

Grado en Marina

Trabajo de Fin de Grado

AISLAMIENTOS EN EL SECTOR NAVAL

Alumna:

Ainhize Gamarra

Director:

Aingeru Basterretxea

Curso 2017/2018

17 de julio de 2018

RESUMEN

Este trabajo de fin de grado tiene como objetivo el estudio del aislamiento, aplicándolo al sector naval, concretamente a un buque danés. Para ello se expondrán los conceptos básicos de transmisión de calor y sonido, además de tratar la propagación de incendios. Se analizarán los materiales aislantes más comunes en este tipo de instalaciones, explicando sus principales características y aplicación en un buque en general. Teniendo en cuenta estos datos, se expone un caso práctico de aislamiento del buque antes mencionado de acuerdo con la reglamentación existente.

Palabras clave:

Aislamiento, térmico, acústico, contraincendios, predicción de ruidos, buque

LABURPENA

Gradu amaierako lan honen helburua isolamendua aztertzea da, ontzigintza sektoreari egokitzuz, itsasontzi daniar bati hain zuzen ere. Horretarako bero eta soinu transmisio oinarrizko kontzeptuak azalduko dira, baita sute hedapena ere. Instalazio mota hauetan, gehien erabilitatzen diren isolamendu materialak aztertuko dira, ezaugarri garrantzitsuenak eta aplikazioa azaltzen. Datu hauek kontuan izanda, aipatutako itsasontziaren isolamendu kasu praktikoa bat araudiaren arabera azaltzen da.

Hitz gakoak:

Isolamendu, bero-isolamendu, soinu-isolamendu, suteaurkako-isolamendu, zarata iragarpen, itsasontzi

ABSTRACT

The main object of this final degree project is the insulation study, applying to naval sector, specifically to a Danish vessel. In order to study the insulation, heat and sound transmission basic concepts will be explained, also fire spreading. The most common insulation materials will be analysed, explaining their main characteristics and application. Keeping these data in mind, it is explained a practical case of ship insulation according to regulations.

Keywords:

Insulation, thermic, acoustic, fire fighting, noise prediction, vessel

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	4
3. METODOLOGÍA Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS	5
3.1. TRANSMISIÓN DE CALOR	5
3.1.1. FORMAS DE TRANSMISIÓN DE CALOR	6
3.1.1.1. TRANSMISIÓN POR CONDUCCIÓN	6
3.1.1.1.1. CONDUCCIÓN EN SUPERFICIES PLANAS.....	7
3.1.1.1.2. CONDUCCIÓN EN SUPERFICIES CURVAS	10
3.1.1.2. TRANSMISIÓN POR CONVECCIÓN.....	14
3.1.1.3. TRANSMISIÓN POR RADIACIÓN	17
3.1.1.3.1. ABSORCIÓN.....	22
3.1.1.3.2. REFLEXIÓN.....	23
3.1.1.3.3. TRANSPARENCIA	24
3.1.1.4. TRANSMISIÓN MIXTA.....	25
3.1.2. TEMPERATURA EN LAS TUBERÍAS	30
3.1.3. PÉRDIDAS	30
3.1.3.1. PÉRDIDAS SUPLEMENTARIAS POR ACCESORIOS.....	30
3.1.3.2. FUGAS DE VAPOR.....	31
3.1.3.2.1. EJEMPLO PRÁCTICO DE LAS PÉRDIDAS POR FUGAS DE VAPOR.....	32
3.1.4. EJEMPLO PRÁCTICO DEL AISLAMIENTO TÉRMICO	32
3.2. TRANSMISIÓN DEL SONIDO	34
3.2.1. FUNDAMENTOS DE LA ACÚSTICA.....	34
3.2.1.1. SONIDO	34
3.2.1.2. ONDAS SONORAS	34
3.2.1.3. IMPEDANCIA ACÚSTICA	38
3.2.1.4. INTENSIDAD ACÚSTICA	39
3.2.1.5. RUIDO: PRESIÓN Y POTENCIA SONORA.....	39
3.2.1.6. TIPOS DE RUIDO SEGÚN EL MEDIO DE TRANSMISIÓN	44
3.2.1.6.1. RUIDO AÉREO	45
3.2.1.6.2. RUIDO ESTRUCTURAL	45
3.2.2. PROPAGACIÓN DEL SONIDO	46
3.2.2.1. PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN ESPACIOS ABIERTOS.....	46
3.2.2.2. PROPAGACIÓN DEL SONIDO A TRAVÉS DE UN OBSTÁCULO (PARED).....	48
3.2.2.3. CÁLCULO DE LA PRESIÓN ACÚSTICA O SONORA.....	50
3.2.2.4. TIEMPO DE REVERBERACIÓN	52
3.2.3. EXPOSICIÓN A RUIDO: EFECTOS SOBRE LA SALUD	54
3.2.4. NORMATIVA ACÚSTICA EN BUQUES.....	55
3.3. PROPAGACIÓN INCENDIOS	62
3.3.1. TEORÍA DEL FUEGO	62
3.3.1.1. TETRAEDRO DE FUEGO	62
3.3.1.2. PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN Y EFECTOS SOBRE LA SALUD	64
3.3.1.2.1. LLAMAS:	64
3.3.1.2.2. CALOR.....	64
3.3.1.2.3. HUMO.....	65
3.3.1.2.4. GASES.....	65
3.3.1.3. CONCEPTOS Y DEFINICIONES.....	65
3.3.1.4. TIPOS DE FUEGO	67
3.3.1.4.1. NORMA ISO 3941. EUROPA Y AUSTRALIA.....	68

3.3.1.4.2. UNE 23.010.76. NORMATIVA ESPAÑOLA.....	69
3.3.2. NORMATIVA CONTRAINCENDIOS EN BUQUES.....	69
4. AISLAMIENTOS EN LA CONSTRUCCIÓN NAVAL.....	98
4.1. TIPOS DE AISLAMIENTO	98
4.1.1. LANA MINERAL.....	99
4.1.1.1. LANA DE ROCA.....	99
4.1.1.2. LANA DE VIDRIO	102
4.1.1.3. INSTALACIÓN DE LANA MINERAL.....	103
4.1.2. LÁMINA DE ALUMINIO	105
4.1.2.1. INSTALACIÓN DE LÁMINA DE ALUMINIO	106
4.1.3. LAMINADO ACÚSTICO	107
4.1.3.1. INSTALACIÓN DE LAMINADO ACÚSTICO	108
4.1.4. PLACAS DE ACERO.....	109
4.1.4.1. INSTALACIÓN DE PLACAS DE ACERO.....	109
4.1.5. PLACAS DE ACERO PERFORADO.....	110
4.1.5.1. INSTALACIÓN DE PLACAS DE ACERO PERFORADO.....	112
4.1.6. LÁMINA VISCOELÁSTICAS	113
4.1.6.1. INSTALACIÓN DE LÁMINAS VISCOELÁSTICAS.....	114
4.1.7. AEROGEL.....	115
4.1.8. FIBRA CERÁMICA.....	117
4.1.9. GAINA	117
4.1.10. POLIURETANO	118
4.1.11. POLIESTIRENO	119
4.1.12. COMBINACIÓN DE MATERIALES	120
4.2. INSTALACIÓN DE AISLAMIENTO SOBRE SUPERFICIES NO PLANAS	121
4.2.1. TUBERÍAS	121
4.2.1.1. COQUILLAS.....	121
4.2.1.1.1. CODOS.....	124
4.2.1.1.2. INJERTOS.....	125
4.2.1.1.3. UNIONES ENTRE COQUILLAS	125
4.2.1.2. MANTA ARMADA (WIRED MAT).....	127
4.2.1.3. PENETRACIONES	130
4.3. RECUBRIMIENTOS	131
4.4. SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES	131
5. ESTUDIO DE UN CASO PRÁCTICO.....	133
5.1. BUQUE “HAVYARD 931 CCV”	133
5.1.1. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL BUQUE	133
5.1.2. REQUISITOS ACÚSTICOS DEL BUQUE.....	135
5.1.3. FUENTES DE RUIDO	139
5.2. CÁLCULOS	142
5.3. RESULTADO DE LOS CÁLCULOS Y DISCUSIÓN	143
5.3.1. RESULTADOS DE NIVEL DE RUIDO EN CONDICIÓN DE TRÁNSITO NORMAL	147
5.3.2. RESULTADOS DE NIVEL DE RUIDO EN CONDICIÓN DE POSICIONAMIENTO DINÁMICO	150
5.3.3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE NIVEL DE RUIDO.....	153
5.3.4. RESULTADOS TRAS LAS MODIFICACIONES REALIZADAS	167
6. CONCLUSIONES	173

7. TRABAJOS FUTUROS.....	176
8. BIBLIOGRAFÍA	177
9. ANEXOS.....	179
9.1. ANEXO 1. ÁBACO DE WREDE	180
9.2. ANEXO 2. TABLAS DE PÉRDIDAS DE CALOR Y FUGAS DE VAPOR.....	181
9.2. ANEXO 2. DISPOSICIÓN GENERAL DEL BUQUE.....	183
9.3. ANEXO 3. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE LANA DE ROCA	184
9.3.1. SEAROX SL 436.....	184
9.3.2. SEAROX SL 620.....	185
9.3.3. SEAROX WM 620	188
9.3.4. SEAROX SL 720.....	193
9.4. ANEXO 4. CERTIFICADOS DE LA SOCIEDAD DE CLASIFICACIÓN	194
9.4.1. SL 436.....	194
9.4.2. SL 620.....	196
9.4.3. WM 620.....	199
9.4.4. SL 720.....	202
10. ÍNDICES.....	205
10.1. ÍNDICE DE TABLAS.....	205
10.2. ÍNDICE DE IMÁGENES.....	207
10.3. ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	209
10.4. ÍNDICE DE ECUACIONES	209
10.4.1. TÉRMINOS EMPLEADOS EN LAS ECUACIONES Y SUS ACEPCIONES.....	211
11. ANGLICISMOS.....	214

1. INTRODUCCIÓN

El ser humano siempre ha sentido la necesidad de adecuar los espacios que habita, creando espacios artificiales para poder protegerse de las inclemencias del clima, los posibles peligros y los agentes externos, como el ruido o el fuego. Por este motivo, el aislamiento es fundamental.

La normativa que regula el aislamiento de un buque ha evolucionado a través de los años, exigiéndose requisitos mínimos cada vez más restrictivos para asegurar la seguridad tanto de la tripulación y como del pasaje a bordo del buque.

En este trabajo se estudiarán los conceptos básicos para la comprensión del aislamiento térmico, acústico y contraincendios. Para ello se expondrá la teoría básica de la transmisión de calor y el sonido, profundizando en los aspectos más relevantes de cara al aislamiento. Respecto al aislamiento contraincendios, se expondrá la normativa referente a los buques, la cual determina el tipo de aislamiento dependiendo de las características o finalidad del espacio en el que se instalará. Estos conceptos teóricos se aplicarán a un buque real, concretamente al “HAVYARD 931 CCV“ (véase el apartado 5. *ESTUDIO DE UN CASO PRÁCTICO*).

El aislamiento térmico es necesario para reducir las transferencias de calor de los equipos, mejorando así el rendimiento térmico y eficiencia de los equipos y procesos, al lograr la estabilidad térmica. De este modo, se reduce la cantidad de energía que se necesita para poder mantener el equilibrio del proceso, disminuyéndose el flujo de calor a través del material. Al minimizar las pérdidas de calor, conseguimos así ahorrar energía, lo que a su vez implica un ahorro económico.

Este ahorro de consumo de productos energéticos permite que la industria sea más limpia, disminuyendo la expulsión de contaminantes a la atmósfera, como el CO₂, puesto que una gran parte de la energía utilizada en los procesos térmicos procede de la reacción exotérmica resultante por la transformación del combustible.

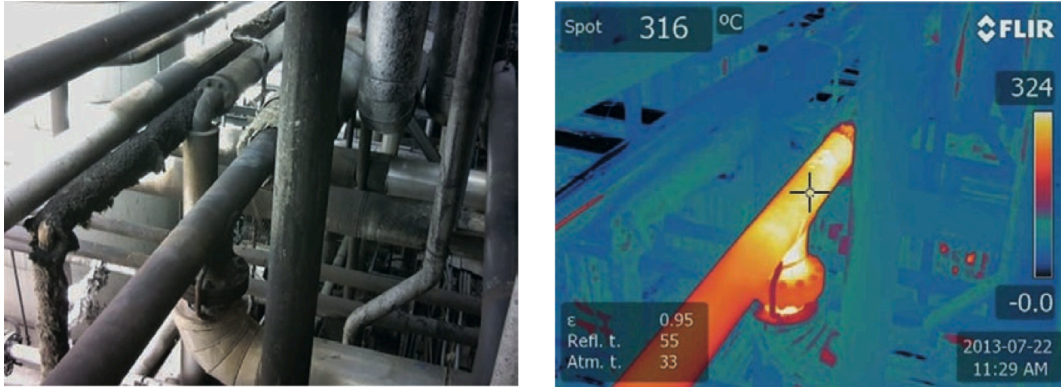


Imagen 1. Estudio termográfico de tubería no aislada.

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. (2016). *Guía de buenas prácticas en el aislamiento industrial*. Madrid: Comunidad de Madrid.

Por otro lado, la exposición de forma prolongada a niveles de ruido excesivo tiene graves consecuencias sobre la salud de los trabajadores. Por este motivo, es necesario aislar acústicamente las instalaciones que producen un nivel sonoro elevado, disminuyendo en gran medida la transmisión del sonido desde el foco hasta los espacios contiguos. Además, ligado a los ruidos se encuentran las vibraciones, también dañinas tanto para la maquinaria, como para los trabajadores.

Por último debemos considerar el aislamiento contraincendios, el cual resulta de gran importancia, puesto que evita la propagación de un incendio, a fin de apagarlo o como mínimo poder contenerlo el mayor tiempo posible. Gracias a esto, aumenta el tiempo del que se dispone para poder reaccionar y actuar sobre el incendio a fin de extinguirlo. En consecuencia, favorece la protección de la integridad estructural del buque.

Respecto a la seguridad personal, el aislamiento térmico evita accidentes y lesiones por quemaduras debidas al contacto con superficies a temperaturas muy superiores a las ambientales. Por otro lado, el aislamiento acústico minimiza el nivel de ruido evitando el riesgo de pérdida de audición para los trabajadores sometidos a exceso de ruido, y otros problemas de salud derivados del mismo. Además, el aislamiento contraincendios retrasa e incluso evita la propagación de incendios, lográndose así salvar vidas.

Por último, la instalación de aislamiento también protege la estructura a aislar frente a la corrosión, humedad, derrames de aceite..., por lo cual la vida útil de la instalación es mayor que sin aislamiento.

Los aspectos del aislamiento que se analizarán en este trabajo incluyen los tipos de materiales aislantes comúnmente empleados en el sector naval, profundizando en sus principales características y modo de instalación.

Sin embargo, en este trabajo no sólo se pretende abordar esta problemática de forma teórica, sino también mediante la realización de un ejemplo práctico del proceso de aislamiento del buque "HAVYARD 931 CCV".

2. OBJETIVOS

Estudio del aislamiento centrándose en el sector naval, concretamente en un buque destinado al transporte de tripulación (“HAVYARD 931 CCV“) siendo necesario adquirir conocimientos básicos de la transmisión de calor y sonido, además de la instalación del aislamiento contraincendios.

La finalidad del aislamiento es:

- Mantener la temperatura adecuada en los espacios
- Disminuir la contaminación acústica
- Evitar la propagación de incendios
- Mejorar la eficiencia energética del equipo y proceso
- Prevenir de riesgos ligados al exceso de temperatura, ruido o por la presencia de fuego

3. METODOLOGÍA Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En este apartado se procede al análisis de los conocimientos teóricos básicos de la transmisión de calor, sonido y propagación de incendios, se profundiza en aquellos aspectos más relevantes de cara al aislamiento. Respecto al aislamiento contra incendios, se expondrá la normativa referente a los buques, la cual determina el tipo de aislamiento dependiendo de las características o finalidad del espacio en el que se instalará.

3.1. TRANSMISIÓN DE CALOR

“El calor es la transferencia de energía a través de la frontera de un sistema debida a una diferencia de temperatura entre el sistema y sus alrededores. [...]La energía interna, en cambio, es toda la energía de un sistema que se asocia con sus componentes microscópicos, átomos y moléculas, cuando se ve desde un marco de referencia en reposo respecto del centro de masa del sistema”.

(Serway & Jewett, 2008)

En consecuencia, cuando dos sistemas no se encuentran en equilibrio, se produce una transferencia de energía entre ambos a fin de alcanzar esta situación de equilibrio. Este fenómeno es estudiado a través de las Leyes de la Termodinámica, que como recordamos son las siguientes:

La ley cero de la termodinámica establece que si dos cuerpos se encuentran en equilibrio térmico con un tercero, están en equilibrio térmico entre sí.

La primera ley de la termodinámica afirma que para todos los procesos adiabáticos entre dos estados especificados de un sistema cerrado, el trabajo neto realizado es el mismo sin importar la naturaleza del sistema cerrado ni los detalles del proceso.

La segunda ley de la termodinámica

Es imposible construir una máquina térmica que, funcionando en un ciclo, no produzca otro efecto que la entrada de energía por calor de un depósito y la realización de una cantidad igual de trabajo.

Kevin Planck

Es imposible construir una máquina cíclica cuyo único efecto sea transferir energía de manera continua mediante calor desde un objeto a otro a una mayor temperatura sin la entrada de energía por trabajo.

Clasius

La tercera ley de la termodinámica determina que la entropía de una sustancia pura cristalina con una temperatura absoluta de cero es cero

En lo que a al calor se refiere la transferencia de energía puede realizarse mediante conducción, convección o radiación, siendo expuestos estos procesos a continuación.

3.1.1. FORMAS DE TRANSMISIÓN DE CALOR

3.1.1.1. TRANSMISIÓN POR CONDUCCIÓN

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia a las adyacentes menos energéticas, como resultado de la interacción entre partículas. Esta forma de transmisión de calor se da tanto entre sólidos, como líquidos y gases, consistiendo en la transferencia de energía cinética entre las partículas microscópicas, es decir, entre moléculas, átomos y electrones libres.

La transferencia energética entre los sólidos es ocasionada por la vibración de sus partículas microscópicas, concretamente por las ondas vibratorias de la red inducidas mediante los movimientos vibratorios de las moléculas que se encuentran en una posición relativamente fija en una forma periódica llamada red cristalina y por la energía conducida por el flujo libre de los electrones.

La disposición de las moléculas es de gran relevancia en la conductividad de un material, teniendo los sólidos cristalinos altamente ordenados (como es el caso del diamante) un mayor coeficiente de conductibilidad que los metales puros.

En lo que a los líquidos y sólidos se refiere, sucede como consecuencia de los choques ocasionados durante el movimiento aleatorio.

Con el objetivo de determinar la tasa de conducción de calor se emplea la ley de Fourier:

$$dQ = -\lambda \cdot dS \cdot \frac{dt}{dx} \quad [W] \quad [1]$$

Siendo:

$\lambda \rightarrow$ Coeficiente de conductibilidad $\left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right]$

$S \rightarrow$ Superficie de la pared considerada $[m^2]$

$dt \rightarrow$ Diferencia de temperatura entre las capas $[^\circ C]$

$x \rightarrow$ Espesor de la pared considerada $[m]$

Tal como se observa en la ecuación de Fourier [1] el gradiente de temperatura se torna negativo cuando la temperatura disminuye y el espesor aumenta, por este motivo se utiliza el signo negativo al comienzo de la ecuación, a fin de obtener un resultado positivo de transferencia de calor.

3.1.1.1.1. CONDUCCIÓN EN SUPERFICIES PLANAS

La ecuación de Fourier [1] es empleada para obtener la tasa de calor cuando se trata de una conducción simple en superficies o paredes planas. La conducción simple se define como la transferencia de calor transmitida a través de un único material, es decir, solamente una capa.

En consecuencia, para conocer el calor transmitido mediante la conducción en una pared plana compuesta de un único material realizaremos el siguiente cálculo.

$$Q = \lambda_1 \cdot S \cdot \frac{t_1 - t_2}{x_{12}} \quad [W]$$

Siendo:

$\lambda \rightarrow$ Coeficiente de conductibilidad $\left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right]$

$S \rightarrow$ Superficie de la pared considerada $[m^2]$

$t_1 \rightarrow$ Temperatura en la zona más cercana al foco de calor $[^\circ C]$

$t_2 \rightarrow$ Temperatura en la zona más lejana al foco de calor $[^\circ C]$

$x_{12} \rightarrow$ Espesor de la pared considerada $[m]$

Sin embargo, si la transferencia de calor atravesase diferentes materiales, deberemos tener en cuenta los coeficientes de conductibilidad de cada uno de los materiales y sus respectivos espesores. Por este motivo, para obtener el flujo calorífico o tasa de conducción, partiremos de la ecuación de Fourier con los datos respectivos a cada capa.

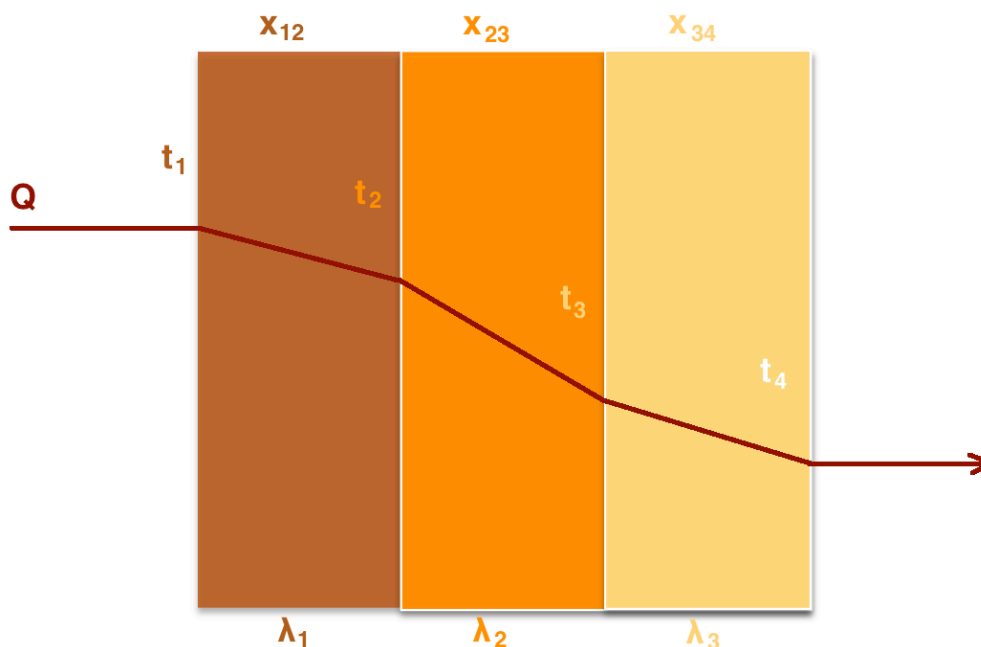


Imagen 2. Transmisión de calor mediante la conducción a través de varias capas en paredes planas.

Capa 1

$$Q_1 = \lambda_1 \cdot S \cdot \frac{t_1 - t_2}{x_{12}} \quad [W]$$

Capa 2

$$Q_2 = \lambda_2 \cdot S \cdot \frac{t_2 - t_3}{x_{23}} \quad [W]$$

Capa 3

$$Q_3 = \lambda_3 \cdot S \cdot \frac{t_3 - t_4}{x_{34}} \quad [W]$$

Capa n

$$Q_n = \lambda \cdot S \cdot \frac{t_n - t_{n-1}}{x_{n \ n-1}} \quad [W]$$

Si despejamos la temperatura en cada una de las capas:

$$t_1 - t_2 = \frac{Q_1}{S} \cdot \frac{x_{12}}{\lambda_1} \quad [W]$$

$$t_2 - t_3 = \frac{Q_2}{S} \cdot \frac{x_{23}}{\lambda_2} \quad [W]$$

$$t_3 - t_4 = \frac{Q_3}{S} \cdot \frac{x_{34}}{\lambda_3} \quad [W]$$

$$t_n - t_{n-1} = \frac{Q_n}{S} \cdot \frac{x_{n \ n-1}}{\lambda_n} \quad [W]$$

En consecuencia:

$$t_1 - t_n = \frac{Q}{S} \cdot \left(\frac{x_{12}}{\lambda_1} + \frac{x_{23}}{\lambda_2} + \frac{x_{34}}{\lambda_3} + \dots + \frac{x_n}{\lambda_n} \right)$$

$$Q = \frac{t_1 - t_n}{\left(\frac{x_{12}}{\lambda_1} + \frac{x_{23}}{\lambda_2} + \frac{x_{34}}{\lambda_3} + \dots + \frac{x_n}{\lambda_n} \right)} \cdot S \quad [W] \quad [2]$$

Siendo:

$t_1 \rightarrow$ Temperatura en la zona más cercana al foco de calor [$^{\circ}\text{C}$]

$t_n \rightarrow$ Temperatura en la zona más lejana al foco de calor [$^{\circ}\text{C}$]

$x \rightarrow$ Espesor de la pared considerada [m]

$\lambda \rightarrow$ Coeficiente de conductibilidad [$\frac{W}{m \cdot ^{\circ}\text{C}}$]

$S \rightarrow$ Superficie de la pared considerada [m^2]

Conocido el coeficiente de conductibilidad y la transferencia de calor de un material determinado, podemos definir su resistencia térmica.

Emplearemos esta ecuación si es una conducción simple:

$$R = \frac{x}{\lambda} \quad \left[\frac{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}{W} \right] \quad [3]$$

Emplearemos esta ecuación si es una conducción con varias capas:

$$R = \frac{x_{12}}{\lambda_1} + \frac{x_{23}}{\lambda_2} + \frac{x_{34}}{\lambda_3} + \dots + \frac{x_n}{\lambda_n} \quad \left[\frac{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}{W} \right] \quad [4]$$

Siendo:

$x \rightarrow$ Espesor de la pared considerada [m]

$\lambda \rightarrow$ Coeficiente de conductibilidad [$\frac{W}{m \cdot ^{\circ}\text{C}}$]

3.1.1.1.2. CONDUCCIÓN EN SUPERFICIES CURVAS

La conducción en superficies curvas difiere respecto a las planas en el área a considerar. Debemos suponer un cilindro, tal y como se observa en la *Imagen 3*, que consta de un cilindro interior de radio r_1 y un cilindro exterior de radio r_2 . Encontrándose el foco de calor en el interior del cilindro de menor radio, consideraremos que la temperatura dentro del mismo será t_1 y en el exterior del cilindro de mayor radio t_2 , dirigiéndose el flujo calorífico en el sentido de la flecha correspondiente a dQ .

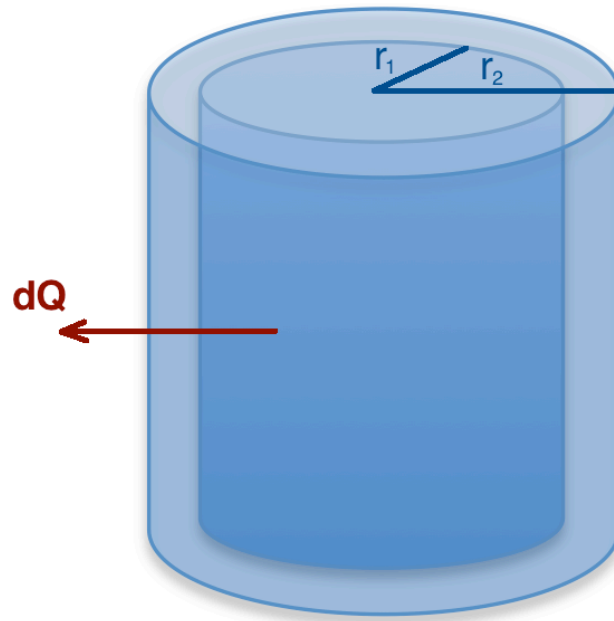


Imagen 3. Conducción de calor en superficies curvas.

Para la determinación del área o superficie del cilindro, debemos fijarnos en la *Imagen 4*. Una vez conocidas sus dimensiones, procederemos a realizar los cálculos.



Imagen 4. Desarrollo de un cilindro

$$S = \text{base} \cdot \text{altura}$$

$$S = 2\pi r \cdot l$$

[5]

Con el objetivo de calcular el flujo calorífico, partiremos de la ecuación de Fourier [1], sustituyendo la superficie S [5] por su correspondiente a un cilindro.

$$dQ = -\lambda \cdot dS \cdot \frac{dt}{dx} = -\lambda \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l \cdot \frac{dt}{dr}$$

$$\frac{dQ}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \frac{dr}{r} = -\lambda dt$$

$$\frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot l} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = - \int_{t_1}^{t_2} \lambda \cdot dt$$

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot \lambda \cdot \frac{t_1 - t_2}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad [W] \quad [6]$$

Como sucedía en el apartado anterior referente a las paredes planas, en lo que a las paredes curvas se refiere, también varían las ecuaciones cuando atraviesa diferentes materiales, teniendo en cuenta los coeficientes de conductibilidad de cada uno de ellos y sus respectivos radios.

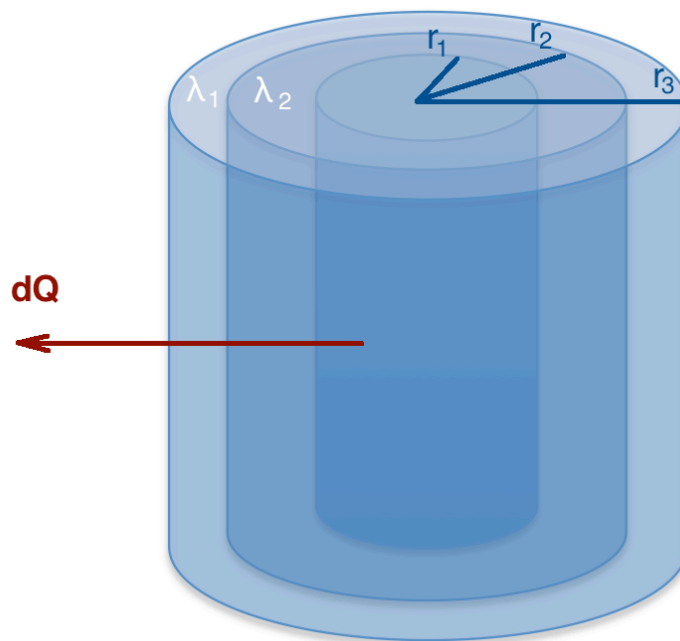


Imagen 5. Transmisión de calor mediante la conducción a través de varias capas en paredes curvas.

Capa 1

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot \lambda_1 \cdot \frac{t_1 - t_2}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad [W]$$

Capa 2

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot \lambda_2 \cdot \frac{t_2 - t_3}{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)} \quad [W]$$

Capa n

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot \lambda_n \cdot \frac{t_{n-1} - t_n}{\ln\left(\frac{r_n}{r_{n-1}}\right)} \quad [W]$$

Si despejamos la temperatura en cada una de las capas:

$$t_1 - t_2 = \frac{Q}{l} \cdot \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_1}$$

$$t_2 - t_3 = \frac{Q}{l} \cdot \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_2}$$

$$t_{n-1} - t_n = \frac{Q}{l} \cdot \frac{\ln\left(\frac{r_n}{r_{n-1}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_n}$$

En consecuencia:

$$t_1 - t_n = \frac{Q}{l \cdot 2 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{\lambda_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{\lambda_2} + \dots + \frac{\ln\left(\frac{r_n}{r_{n-1}}\right)}{\lambda_n} \right)$$
$$Q = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot \frac{t_1 - t_n}{\left(\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{\lambda_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{\lambda_2} + \dots + \frac{\ln\left(\frac{r_n}{r_{n-1}}\right)}{\lambda_n} \right)} \quad [W] \quad [7]$$

Siendo:

$t_1 \rightarrow$ Temperatura en la zona más cercana al foco de calor [°C]

$t_n \rightarrow$ Temperatura en la zona más lejana al foco de calor [°C]

$r \rightarrow$ Radio de la pared curva considerada [m]

$\lambda \rightarrow$ Coeficiente de conductibilidad $\left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]$

$l \rightarrow$ Longitud de la pared considerada [m]

Conocido el coeficiente de conductibilidad y la transferencia de calor de un material determinado, podemos definir su resistencia térmica.

Por consiguiente, la resistencia térmica de conducción simple de una pared curva será:

$$R = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot l \cdot \lambda} \quad \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right] \quad [8]$$

Si se tratase de una conducción con varias capas emplearemos esta ecuación:

$$R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{\lambda_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{\lambda_2} + \dots + \frac{\ln\left(\frac{r_n}{r_{n-1}}\right)}{\lambda_n} \right) \quad \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right] \quad [9]$$

3.1.1.2. TRANSMISIÓN POR CONVECCIÓN

La convección es la transferencia de energía entre una superficie sólida y el fluido adyacente que se encuentra en movimiento, y está relacionada con los efectos combinados de la conducción y el movimiento del fluido. Cuanto mayor sea la velocidad del fluido, mayor será el calor transmitido. Por consiguiente, en caso de que el movimiento sea nulo, no habrá transferencia por convección, sino que la transmisión de calor se realizará mediante la conducción.

La presencia de movimiento en masa del fluido aumenta la transferencia de calor entre la superficie sólida y el fluido, puesto que hace que se combinen la conducción y la convección. Sin embargo, esto implica que se dificulte la determinación de las tasas de transferencia de calor.

La transmisión de calor mediante convección tiene lugar cuando el calor se realiza o se transmite a través de gases en donde existe un soporte material como transferencia de materia,

es decir, las moléculas de dicho soporte tienen un movimiento y velocidad determinados. En consecuencia, este tipo de transmisión se realiza únicamente en líquidos o gases.

Por este motivo, el proceso de transferencia térmica desde un fluido hasta un sólido se realiza por medio de la transmisión de calor por convección, por lo tanto, podemos decir que este tipo de transferencia se da en elementos que tengan una cierta movilidad en su constitución.

Además, los procesos de transferencia de calor en los que hay un cambio de fase de un fluido se consideran también como convección, puesto que el fluido experimenta un movimiento durante este proceso. Un claro ejemplo de este hecho es el ascenso de las burbujas de vapor durante la ebullición o el descenso de gotas de líquido durante la condensación.

En toda transferencia por convección existen dos tipos de movimientos:

- **Convección forzada**

Hay convección forzada si el fluido es forzado a fluir en un tubo o sobre una superficie por medios externos, como un ventilador, una bomba o el viento.

- **Convección natural**

Se trata de convección natural, también denominada libre, si el movimiento del fluido es ocasionado por las fuerzas de flotación inducidas por diferencias de densidad debidas a la variación de temperatura en el fluido.

Una vez dicho esto, procedemos al estudio de la transferencia de calor mediante ecuaciones.

Ley de Newton

La ecuación general de la transferencia de calor mediante convección fue formulada por Newton, conociéndose como la ley de Newton:

$$Q = S \cdot \alpha \cdot (t_P - t_L) \quad [W] \quad [10]$$

Siendo:

$S \rightarrow$ Superficie de la pared considerada [m^2]

$\alpha \rightarrow$ Coeficiente de convección [$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$]

$t_p \rightarrow$ Temperatura de la pared o superficie [$^\circ C$]

$t_L \rightarrow$ Temperatura del líquido o gas [$^\circ C$]

Esta ecuación [10] será empleada cuando se trate de paredes planas, en cambio, si se tratase de paredes curvas sustituiremos el valor del área en la fórmula anterior [5]:

$$S = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l \quad [5]$$

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l \cdot \alpha \cdot (t_p - t_L) \quad [11]$$

El coeficiente de transferencia de calor por convección es un parámetro que se determina para cada material teniendo en cuenta diferentes variables de forma experimental (configuración geométrica de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido, las propiedades del fluido, la velocidad volumétrica del fluido...). Despejando la ecuación formulada por Newton, obtenemos este coeficiente:

$$\alpha = \frac{Q}{S \cdot (t_p - t_L)} \quad \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right] \quad [12]$$

Además, este coeficiente es definido como la cantidad de calor que pueda ser introducida en una superficie de 1 m^2 cuando la diferencia de temperaturas a ambos lados del líquido o gas es de $1 \text{ }^\circ C$.

Otro factor referente al fluido a tener en cuenta es si se trata de régimen laminar o turbulento, puesto que se ha comprobado que se da una mayor transferencia por convección en régimen turbulento:

- **Régimen laminar**, el fluido discurre de forma apacible
- **Régimen turbulento**, el fluido discurre de forma caótica

Por este motivo, para poder realizar cálculos adecuados y lo más precisos que sea posible, es necesario estudiar los números adimensionales.

Número de Reynolds.-

Esta ecuación se emplea para conocer si el fluido a tratar se caracteriza por estar en régimen turbulento o laminar:

$$R_e = \frac{w \cdot l}{\nu} \quad [\text{Adimensional}] \quad [13]$$

Siendo:

$w \rightarrow$ velocidad del líquido o del gas [m/s]

$l \rightarrow$ longitud [m]

$\nu \rightarrow$ viscosidad cinemática [m²]

Conociendo que la viscosidad cinemática es la relación que existe entre la viscosidad absoluta y la densidad:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad [\text{Pa} \cdot \text{s}] \quad [14]$$

Siendo:

$\mu \rightarrow$ viscosidad absoluta [(N·s)/m²]

$\rho \rightarrow$ densidad [kg/m³]

Sustituimos la viscosidad cinemática [14] en la ecuación del número de Reynolds [13]:

$$R_e = \frac{w \cdot l \cdot \rho}{\mu} \quad [\text{Adimensional}] \quad [15]$$

En consecuencia, se tratará de un régimen turbulento si $R_e \geq 3 \cdot 10^3$, en cambio, será de régimen laminar si $R_e \leq 3 \cdot 10^3$.

3.1.1.3. TRANSMISIÓN POR RADIACIÓN

La radiación es la energía emitida en forma de ondas electromagnéticas (o fotones), resultantes de los cambios sucedidos en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas, es decir, las ondas son producidas por las vibraciones térmicas de las moléculas.

La principal diferencia de esta forma de transmisión de calor, respecto a la conducción y la convección, es que no requiere la presencia de un medio, es decir, sucede entre dos cuerpos aunque no estén en contacto entre sí, incluso estando separados por un medio más frío que cualquiera de ellos. Además, ésta es la forma de transmisión más rápida de las tres, capaz de transmitirse a través el vacío.

Cabe mencionar, que la parte del estudio de la radiación que nos interesa es la radiación térmica, siendo esta la radiación que emitida por los cuerpos debido a su temperatura. No debemos confundirla con otras formas de radiación electromagnética como los rayos X, gamma, microondas, ondas de radio y televisión que no están relacionadas con la temperatura (dependiendo de las longitudes de onda encontramos los rayos X, rayos γ o rayos ultravioletas). Todos los cuerpos a una temperatura superior al cero absoluto emiten radiación térmica.

La radiación es un fenómeno volumétrico, y los sólidos, líquidos y gases, emiten, absorben o transmiten radiación de distintos grados. Sin embargo, la radiación es considerada en general como un fenómeno de superficie para sólidos opacos a la radiación térmica, como los metales, la madera y las rocas, puesto que la radiación emitida por las regiones interiores de estos materiales nunca alcanza la superficie, mientras que la radiación que incide en esos cuerpos es absorbida comúnmente dentro de unas micras desde la superficie.

La radiación suele estar presente en ambientes con diferentes longitudes de onda, que dependen del tipo y temperatura de la fuente y pueden producir distintos efectos según sea su espectro. Por ello, se suelen clasificar en radiaciones de onda corta y de onda larga, como muestra en el *Gráfico 1: Espectro de la radiación solar y de irradiación de superficies calientes*.

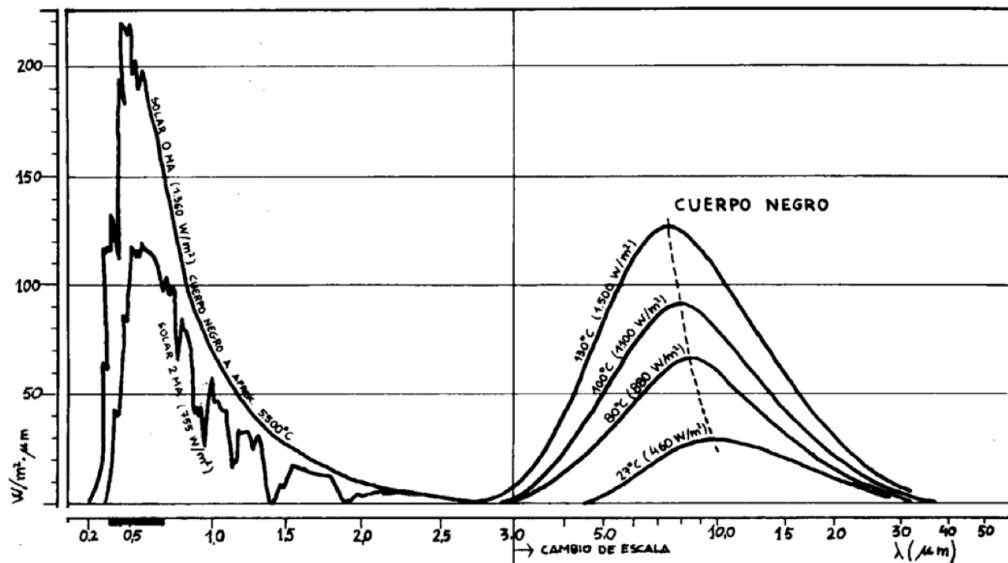


Gráfico 1. Espectro de la radiación solar y de irradiación de superficies calientes.

Espectro de la radiación solar y de irradiación de superficies calientes (Navajas, P. (1980).

Arquitectura solar. Madrid: Colegio Oficial De Arquitectos De Madrid.)

El espectro de las radiaciones térmicas contiene longitudes de ondas λ comprendidas entre 0,2 y 50 micrómetros ($1\mu m = 10^{-6} m$). A efectos de la transmisión de calor por radiación se pueden dividir en dos regiones:

- Radiación térmica de onda corta con longitudes entre 0,2 y 3 micrómetros, característica de las fuentes de radiación de alta temperatura ($T > 3000 \text{ }^\circ K$), como el sol o el alumbrado artificial, cuyo campo comprende la radiación ultravioleta ($\lambda < 0,38 \mu m$), todo el espectro visible ($0,38 < \lambda < 0,76 \mu m$) y el infrarrojo cercano ($0,76 < \lambda < 3 \mu m$), y pueden ser absorbidas por las superficies que nos rodean.
- Radiación térmica de onda larga, también llamada irradiación, con longitudes entre 3 y 50 μm , característica de fuentes de radiación a temperatura ambiente ($T = 300 \text{ }^\circ K$ aprox.), como son las superficies del entorno, cuyo espectro comprende el infrarrojo lejano y pueden ser emitidas y absorbidas por las superficies que nos rodean.

La ley de Stefan-Boltzman [16] determina la tasa máxima de radiación que se puede emitir desde una superficie a una temperatura absoluta.

$$\dot{Q}_{\text{emitida máx}} = \sigma \cdot A \cdot T_s^4 \quad [W] \quad [16]$$

Siendo:

$\sigma \rightarrow$ Constante de Stefan-Boltzman = $5,67 \cdot 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2} \cdot K^4 \right]$

$A \rightarrow$ Área [m^2]

$T_s \rightarrow$ Temperatura absoluta [K]

La emisividad es la proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto a la radiación emitida por un cuerpo negro de misma temperatura. La emisividad se expresa mediante ε , pudiendo variar sus valores entre 0 y 1, es decir, $0 \leq \varepsilon \leq 1$.

Cuanto más energía sean capaces de absorber, más se acercarán a la unidad. Esto se debe a que la superficie idealizada que emite radiación a esta tasa máxima es denominada cuerpo negro, siendo la radiación emitida por éste la radiación de cuerpo negro. La radiación que emiten todas las superficies reales es menor que la radiación emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura. En consecuencia, en un cuerpo negro ideal $\varepsilon=1$.

$$\dot{Q}_{emitida} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T_s^4$$

Sin embargo, los cuerpos no sólo emiten radiación, sino que también absorben la radiación que llega hasta ellos desde otros objetos, si esto no sucediera los objetos radiarían toda su energía llegando a alcanzar el cero absoluto de temperatura. Por este motivo, debemos analizar la energía radiada por el objeto de estudio y la recibida en forma de radiación por el mismo.

$$\dot{Q}_{emitida} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_s^4 - T_0^4) \quad [17]$$

Siendo:

$T_s \rightarrow$ Temperatura absoluta del objeto de estudio [K]

$T_0 \rightarrow$ Temperatura de los alrededores del objeto de estudio [K]

En consecuencia, cuando un objeto se encuentra en equilibrio con sus alrededores, radia y absorbe energía a la misma proporción y su temperatura permanece constante. Si por el contrario un objeto tiene mayor temperatura que sus alrededores, radia más energía de la que absorbe y su temperatura disminuye.

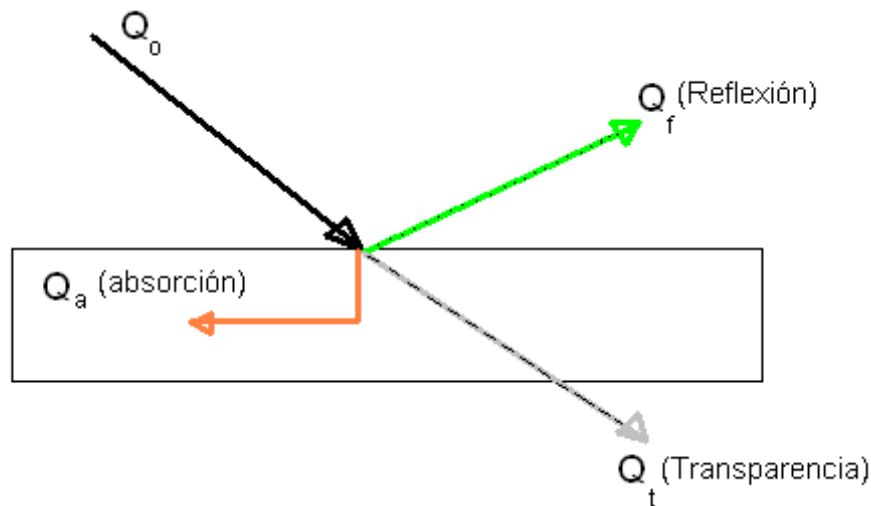


Imagen 6. Absorción de la radiación por un cuerpo.

Basterretxea, A. (2017). *Apuntes de la asignatura Calderas y Turbinas II: Tema 3, transmisión de calor.*

En la *Imagen 6* se observa la absorción de la radiación, cuando incide la radiación total sobre el cuerpo (Q_0), una parte es reflejada hacia el exterior (Q_f), otra es absorbida (Q_a) y otra se transmite (Q_t), por lo que:

$$Q_0 = Q_f + Q_a + Q_t$$

$$1 = \frac{Q_0}{Q_0} = \frac{Q_f}{Q_0} + \frac{Q_a}{Q_0} + \frac{Q_t}{Q_0} \quad [18]$$

El coeficiente de absorción o absorptancia α es la fracción de la radiación incidente “atrapada” por la superficie, mientras que el resto puede ser reflejada (reflectancia r) e incluso transmitida (transmitancia τ) si la superficie es parcialmente transparente. Lógicamente, la suma de los coeficientes será la unidad:

$$\alpha + r + \tau = 1 \quad [19]$$

Teniendo en cuenta esto último, procedemos a explicar con mayor detalle estos tres procesos, es decir, la absorción, la reflexión y la transparencia.

3.1.1.3.1. ABSORCIÓN

La parte de energía radiante incidente absorbida por la superficie del cuerpo se transforma en un aumento de su energía interna (ΔU) y, por tanto, en un aumento de su temperatura (ΔT). La absorción de radiación es un fenómeno superficial y no un fenómeno de volumen, de forma que en el interior del sólido no afecta la absorción. Sin embargo, el calor generado en la absorción puede fluir hacia el interior del sólido por conducción.

En la práctica, la radiación absorbida se distribuye entre el calentamiento del material que está detrás de la superficie por conducción y acumulación, se disipa en el aire en contacto con la superficie por convección, o se reenvía al exterior como irradiación infrarroja.

Ahora bien, el concepto de absorción se asocia normalmente a la energía radiante de onda corta, como la radiación solar o la luz, motivo por el cual se suele emplear el coeficiente de absorción α de las superficies a dichas longitudes de onda. El fenómeno de la absorción también se produce para las radiaciones de onda larga; sin embargo, al estar asociado a la irradiación infrarroja se tratará conjuntamente en el siguiente apartado.

Para estimar los flujos de radiación calorífica en los ambientes exteriores e interiores, las propiedades físicas fundamentales de las superficies de los cerramientos son los coeficientes de absorción α a la radiación de onda corta (visible e infrarrojo cercano) característica de la radiación solar y de la iluminación interior, y los coeficientes de emitancia ε a la radiación de onda larga (infrarrojo lejano), característica de la irradiación de cuerpos a temperatura ambiente.

Coefficiente de absorción o poder absorbente, es decir, la fracción de la radiación absorbida (partiendo de [18]) es:

$$\frac{Q_a}{Q_0} = \alpha \quad [20]$$

Cuerpo negro ideal

$$\frac{Q_a}{Q_0} = 1$$

$$\frac{Q_f}{Q_0} = 0$$

$$\frac{Q_T}{Q_0} = 0$$

3.1.1.3.2. REFLEXIÓN

Conviene recordar que el coeficiente de reflexión o reflectancia r es el valor recíproco de la absorptancia ($r = 1 - \alpha$) en los cuerpos opacos, que también se suele denominar factor de albedo cuando se refiere a la reflectancia media de un territorio.

En general, el coeficiente de reflexión (reflectividad) de un cuerpo opaco depende de la temperatura y de la superficie del material, de la longitud de onda incidente y del ángulo de incidencia. Existen dos tipos principales de reflexión:

- **Reflexión especular.** Se produce en superficies lisas y pulimentadas en las que el rayo reflejado forma el mismo ángulo que el rayo incidente. En estas superficies $r \approx 1$ y $\alpha \approx 0$. Esto ocurre cuando los rayos luminosos que inciden en una superficie reflectora muy plana son reflejados de modo que el ángulo incidente es igual al ángulo reflejado.
- **Reflexión difusa.** Se produce sobre superficies rugosas o sin brillo que reflejan de forma difusa en todas direcciones y no existe un ángulo de reflexión concreto. En éstas: $\alpha \rightarrow 1$ y $r \rightarrow 0$. Esto ocurre cuando los rayos paralelos que caen en una superficie rugosa, reflejan los rayos luminosos con ángulos dispersos, de modo que no se puede observar una imagen en la superficie. Este fenómeno ocurre por que las macro o micro rugosidades desvían la luz en distintos ángulos.

La mayor parte de las superficies industriales utilizadas en construcción producen reflexión difusa y se puede aceptar la hipótesis de que α y r son independientes del ángulo de incidencia. Para algunas superficies se puede aceptar, además, la hipótesis de que α es el mismo para todas las longitudes de onda. A estas superficies se les llama *cuerpo gris*.

Coefficiente de reflectividad o poder reflexivo, es decir, la fracción de la radiación que se refleja (partiendo de [18]) es:

$$r = \frac{Q_f}{Q_0} \quad [21]$$

Cuerpo blanco ideal

$$\frac{Q_a}{Q_0} = 0$$

$$\frac{Q_f}{Q_0} = 1$$

$$\frac{Q_T}{Q_0} = 0$$

3.1.1.3.3. TRANSPARENCIA

Cuando un material es parcialmente transparente, como el plástico, aparece el factor de transmisión o transmitancia τ , o proporción de energía que atraviesa el material, verificándose que la suma de coeficientes es la unidad ($\alpha + r + \tau = 1$) [19].

La mayor parte de los sólidos con los que se trabaja en ingeniería y arquitectura son cuerpos opacos a la radiación, es decir, poseen una transmisividad tan baja que puede considerarse nula frente a la absorptividad y reflectividad. Para éstos se verifica:

$$\tau = 0 \rightarrow \alpha + r = 1$$

Sin embargo, el vidrio tiene unas propiedades peculiares de transmisión selectiva, ya que su transmitancia a la radiación solar es muy alta ($\tau = 0.85$ en vidrios claros), pero su transmitancia a la radiación de onda larga es prácticamente nula, lo que puede producir el denominado efecto invernadero al dejar pasar la radiación solar al interior de un recinto e

impedir la disipación al exterior de la irradiación infrarroja de las superficies calientes del interior, generando un importante incremento de temperatura.

Otro fenómeno curioso, de gran importancia para la refrigeración pasiva, es el denominado irradiación nocturna, que se produce como consecuencia de que el aire de la atmósfera es parcialmente transparente a la radiación infrarroja lejana cuando está relativamente seco y el cielo despejado, permitiendo así que las superficies exteriores puedan emitir importantes flujos de irradiación hacia el firmamento, que no son compensados desde la atmósfera, con un balance negativo que puede producir un importante enfriamiento de dichas superficies por la noche.

