema bajo de refrigerante.	Añadir refrigerante.
	Infiltración de aire en grado extremo.	Sellar todos los posibles puntos donde el aire se infiltra.
	Enfriador del fluido hidráulico del fluido dañado o desgastado.	Sustituir enfriador del fluido hidráulico.
	La temperatura del serpentín no alcanza una temperatura superior al punto de congelación durante el deshielo.	Revisar y sustituir la resistencia.
	Resistencia dañada o defectuosa.	Sustituir la resistencia.

	Inclinación inadecuada de la unidad.	Ajustar unidad.
	Línea de drenaje tapada.	Limpiar línea de drenaje.
	Resistencia de la línea de drenaje defectuosa.	Sustituir la resistencia.

Tabla 45. Mantenimiento correctivo. Conjunto evaporador.

10.8.2. VENTILADORES FRIGO-VÍVERES.

Descrito en *Apartado 10.3.4.*

10.9. ESTRUCTURA DEL CASCO NO RESISTENTE DE POPA.

Dentro de la Estructura del Casco No Resistente de Popa encontramos los siguientes elementos descritos en la Lista de Fuentes Sonoras Principales:

- Hélice.
- Línea de Ejes.

10.9.1. HÉLICE.

La hélice está diseñada 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 submarino por medio de la chumacera de empuje, necesaria para la transmisión del esfuerzo en adelante o atrás.

A continuación se describen las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo necesarias para reducir el ruido estructural y aéreo.

10.9.1.1. Mantenimiento Preventivo.

Periodicidad	Elemento	Descripción del Mantenimiento
Semestral	Dispositivos de bloqueo y pernos.	Inspeccionar dispositivos y pernos integrados en el bloqueo.
Semestral	Aspas.	Comprobar la integridad de las aspas.
Semestral	Tapa de la hélice	Comprobar la integridad de la tapa de la hélice.
Semestral	Hélice	Limpiar la superficie de la hélice.
Cada gran carena	Hélice	Revisar equilibrado de la hélice, corregir si es necesario.



Tabla 46. Mantenimiento preventivo. Hélice.

10.9.1.2. Mantenimiento Correctivo.

En un submarino es esencial que la hélice se encuentre equilibrada para una navegación idónea, si no se encuentra dentro de ciertas tolerancias mínimas se producirán una serie de efectos negativos, como puede ser la aparición de vibraciones y ruido.

Por todo ello observamos que es muy importante mantener un control continuado sobre el estado de la hélice como mantenimiento y actuar de inmediato después de producirse un hecho capaz de provocar desequilibrio en ésta, como puede ser el impacto con algún cuerpo extraño durante la navegación, la erosión de la pala debida a la aparición de cavitación, etc.

Los pasos a seguir para equilibrar correctamente una hélice marina son los siguientes:

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

- 1) Equilibrado dimensional: El primer paso es equilibrar la hélice dimensionalmente, consiste en asegurarse de que todas las aspas son del mismo tamaño. Esto favorecerá que la carga en el motor sea constante, con lo que evitamos la aparición de vibraciones.
- 2) Afilado de las aspas: Para mejorar la circulación del agua y disminuir las pérdidas de energía por rozamiento.
- 3) Equilibrado de masas: Equilibrar es el último paso en la reparación física antes de aplicar el acabado superficial. Es el más complicado y el que más afecta al rendimiento de la hélice.
- 4) Acabado superficial: Se aplica un pulido a la superficie de la hélice para dejar una superficie lisa y cortar mejor el agua. Con esto reducimos las pérdidas de energía por rozamiento.

Existen cuatro tipos básicos de desequilibrio, que son el desequilibrio estático, cinético, dinámico y en carga.

El desequilibrio estático se comprueba por gravedad. Si la hélice se coloca entre los centros en los rodillos de fricción la parte más pesada irá a la parte más baja de inmediato. Esto se corrige mediante la adición o eliminación de peso de la hélice.

El desequilibrio dinámico está causado por dos fuerzas en dos planos separados. Si se colocan los pesos a 180 grados uno del otro la hélice estará equilibrada tanto estática como cinéticamente. Sin embargo, al girar la hélice a una velocidad apreciable cada peso causaría su propia fuerza centrífuga en planos separados. Esto causaría un movimiento de balanceo.

