



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de Práctica Docente para la adquisición de
conocimientos relativos a la Evaluación del aislamiento acústico a
ruido aéreo entre espacios de buque*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Carlos Valdés Gandullo

DIRECTORES: Francisco Javier Rodríguez Rodríguez
Carlos Ulloa Sande

CURSO ACADÉMICO: 2016-2017

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de Práctica Docente para la adquisición de
conocimientos relativos a la Evaluación del aislamiento acústico a
ruido aéreo entre espacios de buque*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

UniversidadeVigo

RESUMEN

El valor exigido, después de una comprobación mediante medidas, de los parámetros acústicos de aislamiento a ruido aéreo entre los distintos espacios de buques de la Armada resultan determinantes para proporcionar unas determinadas condiciones de calidad interior. Así, es necesario que se puedan alcanzar, sobre todo: buena comprensión de mensaje, correcta percepción de las alarmas acústicas y comodidad suficiente en los espacios destinados al descanso.

En este contexto, se considera conveniente la adquisición de conocimientos introductorios en esta temática por parte de los alumnos de grado de la ENM. Por ello, el presente Trabajo Fin de Grado aborda el diseño de una Práctica Docente encaminada a conseguir una serie de competencias mediante su desarrollo lectivo; entre éstas, se pueden destacar:

- Familiarizarse con las Normas ISO relativas al proceso ejecución in situ de los ensayos de aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos.
- Conocer la normativa de referencia actual relativa al diseño y consecución de unas determinadas condiciones acústicas en los buques y cuyas exigencias debe determinarlas y valorarlas el futuro propietario.
- Familiarizarse, igualmente, con los equipos y programas informáticos acústicos específicos necesarios para evaluar las condiciones de aislamiento acústico.
- Poseer la capacidad de razonar la obtención de los valores que adoptan los diferentes parámetros acústicos de aislamiento después de un ensayo realizado.

PALABRAS CLAVE

Práctica Docente, aislamiento acústico, Norma ISO, índice, normativa de calidad de buques, informe de resultados.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco el esfuerzo realizado por el tutor del presente Trabajo de Fin de Grado, Javier Rodríguez Rodríguez, que ha estado presente en el desarrollo del mismo y me ha motivado y ayudado cuando lo he necesitado.

En segundo lugar me gustaría destacar y agradecer la presencia de mi madre, Teresa, que me ha apoyado y ha sido un apoyo moral durante estos meses y, por supuesto, agradecer a mi padre, Carlos, que me haya proporcionado material imprescindible y de calidad para el trabajo.

Por último, quiero agradecer el grandioso ambiente de trabajo del que he podido gozar en el pasillo de las cuatro Charlies y, en especial agradezco la atmósfera de superación que me ha proporcionado la Charlie Cuatro durante estos dos meses.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	5
1 Motivación y objetivos	7
1.1 Motivación	7
1.2 Objetivos	7
1.3 Metodología	8
2 Estado del arte	9
2.1 El comienzo de la acústica como ciencia.....	9
2.2 Conceptos acústicos de interés.....	11
2.2.1 Terminología acústica.....	11
2.2.2 La naturaleza del sonido: Generación de la onda sonora.	14
2.2.3 La escala de medida: El decibelio	19
2.2.4 La curva de ponderación: Decibelio ponderado A (dBA)	20
2.2.5 Espectro de frecuencias de un sonido: Bandas de octavas	21
2.2.6 El ruido aéreo y el aislamiento acústico	22
3 Diseño de la Práctica Docente: Evaluación del aislamiento acústico a ruido aéreo entre espacios de buques.....	27
3.1 Antecedentes necesarios para la comprensión de la Práctica Docente	27
3.1.1 Ensayos de aislamiento a ruido aéreo entre recintos	27
3.1.2 Definición de los principales parámetros acústicos de aislamiento a ruido aéreo: I_a ; $D_{nT,A}$; $D_{nT,w}$; R_w	33
3.1.3 Análisis de la Normativa existente de las condiciones acústicas a bordo de buques	34
3.1.4 Definición de una práctica docente de modo genérico	46
3.2 Introducción y objetivos de la Práctica Docente diseñada.....	47
3.2.1 Introducción a la Práctica Docente	47
3.2.2 Objetivos de la Práctica Docente	48
3.3 Competencias adquiridas por el alumno mediante la Práctica Docente	48
3.4 Contenido y proceso de la Práctica Docente que han de desarrollar los alumnos	49
3.4.1 Fase I. Proceso detallado de la realización de ensayos acústicos in situ mediante la Norma UNE-EN ISO 16283-1	50
3.4.2 Fase II: Proceso del volcado en laboratorio de los datos acústicos recogidos durante las medidas.....	52

3.4.3 Fase III. Obtención detallada de los parámetros acústicos de aislamiento a partir de los resultados del ensayo (L1, L2, B2 y T2):	55
3.4.4 Fase IV. Conclusiones: Análisis de los resultados obtenidos en relación con la normativa de aplicación considerada.....	63
3.4.5 Fase V: Contenido del informe acústico a redactar	63
4 Conclusiones y líneas futuras	65
4.1 Conclusiones	65
4.2 Líneas futuras	66
5 Bibliografía.....	67
Anexo I: Contenido de la Práctica Docente en formato de empleo para una clase.....	71
Anexo II: Entregable del alumno	95
Anexo III: Ejemplo de cálculo y graficas obtenidas en un ensayo acústico	103
Anexo IV: Normativa de calidad acústica en buques.....	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Teatro Romano de Bosra, Siria [19]	9
Figura 2-2 El Symphony Hall [18]	10
Figura 2-3 Representación de una onda longitudinal (onda sonora) [20]	15
Figura 2-4 Analogía de onda longitudinal con olas de un estanque. [21]	15
Figura 2-5 Propagación de una onda longitudinal a través de partículas del aire [20]	16
Figura 2-6 Características principales de una onda [22]	16
Figura 2-7 Recepción de ondas sonoras por el oído humano [23]	17
Figura 2-8 Umbrales y rangos de audición con la frecuencias enfrentadas a decibelios [24]	18
Figura 2-9 Relación entre unidad natural de presión (N/m^2) y dB.....	19
Figura 2-10 Escala de dB frente a valores naturales (a la izquierda) y gráfica de frecuencias y niveles de presión sonora (a la derecha) [22].....	20
Figura 2-11 Bandas de tercio de octava (arriba) y bandas de octava (abajo) [25]	21
Figura 2-12 Sala de grabación [26]	22
Figura 2-13 Transmisión de ruido aéreo entre recintos [27]	23
Figura 2-14 Como los ruidos aéreos ponen en movimiento a los sistema constructivos y éstos se convierten en nuevos focos sonoros [27].....	23
Figura 2-15 Incidencia de una onda sonora en superficie absorbente [28]	24
Figura 2-16 Representación de superficie divisoria [17]	25
Figura 2-17 Vibraciones generadas en estructuras de separación de difenrete densidad [6]	25
Figura 3-1 Esquema de ensayo acústico donde aparecen L1, L2 y B2 [29]	29
Figura 3-2 Sonómetro portátil [16]	29
Figura 3-3 Fuente sonora omnidireccional [16]	30
Figura 3-4 Calibrador acústico [16]	30
Figura 3-5 Amplificador [16]	31
Figura 3-6 Zonas de exposición diaria y ocasional al ruido a un nivel admisible	36
Figura 3-7 Esquema de disposición de recintos incluyendo L1, L2 y B2. [29]	51
Figura 3-8 Esquema básico de los equipos de medida para realizar el volcado de datos [16].....	52
Figura 3-9 Interfaz del software Qualifier Tipo 7830	53
Figura 3-10 Interfaz del software Qualifier, desglose de L1, L2, B2 y T2 en la pestaña de "Medidas".....	53
Figura 3-11 Desglose de las diferentes medidas de L1 expuestas en una tabla	54
Figura 3-12 Pantalla del Excel de la práctica para el volcado de L1 y L2.....	54
Figura 3-13 Pantalla del Excel de la Práctica para el volcado de B2 y T2	55

Figura 3-14 Gráfica de los valores de referencias.....	55
Figura 3-15 Pantalla del Excel diseñado para el cálculo de DnT_w	57
Figura 3-16 Pantalla del Excel diseñado para el cálculo del I_a	58
Figura 3-17 Pantalla del Excel diseñado para el cálculo de C , DnT_A , $DnT_w(C)$ y DnT_{w+C}	61
Figura 3-18 Pantalla del Excel diseñado para el cálculo de R'_w	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Magnitudes fundamentales de una onda	17
Tabla 2-3 Valores de ponderación para obtener dBA	20
Tabla 3-1 Valores de referencia para aislamiento a ruido aéreo	32
Tabla 3-2 Magnitudes globales de aislamiento a ruido aéreo	33
Tabla 3-3 Límites de ruido según la OMI	35
Tabla 3-4 Propiedades de aislamiento de las diferentes zonas según la OMI.....	37
Tabla 3-5 Límites de ruido de la Stanag 4293.....	38
Tabla 3-6 Límites de nivel de ruido del Comf-Noise.....	40
Tabla 3-7 Propiedades de aislamiento de las diferentes zonas según Boreau Veritas	40
Tabla 3-8 Límites del nivel de ruido para el EMA.....	43
Tabla 3-9 Límites de niveles de ruido según el MIL-STD 1472G.....	44
Tabla 3-10 Límites de nivel de ruido para el buque JCI	45
Tabla 3-11 Valores de referencia para cada banda de octava o banda de tercio de octava.....	56
Tabla 3-12 Valores espectrales nº1 y nº2 para cada banda de octava o banda de tercio de octava .	60
Tabla 3-13 Valores finales de los parámetros según los locales donde se haya realizado el ensayo	63

1 MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Motivación

La Armada Española se ha destacado a finales de este último siglo como una de las armadas más modernas y actualizadas del mundo. Destaca no solo por la calidad de su personal, sino también por la de sus unidades. El éxito en la combinación de estos dos factores con el fin de que se obtenga en los buques de la Armada unas óptimas condiciones habitabilidad residirá, en parte, a un buen aislamiento acústico entre espacios.

Existe gran variedad de publicaciones y normas relativas al bienestar a bordo de los buques y a las condiciones acústicas, en las que se llega a puntualizar, incluso, que los alojamientos de los buques han de presentar un acondicionamiento compatible con el descanso y el recreo, aún cuando en espacios adyacentes se desarrollen actividades que impliquen ruido aéreo de alta presión sonora. Para llegar al cumplimiento de estos requisitos, las normativas vigentes presentan varios parámetros de aislamiento acústico y diferentes métodos de obtención de los mismos. [1]

Las mediciones *in situ* del aislamiento acústico entre recintos están regulados bajo una norma internacional ISO, donde se recogen los procedimientos para realizar mediciones y ensayos con el objeto de cuantificar, evaluar y comparar el aislamiento a ruido aéreo con el exigido, normalmente, por el peticionario del buque.

La funcionalidad y operatividad de un buque de ámbito militar deberá ser exquisita; por lo tanto, con este pretexto, los niveles de aislamiento a ruido aéreo entre alojamientos y espacios de buques se acogerán fielmente a los que dictan la norma de aplicación.

1.2 Objetivos

Motivado por el fiel cumplimiento de las normas en el ámbito acústico en los buques de la Armada, el presente Trabajo de Fin de Grado desarrollará y diseñará una práctica docente que tendrá como objeto la adquisición de conocimientos para obtener, de forma analítica, los parámetros necesarios para verificar el correcto aislamiento en los alojamientos o habitáculos de un buque.

Cuando se aborda el tema del aislamiento acústico nos encontramos con que no sólo existe una normativa o publicación que regule o establezca unos límites claros para el ruido aéreo en buques. Si focalizamos esta cuestión en el ámbito militar, en concreto en los buques de la Armada Española ocurre lo mismo y, por lo consiguiente, el presente Trabajo de Fin de Grado se pretende cumplimentar un objetivo primordial y varios subobjetivos.

En primer lugar, se familiarizará con la Norma UNE-EN ISO 16238-1, de 2014, “Medición *in situ* del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción” y la Norma UNE-EN ISO 717-1, de 2013, “Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción”, tomándose así el primer contacto con los parámetros de aislamiento que estarán presente en todo este trabajo.

En segundo lugar, adoptará gran relevancia conocer la normativa referente de mayor aplicación relativa a las condiciones acústicas de los buques, como la publicación de la Armada Norteamericana *Mil-std 1472G “Design Criteria Standard Human Engineering”* o la publicación del Estado Mayor de la Armada “*Estándares de Habitabilidad para Buques de la Armada*”, entre otras. De igual manera será de interés analizar la Resolución del Organismo Marítimo Internacional (OMI) MCS 337(91) “*Código sobre niveles de ruido a bordo de buques*” y capítulos de interés de la Clasificación *Comfort Class* de la Sociedad de Clasificación “*Bureau Veritas*”.

De este modo, al adquirir los conocimientos relativos a los documentos anteriores, se podrá cumplimentar de forma exitosa el objeto fundamental del presente trabajo, el cual residirá el diseño de una práctica docente para la adquisición de estos conocimientos y mediante la que un alumno de grado pueda realizar observaciones y mediciones del ruido aéreo entre espacios de buques y volcar estos datos con el fin de obtener los parámetros de aislamiento, tales como el *índice de aislamiento* y la *diferencia de nivel estandarizada*.

1.3 Metodología

Con el fin de cumplimentar los objetivos expuestos con anterioridad y de obtener a las conclusiones finales del presente Trabajo de Fin de Grado se programan las siguientes etapas o hitos:

En primer lugar, se definirá el contexto donde se enmarca el presente Trabajo de fin de Grado mediante una revisión del estado del arte, donde se pretenden definir conceptos necesarios sobre acústica y aislamiento a ruido aéreo. Todo ello se refleja en el Capítulo 2 de la presente memoria.

Seguidamente se redacta al Capítulo 3, en el cual se desarrollará y diseñara la Práctica Docente objetivo de este estudio, previo escueto estudio de la normativa vigente en cuanto al aislamiento acústico de buques, la metodología en las mediciones y la obtención de los parámetros de aislamiento. Dichas cuestiones están recogidas en diferentes normas ISO y resoluciones de la OMI, entre otros documentos.

A continuación, dentro de este mismo Capítulo, se procederá a describir el proceso de la Práctica Docente diseñada y los parámetros de aislamiento acústicos imprescindibles que se han de obtener de ella (I_a , R_w , D_{nTw} y D_{nTA}). Se comenzará por la recogida de datos mediante una medición *in situ*, se continuará con el volcado de datos con el fin de obtenerlos y se concluirá con una comparativa de los parámetros obtenidos con los establecidos por la normativa.

La práctica docente definitiva, según el modelo de formato susceptible de emplearse en una clase y con en la que un alumno de grado podrá seguir los pasos expuestos en el Capítulo 3 con el objeto de hallar los parámetros acústicos más importantes de la normativa para buques.

Por último, en el Capítulo 4 se detallan conclusiones relativas al diseño de la práctica y se finaliza el mismo exponiendo unas posibles líneas futuras para Trabajos de Fin de Grado posteriores.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 El comienzo de la acústica como ciencia

La comprensión de los procesos sonoros como algo físico tiene su origen en el siglo III a.C., donde Pitágoras pretendió relacionar la naturaleza de la música de esta época con intervalos temporales cuantificables. A partir de este punto, donde se comienza a vislumbrar el carácter físico del sonido, innumerables intelectuales y científicos de todas las épocas han realizado estudios sobre la acústica.

El estudio de la acústica avanzaba a la par que los espacios destinados a audiciones, teatros o espectáculos diseñados por las diferentes culturas posteriores. Como se observa en la Figura 2-1 Teatro Romano de Bosra, Siria la evolución de los anfiteatros durante el Imperio Romano suponía la existencia de un estudio previo sobre las condiciones acústicas del emplazamiento, con el fin de generar un mejor sonido envolvente, sensaciones acústicas innovadoras y reducción de los ecos. Dichos factores eran tratados y modificados de forma empírica [2].



Figura 2-1 Teatro Romano de Bosra, Siria [19]

Numerosos hechos de relevancia dan pie a continuos avances en los estudios de la acústica a partir del siglo X, los cuales se centraban en la obtención de calidad de sonido en recintos. Esta motivación de calidad acústica se focaliza en el concepto de la reverberación, ecos y absorción del sonido. Los estudios en búsqueda de materiales con propiedades acústicas adecuadas se acentuaban y eran protagonizados por los grandes arquitectos de la época. Pero no fue hasta el siglo XVI, cuando, en la Revolución científica, Galileo Galilei, refutado filósofo, ingeniero, matemático y físico, entre otras especialidades, el que definió el sonido como “ondas producidas por vibraciones de un cuerpo”. Dicho intelectual basó sus postulados iniciales sobre el sonido en trabajos realizados anteriormente por Pitágoras.

Las primeras formulaciones sobre la velocidad de desplazamiento del sonido (en el aire) fueron propuestas por Marin Mersenne, científico e intelectual en gran variedad de ramas, a menudo llamado “el padre de la acústica”, quien, a finales del siglo XIV, continuando con estudios realizados por Leonardo da Vinci, da aproximación experimental sobre la velocidad del sonido que se aleja de la real en un 10%. No es hasta principios del siglo XVII cuando, el también grandioso físico y matemático, Isaac Newton, propone la primera aproximación teórica a la velocidad del sonido, la cual difirió de su valor real en un 16% [3].

En sus inicios, cuando se unificaba la acústica con la tecnología, el empresario e inventor Thomas Alva Edison apuesta por la comunicación y la idea de que el sonido proveniente de cuerpos en vibración, se transforma en señales eléctricas. Entre sus inventos encontramos el Micrófono de carbón, el cual basaba su funcionamiento en la ciencia de la acústica transformando ondas sonoras en señales eléctricas. Paralelamente en cuanto la acústica para la ingeniería, se comienzan a realizar los primeros acondicionamientos acústicos de relativa calidad. Sin embargo, el arquitecto acústico Wallace Clement Sabine fue el que realizó estudios más en profundidad sobre la caracterización de una sala de audiciones (la sala de conciertos El “Symphony Hall” de Boston, como se puede observar en la Figura 2-2) atendiendo a sus materiales de construcción y realizó innumerables medidas a diferentes frecuencias para conseguir el tiempo de reverberación más adecuado para lograr el acondicionamiento acústico de dicho habitáculo [3].



Figura 2-2 El Symphony Hall [18]

Con la robusta entrada de la tecnología en los siglos posteriores, concretamente el siglo XX, la acústica sigue presente en la rama arquitectónica como en las anteriores épocas, pero donde realmente toma un peso importante es en el “arte de la guerra”. Desde los primeros submarinos de carácter militar, que poseían equipos muy básicos para el reconocimiento de todos los sonidos posibles captados debajo del agua, hasta el día de hoy, donde la guerra subacuática evolucionó de forma extraordinaria en la Segunda Guerra Mundial, los submarinos han basado su “operatividad acústica” bajo el agua. La supervivencia de estas máquinas bélicas estaba estrechamente relacionada con un aislamiento acústico muy preciso (para evitar generar ruido al exterior) y una capacidad asombrosa de captar los posibles ruidos procedentes de unidades enemigas [5].

Al implementar la tecnología (inicialmente militar) y los instrumentos tan precisos de medida de ruido en la sociedad moderna, se comienza a utilizar esta ciencia con una finalidad que se aleja totalmente de sus funciones bélicas. En la actualidad, se emplean estos conocimientos para solventar la problemática existente en cuanto a los elevados niveles de ruido que se generan en una sociedad tan tecnificada. Viniendo precedida por avances a lo largo de la historia en variadas vertientes científicas y culturales, la acústica se presenta en la actualidad como una herramienta de trabajo en los ámbitos ingenieril, arquitectónico, medicinal y musical entre otros.

2.2 Conceptos acústicos de interés

A continuación, el presente Apartado, describirá conceptos acústicos cuyo conocimiento es necesario para la comprensión de este Trabajo de Fin de Grado.

2.2.1 Terminología acústica

- **Absorción del sonido:** Propiedad que poseen materiales, objetos y estructuras de disipar la energía acústica y transformarlo en calor [4].
- **Acondicionamiento acústico:** Empleo de medidas dirigidas a adaptar las características acústicas de locales para la realización de una actividad determinada [4].
- **Aislamiento acústico:** Propiedad de materiales o estructuras de impedir que el sonido se transmita a otros recintos [6].
- **Amplificador:** Componente de una fuente acústica o de un receptor sonoro que incrementa el valor de la señal acústica de entrada o salida sin modificar su forma.
- **Banda:** Un determinado rango del espectro de frecuencias. La frecuencia de banda del sonido que contiene una potencia sonora igual a la de un tono puro es la frecuencia que se encuentre en el centro del rango [7].
- **Calibrador acústico:** Dispositivo que genera una o varias señales acústicas sinusoidales de nivel y frecuencia especificados.
- **Contaminación acústica:** Alteraciones en las condiciones normales del medio ambiente y que pueden llegar a tener efectos negativos en la salud de las personas.

- **Eco:** Un sonido que ha sido reflejado con la suficiente presión sonora, pero con un tiempo de descenso tal que puede distinguirse como una repetición del sonido directo [4].
- **Espectro:** Gráfica que refleja como la energía acústica que posee un sonido se distribuye en las distintas frecuencias que lo constituyen [7].
- **Fuente de ruido:** Dispositivo, máquina, componente o subcomponente de todo tipo y tamaño que emite ruido (estable, no estable, casi estable, impulsivo, etc.) [4].
- **Intensidad sonora:** Energía que circula en una unidad de tiempo a través de una superficie unidad situada perpendicularmente a la dirección de propagación de las ondas sonoras. Es decir, es la potencia acústica radiada por unidad de superficie. Depende de la distancia a la fuente y de las condiciones del medio donde se encuentre
- **Longitud de onda:** Distancia entre dos puntos correspondientes a una misma fase en dos ondas consecutivas, o bien, la distancia que recorre una onda sonora en un ciclo completo. La velocidad de una onda, c , es constante para unas condiciones de presión atmosférica y temperatura dadas, dependiendo únicamente del medio en que se propaga [8].
- **Materiales absorbentes porosos:** Son materiales que poseen la capacidad de disminuir la cantidad energía reflejada y apenas se oponen a la transmisión del sonido incidente (no poseen capacidad aislante). Debido a su estructura de esqueleto sólido recorrido por poros comunicados entre si y con el exterior, transforman la energía acústica incidente en forma de energía calorífica [6].
- **Micrófono:** Transductor electro acústico que permite obtener señales eléctricas a partir de señales acústicas en un medio gaseoso. Existen varias características que definen a un micrófono y están referidas a si son direccionales o no, o si son de presión o vibraciones.
- **Nivel de presión sonora o presión acústica:** Está definido mediante el la siguiente expresión logarítmica:

$$L_p(\text{dB}) = 20\log\left(\frac{P}{P_0}\right)$$

Fórmula 2-1 Nivel de presión acústica

Donde:

L_p =Nivel de presión sonora, expresada en dB.

P =Presión acústica que se desea cuantificar.

P_0 =Presión de referencia, que corresponde a la presión mínima audible por el oído humano a 1000 hZ, 20 μPa . ($2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$).

- **Octava:** Es el intervalo de frecuencias comprendido entre dos valores, siendo el segundo el doble del primero [6].
- **Onda esférica:** Ondas cuyos frentes son círculos concéntricos.