Coefficiente de transmisividad o poder transmisivo, es decir, la fracción de la radiación que se transmite (partiendo de [18]) es:

$$\tau = \frac{Q_T}{Q_0} \quad [22]$$

Cuerpo transparente ideal

$$\frac{Q_a}{Q_0} = 0$$

$$\frac{Q_f}{Q_0} = 0$$

$$\frac{Q_T}{Q_0} = 1$$

3.1.1.4. TRANSMISIÓN MIXTA

El calor no se transmite mediante una única forma, sino a través de la combinación de las diversas formas antes expuestas: conducción, convección y radiación.

Al igual que en los apartados anteriores, en lo que a la conducción y convección se refiere deberemos emplear una fórmula para la transferencia en paredes planas y otra derivada de la primera para la transferencia en paredes curvas.

En primer lugar, trataremos el caso de una pared plana en la que existiera transmisión de calor mediante conducción y convección. Supongamos dos espacios en los que el fluido de su interior se encuentra a diferente temperatura, ambos separados entre sí por una pared plana formada por varias capas de diferente material cada una.

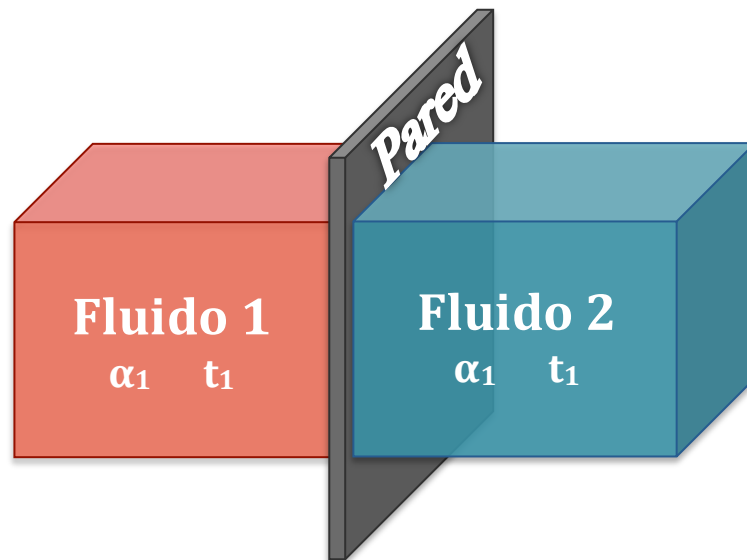


Imagen 7. Transmisión mixta: conducción y convección en paredes planas.

Por consiguiente, la transmisión de calor del “Fluido 1” a la pared se dará mediante la convección [10] siendo determinada así:

$$Q = S \cdot \alpha_1 \cdot (t_{f1} - t_1) \quad [W]$$

Siendo:

$S \rightarrow$ Superficie de la pared considerada [m^2]

$\alpha \rightarrow$ Coeficiente de convección [$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$]

$t_{f1} \rightarrow$ Temperatura en el fluido 1 [$^\circ C$]

$t_1 \rightarrow$ Temperatura en la zona de contacto entre la pared y el fluido 1 [$^\circ C$]

La pared indicada en la *Imagen 7* en color gris suponemos que se encuentra compuesta por capas de diferentes materiales [2], por lo que el flujo de calor sería el siguiente:

$$Q = \frac{t_1 - t_n}{\left(\frac{x_{12}}{\lambda_1} + \frac{x_{23}}{\lambda_2} + \frac{x_{34}}{\lambda_3} + \dots + \frac{x_n}{\lambda_n}\right)} \cdot S \quad [W]$$

$x \rightarrow$ Espesor correspondiente a cada capa [m]

$\lambda \rightarrow$ Coeficiente de conducción $\left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]$

$t_n \rightarrow$ en la zona de contacto entre la pared y el fluido 2 [$^\circ C$]

El calor transmitido desde la pared hasta el segundo espacio, en el que se encuentra el “Fluido 2” se transmite mediante convección [10]:

$$Q = S \cdot \alpha_2 \cdot (t_p - t_{f2}) \quad [W]$$

$t_{f2} \rightarrow$ Temperatura en el fluido 2 [$^\circ C$]

Partiendo de las tres ecuaciones planteadas, deducimos que el flujo calorífico del primer al segundo espacio es:

$$Q = \frac{t_{f1} - t_{f2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \left(\frac{x_{12}}{\lambda_1} + \frac{x_{23}}{\lambda_2} + \frac{x_{34}}{\lambda_3} + \dots + \frac{x_n}{\lambda_n} \right) + \frac{1}{\alpha_2}} \cdot S \quad [W] \quad [23]$$

En segundo lugar, analizaremos la transmisión de calor mediante conducción y convección en paredes curvas. Para ello supondremos dos espacios a diferente temperatura, el primero se encontrará en el interior del tubo y el segundo en su exterior, separados entre sí por una pared compuesta por varias capas de diversos materiales.

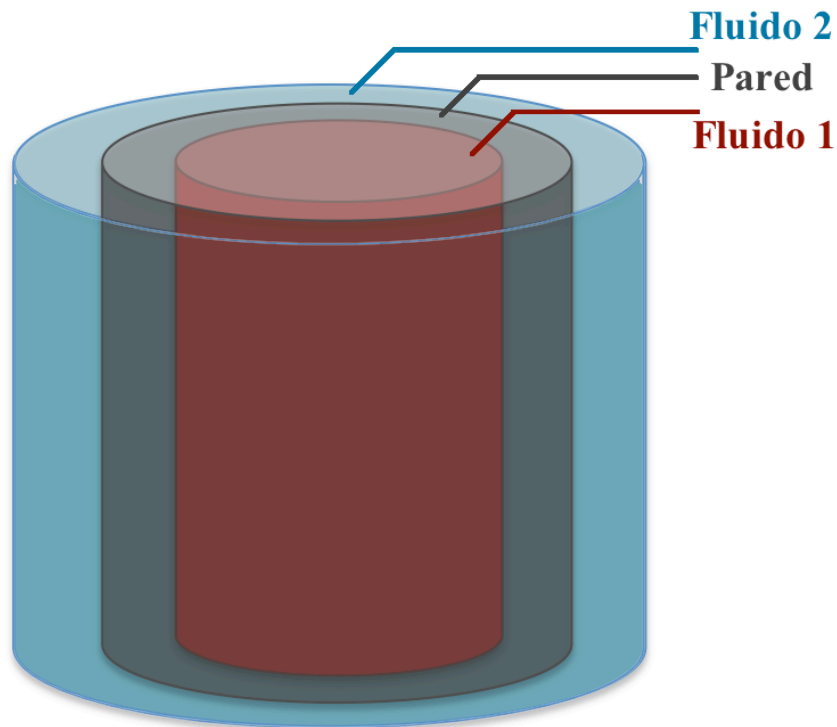


Imagen 8. Transmisión mixta: conducción y convección en paredes curvas.

Por consiguiente, la transmisión de calor del “Fluido 1” desde el interior del a la pared se dará mediante la convección [11] siendo determinada así:

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot l \cdot \alpha_1 \cdot (t_{f1} - t_1) \quad [W]$$

Siendo:

$r_1 \rightarrow$ Radio del interior del tubo [m]

$l \rightarrow$ Longitud del tubo [m]

$\alpha \rightarrow$ Coeficiente de convección $\left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]$

$t_{f1} \rightarrow$ Temperatura del fluido en el espacio interior del tubo [$^\circ C$]

$t_1 \rightarrow$ Temperatura de la pared en el punto de contacto con espacio interior [$^\circ C$]

La pared indicada en la *Imagen 8* en color gris suponemos que se encuentra compuesta por capas de diferentes materiales [7], por lo que el flujo de calor sería el siguiente:

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot \frac{t_1 - t_n}{\left(\frac{\ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)}{\lambda_1} + \frac{\ln \left(\frac{r_3}{r_2} \right)}{\lambda_2} + \dots + \frac{\ln \left(\frac{r_n}{r_{n-1}} \right)}{\lambda_n} \right)} \quad [W]$$

Siendo:

$t_1 \rightarrow$ Temperatura de la pared en el punto de contacto con el espacio interior [$^\circ C$]

$t_n \rightarrow$ Temperatura de la pared en el punto de contacto con el espacio exterior [°C]

$r \rightarrow$ Radio correspondiente a cada capa de la pared [m]

$\lambda \rightarrow$ Coeficiente de conducción correspondiente a cada capa de la pared $\left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right]$

El calor transmitido desde la pared hasta el segundo espacio al exterior del tubo, en el que se encuentra el “Fluido 2”, se transmite mediante convección [11]:

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot l \cdot \alpha_2 \cdot (t_n - t_{f2}) \quad [W]$$

Siendo:

$r_2 \rightarrow$ Radio del exterior del tubo [m]

$t_n \rightarrow$ Temperatura de la pared en el punto de contacto con el espacio exterior [°C]

$t_{f2} \rightarrow$ Temperatura del fluido en el espacio exterior [°C]

Partiendo de las tres ecuaciones planteadas, deducimos que el flujo calorífico del primer al segundo espacio es:

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot \frac{t_{f1} - t_{f2}}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot r_1} + \left(\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{\lambda_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{\lambda_2} + \dots + \frac{\ln\left(\frac{r_n}{r_{n-1}}\right)}{\lambda_n} \right) + \frac{1}{\alpha_2 \cdot r_2}} \quad [W] \quad [24]$$

Además de esto, debemos tener en cuenta el calor transmitido mediante la radiación [17]:

$$\dot{Q}_{emitida} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_s^4 - T_0^4) \quad [W]$$

Siendo:

$\sigma \rightarrow$ Constante de Stefan-Boltzman = $5,67 \cdot 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2} \cdot K^4\right]$

$A \rightarrow$ Área [m²]

$T_s \rightarrow$ Temperatura absoluta [K]

$T_0 \rightarrow$ Temperatura de los alrededores del objeto de estudio [K]

3.1.2. TEMPERATURA EN LAS TUBERÍAS

Mantener la temperatura del fluido en las tuberías es muy importante independientemente del fluido que se halle en su interior.

Cuando las tuberías están expuestas a bajas temperaturas existe el riesgo de congelación con determinados fluidos, como puede ser el agua. En lo que ésta se refiere, alcanza su volumen mínimo a los 4°C, siendo su densidad a esa temperatura de 1 Kg/dm³. Desde este punto, por cada °C que disminuye su temperatura el volumen del fluido aumenta. Hasta la formación de hielo, puesto que con la congelación el volumen crece bruscamente, con lo cual la presión de las tuberías aumenta, pudiendo llegar incluso a reventar.

Otros fluidos, en cambio, deben mantenerse a temperaturas extremadamente bajas, como los LPG o LNG, los cuales se encuentran en estado gaseoso a temperatura ambiente y al transportarse condensados, hay que mantener a temperaturas bajo cero para que se encuentren en estado líquido.

3.1.3. PÉRDIDAS

El flujo calorífico que atraviesa las capas del material es denominado pérdida térmica. Estas pérdidas se calculan mediante las fórmulas mostradas a en el apartado 3.1.1. *FORMAS DE TRANSMISIÓN DE CALOR*. Sin embargo, en el diseño de una instalación no sólo nos encontramos con paredes planas o superficies curvas, también hay otros accesorios que aumentan las pérdidas térmicas.

3.1.3.1. PÉRDIDAS SUPLEMENTARIAS POR ACCESORIOS

Los accesorios que se incluyen en una instalación influyen en las pérdidas térmicas. Se consideran accesorios las válvulas, soportes de tuberías, grifos de purga, bridas... Para calcular las pérdidas se empleará el ábaco de Wrede (9.1. ANEXO 1. *ÁBACO DE WREDE*).

Dependiendo del tipo de accesorio instalado las pérdidas serán mayores o menores.

- Una válvula equivale a 1,8 m de tubería
- Una brida equivale a 0,3 m de tubería
- Un codo, “T”, injerto o reducción tienen sus equivalencias en función del diámetro de la tubería:
 - Diámetro de 1” a 1,5” equivale a 1 m de tubería
 - Diámetro de 2” a 5” equivale a 1,5 m de tubería
 - Diámetro de 5,5” a 10” equivale a 2 m de tubería

Además, existen otro tipo de pérdidas suplementarias por accesorios, que son las ocasionadas por los soportes. Las pérdidas como consecuencia de los soportes de tuberías dependerán del espacio en el que se encuentren instalados. En caso de tratarse de tuberías que se encuentren en el interior, se añadirá un 15% respecto a las pérdidas sin accesorios. Si se encuentran en el exterior en un punto protegido del viento se el añadirá el 20%, pero si por el contrario se encuentra en una zona ventosa se deberá añadir el 25%.

3.1.3.2. FUGAS DE VAPOR

Un problema de las tuberías por las que circula vapor es la formación de fugas, que además de acarrear pérdidas energéticas, trae consigo un gran riesgo para los trabajadores.

El caudal del vapor que escapa por un orificio se calcula de este modo

$$Q = K \cdot d^2 \cdot \sqrt{P \cdot (P + 1)} \quad [25]$$

Q → Caudal del fluido que sale por el orificio [kg/h]

d → Diámetro del orificio [mm]

P → Presión del vapor [kg/cm²]

K → Coeficiente de valor 0,35-0,4

3.1.3.2.1. EJEMPLO PRÁCTICO DE LAS PÉRDIDAS POR FUGAS DE VAPOR

En una caldera de vapor de gas natural se tienen unas fugas localizadas de vapor. En total se han encontrado 10 fugas, 4 de 3 mm de diámetro y 6 de 5 mm de diámetro. La instalación funciona 5000h/año con una producción específica de vapor de 12 kg/Nm³ a 8 kg/cm² de presión.

Para proceder a realizar el cálculo es necesario recurrir a la tabla del apartado 9.2. *ANEXO 2. TABLAS DE PÉRDIDAS DE CALOR Y FUGAS DE VAPOR.*

Orificios de 3 mm → Q=27 kg/h

Orificios de 5 mm → Q=75 kg/h

$$Q_{total} = 4 \cdot Q_{orificio\ 3mm} + 6 \cdot Q_{orificio\ 5mm} = 4 \cdot 27 + 6 \cdot 75 = 558\ kg/h$$

$$Ahorro = \frac{\Delta P\acute{e}rdidas \cdot t}{PCI} = \frac{558 \frac{kg}{h} \cdot 5000 \frac{h}{a\tilde{n}o}}{12 \frac{kg}{Nm^3}} = 232500\ Nm^3/a\tilde{n}o \quad [26]$$

Siendo:

$\Delta P\acute{e}rdidas$ → Diferencia entre las pérdidas con aislamiento y desnuda [kcal/h]

t → Tiempo [h/año]

η → Rendimiento de la caldera

PCI → Poder Calorífico Inferior del combustible

3.1.4. EJEMPLO PRÁCTICO DEL AISLAMIENTO TÉRMICO

Una caldera de vapor de gas natural funciona 7.200 h/año, existen 8 m de tubo de 70 mm de diámetro y 4 válvulas sin aislar. La temperatura del exterior de los tubos es de 120°C y la temperatura ambiente es de 20°C. El rendimiento de la caldera es del 85%.

Para proceder a realizar el cálculo es necesario recurrir al ábaco de Wrede (9.1. ANEXO 1. *ÁBACO DE WREDE*).

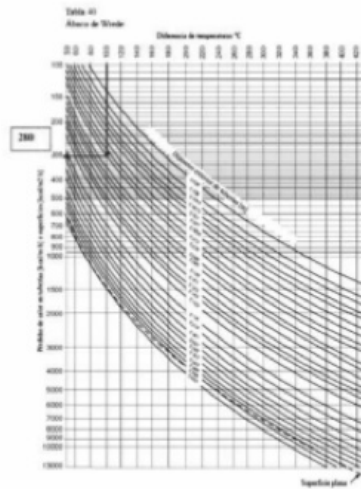


Gráfico 2. *Ábaco de Wrede.*

Se procede a instalar un aislamiento de 25mm de espesor en las tuberías y en las válvulas de modo que las pérdidas térmicas sean calculadas según las características técnicas aportadas por el suministradores del aislamiento.

Si suponemos que las pérdidas dadas por el suministrador son de 10 kcal/mh:

$$Q_{tubos} = 3m \cdot 10 \frac{kcal}{m \cdot h} = 30 kcal/h$$

$$Q_{válvulas} = 4 \cdot \left(1,8m \cdot 10 \frac{kcal}{m \cdot h}\right) = 72 kcal/h$$

$$Q_{total} = Q_{tubos} + Q_{válvulas} = 102 kcal/h$$

El ahorro de combustible sería:

$$Ahorro = \frac{\Delta P\acute{e}rdidas \cdot t}{\eta \cdot PCI} = \frac{(2856 - 102) \frac{kcal}{m \cdot h} \cdot 7200 \frac{h}{a\tilde{n}o}}{0,85 \cdot 9000 \frac{kcal}{Nm^3}} = 2592 Nm^3/a\tilde{n}o$$

Siendo:

$\Delta P\acute{e}rdidas$ → Diferencia entre las pérdidas con aislamiento y desnuda [kcal/h]

t → Tiempo [h/año]

η → Rendimiento de la caldera

PCI → Poder Calorífico Inferior del combustible

3.2. TRANSMISIÓN DEL SONIDO

3.2.1. FUNDAMENTOS DE LA ACÚSTICA

3.2.1.1. SONIDO

“El sonido es un fenómeno vibratorio que, a partir de una perturbación inicial del medio elástico donde se produce, se propaga en ese medio, bajo una forma de variación periódica de presión.”

(ISOVER, 1985)

El sonido es un fenómeno vibratorio que se produce como consecuencia de una perturbación en el medio en el que se produce, propagándose mediante una variación periódica de presión. Se trata de una forma mecánica de energía producida cuando las partículas oscilan respecto a su posición de equilibrio. Dicha vibración mecánica puede darse a través de un medio gaseoso, líquido o sólido elástico.

En consecuencia, en lo que a los buques respecta, trataremos con dos formas de propagación del sonido, a través del aire (gaseoso) y la estructura del propio buque (sólido elástico).

3.2.1.2. ONDAS SONORAS

Las **ondas sonoras** se propagan de diferente forma en función del medio, en el aire son ondas longitudinales; en el agua, en cambio, son transversales, siendo la oscilación de las partículas perpendicular a la dirección de propagación de la onda.

Las ondas se caracterizan por: frecuencia, longitud de onda, amplitud de las oscilaciones y velocidad de propagación.

La **frecuencia** (f) es el número de oscilaciones armónicas de una partícula por segundo y se expresa en Hz (1Hz=1/s) o kHz (1kHz=1000Hz).

$$f = \frac{1}{T} \quad \left[\frac{1}{s} \right] \quad [27]$$

Siendo:

T → Período [s]

La **longitud de onda** (λ) es la distancia entre las partículas que oscilan en fase y se expresa en metros, es decir, es la distancia recorrida por una onda durante un período.

La **amplitud** (A) es la máxima altura alcanzada por una onda, se determina por el espacio existente desde el pico superior de una onda hasta el eje horizontal.

La **velocidad de propagación** de una onda frontal es denominada velocidad del sonido (c) y se expresa en m/s; su dirección es perpendicular a la superficie vibrante.

La **velocidad del sonido** no debe confundirse con la velocidad de la partícula (u).

La velocidad del sonido dependerá del medio que deba atravesar, concretamente de su densidad y su compresibilidad. En el caso de los líquidos y los gases, debemos tener en cuenta su módulo volumétrico (B) y su densidad (ρ). El módulo volumétrico es la compresibilidad del material, es decir, se trata de una constante para cada fluido que determina la respuesta de dicho material ante una fuerza externa, en este caso, producida por las ondas sonoras.

$$B = \frac{\text{Esfuerzo volumétrico}}{\text{Deformación volumétrica}} = \frac{\Delta \text{Presión}}{\Delta \text{Volumen} / \text{Volumen}_{\text{inicial}}} \quad \left[\frac{N}{m^2} \right] \quad [28]$$

En consecuencia, la velocidad de transmisión del sonido en un líquido o gas será:

$$c = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad \left[\frac{m}{s} \right]$$

Siendo:

B → Módulo volumétrico $\left[Pa = \frac{N}{m^2}\right]$

ρ → Densidad $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

Sin embargo, en lo que a los gases se refiere, cuando no se trata de gases ideales su compresibilidad dependerá de la temperatura a la que se encuentre dicho gas.

“De la carta de compresibilidad generalizada se hacen las siguientes observaciones:

- 1. A presiones muy bajas ($P \ll 1$), los gases se comportan como un gas R ideal sin considerar la temperatura.*
- 2. A temperaturas altas ($T_R > 2$), es posible suponer con buena precisión el comportamiento de gas ideal, independientemente de la presión (excepto cuando $P_R \gg 1$).*
- 3. La desviación de un gas respecto al comportamiento de gas ideal es mayor cerca del punto crítico.”*

(Çengel & Boles, 2006)

En consecuencia, al calcular la velocidad del sonido a través de un gas debemos tener en cuenta más factores, como la temperatura y la masa molar del gas, por lo cual será:

$$c = \sqrt{\frac{\gamma \cdot R \cdot T}{M}} \quad \left[\frac{m}{s}\right] \quad [29]$$

Siendo:

γ → Coeficiente adiabático siendo constante para cada material [Adimensional]

R → Constante de los gases ideales igual a 0,82 $\left[\frac{l \cdot atm}{K \cdot mol}\right]$

T → Temperatura [K]

M → Masa molar [mol]

Cuando las ondas sonoras atraviesan materiales sólidos, en cambio, la velocidad del sonido es dependiente del módulo de Young (Y) y de su densidad (ρ). El módulo de Young o módulo de elasticidad es una constante para cada material, a través del cual se mide la resistencia de un sólido a un cambio en su longitud.

$$Y = \frac{\text{Esfuerzo de tracción}}{\text{Deformación por tensión}} = \frac{\text{Fuerza}/\text{Área}}{\Delta\text{Longitud}/\text{Longitud}_{\text{inicial}}} \quad \left[\frac{N}{m^2} \right] \quad [30]$$

$$c = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \quad \left[\frac{m}{s} \right] \quad [31]$$

Siendo:

$Y \rightarrow$ Módulo de elasticidad o módulo de Young

$\rho \rightarrow$ Densidad $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$

Cabe mencionar que “tanto sólidos como líquidos tienen un módulo volumétrico. Sin embargo, no se proporcionan módulos de corte ni módulos de Young para líquidos, porque un líquido no sostiene un esfuerzo de corte o un esfuerzo de tensión. Si una fuerza cortante o una fuerza de tensión se aplican a un líquido, el líquido simplemente fluye como respuesta”.

(Serway & Jewett, 2008)

Medio (gas a 0°C)	c $\left[\frac{m}{s} \right]$	Medio (líquido a 25°C)	c $\left[\frac{m}{s} \right]$	Medio (sólido)	c $\left[\frac{m}{s} \right]$
Hidrógeno (0°C)	1286	Glicerol	1904	Vidrio Pyrex	5640
Helio (0°C)	972	Agua de mar	1533	Hierro	5950
Aire (0°C)	331	Agua	1493	Aluminio	6420
Oxígeno (0°C)	317	Mercurio	1450	Latón	4700
		Queroseno	1324	Cobre	5010
		Alcohol metílico	1143	Oro	3240
		Tetracloruro de carbono	926	Plomo	1960
				Caucho	1600

Tabla 1. Velocidad del sonido en diferentes medios.

Datos de *Física para ciencias e ingeniería* de Serway & Jewett que incluyen la siguiente observación para los medios sólidos: “Los valores conocidos son para propagación de ondas longitudinales en medios volumétricos. Las magnitudes de velocidad para ondas longitudinales en barras delgadas son menores, y las magnitudes de velocidad de ondas transversales en volumen son aún más pequeñas”.

La velocidad del sonido a través del aire es independiente de la frecuencia y puede ser calculado como función de la temperatura, puesto que su velocidad aumenta en 0,607m/s por cada 1°C que se incremente ésta. Por consiguiente, sabiendo que la velocidad de las ondas sonoras en el aire a 0°C es de 331,4m/s, procedemos a calcular la velocidad para cualquier temperatura:

$$c_{aire} = 331,4 + 0,607 \cdot t \quad \left[\frac{m}{s} \right] \quad [32]$$

Siendo:

$t \rightarrow$ Temperatura [°C]

Considerando una temperatura estándar en una situación normal, $t=20^{\circ}\text{C}$

$$c_{aire (t=20^{\circ}\text{C})} = 331,4 + 0,607 \cdot t = 331,4 + 0,607 \cdot 20 = 343,54 \text{ m/s}$$

En consecuencia, para facilitar los cálculos consideraremos que $c = 340 \text{ m/s}$.

La relación existente entre la velocidad, la frecuencia y la amplitud es la siguiente:

$$c = f \cdot \lambda \quad [33]$$

3.2.1.3. IMPEDANCIA ACÚSTICA

La **impedancia acústica** es la resistencia que opone el medio a la propagación de las ondas.

$$Z = \frac{P}{u} \quad [34]$$

$P \rightarrow$ Presión acústica

$u \rightarrow$ velocidad de las partículas

3.2.1.4. INTENSIDAD ACÚSTICA

La **intensidad acústica** (I) de una onda sonora se define como el valor medio del flujo de energía que atraviesa a un área, igual a la unidad, normal a la dirección de propagación de la onda.

$$I = \frac{P_{acústica}^2}{2 \cdot \rho \cdot c} \quad \left[\frac{J}{s \cdot m^2} = \frac{W}{m^2} \right] \quad [35]$$

Siendo:

$P_{acústica}$ → Presión acústica [Pa]

ρ → Densidad del medio $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$

c → Velocidad de propagación $\left[\frac{m}{s} \right]$

3.2.1.5. RUIDO: PRESIÓN Y POTENCIA SONORA

La **presión sonora o acústica** (Pa) se define como la diferencia entre la presión de ocasionada por la onda acústica y la presión atmosférica, es decir, la presión ejercida al transmitirse las ondas acústicas o sonoras.

$$P_{Total} = P_{atm} + P_{acústica}(t) \quad [36]$$

El **nivel de presión sonora o acústica** es (L_p) la expresión utilizada para definir el nivel de un sonido respecto a un punto de referencia, también se conoce como SPL (Sound Pressure Level), se expresa en decibelios (dB).

La energía emitida por una fuente de sonido es la **potencia sonora**, se expresa en wattios (W). Al igual que sucedía con la presión sonora, se emplea una escala logarítmica de decibelios.

El **nivel de la potencia sonora o nivel sonoro** se calcula:

$$L_w = \beta = 10 \cdot \log \left(\frac{I}{I_0} \right) [dB] \quad [37]$$

Siendo:

I → Intensidad en Wattios por cada m^2 de la zona a determinar el nivel sonoro $\left[\frac{W}{m^2} \right]$

$I_0 \rightarrow$ Constante considerada como el umbral de audición igual a $1 \cdot 10^{-12} \left[\frac{W}{m^2} \right]$

El **ruido** se define, simplemente, como sonido molesto no deseado, por lo cual se expresa en dB.

La determinación del ruido dependerá de si tenemos en cuenta la energía total de ese sonido o la sensibilidad del oído humano a dicho ruido (la cual dependerá del nivel de presión sonora y de la frecuencia). Por lo que deberemos diferenciar entre los decibelios (dB) y los decibelios tipo A (dB(A)).

*“El **decibelio** (dB) se define como veinte veces el logaritmo de la relación de la presión sonora referida al umbral auditivo*

$$L[dB] = 20 \log \frac{P}{P_0} = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad [38]$$

Siendo:

$L =$ Nivel acústico, en dB

$P_0 = 2 \cdot 10^{-4} \mu\text{bar}$

$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ ”

[...]

*Uno de los sistemas empleados para definir con un solo valor el nivel de presión acústica es el **decibelio A** [dB(A)]. Esta medida está basada en las curvas de Fletcher y Mounson sobre la sensibilidad del oído en función de la frecuencia. Se obtiene mediante la [...] curva de poderación A.*

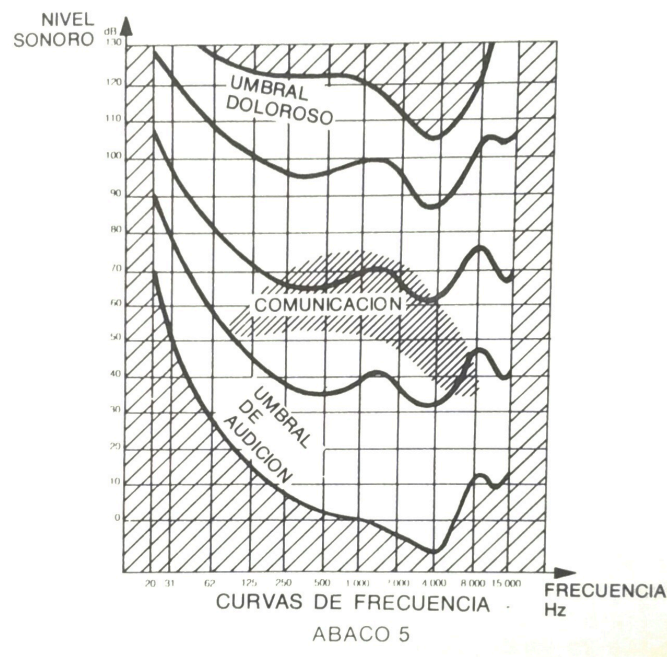
(ISOVER, 1985)

Las curvas de Fletcher y Mounson mencionadas anteriormente establecen una gráfica de los sonidos perceptibles por el oído humano, según la frecuencia y el nivel de presión sonora (que aparece en la gráfica 3 como nivel sonoro). Por debajo de la zona indicada como umbral de audición, el oído humano no es capaz de discernir sonido alguno. El área señalada como comunicación, refleja donde los sonidos se reciben cómodamente, sin necesidad de esfuerzo, ni daños en el oído. Por último, el umbral doloroso es el punto que una vez alcanzado daña

los oídos produciéndose, como su propio nombre indica, dolor; la OMS sitúa el límite del umbral del dolor en 120 dB(A).

Tal como observamos en esta gráfica, a pesar de que un sonido tenga un mismo nivel de presión sonora (dB) el oído humano lo percibirá de forma diferente en función de su frecuencia (Hz). Debido a esto, para poder apreciar dos sonidos a un mismo volumen (dicho de otro modo, nivel de ruido (dB(A)), encontrándose sus frecuencias en puntos opuestos en la gráfica, deberemos aumentar o disminuir la intensidad del nivel de presión sonora.

Cabe mencionar, que las curvas Fletcher y Mounson, que también son denominadas isofónicas, únicamente tienen en cuenta los sonidos directos, no los indirectos.



Gráfica 3. Curvas Fletcher Mounson.

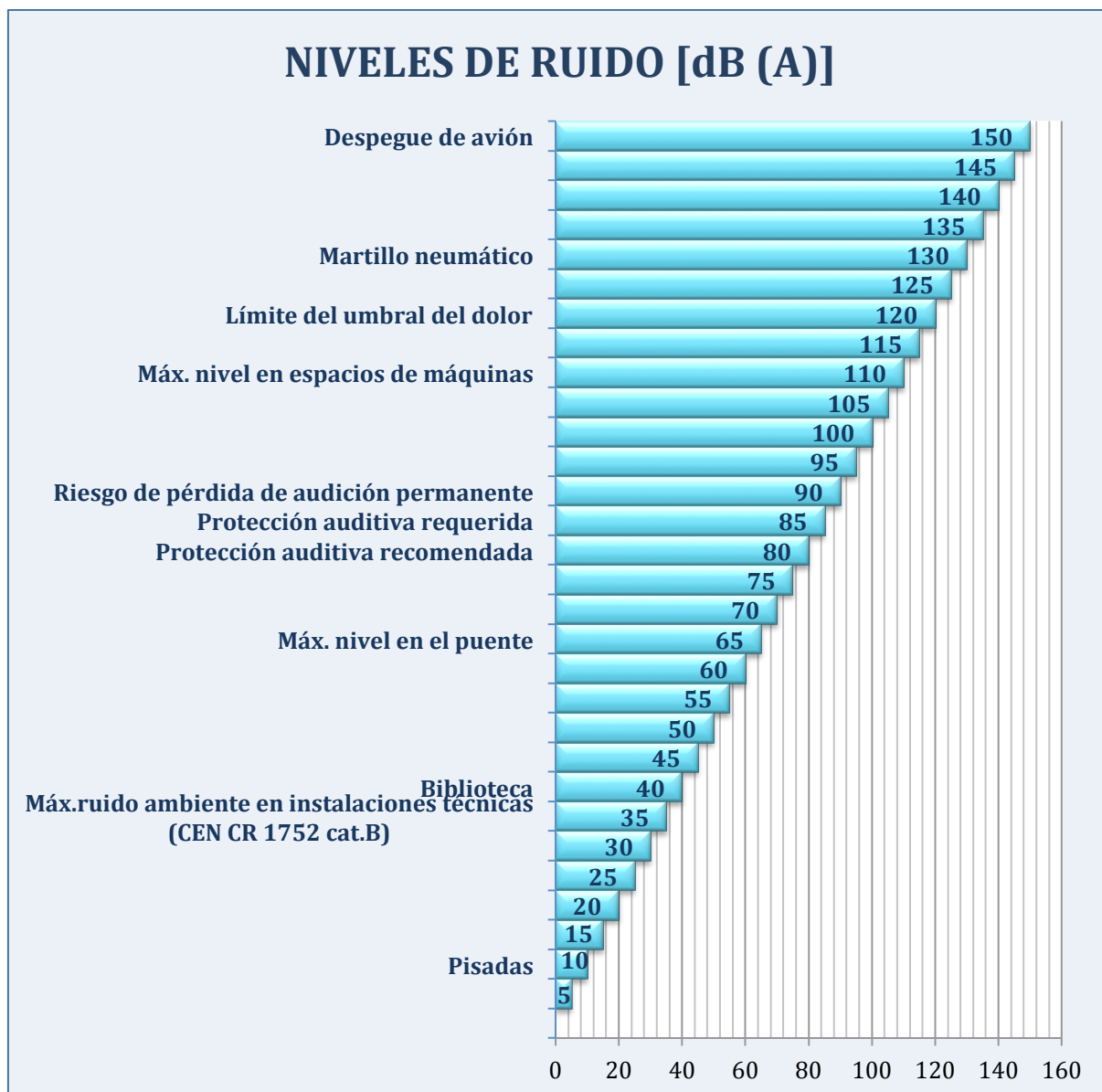
ISOVER. (1985). *Manual del aislamiento*. Madrid.

Por este motivo, surge la necesidad de establecer una unidad de medida que represente la percepción auditiva humana. Los decibelios tipo A serán la medida a emplear para determinar la sensibilidad del oído humano frente a un sonido, es decir, para medir el nivel de ruido.

En definitiva, la energía total del sonido (presión sonora) se medirá mediante decibelios y la sensibilidad humana a dicho sonido (nivel de ruido) mediante decibelios tipo A.

Respecto a ésta última unidad de nivel de ruido, los decibelios A, en la *Gráfica 4* se muestra una comparativa de las exposiciones a diferentes niveles de ruido. No sólo aparecen algunos datos referentes al buque (siendo más relevantes para nuestro estudio), sino también otros sonidos que nos faciliten la comprensión de las implicaciones de hallarnos expuestos a estos niveles de ruido.

En el apartado 3.2.4. *NORMATIVA ACÚSTICA EN BUQUES* se exponen los niveles máximos permitidos en los diferentes espacios del buque, aunque aquí se muestren algunos de ellos (como el máximo nivel de ruido permitido en las instalaciones de máquinas o en el puente).



Gráfica 4. Niveles de ruido [dB(A)].

Sin embargo, tal como podemos observar en la Gráfica 5, no todos los sonidos son audibles por el oído humano, dependiendo de su frecuencia, tal como se observa en la siguiente clasificación:



Gráfica 5. Sonido según su frecuencia.

3.2.1.6. TIPOS DE RUIDO SEGÚN EL MEDIO DE TRANSMISIÓN

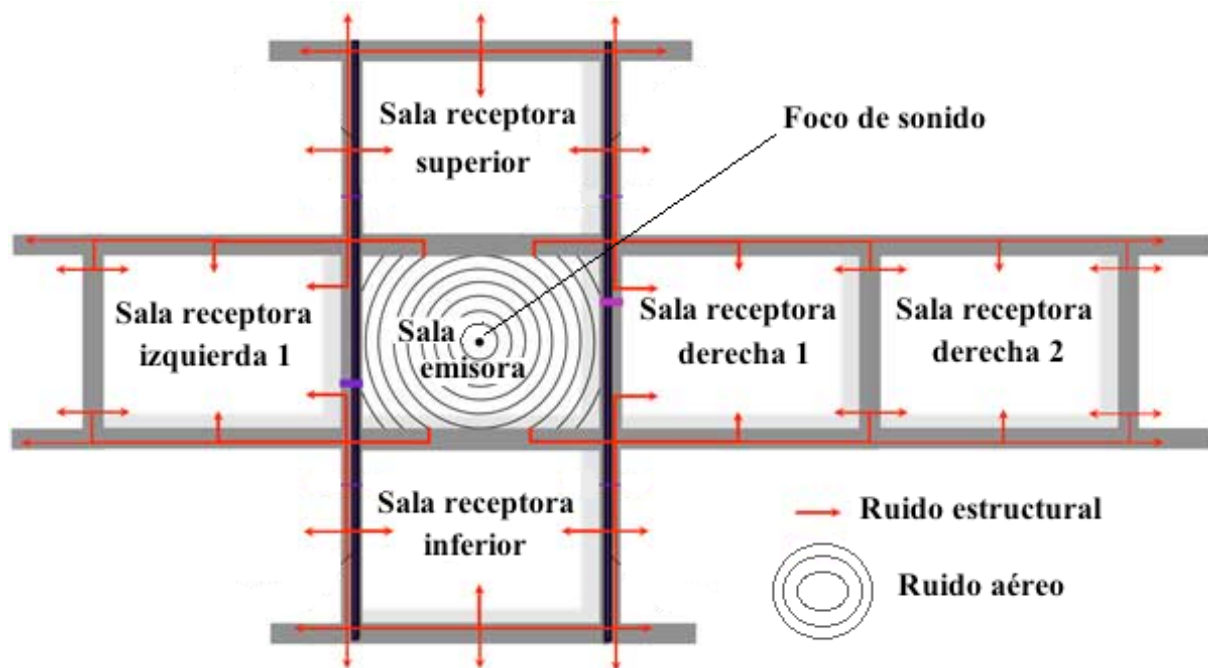


Imagen 9. Tipo de ruido según el medio de transmisión.

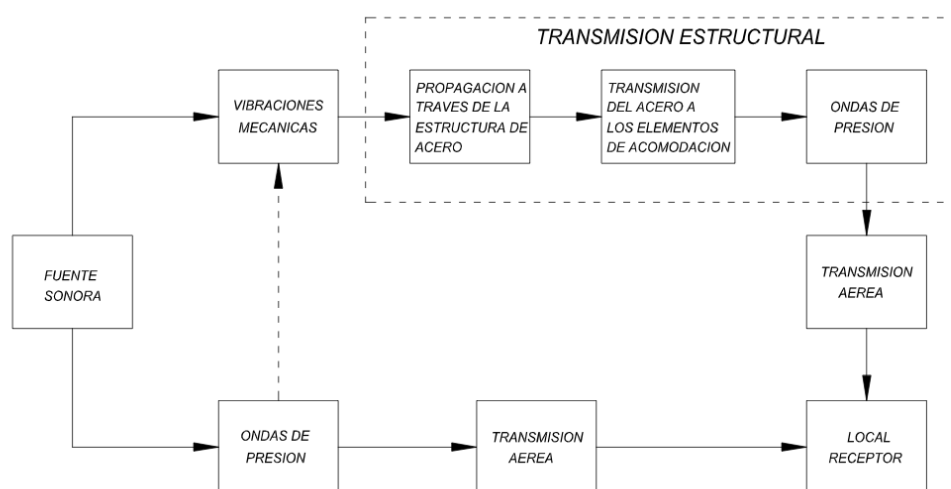


Imagen 10. Transmisión del sonido desde la fuente.

Villarroel Concha, C. (1999). *Tesis Consideraciones en la determinación de materiales para aislar ruidos en buques de turismo*

3.2.1.6.1. RUIDO AÉREO

El ruido aéreo es el tipo de ruido que se da cuando las ondas sonoras se propagan desde el foco de sonido, siendo el medio de transmisión el aire. El ruido hace que las partículas que forman el aire se vean perturbadas por las ondas sonoras, transmitiéndose el sonido hasta alcanzar un obstáculo. La impedancia acústica del aire, hará que el nivel de ruido disminuya a medida que nos alejemos del foco de sonido. En la *Imagen 9* se muestra como se transmite este ruido.

La transmisión del ruido aéreo se expone con detalle en el apartado 3.2.2.1. *PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN ESPACIOS ABIERTOS*.

3.2.1.6.2. RUIDO ESTRUCTURAL

El ruido estructural, a diferencia del aéreo que se transmite a través de medios gaseosos, se propaga mediante elementos sólidos. Al alcanzar las ondas sonoras un obstáculo sólido, las partículas de éste vibran, propagándose las ondas a lo largo de toda la estructura. Dependiendo del coeficiente de absorción acústica de la estructura el sonido amortiguará en mayor o menor medida.

Normalmente, este ruido es generado por las vibraciones de la maquinaria fijada al suelo, pared o techo de la estancia. Desde el punto de fijación, se dirigirá por toda la estructura atenuándose a medida que se aleja del foco.

La propagación del ruido estructural consiste en vibraciones longitudinales elásticas de paredes no adyacentes y radiadas al recinto receptor por las paredes laterales al propagarse

por el espesor de éstas. Cualquier sonido originado por el medio aéreo puede provocar vibraciones en la estructura que pueden ser transmitidas a otros recintos no adyacentes al emisor, siendo éste uno de los problemas más difíciles de controlar. En la *Imagen 9* las líneas rojas indican como se transmite este ruido.

El ruido de impacto, es un tipo de ruido estructural, este se da como consecuencia de golpes o choques contra la estructura. El impacto sonoro es transmitido mediante la ésta al espacio contiguo. Un claro ejemplo de ruido de impacto se da cuando saltamos en una habitación y el ruido provocado por el salto se escucha en la estancia inferior (ver *Imagen 11*).

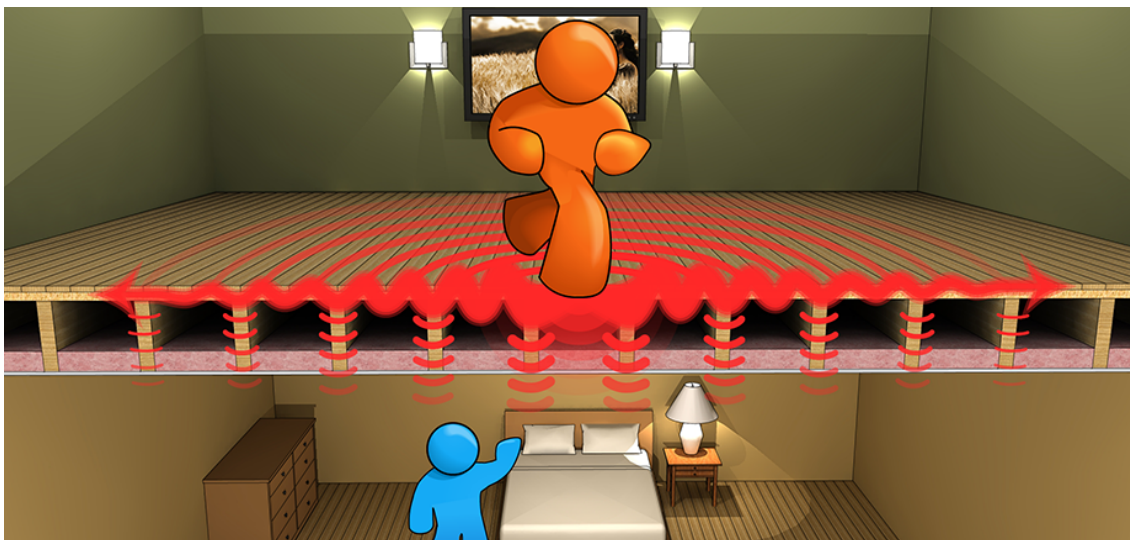


Imagen 11. Ruido de impacto.

Soundproofing company, Inc. (2006). How sound travels through a floor. Recuperado el 14 de mayo de 2018 de <http://www.soundproofingcompany.com/soundproofing101/how-sound-travels-through-a-floor/>

3.2.2. PROPAGACIÓN DEL SONIDO

3.2.2.1. PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN ESPACIOS ABIERTOS

Consideremos que en un espacio sin obstáculo alguno, sin superficies reflectantes, una fuente de sonido emite un sonido generando un campo sonoro. Conociendo la potencia sonora (L_W)

en la fuente de sonido, podemos obtener el nivel de presión sonora (L_p) siguiendo esta ecuación:

$$L_p = L_w + 10 \cdot \log\left(\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot r^2}\right) \quad [dB] \quad [39]$$

Tomando como ejemplo la *Imagen 12* calculamos el nivel de presión sonora a campo abierto para una distancia determinada (por ejemplo: 20m y 40m) respecto al centro del campo generado, es decir, en la fuente.

$$L_p (20m) = 60 + 10 \cdot \log\left(\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 20^2}\right) = 23 \text{ dB}$$

$$L_p (40m) = 60 + 10 \cdot \log\left(\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 40^2}\right) = 17 \text{ dB}$$

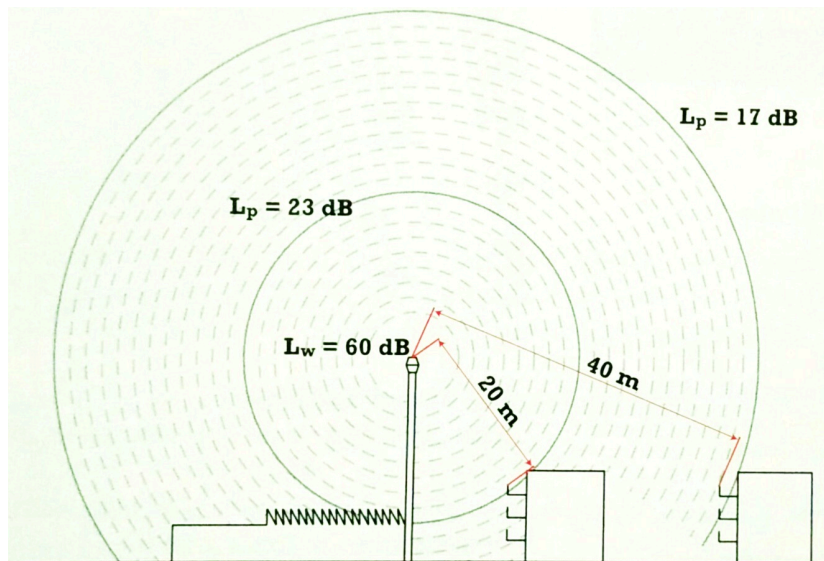


Imagen 12. Propagación del sonido sin obstáculos.

Rockwool International S.A. (2016). *Acoustic Manual - Marine & Offshore Insulation*. Dinamarca.

Partiendo de los resultados de dicho ejemplo, comprobamos que cuanto más nos alejemos de la fuente el nivel de presión sonora es menor. La disminución se da de forma proporcional, puesto que cada vez que se duplica la distancia se reduce en 6dB la presión sonora hasta desaparecer por completo.

$$L_p (20m) = 23 \text{ dB}$$

$$L_p (40m) = 17 \text{ dB}$$

$$L_p (80m) = 11 \text{ dB}$$

$$L_p (160m) = 5 \text{ dB}$$

3.2.2.2. PROPAGACIÓN DEL SONIDO A TRAVÉS DE UN OBSTÁCULO (PARED)

La propagación de un sonido a través de un obstáculo tiene características similares a la transmisión del calor por radiación (apartado 3.1.1.3. *TRANSMISIÓN POR RADIACIÓN*), tal y como podemos observar en la “*Imagen 6. Absorción de la radiación por un cuerpo*”, la división energética es similar a la de las ondas sonoras en la “*Imagen 13. Transmisión del sonido a través de un obstáculo*”.

Cuando las ondas sonoras inciden sobre un obstáculo, parte de la energía sonora será reflejada hacia el exterior, otra parte atravesará el obstáculo siendo transmitida y otra será absorbida por el obstáculo en si mismo.

En consecuencia la intensidad de las ondas incidentes será igual a la suma de las intensidades de las ondas reflejadas, absorbidas y transmitidas.

$$I_i = I_a + I_r + I_{tr} \quad [40]$$

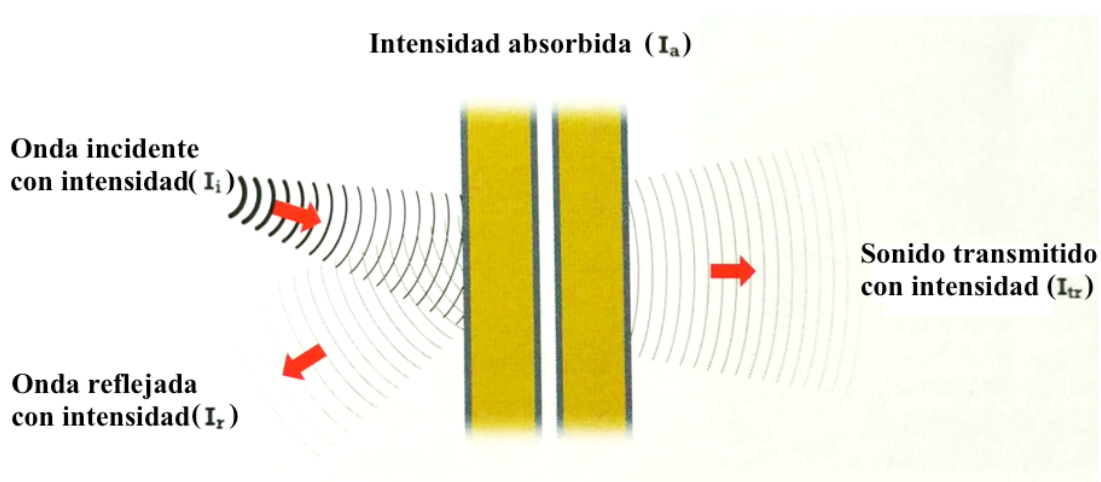


Imagen 13. Transmisión del sonido a través de un obstáculo.

Rockwool International S.A. (2016). *Acoustic Manual - Marine & Offshore Insulation*. Dinamarca.

El coeficiente de absorción (α) es la fracción de las ondas incidentes “atrapadas” por la superficie, mientras que el resto puede ser reflejada (r) e incluso transmitida (τ). Lógicamente, la suma de los coeficientes será la unidad:

$$\alpha + r + \tau = 1 \quad [41]$$

Teniendo en cuenta esto último, procedemos a obtener el coeficiente correspondiente a cada proceso, es decir, el coeficiente de absorción, el coeficiente de reflexión y el coeficiente de transmisión.

- **Coeficiente o factor de absorción del sonido**, se corresponde a la energía que se adentra en el obstáculo, siendo una parte de esta absorbida, y otra parte transmitida a través del mismo (normalmente su valor es tan pequeño que se desprecia este dato).

$$\alpha = \frac{I_a + I_{tr}}{I_i} = 1 - r^2 \quad [42]$$

Este coeficiente determina el grado de absorción, del cual depende la velocidad a la que se atenúa el sonido, por lo que a mayor absorción, más rápida resultará la atenuación del sonido.

Además, el factor de absorción se emplea para calcular el tiempo de reverberación, tal como se explica en el apartado 3.2.2.4. *TIEMPO DE REVERBERACIÓN*.

- **Coeficiente o factor de reflexión del sonido**, se corresponde a la energía que tras impactar con el obstáculo es reflejada por éste.

$$r = \frac{I_r}{I_i} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad [43]$$

Este coeficiente determina el grado de reflexión, es decir, la cantidad de ondas sonoras que rebotarán al encontrarse con el material, expandiendo el sonido en múltiples direcciones.

- **Coefficiente o factor de transmisión del sonido**, se corresponde a la energía que tras atravesar el obstáculo es transmitida.

$$\tau = \frac{I_{tr}}{I_i} = \frac{2 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad [44]$$

El coeficiente de transmisión se caracteriza por unos valores tan pequeños, que la intensidad sonora transmitida se expresa mediante el índice de reducción de sonido (R), también denominado pérdidas de transmisión (Transmission Loss (TL)).

$$R = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{\tau}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{I_i}{I_{tr}}\right) \quad [dB] \quad [45]$$

Siendo:

I_i → Intensidad incidente

I_a → Intensidad absorbida

I_r → Intensidad reflejada

I_{tr} → Intensidad transmitida

Z_1 → Impedancia del medio desde el que incide la onda

Z_2 → Impedancia del medio al que se transmite la onda

Como el índice de reducción de sonido (R) depende únicamente de la frecuencia, es difícil determinar el comportamiento de un material en todas las circunstancias con este dato. Por este motivo se ha establecido un índice ponderado denominado índice de reducción sonora ponderado o índice de reducción acústica compensado.