Los buques submarinos, debido a que operan con mayor precisión mediante hélices de clase 1 o de clase S ISO 484/2, además de estática y cinéticamente, deben ser equilibrados dinámicamente mediante el método ISO 1940 con tolerancia de equilibrado G2.5.



Avería	Causa probable	Intervención
Vibraciones y Ruido.	Pernos y dispositivos de bloqueo sueltos.	Apretar con par adecuado los pernos y dispositivos de bloqueo.
	Pala con restos de sedimentos marinos y contaminantes.	Limpiar pala con limpiador hidráulico.
	Tapa de la hélice dañada o desgastada.	Sustituir tapa de la hélice.
	Superficie de la hélice con restos marinos y contaminantes.	Limpiar superficie de la hélice con limpiador hidráulico.
	Desequilibrio en la hélice.	Equilibrar hélice.
	Hélice dañada o desgastada	Sustituir hélice.

Tabla 47. Mantenimiento correctivo. Hélice.

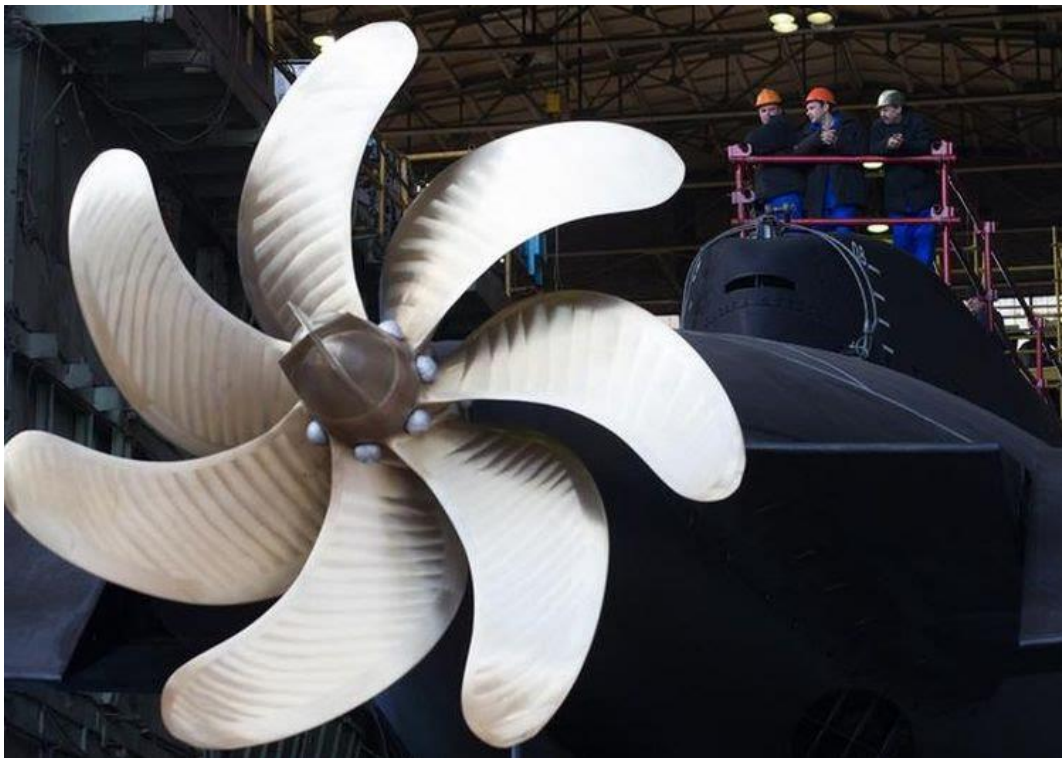


Figura 46. Hélice.

10.9.2. LÍNEA DE EJES.

La línea de ejes es el enlace entre la hélice y el motor principal, y debe ser operable en todas las condiciones de trabajo sin que falle. El movimiento de rotación del motor de propulsión se transmite a la línea de ejes mediante el acoplamiento elástico, que reduce la transmisión de vibraciones. Este acoplamiento absorbe tanto los desplazamientos del motor principal, generados por su desacoplamiento, como los de la línea de ejes, debidos al empuje y a las deformaciones de la estructura en popa. 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.