- **Onda sonora en el aire:** Es la propagación de una perturbación caracterizada por la sucesión periódica en el espacio y en el tiempo de compresiones y expansiones de volúmenes de aire [7].
- **Potencia acústica:** Cantidad de energía sonora radiada por una fuente sonora. Es intrínseca de la fuente y su valor no depende del punto donde se mida ni de las condiciones del recinto. Se mide en vatios (W) [4].
- **Presión sonora de referencia:** La presión sonora de referencia seleccionada por convenio; para aire, igual a 20 micropascales [10].
- **Presión acústica:** Incremento de presión respecto a la presión ambiente debido a la presencia de la onda sonora. Es dependiente de la distancia a la fuente y de las condiciones del espacio donde se encuentre. Se expresa en pascales (Pa) o N/m^2 .
- **Reverberación:** Es el fenómeno que se produce cuando el sonido se refleja en el interior de un recinto.
- **Ruido:** Implica el mismo fenómeno físico que constituye un sonido, aunque suele definirse de una manera más subjetiva. Por lo tanto, un mismo sonido puede ser considerado como molesto o agradable. Según la Sociedad Española de Acústica se define como: “una vibración errática o estadísticamente aleatoria” [4].
- **Ruido aéreo:** Es el ruido generado por una fuente sonora que emite directamente hacia el aire, el cual pasa a ser el medio principal de propagación hacia el receptor. Cuando las ondas sonoras originales inciden sobre una superficie separadora entre dos espacios, ésta responde a la fuerza vibratoria del sonido convirtiéndose en una nueva fuente sonora de ruidos aéreos [7].
- **Ruido de fondo:** El ruido total derivado de todas las fuentes distintas al sonido de interés.
- **Ruido blanco:** Utilizado para realizar ensayos normalizados de aislamiento. Se denomina ruido blanco a aquel que presenta la misma energía en todas las frecuencias [11].
- **Ruido rosa:** Ruido cuyo espectro expresado como niveles de presión o potencia, en bandas de tercio de octava, consiste en una recta de pendiente de 0 dB/octava. Se utiliza para efectuar medidas normalizadas [7].
- **Sistema constructivo aislante:** Conjunto de elementos, en el contexto de la edificación o construcción, que posee la capacidad de impedir la transmisión de sonido entre dos recintos.
- **Sonido:** Es una alteración física de un medio (gaseoso, líquido y sólido) que produce variaciones de presión recogidas por el oído humano en forma de vibraciones en el tímpano.

- **Sonido audible:** Toda vibración acústica capaz de producir una sensación auditiva. El campo auditivo del ser humano se sitúa, aproximadamente, en las frecuencias comprendidas entre 20 Hz y 20 KHz, siendo el mínimo el medido en frecuencia de 10 KHz a 20 μ Pa [9].
- **Sonómetro:** Un instrumento que es utilizado para la medición del nivel de presión sonora, con ponderación de frecuencia y ponderación exponencial de tiempo promedio estandarizadas. Debe cumplir con lo indicado en las normas IEC 651 y, en el caso de ser sonómetro integrador, con la norma IEC 804.
- **Tiempo de reverberación:** El tiempo de reverberación (T_r) a una frecuencia determinada se puede definir como el tiempo, en segundos, que transcurre desde que el foco sonoro deja de emitir hasta el momento en que el nivel de presión sonora decrece 60 dB con respecto a su valor inicial. Aunque el tiempo de reverberación varía para las distintas frecuencias del sonido, a efectos de requisitos del “Código Técnico” se establece mediante la media de los valores correspondientes a las bandas de 500, 1000 y 2000 Hz [11].

El tiempo de reverberación puede estimarse con la siguiente expresión:

$$T_r = \frac{0,161 V}{A}$$

Fórmula 2-2 Fórmula del tiempo de reverberación

Donde:

V es el volumen del local (m^3).

A es el área de absorción equivalente del mismo (m^2).

- **Umbral de audición:** Para un oyente determinado, es la presión sonora mínima de un sonido especificado que es capaz de evocar una sensación auditiva. Se asume que el sonido que llega al oído desde otras fuentes es insignificante [4].

2.2.2 La naturaleza del sonido: Generación de la onda sonora.

2.2.2.1 Generación de la onda sonora

El sonido se define como la propagación de una onda mecánica a través de un medio, producido por la vibración de un cuerpo. Esta propagación de la onda genera una perturbación en el medio en el que viaja realizando transporte de energía y no transporte de materia. Dicha propagación de energía acústica puede viajar, tanto en medios gaseosos, medios líquidos y medios sólidos. El caso que se trabaja en el presente Trabajo de Fin de Grado se centrará en movimiento de la onda en un medio gaseoso, más concretamente, el aire. En concreto una onda sonora (onda longitudinal) en el medio aéreo, como se muestra en la Figura 2-3 [6].

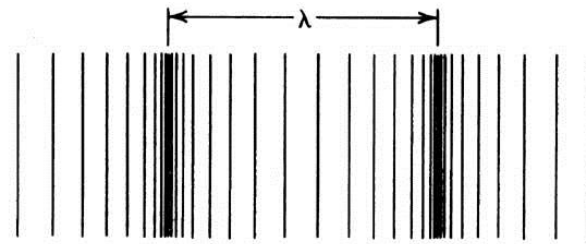


Figura 2-3 Representación de una onda longitudinal (onda sonora) [20]

Para que se genere una onda sonora debe existir una fuente de sonido, la cual generará ondas acústicas que se transmitirán al medio. Esta fuente lo que realmente genera es energía mecánica en forma de vibración, creando así, un frente de ondas esférico que avanza mediante el contacto entre partículas que se encontrarán lo suficientemente contiguas para que transmitan esta agitación. Si buscamos una analogía a este suceso, el más claro ejemplo sería un estanque de agua (medio) totalmente en calma en el que se arroja en él un objeto (fuente de la perturbación) que perturbará la superficie del estanque en forma de olas que se irán disipando de forma que avanzan. Véase la Figura 2-4 como ejemplo de la propagación de una onda [12].

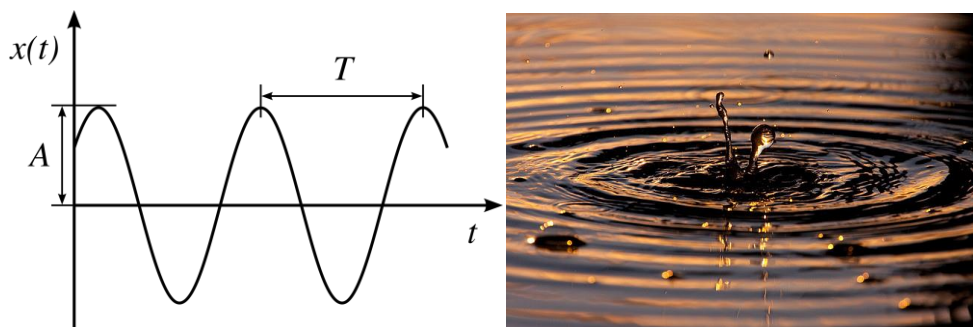


Figura 2-4 Analogía de onda longitudinal con olas de un estanque. [21]

La onda mecánica que caracteriza al sonido, también denominada onda sonora, posee igual dirección de propagación que la oscilación producida entre el contacto de partículas que se generan en la vibración. Las ondas sonoras son ondas longitudinales y las partículas que se encuentra en el trayecto de propagación de ésta inducirán un aumento de presión local durante la oscilación. Dicho incremento de presión constituirá el frente de ondas que irá propagándose de forma regular y simétrica; dando lugar, así, como se expone en la Figura 2-5, al frente de ondas antes comentado [8].

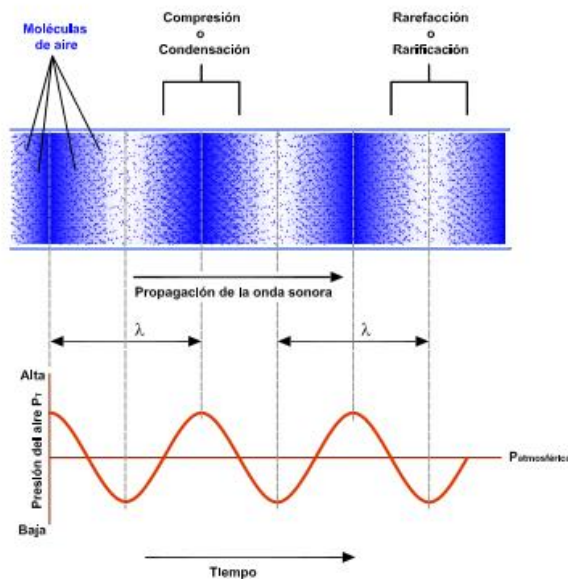


Figura 2-5 Propagación de una onda longitudinal a través de partículas del aire [20]

Cabe recalcar de nuevo que una onda sonora transporta energía y las partículas que sufren la presión y posterior oscilación se desplazarán alrededor de su posición de equilibrio. Condición y característica fundamental para la transmisión del sonido es la densidad del medio, siendo ésta directamente proporcional a la velocidad de transmisión del sonido. En medios altamente incompresibles, es decir, de mayor densidad, la perturbación que éste sufre en forma de vibración, e incremento de presión, se manifiestan en ondas de presión con velocidad mayor que en otros medios menos densos [13].

2.2.2.2 Características físicas del sonido

La naturaleza del sonido es variada, existiendo sonidos simples y sonidos muy complejos. Para poder analizar físicamente el sonido se estudian los aspectos fundamentales del mismo tratándolo de la forma más simple, es decir, como un tono puro. Como la onda producida por un tono puro es sinusoidal, de ella se pueden destacar las magnitudes físicas fundamentales del sonido. En la Figura 2-6 se puede observar las características fundamentales de una onda sinusoidal pura [14].

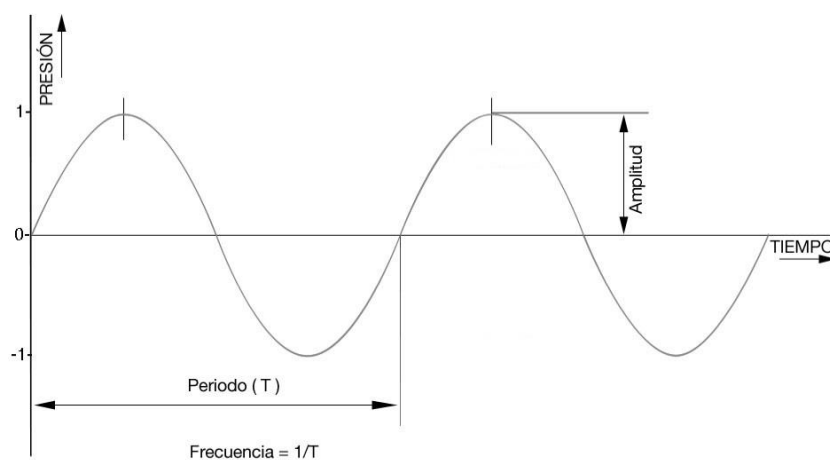


Figura 2-6 Características principales de una onda [22]

En el presente Trabajo de Fin de Grado la magnitud de la frecuencia constituye una de las principales variables a estudiar, encuadrándose en el aislamiento acústico. Por ello, se establecerá la correspondiente correlación entre las frecuencias, las capacidades de aislamiento de los sistemas constructivos en función de ella y los parámetros acústicos de interés de la práctica docente que se diseñará [4].

Como características y magnitudes fundamentales, en las ondas sonoras se destacan principalmente las definidas en la Tabla 2-1.

Magnitud	Definición
Longitud de onda	Es la dimensión medida en metros de un ciclo completo de la onda (desde el valor de pico de una cresta inicial al valor inverso en el valle)
Periodo	Es la duración medida en segundo de un ciclo completo de la onda
Frecuencia	Es el número de ciclos que se contabilizan en un segundo (la frecuencia es inversamente proporcional al periodo)
Amplitud	Es la distancia medida en unidades de presión del punto de valor de pico al punto de equilibrio
Valor de pico	Punto máximo de presión sonora en la onda, encontrándose éste en la cresta
Valor eficaz	Es el valor de la onda sinusoidal cuya energía es equivalente a la de una presión constante

Tabla 2-1 Magnitudes fundamentales de una onda

2.2.2.3 La audición en el oído humano

El oído humano es un órgano desarrollado que se comporta como un filtro inteligente frente a las variaciones de presión acústica externas y que se puede dividir en zonas, oído externo, oído medio y oído interno; permitiendo la mejor recepción de frecuencias adecuadas al órgano en conjunto, mediante una perfecta conexión entre estas partes, como se observa en la Figura 2-7 Recepción de ondas sonoras por el oído humano [15].

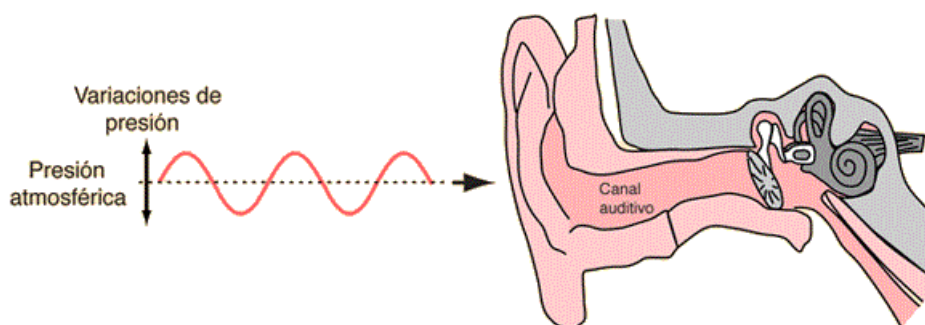


Figura 2-7 Recepción de ondas sonoras por el oído humano [23]

El oído regula su recepción de auditiva; es decir, permite el paso sin dificultad de las frecuencias medias, donde se encuentra el espectro audible para el ser humano y es menos sensible a bajas y altas frecuencias. Así, la respuesta de nuestro oído a estímulos vibratorios es igual a la de un filtro, atenuando las bajas frecuencias, recepcionando con normalidad las medias frecuencias e introduciendo una ligera variación en altas frecuencias. Por lo tanto, si conocemos el espectro de ruido de maquinaria o un motor muy ruidoso y corregimos estas frecuencias recibidas de la misma forma que lo realiza el oído humano, se obtiene un espectro que se denomina *espectro ponderado* y que es equivalente al espectro de frecuencias que excita las células o cilios de nuestro oído interno. Se obtiene pues, a partir del espectro externo, un *espectro ponderado* que es el que puede asimilar la estructura interna del oído y que posteriormente se envía al cerebro. Véase la Figura 2-8 sobre los rangos de frecuencias audibles y decibelios [15].

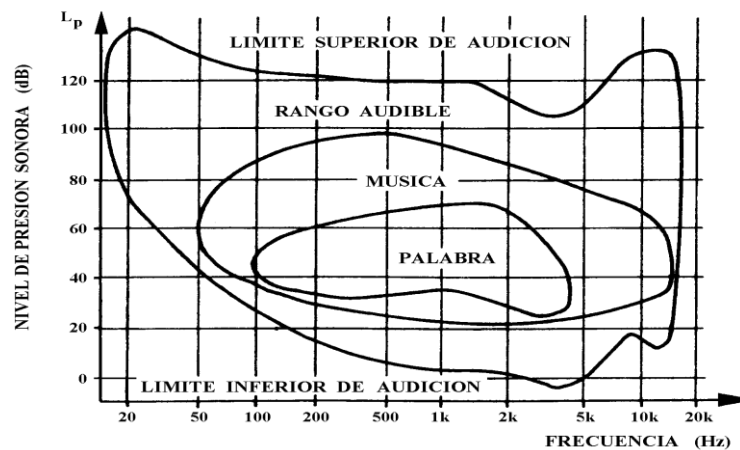


Figura 2-8 Umbrales y rangos de audición con la frecuencias enfrentadas a decibelios [24]

El rango de variaciones de nivel de presión sonora que percibe un oído humano es muy amplio (del orden de una relación entre la mínima y la máxima de 10^6). Debido a esto, se adopta una escala logarítmica para la cuantificación de la presión sonora, obteniéndose, como valores, los niveles de presión. En ella se toma como referencia una presión sonora de $20 \mu\text{Pa}$ y se define según la Fórmula 2-3 Ecuación logarítmica de nivel de presión sonora.

$$L_p = 20 \log\left(\frac{P}{P_{\text{ref}}}\right)$$

Fórmula 2-3 Ecuación logarítmica de nivel de presión sonora

2.2.3 La escala de medida: El decibelio

El decibelio es una escala logarítmica donde se denota la relación entre dos valores de magnitudes físicas, una de ellas es la adoptada como referencia. En la Figura 2-9 se detalla una gráfica que permite pasar de unidades naturales de presión (N/m²) a decibelios [16].

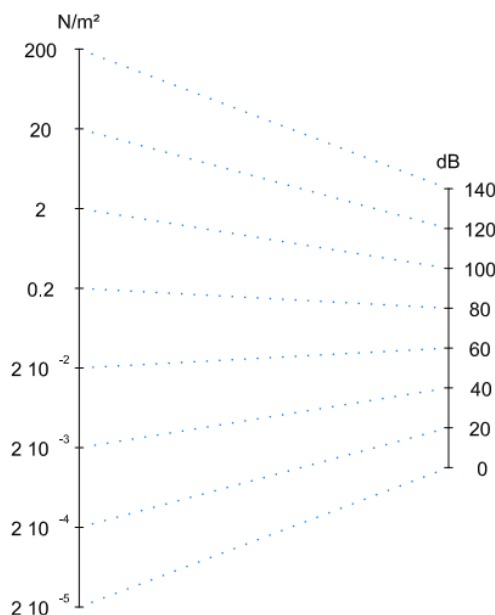


Figura 2-9 Relación entre unidad natural de presión (N/m²) y dB

El decibelio parte de la magnitud básica denominada *Belio*; pero al tratarse de una magnitud básica que adopta valores elevados, de forma general, se utiliza el decibelio para cuantificar la presión, potencia e intensidad sonora., como se muestra en la Figura 2-10. Un decibelio es un décimo de un belio. Símbolo de la unidad: dB (véase la Fórmula 2-4) [17].

$$dB = 10 \log\left(\frac{P}{P_{ref}}\right)$$

Fórmula 2-4 Fórmula para obtener la escala logarítmica del decibelio

La escala en decibelios no solo se emplean en la acústica, como se ha comentado anteriormente, este tipo de escala logarítmica es característica de las telecomunicaciones, la electricidad y la electrónica, entre otras ciencias. Por ello, en estos campos, se deberá tener en cuenta para comparar niveles de varios valores en unidades potencia o de voltaje.

- Si se comparan dos potencias: $dB = 10 \log (P / P_{ref})$
- Si se comparan dos voltajes: $dB = 20 \log (V / V_{ref})$

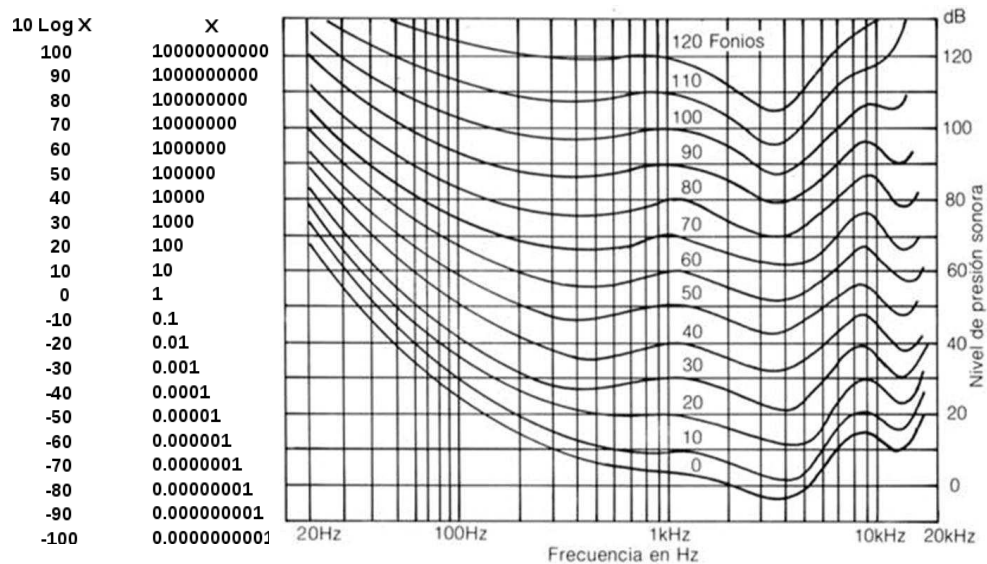


Figura 2-10 Escala de dB frente a valores naturales (a la izquierda) y gráfica de frecuencias y niveles de presión sonora (a la derecha) [22]

2.2.4 La curva de ponderación: Decibelio ponderado A (dBA)

El decibelio ponderado A es una escala logarítmica obtenida a partir de la del decibelio y se define como la medida utilizada para expresar el nivel de presión sonora enmarcado en el contexto de la sensibilidad auditiva. Al aplicar la escala de ponderación A en una medida acústica se atenúan considerablemente los sonidos a baja frecuencia, se mantienen iguales los sonidos alrededor de los 1000 Hz y aumentan las mediciones de los sonidos comprendidos entre 2000 Hz y 4000 Hz [8].

De esta manera, después de la medición inicial, se filtra el sonido aplicando esta ponderación A, con el objeto de aproximar las medida de presión acústica para ajustarlas al oído humano. Así, se caracteriza la reacción humana frente a ruidos complejos y se limita la sensación de molestia que éstos generan. Los decibelios ponderados A se le denominan decibelios A, dBA, y se ponderan según la frecuencia, como se observa en la Tabla 2-2.

Valores de ponderación A	
Bandas de octava	Poderación A
63	-26
125	-16
250	-9
500	-3
1000	0
2000	+1
4000	+1

Tabla 2-2 Valores de ponderación para obtener dBA

2.2.5 Espectro de frecuencias de un sonido: Bandas de octavas

Una fuente de sonido puede generar un único ruido monofrecuencial; sin embargo, casi nunca sucede de esta manera. Las fuentes de ruido son generadoras en su mayoría de sonidos complejos compuestos por varias ondas sonoras de distintas frecuencias, intensidades y amplitudes, que además son variables en el tiempo. Por lo tanto, será fundamental el conocimiento de la contribución relativa de cada componente en frecuencia cuando se realicen estudios de tallados de un ruido en su conjunto. A la descomposición en las distintas frecuencias que constituyen un sonido y el nivel de presión sonora de cada una de ellas se le denomina espectro de frecuencia [9].

El rango de frecuencias audibles es relativamente extenso y para poder analizar un sonido complejo (el ruido está englobado en los ruidos complejos) se procede a agrupar las frecuencias que lo componen en una serie de bandas determinadas con anchos de banda predeterminados y normalizados. Con esta metodología de estudio de las frecuencias de los sonidos, se establecerán el rango de los anchos de banda en función del nivel de precisión que se quiera para el análisis acústico. Por lo general, los anchos de banda normalizados más utilizados son el de una octava y un tercio de octava. Esta división en anchos de banda normalizados favorece el análisis de sonidos para los equipos de medida, ya que éstos, mediante filtros electrónicos previamente seleccionados, permiten el paso del rango de frecuencias determinado [18].

En los anchos de banda de una octava, el valor frecuencia central que se le asigna es el nivel resultante medio de todas las frecuencias contenidas entre los límites superior e inferior de dicho intervalo de octava. Cabe destacar que los valores de los límites superiores de las bandas de octava duplican a los valores inferiores.

Las frecuencias centrales de las bandas de octava más utilizadas son: 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 8000 y 16000 Hz. Como división interna de las bandas de octava, las bandas de un tercio de octava también poseen una utilidad importante para estudios de presión, y presentan su valor de referencia como el valor central del espectro de frecuencia que ocupa en su conjunto, como se observa en la Figura 2-11 [17].