3.2.2.3. CÁLCULO DE LA PRESIÓN ACÚSTICA O SONORA

La presión acústica en una habitación dependerá de los obstáculos que encuentre en su camino, siendo diferentes si la fuente nace en una esquina de la misma, junto a una pared o sobre una superficie sin esta en contacto con la pared.

En una habitación con paredes y objetos reflectantes la presión sonora se propaga de igual modo que en los espacios abiertos, el sonido que procede de la fuente choca contra los obstáculos y rebota, en consecuencia las ondas sonoras se expanden en múltiples direcciones.

El nivel de la presión sonora en una habitación se calcula de la siguiente forma:

$$L_P = L_W + 10 \cdot \log \left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad [46]$$

Siendo:

$L_P \rightarrow$ Nivel sonoro

$L_W \rightarrow$ Nivel de potencia sonora en la fuente

$r \rightarrow$ Distancia desde la fuente hasta el punto a analizar

$R \rightarrow$ Constante de una habitación

$Q \rightarrow$ Constante que depende de la posición de la fuente del sonido respecto a los obstáculos

$Q=8$ (fuente del sonido en una esquina (punto de unión entre tres planos))

$Q=4$ (fuente del sonido junto a una pared (unión entre dos planos))

$Q=2$ (fuente del sonido sobre una superficie (sobre un plano))

$Q=1$ (fuente del sonido sin contacto con el obstáculo (en el aire))

La constante de una habitación (R) se calcula del siguiente modo:

$$R = \frac{A}{1 - \alpha_m} = \frac{S \cdot \alpha_m}{1 - \alpha_m} \quad [47]$$

Siendo:

$\alpha_m \rightarrow$ Coeficiente de absorción del sonido en el medio

$S \rightarrow$ Superficie de la habitación [m^3]

$A \rightarrow$ Área absorbente del espacio [m^2]

Sabiendo que el valor del sonido equivalente a la absorción del área es el producto del coeficiente de absorción del sonido en el medio (α_m) y la superficie de la habitación, deducimos el valor de α_m para poder introducirlo en la ecuación anterior.

$$A = S \cdot \alpha_m = S_1 \cdot \alpha_{m_1} + S_2 \cdot \alpha_{m_2} + \dots + S_n \cdot \alpha_{m_n}$$

$$\alpha_m = \frac{A}{S} \quad [48]$$

3.2.2.4. TIEMPO DE REVERBERACIÓN

La reverberación se define como el grado de permanencia de un sonido tras dejar de ser emitido por la fuente. En consecuencia, la reverberación de una habitación es mayor cuando el sonido permanece más tiempo sin atenuarse, esto significa que el recinto es menos absorbente.

El parámetro mediante el cual se determina la reverberación es el tiempo de reverberación (T_r), el cual es definido como el tiempo requerido por el sonido para reducirse en 60dB después de que la fuente del sonido deje de emitir. Existen diferentes formas de medir el tiempo de reverberación:

- **T₂₀**. Se calcula la caída desde -5dB hasta -25dB, este resultado se extrapola a una caída de 60dB.
- **T₃₀**. Se calcula la caída desde -5dB hasta -35dB, este resultado se extrapola a una caída de 60dB.
- **EDT (Early Decay Time)**. Se calcula mediante la caída de los 10dB iniciales, este resultado se extrapola a una caída de 60dB.

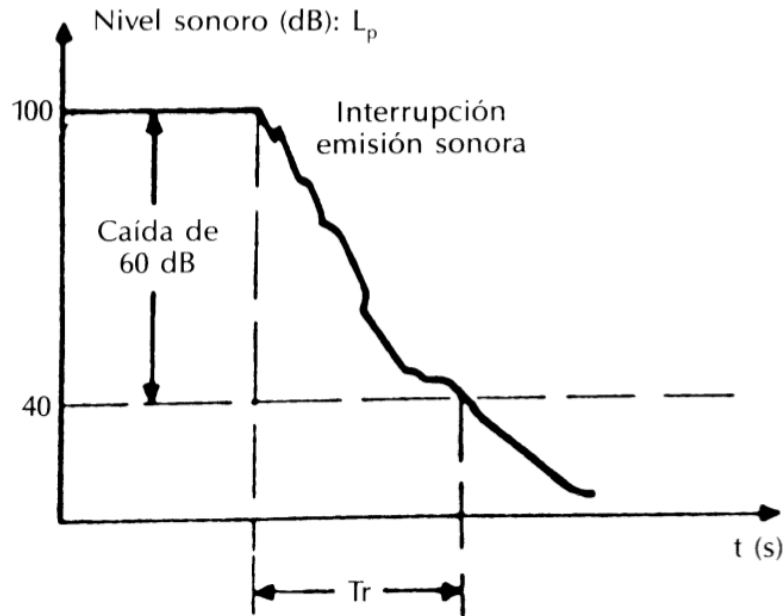


Imagen 14. Tiempo de reverberación.

ISOVER. (1985). *Manual del aislamiento*. Madrid.

El tiempo de reverberación para una habitación se calcula mediante la ecuación de reverberación de Sabine.

$$T_r = 0,161 \cdot \frac{V}{A} \quad [49]$$

Siendo:

V → Volumen del espacio [m³]

A → Área absorbente del espacio [m²]

Las regulaciones marinas no especifican los valores requeridos para el tiempo de reverberación. Sin embargo, este dato nos resultará de gran utilidad para otros cálculos.

La diferencia del nivel de presión sonora se obtiene a través del tiempo de reverberación. Esto resulta de utilidad para conocer la diferencia del nivel de presión sonora tras realizar el aislamiento acústico del espacio o cualquier otro tratamiento.

$$L_p = 10 \cdot \log\left(\frac{T_1}{T_2}\right) \quad [50]$$

Siendo:

L_p → Nivel de presión sonora

$T_1 \rightarrow$ Tiempo de reverberación antes del tratamiento [s]

$T_2 \rightarrow$ Tiempo de reverberación después del tratamiento [s]

3.2.3. EXPOSICIÓN A RUIDO: EFECTOS SOBRE LA SALUD

La exposición a niveles de ruido excesivos durante un tiempo prolongado puede tener efectos perjudiciales sobre la salud. Para controlar y limitar el nivel de ruido al que estén expuestos los trabajadores del mar se han creado las normativas que se exponen en el apartado 3.2.4. *NORMATIVA ACÚSTICA EN BUQUES*.

Para poder entender la exposición al ruido nos remitiremos a los valores establecidos por la OMS, OSALAN e INSHT. El nivel de ruido de confort en espacios abiertos propuesto por la OMS es de 55dB(A), que como veremos más adelante sólo será exigido un valor equivalente en los camarotes de la tripulación y en la sala de radio. El resto de espacios cumplirá con un requisito máximo de dB(A) superior.

Los niveles excesivos de ruido lesionan ciertas terminaciones nerviosas del oído, cuando el nivel de presión sonora equivalente diario ($L_{p\ eq. d}$) supera los 80dB(A) se producen daños reversibles. Si se alcanza los 90 dB(A) existe riesgo de sordera permanente. Cabe mencionar que el nivel de presión sonora equivalente diario de un puesto de trabajo es el nivel de ruido de una jornada laboral en promedio.

El límite del umbral del dolor está establecido por la OMS en 120 dB(A), no siendo permitido por la reglamentación alcanzar este nivel en ningún espacio del buque. La estancia en la que se admite el mayor nivel presión sonora es la sala de máquinas, donde está permitido alcanzar los 110 dB(A) como máximo.

Los efectos que pueden ocasionar sobre la salud son:

- Pérdida de audición
- Alteraciones respiratorias
- Alteraciones cardiovasculares

- Alteraciones digestivas
- Alteraciones visuales
- Trastornos del sueño
- Irritabilidad
- Cansancio
- Disminución del nivel de atención
- Aumento del tiempo de reacción

3.2.4. NORMATIVA ACÚSTICA EN BUQUES

La normativa referente a los límites de nivel de ruido en un buque dependerá tanto de la sociedad de clasificación como del país de abanderamiento. En general, los requisitos a cumplir suelen ser similares en las diferentes sociedades de clasificación.

En primer lugar, se expone la reglamentación acústica la establecida por IMO en la resolución A.468(XII)

Espacios de trabajo	dB(A) (máx. permitidos)
Espacios de máquinas (continuamente atendidos)	90
Espacios de máquinas (no atendidos continuamente)	110
Puesto de Control de máquinas	75
Taller	85
Espacios de trabajo no especificados	90

Tabla 2. Nivel de ruido máximo permitido en espacios de trabajo (IMO).

Espacios de navegación	dB(A) (máx. permitidos)
Puente de navegación y sala de cartas	65
Puesto de escucha, incluyendo ala del puente de navegación y ventanas	70
Sala de radio	60
Sala de radar	65

Tabla 3. Nivel de ruido máximo permitido en espacios de navegación (IMO).

Espacios de alojamiento	dB(A) (máx. permitidos)
Camarotes y hospitales	60
Comedores	65
Salas de recreo	65
Áreas de recreo abiertas	75
Oficinas	65

Tabla 4. Nivel de ruido máximo permitido en espacios de alojamiento (IMO).

Espacios de servicios	dB(A) (máx. permitidos)
Cocina (sin equipamiento de procesar comida)	75
Áreas de servicio y despensas	75

Tabla 5. Nivel de ruido máximo permitido en espacios de servicio (IMO).

Espacios habitualmente no ocupados	dB(A) (máx. permitidos)
Espacios no especificados	90

Tabla 6. Nivel de ruido máximo permitido en espacios habitualmente no ocupados (IMO).

Además de estas limitaciones, en los buques de pasaje existen otros requerimientos, los cuales a pesar de no venir definidos por la resolución de la IMO antes mencionada, se regularizan por las Sociedades de Clasificación.

Un ejemplo de esto sería “*Provisional Rules for Passenger and Crew Accommodation Comfort, January 2004*” de “*Lloyd’s Register Provisional Rules on Noise Comfort Class*” emitido por Lloyd’s Register. Los niveles de ruido máximos establecidos son los siguientes:

Nivel de ruido máx. en buques de pasaje [dB(A)]				
Localización		Numeración		
		1	2	3
Camarote de pasajeros	Standard	48	50	53
	Superior	45	47	50
Espacios públicos	Tiendas	55	57	60
	Varios	60	62	65
Áreas de recreo en cubierta abierta (excepto piscinas y similares)		67	72	72
Piscinas y similares		70	75	75

Tabla 7. Nivel de ruido máximo permitido en buques de pasaje (IMO).

Existiendo las siguientes excepciones:

- Se podrá superar el nivel de ruido máximo permitido en 1,5 dB(A) en caso de encontrarse a una distancia no superior a 3m de la entrada o salida de ventilación.
- Se podrá superar el nivel de ruido máximo permitido en 1,5 dB(A) en caso de encontrarse a una distancia no superior a 3m de la aspiración o descarga de la maquinaria en cubiertas abiertas.
- Se podrá superar el nivel de ruido máximo permitido en 2,3 dB(A) en los alojamientos situados sobre los propulsores, hasta tres cubiertas por encima de la cubierta de amarre.

Sin embargo, el buque sobre el que realizaremos el caso práctico se rige por la sociedad de clasificación de Det Norske Veritas (DNV). Por lo que la normativa en la que nos basaremos a la hora de realizar este trabajo será “*Comfort Class Notation DNV GL COMF-V(2)*”, la cual se expone a continuación.

De acuerdo con “*DNV Rules For Classification of Ships Part 6 Chapter 33 Comfort Class, January 2014*” el nivel de ruido máximo permitido se muestra en la *Tabla 8*.

Espacios	dB(A) (máx. permitidos)
Wheelhouse	60
Radio room	55
Crew cabins	55
Crew public spaces	60
Hospital	58
Offices	60
Machinery control rooms	70
Open deck recreation	73

Tabla 8. Nivel de ruido máximo permitido en “DNV Rules For Classification of Ships Part 6 Chapter 33 Comfort Class, January 2014”

El resto de espacios del buque se encuentran regulados tanto por “*DNV GL Comfort Class Notation*” como por “*IMO MSC 337(91) - Code on noise levels on board ships*”. Por lo que teniendo en cuenta ambas normativas, los espacios de trabajo, navegación, servicios y los normalmente no ocupadas no excederán los dB(A) que se indican a continuación.

NIVEL DE RUIDO PARA BUQUES desde 1600 GT hasta 10000GT	
Espacios de trabajo	dB(A) (máx. permitidos)
Machinery spaces	110
Workshops other than those forming part of machinery spaces	85
Non-specified work spaces (other work areas)	85

Tabla 9. Nivel de ruido máximo permitido en espacios de trabajo “IMO MSC 337(91) - Code on noise levels on board ships”.

En el caso de los espacios de trabajo, en los espacios para la maquinaria si el nivel sonoro máximo se supera mientras la maquinaria se encuentra en funcionamiento existe una excepción. La normativa “IMO MSC 337(91) - Code on noise levels on board ships” en el párrafo 1.3.6. se que determina que la estancia a estos espacios debe limitarse a periodos muy breves o no permitirse en absoluto, además el área se deberá señalar de acuerdo con la sección 7.4.

NIVEL DE RUIDO PARA BUQUES desde 1600 GT hasta 10000GT	
Espacios de navegación	dB(A) (máx. permitidos)
Look-out posts, incl. navigation bridge wings and windows	70
Radar rooms	65

Tabla 10. Nivel de ruido máximo permitido en espacios de navegación “IMO MSC 337(91) - Code on noise levels on board ships”.

NIVEL DE RUIDO PARA BUQUES desde 1600 GT hasta 10000GT	
Espacios de servicio	dB(A) (máx. permitidos)
Galleys, without food processing equipment operating	75
Serveries and pantries	75

Tabla 11. Nivel de ruido máximo permitido en espacios de servicio “IMO MSC 337(91) - Code on noise levels on board ships”.

NIVEL DE RUIDO PARA BUQUES desde 1600 GT hasta 10000GT	
Otros espacios	dB(A) (máx. permitidos)
Normally unoccupied spaces	90

Tabla 12. Nivel de ruido máximo permitido en otros espacios “IMO MSC 337(91) - Code on noise levels on board ships”.

Al no estar regulados por DNV todos los espacios incluidos en el buque, en lo que a los siguientes espacios se refiere, nos regiremos por las recomendaciones aportadas por el armador para los mismos.

Espacios	dB(A) (máx. permitidos)
Switchboard Room	85
Laundry	75
Linen	75
Stores	85
Luggage out	85
Luggage in	85
Scullery	75

Electrical Equipment	80
Wardrobe	75
Dry Room	75
Garbage Room	85
Mooring Room	80
IT / Server	70

Tabla 13. Nivel de ruido máximo permitido en espacios no regulados.

Otro aspecto a tener en consideración, es la regulación referente al ruido aéreo “ISO140/3” y “ISO 717/1”, en concreto la que se refiere al índice de reducción sonora mínimo requerido.

Ruido aéreo: índice de reducción sonora [dB(A)]		
Espacios...	...en contacto con	R_w mín
Mamparos en acomodaciones en general		35
Cubiertas en acomodaciones en general		40
Camarote	Camarote	40
Camarote	Cubierta abierta	45
	Salas de estar	
	Cocinas	
	Bodega	
	Salas de ocio	
	Sala de máquinas	

Tablas 14. Ruido aéreo: índice de reducción sonora “ISO140/3” y “ISO 717/1”.

Cabe mencionar, que durante el proceso de diseño del buque la sociedad de clasificación realizará un análisis de ruido y vibraciones. En función de los resultados del mismo, e establecerán recomendaciones estructurales y modificaciones a incorporar en el buque.

3.3. PROPAGACIÓN INCENDIOS

La principal finalidad del aislamiento contraincendios es contener el fuego, para lo cual es necesario atenernos al SOLAS (Capítulo II-2 Construcción-Prevención, detección y extinción de incendios), concretamente en la Regla 9: Contención del Incendio de dicho capítulo:

“La finalidad de la presente regla es que se pueda contener un incendio en el espacio de origen. Para ello se cumplirán las prescripciones funcionales siguientes:

- 1. el buque estará subdividido con contornos que ofrezcan resistencia estructural y térmica;*
- 2. el aislamiento térmico de los contornos será tal que proteja debidamente del riesgo de incendio que presenten ese espacio y los adyacentes; y*
- 3. se mantendrá la integridad al fuego de las divisiones en las aberturas y penetraciones.”*

3.3.1. TEORÍA DEL FUEGO

3.3.1.1. TETRAEDRO DE FUEGO

Los elementos necesarios para que se produzca la combustión, y en consecuencia el fuego que inicie el incendio se representan mediante el tetraedro de fuego.

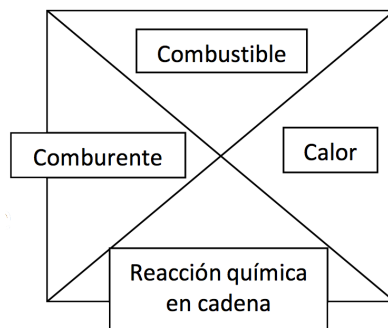


Imagen 15. Tetraedro de fuego.

Alcedo, I., & Moreno, J. (2014). *Apuntes de la asignatura Seguridad del Buque y Prevención de la Contaminación.*

- **Combustible.** Se define como combustible los elementos a arder (pueden ser sólidos líquidos o gaseosos) en presencia de un comburente mediante la aplicación de una energía de activación
 - **Sólidos**, los materiales en estado sólido, como la madera, al arder producen brasas
 - **Líquidos**, los materiales en estado líquido, como el fuel oil, pueden ser de dos tipos dependiendo de su temperatura de ignición. Se consideran líquidos inflamables aquellos cuya temperatura de ignición es inferior a 38°C y líquidos combustibles si es superior a dicha temperatura.
 - **Gaseosos**, se consideran dentro de esta categoría a aquellas sustancias que en condiciones normales, es decir, a 20°C y presión atmosférica, se encuentran en estado gaseoso, como butano o propano.

- **Comburente.** Éste es el encargado de oxidar el combustible favoreciendo la combustión. Las sustancias que actúan como comburente son:
 - Oxígeno (el aire contiene un 21%),
 - Sustancias químicas que desprenden oxígeno (NaNO₃, KClO₃)
 - Sustancias químicas que no necesitan oxígeno (el hidrogeno arde en atmósfera de cloro).
 - Nitrocelulosa contiene O₂ en su propia estructura

- **Energía de activación (calor)**, se define como la energía mínima que necesitan los reactivos para que se inicie una reacción, es decir, la temperatura crítica que se deberá alcanzar para que se produzca el fuego. Una simple chipa puede ser la energía detonante.

- **Reacción química en cadena**, se define como la serie de reacciones en cadena que deben darse para que se produzca el incendio.

El punto en el que se inicia el fuego se denomina foco, desde éste se propaga, calentándose los combustibles cercanos al foco hasta comenzar a arder, y así sucesivamente. El fuego se

propaga cuando la temperatura del incendio es alcanzada por las zonas adyacentes. Por este motivo, la transmisión de calor es determinante para la propagación del fuego (Véase el punto *3.1.1. FORMAS DE TRANSMISIÓN DE CALOR*), siendo los procesos de propagación:

- Conducción
- Radiación
- Corrientes de convección
- Combustión directa

En consecuencia, para evitar la propagación del fuego se puede rodear el fuego de cortinas de agua (técnica empleada en espacios grandes o locales abiertos), enfriando las superficies adyacentes como mamparos, cubiertas y techos o alejando los materiales combustibles de las zonas cercanas al incendio.

En espacios abiertos donde los gases pueden ascender sin obstáculos, el fuego se propaga a través del calor transferido desde dichos gases al material combustible adyacente.

3.3.1.2. PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN Y EFECTOS SOBRE LA SALUD

3.3.1.2.1. LLAMAS:

Los combustibles gaseosos y los líquidos, al igual que la mayoría de los materiales sólidos arden con llama. La temperatura alcanzada por las llamas oscila entre 1.600°C-2.000°C, dependiendo ésta del combustible e índice de oxígeno.

3.3.1.2.2. CALOR

El calor es la energía liberada en la combustión, como se ha explicado anteriormente es el principal responsable de la propagación del fuego. La exposición a temperaturas elevadas puede producir en las personas deshidratación, agotamiento, problemas respiratorios, quemaduras y incluso la muerte.

Cabe mencionar que el poder calorífico es la cantidad de calor emitida por un combustible por unidad de masa.

3.3.1.2.3. HUMO

El humo es un residuo gaseoso de la combustión que contiene partículas sólidas y líquidas en suspensión, su color y grado de opacidad dependerá de dichas partículas. La presencia de humo produce falta de visibilidad, además su inhalación causa molestias respiratorias e irritaciones sensoriales y pulmonares.

3.3.1.2.4. GASES

Los gases se forman como consecuencia de la reacción entre el oxígeno y los distintos elementos presentes en la materia combustible. Los gases más habituales y más tóxicos son el anhídrido de carbono y el monóxido de carbono. Respirar estos gases puede producir incapacidades físicas, como pérdida de coordinación o desorientación, llegando incluso al envenenamiento y la muerte.

3.3.1.3. CONCEPTOS Y DEFINICIONES

Combustión Súbita Generalizada (CSG) o flashover

La combustión Súbita generalizada comienza con la formación de una columna de gas, la cual comienza a ascender hasta el techo, de modo que queden confinados entre los mamparos. Llegado a este punto, comienzan a dispersarse hacia el exterior. En caso de continuar, la temperatura del aumentará, al igual que la temperatura de los gases que se encuentran en el techo. Una vez alcanzada una temperatura que oscile entre los 500°C y 650°C se producirá la

CSG, es decir, todos los materiales inflamables de ese área comenzarán a arder de forma simultánea.

Blackdraft

Cuando en una estancia falta oxígeno (u otro comburente) se acumularán gases, que pese superar su temperatura de ignición no han ardido. Por esto, al entrar aire en el compartimento, arderán estos gases produciéndose una explosión.

Temperatura de flash

Se denomina temperatura de flash a la temperatura mínima necesaria para que un combustible desprenda vapores que, al mezclarse con el comburente, originen una inflamación violenta de la mezcla.

Temperatura de encendido

Se denomina temperatura de encendido a la temperatura mínima para que una sustancia arda y sea capaz de mantenerse ardiendo sin necesidad de añadir calor exterior.

- Líquidos: 1 ó 2 grados más que la temperatura de flash
- Sólidos: temperatura algo más elevada que la de flash
- Gases: misma temperatura que la de flash

Temperatura de autoencendido

Se denomina temperatura de autoencendido a la menor temperatura a la cual un gas inflamable se enciende sin necesidad de llama o chispa.

Límite Inferior de Explosividad (LIE)

El límite inferior de explosividad es el porcentaje de vapor en aire por debajo del cual no es posible que ocurra una ignición debido a la insuficiente cantidad de combustible, es decir, es una mezcla demasiado pobre para arder.

Límite Superior De Explosividad (LSE):

El límite superior de explosividad es el porcentaje de vapor en aire por encima del cual no es posible que ocurra una ignición debido a la insuficiente cantidad de aire, es decir, es una mezcla demasiado rica para arder.

Rango de inflamabilidad o zona peligrosa

El rango de inflamabilidad se delimita por el LIE y el LSE, dentro de estos valores se produce la ignición. En caso de encontrarse por debajo o por encima del límite inferior de explosividad, no se producirá el fuego.

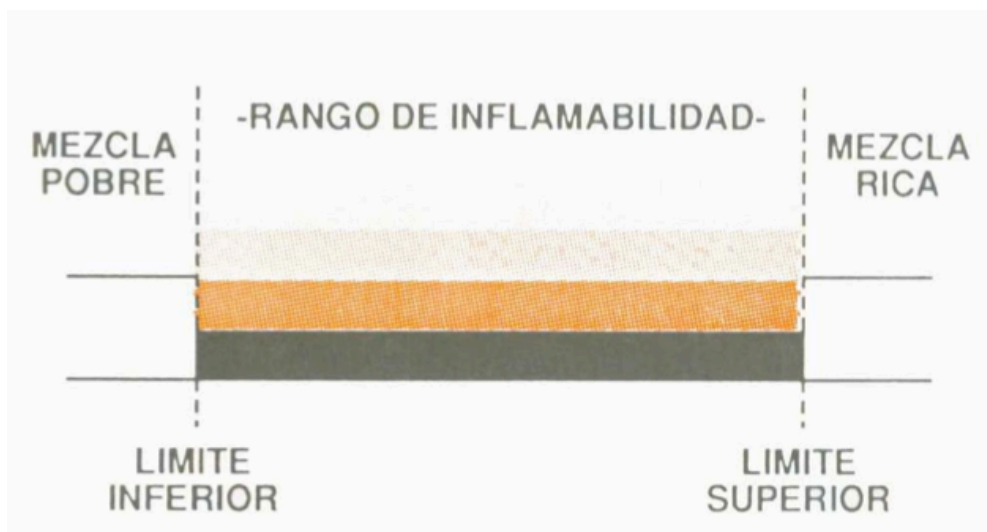


Imagen 16. Rango de inflamabilidad.

Alcedo, I., & Moreno, J. (2014). *Apuntes de la asignatura Seguridad del Buque y Prevención de la Contaminación.*

3.3.1.4. TIPOS DE FUEGO

Los fuegos se clasifican de acuerdo a las normativas descritas a continuación según su origen, es decir, las características de las sustancias que arden.

3.3.1.4.1. NORMA ISO 3941. EUROPA Y AUSTRALIA.

Siendo el país de abanderamiento del buque de nuestro caso práctico Dinamarca, la norma por la que se regirá para determinar el tipo de fuego será la europea, que diferencia las clases de fuego del siguiente modo:

“Clase A: fuegos con materiales sólidos, generalmente orgánicos. P.ej., tela, madera, papel, muebles, plásticos, cuerdas, etc. (EE.UU., NFPA, clase A)

Clase B: fuegos con líquidos inflamables o sólidos licuables. Estos pueden subdividirse en aquellos que se mezclan con agua (miscibles), como el alcohol, y aquellos que no son miscibles, como el petróleo, aceites, disolventes, ceras y pinturas. (EE.UU., NFPA, clase B)

Clase C: fuegos con gases o gases licuados. P. ej., metano, propano, butano, acetileno, etc. (EE:UU., NFPA, clase B)

Clase D: fuegos con metales o polvos metálicos. P. ej., aluminio, magnesio, sodio, acetileno, etc. (EE.UU. NFPA, clase D). Requieren agentes extintores especializados y formación en su uso.

***Fuego eléctrico:** la electricidad en sí misma no arde. El llamado fuego eléctrico pertenecerá a la clase A, B, C, D o F indicadas, con el riesgo adicional generado por la presencia de corriente eléctrica. Una vez que se hayan aislado los circuitos eléctricos en cuestión, el fuego se tratará como corresponde según su clase. (EE.UU., NFPA, clase C).*

Clase F: fuegos con aceites de cocción a altas temperaturas (más de 360oC) en cocinas de buques, cocinas industriales, restaurantes, etc. debido a sus altas temperaturas de autoinflamación son difíciles de apagar mediante los extintores convencionales, ya que estos no enfrían lo suficiente. (EE.UU., NFPA, clase K).”

(Alcedo & Moreno, 2014)

3.3.1.4.2. UNE 23.010.76. NORMATIVA ESPAÑOLA

En España, en cambio, la normativa que determina las clases de fuego difiere de la europea, aunque las denominaciones sean parecidas. A continuación se muestra el criterio de clasificación de la normativa española.

“Clase A: Los producidos por materias sólidas combustibles que arden con producción de llamas y brasas (madera, papel, carbón, fibras textiles. etc.). Fuegos secos.

Clase B: Los producidos por sustancias combustibles líquidas que se queman produciendo llamas y sólidos que se queman en estado líquido (fuel, gasolina, aceites, parafinas, grasas, etc.). Fuegos grasos.

Clase C: Son aquellos producidos por sustancias que arden en estado gaseoso y a presión (gases inflamables, metano, propano, butano, hidrógeno, etc.).

Clase D: Abarca los metales combustibles y aquellos compuestos químicos reactivos ligeros, estos no se pueden extinguir con los agentes y métodos normales (aluminio, magnesio y aleaciones, etc.).

Eléctricos: Son los producidos por instalaciones eléctricas o incendios de las clases A, B, C o D en presencia de equipos eléctricos con tensión.”

(Alcedo & Moreno, 2014)

3.3.2. NORMATIVA CONTRAINCENDIOS EN BUQUES

La compartimentación de los espacios se realizará según las siguientes categorías expuestas en el SOLAS (Capítulo II-2 Construcción-Prevención, detección y extinción de incendios, Parte A: Generalidades, Regla 3: Definiciones):

“Divisiones de clase “A”: las formadas por mamparos y cubiertas que satisfacen los criterios siguientes:

- 1. son de acero u otro material equivalente;*

2. *están convenientemente reforzadas;*
3. *están aisladas con materiales incombustibles aprobados, de manera que la temperatura media de la cara no expuesta no suba más de 140°C por encima de la temperatura inicial, y que la temperatura no suba en ningún punto, comprendida cualquier unión que pueda haber, más de 180°C por encima de la temperatura inicial en los intervalos de tiempo indicados a continuación:*

clase “A-60” 60 min

clase “A-30” 30 min

clase “A-15” 15 min

clase “A-0” 0 min

4. *están construidas de manera que puedan impedir el paso del humo y de las llamas hasta el final del ensayo normalizado de exposición al fuego de una hora de duración; y*
5. *la Administración exigió que se realizara una prueba con un prototipo de mamparo o cubierta de conformidad con lo dispuesto en el Código de Procedimientos de Ensayo de Exposición al Fuego para asegurarse de que satisface las prescripciones anteriores sobre integridad y aumento de la temperatura.*

[...]

Divisiones de clase “B”: las formadas por mamparos, cubiertas, cielos rasos o revestimientos que satisfacen los criterios siguientes:

1. *están construidas con materiales incombustibles aprobados y todos los materiales utilizados en su construcción y montaje son*
2. *tienen un valor de aislamiento tal que la temperatura media de la cara no expuesta no sube más de 140°C por encima de la temperatura inicial, y la temperatura no sube en ningún punto, comprendida cualquier unión que pueda haber, más de 225°C por encima de la temperatura inicial en los intervalos de tiempo indicados a continuación:*

clase “B-15” 15 min

clase “B-0” 0 min

3. *están construidas de manera que impidan el paso de las llamas hasta el final de la primera media hora del ensayo normalizado de exposición al fuego; y*

4. *la Administración exigió que se realizara una prueba con un prototipo de división de conformidad con lo dispuesto en el Código de Procedimientos de Ensayo de Exposición al Fuego para asegurarse de que satisface las prescripciones anteriores sobre integridad y aumento de la temperatura.*

[...]

Divisiones de clase “C”: las construidas con materiales incombustibles aprobados. No es necesario que satisfagan las prescripciones relativas al paso del humo y de las llamas ni las limitaciones relativas al aumento de la temperatura. Está autorizado el empleo de chapas combustibles a condición de que éstas satisfagan las prescripciones del presente capítulo.”

Siendo los materiales incombustibles definidos en el SOLAS (Capítulo II-2 Construcción-Prevención, detección y extinción de incendios, Parte A: Generalidades, Regla 3: Definiciones):

“Material incombustible: material que no arde ni desprende vapores inflamables en cantidad suficiente para experimentar la autoignición cuando se calienta a 750°C aproximadamente, lo cual se determinará de conformidad con lo dispuesto en el Código de Procedimientos de Ensayo de Exposición al Fuego.”

El SOLAS (Capítulo II-2 Construcción-Prevención, detección y extinción de incendios, Regla 9: Contención del incendio, 2. Resistencia estructural y térmica de los contornos) determina el tipo de división a emplear, según los criterios antes expuestos, en función de los espacios a aislar.

“2.2.3. Integridad al fuego de mamparos y cubiertas en buques que transporten más de 36 pasajeros

2.2.3.1. Al aplicar las tablas se observarán las prescripciones siguientes:

1. *La tabla 9.1 se aplicará a mamparos que no limiten zonas verticales principales ni zonas horizontales. La tabla 9.2 se aplicará a cubiertas que no formen bayonetas en zonas verticales principales ni limiten zonas horizontales.*

2. *Para determinar las normas adecuadas de integridad al fuego que se han de aplicar a los contornos entre espacios adyacentes, estos espacios se clasifican según su riesgo de incendio en las categorías (1) a (14) que se indican a continuación. Si por su contenido y por el uso a que se le destine hay dudas con respecto a la clasificación de un espacio determinado a efectos de la aplicación de la presente regla, o cuando sea posible asignar dos o más categorías a un espacio, tal espacio se considerará incluido en la categoría que tenga las prescripciones más rigurosas para los contornos. Los compartimentos cerrados más pequeños que se encuentren dentro de un espacio y cuyas aberturas de comunicación con dicho espacio sean inferiores al 30% se considerarán espacios separados. La integridad al fuego de los mamparos límite y las cubiertas de esos compartimentos más pequeños será la prescrita en las tablas 9.1 y 9.2. El título de cada categoría se debe considerar como representativo más que restrictivo. El número entre paréntesis que precede a cada categoría remite a la columna o línea aplicables de las tablas.*

(1) Puestos de control

Espacios en que se encuentran las fuentes de energía y de alumbrado de emergencia.

Caseta de gobierno y cuarto de derrota.

Espacios en que se encuentra el equipo radioeléctrico del buque.

Puestos de control de incendios.

Cámara de control de las máquinas propulsoras, si se halla situada fuera del espacio de máquinas.

Espacios en que está centralizado el equipo de alarma contra incendios.

Espacios en que están centralizados los puestos y el equipo del sistema megafónico de emergencia.

(2) Escaleras

Escaleras interiores, ascensores, vías de evacuación de emergencia totalmente cerradas y escaleras mecánicas (salvo que estén totalmente dentro de los espacios de máquinas) para uso de los pasajeros y de la tripulación, y los cerramientos correspondientes.

A este respecto, una escalera que esté cerrada solamente en un nivel se considerará parte del espacio del que no esté separada por una puerta contra incendios.

(3) *Pasillos*

Pasillos y vestíbulos para uso de los pasajeros y de la tripulación.

(4) *Puestos de evacuación y vías exteriores de evacuación*

Zona de estiba de las embarcaciones de supervivencia.

Espacios de la cubierta expuesta y zonas protegidas del paseo de cubierta que sirven como puesto de embarco y arriado de botes y balsas salvavidas.

Puestos de reunión interiores y exteriores.

Escaleras exteriores y cubiertas expuestas utilizadas como vías de evacuación.

El costado del buque hasta la flotación de navegación marítima con calado mínimo y los costados de la superestructura y las casetas que se encuentran por debajo de las zonas de embarco en balsas salvavidas y rampas de evacuación y adyacentes a ellas.

(5) *Espacios de la cubierta expuesta*

Espacios de la cubierta expuesta y zonas protegidas del paseo de cubierta en que no hay puestos de embarco y arriado de botes y balsas salvavidas.

Para ser consideradas en esta categoría, las zonas protegidas del paseo de cubierta no presentarán gran riesgo de incendio, es decir, que los enseres se limitarán al mobiliario de cubierta. Además, estos espacios estarán ventilados naturalmente mediante aberturas permanentes.

Espacios descubiertos (los situados fuera de las superestructuras y casetas).

(6) *Espacios de alojamiento con escaso riesgo de incendio*

Camarotes que contienen mobiliario y enseres cuyo riesgo de incendio es reducido.

Oficios y enfermerías que contienen mobiliario y enseres cuyo riesgo de incendio es reducido.

Espacios públicos que contienen mobiliario y enseres cuyo riesgo de incendio es reducido, con una superficie de cubierta inferior a 50 m².

(7) *Espacios de alojamiento con moderado riesgo de incendio*

Espacios como los clasificados en la categoría (6), pero con mobiliario y enseres cuyo riesgo de incendio no es reducido. Espacios públicos que contienen mobiliario y enseres cuyo riesgo de incendio es reducido, con una superficie de cubierta igual o superior a 50 m².

Taquillas aisladas y pequeños pañoles situados en los espacios de alojamiento con una superficie inferior a 4 m² (en los que no se almacenan líquidos inflamables).

Tiendas. Salas de proyecciones cinematográficas y pañoles de almacenamiento de películas. Cocinas sin llama descubierta.

Pañoles de artículos de limpieza (en los que no se almacenan líquidos inflamables).

Laboratorios (en los que no se almacenan líquidos inflamables).

Farmacias.

Pequeños cuartos de secado (con una superficie igual o inferior a 4 m²).

Cámaras de valores. Compartimientos de operaciones.

(8) Espacios de alojamiento con considerable riesgo de incendio

Espacios públicos que contienen mobiliario y enseres cuyo riesgo de incendio no es reducido, con una superficie de cubierta igual o superior a 50 m².

Peluquerías y salones de belleza.

Saunas.

(9) Espacios para fines sanitarios y similares

Instalaciones sanitarias comunes, duchas, baños, retretes, etc.

Pequeñas lavanderías. Zona de piscinas cubiertas.

Oficios aislados sin equipo para cocinar en espacios de alojamiento.

Las instalaciones sanitarias privadas se considerarán parte del espacio en que estén situadas.

(10) Tanques, espacios perdidos y espacios de maquinaria auxiliar con pequeño o nulo riesgo de incendio Tanques de agua que forman parte de la estructura del buque.

Espacios perdidos y coferdanes.

Espacios de maquinaria auxiliar en los que no hay maquinaria con sistemas de lubricación a presión y está prohibido el almacenamiento de materiales combustibles, tales como: compartimientos de ventilación y climatización; compartimiento del molinete; compartimiento del aparato de gobierno; compartimiento del equipo estabilizador; compartimiento del motor eléctrico de propulsión; compartimientos con cuadros eléctricos de distribución y equipo exclusivamente eléctrico, salvo transformadores eléctricos con aceite (de más de 10 kVA); túneles de ejes y de tuberías; y cámaras de bombas y de maquinaria de refrigeración (que no manipulen o contengan líquidos inflamables).

Troncos cerrados que dan a los espacios que se acaban de enumerar.

Otros troncos cerrados, tales como los de tuberías y cables.

- (11) *Espacios de maquinaria auxiliar, espacios de carga, tanques de carga o para otros fines que contienen hidrocarburos y otros espacios similares con moderado riesgo de incendio.*

Tanques de carga de hidrocarburos. Bodegas de carga, troncos de acceso y escotillas. Cámaras refrigeradas.

Tanques de combustible líquido (si están instalados en espacios aislados en los que no hay maquinaria).

Túneles de ejes y de tuberías en que se pueden almacenar materiales combustibles.

Espacios de maquinaria auxiliar, como los indicados en la categoría (10), en los que hay maquinaria con sistemas de lubricación a presión o en los que se permite almacenar materiales combustibles.

Puestos de aprovisionamiento de combustible líquido.

Espacios que contienen transformadores eléctricos con aceite (de más de 10 kVA).

Espacios que contienen generadores auxiliares accionados por turbinas y máquinas alternativas de vapor, y pequeños motores de combustión interna con una potencia de hasta 110 kW que accionan generadores, bombas para rociadores y grifos de aspersion, bombas contraincendios, bombas de sentina, etc.

Troncos cerrados que dan a los espacios que se acaban de enumerar.

(12) *Espacios de máquinas y cocinas principales*

Cámaras de las máquinas propulsoras principales (distintas de las cámaras de los motores eléctricos de propulsión) y cámaras de calderas.

Espacios de maquinaria auxiliar no incluidos en las categorías (10) y (11) que contienen motores de combustión interna u otros dispositivos quemadores, calentadores o de bombeo de combustible.

Cocinas principales y anexos.

Troncos y guardacalores de los espacios que se acaban de enumerar.

(13) *Gambuzas o pañoles, talleres, oficios, etc.*

Oficios principales separados de las cocinas.

Lavandería principal.

Cuartos de secado grandes (con una superficie superior a 4 m²).

Gambuzas o pañoles diversos. Carterías y pañoles de equipajes. Pañoles de basuras.

Talleres (que no forman parte de los espacios de máquinas, cocinas, etc.).

Taquillas y pañoles cuya superficie es superior a 4 m², distintos de los espacios previstos para el almacenamiento de líquidos inflamables.

(14) *Otros espacios en que se almacenan líquidos inflamables.*

Pañoles de pinturas.

Pañoles de pinturas.

Pañoles de pertrechos que contienen líquidos inflamables (incluidos colorantes, medicamentos, etc.).

Laboratorios (en los que se almacenan líquidos inflamables).

3. *Cuando se indique un valor único para la integridad al fuego de un contorno situado entre dos espacios, este valor será aplicable en todos los casos.*
4. *No obstante lo dispuesto en el párrafo 2.2.2, no hay prescripciones especiales respecto al material o la integridad de los contornos cuando en las tablas solamente aparece un guión.*
5. *Por lo que respecta a los espacios de categoría (5), la Administración determinará si los valores de aislamiento de la tabla 9.1 serán aplicables a los extremos de las casetas y superestructuras y si los de la tabla 9.2 serán aplicables a las cubiertas de intemperie. Las prescripciones relativas a la categoría (5) que figuran en las tablas*

9.1 ó 9.2 no obligarán en ningún caso a cerrar los espacios que a juicio de la Administración no necesiten estar cerrados

[...]

2.2.4. Integridad al fuego de mamparos y cubiertas en buques que no transporten más de 36 pasajeros

2.2.4.1. Todos los mamparos y cubiertas, además de cumplir las disposiciones específicas de integridad al fuego, tendrán la integridad mínima al fuego prescrita en las tablas 9.3 y 9.4.

2.2.4.2. Al aplicar las tablas se observarán las prescripciones siguientes:

- 1. Las tablas 9.3 y 9.4 se aplicarán, respectivamente, a los mamparos y cubiertas que separen espacios adyacentes.*
- 2. Para determinar las normas adecuadas de integridad al fuego que se han de aplicar a las divisiones entre espacios adyacentes, estos espacios se clasifican según su riesgo de incendio en las categorías (1) a (11) que se indican a continuación. Si por su contenido y por el uso a que se le destine hay dudas con respecto a la clasificación de un espacio determinado a efectos de la aplicación de la presente regla, o cuando sea posible asignar dos o más categorías a un espacio, tal espacio se considerará incluido en la categoría que tenga las prescripciones más rigurosas para los contornos. Los compartimientos cerrados más pequeños que se encuentren dentro de un espacio y cuyas aberturas de comunicación con dicho espacio sean inferiores al 30% se considerarán espacios separados. La integridad al fuego de los mamparos límite y las cubiertas de tales compartimientos más pequeños será la prescrita en las tablas 9.3 y 9.4. El título de cada categoría se debe considerar como representativo más que restrictivo. El número entre paréntesis que precede a cada categoría remite a la columna o línea aplicables de las tablas.*

(1) Puestos de control

Espacios en que se encuentran las fuentes de energía y de alumbrado de emergencia. Caseta de gobierno y cuarto de derrota. Espacios en que se encuentra el equipo radioeléctrico del buque.

Puestos de control de incendios.

Cámara de control de las máquinas propulsoras, si se halla situada fuera del espacio de máquinas.

Espacios en que está centralizado el equipo de alarma contra incendios.

(2) Pasillos

Pasillos y vestíbulos para uso de los pasajeros y de la tripulación.

(3) *Espacios de alojamiento*

Espacios definidos en la regla 3.1, excluidos los pasillos.

(4) *Escaleras*

Escaleras interiores, ascensores, vías de evacuación de emergencia totalmente cerradas y escaleras mecánicas (salvo que estén totalmente dentro de los espacios de máquinas), y los cerramientos correspondientes.

A este respecto, una escalera que esté cerrada solamente en un nivel se considerará parte del espacio del que no esté separada por una puerta contra incendios.

(5) *Espacios de servicio (riesgo limitado)*

Armarios y pañoles que no están previstos para el almacenamiento de líquidos inflamables y que tienen una superficie inferior a 4 m², y cuartos de secado y lavanderías.

(6) *Espacios de categoría A para máquinas*

Espacios definidos en la regla 3.31.

(7) *Otros espacios de máquinas*

Espacios en que se encuentra el equipo eléctrico (central telefónica automática, espacios de los conductos del aire acondicionado).

Espacios definidos en la regla 3.30, excluidos los espacios de categoría A para máquinas.

(8) *Espacios de carga*

Todos los espacios destinados a contener carga (incluidos los tanques de carga de hidrocarburos) que no sean espacios de categoría especial, y los troncos y las escotillas de acceso a los mismos.

(9) *Espacios de servicio (riesgo elevado)*

Cocinas, oficios equipados para cocinar, pañoles de pintura, armarios y pañoles con una superficie igual o superior a 4 m², espacios para el almacenamiento de líquidos inflamables, saunas y talleres que no forman parte de los espacios de máquinas.

(10) *Cubiertas expuestas*

Espacios de la cubierta expuesta y zonas protegidas del paseo de cubierta con un riesgo de incendio pequeño o nulo. Las zonas protegidas del paseo de cubierta no deben presentar un gran riesgo de incendio, es decir, que los enseres se limitarán al mobiliario de cubierta. Además, estos espacios estarán ventilados naturalmente mediante aberturas permanentes. Espacios descubiertos (los situados fuera de las superestructuras y casetas).

(11) *Espacios de categoría especial y espacios de carga rodada*

Espacios definidos en las reglas 3.41 y 3.46.

3. *Al determinar la norma de integridad al fuego aplicable a un contorno situado entre dos espacios que estén dentro de una zona vertical principal u horizontal no protegida por un sistema automático de rociadores que cumpla lo dispuesto en el Código de Sistemas de Seguridad contra Incendios, o entre dos de esas zonas que no esté ninguna protegida por tal sistema, se aplicará el mayor de los dos valores dados en las tablas.*
4. *Al determinar la norma de integridad al fuego aplicable a un contorno situado entre dos espacios que estén dentro de una zona vertical principal u horizontal protegida por un sistema automático de rociadores que cumpla lo dispuesto en el Código de Sistemas de Seguridad contra Incendios, o entre dos de esas zonas que estén protegidas por tal sistema, se aplicará el menor de los dos valores dados en las tablas. Cuando en el interior de un espacio de alojamiento o de servicio una zona protegida por un sistema de rociadores sea adyacente a otra no protegida, a la división entre ellas se le aplicará el mayor de los dos valores dados en las tablas.*

2.2.5. Protección de escaleras y ascensores en las zonas de alojamiento

2.2.5.1. Todas las escaleras estarán instaladas en el interior de troncos contruidos con divisiones de clase "A" y tendrán medios eficaces de cierre en todas las aberturas, salvo que:

1. *una escalera que comunique solamente dos cubiertas podrá no estar cerrada, a condición de que se mantenga la integridad de la cubierta mediante mamparos adecuados o puertas de cierre automático en uno de los entrepuentes. Cuando una escalera esté cerrada solamente en un entrepuente, el tronco que la encierre estará protegido de conformidad con lo establecido en las tablas para cubiertas que figuran en los párrafos 2.2.3 ó 2.2.4; y*

2. *se podrán instalar escaleras sin cerramiento en un espacio público, siempre que tales escaleras se encuentren por completo dentro de dicho espacio.*

2.2.5.2. *Los troncos de ascensor estarán instalados de manera que impidan el paso del humo y de las llamas de un entrepuente a otro y tendrán dispositivos de cierre que permitan controlar el tiro y el paso del humo. La maquinaria de los ascensores que se hallen dentro de troncos de escalera estará situada en un compartimiento separado, rodeado de contornos de acero, con la salvedad de que se permite una pequeña perforación para el paso de los cables. Los ascensores que se abran en espacios que no sean pasillos, espacios públicos, espacios de categoría especial, escaleras y zonas exteriores no se abrirán en escaleras que formen parte de las vías de evacuación.*

2.3. *Buques de carga excepto buques tanque*

2.3.1. *Métodos de protección en las zonas de alojamiento*

2.3.1.1. *En los espacios de alojamiento y de servicio y en los puestos de control se adoptará uno de los métodos de protección indicados a continuación:*

1. *Método IC – Construcción de los mamparos de compartimentado interior con materiales incombustibles correspondientes a divisiones de clase “B” o “C”, sin que se instale en general un sistema automático de rociadores, detección de incendios y alarma contraincendios en los espacios de alojamiento o de servicio, salvo cuando lo estipule la regla 7.5.5.1; o*
2. *Método IIC – Instalación de un sistema automático de rociadores, detección de incendios y alarma contraincendios según estipula la regla 7.5.5.2 para detectar y extinguir un incendio en todos los espacios en que pueda producirse, sin restricciones en general en cuanto al tipo de mamparos de compartimentado interior; o*
3. *Método IIIC – Instalación de un sistema fijo de detección de incendios y alarma contraincendios según estipula la regla 7.5.5.3 en los espacios en que pueda producirse un incendio, sin restricciones en general en cuanto al tipo de mamparos de compartimentado interior, si bien la superficie de cualquier espacio o grupo de espacios de alojamiento limitado por divisiones de clases “A” o “B” no excederá en ningún caso de 50 m². La Administración podrá considerar la posibilidad de aumentar esa superficie para los espacios públicos.*

2.3.1.2 *Las prescripciones relativas a la utilización de materiales incombustibles en la construcción y el aislamiento de los mamparos límite de espacios de máquinas, puestos de*

control, espacios de servicio, etc., y a la protección de troncos de escalera y pasillos serán comunes a los tres métodos expuestos en el párrafo 2.3.1.1.

2.3.2. Mamparos situados dentro de las zonas de alojamiento

2.3.2.1. Los mamparos que hayan de ser necesariamente divisiones de clase “B” se extenderán de cubierta a cubierta y hasta el forro exterior u otros contornos. No obstante, cuando se instale un cielo raso o revestimiento continuo de clase “B” a ambos lados del mamparo, éste podrá terminar en el cielo raso o revestimiento continuo.

2.3.2.2. Método IC – Los mamparos de los buques de carga que de acuerdo con esta u otras reglas no hayan de ser necesariamente divisiones de clase “A” o “B” serán al menos de clase “C”.

2.3.2.3. Método IIC – La construcción de los mamparos de los buques de carga que de acuerdo con esta u otras reglas no hayan de ser necesariamente divisiones de clase “A” o “B” no estará sujeta a ninguna restricción, salvo en los casos concretos en que se exijan mamparos de clase “C” de conformidad con la tabla 9.5.

2.3.2.4 Método IIIC – La construcción de los mamparos de los buques de carga que no hayan de ser necesariamente divisiones de clase “A” o “B” no estará sujeta a ninguna restricción, a condición de que la superficie del espacio o grupo de espacios de alojamiento limitado por una división continua de clase “A” o “B” no exceda en ningún caso de 50 m², salvo en los casos concretos en que se exijan mamparos de clase “C” de conformidad con la tabla 9.5. La Administración podrá considerar la posibilidad de aumentar esa superficie para los espacios públicos.

2.3.3. Integridad al fuego de mamparos y cubiertas

2.3.3.1. Los mamparos y cubiertas, además de cumplir las disposiciones específicas de integridad al fuego para buques de carga, tendrán la integridad mínima al fuego prescrita en las tablas 9.5 y 9.6.

2.3.3.2. Al aplicar las tablas se observarán las prescripciones siguientes:

- 1. Las tablas 9.5 y 9.6 se aplicarán respectivamente a los mamparos y las cubiertas que separen espacios adyacentes.*
- 2. Para determinar las normas adecuadas de integridad al fuego que se han de aplicar a las divisiones entre espacios adyacentes, tales espacios se clasifican según su riesgo de incendio en las categorías (I) a (II) que se indican a continuación. Si por su contenido y por el uso a que se le destine hay dudas con respecto a la clasificación de un espacio*

determinado a efectos de la aplicación de la presente regla, o cuando sea posible asignar dos o más categorías a un espacio, tal espacio se considerará incluido en la categoría que tenga las prescripciones más rigurosas para los contornos. Los compartimentos cerrados más pequeños que se encuentren dentro de un espacio y cuyas aberturas de comunicación con dicho espacio sean inferiores al 30% se considerarán espacios separados. La integridad al fuego de los mamparos límite y las cubiertas de tales compartimentos más pequeños será la prescrita en las tablas 9.5 y 9.6. El título de cada categoría se debe considerar como representativo más que restrictivo. El número entre paréntesis que precede a cada categoría remite a la columna o línea aplicables de las tablas;

(1) Puestos de control

Espacios en que se encuentran las fuentes de energía y de alumbrado de emergencia.

Caseta de gobierno y cuarto de derrota.

Espacios en que se encuentra el equipo radioeléctrico del buque.

Puestos de control de incendios.

Cámara de control de las máquinas propulsoras, si se halla situada fuera del espacio de máquinas.

Espacios en que está centralizado el equipo de alarma contraincendios.

(2) Pasillos

Pasillos y vestíbulos.

(3) Espacios de alojamiento

Espacios definidos en la regla 3.1, excluidos los pasillos.