A continuación se describen las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo necesarias para reducir el ruido estructural y aéreo.

10.9.2.1. Mantenimiento Preventivo.

Periodicidad	Elemento	Descripción del Mantenimiento
650 horas	Chumacera de empuje.	Engrasar chumacera de empuje.
Semanal	Bocina.	Inspección de la bocina.
Mensual	Chumacera de empuje.	Inspección de la chumacera de empuje.
Anual	Bocina.	Engrasar la bocina.
Anual	Acoplamiento elástico.	Inspección del acoplamiento elástico.
Cada 2 años	Ánodo de sacrificio.	Sustituir el ánodo de sacrificio.
Cada 4 años	Acoplamiento elástico.	Sustituir el acoplamiento elásticos
Cada 4 años	Cojinetes.	Sustituir cojinetes.

Cada 4 años	Eje.	Desmontaje e inspección mediante líquidos penetrantes.
Cada 4 años	Prensaestopas línea de ejes.	Inspeccionar indicador de desgaste y parámetros de parada neumática.

Tabla 48. Mantenimiento preventivo. Línea de ejes.

10.9.2.2. Mantenimiento Correctivo.

Antes de describir las tareas de mantenimiento correctivo de la línea de ejes, hay que hacer especial hincapié en su correcta alineación, ya que conforme aumenta la capacidad de carga del submarino y, por tanto, también lo hace la potencia instalada, la alineación del eje es más sensible a distorsiones que afectan a la posición vertical de los cojinetes.

Estas distorsiones son principalmente, la deformación del casco y las variaciones de temperatura, conllevando a un aumento considerable del ruido y las vibraciones. Por lo que es muy importante una correcta alineación de la línea de ejes para la vida útil y resistencia de las partes constituyentes de éstas y la de los acoplamientos, como también una reducción en los costes de mantenimiento.

Se entiende por alineamiento de una línea de ejes, el posicionar a estos de modo que tengan el mismo eje geométrico, es decir, lograr su coaxialidad.

El hecho de que dos juegos de ejes estén desalineados, implica la pérdida de la coaxialidad citada, y esto se puede manifestar de las siguientes formas:

- Desalineación Axial: Corresponden a este tipo aquellos ejes cuyas caras están paralelas, pero sus centros teóricos de rotación no se intersectan.
- Desalineación Angular: Corresponden a este tipo aquellos ejes cuyas caras presentan un ángulo entre sí, pero, sus centros teóricos de rotación se intersectan.

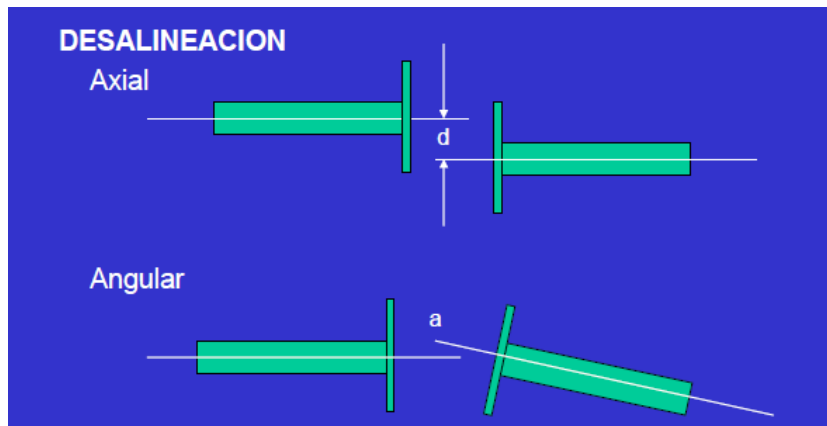




Figura 47. Tipos de desalineación.

Las consecuencias de la desalineación se manifiestan de las siguientes formas:

- Desgastes en los acoplamientos flexibles y rígidos.
- Sobrecargas en los cojinetes, (radiales como de impulso)
- Gran fricción y desgaste en los sellos.
- Desgaste de los ejes que a veces pueden ocasionar grietas y roturas.
- Desgaste en los descansos.
- Generación de calor por los roces eventuales.
- Vibraciones y ruidos no deseados.
- Mayor consumo de combustible.