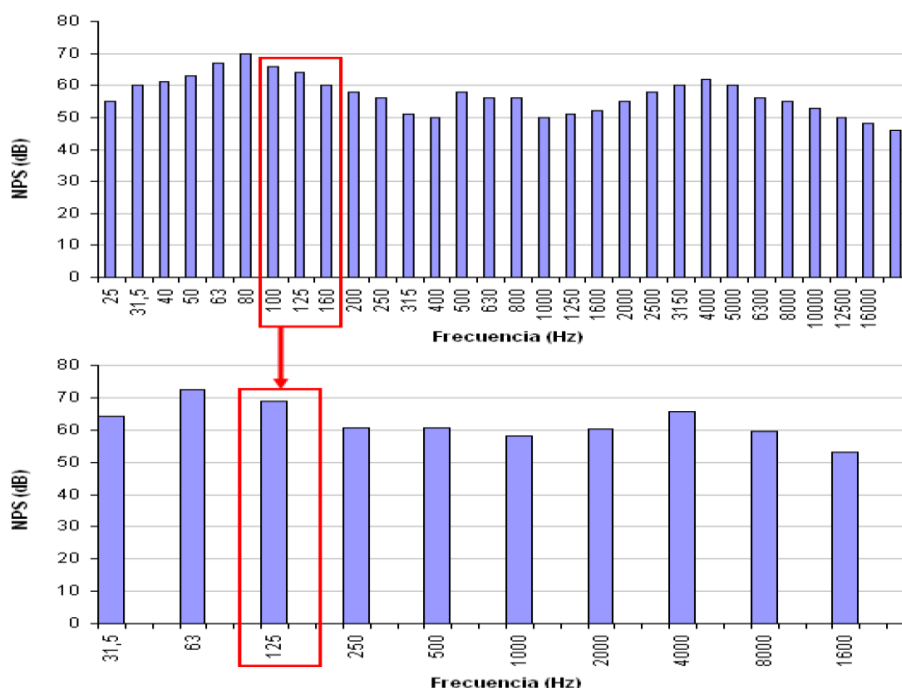


Figura 2-11 Bandas de tercio de octava (arriba) y bandas de octava (abajo) [25]

2.2.6 El ruido aéreo y el aislamiento acústico

2.2.6.1 El ruido

El sonido posee una clasificación amplia y subjetiva. Sonidos como la voz humana pueden considerarse, incluso a niveles de presión sonora bajos, como un sonido deseado y no producir sensación desagradable. Sin embargo, la propia voz humana con un elevado nivel de presión sonora podría resultar molesto y no deseado, definiéndose así como *ruido*. La música, por defecto, es clasificada por la sociedad como un sonido armónico que busca el estímulo placentero para el oído humano, pero depende de la presión sonora que emita que se defina como ruido al llegar a ser un sonido molesto. Por lo tanto, de forma general, la molestia de un ruido se define principalmente por su nivel de presión sonora. Una clasificación menos técnica sobre el ruido está enmarcada en la necesidad humana; es decir, cuando no necesitamos ni deseamos escuchar algo, a ese sonido se le denomina *ruido*. A modo de ejemplo, en salas con capacidad anecoica (Figura 2-12) el ruido se elimina casi en su totalidad.

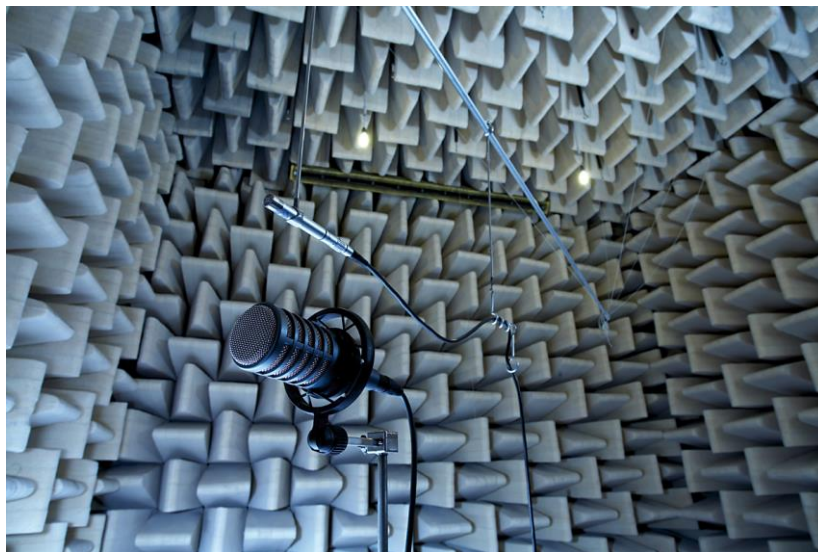


Figura 2-12 Sala de grabación [26]

Los ruidos se generan en fuentes de sonido, se transmiten a través de un medio (cuerpos sólidos, líquidos, gases) y, por último, llegan al receptor. En esta situación de transmisión de sonido, se puede afirmar que, el sonido está influenciado por el medio y que la impedancia de radiación del foco ha sido alterada por su entorno. De forma análoga, la recepción dependerá también del medio y de la fuente. Por lo tanto, en algunas circunstancias el ruido generado inicialmente se atenuará de forma inmediata.

Para efectuar medidas de ruido se utilizan medidores de nivel de presión sonora denominados sonómetros, en los que la presión de un sonido en unidades naturales se transforma en tensión por medio de un micrófono. A continuación, un voltímetro conectado al sonómetro proporciona la lectura en una escala graduada, obteniéndose el nivel de presión sonora en dB o dB(A) [14].

2.2.6.2 Ruido aéreo

Ruido aéreo es aquel que se genera en la perturbación del medio aéreo que rodea de forma inmediata a las fuentes sonoras. Así, las fuentes sonoras perturban el aire que les rodea y comienza un choque entre partículas colindantes generándose una onda sonora y una propagación aérea. Por consecuencia, se origina una emisión sonora en el medio aéreo.

Este tipo de emisiones, se le denominará *ruido aéreo* cuando se contextualicen en los ensayos de aislamiento en el presente Trabajo de Fin de Grado. A modo de ejemplo, el ruido aéreo es el que se transmite de un recinto emisor a otro receptor, a través del medio aéreo, estando separados por superficies divisorias, tal como se muestra en la Figura 2-13 y la Figura 2-14 [11].

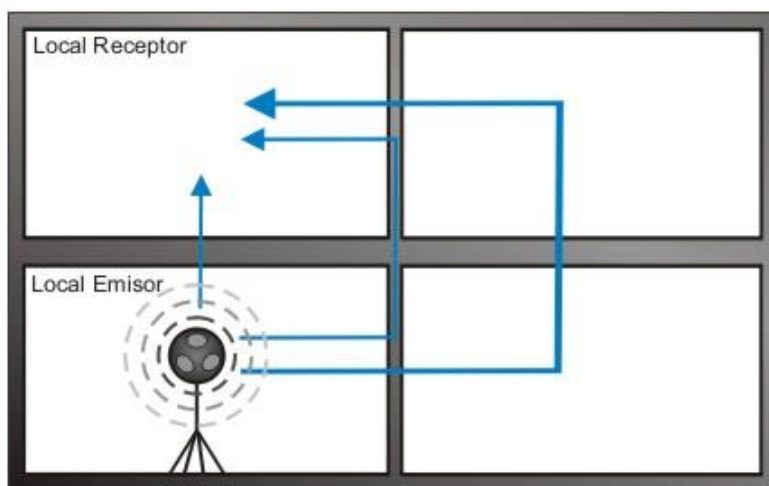


Figura 2-13 Transmisión de ruido aéreo entre recintos [27]

La fuente sonora perturba las partículas de aire que le rodean, chocando finalmente la onda generada con las superficies divisorias. Esta superficie divisoria entra en vibración perturbando a su vez las partículas de aire de la sala contigua, se convierte en un nuevo foco de emisión sonora y se inicia una nueva transmisión sonora al recinto receptor [4].

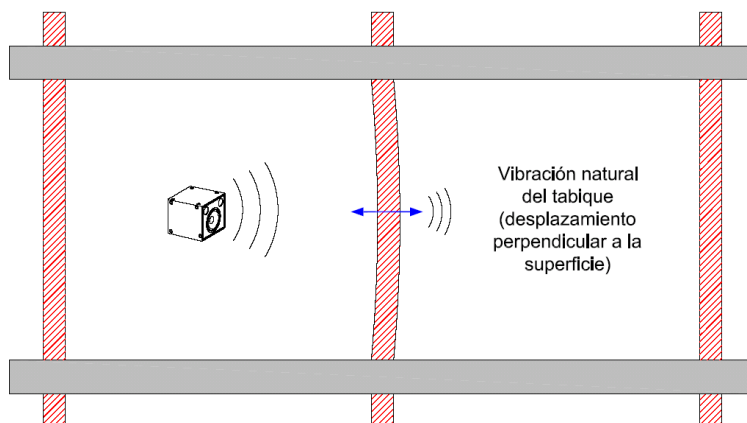


Figura 2-14 Como los ruidos aéreos ponen en movimiento a los sistema constructivos y éstos se convierten en nuevos focos sonoros [27]

La insonorización del ruido aéreo es compleja y ha de considerar todas las superficies que encierran el local emisor. Así, para evitar la transmisión de un ruido generado en un determinado recinto emisor, a los recintos inmediatamente colindantes, será necesario tener en cuenta, entre otros factores, la capacidad de aislamiento acústico de los materiales empleados en las superficies divisorias.

2.2.6.3 Absorción acústica

Una de las características fundamentales de los materiales absorbentes es la de transformar en calor la mayor parte de la energía sonora que incide sobre ellos, buscando que se refleje la mínima cantidad de sonido. Todo material poroso es absorbente, esto quiere decir que debe permitir el paso del aire, para que el material pueda disipar las ondas sonoras en sus choques contra las paredes de las cavidades. Los materiales de superficie cerrada, no pueden ser buenos absorbentes en casi ningún caso.

El espesor del material es un factor condicionante e importante para determinar su capacidad de absorción. La energía sonora penetra en el material sólo hasta determinada profundidad, a partir de la cual no sería necesario aportar mayor espesor, pero si el espesor no es el adecuado se perderán posibilidades de absorción. En la Figura 2-15 se explica de forma sencilla la incidencia de una onda sonora y las posibles consecuencias en cuanto a absorción, reflexión o transmisión [19].

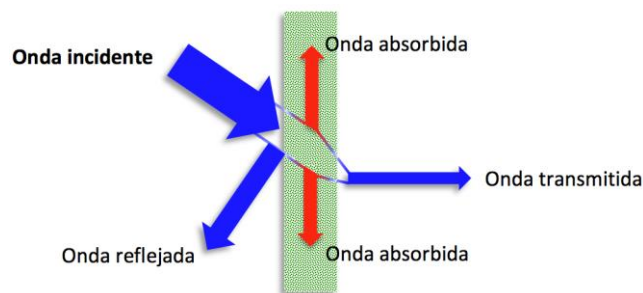


Figura 2-15 Incidencia de una onda sonora en superficie absorbente [28]

Los parámetros más importantes que rigen el comportamiento de un material absorbente son: densidad, grado de porosidad, geometría estadística de las celdillas y la distancia del montaje a las superficies de obra.

La velocidad con que se mueve el aire debido a una onda sonora es máxima a una distancia fija de las superficies rígidas y, distintas para cada frecuencia. Para la velocidad máxima, también es máximo el rozamiento y, por tanto, la absorción dependerá de la distancia que exista entre el material absorbente de un grosor determinado y una superficie rígida [19].

2.2.6.4 Aislamiento acústico al ruido aéreo

El fenómeno del aislamiento acústico es complejo, ya que resulta de alta dificultad desarrollar una superficie que retenga tanto el ruido como vibraciones en su totalidad. El objeto principal del aislamiento acústico es conseguir que las ondas sonoras pierdan la mayor cantidad de energía sonora posible cuando atraviesen superficies divisorias. Cuanto mayor sea esta energía disipada, mayor será la capacidad de aislamiento al ruido aéreo de un elemento constructivo. En la Figura 2-16 se puede observar, como ejemplo, la transmisión del sonido de un recinto emisor al receptor atravesando una pared divisoria.

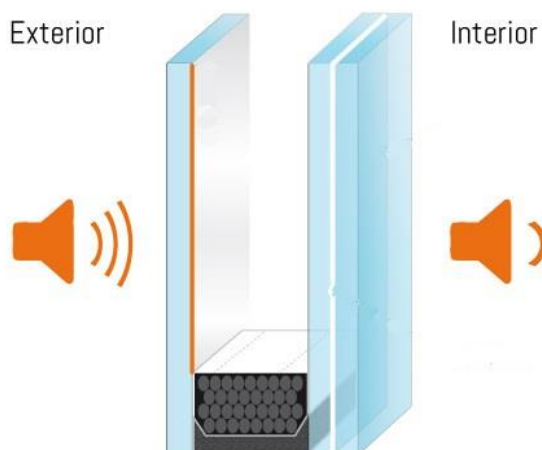


Figura 2-16 Representación de superficie divisoria [17]

El ruido aéreo entre dos recintos se transmite no exclusivamente atravesando la superficie divisoria de ambos, existiendo una serie de caminos denominados de flanco, además, de existir a veces, conductos de ventilación, rejillas, etc [20].

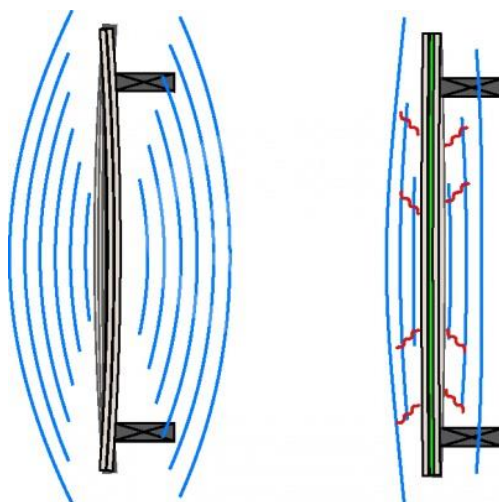


Figura 2-17 Vibraciones generadas en estructuras de separación de diferente densidad [6]

Para conseguir un exitoso aislamiento acústico entre recintos es importante incrementar la densidad del paramento o pared de separación. Por lo general, a mayor densidad, mayor capacidad de aislamiento acústico a ruido aéreo se conseguirá (véase la Figura 2-17). De aquí se deduce que para una frecuencia determinada, al duplicar la masa (Kg/m^2) del elemento separador el aislamiento aumenta en 6 dB. Análogamente, para una masa determinada, el aislamiento se incrementa 6 dB al duplicar la frecuencia. Por lo tanto, se deduce una proporcionalidad de aumento de aislamiento con el aumento de la densidad superficial (Kg/m^2). Esta ley es experimental, y aproximada, por lo que la mayoría de las veces no es suficiente con aumentar el grosor de una pared para obtener un aislamiento necesario. Esto se debe, principalmente, al segundo modo de transmisión del ruido, donde menor frecuencia, mayor longitud de onda y, por tanto, mayor “efecto diafragma” [21].

3 DISEÑO DE LA PRÁCTICA DOCENTE: EVALUACIÓN DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO AÉREO ENTRE ESPACIOS DE BUQUES

3.1 Antecedentes necesarios para la comprensión de la Práctica Docente

Para la correcta comprensión de este Capítulo y los procedimientos que se desarrollan en la Práctica Docente que propone el presente Trabajo, será necesario familiarizarse con una serie de conceptos normativos.

El conocimiento de la definición de los parámetros de aislamiento que se estudiarán en este Capítulo es fundamental y, para ello, es requerimiento básico el entendimiento de las variables que rodean a un ensayo de aislamiento acústico a ruido aéreo. La metodología y condiciones para realizar estos ensayos y el procedimiento de obtención de los parámetros de aislamiento estarán definidos y regulados por la normativa “UNE-EN ISO” de referencia.

De igual manera, los niveles de aislamiento acústico a bordo de buques están regulados por normativas, publicaciones y doctrinas de variedad considerable. Por ello, en el presente Capítulo, se revisarán las más actualizadas exponiendo las diferentes definiciones de límites de ruido que proponen cada una de ellas.

Por último, para comprensión de la metodología y procesos que presenta la Práctica Docente, este Capítulo, en el Apartado 3.3, define el concepto de práctica docente con el objeto de introducir, de forma eficaz, la Práctica Docente propuesta por el presente Trabajo de Fin de Grado.

3.1.1 Ensayos de aislamiento a ruido aéreo entre recintos

3.1.1.1 Introducción a la Norma UNE-EN ISO 16283-1: L1, L2, B2 y T2

La Norma UNE-EN ISO 16283 describe los procedimientos para realizar mediciones in situ del aislamiento acústico en los edificios. Esta Norma está dividida en tres partes; la primera de ellas se enfoca al aislamiento a ruido aéreo, la segunda parte al aislamiento acústico de ruido de impacto y la tercera parte está focalizada en el aislamiento acústico del frente al ruido exterior de fachada.

La parte 1 de la Norma UNE-EN ISO 16283 (UNE-EN ISO 16283-1:2014) explica, de forma detallada la instrumentación y el procedimiento a seguir para determinar el aislamiento a ruido aéreo entre dos recintos utilizando mediciones de niveles de presión acústica. Esta Norma está acotada en rango de frecuencias y en volumen de recinto; es decir, los procedimientos expuestos están destinados a recintos de un volumen desde 10 m^3 hasta 250 m^3 y limitados a un rango de frecuencias de entre 100 Hz hasta 5000 Hz [22].

Los aislamientos acústicos a ruido aéreo medidos dependen directamente de la frecuencia y se pueden transformar en un valor único, expresado en dB ó dBA, que cuantifique el comportamiento acústico, en cuanto al aislamiento, existente entre el recinto emisor y el recinto receptor. Para ello se utilizan procedimientos complementarios a esta Norma, que se describen en la Norma UNE-EN ISO 717-1:2013.

En el Capítulo 3 de la Norma UNE-EN ISO 16283-1 se definen los siguientes términos y símbolos necesarios e imprescindibles para la comprensión del desarrollo de la Práctica Docente propuesta (L1, L2, B2 y T2):

a) Nivel de presión acústica promediado energético en un recinto, L:

“Diez veces el logaritmo decimal del cociente del promedio espacial y temporal de la presión acústica cuadrática y el cuadrado de la presión acústica de referencia, tomando el promedio espacial sobre la zona central del recinto donde la radiación directa desde cualquier altavoz o la radiación del campo cercano desde los límites del recinto tienen una influencia despreciable.”

Este nivel de presión acústica, L, es el que se obtiene y calcula en los ensayos, para unas frecuencias por encima de 100 Hz. Así, se diferenciarán durante los ensayos acústicos de aislamiento entre dos recintos, el nivel del **local emisor** L_1 y el nivel del **local receptor** L_2 (Véase la Figura 3-1).

b) Tiempo de reverberación, T₂:

“Tiempo requerido por el nivel de presión acústica en un recinto para decrecer en 60 dB una vez que haya cesado la fuente sonora.”

El tiempo de reverberación es un parámetro imprescindible para el cálculo de los parámetros de aislamiento acústico. Su medida se realiza en el recinto receptor y el procedimiento está descrito en el Capítulo 10 de la Norma ISO 16283-1. Se denota como T₂.

c) Nivel de ruido de fondo, B₂:

“Nivel de presión acústica medido en el recinto receptor debido a todas las fuentes, excepto el altavoz, en el recinto emisor.”

El ruido de fondo se denotará en los ensayos como **B₂** y corregirá al nivel de presión acústica en el local receptor (L_2) atendiendo a la diferencia medida en dB que existe entre éste y el nivel de ruido de fondo. Es decir; si la diferencia es inferior a 10 dB pero superior a 6 dB, se calculará la corrección del nivel de presión acústica promediado energéticamente en el local receptor como se explica en el apartado 9.2 de la Norma ISO 16283-1 (véase la Figura 3-1) [22].

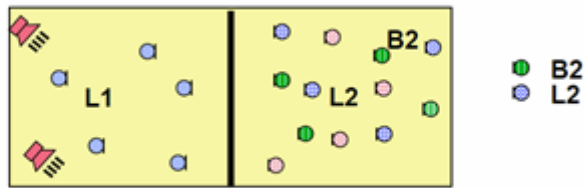


Figura 3-1 Esquema de ensayo acústico donde aparecen L1, L2 y B2
[29]

3.1.1.2 Instrumentación acústica para la realización de ensayos

Para realizar los ensayos de aislamiento acústico serán necesarios los siguientes equipos y software:

- Sonómetro integrador:

El sonómetro es un instrumento portátil dotado de un micrófono, que realiza las medidas y análisis que se utilizan para la evaluación del ruido en los ensayos. Este instrumento posee la capacidad de obtener, a partir de una misma medición todos los parámetros de banda ancha y valores estadísticos. Así mismo, tiene capacidad de almacenamiento de datos y de cálculo de tiempo de reverberación. Esta última capacidad permitirá la obtención analítica de nuestros parámetros de aislamiento. El sonómetro de la casa Briel & Kjaer 2260 es el que se puede observar en la Figura 3-2 [23].



Figura 3-2 Sonómetro portátil [16]

- Fuente sonora:

La fuente sonora es omnidireccional y está compuesta por 12 altavoces dispuestos en una estructura en forma de dodecaedro. Este equipo cumple los estándares de la ISO 16283 sobre los ensayos in situ. Es una fuente sonora capaz de trabajar a diferentes intensidades y en un rango de frecuencias amplio para poder satisfacer los ensayos de aislamiento, ya que éstos se realizan en un rango de frecuencias entre 100-5000 Hz. A continuación se muestra, en la Figura 3-3, una fuente de la marca Bruel & Kjaer [23]:



Figura 3-3 Fuente sonora omnidireccional [16]

- Calibrador acústico:

Es un equipo necesario para verificar la precisión normativa de los ensayos acústicos, basando su funcionamiento en la calibración precisa del conjunto. Este calibrador, entre sus principales características, presenta gran independencia a la presión estática y a la temperatura, aparte de que es capaz de desconectarse automáticamente si se retira del conjunto del micrófono. A continuación, en la Figura 3-4, se puede observar el calibrador Bruel & Kjaer [23]:



Figura 3-4 Calibrador acústico [16]

- Amplificador:

Este equipo realiza funciones de amplificación de la señal de la fuente sonora si fuese necesario. En la imagen, se puede observar el amplificador marca AKG modelo SR 300, de común uso en estos tipos de ensayos.



Figura 3-5 Amplificador [16]

- Software para el tratamiento de los datos obtenidos en los ensayos (por ejemplo el Qualifier Tipo 7830):

Este software se utiliza para el procesado de los datos de las medidas acústicas realizadas en un ensayo con el equipo físico completo (L1, L2, B2 y L2) por frecuencias. Este software es ejecutado a través de un ordenador, presenta una interface sencilla y clara, mostrando los resultados obtenidos en forma de tablas y gráficas. Además, expone al usuario las normas seleccionadas, las posiciones incluidas y otros parámetros de configuración. El software da la opción de cambiar la norma de aplicación, modificar todo tipo de datos de mediciones y calcular un gran número de parámetros acústicos [23].

3.1.1.3 Introducción a la Norma ISO 717 y la Norma 717-1

La Norma UNE-EN ISO 717: 2013 “*Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y los elementos de construcción*” fue preparada por el Comité Técnico ISO/TC 43 como su tercera edición, anulando y sustituyendo a la segunda edición (ISO 717:1996) que ha sido revisada técnicamente.

La Norma ISO 717 posee dos partes, englobadas en el título principal de esta norma. La parte 1 se denomina “*Aislamiento a ruido aéreo*” (UNE-EN ISO 717-1:2013) y la segunda titulada “*Aislamiento a ruido de impactos*” (UNE-EN ISO 717-2:2013).