(4) Escaleras

Escaleras interiores, ascensores, vías de evacuación de emergencia totalmente cerradas y escaleras mecánicas (salvo que estén totalmente dentro de los espacios de máquinas), y los cerramientos correspondientes.

A este respecto, una escalera que esté cerrada solamente en un nivel se considerará parte del espacio del que no esté separada por una puerta contra incendios.

(5) Espacios de servicio (riesgo limitado)

Armarios y paños que no están previstos para el almacenamiento de líquidos inflamables y que tienen una superficie inferior a 4 m², y cuartos de secado y lavanderías.

(6) Espacios de categoría A para máquinas

Espacios definidos en la regla 3.31.

(7) Otros espacios de máquinas

Espacios en que se encuentra el equipo eléctrico (central telefónica automática, espacios de los conductos del aire acondicionado).

(8) Espacios de carga

Todos los espacios destinados a contener carga (incluidos los tanques de carga de hidrocarburos) y los troncos y las escotillas de acceso a los mismos.

(9) Espacios de servicio (riesgo elevado)

Cocinas, oficinas equipados para cocinar, saunas, paños de pintura, armarios y paños con una superficie igual o superior a 4 m², espacios para el almacenamiento de líquidos inflamables y talleres que no forman parte de los espacios de máquinas.

(10) Cubiertas expuestas

Espacios de la cubierta expuesta y zonas protegidas del paseo de cubierta con un riesgo de incendio pequeño o nulo. Para ser consideradas de esta categoría, las zonas protegidas del paseo de cubierta no deben presentar un gran riesgo de incendio, es decir, que los enseres se limitarán al mobiliario de cubierta. Además, estos espacios estarán ventilados naturalmente mediante aberturas permanentes.

Espacios descubiertos (los situados fuera de las superestructuras y casetas).

(11) Espacios de carga rodada y espacios para vehículos

Espacios de carga rodada definidos en la regla 3.41.

Espacios para vehículos definidos en la regla 3.49.

2.3.3.3. Se podrá aceptar que los cielos rasos o revestimientos continuos de clase “B”, junto con las cubiertas o los mamparos correspondientes, contribuyan total o parcialmente al aislamiento y la integridad prescritos para una división.

2.3.3.4. En los contornos exteriores que tengan que ser de acero u otro material equivalente de conformidad con lo dispuesto en la regla 11.2, se podrán practicar aberturas para instalar ventanas o portillos, a condición de que no haya ninguna prescripción que estipule que en los buques de carga tales contornos deban tener una integridad de clase “A”. De igual modo, en los contornos de este tipo que no deban tener una integridad de clase “A”, las puertas podrán ser de materiales que sean satisfactorios a juicio de la Administración.

2.3.3.5. Las saunas cumplirán lo dispuesto en el párrafo 2.2.3.4.

2.2.3.4. Protección de los troncos de escaleras y ascensores en los espacios de alojamiento, espacios de servicio y puestos de control

2.3.4.1. Las escaleras que sólo atraviesen una cubierta estarán protegidas por lo menos a un nivel por divisiones de clase “B-0” y puertas de cierre automático como mínimo. Los ascensores que sólo atraviesen una cubierta estarán rodeados de divisiones de clase “A-0”, con puertas de acero en los dos niveles. Los troncos de escaleras y ascensores que atraviesen más de una cubierta estarán rodeados de divisiones que al menos sean de clase “A-0” y protegidos por puertas de cierre automático en todos los niveles.

2.3.4.2. En los buques que tengan alojamientos para 12 personas como máximo, cuando las escaleras atraviesen más de una cubierta y haya por lo menos dos vías de evacuación que den directamente a la cubierta expuesta en cada nivel de alojamientos, se podrán admitir divisiones de clase “B-0” en lugar de las de clase “A-0” que se prescriben en el párrafo 2.3.4.1.

2.4. Buques tanque

2.4.1. Ámbito de aplicación

En los buques tanque sólo se utilizará el método IC definido en el párrafo 2.3.1.1.

2.4.2. Integridad al fuego de mamparos y cubiertas

2.4.2.1. Los mamparos y las cubiertas de los buques tanque, en lugar de cumplir lo dispuesto en párrafo 2.3, y además de cumplir las disposiciones específicas de integridad al fuego, tendrán como integridad mínima al fuego la indicada en las tablas 9.7 y 9.8.

2.4.2.2. Al aplicar las tablas se observarán las prescripciones siguientes:

1. Las tablas 9.7 y 9.8 se aplicarán, respectivamente, a los mamparos y cubiertas que separen espacios adyacentes.
2. Para determinar las normas adecuadas de integridad al fuego que se han de aplicar a las divisiones entre espacios adyacentes, estos espacios se clasifican según su riesgo de incendio en las categorías (1) a (10) que se indican a continuación. Si por su contenido y por el uso a que se le destine hay dudas con respecto a la clasificación de un espacio determinado a efectos de la aplicación de la presente regla, o cuando sea posible asignar dos o más categorías a un espacio, tal espacio se considerará incluido en la categoría que tenga las prescripciones más rigurosas para los contornos. Los compartimientos cerrados más pequeños que se encuentren dentro de un espacio y cuyas aberturas de comunicación con dicho espacio sean inferiores al 30%, se considerarán espacios separados. La integridad al fuego de los mamparos límite y las cubiertas de tales compartimientos más pequeños será la prescrita en las tablas 9.7 y 9.8. El título de cada categoría se debe considerar como representativo más que restrictivo. El número entre paréntesis que precede a cada categoría remite a la columna o línea aplicables de las tablas.

(1) Puestos de control

Espacios en que se encuentran las fuentes de energía y de alumbrado de emergencia.

Caseta de gobierno y cuarto de derrota. Espacios en que se encuentra el equipo radioeléctrico del buque.

Puestos de control de incendios.

Cámara de control de las máquinas propulsoras, si se halla situada fuera del espacio de máquinas.

Espacios en que está centralizado el equipo de alarma contra incendios.

(2) Pasillos

Pasillos y vestíbulos

(3) Espacios de alojamiento

Espacios definidos en la regla 3.1, excluidos los pasillos.

(4) Escaleras

Escaleras interiores, ascensores, vías de evacuación de emergencia totalmente cerradas y escaleras mecánicas (salvo que estén totalmente dentro de los espacios de máquinas), y los cerramientos correspondientes.

A este respecto, una escalera que esté cerrada solamente en un nivel se considerará parte del espacio del que no esté separada por una puerta contraincendios.

(5) Espacios de servicio (riesgo limitado)

Armarios y pañoles que no están previstos para el almacenamiento de líquidos inflamables y que tienen una superficie inferior a 4 m², y cuartos de secado y lavanderías.

(6) Espacios de categoría A para máquinas

Espacios definidos en la regla 3.31.

(7) Otros espacios de máquinas

Espacios en que se encuentra el equipo eléctrico (central telefónica automática, espacios de los conductos del aire acondicionado).

Espacios definidos en la regla 3.30, excluidos los espacios de categoría A para máquinas.

(8) Cámaras de bombas de carga

Espacios que contienen las bombas de carga, y las entradas y troncos de acceso a los mismos.

(9) Espacios de servicio (riesgo elevado)

Cocinas, oficios equipados para cocinar, saunas, pañoles de pintura, armarios y pañoles con superficie igual o superior a 4 m², espacios para el almacenamiento de líquidos inflamables y talleres que no forman parte de los espacios de máquinas.

(10) Cubiertas expuestas

Espacios de la cubierta expuesta y zonas protegidas del paseo de cubierta con un riesgo de incendio pequeño o nulo. Para ser consideradas de esta categoría, las zonas protegidas del paseo de cubierta no deben presentar un gran riesgo de incendio, es decir, que los enseres se limitarán al mobiliario de cubierta. Además, estos espacios estarán ventilados naturalmente mediante aberturas permanentes.

Espacios descubiertos (los situados fuera de las superestructuras y casetas).

2.4.2.3. Se podrá aceptar que los cielos rasos o revestimientos continuos de clase “B”, junto con las cubiertas o los mamparos correspondientes, contribuyan total o parcialmente al aislamiento y la integridad prescritos para una división.

2.4.2.4. En los contornos exteriores que tengan que ser de acero u otro material equivalente de conformidad con lo dispuesto en la regla 11.2, se podrán practicar aberturas para instalar ventanas o portillos, a condición de que no haya ninguna prescripción que estipule que en los buques tanque tales mamparos deban tener una integridad de clase “A”. De igual modo, en los contornos de este tipo que no deban tener integridad de clase “A”, las puertas podrán ser de materiales que sean satisfactorios a juicio de la Administración.

2.4.2.5. Los contornos exteriores de las superestructuras y casetas que contengan espacios de alojamiento, incluidas las cubiertas en voladizo que soporten tales espacios, serán de acero y su aislamiento se ajustará a la norma “A-60” en todas las partes que den a la zona de la carga y en las partes laterales hasta una distancia de 3 m, medidos desde el mamparo l’imite que dé a dicha zona. Esa distancia de 3 m se medirá en sentido horizontal y paralelo al eje longitudinal del buque desde el contorno que dé a la zona de carga en cada nivel de cubierta. En las partes laterales de dichas superestructuras y casetas, el aislamiento se extenderá hasta la cara inferior de la cubierta del puente de navegación.

2.4.2.6. Las lumbreras de las cámaras de bombas de carga serán de acero, no llevarán cristal y podrán cerrarse desde el exterior de la cámara de bombas.

2.4.2.7. La construcción y disposición de las saunas cumplirá lo dispuesto en el párrafo 2.2.3.4.”

Estas descripciones corresponden a las tablas incluidas en el mismo capítulo y sección del SOLAS ya citado, las cuales se exponen a continuación tanto con la referencia de tabla respecto a este trabajo, como la propia en su origen (SOLAS, Capítulo II-2 Construcción-Prevención, detección y extinción de incendios, Regla 9: Contención del incendio, 2. Resistencia estructural y térmica de los contornos).

Espacios		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
(1)	Puestos de control	B-0 ^a	A-0	A-0	A-0	A-0	A-60	A-60	A-60	A-0	A-0	A-60	A-60	A-60	A-60
(2)	Escaleras		A-0 ^a	A-0	A-0	A-0	A-0	A-15	A-15	A-0 ^c	A-0	A-15	A-30	A-15	A-30
(3)	Pasillos			B-15	A-60	A-0	B-15	B-15	B-15	B-15	A-0	A-15	A-30	A-0	A-30
(4)	Puesto de evacuación y vías exteriores de evacuación					A-0	A-60 ^{b,d}	A-60 ^{b,d}	A-60 ^{b,d}	A-0 ^d	A-0	A-60 ^b	A-60 ^b	A-60 ^b	A-60 ^b
(5)	Espacios de la cubierta expuesta						A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0
(6)	Espacios de alojamiento con escaso riesgo de incendio						B-0	B-0	B-0	C	A-0	A-0	A-30	A-0	A-30
(7)	Espacios de alojamiento con moderado riesgo de incendio							B-0	B-0	C	A-0	A-15	A-60	A-15	A-60
(8)	Espacios de alojamiento con considerable riesgo de incendio								B-0	C	A-0	A-30	A-60	A-15	A-60
(9)	Espacios para fines sanitarios y similares									C	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0
(10)	Tanques, espacios perdidos y espacios de maquinaria auxiliar con pequeño o nulo riesgo de incendio										A-0 ^a	A-0	A-0	A-0	A-0
(11)	Espacios de maquinaria auxiliar, espacios de carga, tanques de carga o para otros fines que contienen hidrocarburos y otros espacios similares con moderado riesgo de incendio											A-0 ^a	A-0	A-0	A-15
(12)	Espacios de máquinas y cocinas principales												A-0 ^a	A-0	A-60
(13)	Gambuzas o paños, talleres, oficinas, etc.													A-0 ^a	A-0
(14)	Otros espacios en que se almacenan líquidos inflamables														A-30

Tabla 9.1. - Mamparos que no limitan zonas verticales principales ni zonas horizontales.

Espacio inferior	Espacio superior	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Puestos de control	(1)	A-30	A-30	A-15	A-0	A-0	A-0	A-15	A-30	A-0	A-0	A-0	A-60	A-0	A-60
Escaleras	(2)	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-30	A-0	A-30
Pasillos	(3)	A-15	A-0	A-0 ^a	A-60	A-0	A-0	A-15	A-15	A-0	A-0	A-0	A-30	A-0	A-30
Puesto de evacuación y vías exteriores de evacuación	(4)	A-0	A-0	A-0	A-0	-	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0
Espacios de la cubierta expuesta	(5)	A-0	A-0	A-0	A-0	-	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0
Espacios de alojamiento con escaso riesgo de incendio	(6)	A-60	A-15	A-0	A-60	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0
Espacios de alojamiento con moderado riesgo de incendio	(7)	A-60	A-15	A-15	A-60	A-0	A-0	A-15	A-15	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0
Espacios de alojamiento con considerable riesgo de incendio	(8)	A-60	A-15	A-15	A-60	A-0	A-15	A-15	A-30	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0
Espacios para fines sanitarios y similares	(9)	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0
Tanques, espacios perdidos y espacios de maquinaria auxiliar con pequeño o nulo riesgo de incendio	(10)	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0 ^a	A-0	A-0	A-0	A-0
Espacios de maquinaria auxiliar, espacios de carga, tanques de carga o para otros fines que contienen hidrocarburos y otros espacios similares con moderado riesgo de incendio	(11)	A-60	A-60	A-60	A-60	A-0	A-0	A-15	A-30	A-0	A-0	A-0 ^a	A-0	A-0	A-30
Espacios de máquinas y cocinas principales	(12)	A-60	A-60	A-60	A-60	A-0	A-60	A-60	A-60	A-0	A-0	A-30	A-30 ^a	A-0	A-60
Gambuzas o pañoles, talleres, oficios, etc.	(13)	A-60	A-30	A-15	A-60	A-0	A-15	A-30	A-30	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0
Otros espacios en que se almacenan líquidos inflamables	(14)	A-60	A-60	A-60	A-60	A-0	A-30	A-60	A-60	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0

Tabla 9.2. - Cubiertas que no forman bayonetas en zonas verticales principales ni limitan zonas horizontales.

Notas: Aplicables a las tablas 9.1 y 9.2, según proceda

- a. Cuando los espacios adyacentes sean de la misma categoría numérica y aparezca el 'índice 'a'', no hará falta colocar un mamparo o una cubierta entre dichos espacios si la Administración no lo considera necesario. Por ejemplo, en la categoría (12) no hará falta colocar un mamparo entre una cocina y sus oficios anexos siempre que los mamparos y cubiertas de los oficios mantengan la integridad de los contornos de la cocina. Sin embargo, entre una cocina y un espacio de máquinas deberá colocarse un mamparo aunque ambos espacios sean de categoría (12).*
- b. En los costados del buque, hasta la flotación de navegación marítima con calado mínimo, y en los costados de la superestructura y de las casetas que se encuentren por debajo de las balsas salvavidas y rampas de evacuación y adyacentes a ellas, la norma se puede reducir a la de clase 'A-30'.*
- c. Cuando los servicios públicos estén instalados totalmente dentro del tronco de la escalera, la integridad del mamparo del servicio público que se encuentre dentro del tronco de la escalera puede ser de clase 'B'.*
- d. Cuando los espacios de las categorías (6), (7), (8) y (9) estén situados totalmente dentro del perímetro exterior de un puesto de reunión, los mamparos de dichos espacios pueden tener una integridad de clase 'B-0'. Se puede considerar que los puestos de mando de las instalaciones de alumbrado, imagen y sonido forman parte de los puestos de reunión.*

Espacios		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
(1)	Puestos de control	A-0c	A-0	A-60	A-0	A-15	A-60	A-15	A-60	A-60		A-60
(2)	Pasillos		Ce	B-0e	A-0a	B-0e				A-15		
(3)	Espacios de alojamiento			Ce	A-0a	B-0e				A-15		A-30
(4)	Escaleras				A-0a	A-0a				A-15		
(5)	Espacios de servicio (riesgo limitado)					Ce	A-60	A-0	A-0	A-0		A-0
(6)	Espacios de categoría A para máquinas							A-0	A-0	A-60		A-60
(7)	Otros espacios de máquinas							A-0b	A-0	A-0		A-0
(8)	Espacios de carga									A-0		A-0
(9)	Espacios de servicio (riesgo elevado)									A-0b		A-30
(10)	Cubiertas expuestas											A-0
(11)	Espacios de categoría especial y espacios de carga rodada											A-0

Tabla 9.3. – Integridad al fuego de los mamparos que separan espacios adyacentes.

Notas: Aplicables a las tablas 9.3 y 9.4, según proceda

- a. Para determinar el tipo aplicable en cada caso, véanse los párrafos 2.2.2 y 2.2.5.
- b. Cuando los espacios sean de la misma categoría numérica y aparezca el 'índice "b", sólo se exigirá un mamparo o una cubierta del tipo indicado en las tablas si los espacios adyacentes se destinan a fines distintos (por ejemplo, en la categoría (9)). No hará falta colocar un mamparo entre dos cocinas contiguas, pero entre una cocina y un pañol de pinturas sí deberá haber un mamparo de clase "A-0".
- c. Los mamparos que separen la caseta de gobierno y el cuarto de derrota podrá ser de clase "B-0". Véanse los párrafos 2.2.4.2.3 y 2.2.4.2.4.
- d. Para la aplicación de lo dispuesto en el párrafo 2.2.1.1.2, cuando "B-0" y "C" aparezcan en la tabla 9.3 se les atribuirá el valor de "A-0".
- e. No será necesario instalar aislamiento contra el fuego en un espacio de máquinas de categoría (7) si la Administración considera que el riesgo de incendio en dicho espacio es pequeño o nulo.

Cuando en las tablas aparezca un asterisco, ello significa que la división habrá de ser de acero u otro material equivalente, pero no necesariamente de la clase "A". Sin embargo, salvo en espacios de categoría (10), cuando una cubierta esté perforada para dar paso a cables eléctricos, tuberías o conductos de ventilación, la perforación será

estanca para evitar el paso de las llamas y el humo. Las divisiones entre puestos de control (generadores de emergencia) y cubiertas expuestas podrán tener aberturas para la entrada de aire sin medios de cierre, a menos que se haya instalado un sistema fijo de extinción de incendios por gas.

Para la aplicación de lo dispuesto en el párrafo 2.2.1.1.2, cuando en la tabla 9.4 aparezca un asterisco, a éste se le atribuirá el valor de “A-0”, salvo en el caso de las categorías (8) y (10).

Espacio inferior	Espacio superior	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
Puestos de control	(1)	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-60	A-0	A-0	A-0		A-30
Pasillos	(2)	A-0			A-0		A-60	A-0	A-0	A-0		A-0
Espacios de alojamiento	(3)	A-60	A-0		A-0		A-60	A-0	A-0	A-0		A-30 A-0 ^d
Escaleras	(4)	A-0	A-0	A-0		A-0	A-60	A-0	A-0	A-0		A-0
Espacios de servicio (riesgo limitado)	(5)	A-15	A-0	A-0	A-0		A-60	A-0	A-0	A-0		A-0
Espacios de categoría A para máquinas	(6)	A-60	A-60	A-60	A-60	A-60		A-60 ^f	A-30	A-60		A-60
Otros espacios de máquinas	(7)	A-15	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0		A-0	A-0		A-0
Espacios de carga	(8)	A-60	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0		A-0		A-0
Espacios de servicio (riesgo elevado)	(9)	A-60	A-30 A-0 ^d	A-30 A-0 ^d	A-30 A-0 ^d	A-0	A-60	A-0	A-0	A-0		A-30
Cubiertas expuestas	(10)										-	A-0
Espacios de categoría especial y de carga rodada	(11)	A-60	A-15	A-30 A-0 ^d	A-15	A-0	A-30	A-0	A-0	A-30	A-0	A-0

Tabla 9.4. - Integridad al fuego de las cubiertas que separan espacios adyacentes.

Espacios		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
(1)	Puestos de control	A-0 ^e	A-0	A-60	A-0	A-15	A-60	A-15	A-60	A-60		A-60
(2)	Pasillos		C	B-0	B-0 A-0 ^c	B-0	A-60	A-0	A-0	A-0		A-30
(3)	Espacios de alojamiento			Ca, b	B-0 A-0 ^c	B-0	A-60	A-0	A-0	A-0		A-30
(4)	Escaleras				B-0 A-0 ^c	B-0 A-0 ^c	A-60	A-0	A-0	A-0		A-30
(5)	Espacios de servicio (riesgo limitado)					C	A-60	A-0	A-0	A-0		A-0
(6)	Espacios de cat. A para máquinas							A-0	A-0 ^g	A-60		A-60 ^f
(7)	Otros espacios de máquinas							A-0 ^d	A-0	A-0		A-0
(8)	Espacios de carga									A-0		A-0
(9)	Espacios de servicio (riesgo elevado)									A-0 ^d		A-30
(10)	Cubiertas expuestas										-	A-0
(11)	Espacios de carga rodada y espacios para vehículos											h

Tabla 9.5 – Integridad al fuego de los mamparos que separan espacios adyacentes.

Notas: Aplicables a las tablas 9.5 y 9.6, según proceda.

- a. Los mamparos no estarán sujetos a ninguna prescripción especial si se emplean los métodos IIC y IIIC de prevención de incendios.
- b. En el método IIIC se colocarán mamparos de clase “B”, del tipo de integridad al fuego “B-0”, entre espacios o grupos de espacios cuya superficie sea igual o superior a 50 m². c Para determinar el tipo aplicable en cada caso, véanse los párrafos 2.3.2 y 2.3.4.
- c. Cuando los espacios sean de la misma categoría numérica y aparezca el ‘índice “d”, sólo se exigirá un mamparo o una cubierta del tipo indicado en las tablas si los espacios adyacentes se destinan a fines distintos (por ejemplo, en la categoría (9)). No hará falta colocar un mamparo entre dos cocinas contiguas, pero entre una cocina y un pañol de pinturas sí deberá haber un mamparo de clase “A-0”.
- d. Los mamparos que separen entre sí la caseta de gobierno, el cuarto de derrota y el cuarto de radio podrán ser de clase “B-0”.
- e. Se podrán utilizar mamparos de clase “A-0” si no se proyecta transportar mercancías peligrosas o si éstas se estiban por lo menos a 3 m de distancia, en sentido horizontal, de dicho mamparo.
- f. En los espacios de carga en que se proyecte transportar mercancías peligrosas se aplicará la regla 19.3.8.

- g. Los mamparos y las cubiertas que separen espacios de carga rodada se podrán cerrar de modo que sean suficientemente herméticos, y dichas divisiones tendrán integridad de clase “A” en la medida en que sea razonable y factible, si la Administración considera que el riesgo de incendio es pequeño o nulo.
- h. No será necesario instalar aislamiento contra el fuego en un espacio de máquinas de categoría (7) si la Administración considera que el riesgo de incendio en dicho espacio es pequeño o nulo.

* Cuando en las tablas aparezca un asterisco, ello significa que la división habrá de ser de acero u otro material equivalente, pero no necesariamente de la clase “A”. Sin embargo, salvo en el caso de las cubiertas expuestas, cuando una cubierta esté perforada para dar paso a cables eléctricos, tuberías o conductos de ventilación, la perforación será estanca para evitar el paso de las llamas y el humo. Las divisiones entre puestos de control (generadores de emergencia) y las cubiertas expuestas podrán tener aberturas para la entrada de aire sin medios de cierre, a menos que se haya instalado un sistema fijo de extinción de incendios por gas.

Espacio inferior	Espacio superior	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
Puestos de control	(1)	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-60	A-0	A-0	A-0		A-60
Pasillos	(2)	A-0			A-0		A-60	A-0	A-0	A-0		A-30
Espacios de alojamiento	(3)	A-60	A-0		A-0		A-60	A-0	A-0	A-0		A-30
Escaleras	(4)	A-0	A-0	A-0		A-0	A-60	A-0	A-0	A-0		A-30
Espacios de servicio (riesgo limitado)	(5)	A-15	A-0	A-0	A-0		A-60	A-0	A-0	A-0		A-0
Espacios de categoría A para máquinas	(6)	A-60	A-60	A-60	A-60	A-60		A-60 ⁱ	A-30	A-60		A-60
Otros espacios de máquinas	(7)	A-15	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0		A-0	A-0		A-0
Espacios de carga	(8)	A-60	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0		A-0		A-0
Espacios de servicio (riesgo elevado)	(9)	A-60	A-0	A-0	A-0	A-0	A-60	A-0	A-0	A-0 ^d		A-30
Cubiertas expuestas	(10)										-	
Espacios de carga rodada y espacios para vehículos	(11)	A-60	A-30	A-30	A-30	A-0	A-60	A-0	A-0	A-30		h

Tabla 9.6 – Integridad al fuego de las cubiertas que separan espacios adyacentes.

Espacios		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
(1)	Puestos de control	A-0 ^c	A-0	A-60	A-0	A-15	A-60	A-15	A-60	A-60	
(2)	Pasillos		C	B-0	B-0 A-0 ^a	B-0	A-60	A-0	A-60	A-0	
(3)	Espacios de alojamiento			C	B-0 A-0 ^a	B-0	A-60	A-0	A-60	A-0	
(4)	Escaleras				B-0 A-0 ^a	B-0 A-0 ^a	A-60	A-0	A-60	A-0	
(5)	Espacios de servicio (riesgo limitado)					C	A-60	A-0	A-60	A-0	
(6)	Espacios de categoría A para máquinas							A-0	A-0 ^d	A-60	
(7)	Otros espacios de máquinas							A-0 ^b	A-0	A-0	
(8)	Cámaras de bombas de carga									A-60	
(9)	Espacios de servicio (riesgo elevado)									A-0 ^b	
(10)	Cubiertas expuestas										-

Tabla 9.7 – Integridad al fuego de los mamparos que separan espacios adyacentes.

Notas: Aplicables a las tablas 9.7 y 9.8, según proceda.

- a. Para determinar el tipo aplicable en cada caso, véanse los párrafos 2.3.2 y 2.3.4.
- b. Cuando los espacios sean de la misma categoría numérica y aparezca el 'índice 'b'', sólo se exigirá un mamparo o una cubierta del tipo indicado en las tablas si los espacios adyacentes se destinan a fines distintos (por ejemplo, en la categoría (9)). No hará falta colocar un mamparo entre dos cocinas contiguas, pero entre una cocina y un pañol de pinturas sí deberá haber un mamparo de clase "A-0".
- c. Los mamparos que separen entre sí la caseta de gobierno, el cuarto de derrota y el cuarto de radio podrán ser de clase "B-0".

- d. En los mamparos y cubiertas que separen las cámaras de bombas de carga de los espacios de categoría A para máquinas podrán practicarse perforaciones para los prensaestopas de los ejes de las bombas de carga y similares, a condición de que en la zona afectada de los mamparos o cubiertas se instalen juntas de gas con lubricación suficiente u otros medios que aseguren la permanencia del cierre hermético.
- e. No será necesario instalar aislamiento contra el fuego en un espacio de máquinas de categoría (7) si la Administración considera que el riesgo de incendio en dicho espacio es pequeño o nulo.

Cuando en las tablas aparezca un asterisco, ello significa que la división habrá de ser de acero u otro material equivalente, pero no necesariamente de la clase “A”. Sin embargo, salvo en el caso de las cubiertas expuestas, cuando una cubierta esté perforada para dar paso a cables eléctricos, tuberías o conductos de ventilación, la perforación será estanca para evitar el paso de las llamas y el humo. Las divisiones entre puestos de control (generadores de emergencia) y las cubiertas expuestas podrán tener aberturas para la entrada de aire sin medios de cierre, a menos que se haya instalado un sistema fijo de extinción de incendios por gas.

Espacio inferior	Espacio superior	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Puestos de control	(1)	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-60	A-0	-	A-0	
Pasillos	(2)	A-0			A-0		A-60	A-0	-	A-0	
Espacios de alojamiento	(3)	A-60	A-0		A-0		A-60	A-0	-	A-0	
Escaleras	(4)	A-0	A-0	A-0		A-0	A-60	A-0	-	A-0	
Espacios de servicio (riesgo limitado)	(5)	A-15	A-0	A-0	A-0		A-60	A-0	-	A-0	
Espacios de categoría A para máquinas	(6)	A-60	A-60	A-60	A-60	A-60		A-60 ^e	A-0	A-60	
Otros espacios de máquinas	(7)	A-15	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0		A-0	A-0	
Cámaras de bombas de carga	(8)	-	-	-	-	-	A-0 ^d	A-0		-	
Espacios de servicio (riesgo elevado)	(9)	A-60	A-0	A-0	A-0	A-0	A-60	A-0	-	A-0 ^b	
Cubiertas expuestas	(10)										-

Tabla 9.8 – Integridad al fuego de las cubiertas que separan espacios adyacentes.

En definitiva, teniendo en cuenta la normativa antes citada deberemos dividir el buque en zonas verticales principales mediante mamparos límite que ofrezcan una resistencia estructural y térmica. Además se deberán emplear mamparos límite que ofrezcan una resistencia estructural y térmica. Respecto al aislamiento a emplear, únicamente se podrán instalar materiales incombustibles, de modo que resulte más sencillo contener el fuego en el espacio en que se origine.

4. AISLAMIENTOS EN LA CONSTRUCCIÓN NAVAL

4.1. TIPOS DE AISLAMIENTO

Dependiendo de las necesidades de cada instalación se necesitará emplear unos aislamientos u otros, cada uno tiene una finalidad y características diferentes, las cuales se exponen a lo largo de este apartado.

En la *Imagen 17*. se observa la disposición de un conjunto de aislamiento formado por diferentes capas: placa de acero, lana mineral, lámina acústica y placa de acero perforado

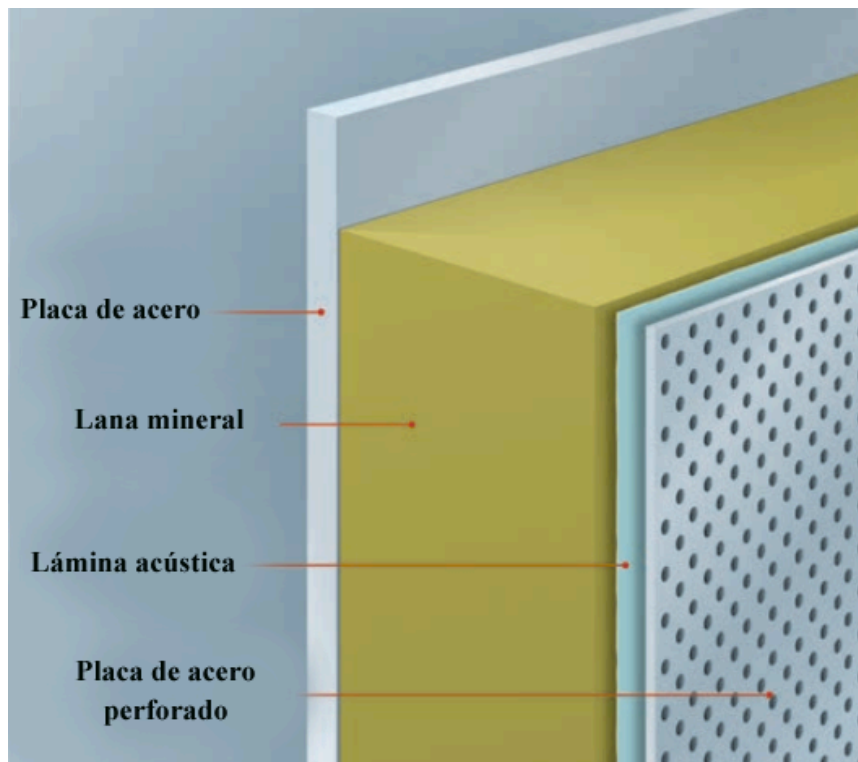


Imagen 17. Disposición de aislamiento.

Rockwool International S.A. (2016). *ROCKWOOL*. Recuperado el 29 de junio de 2018 de <http://www.rockwool.es/>

4.1.1. LANA MINERAL

La lana mineral es un denominación genérica empleada para diferenciar las producidas empleando materiales plásticos de las que se fabrican a partir de minerales. La lana mineral se forma tras un proceso de fusión que tiene como resultado un entrelazado multidireccional de filamentos, cuando se emplea arena se obtiene lana de vidrio y cuando se emplea roca volcánica se obtiene lana de roca. Existe una gran variedad de lanas minerales, siendo diferentes las características de cada una de ellas, aunque la estructura porosa con bolsas de aire en su interior es común en todas ellas. Nosotros emplearemos lana de roca como aislamiento en el caso práctico.

4.1.1.1. LANA DE ROCA

La producción de lana de roca se hace siguiendo un procedimiento que reproduce la acción natural de un volcán. Las piedras se funden a temperaturas que superan 1600°C. La roca líquida resultante, es convertida en fibras por la acción del proceso de centrifugado. Después, se impregna con aditivos, aglomerantes y aceites impermeables, formándose así un manto de lana de roca, al cual se le dará forma para transformarlo en diversos productos como: paneles, fieltros, mantas, coquillas, borras... Los residuos de lana resultantes son reciclados, volviendo a convertirse en materia prima.

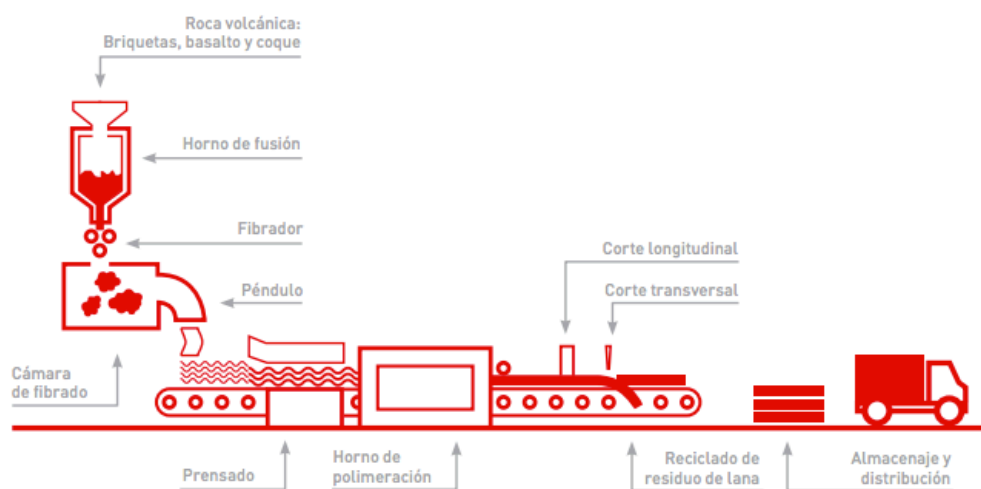


Imagen 18. Proceso de producción de la lana de roca.

Rockwool International S.A. (2016). *Soluciones de aislamiento para todo tipo de edificios: obra nueva y rehabilitación*. Dinamarca.

Gracias a este proceso, adquiere cualidades de protección acústica, térmica y contraincendios. El producto resultante es utilizado como aislamiento tanto en instalaciones marinas como en tierra, debido a estas características:

- **Resistencia al fuego**

Una de las principales características de la lana de roca es su no-combustibilidad. Este material no arde, sus fibras no comienzan a fundirse hasta alcanzar los 1000°C. Además, ni alimenta, ni extiende el fuego, de modo que no se generan partículas que creen otros focos de incendio.

Esto contribuye a la preservación de la estructura del buque, evitando la propagación del incendio, gracias a lo cual es posible apagarlo o como mínimo poder contenerlo el mayor tiempo posible. No obstante, existen diferentes tipos de lanas de roca, el tiempo que son capaces de contener el incendio se incluye en el nombre del producto en minutos (véase la página. 67).

Cabe mencionar, que además de ser resistente al fuego, no produce humos tóxicos al exponerse a las llamas, siendo estos gases los causantes de la muerte de gran número de víctimas atrapadas en un incendio.

En relación a las normativas, en las instalaciones en tierra de acuerdo con “EN 13501-1 - Reacción al fuego” están certificadas como Euroclase tipo A1, es decir, son “no combustibles”. Respecto a la normativa que nos atañe en este caso práctico, se especifica en el encuentro SOLAS: Capítulo II-2 Construcción-Prevención, detección y extinción de incendios, descrito en el apartado 3.3. *PROPAGACIÓN INCENDIOS*.

- **Baja conductividad térmica**

La estructura física de la lana mineral hace que su conductividad térmica sea baja, se encuentra compuesta de minúsculas bolsas de aire en su interior, que dificultan el paso de la energía calorífica. Los valores de la conductibilidad térmica de la lana de roca oscilan entre $\lambda=0,034$ y $\lambda=0,039$.

La baja conductividad térmica incrementa la eficiencia energética, se obtiene un importante ahorro económico al mejorar los rendimientos térmicos de equipos y procesos.

Este ahorro de consumo de productos energéticos permite que la industria sea más “limpia”, disminuyendo la contaminación de contaminantes a la atmósfera, ayudando a paliar fenómenos tan dramáticos como la lluvia ácida.

- **Aislante acústico**

La estructura abierta y porosa de la lana de roca la hace altamente eficaz a la hora de proteger frente a ruidos no deseados, siendo su coeficiente de absorción acústica elevada, aproximadamente el valor de α oscila entre $\alpha=0,95$ y $\alpha=0,65$. También deberá tenerse en cuenta el índice de reducción sonora ponderado, cuyo valor aproximado oscila entre $R_w=58$ dB y $R_w=40$ dB (véase el apartado 3.2.2.1. *PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN ESPACIOS ABIERTOS* para más información sobre la absorción y el índice de reducción de sonido).

- **Durabilidad**

La lana de roca se obtiene de roca volcánica, lo que la convierte en una solución duradera: no encoje, no se mueve y no se desintegra. Se trata de un material capaz de resistir cargas continuas y pesadas, sin riesgo de deformación por fluencia lenta a largo plazo, es decir, es indeformable con el paso de los años. Además, no se necesita ningún tipo de mantenimiento.



Imagen 19. Lana de roca.

Rockwool International S.A. (2016). *ROCKWOOL*. Recuperado el 29 de junio de 2018 de <http://www.rockwool.es/>

Es necesario recubrir la lana mineral, sobre todo en aquellos espacios que estén dedicados a ser zonas de tránsito o de trabajo, a fin de evitar que la lana se dañe. En caso de no proteger la lana mineral, podría reducirse su capacidad aislante. Los recubrimientos a emplear pueden ser láminas de aluminio, plástico, metal... De acuerdo con las necesidades de la instalación se optará por unos u otros, las propiedades acústicas y/o térmicas se verán incrementadas por la capa añadida, dependiendo de cual se elija la medida en la que se incrementará. En general, cuanto mayor sea la densidad, mayor será la capacidad de absorción acústica.

Otro aspecto a considerar, es que la lana de roca es químicamente inerte, por lo cual no puede causar ni favorecer la aparición de corrosión en los materiales. Tampoco favorece el desarrollo bacteriano.

4.1.1.2. LANA DE VIDRIO

La lana de vidrio, también conocida como fibra de vidrio se fabrica combinando vidrio y arena, siendo el vidrio el componente principal, en torno a un 80% dependiendo de la lana. La mezcla se calienta hasta superar 1450°C, y al igual que sucedía con la lana de roca, se trata para que se formen fibras. Después se añadirán los aditivos, aglomerantes y aceites

impermeables que se requieran para mejorar las propiedades del aislamiento. Finalmente se le dará forma de manta, paneles, fieltros, mantas, coquillas, borras...



Imagen 20. Fabricación de lana de vidrio.

ISOVER S.A. (2018). *ISOVER*. Recuperado 28 de junio de 2018 de <https://www.isover.es/>

Las propiedades aislantes de este material son similares a las de la lana de roca, pero un poco peores, por lo que no es necesario analizar este material. Aunque sí recordaremos que tiene cualidades de aislación térmica, acústica y además es incombustible.

4.1.1.3. INSTALACIÓN DE LANA MINERAL

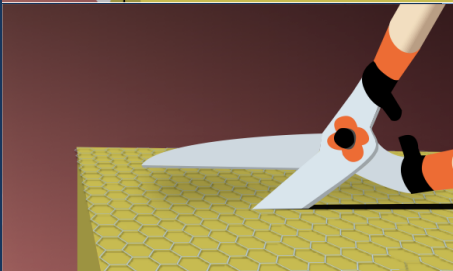
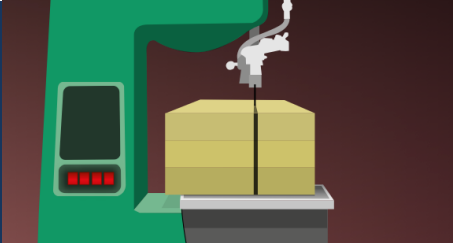


2



Pintar la superficie con pintura especial para evitar la corrosión

3



Cortar la lana mineral según la medida que necesitamos, debido a las características del material el corte puede realizarse del siguiente modo:

- Maquinaria eléctrica
- Cúter o cuchillo
- Tijeras (se recomienda su uso en mantas enrejadas/armadas)

4



Fijar la lana mineral sobre la superficie al clavar la lana mineral sobre los pernos

5



Asegurarnos de que se haya cubierto toda la superficie a aislar



Tabla 15. Instalación de lana mineral.

Combinación de imágenes de elaboración propia y de Rockwool International S.A. (2016).

ROCKWOOL. Recuperado el 29 de junio de 2018 de <http://www.rockwool.es/>

Por último, recordemos que es necesario recubrir la lana mineral, sobre todo en aquellos espacios que estén dedicados a ser zonas de tránsito o de trabajo, a fin de evitar que la lana se dañe. Generalmente, los recubrimientos a emplear pueden ser láminas de aluminio, plástico, metal...

4.1.2. LÁMINA DE ALUMINIO

Las placas de aluminio se sitúan sobre la lana de roca, quedando así protegida. Una de las ventajas de este material es que crea una barrera de vapor, impidiendo que éste penetre en la lana de roca, convirtiéndose así en resistente a la humedad.

Además, esta capa incrementa la resistencia al fuego del conjunto de aislamiento y previene la contaminación del aceite.

Las láminas de aluminio no se comercializan por separado, sino que existen determinados tipo de lana de roca que se venden estando ya revestidas por una lámina de aluminio.



Imagen 21. Lana de roca con lámina de aluminio.

Rockwool International S.A. (2016). *ROCKWOOL*. Recuperado el 29 de junio de 2018 de <http://www.rockwool.es/>

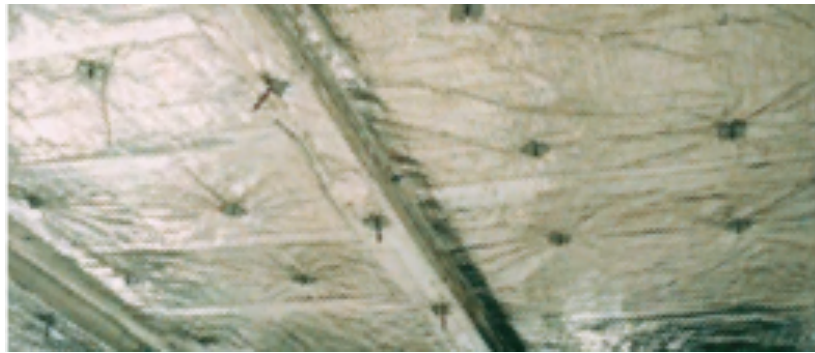


Imagen 22. Lana de roca con lámina de aluminio instalada.

Rockwool International S.A. (2016). *ROCKWOOL*. Recuperado el 29 de junio de 2018 de <http://www.rockwool.es/>

4.1.2.1. INSTALACIÓN DE LÁMINA DE ALUMINIO

En el caso práctico trabajaremos con aislamientos de Rockwool, estando señalados los productos que incluyen esta lámina con la denominación “ALU”. Como decíamos antes, si queremos instalar láminas de aluminio, debemos comprar la lana de roca con la lámina ya incluida. En consecuencia, su instalación será realizada de igual modo que la de la lana de roca (véase el apartado 4.1.1.3. *INSTALACIÓN DE LANA MINERAL*).

4.1.3. LAMINADO ACÚSTICO

El laminado acústico (acoustic foil) tiene como finalidad mejorar el aislamiento acústico, no se puede usar éste material en exclusiva, es necesario combinarlo con otras capas de diferentes materiales, como la lana de roca.

Como se explica en los apartados 4.1.2. *LÁMINA DE ALUMINIO* este recubrimiento es adecuado para la protección contra incendios y para prevenir la contaminación del aceite, pero reducen la capacidad de absorción del conjunto del aislamiento. El laminado acústico, en cambio, no sólo incrementa las propiedades de absorción del conjunto, sino que también cumplen los objetivos de las placas de acero y láminas de aluminio, es decir, la protección contra incendios y prevención de la contaminación por aceite.



Imagen 23. Laminado acústico instalado.

Rockwool International S.A. (2016). *ROCKWOOL*. Recuperado el 29 de junio de 2018 de <http://www.rockwool.es/>

El laminado acústico que utilizaremos en el caso práctico es el fabricado por Rockwool, siendo la denominación oficial del producto “acoustic foil”. Este producto se comercializa en rollos de 1 m de anchura y 200 m de longitud, siendo su espesor de 19 μ .

4.1.3.1. INSTALACIÓN DE LAMINADO ACÚSTICO

La instalación del conjunto de aislamiento que incluya el laminado acústico debe realizarse del modo indicado en la *Tabla 16. Instalación de laminado acústico.*

1		Instalar la lana mineral tal como se indica en el apartado 4.1.1.3. <i>INSTALACIÓN DE LANA MINERAL.</i>
2		Cortar el plástico de acuerdo con la longitud requerida (será necesario superponer como mínimo 100 mm)
3		Fijar el plástico sobre la lana mineral con un sistema de sujeción (chapas). Cubrir el aislamiento asegurando la superposición de un mínimo de 100 mm.

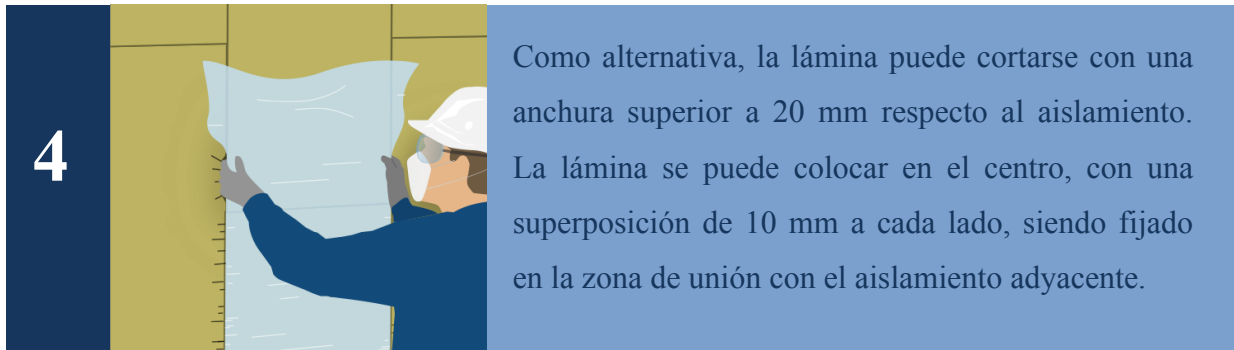


Tabla 16. Instalación de laminado acústico.

Combinación de imágenes de elaboración propia y de Rockwool International S.A. (2016).

ROCKWOOL. Recuperado el 29 de junio de 2018 de <http://www.rockwool.es/>

Cabe mencionar que se recomienda instalar un recubrimiento sobre el laminado acústico en caso de encontrarse en una zona de trabajo.

4.1.4. PLACAS DE ACERO

Las placas de acero, al igual que las láminas de aluminio, sirven para cubrir la lana mineral, aumentar la protección contra incendios y prevenir la contaminación del aceite.

En numerosas ocasiones, las placas de acero suelen combinarse con tiras de este material, hacia el interior o el exterior, de forma que quede una pequeña cámara de aire, dificultando la transmisión del sonido. Otro tipo de combinación posible es la elaboración de paneles sándwich, es decir, emplear una capa de lana mineral cubierta por ambos lados por placas de acero. En todos los casos, su finalidad es mejorar la reducción de la transmisión acústica.

4.1.4.1. INSTALACIÓN DE PLACAS DE ACERO

La instalación de las placas de acero galvanizado se realizarán de acuerdo a las siguientes indicaciones:




1		<p>Instalar la lana mineral tal como se indica en el apartado 4.1.1.3. <i>INSTALACIÓN DE LANA MINERAL.</i></p>
2		<p>Instalar capas intermedias en caso requerirse más aislamiento.</p>
3		<p>Montar la placa de acero</p>

Tabla 17. Instalación de placa de acero.

Combinación de imágenes de elaboración propia y de Rockwool International S.A. (2016).

ROCKWOOL. Recuperado el 29 de junio de 2018 de <http://www.rockwool.es/>

4.1.5. PLACAS DE ACERO PERFORADO

Las placas de acero perforado, también denominadas bandejas metálicas perforadas, están diseñadas para mejorar la absorción del aislamiento acústico y disminuir el tiempo de reverberación. Se opta por este tipo de materiales cuando se desea un acondicionamiento acústico o mejorar las cualidades de absorción acústica del aislamiento ya instalado.

La finalidad de este material es únicamente acústica, no sirve de protección para la lana mineral, ni protege de la humedad, ni tampoco previene la contaminación de aceite.

La absorción acústica de este material alcanza hasta $\alpha=0,95$, siempre y cuando cumpla los requisitos expuestos:

- Este tipo de recubrimiento metálico debe tener hueca un área efectiva mayor del 25% y menor del 40%. Si el área hueca no se encuentra dentro de los límites establecidos, no se incrementará el aislamiento acústico, llegando incluso a restar capacidad de absorción al conjunto de aislamiento.
- Además el diámetro de la perforación debe ser como mínimo de 1mm para que resulte efectivo. Siempre y cuando se cumplan estos dos requisitos se podrá emplear cualquier tipo de placa de acero.

Un ejemplo de correcta disposición de placa de acero perforada sería: una placa perforada con agujeros de diámetro de 3mm habiendo una distancia de 5mm entre ellos tendría hueca una superficie mayor del 30%. En la *Imagen 24*. se observa la comparativa entre la placa de acero sin perforar y perforada.

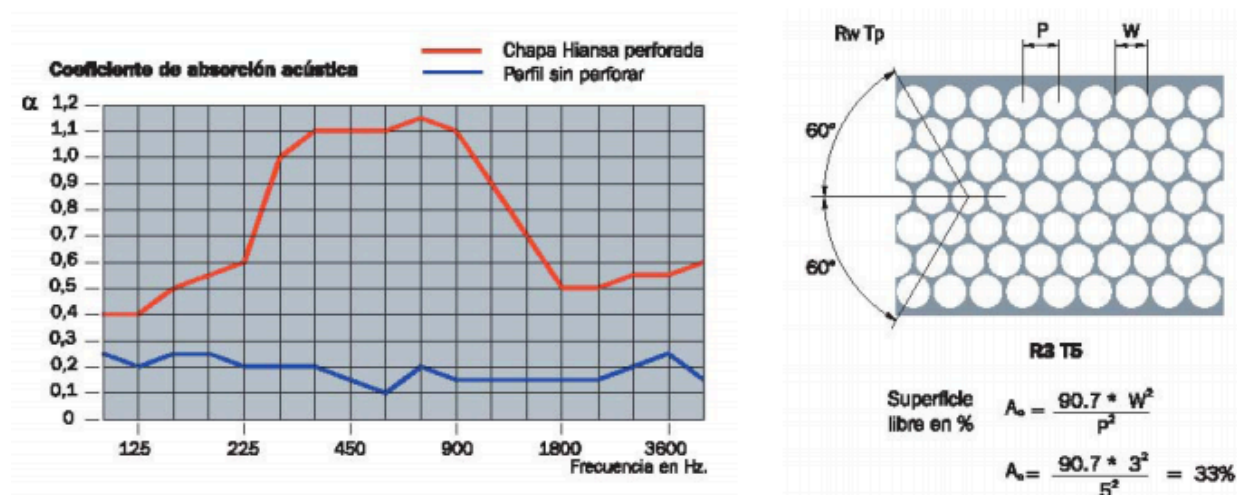


Imagen 24. Comparativa de absorción entre placa sin perforar y perforada

Hiansa S.A. (2018). Recuperado el 18 de junio de 2018 de Hiansa:

<https://www.hiansa.com/archivos/PERFILES-PERFORADOS.pdf>

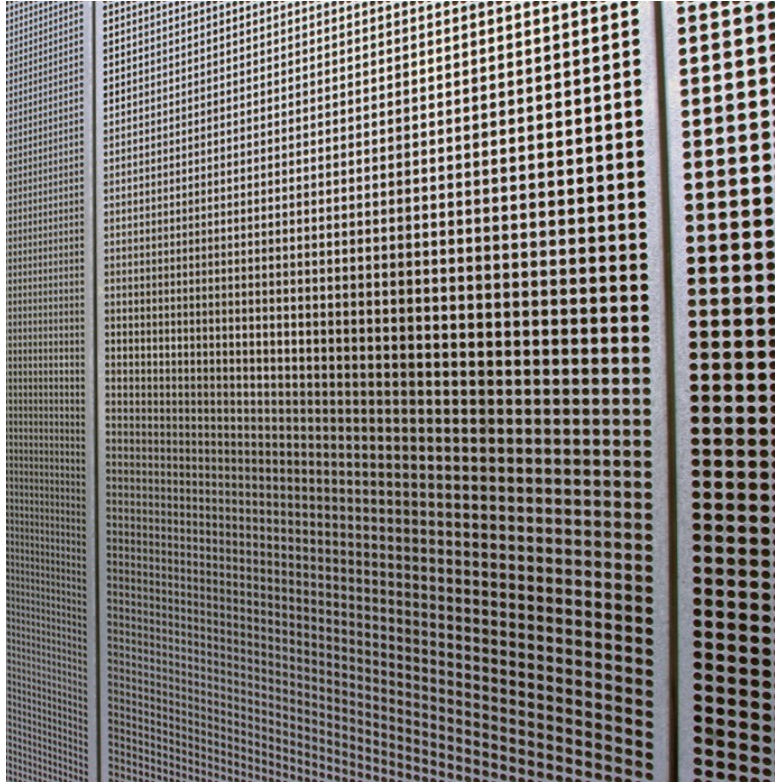


Imagen 25. Placa de acero perforado instalada.