Teniendo en cuenta las formas en las que se manifiesta la desalineación, a la hora de realizar el mantenimiento correctivo, podemos establecer unos puntos de inspección donde abordemos la acción correctiva, que son los siguientes:

- Alineación (ejes montados / desmontados)
- Huelgos en eje de cola / bocina.
- Caída del eje de cola.
- Huelgos en chumaceras y arbotantes.
- Desgastes en cojinetes y luchaderos.

	TRABAJO FIN DE GRADO GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS MANTENIMIENTO DE LA DISCRECIÓN ACÚSTICA DE UN SUBMARINO	
---	--	---

- Flexión de los ejes.
- Huelgos en cojinetes de apoyo / empuje de motores.
- Huelgos en cojinetes reductores.
- Flexiones del cigüeñal.
- Daños y deformaciones en acoplamientos elásticos.

El procedimiento de alineación más utilizado en la industria naval, acorde con el avance tecnológico, y por tanto en el mantenimiento de submarinos, es el método de alineación con láser, que consiste en un emisor de rayos láser montado en un eje o acoplamiento, que describe un círculo al ser girado. El centro de este círculo es siempre el eje de rotación de los rodamientos de la maquinaria.

En estos sistemas se utilizan dos emisores de rayos láser y dos detectores, combinados en dos unidades (“x” e “y”). Las dos unidades se montan una frente a la otra en los ejes, o acoplamientos coincidentes. Comparando las lecturas, obtenemos una respuesta directa sobre cómo están posicionados los ejes respecto uno del otro.

Se emite un rayo láser desde la máquina estacionaria “y”, que muestra el sentido de rotación de este acoplamiento, mientras el detector “x” mide la concetricidad entre los dos acoplamientos. El detector “y” se coloca en la maquinaria estacionaria midiéndose el rayo láser que se emite desde la unidad “x” en la máquina al ser movida.

Comparando las dos lecturas se puede determinar el error angular (paralelismo) entre los ejes de rotación.

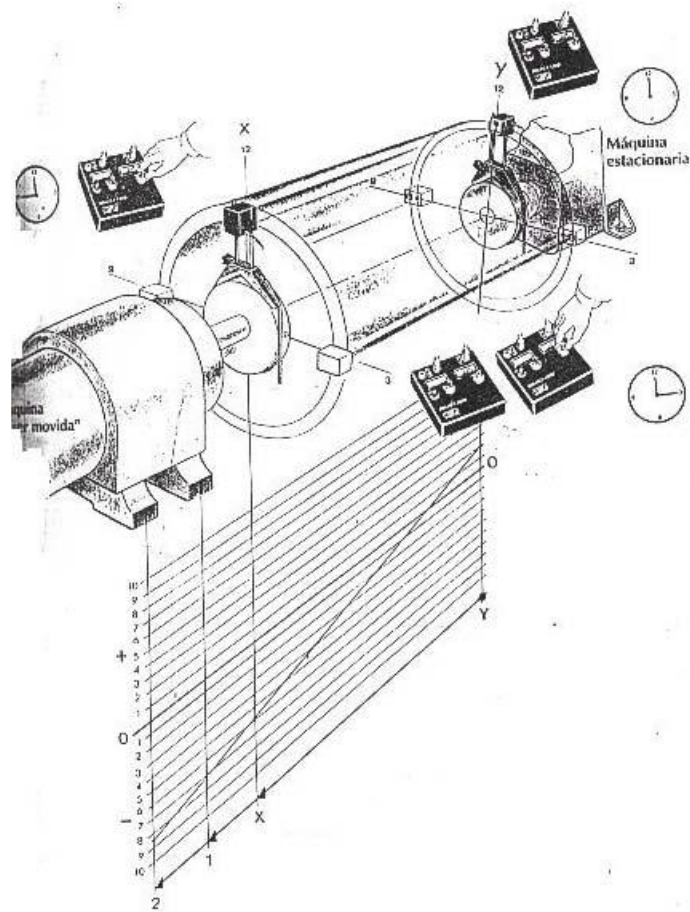


Figura 48. Método de alineación con láser.