El objetivo de la Norma ISO 717 es normalizar un método por el cual la dependencia frecuencial del aislamiento a ruido aéreo pueda convertirse en un solo valor que caracterice las propiedades acústicas entre los dos recintos de modo global. En esta Norma también se definen las magnitudes globales en relación al aislamiento acústico a ruido aéreo en edificios y elementos de construcción, tales como suelos, paredes, ventanas y puertas. Por lo tanto, proporciona reglas para la determinación de las magnitudes globales a partir de los resultados de medición realizados en bandas de tercio de octava o de octava (atendiendo a las Normas ISO 10140-2 e ISO 16283:2014) [24].

La Norma UNE-EN ISO 717-1:2013 sobre el aislamiento a ruido aéreo aborda dos temas principales, que son el procedimiento para la evaluación de magnitudes globales de aislamiento y la forma de expresión de los resultados obtenidos. Para ello, inicialmente se explican los siguientes términos y definiciones:

“a) Magnitud global para la valoración del aislamiento a ruido aéreo:

Es el valor en decibelios, a 500 Hz de la curva de referencia una vez ajustada a los valores experimentales según e método especificado en esta parte de la Norma ISO 717”.

b) Término de adaptación al espectro:

Es el valor, en decibelios, que ha de añadirse al valor de la magnitud global (por ejemplo, R_w) para tener en cuenta las características de un espectro de ruido particular.”

El el Capítulo 4 de esta Norma se expone el procedimiento para la obtención de las magnitudes globales, y se presentan los valores de referencia, que se pueden observar en la Tabla 3-1 y, además, también se explica el método de comparación, que promulga lo siguiente [24]:

“Para valorar los resultados de una medición realizada de acuerdo con las Normas ISO 10140-2, ISO 16283-1 e ISO 16283-2 en bandas de un tercio de octava (o en bandas de octava), los datos de la misma se deben expresar con una dífra decimal. Desplácese la curva de referencia de interés en saltos de 1 dB (0,1 dB para la expresión de la incertidumbre) hacia la curva de medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea la mayor posible, pero no mayor de 32,0 dB (medición en 16 bandas de un tercio de octava), o a 10,0 dB (medición a 5 bandas de octava)”.

Frecuencia	Valores de referencia	
	dB	
Hz	Bandas de tercio de octava	Bandas de octava
100	33	36
125	36	
160	39	
200	42	45
250	45	
315	48	
400	51	52
500	52	
630	53	
800	54	55
1000	55	
1250	56	
1600	56	56
2000	56	
2500	56	
3150	56	

Tabla 3-1 Valores de referencia para aislamiento a ruido aéreo

3.1.2 Definición de los principales parámetros acústicos de aislamiento a ruido aéreo: I_a ; $D_{nT,A}$; $D_{nT,w}$; R_w

Como se expone en el Apartado 2.3 “Análisis de la Normativa existente de las condiciones acústicas a bordo de buques” del presente Trabajo de Fin de Grado, las diferentes normativas y publicaciones relativas a las condiciones acústicas que han de cumplir los buques estandarizan sus niveles de aislamiento mediante diferentes parámetros.

Los parámetros seleccionados para la adquisición de conocimientos relativos a la evaluación acústica entre dos recintos, en el desarrollo de la práctica docente que propone el presente trabajo serán los de mayor relevancia y empleo en la actualidad por las diferentes normas y publicaciones de acondicionamiento acústico, tanto a nivel nacional como a nivel internacional.

Publicaciones notables y consistentes en materia de aislamiento acústico en buques como COMFORT CLASS de *Norske Veritas* y la resolución de la OMI MCS 337(91) utilizan de forma sólida el “Índice ponderado de reducción sonora aparente” (R_w) y la “Diferencia de nivel estandarizada ponderada” ($D_{nT,w}$) como magnitudes globales de aislamiento a ruido aéreo en espacios de buques. Por otro lado, el “Índice de aislamiento” (I_a) es un parámetro de aislamiento, que en la resolución de la OMI A.468 (XII) es utilizado como referencia para el aislamiento en buques hasta la última década. En la actualidad es una magnitud que ha perdido envergadura y ha sido actualizada por los dos parámetros nombrados con anterioridad.

En la Norma UNE-EN ISO 16283-1:2014 en su Anexo B sobre las plantillas para el registro de resultados de mediciones in situ, los dos formatos de plantillas propuestos presentan el D_{nT} o el R' . En cuanto a la Norma UNE-EN ISO 717-1:2013, los parámetros de aislamiento se exponen en el Apartado 3.2 como se puede observar en la Tabla 3-2 [22] [24]:

Magnitudes globales del aislamiento a ruido aéreo en edificios derivada de valores en bandas de octava o de tercio de octava	
Magnitud global	Término y símbolo
Índice ponderado de reducción sonora aparente, R'_w	Índice de reducción sonora aparente, R'
Diferencia de nivel normalizada ponderada, $D_{n,w}$	Diferencia de nivel normalizada aparente, D_n
Diferencia de nivel estandarizada ponderada, $D_{nT,w}$	Diferencia de nivel estandarizada, D_{nT}

Tabla 3-2 Magnitudes globales de aislamiento a ruido aéreo

Por lo tanto, los parámetros de aislamiento que se calcularán en la práctica docente del presente Trabajo de Fin de Grado serán los siguientes:

- a) **R'_w :** El índice de reducción sonora aparente es el aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos bajo ensayo y es independiente a la dirección de medida. Se obtiene mediante el desplazamiento de la curva de referencia sobre la curva obtenida de R' , y el valor representante a 500 Hz, como se indica en la ISO 717-1.

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \log\left(\frac{S}{A}\right) \quad \text{ó} \quad R' = L_1 - L_2 + 10 \log\left(\frac{ST_2}{0'16V}\right)$$

Fórmula 3-1 Fórmulas del índice de reducción sonora

- b) **$D_{nT,w}$** : La diferencia de niveles estandarizada es la diferencia entre recintos a un tiempo de reverberación de referencia ($T_0=0,5$ s) medido en el recinto receptor. Se obtiene mediante el desplazamiento de la curva de referencia a 500 Hz sobre la curva obtenida con D_{nT} , como se indica en la ISO 717-1

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log\left(\frac{T_2}{T_0}\right)$$

Fórmula 3-2 Fórmulas de la diferencia de niveles estandarizada

- c) **$D_{nT,A}$** : La diferencia de niveles estandarizada ponderada A se obtiene a partir de la diferencia de niveles estandarizada, realizando la ponderación A a valores L_1 de referencia. Por otro lado, obteniendo la diferencia de niveles estandarizada espectral, también denominada $D_{nT,w}+C$, partiendo de nuevo de $D_{nT,w}$ (sumándole la suma de un término de adaptación espectral (C)), podemos aproximar su valor al de $D_{nT,A}$.

$$D_{nT,A} = D_{nT} + C$$

Fórmula 3-3 Fórmula de la diferencia de niveles estandarizada ponderada

- d) **I_a** : Este índice de aislamiento se obtiene a partir del D_{nT} y se obtiene mediante el desplazamiento de la curva de referencia atendiendo al cumplimiento de dos condiciones expuestas en la Norma ISO R-717.

Donde:

- L_1 es el nivel medio de presión sonora en el recinto emisor, en dB.
- L_2 es el nivel medio de presión sonora en el recinto receptor, en dB.
- T_2 es el tiempo de reverberación en el recinto receptor, en segundos.
- T_0 es el tiempo de reverberación de referencia, 0,5 segundos.
- S es el área de la separación común de los recintos, en metros cuadrados.
- A es el área de la absorción equivalente del recinto receptor, en metros cuadrados.
- V es el volumen del recinto receptor, en metros cúbicos.
- C es el término de adaptación espectral, medido en dB.

3.1.3 Análisis de la Normativa existente de las condiciones acústicas a bordo de buques

En la presente Apartado se revisarán las diferentes normativas de relevancia en el aislamiento acústico a bordo de buques de la Armada. Al no existir una publicación establecida que regule o estandarice tales valores de ruido aéreo en nuestros buques, la Armada española se ha basado, en los últimos 20 años, en diferentes publicaciones o normas a nivel tanto nacional como internacional para cuantificar las exigencias relativas al aislamiento acústico entre recintos.

Publicaciones a nivel OTAN como el ANEP-24:1993 “*Guidelines for Shipboard Habitability Requirements for Combatant Surface Ship*” y el ANEP-26:1993 “*Ergonomic data for Shipboard Space*

Design in NATO Surface Ship” fueron guía para la construcción de buques como el “Galicia”, “Castilla” y el “Patiño”; de modo que la Armada mejoró notablemente en materia de aislamiento acústico. Dichas publicaciones se encuentran actualmente en completo desuso para el dimensionamiento de sistemas constructivos de buques, habiéndose sustituido por normas tanto de la OTAN, como internas de la Armada o documentos generados por sociedades privadas como *Bureau Veritas*. Por lo contrario, otras publicaciones por las que se rigieron, a finales del siglo XX, los aislamientos en buques no son de relevancia en la actualidad o han sido derogadas por normativas más modernizadas presentando estructuras y contenido prácticamente similar a sus normas predecesoras.

3.1.3.1 Organismo Marítimo Internacional (OMI)

El Organismo Marítimo Internacional (OMI) aprobó en 1981 la resolución A.468(XII), la cual establece los niveles de ruido a bordo de los buques. En 2012 se aprueba resolución de la OMI MCS 337(91) que deroga a la anterior. En su Capítulo 4 especifica que los límites que se muestran en ese mismo capítulo deben ser considerados como niveles máximos y no como niveles deseables. También se recomienda, en este mismo capítulo, que los niveles de ruido sean inferiores a los niveles máximos especificados [25].

A continuación se detallan tales límites sonoros (en dBA) para diversos espacios:

Designación de salas y espacios	Tamaño del Buque Tamaño	
	1600-10000GT	> 10000GT
Espacios de trabajo Espacios		
Espacios de máquinas	110	110
Cámaras de mando de máquinas	75	75
Talleres que no formen parte del espacio de	85	85
Espacios de trabajo no especificados	85	85
Espacios de Gobierno		
Puente de navegación y cuarto de Derrota	65	65
Puestos de viga, incluidos alerones y ventanas	70	70
Cuartos de radio	60	60
Cuartos de radar	65	65
Espacios de alojamiento		
Camarotes y enfermerías	60	55
Comedores	65	60
Salas de recreo	65	60
Zonas de recreo al aire libre	75	75
Oficinas	65	60
Espacios de servicio		
Cocinas con el equipo de elaboración de alimentos	75	75
Oficios	75	75
Espacios no ocupados normalmente		
Otros espacios	90	90

Tabla 3-3 Límites de ruido según la OMI

Por otra parte, la resolución 337(91), en su Capítulo 5, indica:

“Los límites del nivel de ruido, se han proyectado de forma que, si se observan, la gente de mar no quede expuesta a un nivel $L_{ex}(24)$ que exceda de 80 dB(A), es decir, que la exposición a ruido continuo equivalente durante un día o un periodo de 24 horas no exceda de 80 dB(A). En el caso de los buques nuevos, debería verificarse que se cumplen estos criterios tomando como base las mediciones de las pruebas en el mar de los niveles de ruidos mediante el cálculo de la exposición al ruido prevista de cada categoría”.

Además, se establece una división por zonas, en las que se especifica tanto el tiempo de exposición como el nivel de ruido y la obligatoriedad o no de sistemas de protección:

- Máxima exposición con protección (zona A, Figura 3-6)

“La gente de mar, aún cuando lleve protectores para los oídos, en ningún momento debería quedar expuesta a niveles que excedan de 120 dB(A) ni a un nivel $L_{eq}(24)$ que exceda de 105 dB(A)”.

- Exposición ocasional (zona B, Figura 3-6)

“En la zona B sólo debería permitirse la exposición ocasional y deberían utilizarse protectores para los oídos con una reducción de entre 25 y 35 dB(A)”.

- Exposición ocasional (zona C, Figura 3-6)

“En la zona C sólo debería permitirse la exposición ocasional y deberían utilizarse protectores para los oídos con una disminución de 25 dB(A) como mínimo”.

- Exposición diaria (zona D, Figura 3-6)

“Si la gente de mar realiza trabajos corrientes (exposición diaria) en espacios cuyos niveles de ruido sean los propios de la zona D, debería llevar protectores para los oídos con una reducción de hasta 25 dB(A) como mínimo, se debería efectuar una evaluación de riesgos, y cabrá considerar la conveniencia de hacer uso de un programa para la conservación de las facultades auditivas”.

- Máxima exposición sin protección (zona E, Figura 3-6)

“Para periodos inferiores a ocho horas, la gente de mar que no lleve protectores para los oídos no debería quedar expuesta a niveles de ruido que excedan de 85 dB(A). Cuando permanezca más de ocho horas en espacios en los que haya un nivel de ruido elevado, éste no debería exceder del expresado por la fórmula $L_{eq}(24)$ de 80 dB(A). Por consiguiente, durante al menos un tercio de cada periodo de 24 horas los tripulantes deberían hallarse en un entorno cuyo nivel de ruido no exceda de 75 dB(A)”.

Así mismo, se introduce el concepto de límite del nivel acústico continuo equivalente durante 24 horas ($L_{Aeq}(24)$), que lo define de la siguiente forma:

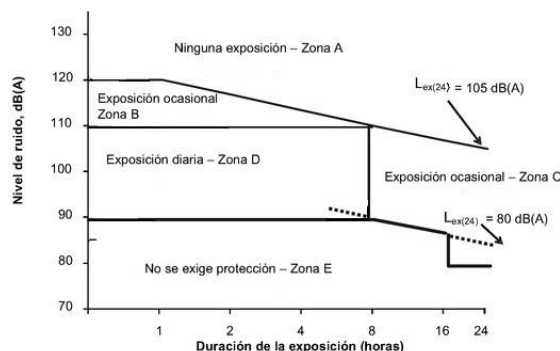


Figura 3-6 Zonas de exposición diaria y ocasional al ruido a un nivel admisible

“Una posibilidad distinta a la de dar cumplimiento a lo dispuesto en la figura de abajo es que ningún marino que no lleve protección pueda quedar expuesto durante 24 horas a un nivel acústico continuo equivalente que exceda de 80 dB(A). La exposición diaria en espacios en los que se exija el empleo de protectores para los oídos no excederá de cuatro horas seguidas ni de ocho horas en total”.

En relación con la temática relativa al diseño de la Práctica Docente, objeto del presente Trabajo de Fin de Grado, esta resolución dedica el capítulo 6 al aislamiento acústico entre espacios, señalando la importancia y la necesidad de hacer compatibles el descanso y el recreo en espacios adyacentes; por ejemplo, escuchar música, comunicarse, manipular carga, etc. Introduce la OMI el concepto del índice de insonorización, que define de la siguiente forma [25]:

“Las propiedades de aislamiento que contra el sonido aeropropagado deban reunir los mamparos y cubiertas dentro de los alojamientos se ajustarán por lo menos al siguiente índice ponderado de reducción acústica (R_w) de conformidad con la parte 1 de la norma ISO 717-1:1996, enmendada (1:2006)”.

- Entre camarotes: $R_w = 35$ dB
- Entre comedores, salas de recreo, espacios públicos o zonas de entretenimiento y camarotes o enfermerías: $R_w = 45$ dB
- Entre pasillo y camarote: $R_w = 30$ dB
- Entre camarotes con puerta de comunicación: $R_w = 30$ dB

Tabla 3-4 Propiedades de aislamiento de las diferentes zonas según la OMI

Como se puede apreciar en la Tabla 3-3, la resolución 337 (91) de la OMI otorga relativa importancia al índice de reducción sonora ponderado (R_w), el cual se analizará en el siguiente capítulo del presente Trabajo de Fin de Grado como parámetro de frecuente uso para la cuantificación in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos (por tanto, se emplearía el R'_w).

3.1.3.2 Stanag 4293

Los acuerdos de estandarización de procesos, procedimientos, términos y condiciones de equipamiento o procedimientos y técnicas militares comunes entre los países miembros de la OTAN se le denominan *Stanag*. Al igual que el Organismo Marítimo Internacional, la Alianza Atlántica genera su normativa, la STANAG 4293:1990, donde se define el aislamiento acústico de barcos OTAN.

La *Stanag 4293* no aporta ningún aspecto nuevo a los límites de los niveles de ruido con respecto al documento de la OMI como se aprecia en la Tabla 3-5. Sin embargo, complementa en los procedimientos de medición respecto al análisis espectral. También, define tres parámetros acústicos de referencia: el nivel máximo de presión sonora, las curvas de ruido y los niveles de interferencia de la comunicación; aunque en las tablas sobre niveles máximos solo utiliza los dos primeros, y lo hace en función de tres regímenes de máquinas diferentes (velocidad máxima, velocidad normal y fondeado).

La *Stanag 4293* define el nivel máximo de ruido (MNL), como el nivel de ruido normalmente aceptable dentro de un espacio o compartimento, transmitido tanto desde el exterior como desde el interior, generado por los equipos de instalación permanente, cuando éstos se encuentran en su modo normal de trabajo [26].

A continuación se especifican los límites del nivel de ruido, dB(A), para diversos espacios:

Espacios/Categoría de espacios	Fondeados (suministro eléctrico propio)		Navegación normal		Vel. Max permanente	
	dB(A)	NCR	dB(A)	NCR	dB(A)	NCR
Espacios médicos	50	45	60	55		
Zonas de ataque	50	45	60	55		
Comedores(usados como puestos de socorro)	50	45	65	60		
Oficinas , bibliotecas	65	60	65	60		
Cocina ,despensa,gimnasio,lavadero,tiendas	70	65	75	70		
Sala de máquinas y auxiliares ocupadas permanentemente	90	85	90	85		
Sala de máquinas y auxiliares ocupadas temporalmente	110	105	110	105		
Cámara de control central			70	65	70	65
Puestos de trabajo excepto los electrónicos	85	75	80	75		
puestos de trabajo electronicos	70	65	70	65		
pañoles munición	75	70				
Espacios de Gobierno,CIC	60	55	60	55	60	55
Comunicaciones			70	65	70	65
Alerones puente			70	65	70	65
Espacios exteriores ocupados permanentemente			75	70	75	70

Tabla 3-5 Límites de ruido de la Stanag 4293

De forma complementaria a la OMI, el *Stanag 4293* propone unos factores para el desarrollo de las medidas y un procedimiento de edición, respecto al análisis espectral, que son de relevancia y de utilidad, como se destacó anteriormente. Así, Esta normativa refleja los siguientes factores condicionantes:

- Condiciones operacionales en las pruebas de mar:

Las mediciones del ruido se realizaran en las siguientes condiciones:

“- A la velocidad máxima permanentemente.

- A la velocidad normal de crucero.”

- Condiciones operacionales en puerto o fondeado:

“Las mediciones en estas condiciones operacionales se realizarán con los motores auxiliares y la ventilación funcionando a velocidad normal y con la carga máxima disponible”.

- Procedimientos de medición:

“En los espacios de trabajo y en los alojamientos no deberán de estar presente, más de la ocupación normal”.

“La ventilación y los equipos aire acondicionado estarán en su modo normal de funcionamiento”.

“Las lecturas del nivel de la presión acústica se tomarán en decibelios utilizando un filtro de ponderación A (dB(A)) y un filtro de ponderación C (dB(C)) y, si es necesario, también en bandas de octava entre 31,5 Hz y 8 000 Hz”.

- Análisis del ruido espectral:

“Las medidas con los filtros de banda de octava centrados en las frecuencias de 31,5 Hz a 8000 Hz se llevarán a cabo en los siguientes casos”:

“- Cuando el criterio dBA no se cumple y por lo tanto la NCR tiene que aplicarse.

- Para una posición de medida en cualquier compartimento.

- Para todos los espacios de trabajo en los cuales la comunicación hablada es importante“.

- Puntos de medición:

“Las medidas se llevarán a cabo en al menos tres posiciones, en cualquiera de los compartimentos donde sea requerido debido a los niveles de ruido”.

“Todas las mediciones se harán a 1,2 m sobre el suelo. Los micrófonos se encontrarán al menos a 0,4 m de cualquier superficie reflectante, entradas de aire y exteriores, además de la persona que efectúa la medición a fin de minimizar los efectos de las reflexiones y el flujo del aire. Si la configuración del espacio lo permite, la distancia a los mamparos, salidas de aire y exteriores será de un metro. La distancia entre dos posiciones de medición será aproximadamente de 2 m”.

- Mediciones en los espacios de trabajo:

“En cualquier espacio de trabajo las mediciones se llevarán a cabo fuera de la cercanía del oído del operador”.

- Mediciones en los espacios de alojamiento:

“Deberían realizarse mediciones adicionales en otros puntos, dentro del alojamiento, especialmente a la altura de la cabeza de una persona sentada o echada”.

- Mediciones en los espacios de máquinas:

“En las salas de máquinas las mediciones se llevarán a cabo fuera de las posiciones de maniobra de las máquinas principales y de otros espacios donde se trabaje de forma habitual, así como en los pasillos y en los espacios ocupados o desocupados”.

- Mediciones en los espacios de gobierno:

“En los espacios de gobierno las mediciones se realizarán en al menos tres lugares, uno en la posición helmsman's oído y los otros, por ejemplo en el radar y posiciones de maniobra. Durante el proceso de mediciones en el puente, la puerta a sotavento estará abierta. Todos los instrumentos de navegación como el radar, sondadores, giroscópico, así como limpiaparabrisas, etc, estarán en funcionamiento”.

- Mediciones en los alerones, puentes al aire y puestos de guardia a la intemperie:

“En los alerones las mediciones se llevarán a cabo fuera de las posiciones del oído del operador, cerca de los repetidores de giroscópica o en similares posiciones”.

“En los puestos de guardia que se encuentren a la intemperie las mediciones se llevarán en las posiciones normales de trabajo, cuando las medidas sean en exteriores, los micrófonos estarán protegidos mediante pantallas para minimizar las incidencias del viento. La velocidad relativa del viento no deberá exceder del límite especificado”.

3.1.3.3 Boreau Veritas S.A.

Boreau Veritas S.A., compañía internacional que facilita ensayos, inspecciones y certificación de carácter industrial, técnicos e ingenieriles, genera y aporta un documento denominado *Comf-Noise*: 2011 relativo al aislamiento acústico en buques, el cual está reconocido y acreditado por las principales organizaciones nacionales e internacionales. El documento *Comf-Noise* refleja, en su Apartado 2 los límites de ruido aéreo, los cuales son más exigentes comparados con el resto de normas [27].

A continuación, en la Tabla 3-6, se exponen los niveles máximos acústicos de referencia, los cuales se especifican como niveles de presión acústica con ponderación A. En puntos posteriores del documento se indica que las Autoridades Navales correspondientes pueden considerar otros valores [27].

Espacios	L _{max} (dBA)
Puente	65
Salas de operaciones	60
Camarotes	60
Oficinas	65
Zonas de recreo	65
Comedores	65
Hospital	60
Cocinas	75
Espacios de trabajo, lavandería	80
Sala de máquinas	70

Tabla 3-6 Límites de nivel de ruido del Comf-Noise

“las salas de máquinas y otros espacios similares, si se encuentran ocupados de forma permanente, serán estudiados caso por caso y teniendo en cuenta la normativa de la Organización Marítima Internacional OMI”, por ello no aparecen en la Tabla 3-6.

Al igual que otras publicaciones que abordan las condiciones acústicas del aislamiento a ruido aéreo, el *Comf-Noise* introduce su criterio, referido a la magnitud global del índice ponderado de reducción sonora, de la siguiente forma:

“Las paredes, cubiertas y techos que delimitan espacios correspondientes a estancias de la tripulación o el tránsito hacia ellas, han de tener tales propiedades de aislamiento acústico para cumplir con el índice de aislamiento acústico mínimo de ruido aéreo (R_w)”.