4.1.5.1. INSTALACIÓN DE PLACAS DE ACERO PERFORADO

Las placas de acero perforado son el último recubrimiento que se coloca en el conjunto de aislamiento, es decir, es la capa más exterior del aislamiento. Estas placas se sujetarán sobre la capa anterior con un sistema de chapas.

1



Instalar la lana mineral tal como se indica en el apartado *4.1.1.3. INSTALACIÓN DE LANA MINERAL.*

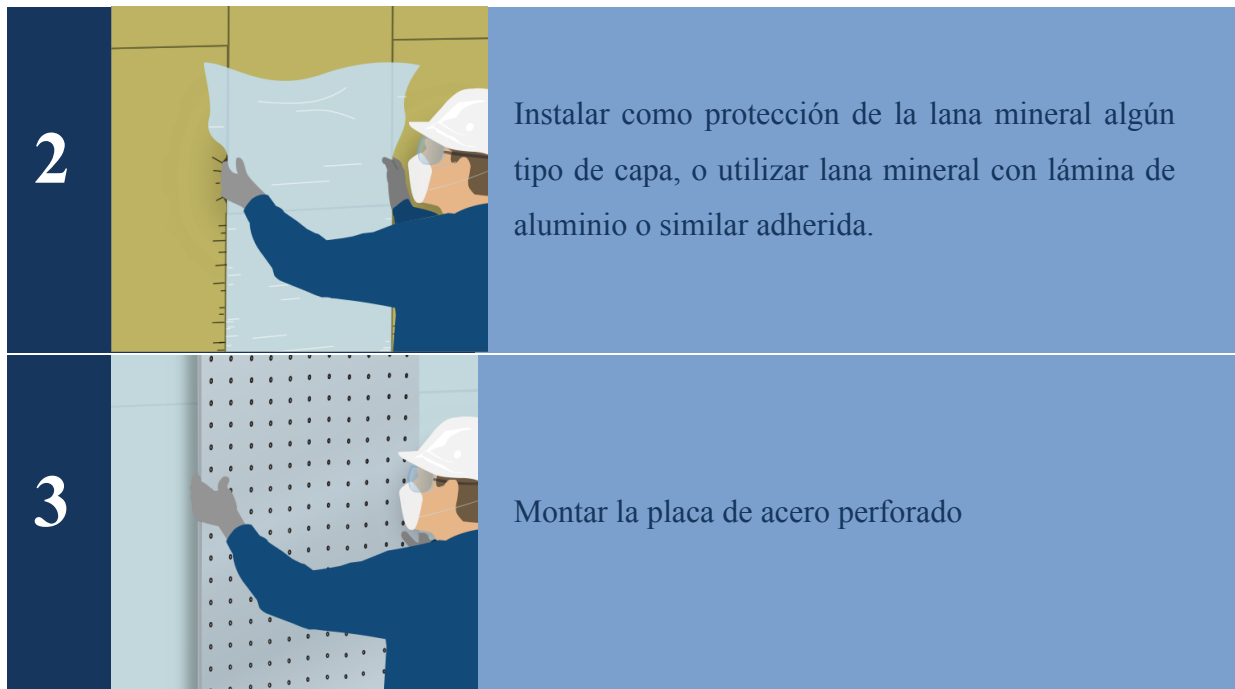


Tabla 18. Instalación de placa de acero perforado.

Combinación de imágenes de elaboración propia y de Rockwool International S.A. (2016).

ROCKWOOL. Recuperado el 29 de junio de 2018 de <http://www.rockwool.es/>

4.1.6. LÁMINA VISCOELÁSTICAS

Las láminas viscoelásticas de alta densidad (aproximadamente 1600 kg/m^3) están diseñadas para aislar acústicamente, aunque no sólo tienen esta finalidad, también reducen el efecto de las vibraciones. Estas características se deben a su bajo módulo de elasticidad, que dificulta la propagación de las ondas sonoras y de las vibraciones.

Las principales ventajas de este producto son su reducido espesor y flexibilidad, lo cual la convierten en una barrera excelente contra el ruido. Sin embargo, estas láminas sólo pueden utilizarse como refuerzo, es decir, es necesario combinarlas con otras capas.

Las láminas viscoelásticas se comercializan en forma de rollo, existiendo diferentes espesores. Dependiendo de nuestras necesidades se optará por un espesor u otro.



Imagen 26. Lámina viscoelástica.

Chova S.A. (2013). Recuperado el 26 de junio de 2018 de Chova:
<https://chova.com/productos/aislamiento-acustico/laminas-viscoelasticas/>



Imagen 27. Lámina viscoelástica instalada.

Chova S.A. (2013). Recuperado el 26 de junio de 2018 de Chova:
<https://chova.com/productos/aislamiento-acustico/laminas-viscoelasticas/>

4.1.6.1. INSTALACIÓN DE LÁMINAS VISCOELÁSTICAS

La instalación del conjunto de aislamiento que incluya el laminado acústico debe realizarse del modo indicado en la *Tabla 19. Instalación de lámina viscoelástica.*




1		<p>En caso de que la primera capa sea la lámina viscoelástica, se prepara la superficie aplicando una pintura especial para evitar la corrosión.</p> <p>Si se va instalar la capa viscoelástica sobre otro material, véase el apartado correspondiente.</p>
2		<p>Cortar, con la ayuda de un cúter, la lámina viscoelástica según las dimensiones requeridas</p>
3		<p>Fijar la lámina viscoelástica utilizando grapas o mediante chapas</p>

Tabla 19. Instalación de lámina viscoelástica.

Combinación de imágenes de elaboración propia y de Rockwool International S.A. (2016).

ROCKWOOL. Recuperado el 29 de junio de 2018 de <http://www.rockwool.es/>

Tras instalar la capa viscoelástica se recomienda el empleo de otra capa como protección de la misma.

4.1.7. AEROGEL

El aerogel se produce utilizando como base sílice en la mayoría de los casos, aunque también puede emplearse alúmina, óxido de cromo, estaño o carbono. Para su fabricación el componente líquido se intercambia por un gas, obteniendo un material sólido de muy baja

densidad (aproximadamente 15 veces superior a la del aire) y elevada porosidad (se encuentra compuesta como mínimo en un 90% de aire, pudiendo alcanzar incluso el 99,8% con poros entre 4 y 20 nanómetros de diámetro). Estas propiedades hacen que su conductividad térmica sea muy baja, aunque ésta dependa material base utilizado en la fabricación del aerogel.

Este material se emplea como aislante debido a sus cualidades ignifugas y su baja conductividad térmica (aproximadamente $\lambda=0,015$), empezando a fundirse al alcanzar temperaturas superiores a los 1200°C. Además, este material se caracteriza por su gran ligereza, que permite producir aislantes de bajo espesor y peso, aún así tiene una gran resistencia a la compresión. Respecto a las cualidades hidrófobas, aunque el aerogel de por sí se pueda ver deteriorado por la humedad, hay tratamientos que lo hacen resistente a la humedad.

Sin embargo, su elevado coste hace que no sea una opción rentable para aislar un buque, prefiriéndose optar por materiales que requieran mayor espesor para obtener los mismos resultados. En la industria aeroespacial, en cambio, los desembolsos económicos son mayores por lo que este material se utiliza desde los años 60.



Imagen 28. Aerogel.

Atekux Nanotechnology. (28 de octubre de 2010). Recuperado el 1 de julio de 2018 de Minería chilena. Información confiable y oportuna: <http://www.mch.cl/2010/10/28/tecnologia-aerogel-disponible-para-sector-de-la-construccion-y-arquitectura/#>

A pesar del elevado coste del aerogel, algunas empresas están desarrollando tecnologías que combinan la lana de roca con el aerogel para obtener un material con grandes propiedades

aislantes, pero con un precio que resulte más asequible. Actualmente no se comercializa ningún producto de éste tipo, pero se sigue perfeccionando el diseño de este nuevo material, como el denominado “aerowool” de Rockwool que aún no se encuentra a la venta.

En consecuencia, como actualmente no se utiliza cuando se requiere aislar buques o instalaciones industriales no profundizaremos en él, pero lo mencionamos por sus grandes cualidades como aislante.

4.1.8. FIBRA CERÁMICA

La fibra cerámica es fabricada a partir de lana de silicato alcalino terroso, creándose un material ligero, resistente y flexible, el cual mantiene sus propiedades térmicas incluso con temperaturas superiores a 1200°C, sus fibras comienzan a fundirse al alcanzar los 1500°C.

A pesar de reunir los requisitos necesarios para instalarse en un buque, no suele emplearse este material, por lo que no profundizaremos en él.

4.1.9. GAINA

Se trata de un aislamiento térmico de cerámica líquida que surge de la combinación de materiales cerámicos con dióxido de titanio (TiO₂) y otros aditivos. El dióxido de titanio actúa como catalizador en las reacciones de oxidación-reducción de la fotocatalisis. Los materiales que lo componen impiden la formación de hongos o moho.

Sus propiedades de aislamiento térmico se deben a que es capaz de reflejar hasta el 94% de la energía calorífica incidente, creándose una barrera térmica.. Además de su capacidad aislante, es hidrófobo, por lo que protege contra la humedad y evita la condensación. Respecto a su resistencia al fuego, es un material ignífugo.



Imagen 29. Gaina.

Al ser su formato líquido, permite que se aplique fácilmente sobre cualquier tipo de superficie: hormigón, madera, metal, cerámica, piedra..., como si de pintura se tratase, con un tiempo de secado mínimo de dos horas. El espesor final después de su aplicación oscila entre 0,6 mm y 0,8 mm. La vida útil de este producto es de aproximadamente 15 años en exteriores, siendo en interiores aún más duradero. Esta cerámica, pese a ser de color blanco, existen versiones de diferentes colores, las cuales se obtienen mediante tintes que no influyan en sus propiedades aislantes.

Este material es frecuentemente empleado en la industria aeroespacial, aunque en el sector naval todavía no sea común su uso. No obstante, las empresas que comercializan este producto japonés están intentando darle salida como aislante en buques. No siendo un material que se utilice en buques no lo estudiaremos en profundidad, pero sí que puede abrirse camino en el sector naval en un futuro.

4.1.10. POLIURETANO

El poliuretano es un material que se compone de dos productos líquidos: polioliol e isocianato, que son procesados obteniendo como resultado una espuma rígida, que es el poliuretano. Este polímero es empleado como aislamiento por su rápida instalación y la posibilidad de aislar e impermeabilizar en una única operación.



Imagen 30. Poliuretano.

Fondear S.L. (2018). Recuperado el 2 de julio de 2018 de Fondear:

http://www.fondear.org/infonautic/Barco/Diseno_Construccion/Construccion-Velero/Construccion-Velero-Nessun-Dorma.asp

Su principal propiedad aislante es su baja conductividad térmica (aproximadamente entre $\lambda=0,22$ y $\lambda=0,28$) y su impermeabilidad, que protege contra la humedad. Además, mejora el aislamiento acústico y tiene una elevada resistencia a la presión.

Los materiales plásticos tienen un punto de fusión mucho más bajo que los materiales minerales, lo cual es una desventaja, especialmente en lo que a la protección contra incendios se refiere. Por este motivo, se recomienda optar por materiales minerales en vez de plásticos, por lo que no se profundizará en estos.

4.1.11. POLIESTIRENO

El poliestireno es un polímero termoplástico que se obtiene del estireno polimerizado, es decir, es un plástico cuyas propiedades cambian en función de la temperatura que se obtiene mediante un proceso en el que las moléculas de estireno se agrupan formando moléculas de otros pesos.

Este material puede encontrarse en dos formatos, por un lado el poliestireno expandido cuya conductividad térmica se halla aproximadamente entre $\lambda=0,31$ y $\lambda=0,5$. Por otro lado está el poliestireno extruido, cuya conductividad térmica oscila entre $\lambda=0,29$ y $\lambda=0,33$.

Respecto a sus propiedades aislantes, además de sus cualidades térmicas, resiste la humedad y la compresión. Se utiliza con fines acústicos, reduciendo el nivel de ruido transmitido.

Al igual que sucede con el poliuretano, como se trata de un material plástico su punto de fusión es bajo, siendo esto su mayor desventaja. Por este motivo, se recomienda optar por materiales minerales en vez de plásticos, por lo que no se profundizará en estos.

4.1.12. COMBINACIÓN DE MATERIALES

En definitiva, la elección de la correcta combinación de materiales es esencial en el diseño de los aislamientos de una instalación. En la *Imagen 31* comprobamos como partiendo de un mismo tipo de lana mineral, la absorción del conjunto de aislamiento varía por la combinación de materiales.

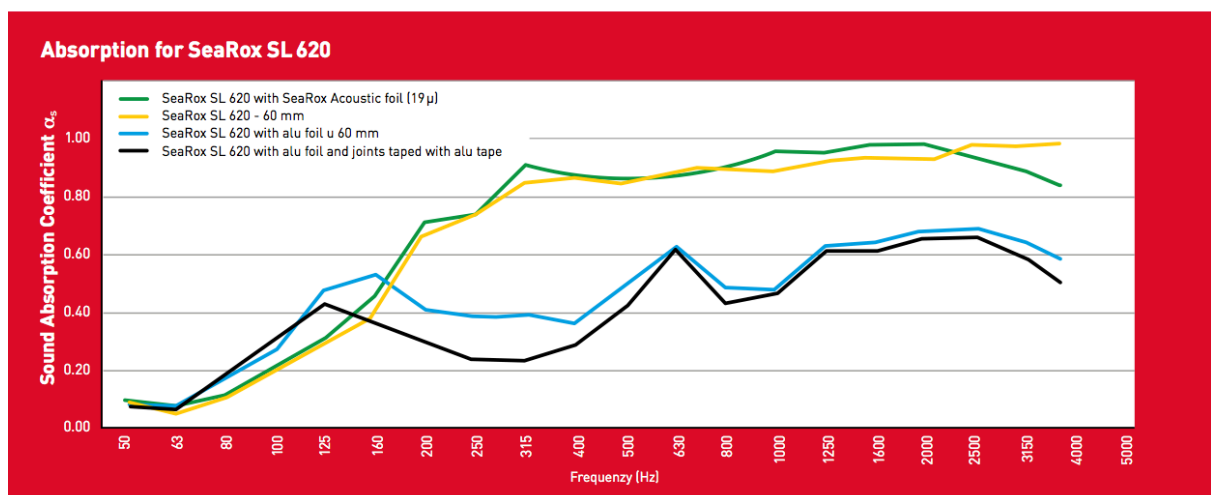


Imagen 31. Absorción de la lana de roca “SeaRox SL 620”.

Rockwool International S.A. (2016). *Acoustic Manual - Marine & Offshore Insulation*. Dinamarca.

4.2. INSTALACIÓN DE AISLAMIENTO SOBRE SUPERFICIES NO PLANAS

4.2.1. TUBERÍAS

El montaje de aislamientos para recubrir tuberías dependerá del diámetro de la tubería, de la posición de ésta y del material empleado.

El aislamiento a instalar en tuberías no sólo evita la transmisión del ruido ocasionado por el fluido que circula por las tuberías, sino que también sirve para protegerlas de la corrosión y otros posibles daños que puedas sufrir.

Además, al aislar la tubería disminuimos el calor transmitido desde el fluido que circula por éstas hasta el exterior. De este modo, se protege a los trabajadores de las lesiones por quemaduras que pudieran ocasionarles el roce con materiales a altas temperaturas.

4.2.1.1. COQUILLAS

Las tuberías se aíslan empleando coquillas, la elección de ésta debe realizarse dependiendo del diámetro de la tubería. Se caracterizan por ajustarse perfectamente a la forma de la tubería y tienen una alta resistencia a la compresión. Además, estos elementos están preparados para soportar temperaturas de hasta 620°C en servicio de acuerdo con la normativa EN 14707.

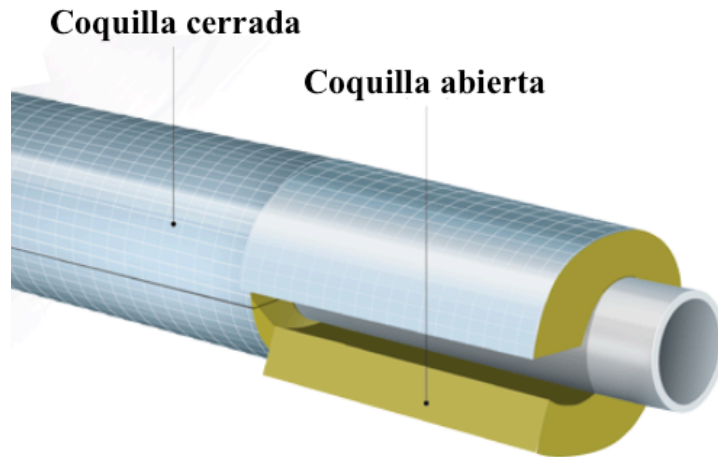


Imagen 32. Coquillas cerradas y abiertas.

Rockwool International S.A. (2016). *ROCKWOOL*. Recuperado el 29 de junio de 2018 de <http://www.rockwool.es/>

La instalación de las coquilla resulta sencilla, puesto que al comercializarse divididas, se puede colocar fácilmente de forma que envuelva la tubería (véase la *Imagen 32* la forma de la coquilla abierta y como queda al cerrarse) y se asegurarla mediante los elementos de sujeción (véase la *Imagen 33* el modo en que se fija la coquilla). Se recomienda fijar el aislamiento con tres bandas de acero por sección situadas una distancia equidistante, estando las bandas finales aproximadamente a 100 mm de la unión lateral.

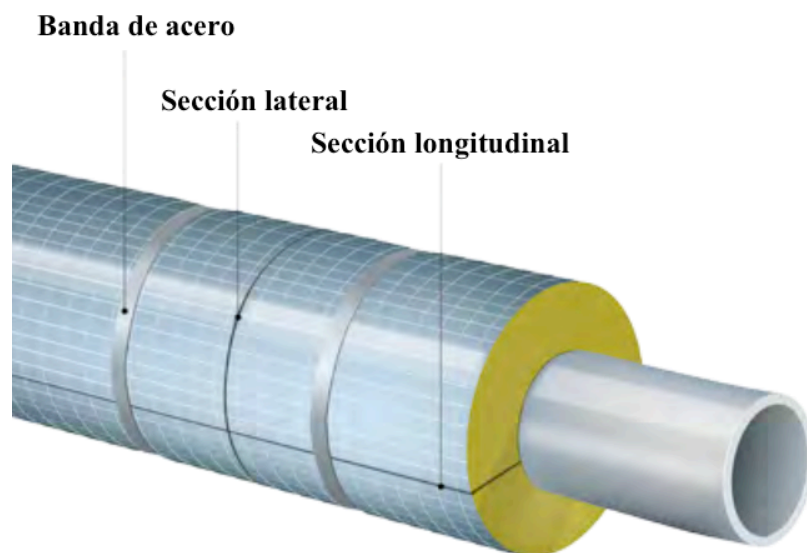


Imagen 33. Coquillas fijada con bandas de acero.

Rockwool International S.A. (2016). *ROCKWOOL*. Recuperado el 29 de junio de 2018 de <http://www.rockwool.es/>

Cuando la sección de la superficie del diámetro exterior es de 200 mm o menos, pueden fijarse mediante alambres o espirales metálicas. En estos casos, se emplearán al menos tres alambres por sección, o en su defecto una espiral metálica.

El aislamiento mediante coquillas puede realizarse en una única capa, como se explica anteriormente, o mediante múltiples capas. En este último caso, será necesario el uso de bandas de acero para asegurar que se ajuste de modo firme y uniforme. Para asegurar el correcto aislamiento se instalará la coquilla superior de forma escalonada sobre la inferior, tanto respecto a la sección longitudinal como la lateral.

El material sobrante, en caso de ser necesario realizar un corte, procederá mediante la utilización un cúter o similar.

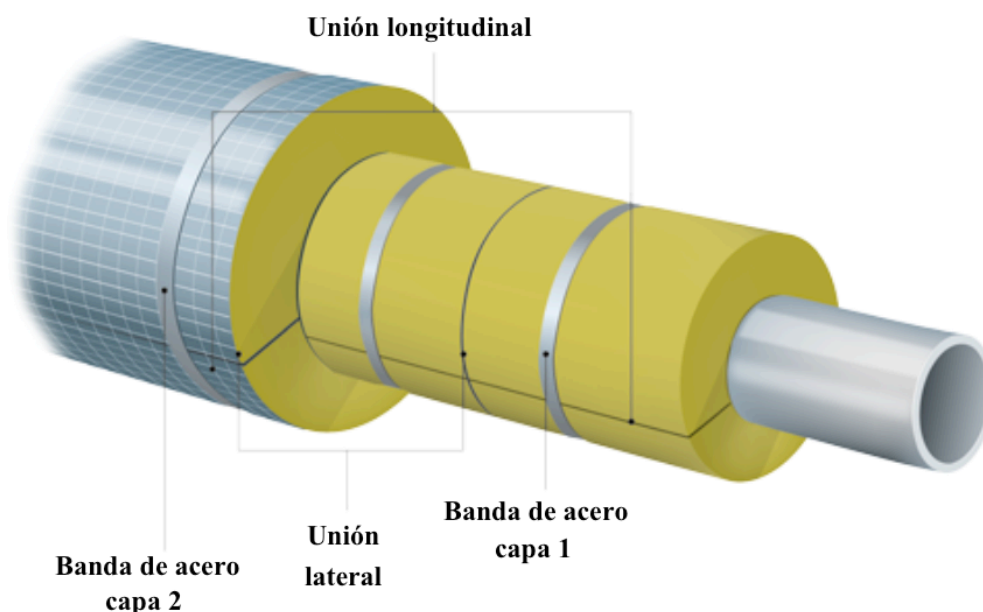


Imagen 34. Múltiples capas de coquillas.

Rockwool International S.A. (2016). *ROCKWOOL*. Recuperado el 29 de junio de 2018 de <http://www.rockwool.es/>

4.2.1.1.1. CODOS

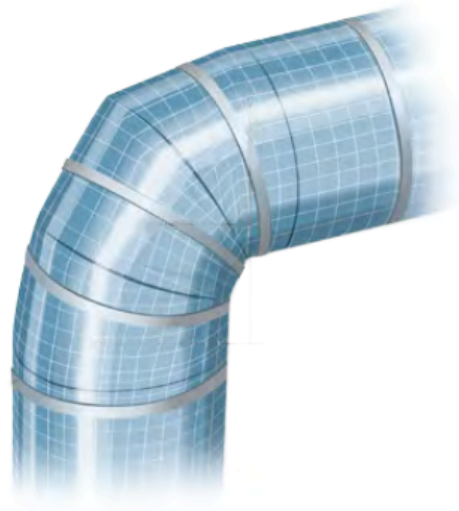


Imagen 35. Codos.

Rockwool International S.A. (2016). *ROCKWOOL*. Recuperado el 29 de junio de 2018 de <http://www.rockwool.es/>

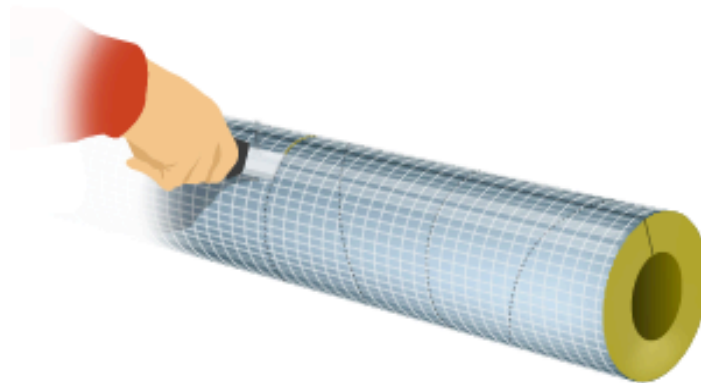


Imagen 36. Segmentos cortados con cúter.

Rockwool International S.A. (2016). *ROCKWOOL*. Recuperado el 29 de junio de 2018 de <http://www.rockwool.es/>

En los tramos en los que las tuberías crean ángulos, el aislamiento a aplicar será el que se explica en este apartado. Para formar los codos, la sección se corta en según el ángulo de la tubería, creando segmentos. La cantidad de segmentos dependerá del tamaño y el ángulo de la tubería. Estos se aseguran con bandas de acero o los elementos de sujeción antes mencionados. Los espacios vacíos que quedarán entre los segmentos, se deben rellenar con lana mineral.

4.2.1.1.2. INJERTOS

El aislamiento aplicado en los injertos, es decir, en las tuberías en forma de “T”, combina el modo de instalación expuesta en las tuberías rectas y en las que forman ángulos. Para su instalación se procederá a colocar las coquillas del modo indicado en el apartado 4.2.1.1. *COQUILLAS* en las zonas rectas de la “T”, haciendo los cortes necesarios con un cúter en la coquilla para que encaje de la forma más exacta posible en los puntos de unión con la tubería perpendicular. Las coquillas se fijarán con bandas de acero o similares, y en el punto de unión de las dos tuberías se coserá o se asegurará con ganchos en forma de C.

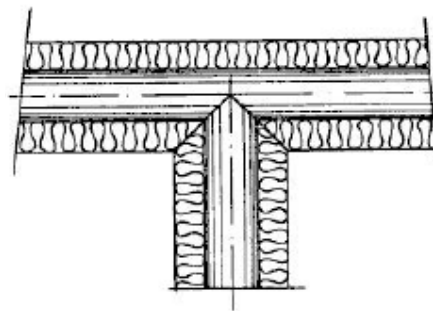


Imagen 37. Injerto.

ISOVER. (1985). Manual del aislamiento. Madrid.

4.2.1.1.3. UNIONES ENTRE COQUILLAS

Una vez instaladas las coquillas en las tuberías, debemos proceder a rellenar los espacios existentes en las uniones, es decir, en las secciones longitudinales, secciones laterales y secciones entre segmentos (esto último en el caso de los codos).

El material a emplear para rellenar estas secciones se denomina manta laminada (lamella mat) que es lana mineral dividida en secciones como se observa en la “*Imagen 38. Manta laminada.*” están preparada para soportar temperaturas de servicio de hasta 250°C.



Imagen 38. Manta laminada.

Rockwool International S.A. (2016). *ROCKWOOL*. Recuperado el 29 de junio de 2018 de <http://www.rockwool.es/>

Las fibras de la lana mineral de este material se encuentran alineadas de tal forma que aumenta la resistencia a la compresión del aislamiento. En consecuencia, se mejora la resistencia al impacto mecánicos y la reducción de las vibraciones.

Se procederá a colocar la manta laminada en las secciones, asegurándonos de cubrir todos los espacios. Tras esto, la manta laminada, al igual que las coquillas, se sujeta mediante bandas de acero.

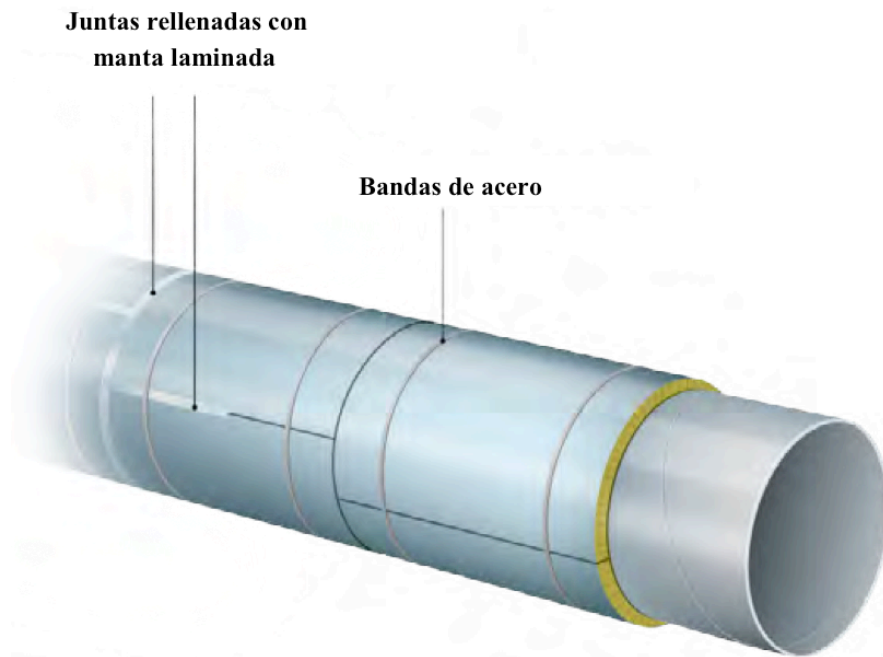


Imagen 39. Manta laminada.

Rockwool International S.A. (2016). *ROCKWOOL*. Recuperado el 29 de junio de 2018 de <http://www.rockwool.es/>

4.2.1.2. MANTA ARMADA (WIRED MAT)

Una manta armada es la combinación de una manta de lana mineral con una malla de alambre galvanizado. Esta combinación de elementos es capaz de soportar temperaturas de servicio de hasta 680°C (EN 14706).

La flexibilidad de este material y la resistencia a altas temperaturas permite que se ajusten fácilmente a la forma de las tuberías. No obstante, su resistencia a la presión es relativamente baja, por lo que es mejor no elegir este tipo de materiales cuando estén zonas en las que deban soportar grandes presiones.

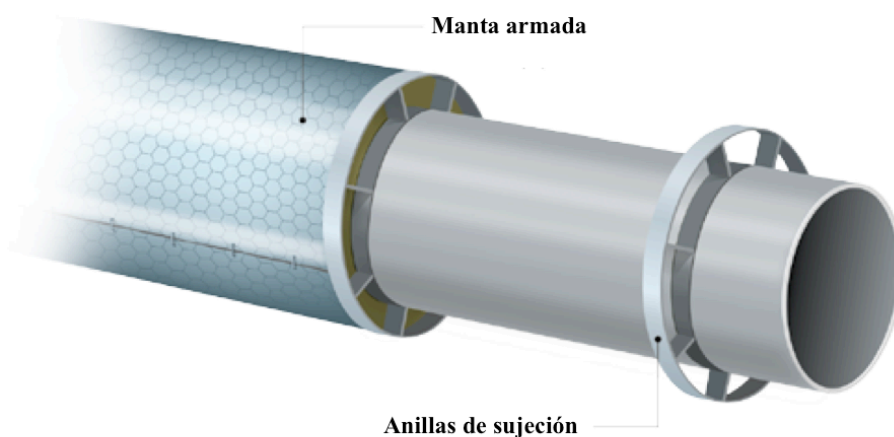


Imagen 40. Instalación de manta armada en tuberías 1.

Rockwool International S.A. (2016). *ROCKWOOL*. Recuperado el 29 de junio de 2018 de <http://www.rockwool.es/>

En caso de aislar una tubería mediante manta armada se necesitará emplear anillas de sujeción a ambos extremos de la manta a instalar. Se introducirá el aislamiento siguiendo el carril interior de estas anillas. Después se procederá a coser los bordes de la sección longitudinal, o en su defecto con unos ganchos en forma de C. Cualquier hueco que pudiera quedar entre las anillas y la manta ya fijada, deberá rellenarse con piezas de lana mineral. Cabe mencionar, que las anillas de sujeción crean puentes térmicos.

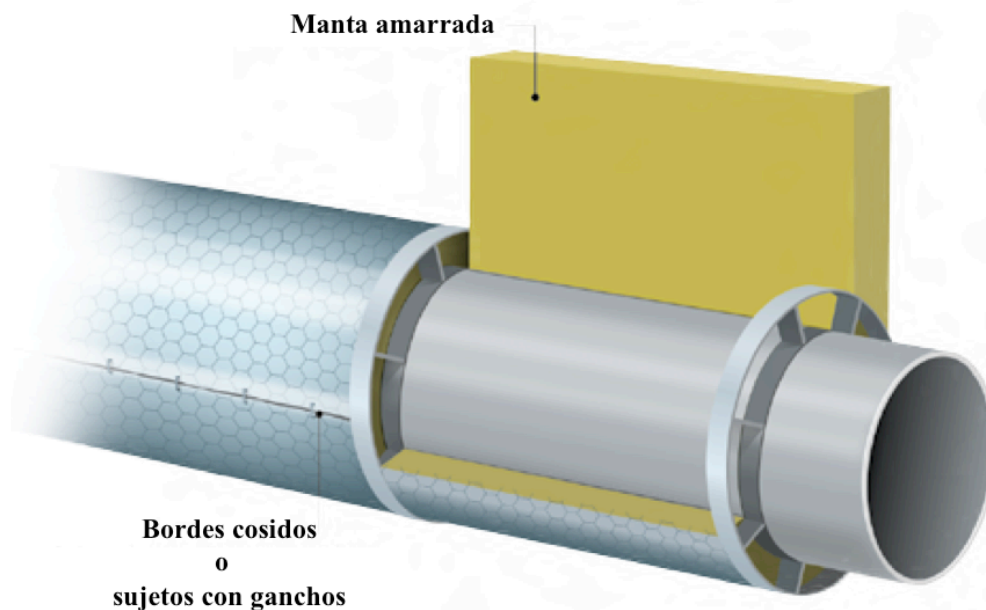


Imagen 41. Instalación de manta armada en tuberías 2.

Rockwool International S.A. (2016). *ROCKWOOL*. Recuperado el 29 de junio de 2018 de <http://www.rockwool.es/>

En tuberías cuyo diámetro supere los 350 mm, además de estas medidas, se debe sujetar la manta armada con bandas de acero u otro tipo de medios de sujeción adicional. De lo contrario, la manta podría llegar a combarse, estropeándose así el aislamiento y perdiendo sus cualidades.

Cuando se trate de tuberías verticales deberemos tener especial cuidado para que el aislamiento no se desplace, la malla debe atarse a las anillas de sujeción, especialmente en el extremo vertical.

Este aislamiento puede realizarse con una única capa o con múltiples capas, al igual que con las coquillas. En caso de instalarse múltiples capas, se situará la manta armada superior de forma escalonada sobre la inferior, tanto respecto a la sección longitudinal como la lateral. El sistema empleado para fijar el aislamiento será el mismo que antes, es decir, mediante anillas de sujeción y ganchos en forma de C o cosiendo.

Cabe mencionar, que se deberá recortar la manta armada para ajustarlo a la medida necesaria, los cortes de mantas armadas deben realizarse con tijeras, a fin de poder cortar la malla.

4.2.1.3. PENETRACIONES

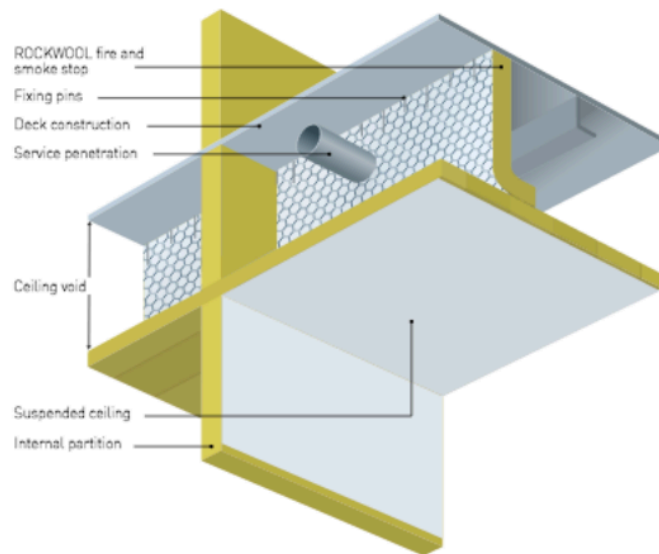


Imagen 42. Penetración.

Rockwool International S.A. (2016). *ROCKWOOL*. Recuperado el 29 de junio de 2018 de <http://www.rockwool.es/>

Cuando una tubería o conducto atraviesa un mamparo o cubierta se denomina penetración. Las normativas para la instalación de aislamiento en estos espacios es diferente al resto del buque, a fin de poder mantener la integridad de la estructura contra incendios del buque. La tubería que atraviese esta estructura debe ser de acero. La normativa de IMO exige que su longitud mínima sea de 900 mm, y sugiere que se distribuyan de forma que quede un mínimo de 450 mm a ambos lados de la superficie penetrada. Cabe mencionar que la clase de aislamiento debe corresponderse en la estructura con la aplicada sobre la tubería o conducto. Esta normativa de IMO se encuentra en el SOLAS, Capítulo II-2 Construcción-Prevención, detección y extinción de incendios, Regla 9: Contención del incendio, Sección 3.

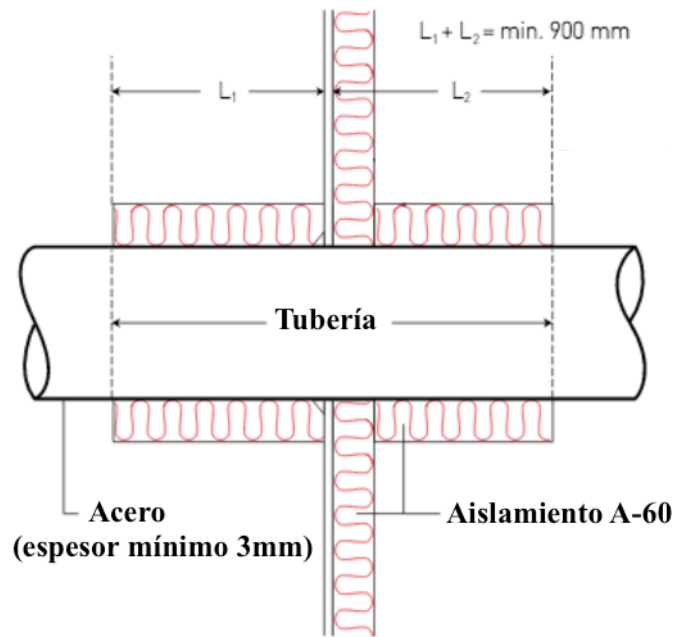


Imagen 43. Tubería.

Rockwool International S.A. (2016). *ROCKWOOL*. Recuperado el 29 de junio de 2018 de <http://www.rockwool.es>

4.3. RECUBRIMIENTOS

Los materiales que pueden ser utilizados como recubiertos son las láminas de aluminio, la fibra de vidrio, el laminado acústico, la malla de las mantas armadas, las placas de acero..., los cuales se explican en el apartado 4.1. *TIPOS DE AISLAMIENTO*.

4.4. SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES

La seguridad de los trabajadores al manipular e instalar los aislamientos es un aspecto de vital importancia, por lo que se deben seguir las siguientes indicaciones, descritas en la *Tabla 20*, durante el proceso de instalación

1		<p>Para evitar que el contacto con la piel, de materiales como la lana mineral, pueda causar picor temporal debe cubrirse toda la piel que pudiera quedar expuesta.</p>
2		<p>Las mascarillas son necesarias para prevenir que se respire el polvo en el aire.</p>
3		<p>Se recomienda el uso de gafas de protección en todo momento, pero si se instala aislamiento en techos o zonas altas es obligatorio su uso.</p>
4		<p>Tras instalar la lana deberán aspirarse los residuos, antes de continuar con el resto de capas. Además, los residuos se desecharán según la reglamentación del lugar.</p>
5		<p>Una vez acabado, se deberán enjuagar las manos con agua fría antes de lavarlas.</p>
6		<p>Siempre que sea posible se trabajará en espacios ventilados</p>

Tabla 20. Seguridad de los trabajadores.

5. ESTUDIO DE UN CASO PRÁCTICO

5.1. BUQUE “HAVYARD 931 CCV“

El buque elegido para el estudio de un caso práctico es el “HAVYARD 931 CCV“, cuya finalidad es el transporte de tripulación desde éste hasta otro buque o estación offshore (Crew change vessel). El país de abanderamiento de éste es Dinamarca y la sociedad de clasificación DNV GL. Cabe mencionar que el nombre del buque no es definitivo, sino la denominación provisional aportada durante el proceso constructivo por el armador.

Éste se encuentra preparado para alojar a 75 ocupantes, 10 de los cuales serán la tripulación y los otros 65 serán personal especializado. Estos últimos son los que serán trasladados a su buque o estación offshore de destino, donde trabajarán como tripulación.

El alojamiento de los ocupantes se distribuirá del siguiente modo en camarotes preparados para acoger a una única persona:

Entrepunte	44 camarotes
Cubierta principal.....	11 camarotes
Cubierta B	14 camarotes
Cubierta C	6 camarotes

El plano de la disposición general se encuentra en el apartado 9.2. *ANEXO 2. DISPOSICIÓN GENERAL DEL BUQUE.*

5.1.1. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL BUQUE

Las características de la especificación técnica del buque más relevantes son las siguientes:

Medidas del buque

Eslora (O.A.).....	88,4 m
Longitud entre perpendiculares (P.P)	76,8 m

Manga	15 m
Altura Cubierta Mezzanina.....	3,75 m
Altura Entrepunte.....	6,5 m
Altura Cubierta principal	9,25 m
Máximo calado	5,5 m
Calado operacional	4,75 m
GT (aproximado)	3808 toneladas

Hélices azimutales principales

Unidades	2
Marca	Steerprop
Modelo.....	SP35CRP
Potencia nominal	2100 kW
Revoluciones	150 R.P.M. (165 máx.)
Palas.....	Proa 3 / Popa 4
Diámetro	Proa 3000mm / Popa 2400mm

Motores Diesel

Unidades	4
Marca	Caterpillar
Modelo.....	3512C-B
Nº de cilindros	12
Potencia nominal	1425 kW
Velocidad nominal.....	1600 R.P.M.
Soporte.....	Soporte elástico

Generadores

Unidades	4
Marca	Siemens
Voltaje	690 V
Potencia nominal	1463 kVA

Velocidad nominal..... 900-1600 R.P.M.

Hélices de proa en túnel

Unidades 2
Marca Brunvoll
Modelo..... FU-63-LRC-1750 Low Noise
Potencia nominal 600 kW
Velocidad de propulsor..... 302 R.P.M.
Palas..... 4
Soporte..... Soporte elástico
Diámetro 1750mm

5.1.2. REQUISITOS ACÚSTICOS DEL BUQUE

Como se expone en el apartado anterior, las principales características de este buque para poder proceder al cálculo del aislamiento vienen definidas en la especificación técnica aportada por el armador y aprobada por la sociedad de clasificación correspondiente. En nuestro caso, la sociedad de clasificación es Det Norske Veritas (DNV) y navegará bajo bandera danesa, por lo que deberá cumplir la normativa de Danish Maritime Authority (DMA).

En consecuencia, deberemos regirnos por la normativa propia de DNV, “Comfort Class Notation DNV GL COMF-V(2)”, y la autoridad del país de abanderamiento DMA (Véase el apartado 3.2.4. *NORMATIVA ACÚSTICA EN BUQUES* para más información).

Se deben comprobar los nivel acústicos bajo las dos condiciones descritas a continuación, durante las cuales deberán hallarse en marcha todos los equipos requeridos para la operación y funcionamiento del buque.

- **Tránsito normal:** condición de funcionamiento de un buque en la que las hélices de propulsión hacen que el motor ascienda al 90% de la capacidad en condiciones

normales. Solamente pueden estar en funcionamiento dos de las hélices azimutales. Se denomina en inglés como “Normal Transit”.

- **Posicionamiento dinámico:** condición de funcionamiento de un buque en la cual al menos el 40% de la capacidad en las hélice de maniobra de proa. Se denomina en inglés como “Manoeuvring / dynamic positioning”.

Además de estos datos, en dicha especificación técnica se determinan requisitos adicionales definidos por el armador que debe cumplir el plan de aislamientos del buque. En la especificación del “HAVYARD 931 CVV” se indica que en el área de los pescantes del bote no se deberán superar los 80 dB(A).

En definitiva, teniendo en cuenta la normativa de la sociedad de clasificación DNV (apartado 3.2.4. *NORMATIVA ACÚSTICA EN BUQUES*) y las exigencias del armador, los límites acústicos de cada uno de los espacios del buque se muestran en los planos de las *Imagen 45, Imagen 46, Imagen 47, Imagen 48, Imagen 49, Imagen 50 e Imagen 51*. Cada imagen se corresponde a una de las cubiertas del buque, definiéndose mediante un color el máximo de dB(A) alcanzable en dicho punto según el siguiente criterio:

Nivel de ruido máximo permitido [dB(A)]	
	110
	85
	80
	75
	70
	60
	58
	55

Tabla 21. Leyenda del nivel de ruido máximo permitido por cubiertas

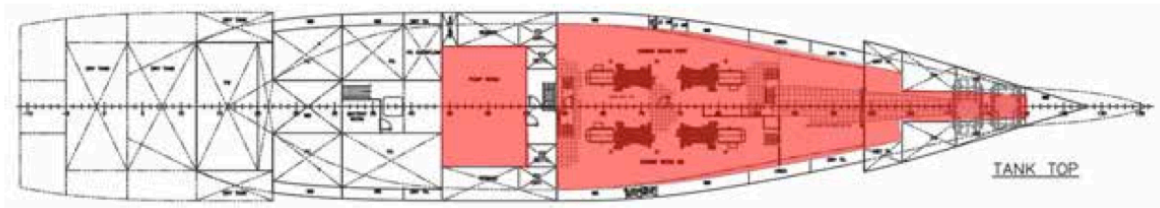


Imagen 44. Nivel de ruido máximo permitido en Tank Top.

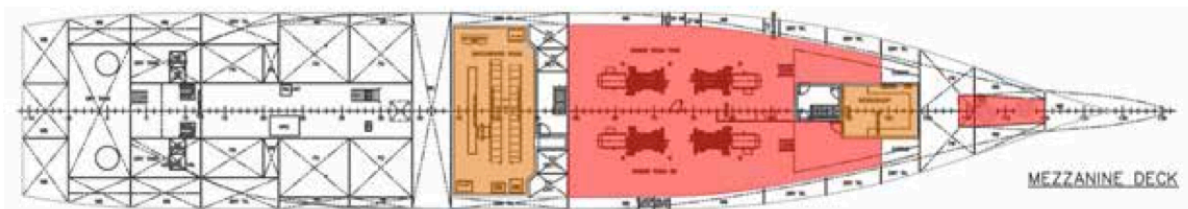


Imagen 45. Nivel de ruido máximo permitido en la cubierta de mezzanina.



Imagen 46. Nivel de ruido máximo permitido en el entrepunte

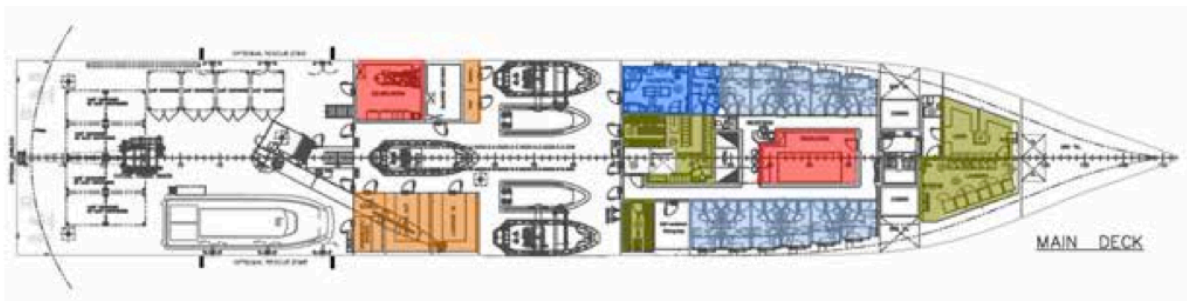


Imagen 47. Nivel de ruido máximo permitido en la cubierta principal

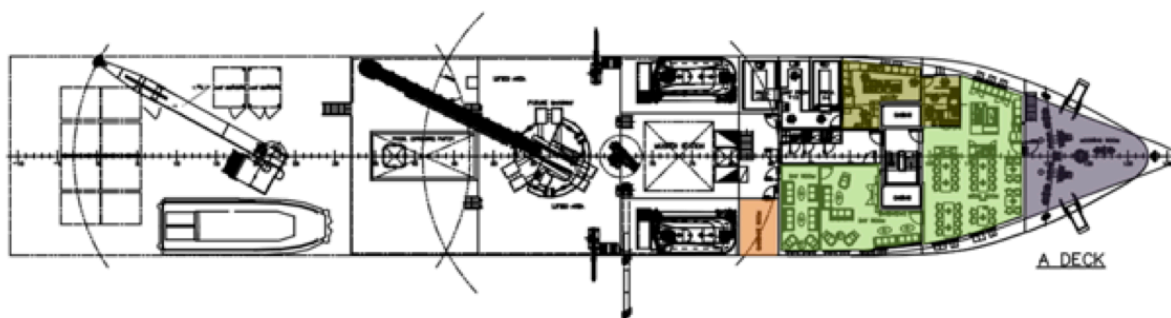


Imagen 48. Nivel de ruido máximo permitido en la cubierta A

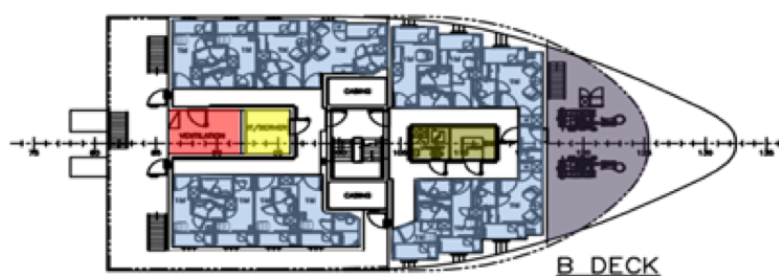


Imagen 49. Nivel de ruido máximo permitido en la cubierta B

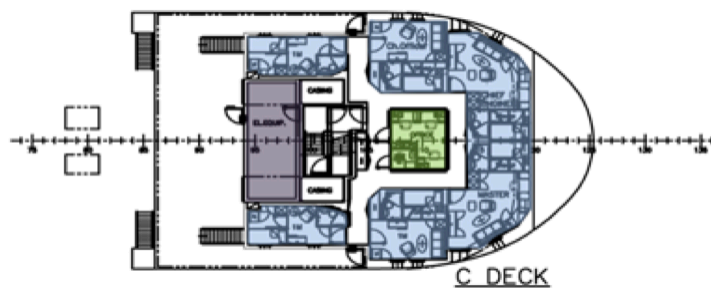


Imagen 50. Nivel de ruido máximo permitido en la cubierta C

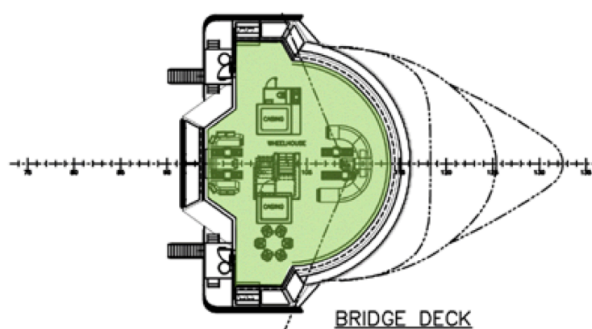


Imagen 51. Nivel de ruido máximo permitido en la cubierta de puente

Conocidas las características principales del buque, es necesario determinar las fuentes de ruido entre los equipos instalados. El suministrador de cada equipo nos proporcionará la tanto la información referente a ruidos y vibraciones, como los resultados de las pruebas realizadas en fábrica (FAT) y los certificados que lo acrediten.

5.1.3. FUENTES DE RUIDO

Antes de proceder a la determinación del aislamiento a emplear es necesario conocer las fuentes de ruido del buque. Estos datos se obtendrán a partir de la información facilitada por los propios suministradores de los equipos instalados, recibiendo documentación referente a ruidos y vibraciones, los resultados de las pruebas FAT (Factory Acceptance Test) y los certificados que acreditan la veracidad de estos datos.