Avería	Causa probable	Intervención
Vibraciones y Ruido.	Fuga entre el anillo y el eje del prensaestopas.	Sustituir las juntas tóricas.
	Fuga entre la brida y tubo de popa.	Sustituir las juntas tóricas de la parada neumática.
	Fuga entre carcasa y adaptador, brida y carcasa, o en parada neumática.	Sustituir el sello del tubo de popa a bordo.
	Bomba de lubricación defectuosa o mal regulada.	Reparar o sustituir la bomba. Ajustar la salida de la bomba.
	Bloqueo de la línea de lubricación.	Localizar y eliminar la obstrucción.

	Filtro bloqueado o incorrecto.	Limpiar o cambiar filtro.
	Temperatura del agua de refrigeración demasiado alta.	Reducir la temperatura del refrigerante por debajo de 40°C.
	Inclinación inadecuada de la unidad.	Ajustar unidad.
	Acoplamiento elástico dañado o desgastado.	Sustituir el acoplamiento elástico.
	Mal equilibrado del eje.	Corregir y alinear el eje.

Tabla 49. Mantenimiento correctivo. Línea de ejes.

10.10. VELA.

Dentro de la Estructura de la Vela del submarino, encontramos los siguientes elementos descritos en la Lista de Fuentes Sonoras Principales:

- Difusores de Gases de Escape.
- Mástil de Inducción.

10.10.1. DIFUSORES DE GASES DE ESCAPE.

Los difusores de gases de escape tienen dos funciones principales, la de conducir el vórtice generado por los gases a su salida del difusor, de forma que evite el ascenso rápido del flujo de gases hacia la superficie, y la de minimizar, dentro de lo posible, el nivel de ruido radiado al agua por la salida de los gases.

Para la minimización del ruido radiado al agua actúa absorbiendo energía acústica en la frecuencia de 120 Hz en tres resonadores de Helmholtz instalados en su cúpula, y mediante el empleo de un material fonoabsorbente a base de poliuretano de baja impedancia en el interior de las cavidades existentes en la parte inferior del plano de la placa, donde van a hacer contacto las burbujas de gas.

A continuación se describen las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo necesarias para reducir el ruido estructural y aéreo.

10.10.1.1. Mantenimiento Preventivo.

Periodicidad	Elemento	Descripción del Mantenimiento
Anual	Difusores gases de escape.	Lavado con agua a presión de las piezas e inspección visual.
18 meses	Placa vórtice.	Inspección de la Placa Vórtice al interior del Difusor Estático.
18 meses	Placa vórtice.	Mantenimiento periódico de la Placa Vórtice.
18 meses	Placa de cierre de los resonadores.	Desmontaje y saneado de la placa de cierre de los resonadores.
18 meses	Placas perforadoras.	Desmontaje y saneado de las Placas Perforadas.
18 meses	Ánodos de sacrificio.	Sustituir los ánodos de sacrificio.

Tabla 50. Mantenimiento preventivo. Difusores gases de escape.

10.10.1.2. Mantenimiento Correctivo.

Avería	Causa probable	Intervención
Vibraciones y Ruido.	Tornillos sueltos.	Revisar y apretar tornillos, arandelas, tuercas y funcionamiento.
	Juntas y frisas comprimidas.	Sustituir las juntas y frisas.
	Deformación de tornillos por sufrir fuerzas demasiadas fuertes.	Sustituir tornillos.
	Alteración en el funcionamiento del Resonador Helmholtz.	Revisar placa de cierre de los resonadores y los resonadores, y corregir alteración.
	Los agujeros resonadores Helmholtz han alterado de geometría o tamaño por incrustaciones y/o contaminaciones.	Sanear agujeros en la placa de cierre de los resonadores.
	Componentes sueltos	Revisar todos los componentes y fijarlos de manera correcta.

Tabla 51. Mantenimiento correctivo. Difusores gases de escape.