- Camarotes $R_w = 30$ dB
- Pasillos $R_w = 20$ dB
- Espacios técnicos $R_w = 45$ dB
- Sala de máquinas $R_w = 55$ dB
- Comedores, salas de recreo, espacios públicos o zonas de entretenimiento $R_w = 45$ dB

Tabla 3-7 Propiedades de aislamiento de las diferentes zonas según Boreau Veritas

Con respecto a los procedimientos de medición, el *Comf-Noise* aplica recomendaciones en cuanto a condiciones ambientales. Además, en el apartado de puntos de medición, implementa la normativa de la OMI respecto a los compartimentos susceptibles de ser evaluados. En el Apartado 3 de este documento se expone lo siguiente [27]:

- Condiciones ambientales:

En general las condiciones meteorológicas estarán dentro de los siguientes límites:

“Viento que no supere la escala Beaufort 3 (7-10 nudos) y un estado de las mar que no supere fuerza 3 (0.5 a 1.25 m)”.

“La profundidad del agua deberá ser, al menos, 5 veces el calado medio del buque”.

- Procedimientos de medición:

“Durante las mediciones, el ruido que procedente de cada tipo de actividad humana innecesaria debe evitarse en la medida de lo posible”. (Ruido de fondo).

“Con este fin, sólo el personal necesario para el normal funcionamiento del buque y los que llevan a cabo las mediciones han de estar presentes”.

“El nivel de ruido se mide en unidades de dB utilizando el filtro de ponderación A, a menos que la Autoridad Naval especifique lo contrario”.

- Puntos de medición:

Las medidas se realizarán de la siguiente forma:

“Al menos en el 30% de los camarotes y de todos los alojamientos adyacentes a los motores o espacios de máquinas”.

“Todos los comedores y espacios recreativos”.

“Todos los espacios con dotación permanente en condiciones normales de funcionamiento”.

“Para espacios de más de 50 metros cuadrados se realizarán dos medidas convenientemente espaciadas”.

“Las mediciones se deben llevar a cabo con las plantas propulsión en condiciones de funcionamiento normal, a menos que la Autoridad Naval especifique otra cosa”.

“Durante las mediciones, la ventilación forzada y los sistemas de aire acondicionado (HVAC sistemas) han de estar operando, así como los sistemas auxiliares utilizados en condiciones normales del servicio”.

3.1.3.4 Estándares de Habitabilidad para Buques de Nueva Construcción de la Armada

Como doctrina nacional en materia de aislamiento acústico se encuentran los *“Estándares de Habitabilidad para Buques de Nueva Construcción de la Armada”*, publicación del Estado Mayor de la Armada que pretende ser una guía para la delimitación de los espacios y su operatividad, aunque los límites que establece, en alguno de los casos, no son de aplicación para determinados buques de la Armada.

La publicación del Estado Mayor de la Armada realiza, en primer lugar, una categorización del ruido, según los requerimientos funcionales de la dotación, en todas las condiciones de operación.

Los niveles máximos de ruido son aplicables a cualquier tipo de operación, incluyendo máxima velocidad sostenida y maquinaria principal y/o auxiliar al máximo régimen de funcionamiento. No se tiene en cuenta el ruido accidental. Esta clasificación por categorías de espacios no distingue la calidad del tipo de ruido (en intensidad o en frecuencia) [1].

A continuación se refleja la clasificación según los requerimientos funcionales:

- Categoría A:

“Espacios en los que la comunicación hablada directa debe ser comprendida con un mínimo error y sin necesidad de repetición. Dentro de esta categoría se distinguen 2 subcategorías”:

- Subcategoría A12: *“Los niveles de ruido aceptable entre el emisor y receptor deben ser tales que a la distancia menor o igual a 1,8 m. la conversación sea comprendida en los puntos establecidos. Estos espacios están permanentemente ocupados por personal”.*

- Subcategoría A-3: *“Será correspondiente a una distancia mayor o igual a 1.8 m. donde la conversación sea comprendida en los puntos establecidos. Estos espacios no están permanentemente ocupados por personal”.*

- Categoría B:

“Espacios en los que el confort del personal es la mayor prioridad y donde las comunicaciones son secundarias”.

- Categoría C:

“Espacios donde es esencial mantener condiciones especiales de tranquilidad”.

- Categoría D:

“Espacios donde hay altos niveles de ruido en los cuales las comunicaciones por voz no son importantes y la prevención de la pérdida auditiva es la principal consideración. Dentro de la categoría se distinguen 2 subcategorías”:

- Subcategoría D-12. Estos espacios están permanentemente ocupados por personal.

- Subcategoría D-3. Estos espacios no están permanentemente ocupados por personal.

- Categoría E:

“Áreas con alto nivel de ruido, en las cuales la comunicación por voz supone un alto esfuerzo de vocalización a cortas distancias y donde se emplean mecanismos de amplificación de voz y los teléfonos se encuentran normalmente disponibles”.

Por tanto, tras los requerimientos, se definen los distintos espacios dentro de cada categoría:

“Una vez identificados los requerimientos funcionales de los espacios a bordo, se procederá a la asignación de las categorías. Para los espacios no especificados en esta asignación se les asignará la misma categoría que los listados en los espacios con similares funciones”.

- Categoría A:

“- Subcategoría A-12: CIC, local de derrota, puente, local de control sonar, cámara de mando y control en submarinos.

- Subcategoría A-3: *Cámara de control de daños, compartimentos dedicados a la Instrucción y Adiestramiento (I+A), salas de reuniones y de alerta, cámaras de maniobra, centralita, cámaras de control, compartimento de misiles, centro de control de misiles, local radio, compartimentos y centrales de artillería (salvo cuando se está haciendo fuego), planta propulsora y estaciones de trabajo adjuntas”.*

- Categoría B:

“Peluquería, lavandería, talleres, compactador de basura, cocina, zonas de estudio, recreativas y de esparcimiento (biblioteca, zona multimedia, etc.), comedores y Capilla”.

- Categoría C:

“Chazas, camarotes y sollados, compartimentos y espacios de sanidad”.

- Categoría D:

“Sala de máquinas, diésel generadores, salas de máquinas auxiliares, cámara de la reductora, cámara de propulsión, servo, compartimentos de maquinaria auxiliar, compartimentos con enfriadores y eyectores, zonas de maniobra de la planta propulsora”.

- Categoría E:

“Alerones del puente, puente exterior, sala de torpedos, espacios de aire adyacentes, piques, etc, zonas de cubierta permanentemente ocupadas por personal”.

En este Documento, los límites sonoros se especifican como niveles de presión acústica con ponderación A. A continuación, en la Tabla 3-8, se reflejan los límites del nivel de ruido, dB(A), para los diversos espacios [1] [29]:

Categoría del Ruido	Nivel de presión sonora (dBA)
A-12	60
A-3	70
B	75
C	65
D-12	90
D-3	110
E	75

Tabla 3-8 Límites del nivel de ruido para el EMA

3.1.3.5 MIL-STD 1472G

Por último, a continuación, se amplía toda la documentación de referencia analizada anteriormente con el estudio de la *MIL-STD 1472G*, generada por la Armada de los Estados Unidos de América y que establece criterios generales de ingeniería para el diseño y desarrollo de sistemas, equipos e instalaciones militares. Tiene como propósito presentar criterios y principios de diseño ingenieril para dichas instalaciones. En este documento se encuentran expresados, de forma diversa, los límites de ruido máximos en función de las necesidades de comunicación de la dotación; para los cuales también define una serie específica y concreta de espacios y los niveles máximos permitidos, y además mediante un cuadro en el que a cada espacio le corresponde un nivel de ruido máximo.

A continuación, se exponen los niveles máximos de ruido, los cuales se puede comprobar que son similares a los valores previamente establecidos en normas predecesoras como la de la OMI o la de *Bureau Veritas* [30]:

Espacios	Límite (dBA) max.	Límite (dBA) Pref.
Espacios de trabajo		
Espacios de máquinas con dotación perma	90	84
Espacios de máquinas sin dotación perman	110	95
Cámaras de máquinas	75	65
Talleres	84	75
Espacios de trabajo no especificados	95	84
Espacios de navegación		
Puente de navegación y derrota	65	55
Puestos de serviolas, alerones y ventanas	70	60
Local radio (equipo funcionando sin emisión)	60	55
Cuartos radar	65	55
Espacios de alojamiento		
Camarotes y enfermerías	60	50
Comedores	65	55
Salas de recreo	65	55
Zonas de recreo al aire libre	85	75
Oficinas	65	55
Espacios de servicio		
Cocinas	75	65
Lineas servicio, despensa, almacenes	84	70
lavandería	84	75
Espacios no ocupados habitualmente		
Espacios no especificados	90	84

Tabla 3-9 Límites de niveles de ruido según el MIL-STD 1472G

Esta Publicación, en referencia a los límites de exposición al ruido, se remite, principalmente, a los valores dados por la OMI. Sin embargo, aporta como novedad la reducción del límite de ruido en “zonas hasta de ruido” para garantizar que no se deban usar auriculares de protección en todo momento, haciendo referencia al límite del nivel acústico continuo equivalente durante 24 horas [30].

Esta publicación introduce el concepto de:

“Zona alta de ruido: Cualquier área donde los niveles de ruido superan los 84 dBA se clasificará como una "zona de alto ruido". Se pondrá en consideración reducir la exposición del personal al ruido elevado mediante la reubicación de manejo, indicadores y estaciones de trabajo en "áreas ruidosas" mediante la aplicación de manejo remoto de los equipos en espacios separados, aislados acústicamente”.

3.1.3.6 Ejemplo en un buque de la Armada: Juan Carlos I

Cabe destacar que pese a toda la normativa vigente en materia de protección acústica analizada de modo exhaustivo; los buques de la Armada están exentos de cumplimiento normativo; pero, no por ello, el bienestar, la comodidad y el correcto acondicionamiento acústico de alojamientos y habitáculos comunes debieran presentar deficiencias acústicas. Para la construcción de los modernos buques de la Armada se utilizan como guías aquellas de referencia y que resultan las más restrictivas de las presentadas con anterioridad.

La importancia del aislamiento acústico en los buques militares toma progresivamente más relevancia con el transcurso del tiempo, la modernización y las mejoras tecnológicas. Los buques de la Armada Española presentan un riguroso aislamiento acústico, destacando los buques de asalto anfibios y el único buque de proyección estratégica, ya que éstos son propensos a presentar altos niveles de ruido a bordo producido por las aeronaves.

Los más modernos buques de la Armada Española se acogen, en mayor medida a la resolución OMI MCS 337(91) "*Código sobre niveles de ruido a bordo de buques*" y a *Comf-Noise* de Bureau Veritas como documentos más relevantes para disponer sus locales con un preciso y previamente establecido aislamiento acústico a ruido aéreo, temática de la Práctica Docente que se diseña en el presente Trabajo de Fin de Grado.

A continuación, en la Tabla 3-10, se muestra a modo de ejemplo los niveles máximos de ruido en el buque LHD JCI, obtenidos del documento "Definición del aislamiento del casco" generado por IZAR Construcciones Navales, los cuales están basados en los niveles de la resolución de la OMI MCS 337(91) y, en su mayoría, en los niveles del *Comf-Noise* de Bureau Veritas:

NIVELES LÍMITE DE RUIDO AÉREO	
LOCALES	dB(A)
ESPACIOS DE TRABAJOS	
Espacios de maquinaria (con dotación/sin dotación)	90/110
Cámaras de mando de máquinas	75
Cámara de equipos electrónicos	70
Talleres/Talleres electrónicos	80/70
Espacios de trabajos no especificados	90
ESPACIOS DE GOBIERNO	
Puente de navegación y cuarto de derrota	60
Puestos de escucha, alerones y ventanas	70
Centro de control del buque, control de dique	70
Cuartos de radio	60
Cuartos de radar	65
Local de operaciones de sistema de combate	60
ESPACIOS DE ALOJAMIENTOS	
Camarotes y enfermería	60
Comedores	65
Sala de recreo	65
Zonas de recreo al aire libre	75
Oficinas	65
Aseos, cuartos de baño y pañoles	75
Salas de planeamiento	65
ESPACIOS DE SERVICIO	
Conicas	75
Oficios	75
ESPACIOS NO OCUPADOS HABITUALMENTE	
Espacios no especificados	90

Tabla 3-10 Límites de nivel de ruido para el buque JCI

Como es de entender, aparte de satisfacer los requerimientos para aislamiento acústico atendiendo a la resolución OMI MCS 337(91) y *Comf-Noise*, en los buques de la Armada se realizan aislamientos acústicos a ruido aéreo con límites más restrictivos en espacios y locales de mayor importancia operativa de estos. Locales como el CIC (Centro de Información para el Combate) y equipos CIC o cámaras de máquinas y auxiliares presentan aislamiento superior que en locales con características similares y de carácter no militar que se establecen en la resolución.

3.1.4 Definición de una práctica docente de modo genérico

Aunque el concepto es muy amplio, una práctica docente se define como la acción que se desarrolla con la aplicación de ciertos conocimientos. De forma general, el desarrollo de una práctica posee su mayor peso en el estudio empírico sobre un tema, siendo su función principal contrastar la teoría, sobre una materia concreta, en ejercicios prácticos formalizados en un determinado documento. El objetivo de una práctica es el posterior análisis sobre los resultados obtenidos [12].

Las prácticas docentes son susceptibles ejecutarse de varias maneras, pues pueden ser realizadas en horarios lectivos, estando presente el personal docente y siendo éste una pieza clave en el desarrollo de la misma, o pueden ser prácticas que se realicen en horario extraescolar. En cualquiera de los dos casos, las capacidades instructivas esenciales que los estudiantes deberán adquirir al realizar una práctica están referidas a las habilidades propias en investigación, ampliación, profundización, realización, consolidación y comprobación de los fundamentos teóricos de la asignatura correspondiente mediante la experimentación, garantizando el trabajo e implicación del alumno en la ejecución de la práctica [31].

De forma general, las prácticas presentan una estructura base en la que se divide en tres etapas principales, pudiendo contener cada una de ellas subapartados de menor calibre. Las etapas son las siguientes:

a) Preparación previa al desarrollo de la práctica.

En este apartado se suele introducir el porqué de la realización de la práctica y algunos conceptos previos o de interés para el correcto entendimiento del conjunto. Se expone al alumno, mediante una pequeña introducción textual, la temática de la práctica y la problemática a estudiar o solucionar.

b) Realización de la práctica.

Comprende la etapa más importante de la práctica, en ella se realizan los cálculos y experiencias que permitan adquirir las habilidades requeridas como objetivos de dicha práctica. Se caracteriza por la necesidad de emplear instrumentos, aparatos de medida o equipos, con el objeto de reproducir el fenómeno deseado y poder realizar observaciones.

c) Conclusiones de la práctica.

Partiendo de las observaciones obtenidas, el alumno deberá llegar a unas conclusiones y generalizaciones que se deriven de la experiencia realizada de la práctica en cuestión [32].

El guion de la práctica deberá tener en cuenta que el trabajo a realizar puede ser complejo; por tanto, debe combinar trabajo de elaboración propia por el alumno con apartados ya reflejados en el propio documento de la práctica que solo han de rellenarse o completarse. Muchas veces el alumno se limita a la reproducción mecánica de los pasos de la técnica de la experiencia. Esto puede reducirse o eliminarse combinando, de forma adecuada, la parte de elaboración mecánica de las experiencias de la práctica y un enfoque investigativo, con el objetivo de la motivación del alumno a dominar la materia.

Este enfoque investigativo requiere que la estructura y técnica de la práctica no proporcione de forma completa todos los conocimientos, sino que una buena parte de dicha información debe ser extraída por el alumno a partir de los conceptos observados en la experimentación de la práctica. En resumen, este enfoque pretende abarcar una práctica como experimento con carácter investigativo [32].

En las prácticas podrá predominar la observación y la experimentación en condiciones y situación fuera de un aula, lo que exige la utilización de métodos y procedimientos específicos para el trabajo. En consecuencia, es significativa la contribución de los métodos y procedimientos utilizados en el desarrollo de habilidades generales y específicas de carácter intelectual, como la observación, comparación, elaboración de informes, entre otras y, fundamentalmente, en la formación y desarrollo de habilidades propias la materia.

La realización de una práctica también implica la preparación de ésta por parte del profesorado correspondiente, el cual deberá poner atención especial a aspectos de organización, teniendo en cuenta la actividad individual y/o colectiva del alumnado de manera independiente. Además, es necesario durante todo el desarrollo de la práctica, la motivación, orientación y evaluación en la ejecución y conclusiones, garantizando el cumplimiento de objetivos propuestos.

3.2 Introducción y objetivos de la Práctica Docente diseñada

3.2.1 Introducción a la Práctica Docente

Una vez revisada la normativa relativa a procedimientos de los ensayos de medida y el cálculo de parámetros de aislamiento, así como la normativa referente a los límites establecidos de ruido a bordo de buques, se pretenderá, en el presente Capítulo, el diseño y desarrollo de la práctica docente para la adquisición de conocimientos relacionados con la evaluación del aislamiento acústico a ruido aéreo entre espacios de buque, objeto del presente Trabajo de Fin de Grado.

La Práctica Docente que propone el presente Trabajo de Fin de Grado estará estructurada de forma dinámica, estructurándose en introducción, conocimientos a adquirir y el procedimiento de obtención de cada parámetro de aislamiento. Finalmente, la práctica pretende elaborar unas conclusiones que engloban los resultados finales de los parámetros y la comparación con los límites establecidos por las normativas de aislamiento de mayor relevancia en la actualidad para los buques.

El aislamiento acústico es fundamental para generar un ambiente de comodidad y bienestar a la dotación. Dependiendo de la zona del buque en la que nos encontremos se define una exigencia de aislamiento. Actualmente, en la construcción de buques el peticionario focaliza la atención, principalmente, en el aislamiento acústico conseguido entre alojamientos y en compartimentos relativamente cercanos a la sala de máquinas.

Como se ha enlazado anteriormente, existe una cantidad considerable de normativa en materia de aislamiento acústico en buques, indicando cada una de ellas diferentes niveles de exigencia en el aislamiento acústico. Por lo general, los buques son construidos guiándose por estas publicaciones y respetando las exigencias de los límites acústicos; sin embargo, los buques militares pueden estar exentos del cumplimiento de este tipo de normativa. Aun así, los buques de la Armada Española se han regido y se verifican por las normas de mayor empleo durante los últimos 20 años.

Por ello, se promueve y diseña la presente práctica docente, la cual permitirá adquirir competencias a los alumnos de grado de la Escuela Naval Militar para evaluar el aislamiento y acondicionamiento acústico entre los compartimentos en los que sea preciso realizar estos ensayos, para la comprobación del cumplimiento normativo. Además, en buques militares, los estándares de aislamiento acústico requeridos, en algunos casos, son más exigentes en determinadas zonas, entre ellas zonas de habitabilidad.

Como introducción, volvemos a referirnos al “Código sobre Niveles de Ruido a Bordo de los Buques” aprobado por la Organización Marítima Internacional (OMI) que en su Capítulo 6 “Aislamiento acústico entre espacios de alojamiento” indica lo siguiente:

“Generalidades.

Se prestará atención al aislamiento acústico que deba haber entre espacios de alojamiento con objeto de hacer posibles el descanso y el recreo aun cuando en espacios adyacentes se desarrollen otras actividades; por ejemplo, oír música, charlar, manipular carga, etc”.

“Índice de insonorización.

Las propiedades de aislamiento que contra el sonido aeropropagado deban reunir los mamparos y cubiertas dentro de los alojamientos se ajustarán por lo menos al siguiente índice de reducción sonora (R_w) de conformidad con la Norma R717-1:2013 de la ISO”:

“ - Entre camarotes $R_w = 35$.

- Salas de recreo, espacios públicos y áreas de entretenimiento a camarotes y hospitales $R_w = 45$

- Pasillo al camarote $R_w = 30$.

- Entre camarotes con puerta de comunicación $R_w = 30$ ”.

3.2.2 Objetivos de la Práctica Docente

Esta práctica pretende que el alumno cumpla unos objetivos determinados. Se deberá abordar la obtención, por parte del alumno, de conocimientos en lo que a normativa acústica se refiere para el cálculo de los parámetros e índices de aislamiento propuestos como los de más uso. Estas normas, la UNE-EN ISO 717-1 y UNE-EN ISO 16283-1 se definirán posteriormente en el Apartado 3.3 sobre el proceso de la práctica docente, su metodología y cálculos.

Por lo tanto, el alumno deberá conocer el procedimiento de medición y de obtención de datos, con los que se desarrollarán los parámetros de aislamiento de interés. Dichos parámetros serán los siguientes:

- La diferencia de niveles estandarizada ponderada, $D_{nT,w}$
- El valor global de la diferencia de niveles estandarizada ponderada A, $D_{nT,A}$
- Índice ponderado de reducción sonora aparente, R'_w
- Índice de aislamiento, I_a .

Finalmente, se deberá calcular mediante un libro de Excel los resultados de los parámetros de aislamiento (a partir de L_1 , L_2 , B_2 y T_2), teniendo en cuenta que los ensayos se podrán realizar a cualquier tipo de buque. A la hora de aportar sus conclusiones sobre las características acústicas de aislamiento y reducción de ruido ambiental en espacios de buques, el alumno será conocedor de los límites de ruido estandarizados por las publicaciones de aislamiento para construcción de buques de mayor significación [22].

3.3 Competencias adquiridas por el alumno mediante la Práctica Docente

En el presente Apartado se explicarán, detalladamente, las competencias que el alumno deberá adquirir durante el desarrollo de la Práctica Docente:

- a) El alumno se familiarizará con las Normas ISO 16283 “*Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios en los elementos de construcción*” relativas al desarrollo de los ensayos de aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos. En ellas se describen los procedimientos para las mediciones in situ del aislamiento acústico, más concretamente en la Norma ISO 16283-1 que recoge estos procedimientos para ruido aéreo.
- b) Se adquirirán también, conocimientos sobre aislamiento acústico, por lo tanto se familiarizará con la Norma ISO 717 “*Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y elementos de construcción*” relativa a la definición de magnitudes globales para el aislamiento a ruido aéreo y a la clasificación y simplificación de los requisitos acústicos.

- c) Se adquirirán conocimientos más genéricos que los expuestos en el Apartado 3.1.3, donde se revisó la normativa. El alumno será conocedor tanto de los niveles máximos de referencia como de los límites de exposición al ruido descritos en normativas como *Stanag 4293* “*Guidelines for the Acustical Enviroment in NATO Surface Ship*”, *Comf-Noise* de Boreau Veritas, la resolución de la OMI 337 (91) y la *Mil-Std 1472G*.
- d) El alumno se familiarizará con los equipos y programas informáticos acústicos específicos para la realización de ensayos de aislamiento. Estos quipos y programas están descritos en la normativa previamente nombrada, introduciendo al alumno, no solo a la correcta utilización de los equipos, sino también en los factores condicionantes para la realización de las medidas.

Los instrumentos y software de medidas son los que se relacionan a continuación: Sonómetro integrador, fuente sonora, calibrador acústico, amplificador y el software para el tratamiento de los datos obtenidos en los ensayos.

- e) Observación y análisis del volcado de datos en laboratorio y la obtención de los valores de aislamiento. En este epígrafe se engloba que el alumno adquiera todas las competencias relacionadas con la realización de los ensayos y la obtención de datos; es una competencia final y conclusiva a las anteriores, ya que se supedita al conocimiento de las normas ISO y de la instrumentación.

No solo se requerirá que el alumno conozca el software Qualifier y se familiarice con él, sino que sepa realizar el correcto volcado de datos en el correspondiente libro de Excel diseñado en el presenta Trabajo de Fin de Grado. Con esto se pretende que sea capaz de obtener los parámetros de aislamiento y que estudie cómo varían los resultados según el parámetro seleccionado, atendiendo a la normativa acústica; siguiendo los pasos que se exponen en la Práctica Docente.