Considerando todos estos datos, se establecen en la *Tabla 22* las fuentes de ruido del buque. Se considerarán los equipos bajo dos condiciones de operación: tránsito normal y posicionamiento dinámico (descritas en el apartado 5.1.1. *ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL BUQUE*).

Equipos	Tránsito normal		Posicionamiento dinámico	
	Nº unidades en servicio	Capacidad %	Nº unidades en servicio	Capacidad %
Gen Sets	4	90%	4	86%
Main Propulsion Azimuth Thrusters	2	90%	2	59%
Bow Thruster	-	-	2	93%
Starting Air Compressor	2	20%	2	20%
Working Air Compressor	1	20%	1	20%
Air Handling Units	4	100%	4	100%
Chiller Units	2	100%	2	100%

E-3 Laundry B-deck	1	100%	1	100%
E-4 Laundry Main Deck	1	100%	1	100%
E-5 ECR	1	100%	1	100%
E-6 Smoker's Day Room	1	100%	1	100%
E-9 Laundry Tween Deck	1	100%	1	100%
E-7 Sick Bay	1	100%	1	100%
E-8 Hospital	1	100%	1	100%
E-101 Scullery	1	100%	1	100%
S-10 Engine Room PS	1	60%	1	60%
S-11 Engine Room SB	1	60%	1	60%
E-20 Pump Room	1	100%	1	100%
S-21 Bow Thruster Room	1	100%	1	100%
E-23 Battery Room	1	100%	1	100%
S-24 SWB Room	1	100%	1	100%
E-25 Workshop	1	100%	1	100%
S-25 Propulsion Room	1	100%	1	100%
E-28 WorkshoWStores Main Deck	1	100%	1	100%
S-29 Em. Gen Room	1	100%	1	100%
E-30 Garbage Room	1	100%	1	100%
E-32 Forepeak Store	1	100%	1	100%
E-33 Luggage in Store	1	100%	1	100%
E-34 Luggage out Store	1	100%	1	100%
E-35 Em. Water Mist Room	1	100%	1	100%
S-36.1 ECR	1	100%	1	100%
5-36.2 ECR	1	100%	1	100%
E-37 Paint Store	1	100%	1	100%
E-38 Chemical Store	1	100%	1	100%

Tabla 22. Fuentes de ruido.

Niveles de ruido aéreo [dB ref. 20 µPa]									
Equipos	Bandas de octavas [Hz]								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Generador principal	-	-	98,5	97,5	94,5	97,5	97,5	95,5	99,5
Compresor aire arranque	83,5	95,5	91,5	92,0	92,0	89,5	83,5	77,5	75,0
Compresor aire trabajo	71,8	82,1	77,7	77,7	77,4	74,8	69,1	63,5	61,3
Túnel de hélice de proa	85,0	88,0	87,0	92,0	90,0	88,0	84,0	77,0	67,0
Hélice azimutal	83,0	84,0	88,0	92,0	93,0	93,0	92,0	86,0	79,0
AC-1.1	65,0	74,0	78,0	71,0	67,0	57,0	57,0	48,0	40,0
AC-2.1 / AC-1.3 / AC-1.4	65,0	72,0	74,0	65,0	56,0	53,0	52,0	43,0	36,0
RF-1	40,0	53,0	61,0	62,0	60,0	57,0	55,0	48,0	44,0
RF-2	40,0	53,0	61,0	62,0	60,0	57,0	55,0	48,0	44,0
E-3/E-101/E-9/E-23/S-26	-	60,8	60,3	63,3	64,7	65,3	61,2	59,5	54,9
E-4 1 E-1/ E-20	-	70,5	72,7	78,7	81,9	83,7	78,8	76,5	70,0
E-5	-	58,0	34,0	37,0	51,0	47,0	44,0	38,0	28,0
E-6	-	44,0	44,0	49,0	55,0	53,0	48,0	39,0	29,0
E-7 / B-22 / S-24 / S-25/ E-30/E-32/ E-35 15-36.1/ 5-36.2/ E-35	-	41,0	42,0	49,0	55,0	48,0	48,0	45,0	29,0
E-8	-	44,0	44,0	49,0	55,0	53,0	48,0	39,0	29,0
S-10 15-11	-	89,5	89,8	91,8	93,0	90,8	87,7	83,2	77,7
5-21	-	51,0	34,0	30,0	38,0	43,0	41,0	27,0	17,0
E-25 1 E-28	-	65,0	64,6	67,8	69,2	69,9	65,8	64,0	59,3
5-29	-	82,2	82,1	80,6	84,2	82,0	79,8	76,0	70,1
E-33 / E-34	-	45,0	38,0	39,0	51,0	45,0	42,0	36,0	23,0
E-37 / E-38	-	55,2	55,1	58,6	60,2	61,0	56,8	55,0	50,1

Tabla 23. Ruido aéreo 1.

Niveles de ruido estructural [dB ref. 1 μ G]									
Equipos	Bandas de octavas [Hz]								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Generador principal	73,8	84,3	88,5	90,9	94,7	95,3	93,2	99,2	53,2
Compresor aire arranque	72,1	78,1	81,1	85,1	88,1	91,1	94,1	94,1	99,1
Compresor aire trabajo	77,3	83,3	86,3	90,3	93,3	96,3	99,3	99,3	104,3
Túnel de hélice de proa	83,0	95,0	97,0	104,0	108	107,0	107,0	112,0	110,0
Hélice azimutal	84,4	87,6	86,4	91,8	98,7	96,2	90,3	90,0	90,0
AC-1.1/ AC-2.1/AC-1.3/AC-1.4	75,0	61,0	70,0	71,0	67,0	62,0	56,0	52,0	51,0
RF-1 / RF-2	77,0	79,0	77,0	76,0	74,0	77,0	74,0	71,0	74,0

Tabla 24. Ruido estructural.

Niveles de ruido aéreo [dB ref. 20 μ Pa]									
Equipos	Bandas de octavas [Hz]								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Exhaustación del generador principal	-	-	123,0	118,5	111,0	109,5	111,0	111,5	108,0
Atenuación del silencioso	3	12	23	34	31	29	26	24	19

Tabla 25. Ruido aéreo 2.

5.2. CÁLCULOS

Los cálculos para la determinación del aislamiento acústico a emplear se han realizado mediante un software de predicción de ruido basado en el análisis estadístico de energía. Una vez introducidos los datos característicos del buque y las fuentes de ruido, se ha elegido un aislamiento inicial (de acuerdo con los aislamientos empleados habitualmente en buques de características similares), que será modificado en función de los resultados obtenidos.

El aislamiento inicial elegido será lana de roca de densidad de 140 kg/m³ y espesor de 50 mm (fabricado por Rockwool como modelo SeaRox SL 436), recubierto por placas de acero

(2000x140x1,5 mm) y placas de acero perforado (2000x1000x3 mm). En función de los resultados obtenidos en los diferentes espacios, se procederá a realizar las modificaciones necesarias para que los niveles de ruido sean adecuados según la normativa que regula el buque Det Norske Veritas (Comfort Class Notation DNV GL COMF-V(2)) e International Maritime Organization (IMO MSC 337(91) - Code on noise levels on board ships).

5.3. RESULTADO DE LOS CÁLCULOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se exponen a continuación se corresponden con diferentes espacios del buque, los cuales han sido numerados tal como se indica en los siguientes planos de la disposición general.

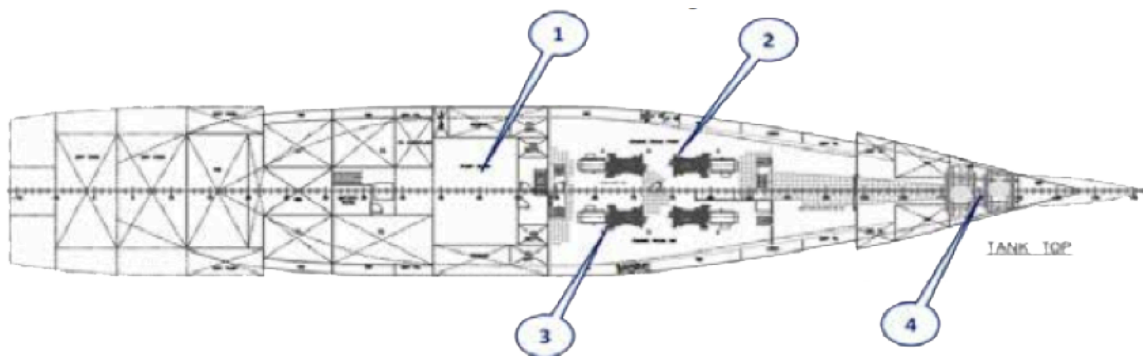


Imagen 52. Tank Top.

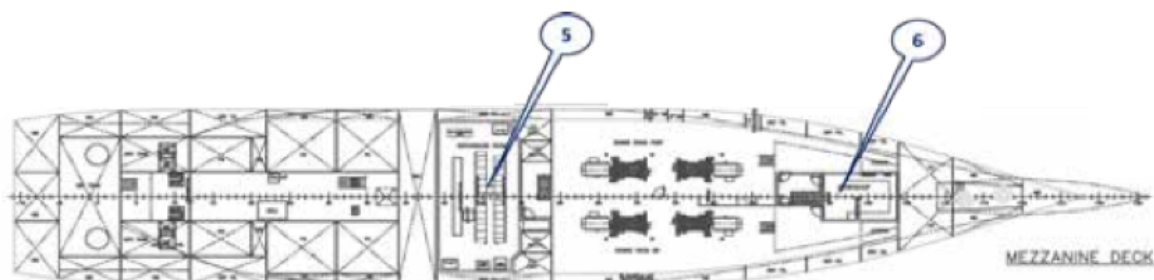


Imagen 53. Cubierta de mezzanina.

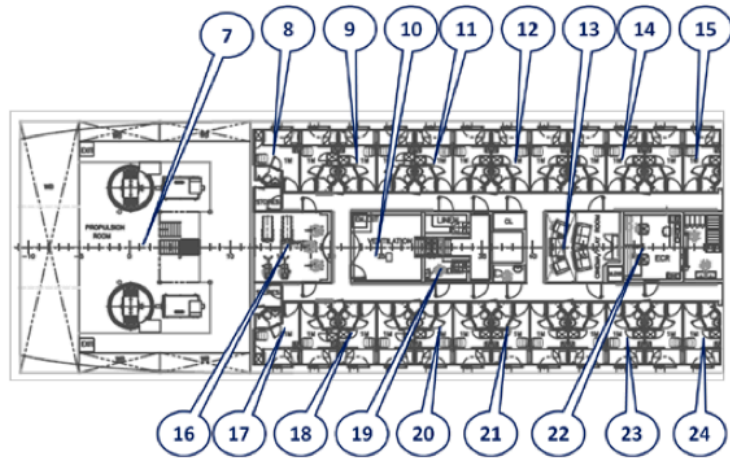


Imagen 54. Entrepunte (popa)

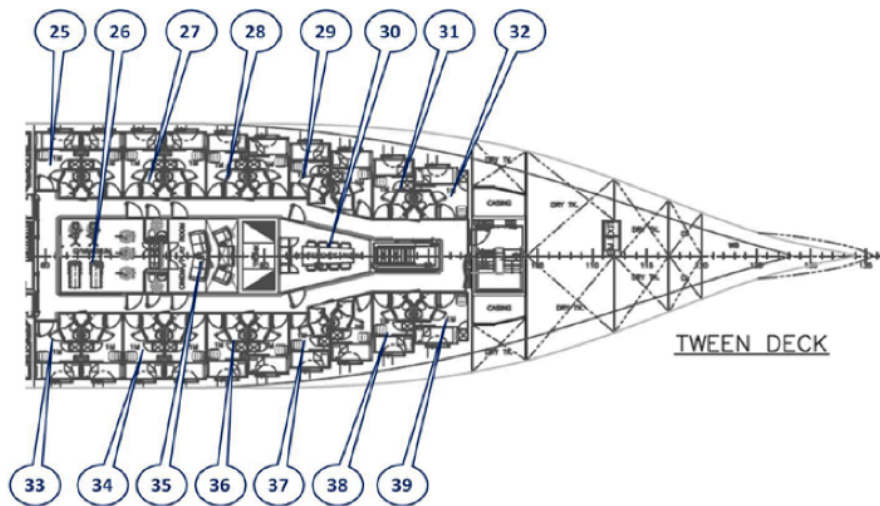


Imagen 55. Entrepunte (proa).

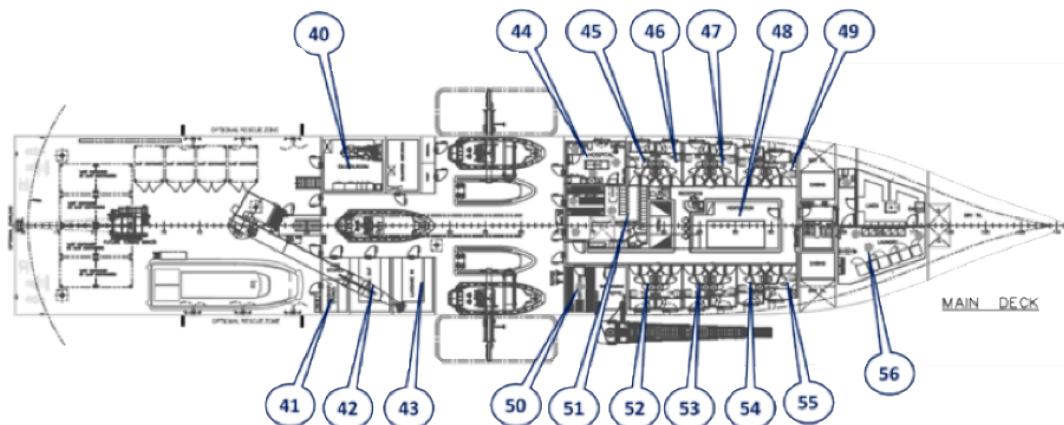


Imagen 56. Cubierta principal.

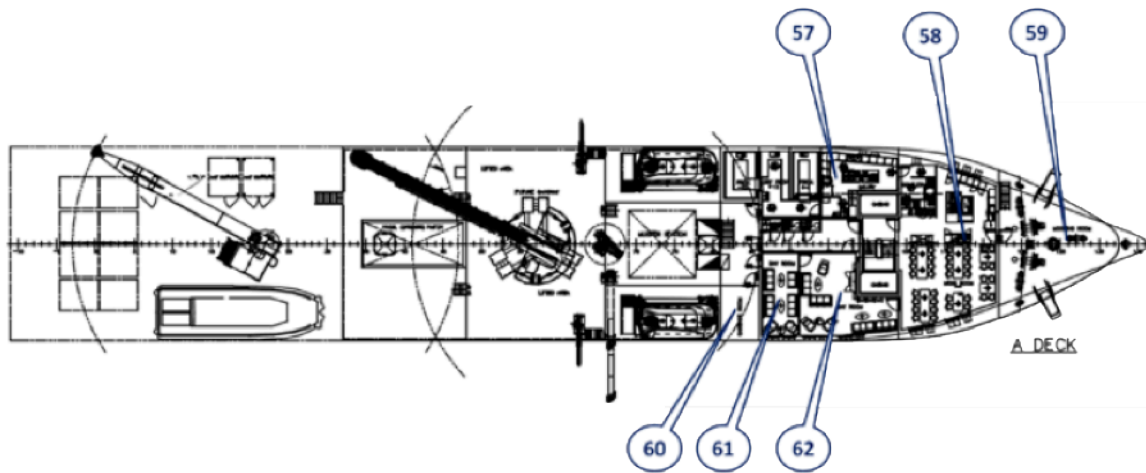


Imagen 57. Cubierta A.

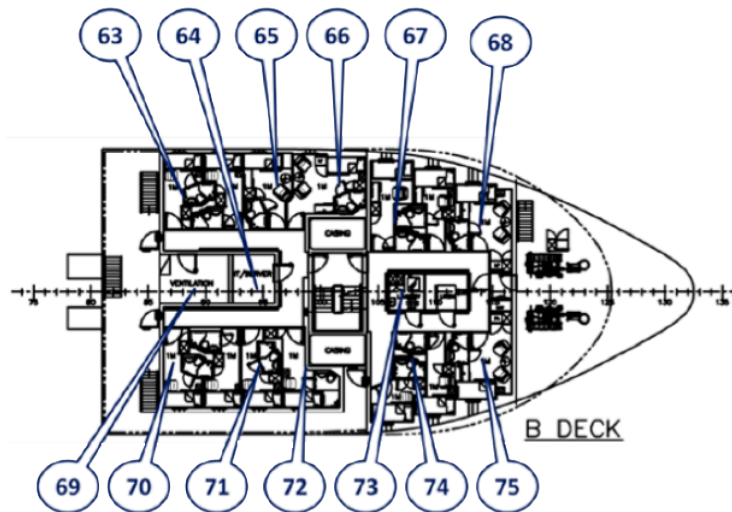


Imagen 58. Cubierta B.

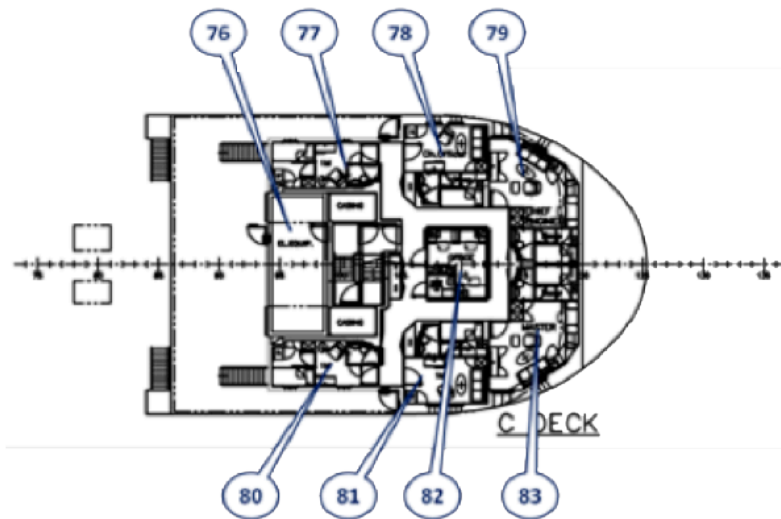


Imagen 59. Cubierta C.

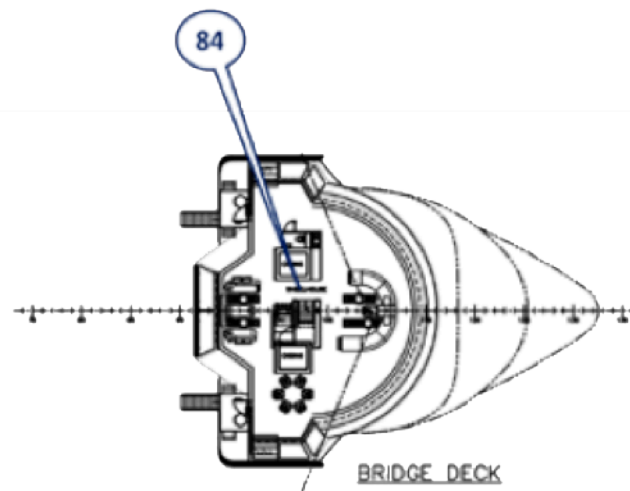


Imagen 60. Cubierta de puente.

5.3.1. RESULTADOS DE NIVEL DE RUIDO EN CONDICIÓN DE TRÁNSITO NORMAL

NIVEL DE RUIDO dB(A) CONDICIÓN TRÁNSITO NORMAL					
	Nº	ESPACIO	NIVEL MEDICIÓN dB(A)	LÍMITE ADMITIDO dB(A)	RESULTADO
TANK TOP	1	PUMP ROOM	70	110	
	2	ENGINE ROOM	108	110	
	3	PORT ENGINE ROOM SB	109	110	ACEPTABLE
	4	BOW THRUSTER ROOM	63	110	
MEZZANINE DECK	5	SWITCHBOARD ROOM	70	85	
	6	WORKSHOP	76	85	
TWEEN DECK	7	PROPULSION ROOM	100	110	
	8	PORT CABIN 1 TD	57	55	X
	9	PORT CABIN 2 TD	47	55	
	10	VENTILATION ROOM TD	71	110	
	11	PORT CABIN 3 TD	45	55	
	12	PORT CABIN 4 TD	50	55	
	13	CINEMA / PLAY ROOM AFT.	54	60	
	14	PORT CABIN 5 TD	50	55	
	15	PORT CABIN 6 TD	61	55	X
	16	GYMNASIUM AFT.	56	60	
	17	STARBOARD CABIN 1 TD	57	55	X
	18	STARBOARD CABIN 2 TD	47	55	
	19	LAUNDRY TD	80	75	X
	20	STARBOARD CABIN 3 TD	47	55	
	21	STARBOARD	48	55	

		CABIN 4 TD			
	22	ECR	67	70	
	23	STARBOARD CABIN 5 TD	49	55	
	24	STARBOARD CABIN 6 TD	60	55	X
	25	PORT CABIN 7 TD	63	55	X
	26	GYMNASIUM FWD.	62	60	X
	27	PORT CABIN 8 TD	58	55	X
	28	PORT CABIN 9 TD	60	55	X
	29	PORT CABIN 10 TD	60	55	X
	30	CONFERENCE ROOM	63	60	X
	31	PORT CABIN 11 TD	60	55	X
	32	PORT CABIN 12 TD	60	55	X
	33	STARBOARD CABIN 7 TD	63	55	X
	34	STARBOARD CABIN 8 TD	60	55	X
	35	CINEMA / PLAY ROOM FWD.	62	60	X
	36	STARBOARD CABIN 9 TD	59	55	X
	37	STARBOARD CABIN 10 TD	60	55	X
	38	STARBOARD CABIN 11 TD	61	55	X
	39	STARBOARD CABIN 12 TD	61	55	X
	MAIN DECK	40	EM. GENERATOR ROOM	92	110
41		WORKSHOP MD	83	85	
42		LUGGAGE OUT	62	85	
43		LUGGAGE IN	62	85	
44		HOSPITAL	62	58	X
45		SICK BAY	63	58	X
46		PORT CABIN 1 MD	53	55	
47		PORT CABIN 2	51	55	

		MD			
	48	VENTILATION MD	74	110	
	49	PORT CABIN 3 MD	55	55	ACCEPTABLE
	50	DRY ROOM	59	75	
	51	WARDROBE	62	75	
	52	STARBOARD CABIN 1 MD	56	55	X
	53	STARBOARD CABIN 2 MD	54	55	ACCEPTABLE
	54	STARBOARD CABIN 3 MD	48	55	
	55	STARBOARD CABIN 4 MD	53	55	
	56	LAUNDRY MD	89	75	X
A DECK	57	GALLEY	53	75	
	58	MESS ROOM	68	60	X
	59	MOORING ROOM	52	80	
	60	GARBAGE ROOM	65	85	
	61	DAY ROOM 1	61	60	X
	62	DAY ROOM 2	53	60	
B DECK	63	PORT CABIN 1 B	44	55	
	64	IT/ SERVER	53	70	
	65	PORT CABIN 2 B	45	55	
	66	PORT CABIN 3 B	49	55	
	67	PORT CABIN 4 B	48	55	
	68	PORT CABIN 5 B	39	55	
	69	VENTILATION B	70	110	
	70	STARBOARD CABIN 1 B	49	55	
	71	STARBOARD CABIN 2 B	46	55	
	72	STARBOARD CABIN 3 B	49	55	
	73	LAUNDRY B	82	75	X
	74	STARBOARD CABIN 4 B	46	55	
	75	STARBOARD CABIN 5 B	43	55	
C DECK	76	EL. EQUIPMENT	53	80	
	77	PORT CABIN 1 C	49	55	
	78	CHIEF OFFICER CABIN	43	55	
	79	CHIEF ENGINEER	36	55	

		CABIN			
	80	STARBOARD CABIN 1 C	49	55	
	81	STARBOARD CABIN 2 C	43	55	
	82	OFFICE	33	60	
	83	MASTER	40	55	
BRIDGE DECK	84	WHEELHOUSE	52	60	

Tabla 26. Resultados de nivel de ruido en condición de tránsito normal.

5.3.2. RESULTADOS DE NIVEL DE RUIDO EN CONDICIÓN DE POSICIONAMIENTO DINÁMICO

NIVEL DE RUIDO dB(A) CONDICIÓN DE POSICIONAMIENTO DINÁMICO					
	Nº	ESPACIO	NIVEL MEDICIÓN dB(A)	LÍMITE ADMITIDO dB(A)	RESULTADO
TANK TOP	1	PUMP ROOM	70	110	
	2	ENGINE ROOM	108	110	
	3	PORT ENGINE ROOM SB	109	110	ACEPTABLE
	4	BOW THRUSTER ROOM	94	110	
MEZZANINE DECK	5	SWITCHBOARD ROOM	70	85	
	6	WORKSHOP	76	85	
TWEEN DECK	7	PROPULSION ROOM	98	110	
	8	PORT CABIN 1 TD	54	55	ACEPTABLE
	9	PORT CABIN 2 TD	45	55	
	10	VENTILATION ROOM TD	71	110	
	11	PORT CABIN 3 TD	44	55	
	12	PORT CABIN 4 TD	49	55	
	13	CINEMA / PLAY ROOM AFT.	54	60	

14	PORT CABIN 5 TD	50	55	
15	PORT CABIN 6 TD	61	55	X
16	GYMNASIUM AFT.	54	60	
17	STARBOARD CABIN 1 TD	54	55	ACCEPTABLE
18	STARBOARD CABIN 2 TD	45	55	
19	LAUNDRY TD	80	75	X
20	STARBOARD CABIN 3 TD	45	55	
21	STARBOARD CABIN 4 TD	47	55	
22	ECR	67	70	
23	STARBOARD CABIN 5 TD	49	55	
24	STARBOARD CABIN 6 TD	60	55	X
25	PORT CABIN 7 TD	63	55	X
26	GYMNASIUM FWD.	62	60	X
27	PORT CABIN 8 TD	58	55	X
28	PORT CABIN 9 TD	60	55	X
29	PORT CABIN 10 TD	60	55	X
30	CONFERENCE ROOM	63	60	X
31	PORT CABIN 11 TD	61	55	X
32	PORT CABIN 12 TD	61	55	X
33	STARBOARD CABIN 7 TD	63	55	X
34	STARBOARD CABIN 8 TD	59	55	X
35	CINEMA / PLAY ROOM FWD.	62	60	X
36	STARBOARD CABIN 9 TD	59	55	X
37	STARBOARD CABIN 10 TD	60	55	X

	38	STARBOARD CABIN 11 TD	61	55	X
	39	STARBOARD CABIN 12 TD	62	55	X
MAIN DECK	40	EM. GENERATOR ROOM	92	110	
	41	WORKSHOP MD	83	85	
	42	LUGGAGE OUT	62	85	
	43	LUGGAGE IN	62	85	
	44	HOSPITAL	63	58	X
	45	SICK BAY	63	58	X
	46	PORT CABIN 1 MD	54	55	ACCEPTABLE
	47	PORT CABIN 2 MD	52	55	
	48	VENTILATION MD	74	110	
	49	PORT CABIN 3 MD	58	55	X
	50	DRY ROOM	59	75	
	51	WARDROBE	62	75	
	52	STARBOARD CABIN 1 MD	56	55	X
	53	STARBOARD CABIN 2 MD	55	55	ACCEPTABLE
	54	STARBOARD CABIN 3 MD	50	55	
	55	STARBOARD CABIN 4 MD	56	55	X
56	LAUNDRY MD	89	75	X	
A DECK	57	GALLEY	56	75	
	58	MESS ROOM	69	60	X
	59	MOORING ROOM	69	80	
	60	GARBAGE ROOM	65	85	
	61	DAY ROOM 1	61	60	X
	62	DAY ROOM 2	55	60	
B DECK	63	PORT CABIN 1 B	45	55	
	64	IT/ SERVER	54	70	
	65	PORT CABIN 2 B	47	55	
	66	PORT CABIN 3 B	53	55	
	67	PORT CABIN 4 B	52	55	
	68	PORT CABIN 5 B	49	55	
	69	VENTILATION B	70	110	
	70	STARBOARD	49	55	

		CABIN 1 B			
	71	STARBOARD CABIN 2 B	48	55	X
	72	STARBOARD CABIN 3 B	50	55	
	73	LAUNDRY B	82	75	X
	74	STARBOARD CABIN 4 B	51	55	
	75	STARBOARD CABIN 5 B	51	55	
C DECK	76	EL. EQUIPMENT	54	80	
	77	PORT CABIN 1 C	49	55	
	78	CHIEF OFFICER CABIN	47	55	
	79	CHIEF ENGINEER CABIN	46	55	
	80	STARBOARD CABIN 1 C	49	55	
	81	STARBOARD CABIN 2 C	47	55	
	82	OFFICE	34	60	
	83	MASTER	49	55	
BRIDGE DECK	84	WHEELHOUSE	53	60	

Tabla 27. Resultados de nivel de ruido en condición de posicionamiento dinámico.

5.3.3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE NIVEL DE RUIDO

Considerando los resultados obtenidos tanto en tránsito normal como en posicionamiento dinámico, se debe proceder a la realización de ciertas modificaciones a fin de obtener valores de nivel sonoro que no superen los límites admitidos. Las estancias en las que el nivel de ruido es excesivo son:

Entrepunte

- Camarotes: nº1 de estribor y babor, nº6 y de estribor, nº7 de babor y estribor, nº8 babor y estribor, nº9 babor y estribor, nº10 babor y estribor, nº11 babor y estribor, nº12 babor y estribor,
- Otros: lavandería, gimnasio de proa, sala de conferencias y cine/sala de ocio proa

Cubierta principal

- Camarotes: n°1 de estribor, n°3 de babor
- Otros: lavandería, hospital, enfermería

Cubierta A

- Otros: cocina

Cubierta B

- Camarotes: n°2 B de estribor

Por este motivo, deberemos localizar el foco de ruido que causa el nivel excesivo en las estancias señaladas. En consecuencia, procederemos a reforzar el plan de aislamiento inicial.

Sala de máquinas:

La sala de máquinas se corresponde con el n°2 de la “*Imagen 52. Tank Top.*”, encontrándose su techo en la cubierta de mezzanina. El nivel de ruido en la sala de máquinas es de 108 dB(A) en ambas condiciones, por lo que es adecuado según con la normativa. Sin embargo, el aislamiento inicial de la sala de máquinas no reduce lo suficiente el nivel de ruido transmitido a los espacios contiguos, por lo que las estancias de la cubierta inmediatamente superior (entrepunte) no cumplen con los requisitos de la normativa. Por esto, se modificará el plan de aislamiento para reducir la transmisión del ruido aéreo y estructural, emitido principalmente por el grupo electrógeno, y así evitar que afecte a los espacios de la cubierta de entrepunte.

- **Techos (Cubierta de mezzanina).**

Como el aislamiento preliminar ha resultado insuficiente, se modificará el espesor inicial de la lana mineral de 50 mm a 60 mm, al igual que antes se cubrirá con un laminado acústico. Sobre esta última capa, se añadirá una capa de acero galvanizado.

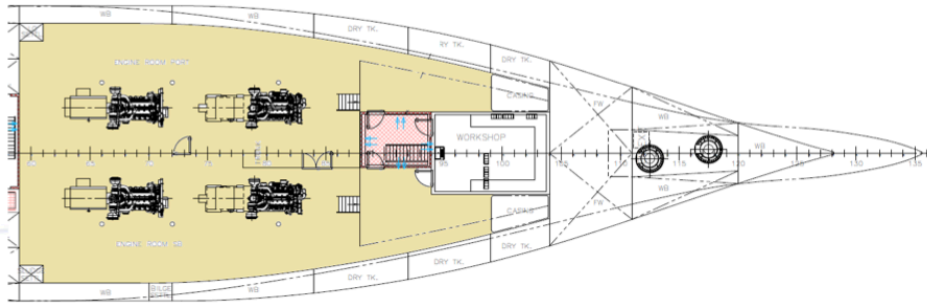


Imagen 61. Aislamiento del techo de la sala de máquinas: techo.

Aislamiento de la sala de máquinas	
Techos	
	<p>Lana mineral Rockwool de densidad 100 kg/m^3 y 60 mm de espesor (SeaRox SL 620)</p> <p>Cubierta tipo laminado acústico</p> <p>Placa de acero galvanizado perforado</p>

Tabla 28. Leyenda del aislamiento de la sala de máquinas: techo.

○ **Mamparos.**

Para evitar la transmisión de ruidos a las estancias del entrepuente, y disminuir así los niveles de ruido excesivos se modificará el aislamiento que recubre los mamparos de la sala de máquinas, que van desde el suelo de la cubierta Tank Top, hasta el techo de la cubierta de mezzanina. Estas modificaciones se aplicarán a los mamparos de la forma indicada en la *Imagen 61*.

El mamparo se cubrirá con una capa viscoelástica de 2 mm de espesor, sobre la cual se colocará una placa de acero de igual espesor. Después se aplicarán dos capas de lana mineral de densidad 90 kg/m^3 y 45 mm de espesor, las cuales se cubrirán con un laminado acústico que proteja la lana mineral. Por último, se añadirá una placa de acero galvanizado perforado.

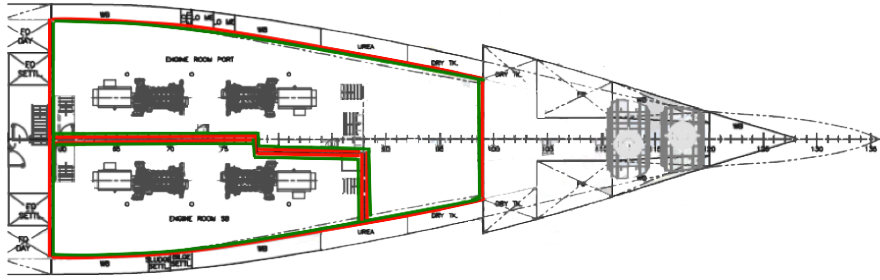


Imagen 62. Aislamiento de la sala de máquinas: mamparos.

Aislamiento de la sala de máquinas	
Mamparos	
	Capa viscoelástica de espesor 1-2mm Placa de acero 450x550x1,5-2mm
	Capa doble de lana mineral Rockwool de densidad 90 kg/m ³ y 45 mm de espesor (SeaRox WM620) Cubierta tipo laminado de acústico o similar Placa de acero galvanizado perforado

Tabla 29. Leyenda del aislamiento de la sala de máquinas: mamparos.

Entrepunte (Tween deck)

- **Mamparos.**

En la zona de proa del entrepunte los niveles de ruido son excesivos, es necesario reforzar el aislamiento de los mamparos en el punto en el que acaban los camarotes. De este modo disminuimos la transmisión del ruido desde la sala de máquinas (siendo principalmente ruido aéreo y estructural procedente del grupo electrógeno) hasta las estancias mencionadas al inicio de este apartado, los camarotes nº7, nº8, nº9, nº10, nº11 y nº12 tanto de babor, como de estribor, el gimnasio de proa, la sala de conferencias y el cine/sala de ocio de proa.

Considerando los dB(A) en los que se excede la normativa en estos espacios bastará con recubrir el aislamiento inicial de los mamparos de la cuaderna 99 con una capa viscoelástica de 2 mm de espesor, revestida por una placa de acero de 2 mm.

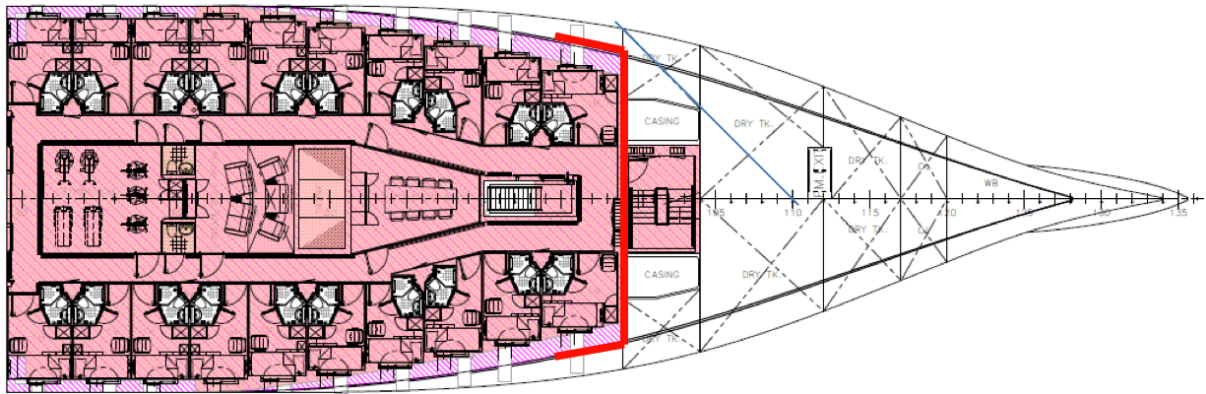


Imagen 63. Aislamiento del entrepuente: mamparos y suelos.

Por otro lado, en la zona de popa la sala de propulsión alcanza los 100 dB(A), y aunque estos niveles de ruido son adecuados según la normativa en esta estancia, las zonas contiguas exceden los dB(A) permitidos, por lo cual se modificará el aislamiento que recubre los mamparos de la sala de propulsión (situada entre las cuadernas -5 y 12), evitando la transmisión del ruido aéreo y estructural procedente de las hélice de propulsión azimutales. Gracias a estos cambios el nivel de ruido disminuirá en las estancias mencionadas al inicio de este apartado: los camarote nº1 de babor, nº1 de estribor, nº6 de babor y nº6 de estribor (el nivel de ruido de la lavandería de entrepuente se disminuirá de otro modo, que se explica en la página 165).

En este caso los mamparos se recubrirán con una capa viscoelástica de 2 mm de espesor, revestida por una placa de acero de 2 mm de espesor. Después, se añadirá otra capa, esta vez de lana mineral de densidad 32 kg/m³ y de 100 mm de espesor,

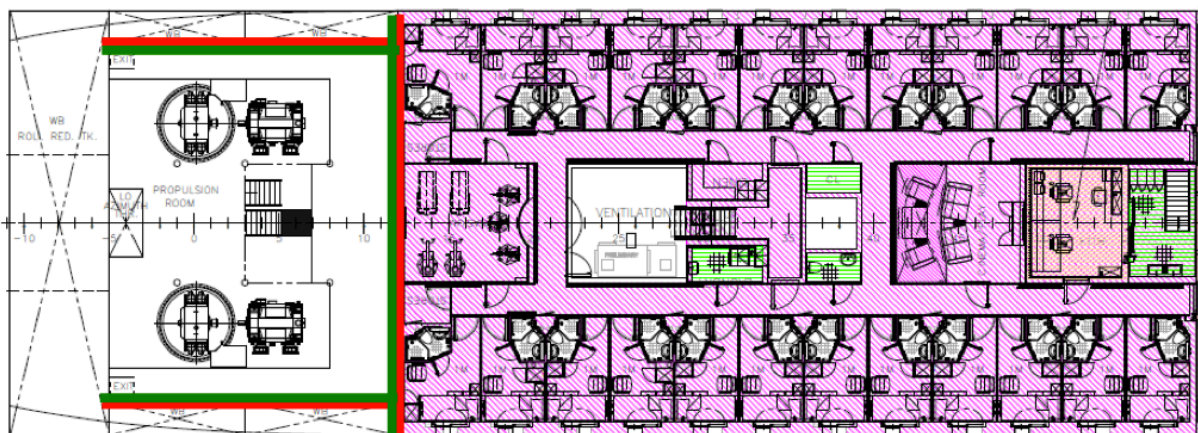


Imagen 64. Aislamiento del entrepuente: mamparos.

Aislamiento del entrepuente	
Mamparos	
	Capa viscoelástica de espesor 1-2mm Placa de acero 450x550x1,5-2mm
	Capa de lana mineral Rockwool de densidad 32 kg/m ³ y 100 mm de espesor (SeaRox SL 720)

Tabla 30. Leyenda del aislamiento de la sala de máquinas: mamparos.

○ **Suelos**

Como explicábamos con anterioridad, el aislamiento inicial no era suficiente, puesto que el ruido procedente de la sala de máquinas hace que el nivel de ruido en muchos espacios del entrepuente sea excesivo, por este motivo se ha modificado el aislamiento inicial. Para solucionarlo se combinarán capas viscoelásticas, de lana mineral y acero.

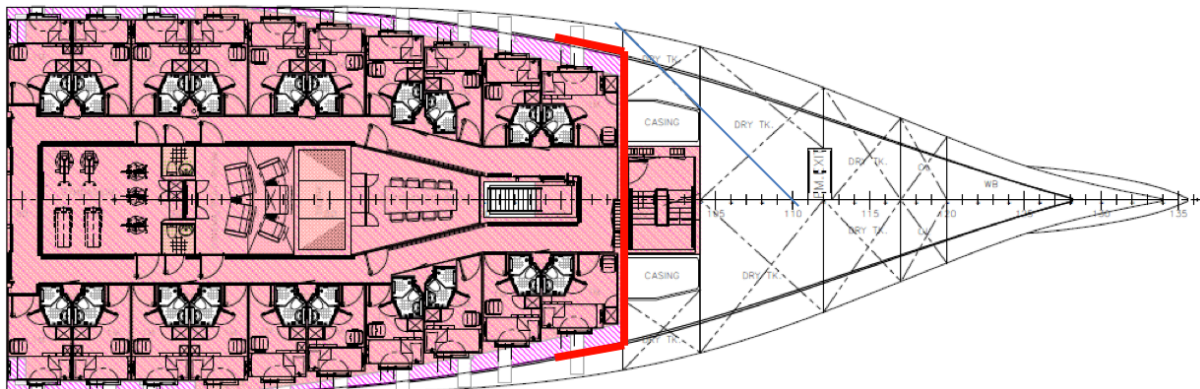


Imagen 65. Aislamiento del entrepuente: suelo proa.

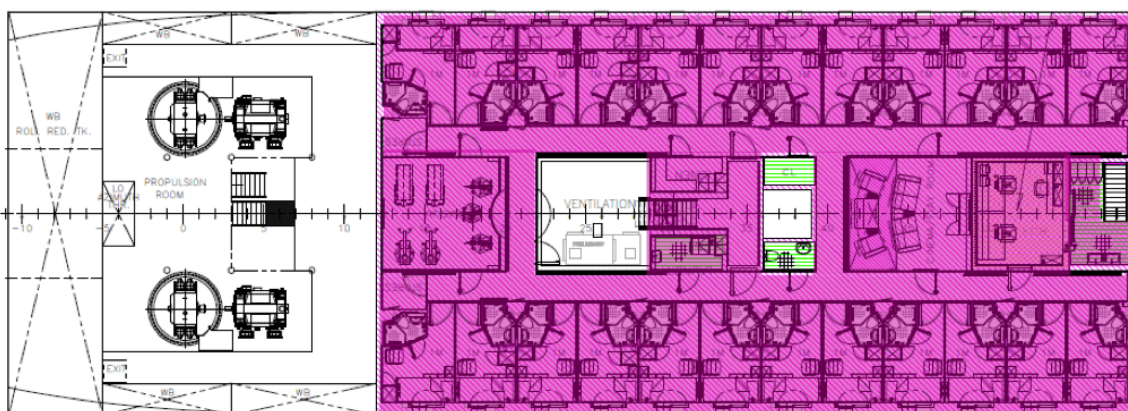


Imagen 66. Aislamiento del entrepuente: suelo popa.

Aislamiento del cubierta entrepuente

Suelo

Capa viscoelástica de espesor 1-2mm
Placa de acero 310x150x 1,5-2mm o cemento mortero 9-12 mm
Capa de lana mineral Rockwool de densidad 140 kg/m³ y 60 mm de espesor (SeaRox SL 436)
Tiras de acero de 2000x140x1,5mm
Placa de acero de 2000x1000x3
Capa viscoelástica de espesor 1-2mm
Tiras de acero de 2000x1000x1,5-2mm

Tabla 31. Leyenda del aislamiento del entrepuente: suelo.

Cubierta principal (Main deck)

- **Mamparos.**

Se deberán recubrir los mamparos de la cuaderna 99 con aislamiento viscoelástico para reducir el impacto del ruido estructural procedente de los ventiladores de la sala de máquinas, las tuberías de exhaustación y el grupo electrógeno, que afecta a los camarotes de estribor nº1 y de babor nº3 (este último ha obtenido valores aceptables), el hospital y la enfermería. El nivel de ruido excesivo de la lavandería, el hospital y la enfermería es causado por focos de ruido de ruido que se encuentran en estas estancias, por lo que su solución no reside en el aislamiento, véase la página 165.

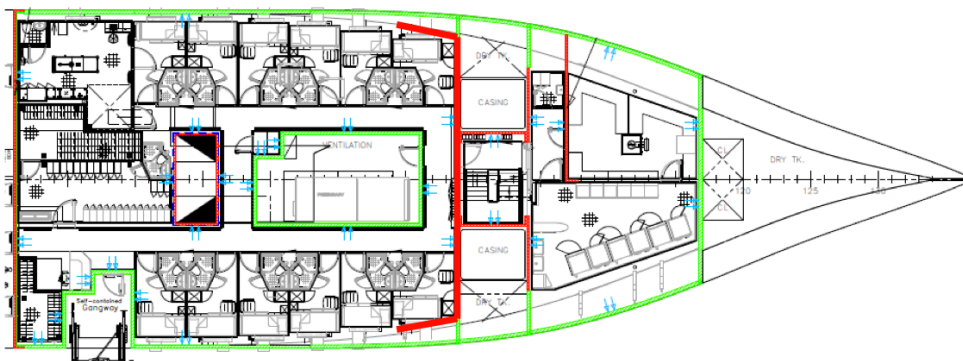


Imagen 67. Aislamiento de la cubierta principal: mamparos.

Aislamiento del cubierta principal	
Mamparos	
	Capa viscoelástica de espesor 1-2mm
	Placa de acero 450x550x1,5-2mm

Tabla 32. Leyenda del aislamiento de la cubierta principal: mamparos.

○ **Suelos.**

El aislamiento de los mamparos es insuficiente, por lo que será necesario mejorar las características del aislamiento inicial, se optará por una combinación de capas viscoelásticas, acero y lana mineral.

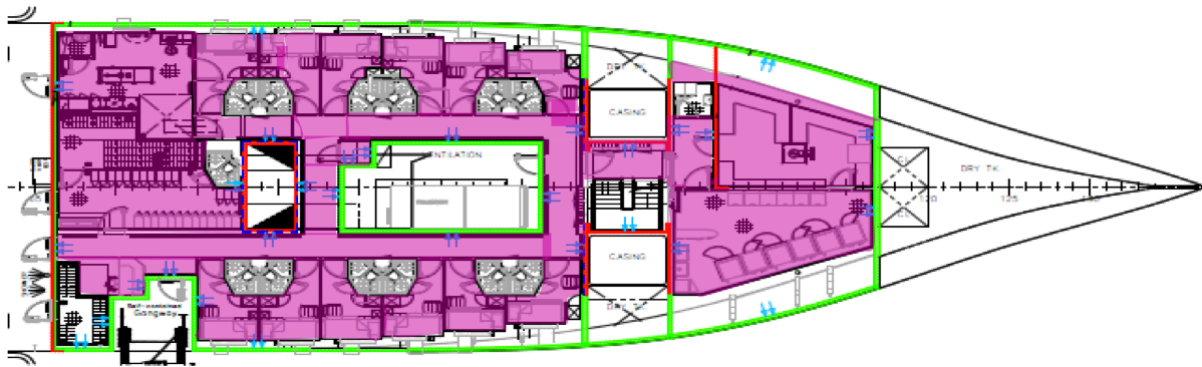


Imagen 68. Aislamiento de la cubierta principal: suelos.

Aislamiento del cubierta principal	
Suelo	
	Capa viscoelástica de espesor 1-2mm
	Placa de acero 310x150x 1,5-2mm o cemento mortero 9-12 mm
	Capa de lana mineral Rockwool de densidad 140 kg/m ³ y 50 mm de espesor (SeaRox SL 436)
	Tiras de acero de 2000x140x1,5mm
	Placa de acero de 2000x1000x3
	Capa viscoelástica de espesor 1-2mm
	Tiras de acero de 2000x1000x1,5-2mm

Tabla 33. Leyenda del aislamiento de la cubierta principal: suelos.

Cubierta A (A Deck)

Las estancias de la cubierta A con niveles de ruido excesivos son el comedor y la sala de fumadores, por lo que se modificará el aislamiento que afecta a estos espacios. Además, se tomarán otras medidas, las cuales se describen en la página 165.

- **Mamparos.**

El plan de aislamiento se modificará recubriendo los mamparos de la cuaderna 17 de aislamiento viscoelástico.



Imagen 69. Aislamiento de la cubierta A: mamparos.


Aislamiento del cubierta A	
Mamparos	
	Capa viscoelástica de espesor 1-2mm
	Placa de acero 450x550x1,5-2mm

Tabla 34. Leyenda del aislamiento de la cubierta A: mamparos.

- **Suelo.**

Se mejorará la capacidad aislante del suelo con una capa de lana mineral de densidad de 140 kg/m^3 y 50 mm de espesor, tiras de acero y placas del mismo material del modo indicado en la “Imagen 70. Aislamiento de la cubierta A: suelos.”.



Imagen 70. Aislamiento de la cubierta A: suelos.

Aislamiento del cubierta A	
Suelo	
	Capa de lana mineral Rockwool de densidad 140 kg/m^3 y 50 mm de espesor (SeaRox SL 436)
	Tiras de acero de $2000 \times 140 \times 1,5 \text{ mm}$
	Placa de acero de $2000 \times 1000 \times 3$

Tablas 35. Leyenda del aislamiento de la cubierta A: suelos.

Cubierta B (B Deck)

El nivel de ruido en de la cubierta B es adecuado según la normativa en todos los espacios, excepto la lavandería. El motivo por el cual la lavandería excede los dB(A) permitidos reside en la propia lavandería. Por esto, la solución para remediar el exceso de ruido en este punto no depende del aislamiento, sino en los focos de ruido que se encuentran en este espacio (el se explica en la página 165).

Sin embargo, modificaremos el aislamiento del suelo de esta cubierta para mejorar los valores obtenidos, puesto que pese a ser adecuados el armador ha preferido realizar este cambio.

○ Suelos

Se mejorará la capacidad aislante del suelo con una capa de lana mineral de densidad de 140 kg/m^3 y 50 mm de espesor, tiras de acero y placas del mismo material del modo indicado en la “Imagen 71. Aislamiento de la cubierta B: suelos.”.

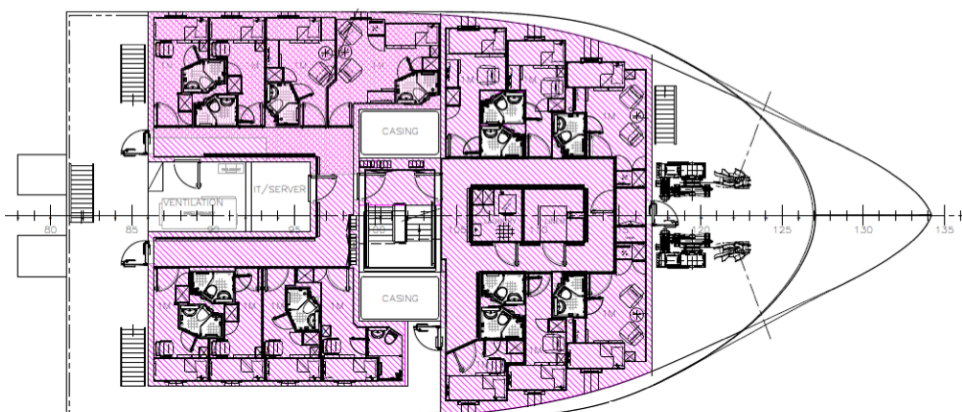


Imagen 71. Aislamiento de la cubierta B: suelos.

Aislamiento del cubierta B	
Suelo	
	Capa de lana mineral Rockwool de densidad 140 kg/m^3 y 50 mm de espesor (SeaRox SL 436)
	Tiras de acero de $2000 \times 140 \times 1,5 \text{ mm}$
	Placa de acero de $2000 \times 1000 \times 3$

Tablas 36. Leyenda del aislamiento de la cubierta B: suelos.

Cubierta C (C Deck)

Todas las estancias de la cubierta C cumplen con los requisitos exigen, pero al igual que en la cubierta B el armador ha preferido modificar el aislamiento del suelo para obtener un aislamiento mayor.

- **Suelos**

El aislamiento a emplear consiste en una capa de lana mineral de densidad de 140 kg/m^3 y 50 mm de espesor, tiras de acero y placas del mismo material del modo indicado en la “Imagen 72. Aislamiento de la cubierta B: suelos.”.