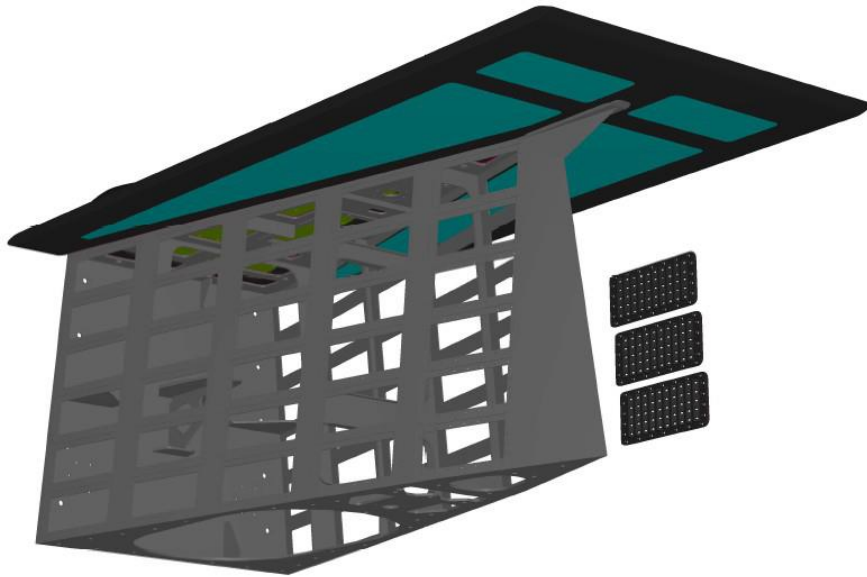


Figura 49. Difusores de gases de escape.

10.10.2. MÁSTIL DE INDUCCIÓN “SNORKEL”.

Cuando el submarino se encuentra en superficie o en cota snorkel, el mástil de inducción se utilizan para:

- La alimentación de aire a los motores Diésel.
- Renovar la atmósfera interior del submarino.
- Alimentar los compresores de aire.
- Evacuar el aire viciado.
- Evitar las entradas de agua, peligrosas para el submarino, a través de los conductos de alimentación de aire fresco.
- Permitir una incomunicación rápida de estos conductos que interrumpa inmediatamente una entrada de agua.

A continuación se describen las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo necesarias para reducir el ruido estructural y aéreo.

10.10.2.1. Mantenimiento Preventivo.

Periodicidad	Elemento	Descripción del Mantenimiento
Anual	Válvula de cabeza.	Inspeccionar recorrido de la válvula de cabeza.
Anual	Conductos de aire fresco y tanque de purgas	Revisar conductos de aire fresco y comprobar el correcto funcionamiento del tanque de purgas.
Anual	Casquillos.	Limpieza del filtro del dosificador de engrase de los casquillos del mástil.
Anual	Mástil interior izable	Revisar el correcto funcionamiento del mástil interior. Inspeccionar valvulón.
Cada 2 años	Casquillos.	Control del caudal de grasa de los casquillos del mástil.
Cada 2 años	Obturador	Sustituir obturador del mástil interior izable.
Cada gran carena	Poceto del mástil de inducción.	Revisar poceto del mástil de inducción, y corregir deformidades si es necesario.
Cada gran carena	Válvula de cabeza.	Desmontaje y limpieza de válvula de cabeza.
Cada gran carena	Cúpula de inducción de superficie	Inspeccionar estanqueidad de la cúpula de inducción.
Cada gran carena	Tubo exterior	Limpiar tubo exterior de partículas y sedimentos contaminantes. Comprobar estanqueidad y resistencia.

Tabla 52. Mantenimiento preventivo. Mástil de inducción “Snorkel”.

10.10.2.2. Mantenimiento Correctivo.

Avería	Causa probable	Intervención
Vibraciones y Ruido.	Obturador del mástil interior izable dañado o desgastado.	Sustituir obturador del mástil interior izable.
	Fallo en la estanqueidad del tubo exterior.	Sanear agujeros o posibles defectos del tubo exterior.
	Deformación de los tornillos del mástil por sufrir fuerzas demasiadas fuertes.	Sustituir tornillos.
	Válvula de cabeza dañada o desgastada.	Sustituir válvula de cabeza.
	Valvulón dañado o desgastado.	Sustituir valvulón.
	Bastidor de la parte fija del mástil dañado o desgastado.	Sustituir bastidor.
	Fugas en los conductos de aire fresco y tanque de purgas.	Sellar conductos de aire y tanque de purgas.
	Chorro continuo de agua en las purgas del poceto del mástil de inducción.	Sanear y sellar poceto.
	Cúpula de inducción dañada o desgastada.	Reparar y sellar cúpula de inducción.
	Componentes sueltos	Revisar todos los componentes y fijarlos de manera correcta.

Tabla 53. Mantenimiento correctivo. Mástil de inducción “Snorkel”.