3.4 Contenido y proceso de la Práctica Docente que han de desarrollar los alumnos

En el presente Apartado se explica detalladamente el procedimiento para realizar la Práctica Docente. Así, se pondrán en práctica conocimientos relativos a la realización de ensayos de aislamiento acústico y de obtención de parámetros de aislamiento acústicos procedentes de las Normas UNE-EN ISO 16283-1, UNE-EN ISO 717-1 y UNE-EN ISO R-717, respectivamente.

Este Apartado, expone el proceso de ensayo acústico y obtención de parámetros de la Práctica Docente dividido en cuatro Fases: El proceso del ensayo estará reflejado en la Fase I, el procedimiento para obtener los datos necesarios para los cálculos a partir de los equipos de medida está explicado en la Fase II; seguidamente, en la Fase III, se expone detalladamente el proceso de cálculo de los parámetros de aislamiento y, por último, en la Fase IV, se darán a conocer las conclusiones obtenidas mediante una comparación de los parámetros de aislamiento obtenidos con los límites establecidos por las normativas y publicaciones de aislamiento en buques [24].

3.4.1 Fase I. Proceso detallado de la realización de ensayos acústicos in situ mediante la Norma UNE-EN ISO 16283-1

3.4.1.1 Generalidades previas

En cuanto la realización del ensayo acústico de aislamiento a ruido aéreo entre dos recintos se seguirá lo especificado en la norma UNE EN ISO 16283-1, en relación con el muestreo que ha de desarrollarse en los espacios del buque. Esta norma explica el procedimiento de ensayo acústico, aplicado a un rango de frecuencias. La presente práctica docente se centrará en la obtención de datos de aislamiento frecuenciales de 100 Hz a 5000 Hz.

En los Capítulos de la citada norma: “Procedimiento por defecto para la medición del nivel de presión acústica”, “Ruido de fondo (procedimiento por defecto y para bajas frecuencias)” y en “Tiempo de reverberación en el recinto receptor (procedimiento por defecto y para bajas frecuencias)”, se expone, de forma detallada, todo el procedimiento a seguir para obtener las variables L1, L2, B2 y T2 necesarias para calcular los parámetros de aislamiento.

Sobre las generalidades del ensayo in situ es necesario conocer lo expuesto en primer apartado del Capítulo 7 de la misma, donde se introduce lo siguiente:

“El sonido generado en el recinto emisor debe ser estable y debe tener un espectro continuo sobre el rango de bandas de frecuencias que se esté midiendo. Se pueden realizar mediciones paralelas sobre el rango requerido de bandas de tercio de octava utilizando una señal de ruido de banda ancha. Si se utiliza el filtrado de la señal emisora para cada banda de frecuencias sometida a ensayo, se debe utilizar (o utilizará) un filtro con una frecuencia de banda central correspondiente que tenga un ancho de banda de al menos un tercio de octava”.

“En el nivel de presión acústica promediado energéticamente en el recinto emisor no debe presentar diferencia en el nivel de 8 dB entre las bandas de tercio de octava adyacentes, al menos por encima de 100 Hz. En situaciones donde no se puede llegar a esto con una fuente de ruido de banda ancha, se debe utilizar las mediciones en serie de bandas de tercio de octava con ruido limitado en banda”.

En cuanto al número de mediciones en el apartado de “Posiciones de micrófonos fijas” se explica en el subapartado b) lo siguiente:

“Cuando se utiliza un único altavoz, se deben utilizar un mínimo de cinco posiciones de micrófono en cada recinto para cada posición de altavoz (los conjuntos adicionales de posiciones de micrófono pueden ser diferentes del primer conjunto de posiciones). Cada conjunto de posiciones de micrófono se debe distribuir dentro del espacio máximo permitido a lo largo de cada recinto. No debe haber dos posiciones de micrófonos en el mismo plano con respecto a los límites del recinto y las posiciones no deben estar en una retícula regular”.

3.4.1.2 Obtención de L1, L2, B2 y T2

i) Niveles de presión sonora: L1 y L2

Para la selección de las posiciones del micrófono en un recinto y de los tiempos de promediado para el ensayo será preciso cumplir con lo dispuesto a continuación:

- a) “0,7 m entre las posiciones de micrófono.
- b) 0,5 m entre cualquier posición de micrófono y los límites del recinto.
- c) 1,0 m entre cualquier posición de micrófono y la fuente sonora.

El tiempo de promediado en cada posición de micrófono individual debe ser al menos 6 s en el rango de frecuencias de 100 Hz a 400 Hz. Para 500 Hz a 5000 Hz, está permitido reducir el tiempo a no menos de 4 s”.

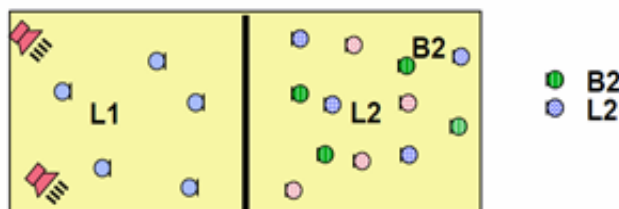


Figura 3-7 Esquema de disposición de recintos incluyendo L1, L2 y B2. [29]

Una vez conocidos los procedimientos y exigencias para la obtención de los niveles de presión sonora de emisión y recepción, L1 y L2, los alumnos procederán a la realización práctica de las mediciones:

En primer lugar se procederá a las mediciones de los niveles equivalentes de presión sonora L1 y L2 (dB). Se realizarán empleando 2 posiciones de la fuente sonora en el recinto emisor y 5 posiciones de micrófono para cada una de ella; realizándose, por tanto, 10 mediciones para cada nivel equivalente.

Las separaciones entre posiciones del micrófono cumplirán los con las distancias mínimas dispuestas anteriormente. De igual manera, se encuentra recogida en la normativa la posición de la fuente sonora, debiendo cumplir estos mínimos y en la medida de lo posible superarlos [22]:

-0,5 m entre los límites del recinto y su posición.

-1,0 m por encima del suelo.

ii) Ruido de fondo: B2

Para la obtención del ruido de fondo ha de conocerse lo siguiente:

“Se deben realizar las mediciones de los niveles de ruido de fondo para garantizar que el nivel de señal en el recinto receptor no está afectado por el ruido de fondo y para permitir una corrección de acuerdo con el apartado 9.2. El ruido externo, como el ruido procedente del exterior del recinto de ensayo, el ruido eléctrico en el sistema receptor, las interferencias eléctricas entre los sistemas fuente y receptor, los dispositivos mecánicos utilizados para el micrófono de movimiento continuo y los operadores fuera del recinto de ensayo, todos contribuyen al nivel del ruido de fondo”.

“Para los procedimientos por defecto y de baja frecuencia, el nivel del ruido de fondo debe ser al menos 6 dB (y preferiblemente más de 10 dB) por debajo del nivel de señal y el ruido de fondo combinado a cada banda de frecuencia. Si la diferencia de niveles es inferior a 10 dB pero es superior a 6 dB, se calculan las correcciones del nivel de presión acústica promediado energéticamente y el nivel de presión acústica de la esquina haciendo uso de la fórmula siguiente:

$$L = 10 \lg (10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10})''$$

Una vez conocidos los procedimientos y exigencias para la obtención de los niveles de presión sonora del ruido de fondo, B2, los alumnos procederán a la realización práctica de las mediciones:

Para la obtención de B2 (dB), se efectuarán 5 mediciones del mismo en el local receptor (en 5 posiciones distintas).

- En todos los muestreos mencionados anteriormente las posiciones de micrófono se situarán a 1,2 m de altura.

- La constante de tiempo utilizada será la de posición lenta (S) según UNE/EN 60651.

iii) Tiempo de reverberación: T2

Para el cálculo de la variable del tiempo de reverberación se realizará el método ininterrumpido:

“Para las posiciones del micrófono fijas o de mano, el número mínimo de mediciones requerido para cada banda de frecuencias es seis. Se debe utilizar al menos una posición del altavoz con tres posiciones del micrófono fijas y dos mediciones en cada posición, o seis posiciones del micrófono fijas y una medición en cada posición”.

Una vez conocidos los procedimientos y exigencias para la obtención del tiempo de reverberación, T2, los alumnos procederán a la realización práctica de su medida:

Así, para la determinación del tiempo de reverberación en el local receptor T2 se tomarán 6 registros con un mínimo de 4 posiciones distintas de foco sonoro impulsivo y 3 posiciones de micrófono.

Las posiciones de micrófono cumplirán los siguientes requisitos:

- Alejadas más de 0,5 m de las paredes laterales.
- Un mínimo de 0,7 m entre ellas.
- Un mínimo de 1 m de la fuente sonora impulsiva.

3.4.2 Fase II: Proceso del volcado en laboratorio de los datos acústicos recogidos durante las medidas

Se realizará un volcado en laboratorio (véase la Figura 3-8), de los datos acústicos recogidos durante las medidas realizadas en el ensayo acústico in situ, mediante software específico denominado QUALIFIER Type 7830 de Bruel&Kjaer, complementado con los software Type 2260-D con BZ-7204 (véase la Figura 3-9) [33].

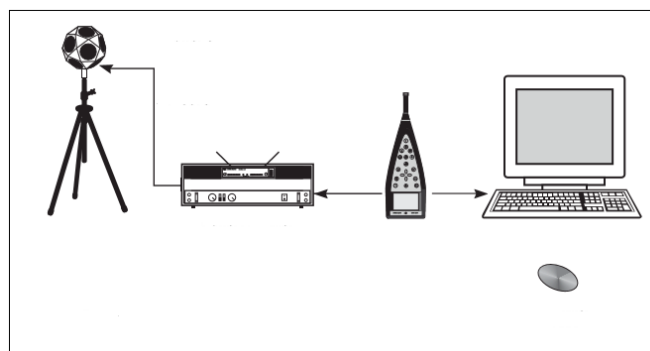


Figura 3-8 Esquema básico de los equipos de medida para realizar el volcado de datos [16]

- a) Una vez instalado el CD del Qualifier 7830 se deberá conectar el cable AO-1386 del sonómetro al ordenador e iniciará el programa.

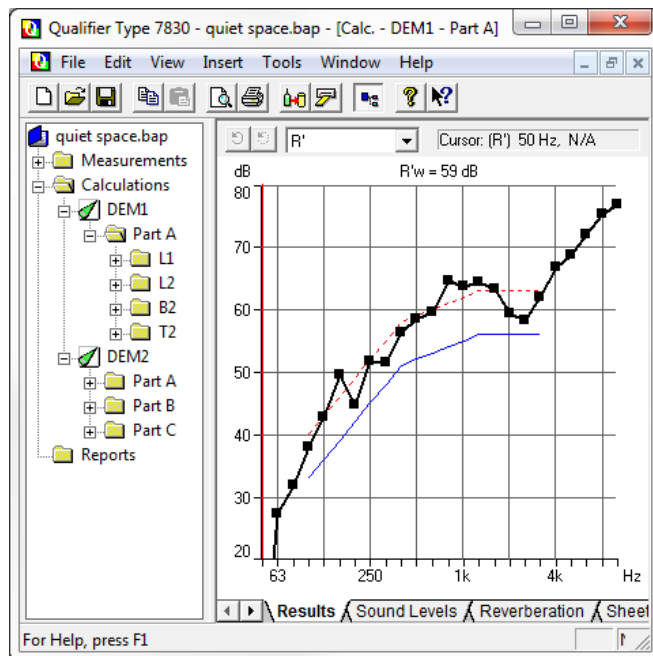


Figura 3-9 Interfaz del software Qualifier Tipo 7830

- b) Se mostrará, a continuación, en la interfaz del programa un recuadro en la parte izquierda con diferentes pestañas. En él se seleccionará la pestaña “MEASUREMENTS”. Al seleccionar esta pestaña se desglosarán las diferentes posiciones en las que se haya realizado el ensayo. A modo de ejemplo en la Figura 3-10 se observa la interfaz y la pestaña de “MEDIDAS” abierta.

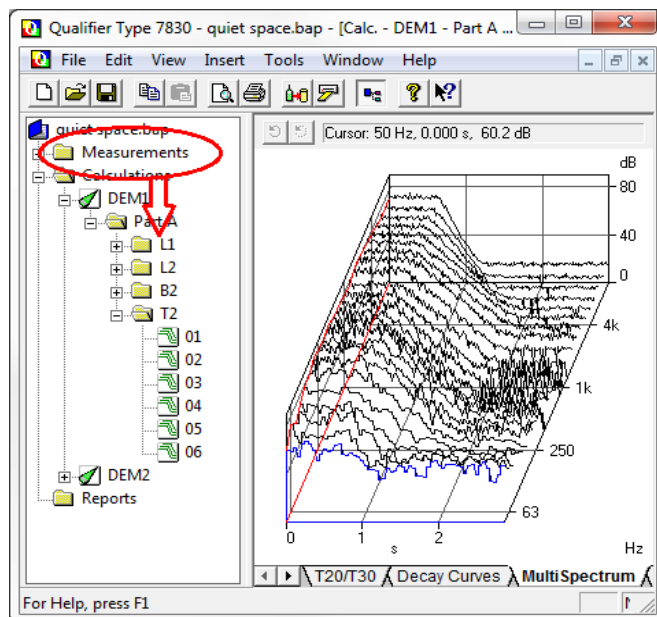


Figura 3-10 Interfaz del software Qualifier, desglose de L1, L2, B2 y T2 en la pestaña de "Medidas"

- c) Podrá observar como en cada posición se desglosan los diferentes niveles L1, L2 y B2 y el tiempo de reverberación T2. Seleccione estas pestañas y obtendrá de forma numerada cada medición realizada en formato tabla y dividida en frecuencias. En la Figura 3-11 se puede ver la tabla con los valores de L1 en una posición de micrófono determinada.

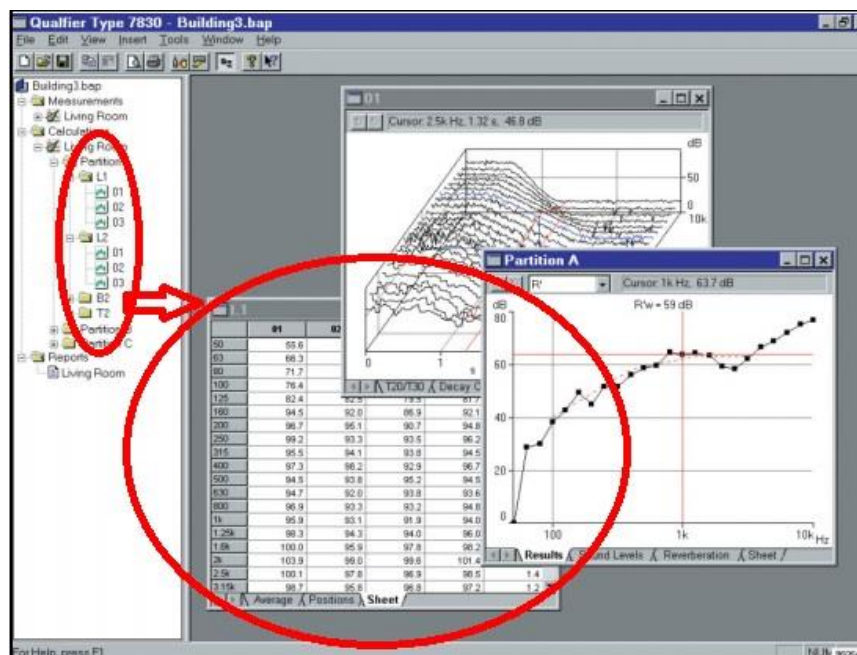


Figura 3-11 Desglose de las diferentes medidas de L1 expuestas en una tabla

- d) El alumno seleccionará las mediciones y las copiará en la columna correspondiente (L1, L2, B2 y T2) del libro de Excel proporcionado en la Práctica Docente y diseñado expresamente para el presente Trabajo de Fin de Grado. Se pueden observar en las Figura 3-12 y Figura 3-13, las celdas correspondientes para volcar en ellas los valores de L1 en las 10 posiciones diferentes, los valores obtenidos para L2 en sus 10 posiciones, los valores de B2 en las 5 posiciones medidas y los tiempos de T2 en las 6 posiciones en las que se mida. Cabe destacar que en las celdas de color (azules, verde y naranja) se obtendrá el valor promedio de las mediciones realizadas.

L1														L2													
	Freq	Pos 1	Pos 2	Pos 3	Pos 4	Pos 5	Pos 6	Pos 7	Pos 8	Pos 9	Pos 10	Prom	Desv.Est		Freq	Pos 1	Pos 2	Pos 3	Pos 4	Pos 5	Pos 6	Pos 7	Pos 8	Pos 9	Pos 10	Prom	Desv.Est
2	100											0		2	100											0	
3	125											0		3	125											0	
4	160											0		4	160											0	
5	200											0		5	200											0	
6	250											0		6	250											0	
7	315											0		7	315											0	
8	400											0		8	400											0	
9	500											0		9	500											0	
10	630											0		10	630											0	
11	800											0		11	800											0	
12	1000											0		12	1000											0	
13	1250											0		13	1250											0	
14	1600											0		14	1600											0	
15	2000											0		15	2000											0	
16	2500											0		16	2500											0	
17	3150											0		17	3150											0	
18	4000											0		18	4000											0	
19	5000											0		19	5000											0	

Figura 3-12 Pantalla del Excel de la práctica para el volcado de L1 y L2

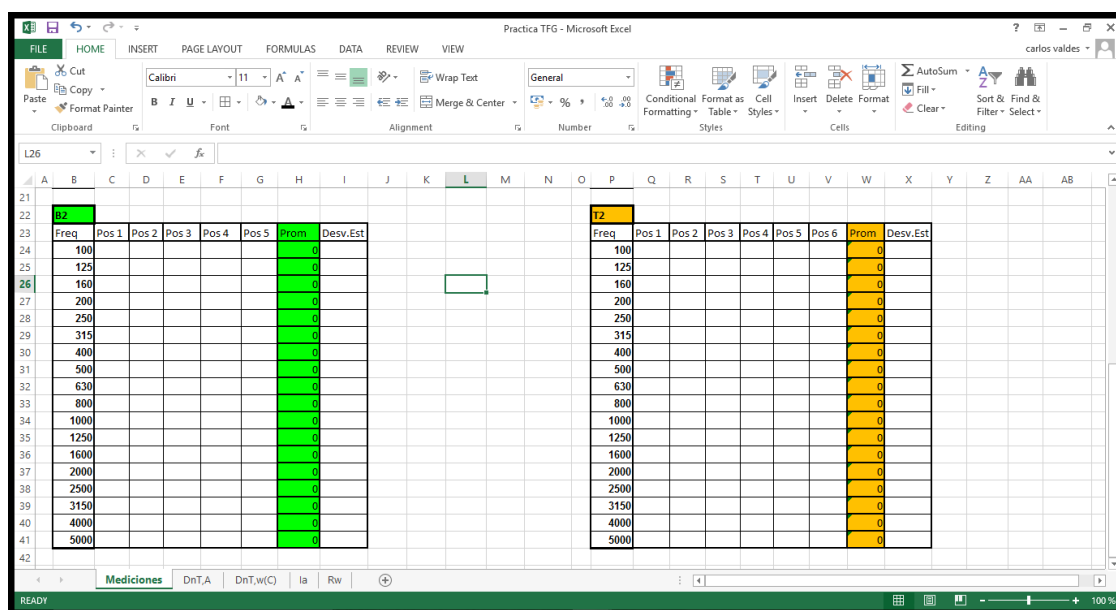


Figura 3-13 Pantalla del Excel de la Práctica para el volcado de B2 y T2

3.4.3 Fase III. Obtención detallada de los parámetros acústicos de aislamiento a partir de los resultados del ensayo (L1, L2, B2 y T2):

Una vez tengamos todos los niveles de presión acústica de los diferentes recintos, y en las diferentes posiciones elegidas en el Excel de la práctica, se dará paso al cálculo de los parámetros **DnT,w; Ia; DnT,w(C)** y **R'w** según los procedimientos dictados en las normas ISO 717-1 e ISO R-717.

Para el cálculo de estos parámetros globales de aislamiento se emplearán los valores de la curva de referencia para el aislamiento a ruido aéreo que proporciona la Norma UNE-EN ISO 717-1. Estos valores de referencia son los que se exponen a continuación en la Tabla 3-11 y la Figura 3-14.

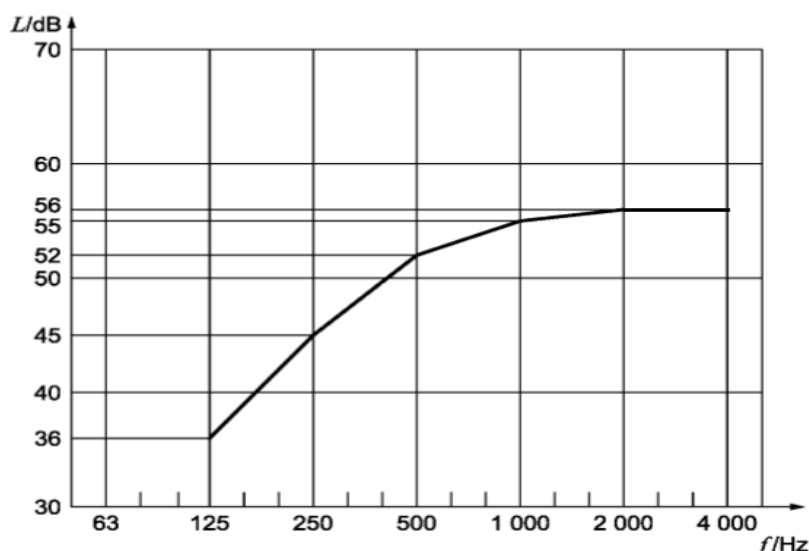


Figura 3-14 Gráfica de los valores de referencias

Frecuencia	Valores de referencia dB	
	Bandas de tercio de octava	Bandas de octava
100	33	36
125	36	
160	39	
200	42	45
250	45	
315	48	
400	51	52
500	52	
630	53	
800	54	55
1000	55	
1250	56	
1600	56	56
2000	56	
2500	56	
3150	56	

Tabla 3-11 Valores de referencia para cada banda de octava o banda de tercio de octava

Conviene indicar, de nuevo, que los índices y parámetros seleccionados para esta práctica son los de mayor uso y validez en la actualidad por normativas y publicaciones de relevancia en materia de aislamiento acústico. A continuación se explicará de forma detallada el procedimiento para obtener cada parámetro:

3.4.3.1 Parámetro $D_{nT,w}$

La diferencia de niveles estandarizada ponderada $D_{nT,w}$ es una magnitud global de aislamiento ponderada mediante una curva de referencia. La Norma UNE-EN ISO 717-1 describe este parámetro como la diferencia de niveles estandarizada a un tiempo de referencia ($T_0=0,5s$) medida en el recinto receptor y ponderada mediante el desplazamiento de la curva de referencia a 500 Hz sobre la curva de la D_{nT} .

Por lo tanto, la obtención del $D_{nT,w}$ tiene que realizarse a partir de la D_{nT} y la curva de referencia que dicta la Norma ISO 717-1. Teniendo la D_{nT} y la los valores de referencia para cada banda de tercio de octava la manera de proceder para obtener el $D_{nT,w}$ será la dispuesta en el Apartado 4.4 de la norma, donde se explica el método de comparación [24]:

“Para valorar los resultado de una medición de acuerdo con las Normas ISO 10140-2, ISO 16283-1 e ISO 16283-2 en bandas de una tercio de octava (o en bandas de octava), los datos de la misma se deben expresar con una cifra decimal. Desplácese la curva de referencia de interés en saltos de 1 dB (0,1 dB para la expresión de la incertidumbre) hacia la curva de medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea la mayor posible, pero no mayor a 32,0 dB (medición en 16 bandas de un tercio de octava), o a 10,0 dB (medición en 5 bandas de ovtava)”.