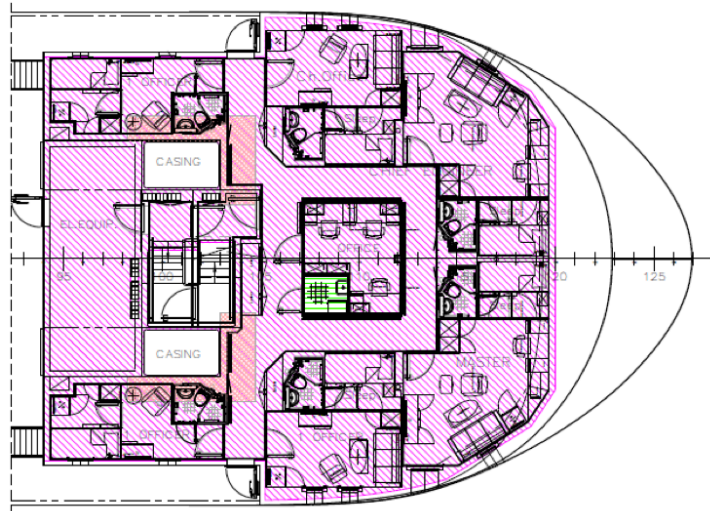


Imagen 72. Aislamiento de la cubierta C: suelos.

Aislamiento del cubierta C	
Suelo	
	Capa de lana mineral Rockwool de densidad 140 kg/m^3 y 50 mm de espesor (SeaRox SL 436)
	Tiras de acero de $2000 \times 140 \times 1,5 \text{ mm}$
	Placa de acero de $2000 \times 1000 \times 3$

Tablas 37. Leyenda del aislamiento de la cubierta C: suelos.

Cubierta de puente (Bridge Deck)

Todas las estancias de la cubierta de puente cumplen con los requisitos exigen, pero al igual que en la cubierta B y C el armador ha preferido modificar el aislamiento del suelo para obtener un aislamiento mayor.

- **Suelos**

El aislamiento a emplear consiste en una capa de lana mineral de densidad de 140 kg/m^3 y 50 mm de espesor, tiras de acero y placas del mismo material del modo indicado en la “Imagen 73. Aislamiento de la cubierta de puente: suelos.”.

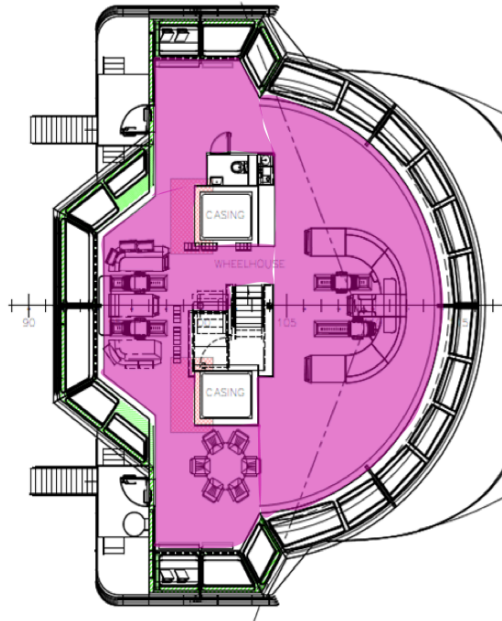


Imagen 73. Aislamiento de la cubierta de puente: suelos.

Aislamiento del cubierta de puente	
Suelo	
	Capa de lana mineral Rockwool de densidad 140 kg/m^3 y 50 mm de espesor (SeaRox SL 436)
	Tiras de acero de 2000x140x1,5mm
	Placa de acero de 2000x1000x3

Tablas 38. Leyenda del aislamiento de la cubierta puente: suelos.

Hélices de maniobra (Tunnel thrusters)

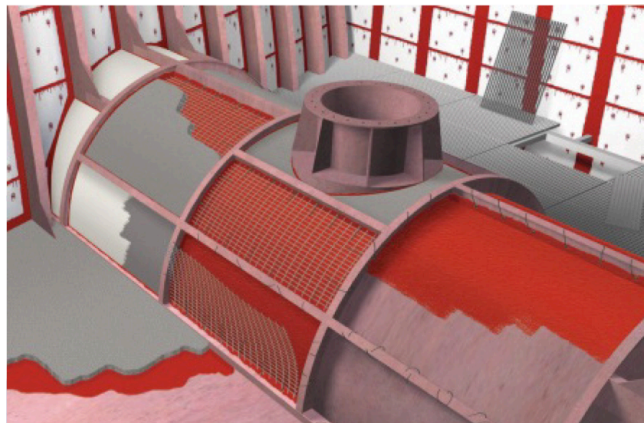


Imagen 74. Aislamiento de hélices de maniobra: disposición.

Por último, es necesario aplicar aislamiento sobre las hélices de maniobra como se muestra en la imagen *Imagen 74*. En este caso será necesario emplear una capa viscoelástica de entre 1 y 2 mm de espesor y de cemento mortero de espesor de 50 mm

Además, para poder solventar los resultados de nivel de ruido excesiva en algunos de los espacios, modificaremos los ventiladores que se encuentran en los mismos. Esto se debe a que son una fuente de sonido importante, y fácilmente sustituibles por otros que cumplan los requisitos acústicos.

1. En la lavandería de la cubierta principal se excede en más de 15 dB(A) el límite permitido, encontrándose en este punto el **“E-4 Ventilador de la lavandería en la cubierta principal (Laundry MD)”**. El máximo nivel de ruido admitido en esta estancia es de 75 dB(A), pero hemos obtenido 89 dB(A). En este caso, el nivel se excede en gran medida, por lo cual es necesario acordar con el suministrador del HVAC la instalación de un ventilador con un nivel de ruido menor de 68 dB(A) para sustituir al original.
2. En los otros espacios, se excede el nivel máximo requeridos por menos de 10 dB(A), tal como se expone a continuación:
 - **“E-3 Ventilador de la lavandería en la cubierta B (Laundry B)”**, el nivel de ruido de 82 dB(A), siendo el máximo permitido 75 dB(A).
 - **E-6 Sala de fumadores (Smoker’s day Room/Day room 1)**, el nivel de ruido de 61 dB(A), siendo el máximo permitido 60 dB(A).
 - **E-7 Ventilador de la enfermería (Sick bay)**, el nivel de ruido de 63 dB(A), siendo el máximo permitido 58 dB(A).
 - **E-8 Ventilador del hospital (Hospital)**, el nivel de ruido de 62/63 dB(A), siendo el máximo permitido 58 dB(A).
 - **E-9 Ventilador de la lavandería de entrepuente en popa (Laundry Tween deck aft fan)**, el nivel de ruido de 80 dB(A), siendo el máximo permitido 75 dB(A).

- **E-101 Ventilador de trascocina (Scullery)**, el nivel de ruido de 68/69 dB(A), siendo el máximo permitido 60 dB(A).

En estos casos, deberemos proceder a reemplazarlo por otro más silencioso, o en su defecto trasladarlo a una zona en la que el nivel máximo de presión sonora sea superior y permita su instalación. En caso de que ninguna de estas opciones sea viable, se procederá a encapsularlo, de tal modo que se reduzca el sonido transmitido a la estancia en la que se encuentre.

5.3.4. RESULTADOS TRAS LAS MODIFICACIONES REALIZADAS

NIVEL DE RUIDO dB(A) CONDICIÓN TRÁNSITO NORMAL					
	Nº	ESPACIO	NIVEL MEDICIÓN dB(A)	LÍMITE ADMITIDO dB(A)	RESULTADO
TANK TOP	1	PUMP ROOM	67	110	
	2	ENGINE ROOM	106	110	
	3	PORT ENGINE ROOM SB	106	110	
	4	BOW THRUSTER ROOM	59	110	
MEZZANINE DECK	5	SWITCHBOARD ROOM	61	85	
	6	WORKSHOP	75	85	
TWEEN DECK	7	PROPULSION ROOM	96	110	
	8	PORT CABIN 1 TD	52	55	
	9	PORT CABIN 2 TD	43	55	
	10	VENTILATION ROOM TD	71	110	
	11	PORT CABIN 3 TD	40	55	
	12	PORT CABIN 4 TD	47	55	
	13	CINEMA / PLAY ROOM AFT.	44	60	
	14	PORT CABIN 5 TD	42	55	
	15	PORT CABIN 6 TD	46	55	
	16	GYMNASIUM AFT.	51	60	

	17	STARBOARD CABIN 1 TD	52	55		
	18	STARBOARD CABIN 2 TD	40	55		
	19	LAUNDRY TD	80/59(1)	75	X	
	20	STARBOARD CABIN 3 TD	43	55		
	21	STARBOARD CABIN 4 TD	41	55		
	22	ECR	65	70		
	23	STARBOARD CABIN 5 TD	45	55		
	24	STARBOARD CABIN 6 TD	43	55	ACCEPTABLE	
	25	PORT CABIN 7 TD	53	55	ACCEPTABLE	
	26	GYMNASIUM FWD.	56	60	ACCEPTABLE	
	27	PORT CABIN 8 TD	53	55	ACCEPTABLE	
	28	PORT CABIN 9 TD	54	55	ACCEPTABLE	
	29	PORT CABIN 10 TD	52	55	ACCEPTABLE	
	30	CONFERENCE ROOM	58	60	ACCEPTABLE	
	31	PORT CABIN 11 TD	54	55	ACCEPTABLE	
	32	PORT CABIN 12 TD	54	55	ACCEPTABLE	
	33	STARBOARD CABIN 7 TD	53	55	ACCEPTABLE	
	34	STARBOARD CABIN 8 TD	53	55	ACCEPTABLE	
	35	CINEMA / PLAY ROOM FWD.	56	60	ACCEPTABLE	
	36	STARBOARD CABIN 9 TD	54	55	ACCEPTABLE	
	37	STARBOARD CABIN 10 TD	52	55	ACCEPTABLE	
	38	STARBOARD CABIN 11 TD	54	55	ACCEPTABLE	
	39	STARBOARD CABIN 12 TD	54	55	ACCEPTABLE	
	MAIN DECK	40	EM. GENERATOR ROOM	92	110	
		41	WORKSHOP MD	83	85	
		42	LUGGAGE OUT	60	85	
		43	LUGGAGE IN	60	85	
		44	HOSPITAL	61/55(2)	58	X
		45	SICK BAY	62/54(3)	58	X
		46	PORT CABIN 1 MD	51	55	

	47	PORT CABIN 2 MD	47	55	
	48	VENTILATION MD	74	110	
	49	PORT CABIN 3 MD	48	55	
	50	DRY ROOM	54	75	
	51	WARDROBE	61	75	
	52	STARBOARD CABIN 1 MD	51	55	
	53	STARBOARD CABIN 2 MD	53	55	
	54	STARBOARD CABIN 3 MD	44	55	
	55	STARBOARD CABIN 4 MD	47	55	
	56	LAUNDRY MD	89/51(4)	75	X
A DECK	57	GALLEY	51	75	
	58	MESS ROOM	68/46(5)	60	X
	59	MOORING ROOM	47	80	
	60	GARBAGE ROOM	65	85	
	61	DAY ROOM 1	61/54(6)	60	X
62	DAY ROOM 2	51	60		
B DECK	63	PORT CABIN 1 B	43	55	
	64	IT/ SERVER	52	70	
	65	PORT CABIN 2 B	41	55	
	66	PORT CABIN 3 B	47	55	
	67	PORT CABIN 4 B	44	55	
	68	PORT CABIN 5 B	35	55	
	69	VENTILATION B	70	110	
	70	STARBOARD CABIN 1 B	48	55	
	71	STARBOARD CABIN 2 B	44	55	
	72	STARBOARD CABIN 3 B	48	55	
	73	LAUNDRY B	82/44(7)	75	X
	74	STARBOARD CABIN 4 B	44	55	
	75	STARBOARD CABIN 5 B	35	55	
C DECK	76	EL. EQUIPMENT	51	80	
	77	PORT CABIN 1 C	47	55	
	78	CHIEF OFFICER CABIN	39	55	
	79	CHIEF ENGINEER CABIN	32	55	
	80	STARBOARD CABIN 1 C	47	55	

	81	STARBOARD CABIN 2 C	40	55	
	82	OFFICE	31	60	
	83	MASTER	37	55	
BRIDGE DECK	84	WHEELHOUSE	50	60	

Tabla 39. Resultados de nivel de ruido en condición de tránsito normal tras las modificaciones.

- (1): E-9 Laundry Tween deck aft fan switches off / Ventilador de la lavandería de popa de entrepuente apagado
- (2): E-8 Hospital fan switches off / Ventiladores del hospital apagados
- (3): E-7 Sick bay fan switches off / Ventiladores de la enfermería apagados
- (4): E-4 Laundry Main Deck fan switches off / Ventiladores de la lavandería de la cubierta principal apagados
- (5): E-101 Scullery fan switches off / Ventilador de la trascocina apagado
- (6): E-6 Smoker's day room fan switches off / Ventilador de la sala de fumadores apagado
- (7): E-3 Laundry B-deck fan switches off / Ventiladores de la lavandería de la cubierta B

NIVEL DE RUIDO dB(A) CONDICIÓN DE POSICIONAMIENTO DINÁMICO					
	Nº	ESPACIO	NIVEL MEDICIÓN dB(A)	LÍMITE ADMITIDO dB(A)	RESULTADO
TANK TOP	1	PUMP ROOM	66	110	
	2	ENGINE ROOM	106	110	
	3	PORT ENGINE ROOM SB	106	110	
	4	BOW THRUSTER ROOM	93	110	
MEZZANINE DECK	5	SWITCHBOARD ROOM	61	85	
	6	WORKSHOP	75	85	
TWEEN DECK	7	PROPULSION ROOM	95	110	
	8	PORT CABIN 1 TD	51	55	
	9	PORT CABIN 2 TD	42	55	

10	VENTILATION ROOM TD	71	110	
11	PORT CABIN 3 TD	40	55	
12	PORT CABIN 4 TD	47	55	
13	CINEMA / PLAY ROOM AFT.	43	60	
14	PORT CABIN 5 TD	42	55	
15	PORT CABIN 6 TD	46	55	
16	GYMNASIUM AFT.	50	60	
17	STARBOARD CABIN 1 TD	51	55	
18	STARBOARD CABIN 2 TD	42	55	
19	LAUNDRY TD	80/58(1)	75	X
20	STARBOARD CABIN 3 TD	42	55	
21	STARBOARD CABIN 4 TD	41	55	
22	ECR	65	70	
23	STARBOARD CABIN 5 TD	45	55	
24	STARBOARD CABIN 6 TD	44	55	
25	PORT CABIN 7 TD	53	55	
26	GYMNASIUM FWD.	56	60	
27	PORT CABIN 8 TD	53	55	
28	PORT CABIN 9 TD	55	55	ACCEPTABLE
29	PORT CABIN 10 TD	53	55	
30	CONFERENCE ROOM	58	60	
31	PORT CABIN 11 TD	54	55	ACCEPTABLE
32	PORT CABIN 12 TD	55	55	ACCEPTABLE
33	STARBOARD CABIN 7 TD	53	55	
34	STARBOARD CABIN 8 TD	52	55	
35	CINEMA / PLAY ROOM FWD.	56	60	
36	STARBOARD CABIN 9 TD	54	55	ACCEPTABLE
37	STARBOARD CABIN 10 TD	53	55	
38	STARBOARD CABIN 11 TD	54	55	ACCEPTABLE
39	STARBOARD	55	55	ACCEPTABLE

		CABIN 12 TD			
MAIN DECK	40	EM. GENERATOR ROOM	92	110	
	41	WORKSHOP MD	83	85	
	42	LUGGAGE OUT	60	85	
	43	LUGGAGE IN	60	85	
	44	HOSPITAL	61/55(2)	58	X
	45	SICK BAY	63/55(3)	58	X
	46	PORT CABIN 1 MD	51	55	
	47	PORT CABIN 2 MD	48	55	
	48	VENTILATION MD	74	110	
	49	PORT CABIN 3 MD	50	55	
	50	DRY ROOM	54	75	
	51	WARDROBE	61	75	
	52	STARBOARD CABIN 1 MD	51	55	
	53	STARBOARD CABIN 2 MD	53	55	
	54	STARBOARD CABIN 3 MD	45	55	
	55	STARBOARD CABIN 4 MD	49	55	
	56	LAUNDRY MD	89/59(4)	75	X
A DECK	57	GALLEY	52	75	
	58	MESS ROOM	68/52(5)	60	X
	59	MOORING ROOM	65	80	
	60	GARBAGE ROOM	65	85	
	61	DAY ROOM 1	61/54(6)	60	X
	62	DAY ROOM 2	52	60	
B DECK	63	PORT CABIN 1 B	43	55	
	64	IT/ SERVER	52	70	
	65	PORT CABIN 2 B	44	55	
	66	PORT CABIN 3 B	49	55	
	67	PORT CABIN 4 B	47	55	
	68	PORT CABIN 5 B	45	55	
	69	VENTILATION B	70	110	
	70	STARBOARD CABIN 1 B	48	55	
	71	STARBOARD CABIN 2 B	45	55	
	72	STARBOARD CABIN 3 B	48	55	
	73	LAUNDRY B	82/51(7)	75	X
	74	STARBOARD CABIN 4 B	48	55	

	75	STARBOARD CABIN 5 B	47	55	
C DECK	76	EL. EQUIPMENT	52	80	
	77	PORT CABIN 1 C	47	55	
	78	CHIEF OFFICER CABIN	43	55	
	79	CHIEF ENGINEER CABIN	42	55	
	80	STARBOARD CABIN 1 C	47	55	
	81	STARBOARD CABIN 2 C	43	55	
	82	OFFICE	32	60	
	83	MASTER	45	55	
BRIDGE DECK	84	WHEELHOUSE	51	60	

Tabla 40. Resultados de nivel de ruido en condición de posicionamiento dinámico tras las modificaciones.

- (1): E-9 Laundry Tween deck aft fan switches off / Ventilador de la lavandería de popa de entrepuente apagado
- (2): E-8 Hospital fan switches off / Ventiladores del hospital apagados
- (3): E-7 Sick bay fan switches off / Ventiladores de la enfermería apagados
- (4): E-4 Laundry Main Deck fan switches off / Ventiladores de la lavandería de la cubierta principal apagados
- (5): E-101 Scullery fan switches off / Ventilador de la trascocina apagado
- (6): E-6 Smoker's day room fan switches off / Ventilador de la sala de fumadores apagado

6. CONCLUSIONES

La instalación de un correcto aislamiento determina el bienestar y seguridad de las personas que se encuentren tanto en el espacio aislado, como en los espacios contiguos. Este hecho se demuestra mediante datos teóricos y prácticos a lo largo de este trabajo.

Si bien la seguridad personal debe ser una de nuestras prioridades, el factor determinante para la elección de un aislamiento de calidad es en la mayoría de los casos el ahorro energético, que se traduce como ahorro económico, al disminuirse la cantidad de recursos empleados y mejorar la eficiencia de los procesos de los elementos aislados. Además, el ahorro energético también implica una disminución de la contaminación, colaborando a cuidar el medio ambiente.

Por otro lado, las normativas que rigen los límites admisibles se están volviendo cada vez más estrictas. Si bien en un principio las normativas regulaban solamente los aspectos térmicos, puesto que son los que más importancia tienen económicamente, en la actualidad la legislación acústica busca unos valores aceptables para la seguridad de los trabajadores. Sin embargo, como hemos podido comprobar legalmente se permite exceder los niveles dañinos para la salud auditiva en determinadas estancias. Recordemos que por encima de los 80dB(A) se lesionan ciertas terminaciones nerviosas del oído, y en las zonas de taller, espacios no especificados, sala de máquinas... está permitido exceder este nivel de ruido. En algunos espacios se supera incluso los 90 dB(A), suponiendo estar expuesto a este ruido riesgo de sordera permanente. La protección contraincendios en la construcción naval se encuentra legislada con detalle por IMO, estando limitadas las características de los elementos constructivos en función de la finalidad de cada espacio y las estancias con las que limite.

En el sector naval las limitaciones a la hora de elegir un material aislante son mayores, puesto que tienen que estar aprobadas y certificadas como tal por las sociedades de clasificación. Dependiendo de por cual de estas se rija el buque se elegirán unos u otros, si un material no dispone de los certificados no podrá ser instalado. Además de la sociedad de clasificación correspondiente, deberá cumplir con la normativas de IMO y del país de abanderamiento. En este trabajo, en el caso práctico hemos elegido un buque que se rige por la sociedad de clasificación Det Norske Veritas y que navegará bajo bandera danesa, por lo que deberá cumplir la normativa de Danish Maritime Authority (DMA).

En el caso práctico expuesto sobre el aislamiento acústico de un buque se ha comprobado cuales son las fuente de ruido y como disminuir sus efectos para cumplir los límites establecidos según la normativa que se le aplica.

Las vibraciones es un aspecto que daña tanto a la maquinaria como a la salud de las personas que se encuentren expuestas a ellas. En este trabajo no se analiza el efecto que estas pudieran tener sobre la estructura del buque o la tripulación, pero podría ampliarse el trabajo procediendo al estudio de las vibraciones.

7. TRABAJOS FUTUROS

Una vez concluido este trabajo, se puede profundizar en el tema expuesto procediendo al análisis y estudio del impacto de las vibraciones en un buque, y al aislamiento necesario para contrarrestar sus efectos.

8. BIBLIOGRAFÍA

Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2006). *Termodinámica*. México D.F.: Mc Graw Hill.

AENOR. (17 de julio de 2013). Norma UNE-EN ISO 717-1:2013.

Alcedo, I., & Moreno, J. (2014). *Apuntes de la asignatura Seguridad del Buque y Prevención de la Contaminación*.

Basterretxea, A. (2017). *Apuntes de la asignatura Calderas y Turbinas II: Tema 3, transmisión de calor*.

Callister, J. (1995). *Introducción a la Ciencia en Ingeniería de los Materiales*. Reverté S.A.

Castaños, A. (2016). *Apuntes de la asignatura Prevención de riesgos laborales*.

Ente Regional de la Energía de Castilla y León. (2009). *Mejoras horizontales de ahorro y eficiencia energética. Energía térmica*. España: Junta de Castilla y León.

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. (2007). *Apuntes sobre la radiación*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Fernández Díez, P. (2015). *Libros sobre Ingeniería Energética de Pedro Fernández Díez*. Retrieved 13 de febrero de 2017 from <http://es.pfernandezdiez.es/>

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. (2016). *Guía de buenas prácticas en el aislamiento industrial*. Madrid: Comunidad de Madrid.

Gaina. (2018). *Gaina*. Retrieved 25 de junio de 2018 from <http://gaina.es/aislamiento-termico/>

ISOVER. (1985). *Manual del aislamiento*. Madrid.

ISOVER S.A. (2018). *ISOVER*. Retrieved 28 de junio de 2018 from <https://www.isover.es/>

Organización Marítima Internacional. (1974). *Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar (SOLAS)*.

Recuero, M. (1995). *Ingeniería acústica*. Madrid: Paraninfo.

Rockwool International S.A. (2016). *Acoustic Manual - Marine & Offshore Insulation*. Dinamarca.

Rockwool International S.A. (2016). *ROCKWOOL*. Retrieved 29 de junio de 2018 from <http://www.rockwool.es/>

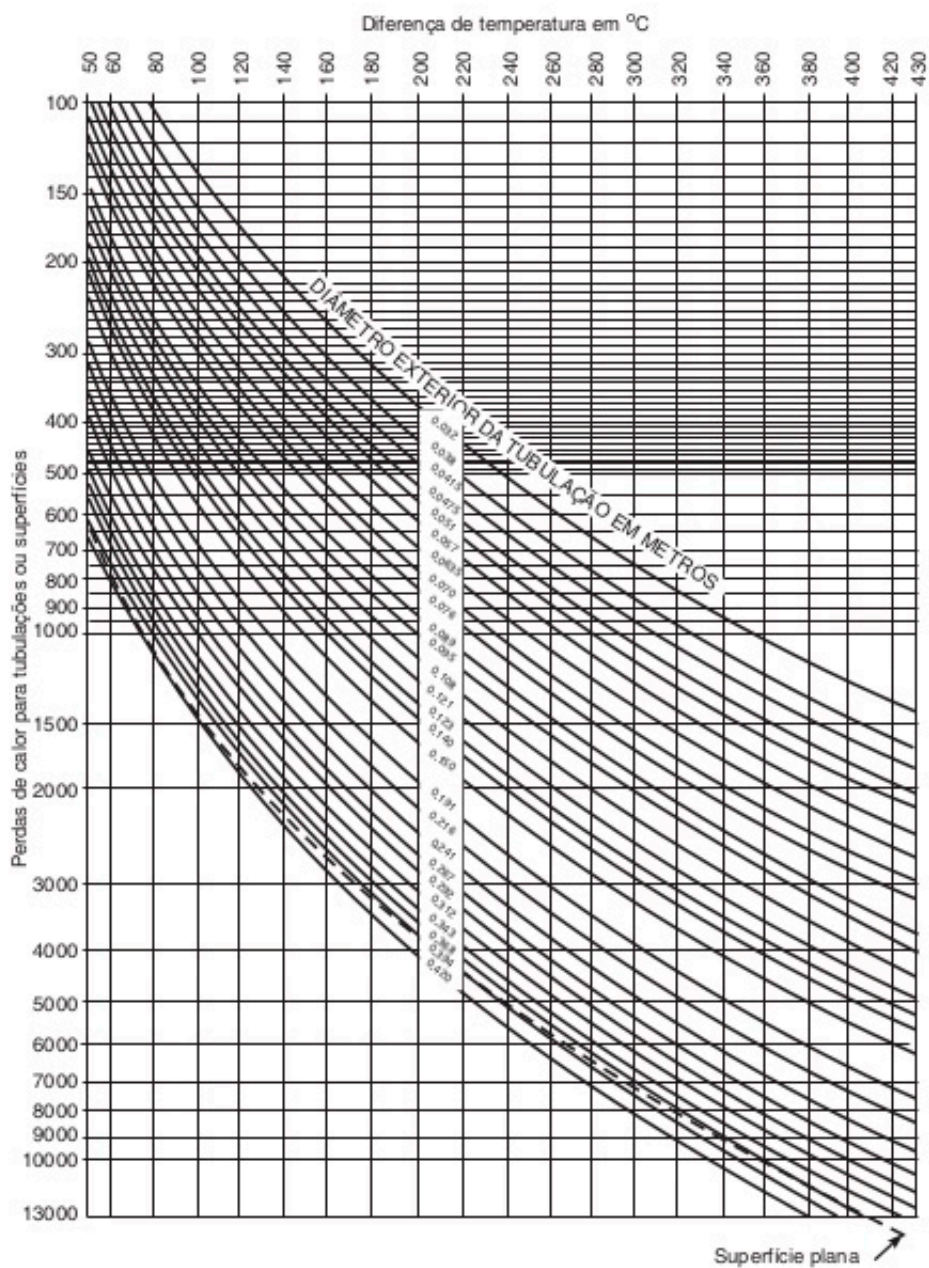
Rockwool International S.A. (2016). *Soluciones de aislamiento para todo tipo de edificios: obra nueva y rehabilitación*. Dinamarca.

Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2008). *Física para ciencias e ingeniería*. México D.F.: Ediciones Paraninfo S.A.

Sista Coat Spain. (2014). *Sista Coat Spain*. Retrieved 23 de junio de 2018 from <http://www.sistacoat.es/>

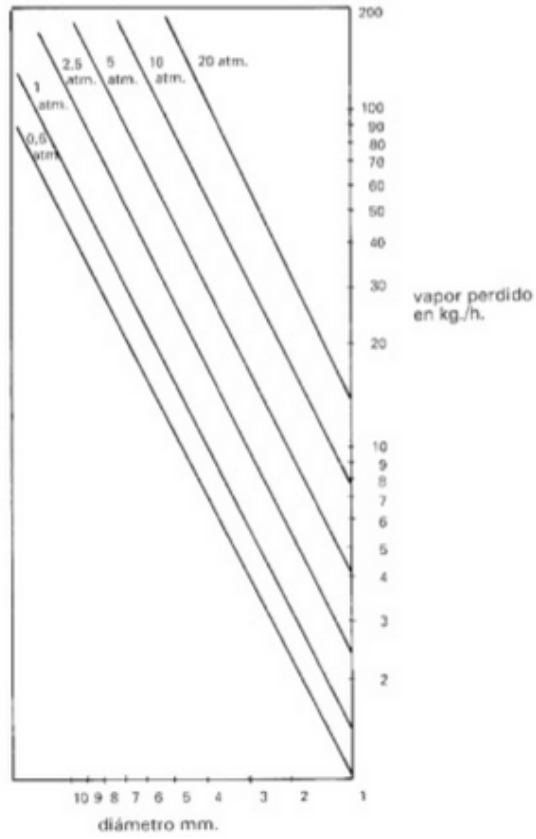
9. ANEXOS

9.1. ANEXO 1. ÁBACO DE WREDE

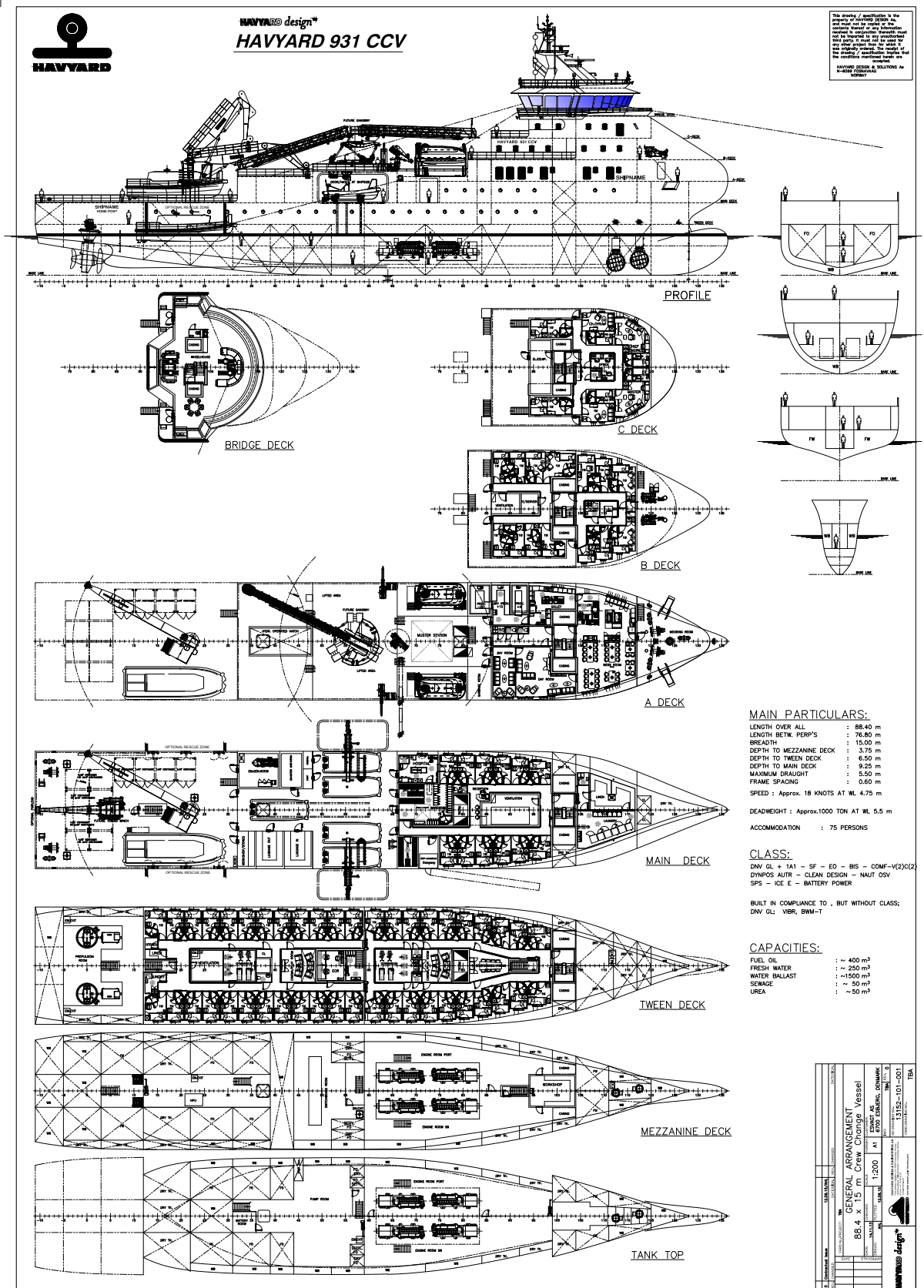


- Notas: 1- O ábaco de WREDE pode ser utilizado quando a temperatura ambiente é em torno de 20°C e quando as paredes não sofrem ação de ventos relativamente fortes.
 2- Perdas de calor para tubulações em kcal/m.h
 3- Perdas de calor para superfícies em kcal/m².h

Fugas de vapor a la atmósfera a través de un orificio



9.2. ANEXO 2. DISPOSICIÓN GENERAL DEL BUQUE



9.3. ANEXO 3. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE LANA DE ROCA

9.3.1. SEAROX SL 436



TECHNICAL INSULATION

SeaRox® SL 436

SeaRox SL 436 is a semi-rigid slab of stone wool. The products have a special fibre structure which gives an optimal dynamic stiffness.



Application

SeaRox SL 436 is developed for floating floor insulation only with approved top layer. The product form part of A-60 Floating Floor in 60mm with 2 x 1.5 mm steel top plates glued together.

Product properties

Properties	Performance	Norm
Thermal conductivity	T (°C) λ (W/mK)	10 0,035
Nominal density	140 kg/m ³	EN 1602 / IMO
Compressive strength	Max. 12 kN/m ² , 5 mm deformation at 50 mm	EN 826
Fire classification	Non-combustible Approved for A-60 Floating Floor Low flame-Spread Properties	Acc. IMO FTP code
Water absorption (short term)	< 1 kg/m ²	EN 1609
Max. Application Temperature	-	-
Sound absorption directly mounted	α _w = 0,85 Thickness: 50 mm	ISO 354 (approximated) Evaluated after ISO 11 654
Dynamic Stiffness	30 mm: 21 MN/m ³ 40 mm: 17 MN/m ³ 50 mm: 14 MN/m ³ 60 mm: 11 MN/m ³	EN 29052-1 (1992)
Facings	-	IMO A 653(16) (low flame - spread)

Dimensions

SeaRox SL 436

Thickness (mm): 30 mm Length (mm): 1000 mm Width (mm): 600 mm
 Thickness (mm): 40 mm Length (mm): 1000 mm Width (mm): 600 mm
 Thickness (mm): 50 mm Length (mm): 1000 mm Width (mm): 600 mm
 Thickness (mm): 60 mm Length (mm): 1000 mm Width (mm): 600 mm

Local variations in standard dimensions might occur.



As ROCKWOOL has no control over insulation design and workmanship, accessory materials or applications conditions, ROCKWOOL does not warranty the performance or result of any installation containing ROCKWOOL products. ROCKWOOL's overall liability and the remedies available are limited by the general terms and conditions of sale. This warranty in lieu of all other warranties and conditions expressed or implied, including the warranties of merchantability and fitness for a particular purpose. ROCKWOOL Technical Insulation reserves the right to make necessary product changes at any time. Technical specifications are thus stated subject to change.

ROCKWOOL® Technical Insulation, ROCKWOOL®, SeaRox® and ProRox® are registered trademarks of ROCKWOOL International A/S and cannot be used without a prior written consent.

ROCKWOOL Technical Insulation
www.rockwool-rti.com

PRODUCT DATA SHEET ENG
Issued 01-12-2017, Supersedes 01-06-2012
SEAROX - MARINE & OFFSHORE INSULATION

9.3.2. SEAROX SL 620



TECHNICAL INSULATION

SeaRox® SL 620

SeaRox SL 620 is a semi-rigid slab made of stone wool. The product can be supplied with reinforced alu foil or glass cloth.



Application

SeaRox SL 620 is primarily used as part of approved A constructions for Deck and Bulkhead. A-15, A-30 and A-60 steel constructions approved according to IMO 2010 FTP Code.

Product properties

Properties	Performance		Norm
Thermal conductivity	T (°C) λ (W/mK)	10 0,035	EN 12667
Nominal density	100 kg/m³		EN 1602 / IMO
Compressive strength	-		EN 826
Fire classification	Non-combustible Approved for A constructions Low Flame-Spread Properties		IMO 2010 FTP Code
Water absorption (short term)	< 1 kg/m²		EN 1609 AC
Max. Application Temperature	Wool: 750°C Facing: 80°C		-
Sound absorption directly mounted	α _w = 0,80 Thickness: 40 mm	α _w = 0,90 Thickness: 60 mm	ISO 354 (approximated) Evaluated after ISO 11 654
Facings	Reinforced alu foil White glass cloth 210 g/m² (GW200)		IMO 2010 FTP Code

Dimensions

SeaRox SL 620

Thickness (mm): 25-75 mm Length (mm): 1000 mm Width (mm): 600 mm

Local variations in standard dimensions might occur.



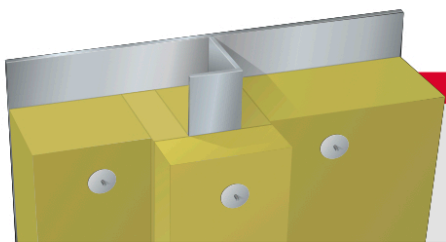
As ROCKWOOL has no control over insulation design and workmanship, accessory materials or applications conditions, ROCKWOOL does not warranty the performance or result of any installation containing ROCKWOOL products. ROCKWOOL's overall liability and the remedies available are limited by the general terms and conditions of sale. This warranty in lieu of all other warranties and conditions expressed or implied, including the warranties of merchantability and fitness for a particular purpose. ROCKWOOL Technical Insulation reserves the right to make necessary product changes at any time. Technical specifications are thus stated subject to change.

ROCKWOOL® Technical Insulation, ROCKWOOL®, SeaRox® and ProRox® are registered trademarks of ROCKWOOL International A/S and cannot be used without a prior written consent.

ROCKWOOL Technical Insulation
www.rockwool-rti.com

PRODUCT DATA SHEET ENG
Issued 01-12-2017, Supersedes 01-07-2012
SEAROX - MARINE & OFFSHORE INSULATION

A-60 Steel Bulkhead



MED B-7487

Product: SeaRox SL 620
Density: 100-115 kg/m³
Thickness: Plate 60 mm insulation
 Stiffener 25 mm insulation





Construction:

- Stiffeners insulated with min. 25 mm SeaRox SL 620
- Plate between stiffeners insulated with one layer of 60 mm SeaRox SL 620
- $\varnothing 3$ mm pins fixed with approx 300/400 mm distance.
- Insulation secured with washers of $\varnothing 38$ mm.

Application notes:

- All the connections must be tight, no air gaps.
- Gap under the stiffener must be filled out completely.
- The pins should exceed the insulation by approx 10 mm.
- The long side of the insulation to be installed vertically.
- Insulation can be placed on either side of the steel plate.

Advantages:

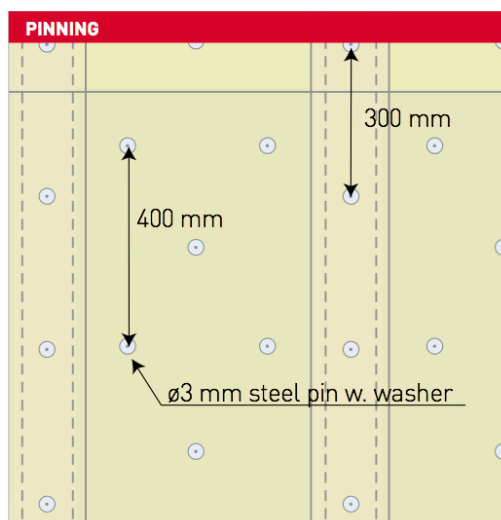
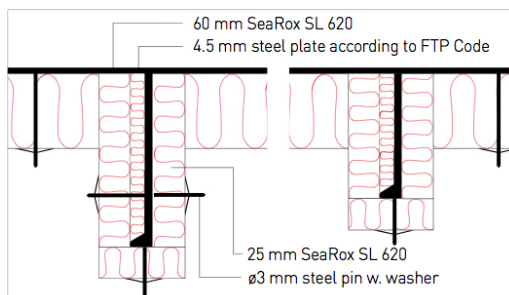
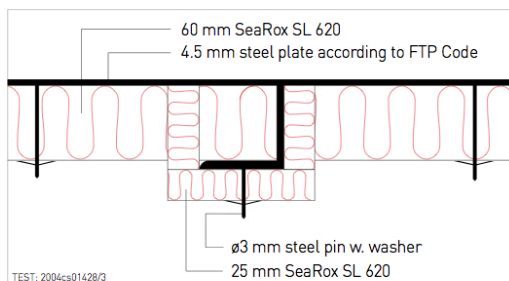
-  One layer solution
-  Low construction weight
-  Easy handling
-  Low water absorption

Optional surfaces (on request):

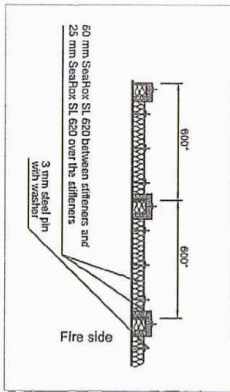
- Reinforced aluminium foil
- Glass cloth

Sound:

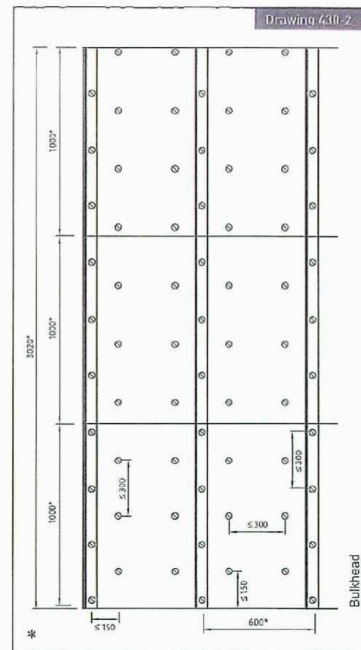
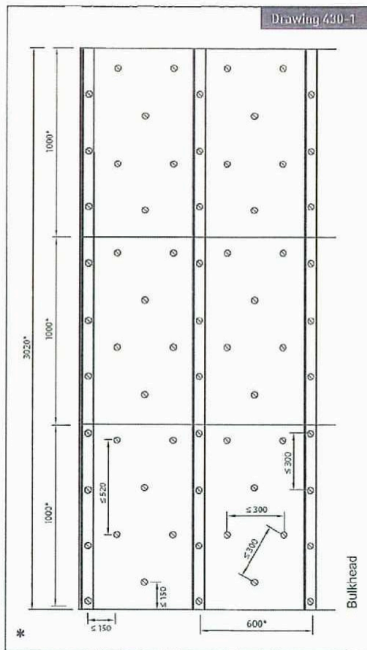
- Weighted sound absorption SeaRox SL 620, 60 mm,
 $\alpha_w = 0.90$
- Weighted sound reduction of the A-60 application
 $R_w = 45$ dB (test specimen 5 mm steel plate).



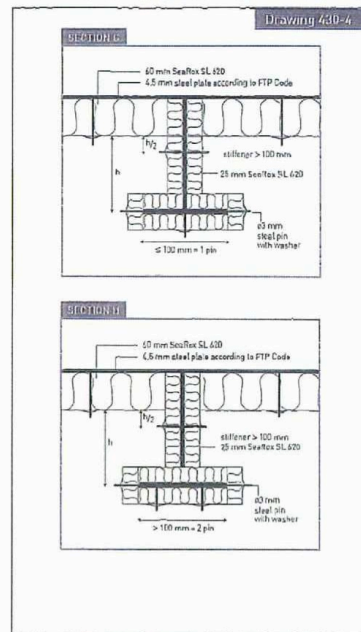
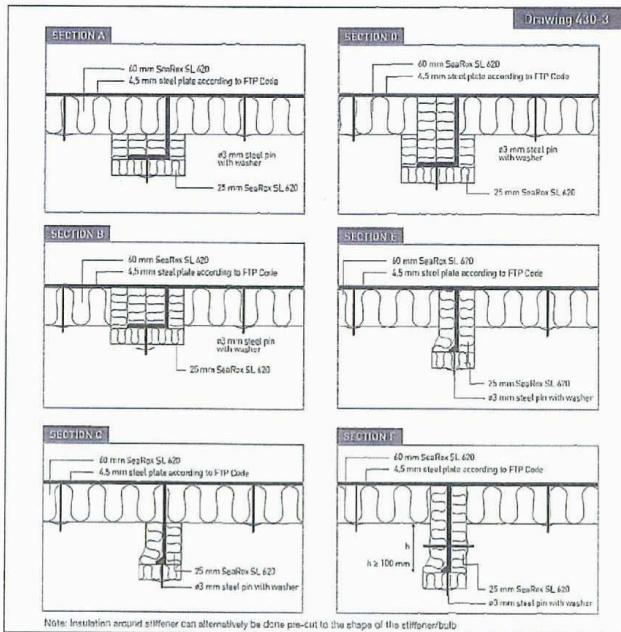
27



Danish Institute of Fire
and Security Technology
File no.
PHA10905B



* Dimensions may vary depending on structural design and size of insulation slabs.



All measurements in mm

Date: 2017/02/09

Subject: A-60 Bulkhead SeaRox SL 620/ SeaRox SL 620

Assessment
Report Nos.:

ROCKWOOL®
TECHNICAL INSULATION

9.3.3. SEAROX WM 620

A-60 Steel Bulkhead



Construction:

- Plate between stiffeners insulated with one layer of 45 mm SeaRox WM 620.
- Stiffeners and plate insulated in the same process with min. 45 mm SeaRox WM 620.
- Standard steel plate 4.5 mm (± 0.5 mm) thick.
- $\varnothing 3$ mm pins fixed with approx 300 mm distance.
- Insulation secured with washers of $\varnothing 38$ mm.

Application notes:

- All the connections must be tight, no air gaps.
- Gap under the stiffener must be filled out completely.
- Joints to be staggered, 150 mm overlap is recommended.
- The pins should exceed the insulation by approx 10 mm.
- Wire mesh must be twisted together at joints.
- Insulation can be placed on either side of the steel plate.

Advantages:

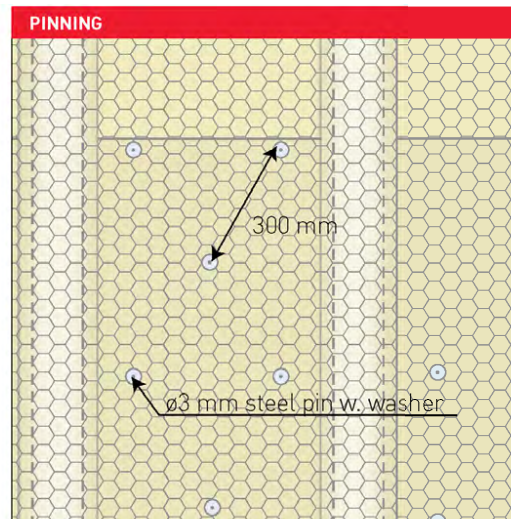
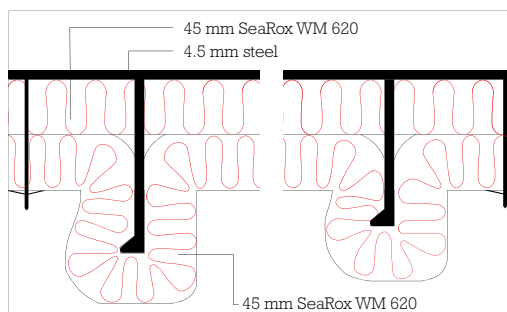
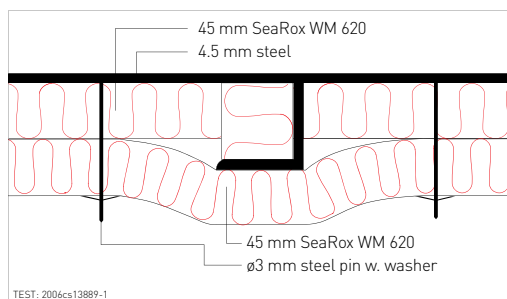
- ⚡ **Fast installation**
- 🔥 **Safe solution**
- 🎵 **Optimal sound properties**

Surfaces:

- Reinforced aluminium foil
- Glass cloth

Sound:

- Weighted sound absorption
 SeaRox WM 620, 2x45 mm $\alpha_w = 0.95$
- Weighted sound reduction of the A-60 application
 $R_w = 58$ dB (with 1 mm steel sheet in front of the insulation)



OK



80 80

Rows of pin's next to the stiffeners, in approx 80 mm distance.

Pin's lenght : 130 mm

This booklet consists of 4 sheets cover included.

265 265

Center row of pin's to be fitted center of distance between stiffeners

Pin's lenght : 130 mm

RINA DIREZIONE GENERALE HEAD OFFICE

APPROVATO APPROVED

In conformità ai vigenti Regolamenti del RINA
In compliance with the RINA Rules in force

LAB 00337 --

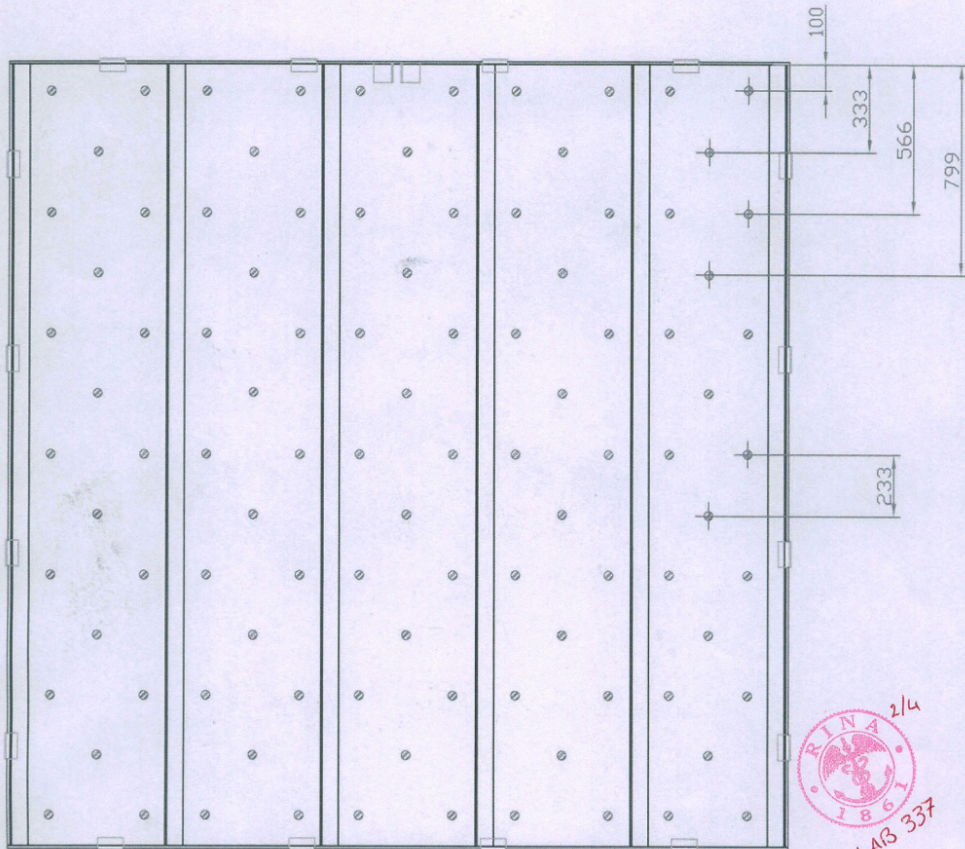
Genova, **16 GEN 2007**

M. Dine

RINA S.p.A.

	2 x 45 mm Rockwool Marine Wired Mat 90			Test : IMO res. A.754(18)	
Designed by HEM	Checked by JSA	Approved by - date HEM - 2006/12/14	File name 8.10.15	Date 2006/12/29	Scale Appr 1:20
A-60 Bulkhead			Rockwool A/S - Marine & Offshore		
			Built-up and pin configuration of test installation, according to FTP Code	Edition 2	Sheet 1/1

Passive Fire Protection Construction

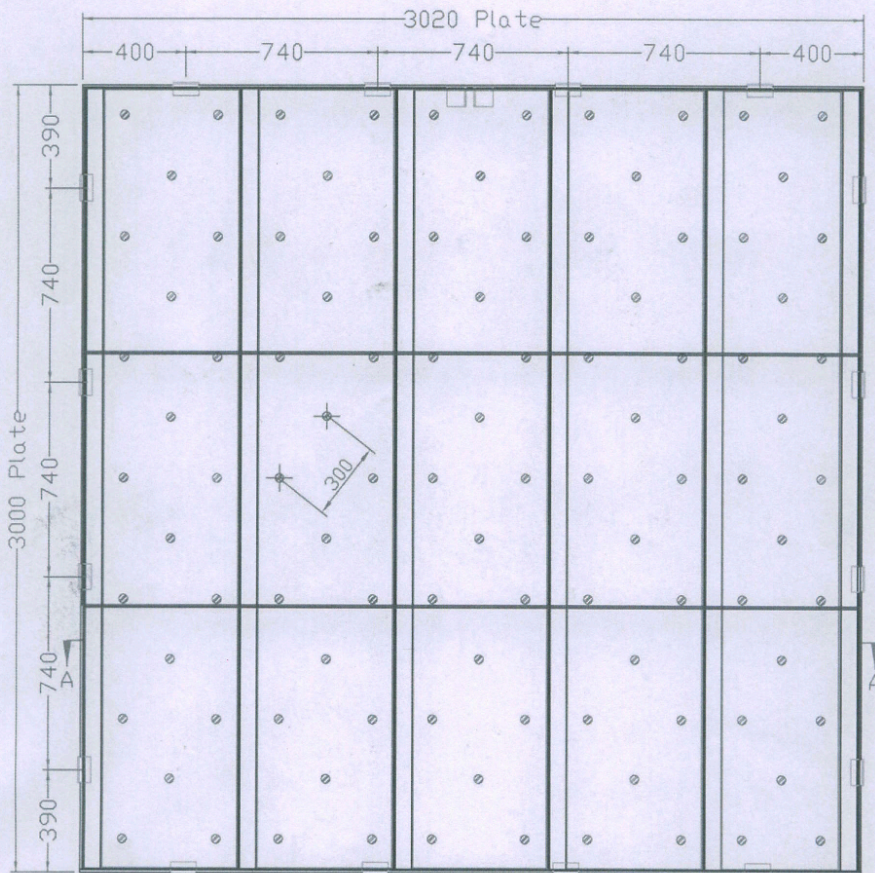


Area between stiffeners equally distributed.
Starting from 100 mm distance from top.
In between evenly distributed, approx 233 mm
distance in height.