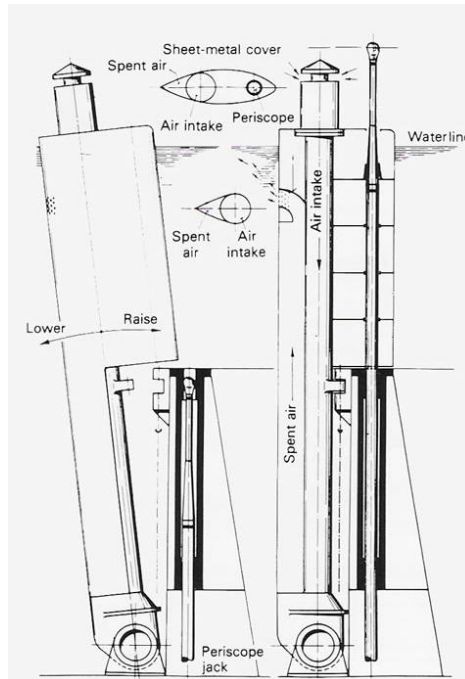


Figura 50. Mástil de inducción "Snorkel".

11. CONCLUSIONES.

La incorporación de los procedimientos propuestos de mantenimiento preventivo y correctivo ofrecen los suficientes elementos para identificar las principales fuentes de indiscreción de un submarino convencional con propulsión diésel-eléctrica, y mitigar el ruido estructural y aéreo que tan importante es para este tipo de embarcaciones.

Los trabajos de mantenimiento bien realizados reducen en gran número las averías en equipos, lo cual es directamente proporcional a un buen funcionamiento de los mismos, reduciendo el ruido y las vibraciones que tan importantes son en este tipo de embarcaciones, ya que su principal característica es el sigilo.

Se debe garantizar que los equipos principales y auxiliares se encuentren en condiciones óptimas de funcionamiento. Equipos desequilibrados o desalineados introducen vibraciones adicionales que se pueden transformar en ruido radiado a mar.

De todos los equipos que un submarino convencional lleva a bordo, los más críticos son la hélice, y los auxiliares generadores.

No hay que restar importancia a los ruidos generados por las fuentes hidrodinámica (casco, vela, formas de popa, etc.).

Igual de importante es el aislamiento de ruido y vibración que llevan a cabo los dispositivos antivibratorios y sonoros, los cuales tienen que llevar un seguimiento en cuanto al mantenimiento se refiere, debido a que se pierde rigidez con el tiempo debido a un efecto de degradación.

Como conclusión final, la discreción acústica de un submarino debe ser considerada en las tareas de mantenimiento, ya que tiene gran importancia debido a que la principal característica de este tipo de buques es el sigilo.

12. BIBLIOGRAFÍA.

Construcción de Submarinos. Autor: Ulrich Gabler. Editorial San Martín.

Concepts in Submarine Design. Autor: Roy Burcher & Louis Rydill. Cambridge University. 1994.

Detectabilidad de Buques de Combate. F. Vilchez y H. Sierra. EXPONAVAL 98. Ingeniería Naval.

Teoría de Acústica Submarina. Autor: Domingo Javier Pardo Quiles.

Mechanics of Underwater Noise. Autor: Donald Ross. 1987, Península Publishing.

Resolución MSC.337(91), 30 de Noviembre de 2012, Código sobre niveles de ruido a bordo de los buques.

Code on Noise Levels Onboard Ships. Resolución A.468 (XII) de la IMO.

DNVGL RULES FOR CLASIFICACION. Part 4 Sub-surface. Chapter 1 Submarines.

Reduction of the sound power radiated by a submarine using passive and active vibration control. Autores: Sascha Merz, Nicole Kessissoglou, Roger Kinns, Steffen Marburg.

Technologies for the Management of the Acoustic Signature of a Submarine. Autor: Carl Howard.

UNE-EN ISO 10846-1 Acústica y Vibraciones.

UNE-EN 13306:2018 Mantenimiento. Terminología del mantenimiento.

ISO 1.940/1 Balance Quality of Rotating Rigid Bodies.

ISO 484/2 Shipbuilding. Ship screw propellers.

Técnicas de mantenimiento industrial. Días Navarro, J. Editorial Calpe Institute of Technology. (2004).