“Se produce una desviación desfavorable en una determinada frecuencia cunado el resultado de las mediciones es inferior al valor de referencia. Solo deben considerarse las desviaciones desfavorables”.

“El valor, en decibelios (o 1/10 dB para la expresión de la incertidumbre), de la curva de referencia a 500 Hz, después del desplazamiento, de acuerdo con este procedimiento es el valor de $D_{nT,w}$ ”.

Sabido esto, para obtener la diferencia de niveles estandarizada ponderada se seguirán los siguientes pasos:

- a) Calcular D_{nT} para cada banda de tercio de octava

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log\left(\frac{T_2}{T_0}\right) \text{ dB}$$

Fórmula 3-4 Fórmula del D_{nT}

Donde:

- L_1 es el nivel medio de presión sonora en el recinto emisor, en dB.
 - L_2 es el nivel medio de presión sonora en el recinto receptor, en dB.
 - T_2 es el tiempo de reverberación en el recinto receptor, en segundos.
 - T_0 es el tiempo de reverberación de referencia, 0,5 segundos.
- b) Desplazar la curva de referencia para que cuando al restarla a la D_{nT} de forma individual para cada banda de tercio de octava, los valores desfavorables (cuando la curva de referencia sea mayor que la curva que se crea con la D_{nT}) sumen lo máximo, pero no mayor de 32,0 dB.
- c) Seleccionar como $D_{nT,w}$ el valor de la curva desplazada a 500 Hz (véase la Figura 3-15).

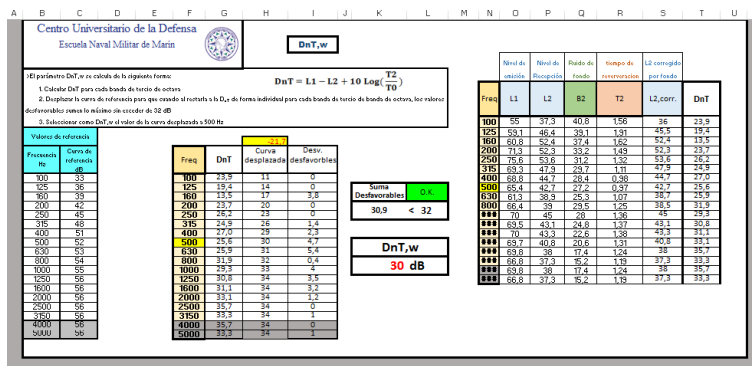


Figura 3-15 Pantalla del Excel diseñado para el cálculo de $D_{nT,w}$

3.4.3.2 Índice I_a .

El índice de aislamiento I_a es una magnitud global de aislamiento ponderada mediante una curva de referencia. La Norma UNE-EN ISO R-717 describe este parámetro como la diferencia de niveles estandarizada a un tiempo de referencia ($T_0=0,5s$) medida en el recinto receptor y ponderada mediante el desplazamiento de la curva de referencia a 500 Hz, cumpliendo unos determinados requisitos, sobre la curva de la D_{nT} .

Por lo tanto, para obtener la I_a tiene que realizarse a partir de la D_{nT} y la curva de referencia que dicta la Norma ISO 717-1. Teniendo la D_{nT} y la los valores de referencia para cada banda de tercio de octava, la manera de proceder para obtener el $D_{nT,w}$ será la dispuesta en la ISO R-717, donde se explica el método de comparación para obtener el índice de aislamiento global. Los pasos a seguir serán similares a los que se han de realizar para obtener la diferencia de niveles estandarizada global, pero no se regirán por los mismos criterios para el desplazamiento de la curva de referencia. La ISO R-717,

para el cálculo del índice de aislamiento global dicta dos condiciones de obligatorio cumplimiento en el desplazamiento de los valores de referencia para la obtención de este índice [34].

La manera de proceder para calcular el I_a será la siguiente:

- a) Calcular D_{nT} para cada banda de tercio de octava

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log\left(\frac{T_2}{T_0}\right) \text{ dB}$$

Fórmula 3-5 Fórmula del D_{nT}

Donde:

- L_1 es el nivel medio de presión sonora en el recinto emisor, en dB.
- L_2 es el nivel medio de presión sonora en el recinto receptor, en dB.
- T_2 es el tiempo de reverberación en el recinto receptor, en segundos.
- T_0 es el tiempo de reverberación de referencia, 0,5 segundos.

- b) Desplácese la curva de referencia en saltos de 1 dB sobre la curva D_{nT} hasta que se cumplan las condiciones siguientes:

- i) La media de las desviaciones desfavorables, es decir cuando el valor del aislamiento es inferior al de la curva de referencia desplazada, es mayor de 1 pero menor de 2. Dicha media la obtenemos dividiendo la suma de las desviaciones desfavorables por el número total de bandas de frecuencia controladas (16).
- ii) La máxima desviación desfavorable es inferior a 8 dB.

- c) En las condiciones definidas en el apartado anterior, determinamos el índice de aislamiento acústico a ruido aéreo global, I_a , como el valor que presenta la curva de referencia para la banda de 500 Hz (véase la Figura 3-16).

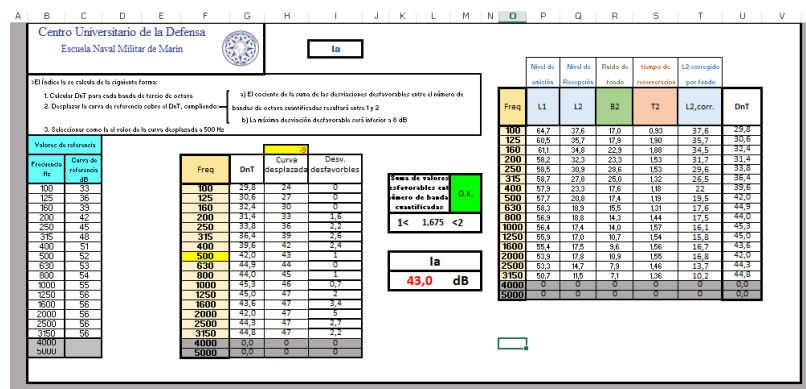


Figura 3-16 Pantalla del Excel diseñado para el cálculo del I_a

3.4.3.3 Parámetro $D_{nT,A}$ y $D_{nT,w}(C)$ a partir de la obtención de C

Los valores de aislamiento globales espectrales, denominada $D_{nT,w}+C$ ó $D_{nT,w}(C)$, son obtenida a partir de la diferencia de niveles estandarizada ponderada ($D_{nT,w}$). Para obtener estos parámetros globales de aislamiento es necesario el cálculo previo del parámetro de adaptación espectral C . Agregando el término espectral entre paréntesis al valor global $D_{nT,w}$, se obtiene el $D_{nT,w}(C)$. Por otro lado, sumándole el término espectral al $D_{nT,w}$ directamente, se obtendrá el $D_{nT,w}+C$, el cual, podrá aproximarse al $D_{nT,A}$.

Al adquirir la $D_{nT,w}(C)$ a raíz del $D_{nT,w}$ primero se deberá calcular este primero. Por lo que, siguiendo los pasos descritos anteriormente en relación al Apartado 4.4 de la ISO 717-1 de los métodos de comparación obtendremos la diferencia de niveles estandarizada ponderada que, con el cálculo del término de adaptación espectral C , se podrá llegar a aproximar al parámetro de aislamiento global ponderado A , $D_{nT,A}$ [24].

Nos estableceremos en un punto donde ya hallamos calculado $D_{nT,w}$, con lo cual, calcular C es lo siguiente que se tendrá que hacer. En el Apartado 4.5 de la Norma del cálculo de los términos de adaptación espectral se explica lo siguiente:

“Los términos de adaptación espectral, C_j , en decibelios, se deben calcularse con los espectros sonoros dado en el apartado 4.3, mediante la ecuación:

$$C_j = X_{Aj} - X_w$$

Donde

j es el índice de los espectros sonoros n° 1 y 2;

X_w es el valor del índice global calculado de acuerdo con 4.4 partir de los valores de R , R' , D_n , o D_{nT}' ,

X_{Aj} es calculado a partir de

$$X_{Aj} = -10 \lg \sum 10^{(L_{ij} - X_i)/10} \text{ dB}$$

Donde

i es el índice para las bandas de tercio de octava de 100 Hz a 3150 Hz, o para las bandas de octava de 125 Hz a 2000 Hz;

L_{ij} son los niveles de la frecuencia i para el espectro j , tal como se dan en el apartado 4.3;

X_i es el índice de reducción sonora R_i , o el índice de reducción sonora aparente, R'_i , o la diferencia normalizada de nivel sonoro, $D_{n,i}$, o la diferencia estandarizada de nivel sonoro, $D_{nT,i}$, a la frecuencia de medición, i , expresado con una cifra decimal.

Calcúlese la magnitud, X_{Aj} , con suficiente precisión y redondéese el resultado a un valor entero. El término de adaptación del espectro resultante es un valor entero por definición y se debe identificar de acuerdo con el espectro utilizado, como sigue:

C cuando se calcule con el espectro n° 1 (ruido rosa ponderado A);

C_{tr} cuando se calcule con el espectro n° 2 (ruido de tráfico urbano ponderado A)”

Conocido lo expuesto en el Apartado 4.5 de la Norma, se puede resumir el procedimiento del $D_{nT,A}$ de la siguiente forma:

- Cálculo de la D_{nT} y calculo posterior de la $D_{nT,w}$.
- Cálculo de X_A , que será menos diez logaritmo del sumatorio de diez elevado a la diferencia del nivel del espectro menos la D_{nT} a cada frecuencia de banda de tercio de octava entre diez. Es decir:

$$X_A = -10 \lg ((10^{(L_1 - D_{nT_1})/10}) + ((10^{(L_2 - D_{nT_2})/10}) + ... + (10^{(L_i - D_{nT_i})/10})) \text{ dB}$$

Fórmula 3-6 Suma logarítmica para obtener X_A

Se deberá tener en cuenta el espectro sonoro con el que se quiera realizar la ponderación, pues existen dos tipos diferentes de espectro, como se observa en la Tabla 3-12 de espectros de nivel sonoro para calcular los términos de adaptación que se da en la Norma ISO 717-1:

Frecuencia Hz	Niveles sonoros, L_{ij} dB			
	Espectro nº1 para calcular C		Espectro nº2 para calcular Ctr	
	Tercio de octava	Octava	Tercio de octava	Octava
100	-29	-21	-20	-14
125	-26		-20	
160	-23		-18	
200	-21	-14	-16	-10
250	-19		-15	
315	-17		-14	
400	-15	-8	-13	-7
500	-13		-12	
630	-12		-11	
800	-11	-5	-9	-4
1000	-10		-8	
1250	-9		-9	
1600	-9	-4	-10	-6
2000	-9		-11	
2500	-9		-13	
3150	-9		-15	

Tabla 3-12 Valores espectrales nº1 y nº2 para cada banda de octava o banda de tercio de octava

Una vez calculado X_A , para obtener C, se restará X_A menos $D_{nT,w}$. Teniendo entonces calculado el término espectral C, se procederá a expresar el resultado de la $D_{nT,w}(C)$ ó $D_{nT,w} + C$, de la siguiente forma:

$$C = X_A - D_{nT,w}$$

Fórmula 3-7 Fórmula para obtener el valor espectral C a partir de X_A y el valor global $D_{nT,w}$

Si se quiere expresar el $D_{nT,w}(C)$, habiéndose calculado el término espectral, C o C_{tr} :

➤ $D_{nT,w}(C) = 41 \text{ (-1) dBA}$

Si se pretende expresar el $D_{nT,w} + C$, se realiza de la siguiente forma:

➤ $D_{nT,w} + C = [41 - 1] = 40 \text{ dBA}$

Concluimos con el procedimiento para obtener el término espectral C , destacando que a partir de él se obtiene, tanto el $D_{nT}(C)$ y el $D_{nT,w} + C$, el cual puede equipararse y aproximarse al parámetro global de aislamiento ponderado A , $D_{nT,A}$ (véase la Figura 3-17).

Centro Universitario de la Defensa
Escuela Naval Militar de Marín

Cálculo de $D_{nT,A}$

- Se suman los valores de ponderación A a los valores L_1 de referencia (todos los valores son 200 dB).
- Se restan los D_{nT} a los valores L_1 de referencia ponderados.
- Se se calcula en dB la suma en naturales de los valores de L_1 de referencia ponderados.
- Restese la suma de L_1 ref A menos la suma de L_2 ref A.

Cálculo de $D_{nT,w}(C)$

- Se calcula K_A como el menos 10 logaritmo de la suma en naturales de la resta de los valores de espectro menos los D_{nT} .
- Se calcula C como la resta de K_A menos el $D_{nT,A}$.
- Se expresa el resultado de la siguiente forma:
 $D_{nT,w} = X \text{ (Y) dB}$

Cálculo de C para Espectro RPL

- Se calcula K_A como el menos 10 logaritmo de la suma en naturales de la resta de los valores de espectro menos los D_{nT} .
- Se calcula C como la resta de K_A menos el $D_{nT,A}$.
- Se expresa el resultado de la siguiente forma:
 $C = X_{aj} - D_{nT,w}$

Resultados:

- $D_{nT,w} = 30 \text{ dB}$
- $D_{nT,A} = 29 \text{ dBA}$
- $D_{nT,w}(C) = 30,5 \text{ (-1,5) dB}$
- $D_{nT,w} + C = 31,6 \text{ dB}$
- $C = -1,3$

Figura 3-17 Pantalla del Excel diseñado para el cálculo de C , $D_{nT,A}$, $D_{nT,w}(C)$ y $D_{nT,w} + C$

3.4.3.4 Parámetro R'_w

Al igual que la $D_{nT,w}$, el índice ponderado de reducción sonora, R'_w , es una magnitud global de aislamiento ponderada mediante una curva de referencia. La Norma UNE-EN ISO 717-1 describe este parámetro como la diferencia de niveles estandarizada a un ratio entre el área de separación entre locales y el área de absorción equivalente del recinto receptor, ponderada mediante el desplazamiento de la curva de referencia a 500 Hz sobre la curva de la R' .

Por lo tanto, la obtención del R'_w tiene que realizarse a partir de la R' y la curva de referencia que dicta la Norma ISO 717-1. Teniendo índice de reducción R' y la los valores de referencia para cada banda de tercio de octava la manera de proceder para obtener el R'_w será la dispuesta en el Apartado 4.4 de la norma, de la misma forma como se obtenía $D_{nT,w}$, donde se explica el método de comparación [24]:

“Para valorar los resultado de una medición de acuerdo con las Normas ISO 10140-2, ISO 16283-1 e ISO 16283-2 en bandas de una tercio de octava (o en bandas de octava), los datos de la misma se deben expresar con una cifra decimal. Desplácese la curva de referencia de interés en saltos de 1 dB (0,1 dB para la expresión de la incertidumbre) hacia la curva de medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea la mayor posible, pero no mayor a 32,0 dB (medición en 16 bandas de un tercio de octava), o a 10,0 dB (medición en 5 bandas de octava)”.

“Se produce una desviación desfavorable en una determinada frecuencia cuando el resultado de las mediciones es inferior al valor de referencia. Solo deben considerarse las desviaciones desfavorables”.

“El valor, en decibelios (o 1/10 dB para la expresión de la incertidumbre), de la curva de referencia a 500 Hz, después del desplazamiento, de acuerdo con este procedimiento es el valor de R_w ”.

Sabido esto, para obtener la diferencia de niveles estandarizada ponderada se seguirán los siguientes pasos:

a) Calcular R' para cada banda de tercio de octava

$$R' = L1 - L2 + 10 \log\left(\frac{S}{A}\right) \quad \text{ó} \quad R' = L1 - L2 + 10 \log\left(\frac{ST_2}{0,16V}\right)$$

$$A = \frac{0,16 V}{T}$$

Fórmula 3-8 Fórmulas para obtener R'

Donde:

- L_1 es el nivel medio de presión sonora en el recinto emisor, en dB.
 - L_2 es el nivel medio de presión sonora en el recinto receptor, en dB.
 - T_2 es el tiempo de reverberación en el recinto receptor, en segundos.
 - S es el área de la separación común, en metros cuadrados.
 - A es el área de la absorción equivalente del recinto receptor, en metros cuadrados.
 - V es el volumen del recinto receptor, en metros cúbicos.
- b) Desplazar la curva de referencia para que cuando al restarla a la R' de forma individual para cada banda de tercio de octava, los valores desfavorables (cuando la curva de referencia sea mayor que la curva que se crea con la R) sumen lo máximo, pero no mayor de 32,0 dB.
- c) Seleccionar como R'_w el valor de la curva desplazada a 500 Hz (véase la Figura 3-18).

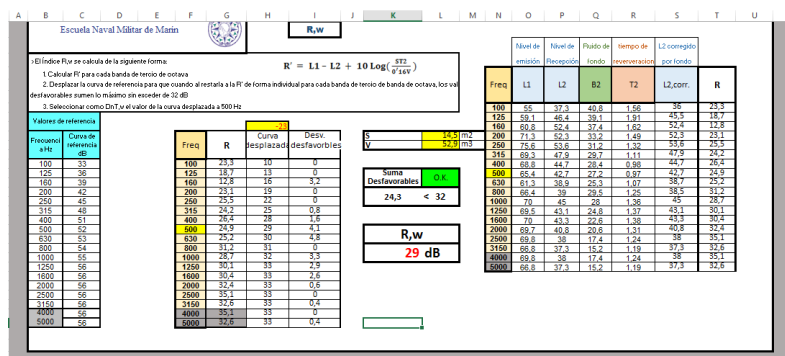


Figura 3-18 Pantalla del Excel diseñado para el cálculo de R'_w

4 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

4.1 Conclusiones

La calidad acústica constituye un aspecto que está adoptando gran importancia en la sociedad y se encuentra presente en de todos los ámbitos. El estudio del aislamiento acústico es una materia en la que se ha avanzado enormemente en el último siglo, no solo en construcciones o edificios, sino también en los buques; generándose, así una gran doctrina y documentación para la gestión de la calidad en este ámbito.

En el presente Trabajo de Fin de Grado se ha expuesto la problemática derivada la diversa normativa y se ha realizado una revisión y estudio de la misma, de cara a extraer los conceptos relativos al aislamiento acústico y a los parámetros de aislamiento de mayor aplicación. Así, se identificaron los parámetros de aislamiento acústico más actualizados para el diseño de la Práctica Docente que constituye el objetivo cumplido del presente Trabajo de Fin de Grado.

Revisada la normativa, cabe destacar que los buques de nueva construcción, y que presenten un alto grado de calidad acústica, se rigen, principalmente, por la resolución del Organismo Marítimo Internacional (OMI) MCS 337 (91) “Código sobre niveles de ruido a bordo de buques” y el *Comf-Noise* generado por *Bureau Veritas*. Estos dos documentos son los de mayor aplicación y se complementan entre ellos. De igual manera, a nivel OTAN, también se genera una normativa de exigencia acústica actualizada, *Stanag 4293 “Guidelines for the Acustical Enviroment in NATO Surface Ship”*, la cual se ha analizado en el presente Trabajo de Fin de Grado

En el ámbito militar, la Armada Española es una de las más modernas y actualizadas en la actualidad. Por ello, en materia de aislamiento acústico a bordo de los Buques, también cumple las exigencias acústicas de las normativas vigentes. Como se ha expuesto en el presente Trabajo de Fin de Grado, no existe una normativa internacional unificada; por lo que la Armada Española, a través del Estado Mayor de la Armada, genera una doctrina nacional, denominada “*Estándares de Habitabilidad para Buques de Nueva Construcción de la Armada*”, la cual engloba el aislamiento acústico abordado de los buques. Esta publicación deriva principalmente de la resolución de la OMI y del *Comfot Class* de *Bureau Veritas* y está reflejado en el documento para la definición del aislamiento acústico del Juan Carlos I, Buque de la Armada, que se tomó como ejemplo para estudiar sus exigencias acústicas.

El objetivo fundamental de este Trabajo de Fin de Grado, residía en el diseño una Práctica Docente para la adquisición de conocimientos relativos al aislamiento acústico. Dicha Práctica se ha diseñado,

exhaustivamente para realizar ensayos de aislamiento acústico cumpliendo con las Normas ISO referentes a los procedimientos de ensayo y para calcular los parámetros de aislamiento acústicos de interés; alcanzándose satisfactoriamente los requisitos que se proponían para ella. Esta Práctica Docente consta de dos partes: La memoria, donde el alumno adquirirá de forma minuciosa los conocimientos relativos al procedimiento para realizar el ensayo acústico (procedimientos e instrumentación) y el libro de Excel que consigue el cálculo de los parámetros acústicos globales de interés ($D_{nT,w}$; R'_w ; I_a y $D_{nT,A}$) a partir de los niveles medidos en los locales (L1 y L2), el ruido de fondo (B2) y el tiempo de reverberación (T2).

Cabe destacar que la Práctica Docente es de utilidad para diferentes normativas de aislamiento acústico que contenga las exigencias de aislamiento en este sentido. La Práctica posee un formato dinámico y está enfocada de forma genérica; es decir, el procedimiento expuesto, siguiendo las Normas ISO, es de empleo para tanto buques, como edificios. Por lo tanto, el alumno adquiere, la capacidad de realizar ensayos en diversos espacios, y comprobar el cumplimiento de la normativa que de aplicación, mediante el cálculo de los parámetros más relevantes empleando el libro de Excel diseñado.

Por último, como conclusión global del Presente Trabajo de Fin de Grado, podemos indicar que la Práctica Docente ha sido diseñada de forma adecuada y exitosa, permitiendo a un alumno de grado realizar ensayos acústicos con el exacto y comedido procedimiento dispuesto en las Normas ISO y proporcionándole la capacidad inequívoca del cálculo de los parámetros acústicos de interés a partir de los datos recogidos en el ensayo acústico.

4.2 Líneas futuras

Realizadas las conclusiones del presente Trabajo de Fin de Grado, a continuación, se proponen algunas posibles líneas futuras:

Existen muchos factores que determinen la precisión de los resultados obtenidos en un ensayo, entre ellos el factor humano o el factor de calibración de equipos. Por ello se propone un trabajo que, a partir de los resultados de haber realizado la Práctica por diferentes grupos, se evalúe la disparidad de los resultados obtenidos a modo de intercomparación.

También se propone el empleo de la presente Práctica Docente diseñada para evaluar el aislamiento acústico entre dos recintos clave de las Lanchas de Instrucción de la Escuela Naval Militar: cámara de máquinas como recinto emisor y zona de alojamientos y habitabilidad como recinto receptor. Los resultados permitirán cuantificar la diferencia de calidad acústica en relación a los valores empleados en las normativas de referencia estudiadas en el presente Trabajo de Fin de Grado.

En cuanto al estudio de los parámetros de aislamiento de mayor aplicación, se propone que, a partir de las normativas y de datos reales, se profundice en cuál será el parámetro óptimo para evaluar la calidad acústica en buques de la Armada.

Por último, se propone un proyecto de creación de un grupo de investigación conjunto en el Centro Universitario de la Defensa de la Escuela Naval Militar que comparta con personal de la Armada, resultados obtenidos relativos a la calidad acústica de buques. Esta línea de acción propuesta, tendrá el objetivo de unificar esfuerzos en relación al desarrollo de una normativa de calidad acústica para uso en todos los buques de la Armada.

5 BIBLIOGRAFÍA

En este Capítulo figurarán todas las referencias usadas, sean recursos web, libros, artículos y normativa de referencia.