Same pin distribution in each section.

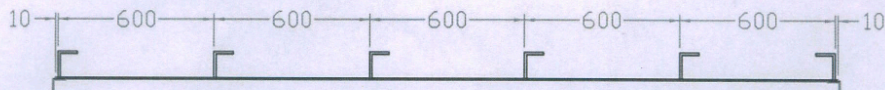
	2 x 45 mm Rockwool Marine Wired Mat 90			Test : IMO res. A.754(18)	
Designed by HEM	Checked by JSA	Approved by - date HEM - 2006/12/14	File name 8.10.15	Date 2006/12/29	Scale Appr 1:20
A-60 Bulkhead			Rockwool A/S - Marine & Offshore		
			Built-up and pin configuration of test installation, according to FTP Code	Edition 2	Sheet 1/1

Passive Fire Protection Construction

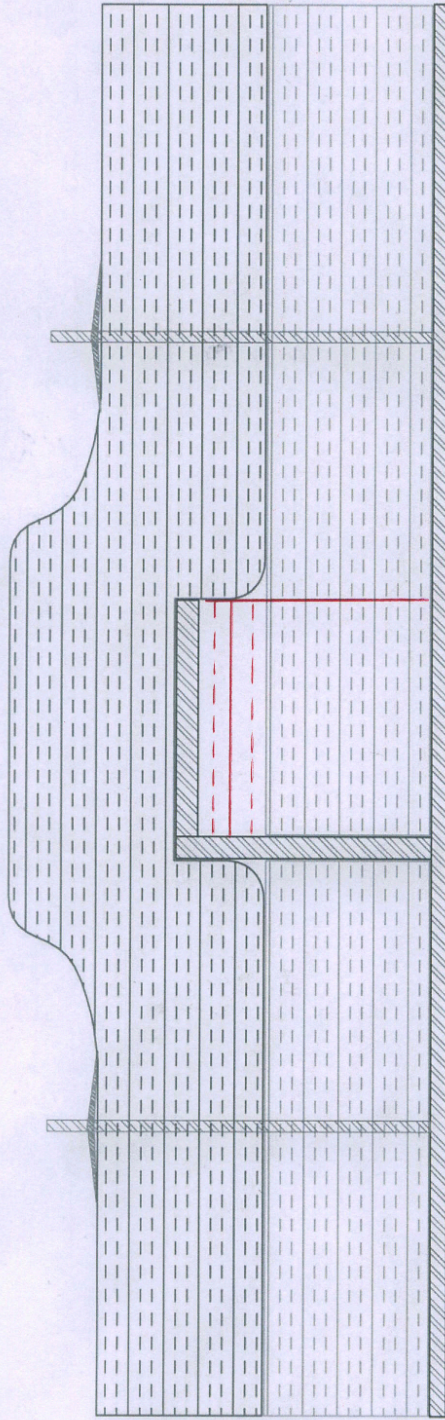


Maximum distance between pin's : 300 mm
Pin's equally distributed over the area.

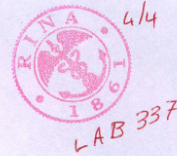
Refer also to drawing 8.10.10.ed2



	2 x 45 mm Rockwool Marine Wired Mat 90			Test : IMO res. A.754(18)	
Designed by HEM	Checked by JSA	Approved by - date HEM - 2006/12/14	File name 8.10.15	Date 2006/12/29	Scale Appr 1:20
A-60 Bulkhead			Rockwool A/S - Marine & Offshore		
			Built-up and pin configuration of test installation, according to FTP Code	Edition 2	Sheet 1/1



Steel construction built-up as per the FTP Code
4.5 mm surface. Stiffeners 70 x 70 x 6 mm
Refer also to drawing 8.10.15



Designed by HEM	Checked by JSa	Approved by - date HEM - 2006/12/14	File name 8.10.10	Date 2006/12/29	Test : IMO res. A.754(18)	Scale A3
A-60 Bulkhead				Rockwool A/S - Marine & Offshore		
Cross section drawing around stiffeners, according to FTP Code				Edition 2	Sheet 1/1	Approx 1:1

9.3.4. SEAROX SL 720

PRODUCT DATASHEET
ISSUED: JUNE 2012

Rockwool Technical Insulation
SeaRox – Marine & Offshore Insulation

SeaRox SL 720



Marine Batts 32

Comfort Insulation

Product description

SeaRox SL 720 is a soft, lightweight slab made of stone wool. The product can be supplied with reinforced alu foil.

Application

SeaRox SL 720 is used for comfort insulation.



Product Properties

	Performance			Norm
	T (°C)	10	50	
Thermal conductivity	T (°C)	10	50	EN 12667
	λ [W/mK]	0,036	0,045	
Nominal density	32 kg/m ³			EN 1602 / IMO
Compressive strength	-			EN 826
Fire classification	Non-combustible Low Flame-Spread Properties			Acc. IMO FTP code
Water absorption (short term)	< 1 kg/m ²			EN 1609 AC
Max. Application Temperature	Wool 250°C Facing 80°C			-
Sound absorption directly mounted	$\alpha_w = 0,75$ Thickness: 50 mm			ISO 354 (approximated) Evaluated after ISO 11 654
Facings (on request)	Reinforced alu foil			IMO A.653(16) [low flame - spread]

Dimensions

SeaRox SL 720

Thickness [mm]: 50, 100 Length [mm]: 1000 Width [mm]: 600

Local variations in standard dimensions might occur.



Rockwool Technical Insulation reserves the right to make necessary product changes at any time. Technical specifications are thus stated subject to change.

ROCKWOOL®
TECHNICAL INSULATION

Rockwool Technical Insulation
DK-2640 Hedehusene
Tel. +45 44 54 14 14
Fax. +45 44 54 16 04
export@rockwool.com
www.rockwool-rti.com
Part of Rockwool International A/S

9.4. ANEXO 4. CERTIFICADOS DE LA SOCIEDAD DE CLASIFICACIÓN

9.4.1. SL 436


Certificate No:
MEDB000016G

EC-TYPE EXAMINATION CERTIFICATE (MODULE B)

Application of: Directive 2014/90/EU of 23 July 2014 on marine equipment (MED), issued as "Forskrift om Skipsutstyr" by the Norwegian Maritime Authority. This Certificate is issued by DNV GL AS under the authority of the Government of the Kingdom of Norway.

This is to certify:
That the "A" Class divisions, fire integrity

with type designation(s)
Steel Deck A60, floating floor

Issued to
**Rockwool International A/S
HEDEHUSENE, Denmark**

is found to comply with the requirements in the following Regulations/Standards:
Regulation **(EU) 2015/559,**
Annex A.1, item No. A.1/3.11a and Annex B, Module B in the Directive; SOLAS 74 as amended,
Regulation II-2/3.2.5 and IMO 2010 FTP Code

Further details of the equipment and conditions for certification are given overleaf.

This Certificate is valid until **2022-03-05**.
Issued at **Høvik** on **2017-03-06**

<p>DNV GL local station: Copenhagen</p> <p>Approval Engineer: Fryderyk Hoga</p>	 Notified Body No.: 0575	<p style="text-align: center;">for DNV GL AS</p> <p style="font-size: small;">Digitally Signed By: Hoff, Øyvind Location: DNV GL Høvik, Norway Signing Date: 15.03.2017, on behalf of</p> <hr/> <p style="text-align: center;">Vidar Dolonen Head of Notified Body</p>
---	--	--

A U.S. Coast Guard approval number will be assigned to the equipment when the production module has been completed and will appear on the production module certificate (module D, E or F), as allowed by the "Agreement between the United States of America and the EEA EFTA states on the mutual recognition of Certificates of Conformity for Marine Equipment" signed 17 October 2005.

The mark of conformity may only be affixed to the above type approved equipment and a Manufacturer's Declaration of Conformity issued when the production-surveillance module (D, E or F) of Annex B of the MED is fully complied with and controlled by a written inspection agreement with a Notified Body. The product liability rests with the manufacturer or his representative in accordance with Directive 2014/90/EU.

This certificate is valid for equipment, which is conform to the approved type. The manufacturer shall inform DNV GL AS of any changes to the approved equipment. This certificate remains valid unless suspended, withdrawn, recalled or cancelled.

Should the specified regulations or standards be amended during the validity of this certificate, the product is to be re-approved before being placed on board a vessel to which the amended regulations or standards apply.


Form code: MED 201.NOR

Revision: 2016-12

www.dnvgl.com Page 1 of 2

© DNV GL 2014. DNV GL and the Horizon Graphic are trademarks of DNV GL AS.

Job Id: **344.1-005570-1**
Certificate No: **MEDB000016G**

Product description

"Steel Deck A60, floating floor"

Composed of steel deck insulated on upper side with one layer or with two layers in equal thickness (installed with staggered joints) having a total thickness of minimum 60 mm and maximum 100 mm (see below table for details). The insulation is manufactured by ROCKWOOL International A/S factories. Two layers of 1.5 mm thick steel sheets are fitted on top of the insulation and glued together.

Insulation	Total thickness (mm)	Density (kg/m ³)	Organic content (% by weight)	Organic content (kg/m ³)
SeaRox SL 436	Minimum 60 Maximum 100	140	1.4	1.96
SeaRox SL 440	Minimum 60 Maximum 100	150	2.8	4.20
SeaRox SL 470	Minimum 60 Maximum 100	180	2.5	4.50
SeaRox SL 480	Minimum 60 Maximum 100	200	2.5	5.00

For further details, see test reports and drawings listed under Type Examination documentation below.

Application/Limitation

Approved for use as a horizontal fire retarding division of class A-60.

The insulation materials and adhesives used have to be approved according to the Marine Equipment Directive and bear the Mark of Conformity. This requirement may also be applicable for surface materials used, if required by relevant rules and regulations.

Each product is to be supplied with its manual for installation and maintenance.

Type Examination documentation

Test reports No. F15 150070-04:01 dated 10 October 2015 and F15 150070-05:01 dated 4 December 2015 both from "SP Fire Research AS", Trondheim, Norway.

Drawing No. R-018 dated 26 August 2015 from Rockwool.
Drawing No. R-024 dated 19 October 2015 from Rockwool.

Tests carried out

Tested according to IMO 2010 FTP Code part 3.

Marking of product

The product or packing is to be marked with name and address of manufacturer, type designation, fire technical rating, MED Mark of Conformity and USCG approval number if applicable (see first page).

9.4.2. SL 620

DNV·GL

Certificate No:
MEDB00002HN

EC-TYPE EXAMINATION CERTIFICATE (MODULE B)

Application of: Directive 2014/90/EU of 23 July 2014 on marine equipment (MED), issued as "Forskrift om Skipsutstyr" by the Norwegian Maritime Authority. This Certificate is issued by DNV GL AS under the authority of the Government of the Kingdom of Norway.

This is to certify:

That the "A" Class divisions, fire integrity

with type designation(s)
A-60 Bulkhead, Steel with SeaRox SL 620

Issued to
Rockwool International A/S
HEDEHUSENE, Denmark

is found to comply with the requirements in the following Regulations/Standards:
Regulation **(EU) 2017/306,**
item No. MED/3.11a. SOLAS 74 as amended, Regulation II-2/3.2 & II-2/9, IMO 2010 FTP
Code, IMO MSC/Circ.1120 and IMO MSC.1/Circ.1434

Further details of the equipment and conditions for certification are given overleaf.

This Certificate is valid until **2022-03-26.**

Issued at **Høvik** on **2017-03-27**

DNV GL local station:
Copenhagen



Approval Engineer:
Fryderyk Hoga

Notified Body
No.: **0575**



for **DNV GL AS**

Digitally Signed By: Langnes, Petter
Location: DNV GL Havik, Norway
Signing Date: 2017-04-10, on behalf of

Vidar Dolonen
Head of Notified Body

A U.S. Coast Guard approval number will be assigned to the equipment when the production module has been completed and will appear on the production module certificate (module D, E or F), as allowed by the "Agreement between the United States of America and the EEA EFTA states on the mutual recognition of Certificates of Conformity for Marine Equipment" signed 17 October 2005.

The mark of conformity may only be affixed to the above type approved equipment and a Manufacturer's Declaration of Conformity issued when the production-surveillance module (D, E or F) of Annex B of the MED is fully complied with and controlled by a written inspection agreement with a Notified Body. The product liability rests with the manufacturer or his representative in accordance with Directive 2014/90/EU.

This certificate is valid for equipment, which is conform to the approved type. The manufacturer shall inform DNV GL AS of any changes to the approved equipment. This certificate remains valid unless suspended, withdrawn, recalled or cancelled. Should the specified regulations or standards be amended during the validity of this certificate, the product is to be re-approved before being placed on board a vessel to which the amended regulations or standards apply.



Form code: MED 201.NOR

Revision: 2017-02

www.dnvgl.com

Page 1 of 2

© DNV GL 2014. DNV GL and the Horizon Graphic are trademarks of DNV GL AS.

Job Id: **344.1-006839-1**
Certificate No: **MEDB00002HN**

Product description

"A-60 Bulkhead, Steel with SeaRox SL 620"

Composed of structural steel bulkhead insulated on the unexposed side with minimum 60 mm thick mineral wool, type "SeaRox SL 620" (density 100-130 kg/m³) between the stiffeners and with minimum 25 mm thick the same insulation around the stiffeners.

The insulation is fixed to the bulkhead by means of standard Ø 3 mm pins in combination with min. 30 mm diameter steel clips (spring washers).

Distance between pins on stiffeners and pins on the bulkhead is approximately 300 mm.

For further details see reports and drawings listed under Type Examination documentation.

Application/Limitation

Approved for use as a vertical fire retarding division of class A-60.

The insulation materials and adhesives used have to be approved according to the Marine Equipment Directive and bear the Mark of Conformity. This requirement may also be applicable for surface materials used, if required by relevant rules and regulations.

Each product is to be supplied with its manual for installation and maintenance.

Type Examination documentation

Test report No. PGA10946A dated 16 December 2016 from Danish Institute of Fire and Security Technology, Hvidovre, Denmark.

Assessment reports No. PHA10905A, PHA10905B, PHA10905C, PHA10905D and PHA10905E dated 23 February 2017 from Danish Institute of Fire and Security Technology, Hvidovre, Denmark.

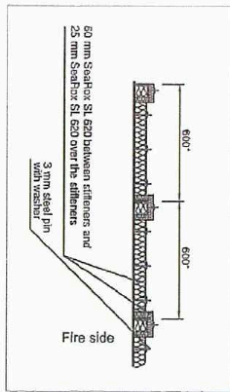
Drawings No. 520 dated 16 December 2016 and from 430-1 to 430-4 dated 09 February 2017, all from manufacturer.

Tests carried out

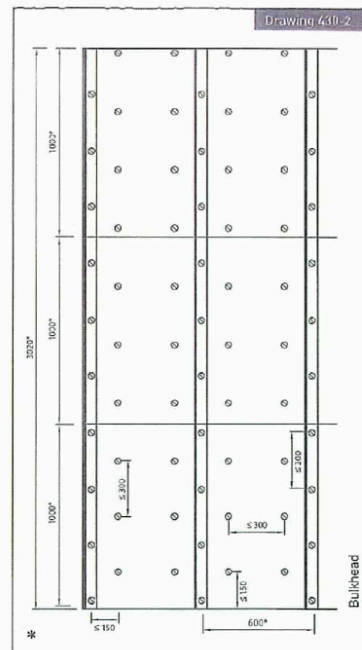
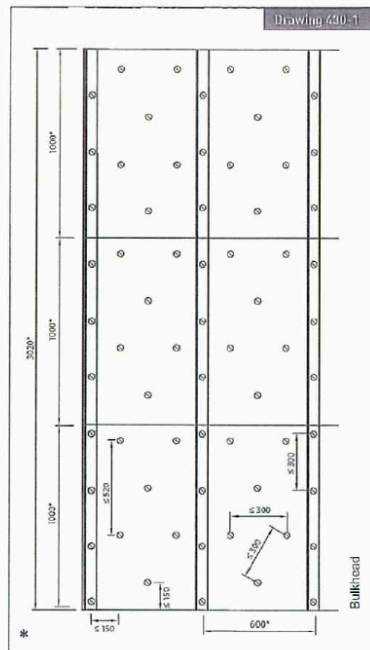
Tested according to IMO 2010 FTP Code part 3.

Marking of product

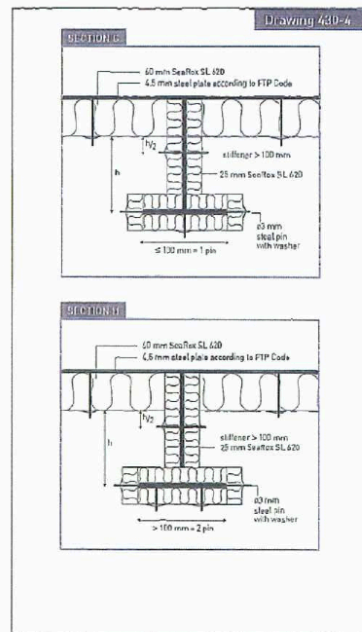
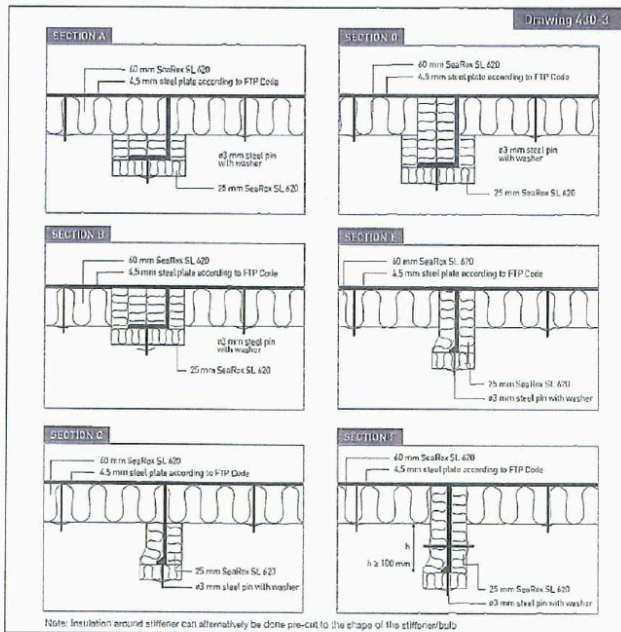
The product is to be marked with name and address of manufacturer, type designation, fire technical rating and MED Mark of Conformity (see first page).



Danish Institute of Fire
and Security Technology
File no.
PHA10905B



* Dimensions may vary depending on structural design and size of insulation slab.



All measurements in mm

Date: 2017/02/09

Subject: A-60 Bulkhead SeaRox SL 620/ SeaRox SL 620

Assessment
Report Nos.:

ROCKWOOL®
TECHNICAL INSULATION

9.4.3. WM 620

DNV·GL

EC-TYPE EXAMINATION CERTIFICATE (MODULE B)

Certificate No:
MEDB00002B4

Application of: Directive 2014/90/EU of 23 July 2014 on marine equipment (MED), issued as "Forskrift om Skipsutstyr" by the Norwegian Maritime Authority. This Certificate is issued by DNV GL AS under the authority of the Government of the Kingdom of Norway.

This is to certify:

That the "A" Class divisions, fire integrity

with type designation(s)
A-60 Bulkhead, Steel

Issued to

**Rockwool International A/S
HEDEHUSENE, Denmark**

is found to comply with the requirements in the following Regulations/Standards:

Regulation **(EU) 2015/559,**
Annex A.1, item No. A.1/3.11a and Annex B, Module B in the Directive; SOLAS 74 as amended,
Regulation II-2/3.2.5 and IMO 2010 FTP Code

Further details of the equipment and conditions for certification are given overleaf.

This Certificate is valid until **2022-03-06.**

Issued at **Høvik** on **2017-03-07**

DNV GL local station:
Copenhagen



Approval Engineer:
Fryderyk Hoga

Notified Body
No.: **0575**



for **DNV GL AS**
Digitally Signed By: Hoff, Øyvind
Location: DNV GL Høvik, Norway
Signing Date: 21.03.2017, on behalf of

Vidar Dolonen
Head of Notified Body

A U.S. Coast Guard approval number will be assigned to the equipment when the production module has been completed and will appear on the production module certificate (module D, E or F), as allowed by the "Agreement between the United States of America and the EEA EFTA states on the mutual recognition of Certificates of Conformity for Marine Equipment" signed 17 October 2005.

The mark of conformity may only be affixed to the above type approved equipment and a Manufacturer's Declaration of Conformity issued when the production-surveillance module (D, E or F) of Annex B of the MED is fully complied with and controlled by a written inspection agreement with a Notified Body. The product liability rests with the manufacturer or his representative in accordance with Directive 2014/90/EU.

This certificate is valid for equipment, which is conform to the approved type. The manufacturer shall inform DNV GL AS of any changes to the approved equipment. This certificate remains valid unless suspended, withdrawn, recalled or cancelled.

Should the specified regulations or standards be amended during the validity of this certificate, the product is to be re-approved before being placed on board a vessel to which the amended regulations or standards apply.



Form code: MED 201.NOR

Revision: 2016-12

www.dnvgl.com

Page 1 of 3

© DNV GL 2014. DNV GL and the Horizon Graphic are trademarks of DNV GL AS.

Job Id: **344.1-000237-61**
Certificate No: **MEDB00002B4**

Product description

"A-60 Bulkhead, Steel"

Steel bulkheads with different insulation solutions are listed in enclosed appendix.

Application/Limitation

Approved for use as a vertical fire retarding division of class A-60.

Applications/Limitations see Appendix.

The insulation materials and adhesives used have to be approved according to the Marine Equipment Directive and bear the Mark of Conformity. This requirement may also be applicable for surface materials used, if required by relevant rules and regulations.

Each product is to be supplied with its manual for installation and maintenance.

Type Examination documentation

Given in enclosed Appendix.

Tests carried out

Tested according to IMO FTPC Part 3 and in compliance with IMO 2010 FTP Code Ch. 8.

Marking of product

The product is to be marked with name and address of manufacturer, type designation, fire technical rating and MED Mark of Conformity (see first page).

Job Id: **344.1-000237-61**
 Certificate No: **MEDB00002B4**

Appendix Rev.0 to MEDB00002B4

Common International Solutions:

Construction	Product Description	Application / Limitations	Type Approval Documentation
Solution no. 1 – A60BH A-60 Bulkhead, Steel SeaRox SL 640 2 x 30 mm / 30 mm	A-60 Bulkhead, SeaRox SL 640 Composed of steel bulkhead insulated with minimum two layers of 30 mm of the above insulation of density 130 kg/m ³ between stiffeners, and minimum 30 mm around stiffeners. The bulkhead insulation is mounted with standard 3 mm steel pins and 38 mm steel clips (spring washers) at intervals of approximately 300 mm.	Approved for use as a Class A-60 Bulkhead. General application. Fire against either side.	Test report No. 2010CS011159/1 dated 25 October 2010 from RINA
Solution no. 2 – A60BH A-60 Bulkhead, Steel SeaRox WM 620 2 x 45 mm / 45 mm	A-60 Bulkhead, SeaRox WM 620 Composed of steel bulkhead insulated with minimum two layers of 45 mm of the above insulation of density 90 kg/m ³ between stiffeners, and minimum 45 mm around stiffeners. The bulkhead insulation is mounted with standard 3 mm steel pins and 38 mm steel clips (spring washers) at intervals of approximately 300 mm.	Approved for use as a Class A-60 Bulkhead. General application. Fire against either side.	Test report No. 2006CS013889-1 dated 7 February 2007 from RINA
Solution no. 3 – A60BH A-60 Bulkhead, Steel SeaRox WM 640 75 mm / 30 mm	A-60 Bulkhead, SeaRox WM 640 Composed of steel bulkhead insulated with minimum 75 mm of the above insulation of density 105 kg/m ³ between stiffeners, and minimum 30 mm around stiffeners. The bulkhead insulation is mounted with standard 3 mm steel pins and 38 mm steel clips (spring washers) at intervals of approximately 300 mm.	Approved for use as a Class A-60 Bulkhead. General application. Fire against either side.	Test report No. 2006CS013889/2 dated 7 February 2007 from RINA
Solution no. 4 – A60BH A-60 Bulkhead, Steel Restricted SeaRox SL640 40 mm / 40 mm	A-60 Bulkhead Restricted, SeaRox SL640 Composed of steel bulkhead insulated with minimum 40 mm of the above insulation of density 130 kg/m ³ between stiffeners, and minimum 40 mm around stiffeners. The bulkhead insulation is mounted with standard 3 mm steel pins and 38 mm steel clips (spring washers) at intervals of approximately 300 mm.	Approved for use as a Class A-60 Bulkhead. Restricted use. Only fire at the insulated side.	Test report No. 2010CS011159/3 dated 25 October 2010 from RINA

9.4.4. SL 720


DET NORSKE VERITAS
EC TYPE-EXAMINATION CERTIFICATE

Application of: Council Directive 96/98/EC of 20 December 1996 on Marine Equipment as amended by directive 2010/68/EU, issued as "Forskrift om Skipsutstyr" by the Norwegian Maritime Directorate. This Certificate is issued by Det Norske Veritas under the authority of the Government of the Kingdom of Norway.


CERTIFICATE NO. **MED-B-7591**

This is to certify that the
Surface materials and floor coverings with low flame-spread characteristics: decorative veneers
with type designation(s)
SeaRox/ProRox insulation with surface materials
Manufacturer
Rockwool International A/S
HEDEHUSENE, Denmark

is found to comply with the requirements in the following Regulations/Standards:
Annex A.1, item No. A.1/3.18a and Annex B, Module B in the Directive. SOLAS 74, Reg. II-2/3, II-2/5, II-2/6, II-2/9 & X/3, IMO MSC/Circ. 1120, 2000 HSC Code 7 and IMO FTP Code

Further details of the equipment and conditions for certification are given overleaf.

Høvik, 2012-06-04 for Det Norske Veritas AS		This Certificate is valid until 2017-06-04
 Marianne Strand Valderhaug Head of Department	Notified Body No.: 0575 DNV local office: Copenhagen	 Aleksandr Jegorov Surveyor



The Certificate is subject to terms and conditions overleaf. Any significant changes in design or construction of the product, or amendments to the Directive or Standards referenced above may render this Certificate invalid. The product liability rests with the manufacturer or his representative in accordance with Council Directive 96/98/EC, as amended. The Mark of Conformity may only be affixed to the product and a Declaration of Conformity may only be issued when the production/product assessment module referred to in the council directive, is fully complied with.

DET NORSKE VERITAS AS, Veritasveien 1, NO-1322 Høvik, Norway, Tel.: +47 67 57 99 00, Fax: +47 67 57 99 11, Org.No. NO 945 748 931 MVA www.dnv.com
Form No.: MED.Ba Issue: April 2010 Page 1 of 3



Certificate No.: MED-B-7591
 Item No.: A1/3.18a
 Job Id.: 344.1-000237-27

Product description

Stone wool marketed under the trade names of SeaRox and ProRox in forms of slabs, mats, wired mats, lamella mats and pipe sections, having a density from 27 - 300 kg/m³.

Trade names: SeaRox (Slabs, Mats, Wired Mats, Lamella Mats) and ProRox (Pipe Sections) and previous trade names/alternative local trade names according to the given Non-combustibility certificates.

The base insulation material consisting of stone wool of different density tested and approved non-combustible types.

The insulation is faced with either reinforced aluminium foil with glass net, or aluminium foil. The aluminium foil is glued to the insulation with use of a polyethylene adhesive or stitched to the insulation in case of SeaRox WM materials (Wired Mats). Alternatively the insulation may be faced with glass cloth (200 - 455 g/m²) glued to the insulation with the use of adhesive type aqueous PVDC latex (approx 80 gr/m²) or stitched to the insulation in case of SeaRox WM materials (Wired Mats).

Glass vlies (approx. 60 gr/m²) or glass scrim 10x10 mm applied to the insulation by resin binder.

"SeaRox Acoustic Foil" consists of "Mylar film", wrapped around mineral insulation covered by perforated 1 mm steel plate.

Applications/Limitations

Approved for use as low flame spread surface material, not generating excessive quantities of smoke nor toxic products in fire.

Approved for application according to IMO MSC/Circ.1004.

Any adhesive used, other than the one used during testing, has to be tested for low flame spread characteristics according to IMO FTP Code Part 5 and to be MED certified.

Manufactured at the premises of Rockwool A/S as given in the corresponding Module D Certificate.

Each product is to be supplied with its manual for installation and use.

Type Examination documentation

Number	Institute	Date	Product (new name)	Product (old name)
PF10798a	DANAK	1999-10-25	SeaRox SL 720 ALU	Marine Batt 32 alu
PF10798b	DANAK	1999-10-25	SeaRox SL 720 ALU	Marine Batt 32 alu
PF12752c	DBI	2007-11-12	SeaRox LM 900 ALU	Marine Lamella Mat 32
PF11113A	DANAK	2001-09-25	SeaRox SL 740 GW200	Marine Batt 45 with glass cloth 215
PF11191A	DANAK	2001-12-10	SeaRox SL 740 GW200	Marine Batt 45 with glass cloth 200
PF12473a	DIFT	2006-10-26	SeaRox SL 740 GW200	Marine Batt 45 with glass cloth 210
PF10798c	DANAK	1999-10-25	SeaRox SL 970 ALU	Marine Firebatt 110 alu
F10449	DIFT	1997-12-12	SeaRox SL 640 ALU	Marine Firebatt 130 alu
PF11113B	DANAK	2001-09-25	SeaRox SL 640 GW200	Marine Firebatt 130 with glass cloth 215
PF11191B	DANAK	2001-12-10	SeaRox SL 640 GW200	Marine Firebatt 130 with glass cloth 200
PF12752a	DBI	2007-11-12	SeaRox SL 640 ALU	Marine Firebatt 130 alu
PF12605b	DBI	2007-08-21	SeaRox SL 640 GW200	Marine Firebatt 130 with glass cloth 210
PF12473B	DIFT	2006-10-26	SeaRox SL 660 GW200	Marine Firebatt 150 with glass cloth 210
PF12605c	DBI	2007-08-21	SeaRox SL 660 GW200	HC Firebatt 150 with glass cloth 210
PF12752b	DBI	2007-11-12	SeaRox WM 640 ALU	Marine Wired Mat 105 alu
PF13270	DANAK	2010-02-25	SeaRox Acoustic Foil	Marine acoustic foil
PF10798d	DANAK	1999-10-25		Universal Pipe Section
11250A	Univ. Gent	2004-05-17		Conlit 150U 756
11250B	Univ. Gent	2004-05-17		Conlit 150P 756
22N010.70/00.180	SINTEF	2000-08-30		Brannplate 110 alu
187021	Warringtonfire	2009-10-07	SeaRox SL320 GW 400	C-board

DET NORSKE VERITAS AS, Veritasveien 1, NO-1322 Høvik, Norway, Tel: +47 67 57 99 00, Fax: +47 67 57 99 11, Org.No. NO 945 746 931 MVA www.dnv.com
 Form No.: MED.Ba Issue: April 2010





Certificate No.: MED-B-7591
Item No.: A1/3.18a
Job Id.: 344.1-000237-27


Tests carried out

Tested according to IMO FTPC Part 5 (IMO Res. A. 653(16)) and Annex 2 item 2.2.

Marking of product

The product or packing is to be marked with name of manufacturer, type designation, Mark of Conformity and USCG marking (see below).

Mark of conformity

The manufacturer is allowed to affix the Mark of Conformity  according to Article 11 in the Council Directive 96/98/EC on marine equipment and issue a Declaration of Conformity, only when the module D or E or F of Annex B in the same directive is fully complied with.

- Module D: The quality system for production and testing shall be approved by the Notified Body.
Module E: The quality system for inspection and testing shall be approved by the Notified Body.
Module F: Compliance of the products to type as described in this EC Type-Examination Certificate must be verified by the Notified Body who also shall issue a Certificate of Conformity.

USCG Approval

An U.S. Coast Guard approval number will be assigned to the equipment when the production module has been completed and will appear on the production module certificate (module D, E or F), as allowed by the "Agreement between the United States of America and the EEA EFTA states on the mutual recognition of certificates of conformity for marine" signed 17 October 2005.



10. ÍNDICES

10.1. ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Velocidad del sonido en diferentes medios.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 2. Nivel de ruido máximo permitido en espacios de trabajo (IMO).....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 3. Nivel de ruido máximo permitido en espacios de navegación (IMO).</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 4. Nivel de ruido máximo permitido en espacios de alojamiento (IMO).</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 5. Nivel de ruido máximo permitido en espacios de servicio (IMO).....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 6. Nivel de ruido máximo permitido en espacios habitualmente no ocupados (IMO).</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 7. Nivel de ruido máximo permitido en buques de pasaje (IMO).....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 8. Nivel de ruido máximo permitido en “DNV Rules For Classification of Ships Part 6 Chapter 33 Comfort Class, January 2014”</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 9. Nivel de ruido máximo permitido en espacios de trabajo “IMO MSC 337(91) - Code on noise levels on board ships”</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 10. Nivel de ruido máximo permitido en espacios de navegación “IMO MSC 337(91) - Code on noise levels on board ships”</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 11. Nivel de ruido máximo permitido en espacios de servicio “IMO MSC 337(91) - Code on noise levels on board ships”</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 12. Nivel de ruido máximo permitido en otros espacios “IMO MSC 337(91) - Code on noise levels on board ships”</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 13. Nivel de ruido máximo permitido en espacios no regulados.....</i>	<i>60</i>
<i>Tablas 14. Ruido aéreo: índice de reducción sonora “ISO140/3” y “ISO 717/1”</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 9.1. - Mamparos que no limitan zonas verticales principales ni zonas horizontales.</i>	<i>88</i>
<i>9.2. - Cubiertas que no forman bayonetas en zonas verticales principales ni limitan zonas horizontales.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 9.3. – Integridad al fuego de los mamparos que separan espacios adyacentes.</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 9.4. - Integridad al fuego de las cubiertas que separan espacios adyacentes.</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 9.5 – Integridad al fuego de los mamparos que separan espacios adyacentes.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 9.6 – Integridad al fuego de las cubiertas que separan espacios adyacentes.....</i>	<i>94</i>

<i>Tabla 9.7 – Integridad al fuego de los mamparos que separan espacios adyacentes.</i>	95
<i>Tabla 9.8 – Integridad al fuego de las cubiertas que separan espacios adyacentes.</i>	96
<i>Tabla 15. Instalación de lana mineral.</i>	103
<i>Tabla 16. Instalación de laminado acústico.</i>	108
<i>Tabla 17. Instalación de placa de acero.</i>	110
<i>Tabla 18. Instalación de placa de acero perforado.</i>	112
<i>Tabla 19. Instalación de lámina viscoelástica.</i>	115
<i>Tabla 20. Seguridad de los trabajadores.</i>	132
<i>Tabla 21. Leyenda del nivel de ruido máximo permitido por cubiertas.</i>	136
<i>Tabla 22. Fuentes de ruido.</i>	139
<i>Tabla 23. Ruido aéreo 1.</i>	141
<i>Tabla 24. Ruido estructural.</i>	142
<i>Tabla 25. Ruido aéreo 2.</i>	142
<i>Tabla 26. Resultados de nivel de ruido en condición de tránsito normal.</i>	147
<i>Tabla 27. Resultados de nivel de ruido en condición de posicionamiento dinámico.</i>	150
<i>Tabla 28. Leyenda del aislamiento de la sala de máquinas: techo.</i>	155
<i>Tabla 29. Leyenda del aislamiento de la sala de máquinas: mamparos.</i>	156
<i>Tabla 30. Leyenda del aislamiento de la sala de máquinas: mamparos.</i>	158
<i>Tabla 31. Leyenda del aislamiento del entrepuente: suelo.</i>	159
<i>Tabla 32. Leyenda del aislamiento de la cubierta principal: mamparos.</i>	160
<i>Tabla 33. Leyenda del aislamiento de la cubierta principal: suelos.</i>	160
<i>Tabla 34. Leyenda del aislamiento de la cubierta A: mamparos.</i>	161
<i>Tablas 35. Leyenda del aislamiento de la cubierta A: suelos.</i>	162
<i>Tablas 36. Leyenda del aislamiento de la cubierta B: suelos.</i>	163
<i>Tablas 37. Leyenda del aislamiento de la cubierta C: suelos.</i>	164
<i>Tablas 38. Leyenda del aislamiento de la cubierta puente: suelos.</i>	165
<i>Tabla 39. Resultados de nivel de ruido en condición de tránsito normal tras las modificaciones.</i>	167
<i>Tabla 40. Resultados de nivel de ruido en condición de posicionamiento dinámico tras las modificaciones.</i>	170

10.2. ÍNDICE DE IMÁGENES

<i>Imagen 1. Estudio termográfico de tubería no aislada.</i>	<i>2</i>
<i>Imagen 2. Transmisión de calor mediante la conducción a través de varias capas en paredes planas.....</i>	<i>8</i>
<i>Imagen 3. Conducción de calor en superficies curvas.</i>	<i>11</i>
<i>Imagen 4. Desarrollo de un cilindro.....</i>	<i>11</i>
<i>Imagen 5. Transmisión de calor mediante la conducción a través de varias capas en paredes curvas.....</i>	<i>12</i>
<i>Imagen 6. Absorción de la radiación por un cuerpo.</i>	<i>21</i>
<i>Imagen 7. Transmisión mixta: conducción y convección en paredes planas.</i>	<i>26</i>
<i>Imagen 8. Transmisión mixta: conducción y convección en paredes curvas.</i>	<i>28</i>
<i>Imagen 9. Tipo de ruido según el medio de transmisión.</i>	<i>44</i>
<i>Imagen 10. Transmisión del sonido desde la fuente.</i>	<i>44</i>
<i>Imagen 11. Ruido de impacto.</i>	<i>46</i>
<i>Imagen 12. Propagación del sonido sin obstáculos.</i>	<i>47</i>
<i>Imagen 13. Transmisión del sonido a través de un obstáculo.</i>	<i>48</i>
<i>Imagen 14. Tiempo de reverberación.....</i>	<i>53</i>
<i>Imagen 15. Tetraedro de fuego.</i>	<i>62</i>
<i>Imagen 16. Rango de inflamabilidad.....</i>	<i>67</i>
<i>Imagen 17. Disposición de aislamiento.</i>	<i>98</i>
<i>Imagen 18. Proceso de producción de la lana de roca.</i>	<i>99</i>
<i>Imagen 19. Lana de roca.</i>	<i>102</i>
<i>Imagen 20. Fabricación de lana de vidrio.....</i>	<i>103</i>
<i>Imagen 21. Lana de roca con lámina de aluminio.</i>	<i>106</i>
<i>Imagen 22. Lana de roca con lámina de aluminio instalada.</i>	<i>106</i>
<i>Imagen 23. Laminado acústico instalado.</i>	<i>107</i>
<i>Imagen 24. Comparativa de absorción entre placa sin perforar y perforada.....</i>	<i>111</i>
<i>Imagen 25. Placa de acero perforado instalada.</i>	<i>112</i>
<i>Imagen 26. Lámina viscoelástica.....</i>	<i>114</i>
<i>Imagen 27. Lámina viscoelástica instalada.....</i>	<i>114</i>
<i>Imagen 28. Aerogel.....</i>	<i>116</i>

<i>Imagen 29. Gaina.....</i>	<i>118</i>
<i>Imagen 30. Poliuretano.</i>	<i>119</i>
<i>Imagen 31. Absorción de la lana de roca “SeaRox SL 620”.....</i>	<i>120</i>
<i>Imagen 32. Coquillas cerradas y abiertas.....</i>	<i>122</i>
<i>Imagen 33. Coquillas fijada con bandas de acero.</i>	<i>122</i>
<i>Imagen 34. Múltiples capas de coquillas.....</i>	<i>123</i>
<i>Imagen 35. Codos.</i>	<i>124</i>
<i>Imagen 36. Segmentos cortados con cúter.</i>	<i>124</i>
<i>Imagen 37. Injerto.....</i>	<i>125</i>
<i>Imagen 38. Manta laminada.....</i>	<i>126</i>
<i>Imagen 39. Manta laminada.....</i>	<i>127</i>
<i>Imagen 40. Instalación de manta armada en tuberías 1.</i>	<i>128</i>
<i>Imagen 41. Instalación de manta armada en tuberías 2.</i>	<i>129</i>
<i>Imagen 42. Penetración.....</i>	<i>130</i>
<i>Imagen 43. Tubería.....</i>	<i>131</i>
<i>Imagen 44. Nivel de ruido máximo permitido en Tank Top.</i>	<i>137</i>
<i>Imagen 45. Nivel de ruido máximo permitido en la cubierta de mezzanina.....</i>	<i>137</i>
<i>Imagen 46. Nivel de ruido máximo permitido en el entrepuente.....</i>	<i>137</i>
<i>Imagen 47. Nivel de ruido máximo permitido en la cubierta principal.....</i>	<i>137</i>
<i>Imagen 48. Nivel de ruido máximo permitido en la cubierta A.....</i>	<i>138</i>
<i>Imagen 49. Nivel de ruido máximo permitido en la cubierta B.....</i>	<i>138</i>
<i>Imagen 50. Nivel de ruido máximo permitido en la cubierta C.....</i>	<i>138</i>
<i>Imagen 51. Nivel de ruido máximo permitido en la cubierta de puente.....</i>	<i>138</i>
<i>Imagen 52. Tank Top.</i>	<i>143</i>
<i>Imagen 53. Cubierta de mezzanina.....</i>	<i>143</i>
<i>Imagen 54. Entrepunte (popa)</i>	<i>144</i>
<i>Imagen 55. Entrepunte (proa).....</i>	<i>144</i>
<i>Imagen 56. Cubierta principal.....</i>	<i>144</i>
<i>Imagen 57. Cubierta A.....</i>	<i>145</i>
<i>Imagen 58. Cubierta B.....</i>	<i>145</i>
<i>Imagen 59. Cubierta C.....</i>	<i>146</i>

<i>Imagen 60. Cubierta de puente.....</i>	<i>146</i>
<i>Imagen 61. Aislamiento del techo de la sala de máquinas: techo.....</i>	<i>155</i>
<i>Imagen 62. Aislamiento de la sala de máquinas: mamparos.....</i>	<i>156</i>
<i>Imagen 63. Aislamiento del entrepuente: mamparos y suelos.....</i>	<i>157</i>
<i>Imagen 64. Aislamiento del entrepuente: mamparos.....</i>	<i>157</i>
<i>Imagen 65. Aislamiento del entrepuente: suelo proa.....</i>	<i>158</i>
<i>Imagen 66. Aislamiento del entrepuente: suelo popa.....</i>	<i>158</i>
<i>Imagen 67. Aislamiento de la cubierta principal: mamparos.....</i>	<i>159</i>
<i>Imagen 68. Aislamiento de la cubierta principal: suelos.....</i>	<i>160</i>
<i>Imagen 69. Aislamiento de la cubierta A: mamparos.....</i>	<i>161</i>
<i>Imagen 70. Aislamiento de la cubierta A: suelos.....</i>	<i>162</i>
<i>Imagen 71. Aislamiento de la cubierta B: suelos.....</i>	<i>163</i>
<i>Imagen 72. Aislamiento de la cubierta C: suelos.....</i>	<i>164</i>
<i>Imagen 73. Aislamiento de la cubierta de puente: suelos.....</i>	<i>165</i>
<i>Imagen 74. Aislamiento de hélices de maniobra: disposición.....</i>	<i>165</i>

10.3. ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 1. Espectro de la radiación solar y de irradiación de superficies calientes.....</i>	<i>19</i>
<i>Gráfico 2. Ábaco de Wrede.....</i>	<i>33</i>
<i>Gráfica 3. Curvas Fletcher Mounson.....</i>	<i>41</i>
<i>Gráfica 4. Niveles de ruido [dB(A)]......</i>	<i>43</i>
<i>Gráfica 5. Sonido según su frecuencia.....</i>	<i>43</i>

10.4. ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>[1] Ley de Fourier, transmisión de calor en superficies planas.....</i>	<i>7</i>
<i>[2] Transmisión de calor en superficies planas, múltiples capas.....</i>	<i>9</i>
<i>[3] Resistencia térmica: conducción simple.....</i>	<i>10</i>
<i>[4] Resistencia térmica: conducción varias capas.....</i>	<i>10</i>
<i>[5] Desarrollo de un cilindro: área de un rectángulo.....</i>	<i>11</i>

[6] Transmisión de calor superficies curvas	12
[7] Transmisión de calor en superficies curvas: varias capas.....	13
[8] Resistencia térmica de conducción simple	14
[9] Resistencia térmica de conducción varias capas	14
[10] Ley de Newton, transmisión de calor por convección en superficies planas	15
[11] Transmisión de calor por convección en superficies curvas.....	16
[12] Coeficiente de transferencia por convección.....	16
[13] Número de Reynolds	17
[14] Viscosidad cinemática	17
[15] Número de Reynolds.....	17
[16] Ley de Stefan-Boltzman	19
[17] Transmisión de calor por radiación.....	20
[18] Radiación: absorción, reflexión y transparencia	21
[19] Coeficientes de absorción, reflexión y transparencia	21
[20] Radiación: coeficiente de absorción.....	22
[21] Radiación: coeficiente de reflectividad	24
[22] Radiación: coeficiente de transmisividad.....	25
[23] Transmisión mixta: paredes planas.....	27
[24] Transmisión mixta: paredes curvas.....	29
[25] Caudal de las fugas de vapor	31
[26] Ahorro al eliminar pérdidas	32
[27] Frecuencia	35
[28] Módulo volumétrico.....	35
[29] Velocidad del sonido en gases.....	36
[30] Módulo de Young.....	37
[31] Velocidad del sonido en sólidos.....	37
[32] Velocidad del sonido a través del aire.....	38
[33] Relación entre velocidad, frecuencia y amplitud.....	38
[34] Impedancia acústica	38
[35] Intensidad acústica	39
[36] Presión sonora.....	39
[37] Nivel de potencia sonora	39
[38] El decibelio	40
[39] Propagación del sonido en espacios abiertos	47

[40]	Intensidad de las ondas.....	48
[41]	Relación coeficientes transmisión del sonido.....	49
[42]	Coficiente de absorción del sonido.....	49
[43]	Coficiente de reflexión del sonido.....	49
[44]	Coficiente de transmisión del sonido.....	50
[45]	Índice de reducción sonoro.....	50
[46]	Nivel de presión sonora.....	51
[47]	Constante de una habitación.....	51
[48]	Coficiente de absorción de sonido del medio.....	52
[49]	Tiempo de reverberación.....	53
[50]	Nivel de presión sonora.....	53

10.4.1. TÉRMINOS EMPLEADOS EN LAS ECUACIONES Y SUS ACEPCIONES

A	Área [m ²]
B	Módulo volumétrico $\left[Pa = \frac{N}{m^2}\right]$
c	Velocidad de propagación del sonido $\left[\frac{m}{s}\right]$
d	Diámetro del orificio [mm]
dt	Diferencia de temperatura entre las capas [°C]
I	Intensidad en Wattios por m ² de la zona a determinar el nivel sonoro $\left[\frac{W}{m^2}\right]$
I ₀	Constante considerada como el umbral de audición igual a $1 \cdot 10^{-12} \left[\frac{W}{m^2}\right]$
K	Coficiente de valor 0,35-0,4
l	Longitud [m]
L _p	Nivel de la presión sonora [dB]
L _w	Nivel de la potencia sonora o nivel sonoro [dB]
M	Masa molar [mol]
P	Presión del vapor [kg/cm ²]
P _{acústica}	Presión acústica [Pa]
PCI	Poder Calorífico Inferior del combustible
Q	Calor [W]

	Caudal del fluido que sale por el orificio [kg/h]
	Constante que depende de la posición de la fuente del sonido respecto a los obstáculos
r	Radio [m] Distancia desde la fuente hasta el punto a analizar [m]
R	Resistencia térmica $\left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}\right]$ Constante de los gases ideales igual a 0,82 $\left[\frac{l \cdot atm}{K \cdot mol}\right]$ Constante de una habitación
Re	Número de Reynolds [Adimensional]
S	Superficie de la pared considerada [m ²]
t	Temperatura [°C] Tiempo [h/año]
T	Período [s] Temperatura [K]
T _s	Temperatura absoluta [K]
u	velocidad de las partículas [m/s]
w	velocidad del líquido o del gas [m/s]
x	Espesor de la pared considerada [m]
Y	Módulo de Young [Pa]
Z	Impedancia $\left[\frac{Pa \cdot s}{m}\right]$
α	Coefficiente de transmisión de calor por convección $\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right]$ Coeficiente de absorción acústica, valor entre 0-1
α _m	Coeficiente de absorción del sonido en el medio, valor entre 0-1
γ	Coeficiente adiabático siendo constante para cada material [Adimensional]
ε	Emisividad [Adimensional]
η	Rendimiento de la caldera, valor entre 0-1
λ	Coeficiente de conductibilidad $\left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right]$
μ	viscosidad absoluta [(N·s)/m ²]
ν	viscosidad cinemática [m ²]
ρ	Densidad $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

$$\sigma \quad \text{Constante de Stefan-Boltzman} = 5,67 \cdot 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2} \cdot K^4 \right]$$

11. ANGLICISMOS

TÉRMINOS EN INGLÉS	TÉRMINOS EN CASTELLANO
A Deck	Cubierta A
Acoustic foil	Laminado acústico
Air Handling Units	Unidades de tratamiento de aire
B Deck	Cubierta B
Battery Room	Sala de baterías
Bow Thruster	Hélice de maniobras de proa
Bridge Deck	Cubierta de puente
Bulkhead	Mamparo
C Deck	Cubierta C
Cabinet	Camarote
Ceiling	Techo/Cubierta
Chemical Store	Almacén de productos químicos
Chiller Units	Unidades enfriadoras
Cinema / Play room	Cine / Sala de ocio
Crew change vessel	Buque para el transporte de tripulación a otro buque/estación offshore
Danish Maritime Authority (DMA)	Autoridad Marítima Danesa (DMA)
Day Room	Sala de estar
Deck	Cubierta o suelo
Emergency Generator	Generador de emergencia
Emergency Water Mist Room	Sala de agua pulverizada para emergencias
Engine Control Room (ECR)	Sala de control de máquinas
Engine Room	Sala de máquinas
Factory Acceptance Test (FAT)	Prueba de aptitud realizada en fábrica
Floor	Suelo

Forepeak Store	Bodega de proa
Garbage Room	Sala de basuras
Gen Sets	Grupo electrógeno
Gross Tonnage (GT)	Arqueo Bruto
Gymnasium	Gimnasio
Hospital	Hospital
International Maritime Organization (IMO)	Organización Marítima Internacional (OMI)
Lamella mat	Manta laminada
Laundry	Lavandería
Main Deck	Cubierta principal
Main Propulsion Azimuth Thrusters	Hélices azimutales de propulsión principales
Manoeuvring/Dynamic positioning	Posicionamiento dinámico
Mezzanine Deck	Cubierta de mezzanina (entreplanta)
Normal transit	Tránsito normal
Paint Store	Almacén de pinturas
Propulsion room	Sala de propulsores
Pump Room	Sala de bombas
Room	Sala
Scullery	Trascocina
Sick Bay	Enfermería
Smoker's Day Room	Sala de fumadores
Starting Air Compressor	Compresor de aire de arranque
Switchboard Room (SWB Room)	Sala de armarios eléctricos
Tank Top	Cubierta de máquinas
Tween Deck	Entrepunte
Washer	Chapa (fijación aislamiento)
Watermist	Sistema de agua pulverizada
Wired mat	Manta armada

Working Air Compressor	Compresor de aire de trabajo
Workshop	Taller