- [1] Estado Mayor de la Armada, Líneas Generales de la Armada 2012, Madrid, 2012.
- [2] S. R. Carreras, «Cálculo Predictivo y Mediciones in situ,» *Acústica ingeniería del silencio S.R.L.*, p. 2, Septiembre 2014.
- [3] Organización Marítima Internacional, MCS 337 (91) "Código sobre niveles de ruido a bordo de buques", 2012.
- [4] A. b. sevellano, «www.sistemamid.com,» 2013. [En línea]. Available: http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-10-18_08-30-44111921.pdf.
- [5] C. R. W., Tomas Alva Edison: El Hombre que inventó el futuro, 1977.
- [6] Í. L. Cebrián, «www.arauacustica.com/ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA S.A.,» [En línea]. Available: https://www.arauacustica.com/files/noticias/pdf_esp_354.pdf.
- [7] A. M. y. J. F. Sánchez, Acústica arquitectónica básica.
- [8] Elsie Rockwell y Ruth Mercado, Dpto. de Investigación Educativa, La práctica docente y la formación de maestros, Investigación en la Escuela, 1988.
- [9] M. Á. Z. Beraza, «www.udc.es,» Octubre 2004. [En línea]. Available: <http://www.udc.es/grupos/apumefyr/docs/guiadeguias.pdf>.
- [10] M. A. Z. Beraza, «Guía para la Planificación Didáctica de la Docencia Universitaria,» Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, 2004.
- [11] C. M. C. Iglesias, «www.eumed.net,» [En línea]. Available: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2008b/395/#indice>.
- [12] Matritza Cáceres Mesa y Carlos Manuel Cañedp Iglesias, Fundamentos teóricos para la implementación de la didáctica en el proceso de ensañaza-aprendizaje.
- [13] Bureau Veritas, «www.bureauveritas.es,» [En línea]. Available:

- http://www.bureauveritas.es/EzzDKCJw/NAVAL_ATMaritima_MedicionesAF.pdf.
- [14] A. M. Jaramillo, *Acústica: La ciencia del sonido*, Instituto Técnico Metropolitano, 2007.
- [15] F. B. Álvarez, «www6.uniovi.es,» [En línea]. Available: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/TemaII.2.4.ACUSTICAS.B.pdf>.
- [16] Bruel & Kjaer, "Production data", «www.bksv.es,» 2003. [En línea]. Available: <https://www.bksv.com/es-ES/products-countries>.
- [17] Dpto. de la señal de la comunicación, "Cap II, Aislamiento Acústico", «gcastro.webs.uvigo.es,» [En línea]. Available: http://gcastro.webs.uvigo.es/PFC/Capitulo_dos_b.htm.
- [18] «Boston University College of Fine Arts,» University of Boston, 2016. [En línea]. Available: <https://www.bu.edu/cfa/news-events/events/symphonyhall/>.
- [19] «Viendo Teatro,» 30 Mayo 2012. [En línea]. Available: <https://viendoteatro.wordpress.com/2012/05/30/teatro-romano-de-bosra-siria/>.
- [20] Física "Ondas longitudinales y transversales", 13 Junio 2012. [En línea]. Available: <http://demezcalaparaelmundo.blogspot.com.es/2012/06/ondas-se-podria-definir-una-onda-como.html>.
- [21] «Cuentos Cuánticos,» 10 Febrero 2016. [En línea]. Available: <https://cuentos-cuanticos.com/2016/02/10/la-que-se-avecina-las-ondas-gravitacionales-2/>.
- [22] «Profesor en línea,» Abril 20105. [En línea]. Available: <http://www.profesorenlinea.cl/fisica/SonidoOndas.htm>.
- [23] «Rodeado d Ondas "Experimentando",» 24 Septiembre 2015. [En línea]. Available: <http://rodeados-de-ondas.blogspot.com.es/>.
- [24] «Dopa,» The Italian Edge for Sound Technology, Marzo 2006. [En línea]. Available: <http://www.doctorproaudio.com/content.php?11-referencias-refuerzo-sonoro-sonido>.
- [25] S. R. Rodríguez, «Acondicionamiento Acústico,» Universidad de Arquitectura Técnica, A Coruña, 2013.
- [26] «Digital AV,» MultiPresenter TM, 14 Marzo 2013. [En línea]. Available: <http://www.digitalavmagazine.com/2013/03/14/equipson-pone-en-marcha-su-propia-camara-anecoica/>.
- [27] C. Rougeron, «Acustica y Sonido,» TecniAcustica Murcia, 29 Marzo 2011. [En línea]. Available: <http://acusticaysonido.com/?p=198>.
- [28] H. A. Gloria, «Sistemas de Comunicaciones,» [En línea]. Available: <http://sistemasdecomunicaciones.mex.tl/el-sonido-y-las-ondas.html>.
- [29] S. G.O.C., «Evaluación de aislamiento a ruido aéreo entre cabinas y de cabinas con pasillo.,» Cardama, Vigo, 2011.
- [30] UNE-EN ISO 717-1, 2013.
- [31] UNE-EN ISO 16283-1, 2014.
- [32] UNE-EN ISO R-717, 1968.
- [33] E. Torroja, *Acústica de la edificación. Norma, materiales, instrumentación y control*, 2015.
- [34] UNE-EN ISO 60651, 1994.

- [35] UNE-EN ISO 60268-2, 2002.
- [36] UNE-EN ISO 60942, 2001.
- [37] STANAG 4293 “Guidelines for the Acustical Enviroment in NATO Surface Ship”, 1990.
- [38] USA Navy, MIL-STD 1472G “Desig Criteria Standard Human Engineering”, 2012.
- [39] Boreau Veritas, COMFORT CLASS, 2011.

ANEXO I: CONTENIDO DE LA PRÁCTICA DOCENTE EN FORMATO DE EMPLEO PARA UNA CLASE



CONTENIDO DE LA PRÁCTICA DOCENTE



“EVALUACIÓN DE AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO AÉREO ENTRE ESPACIOS DE BUQUES”

Nombre y apellidos:

Grupo:

Número:



PRÁCTICA DOCENTE

Evaluación de aislamiento acústico a ruido aéreo entre espacios de buques

Índice

Índice.....	2
1. Introducción y objetivos	3
1.1 Introducción.....	3
1.2 Objetivos.....	3
2. Competencias a adquirir por el alumno mediante la práctica	4
3. Desarrollo de la Práctica Docente	5
3.1 Fase I: Realización de los ensayos acústicos <i>in situ</i> : Obtención de L1, L2, B2 y T2... ..	5
3.2 Fase II: Volcado en el laboratorio de los datos acústicos recogidos en los ensayos.....	7
3.3 Fase III: Obtención detallada de los parámetros acústicos de aislamiento a partir de los datos recogidos en la Fase II.....	10
3.4 Fase IV: Conclusiones: Análisis de los resultados en relación con la normativa	19
3.5 Fase V: Contenido de un informe acústico.....	19
4. Requisitos y protocolo para los ensayos	20



1. Introducción y objetivos

1.1 Introducción

El aislamiento acústico es fundamental para generar un ambiente de comodidad y bienestar a la dotación. Dependiendo de la zona del buque en la que nos encontremos se define una exigencia de aislamiento. Actualmente, en la construcción de buques el peticionario focaliza la atención, principalmente, en el aislamiento acústico conseguido entre alojamientos y en compartimentos relativamente cercanos a la sala de máquinas.

Como se ha enlazado anteriormente, existe una cantidad considerable de normativa en materia de aislamiento acústico en buques, indicando cada una de ellas diferentes niveles de exigencia en el aislamiento acústico.

Por lo general, los buques son contruidos guiándose por estas publicaciones y respetando las exigencias de los límites acústicos; sin embargo, los buques militares pueden estar exentos del cumplimiento de este tipo de normativa. Aun así, los buques de la Armada Española se han regido y se verifican por las normas de mayor empleo durante los últimos 20 años.



Por ello, se promueve y diseña la presente práctica docente, la cual permitirá adquirir competencias a los alumnos de grado de la Escuela Naval Militar para evaluar el aislamiento y acondicionamiento acústico entre los compartimentos en los que sea preciso realizar estos ensayos, para la comprobación del cumplimiento normativo. Además, en buques militares, los estándares de aislamiento acústico requeridos, en algunos casos, son más exigentes en determinadas zonas, entre ellas zonas de habitabilidad.

1.2 Objetivos

En este contexto, la práctica pretende que el alumno cumpla unos objetivos determinados. Se deberá abordar la obtención por parte del alumno de conocimientos en lo que a normativa acústica se refiere para que pueda interpretar y comprender los resultados obtenidos en ensayos de aislamiento. Esta normativa se definirá posteriormente en el Capítulo 2 de la práctica.

Así, el alumno ha de conocer el procedimiento de medición y de obtención de datos. Dichos datos, serán exportados a un libro de Excel que permitirá obtener los valores de



los parámetros de aislamiento. Los parámetros e índices de aislamiento que el alumno será capaz de calcular serán los siguientes:

La diferencia de niveles estandarizada ponderada, $D_{nT,w}$

La diferencia de niveles estandarizada ponderada A, $D_{nT,A}$

Índice ponderado de reducción sonora aparente, R'_w

Índice de aislamiento, I_a .

Finalmente, se deberá calcular mediante un libro de Excel los resultados de los parámetros de aislamiento (a partir de L1, L2, B2 y T2), teniendo en cuenta que los ensayos se podrán realizar a cualquier tipo de buque. A la hora de aportar sus conclusiones sobre las características acústicas de aislamiento y reducción de ruido ambiental en espacios de buques, el alumno será conocedor de los límites de ruido estandarizados por las publicaciones de aislamiento para construcción de buques de mayor significación.

2. Competencias a adquirir por el alumno mediante la práctica

a) El alumno se familiarizará con las Normas ISO 16283 “*Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios en los elementos de construcción*” relativas al desarrollo de los ensayos de aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos. En ellas se describen los procedimientos para las mediciones in situ del aislamiento acústico, más concretamente en la Norma ISO 16283-1 que recoge estos procedimientos para ruido aéreo.

b) Se adquirirán también, conocimientos sobre aislamiento acústico, por lo tanto se familiarizará con la Norma ISO 717 “*Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y elementos de construcción*” relativa a la definición de magnitudes globales para el aislamiento a ruido aéreo y a la clasificación y simplificación de los requisitos acústicos.

c) Se adquirirán conocimientos más genéricos que los expuestos en el Apartado 3.1.3, donde se revisó la normativa. El alumno será conocedor tanto de los niveles máximos de referencia como de los límites de exposición al ruido descritos en normativas como Stanag 4293 “*Guidelines for the Acustical Enviroment in NATO Surface Ship*”, Comf-Noise de Boreau Veritas, la resolución de la OMI 337 (91) y la Mil-Std 1472G.

d) El alumno se familiarizará con los equipos y programas informáticos acústicos específicos para la realización de ensayos de aislamiento. Estos quipos y programas están descritos en la normativa previamente nombrada, introduciendo al alumno, no solo a la correcta utilización de los equipos, sino también en los factores condicionantes para la realización de las medidas.



Los instrumentos y software de medidas son los que se relacionan a continuación:

- Sonómetro integrador
- Fuente sonora
- Calibrador acústico
- Amplificador
- Software Qualifier Tipo 7830

e) Observación y análisis del volcado de datos en laboratorio y la obtención de los valores de aislamiento. En este epígrafe se engloba que el alumno adquiera todas las competencias relacionadas con la realización de los ensayos y la obtención de datos; es una competencia final y conclusiva a las anteriores, ya que se supedita al conocimiento de las normas ISO y de la instrumentación.

No solo se requerirá que el alumno conozca el software Qualifier y se familiarice con él, sino que sepa realizar el correcto volcado de datos en el correspondiente libro de Excel diseñado en el presente Trabajo de Fin de Grado. Con esto se pretende que sea capaz de obtener los parámetros de aislamiento y que estudie cómo varían los resultados según el parámetro seleccionado, atendiendo a la normativa acústica; siguiendo los pasos que se exponen en la Práctica Docente.

3. Desarrollo de la Práctica Docente

3.1 Fase I: Realización de los ensayos acústicos *in situ*: Obtención de L1, L2, B2 y T2

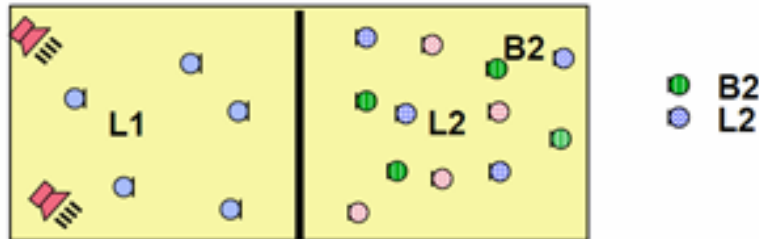
a) Niveles de presión sonora: L1 y L2

Para la selección de las posiciones del micrófono en un recinto y de los tiempos de promediado para el ensayo será preciso cumplir con lo dispuesto a continuación:

- 0,7 m entre las posiciones de micrófono.*
- 0,5 m entre cualquier posición de micrófono y los límites del recinto.*
- 1,0 m entre cualquier posición de micrófono y la fuente sonora.*



El tiempo de promediado en cada posición de micrófono individual debe ser al menos 6 s en el rango de frecuencias de 100 Hz a 400 Hz. Para 500 Hz a 5000 Hz, está permitido reducir el tiempo a no menos de 4 s.



$$L = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}}$$

De igual manera, se encuentra recogida en la normativa la posición de la fuente sonora, debiendo cumplir estos mínimos y en la medida de lo posible superarlos:

- 0,5 m entre los límites del recinto y su posición.
- 1,0 m por encima del suelo.

b) Ruido de fondo: B2

Para la obtención del ruido de fondo ha de conocerse lo siguiente:

Se deben realizar las mediciones de los niveles de ruido de fondo para garantizar que el nivel de señal en el recinto receptor no está afectado por el ruido de fondo y para permitir una corrección en caso necesario.

Así, para los procedimientos por defecto y de baja frecuencia, el nivel del ruido de fondo debe ser al menos 6 dB (y preferiblemente más de 10 dB) por debajo del nivel de señal y el ruido de fondo combinado a cada banda de frecuencia. Si la diferencia de niveles es inferior a 10 dB pero es superior a 6 dB, se calculan las correcciones del nivel de presión acústica promediado energéticamente y el nivel de presión acústica de la esquina haciendo uso de la fórmula siguiente:

$$L = 10 \lg (10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10})$$



Para la obtención de B2 (dB) se efectuarán 5 mediciones del mismo en el local receptor (en 5 posiciones distintas).

- En todos los muestreos mencionados anteriormente las posiciones de micrófono se situarán a 1,2 m de altura.
- La constante de tiempo utilizada será la de posición lenta (S) según UNE/EN 60651.

c) Tiempo de reverberación: T2

Para el cálculo de la variable del tiempo de reverberación se realizará el método ininterrumpido:

Para las posiciones del micrófono fijas o de mano, el número mínimo de mediciones requerido para cada banda de frecuencias es seis. Se debe utilizar al menos una posición del altavoz con tres posiciones del micrófono fijas y dos mediciones en cada posición, o seis posiciones del micrófono fijas y una medición en cada posición.

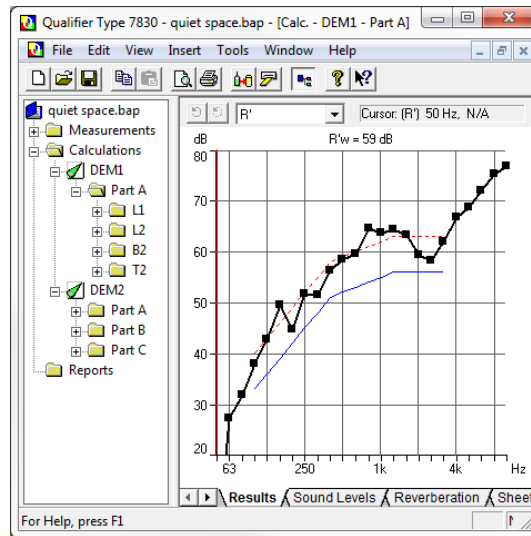
Así, para la determinación del tiempo de reverberación en el **local receptor** T2 se tomarán 6 registros con un mínimo de 4 posiciones distintas de foco sonoro impulsivo y 3 posiciones de micrófono.

Las posiciones de micrófono cumplieron los siguientes requisitos:

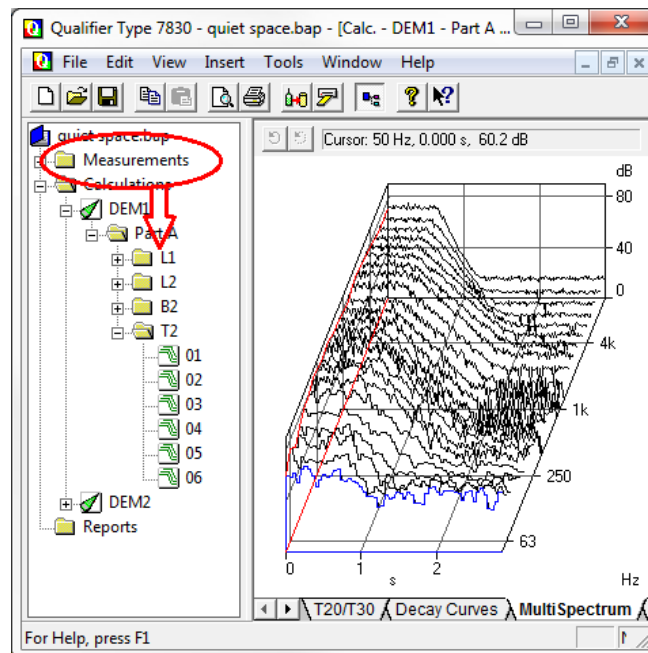
- Alejadas más de 0,5 m de las paredes laterales.
- Un mínimo de 0,7 m entre ellas.
- Un mínimo de 1 m de la fuente sonora impulsiva.

3.2 Fase II: Volcado en el laboratorio de los datos acústicos recogidos en los ensayos

Se realizará un volcado en laboratorio de los datos acústicos recogidos durante las medidas realizadas en el ensayo acústico in situ mediante software específico denominado QUALIFIER Type 7830 de Bruel&Kjaer, complementado con los software Type 2260-D con BZ-7204:

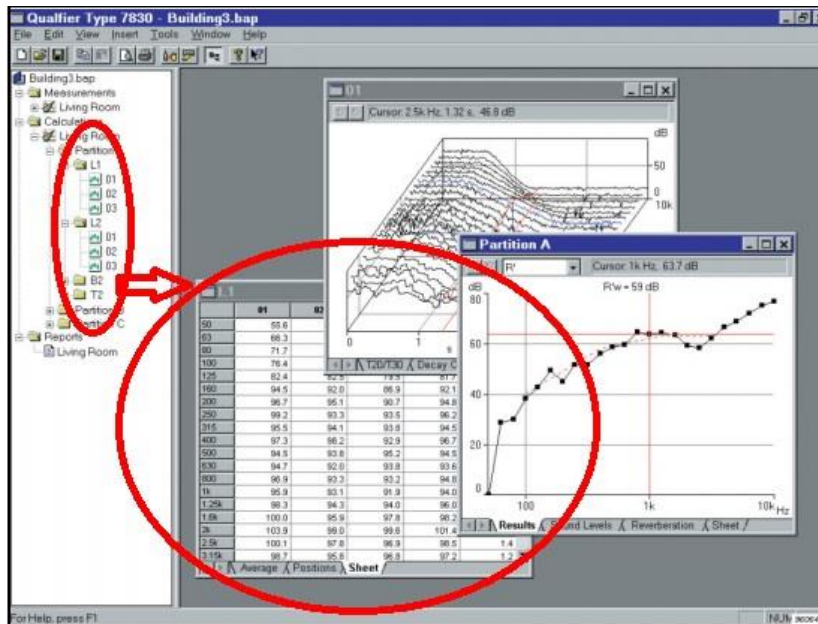


- Una vez instalado el CD del Qualifier 7830 se deberá conectar el cable AO-1386 del sonómetro al ordenador e iniciará el programa.
- Se mostrará, a continuación, en la interfaz del programa un recuadro en la parte izquierda con diferentes pestañas. En él se seleccionará la pestaña “MEASUREMENTS”. Al seleccionar esta pestaña se desglosarán las diferentes posiciones en las que se haya realizado el ensayo.





- c) Podrá observar como en cada posición se desglosan los diferentes niveles L1, L2 y B2 y el tiempo de reverberación T2. Seleccione estas pestañas y obtendrá de forma numerada cada medición realizada en formato tabla y dividida en frecuencias.



- d) Seleccione las mediciones, cópielas y péguelas en la columna correspondiente (L1, L2, B2 y T2) del libro de Excel proporcionado.

FILE

HOME

INSERT

PAGE LAYOUT

FORMULAS

DATA

REVIEW

VIEW

Cut

Copy

Paste

Format Painter

Calibri

11

A

A

Wrap Text

Merge & Center

General

Conditional Formatting

Format as Table

Cell Styles

Insert

Delete

Format

AutoSum

Fill

Clear

Sort & Filter

Find & Select

carlos valdes

V25

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB
1	L1															L2												
2	Freq	Pos 1	Pos 2	Pos 3	Pos 4	Pos 5	Pos 6	Pos 7	Pos 8	Pos 9	Pos 10	Prom	Desv.Est			Freq	Pos 1	Pos 2	Pos 3	Pos 4	Pos 5	Pos 6	Pos 7	Pos 8	Pos 9	Pos 10	Prom	Desv.Est
3	100											0				100											0	
4	125											0				125											0	
5	160											0				160											0	
6	200											0				200											0	
7	250											0				250											0	
8	315											0				315											0	
9	400											0				400											0	
10	500											0				500											0	
11	630											0				630											0	
12	800											0				800											0	
13	1000											0				1000											0	
14	1250											0				1250											0	
15	1600											0				1600											0	
16	2000											0				2000											0	
17	2500											0				2500											0	
18	3150											0				3150											0	
19	4000											0				4000											0	
20	5000											0				5000											0	



Practica TFG - Microsoft Excel

FILE

HOME

INSERT

PAGE LAYOUT

FORMULAS

DATA

REVIEW

VIEW

Cut

Copy

Format Painter

Calibri

11

A⁺

A⁻

B

I

U

+

Font

Wrap Text

Alignment

Number

General

Conditional Formatting

Format as Table

Cell Styles

Insert

Delete

Format

AutoSum

Fill

Clear

Sort & Filter

Find & Select

Clipboard

Font

Alignment

Number

Styles

Editing

L26

X

✓

f_x

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB
21																												
22																												
23																												
24																												
25																												
26																												
27																												
28																												
29																												
30																												
31																												
32																												
33																												
34																												
35																												
36																												
37																												
38																												
39																												
40																												
41																												
42																												

Mediciones

DnT,A

DnT,w(C)

Ia

Rw

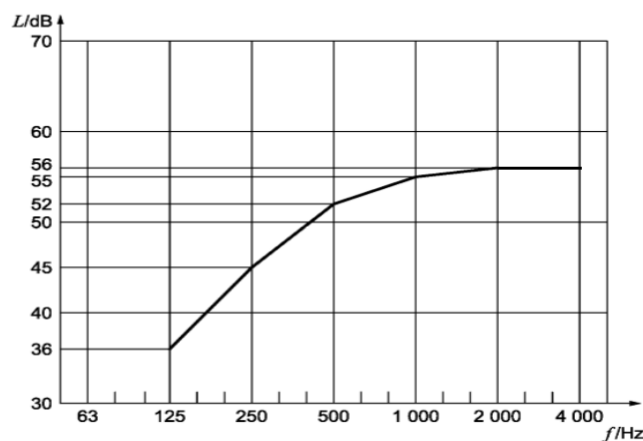
READY

</

3.3 Fase III: Obtención detallada de los parámetros acústicos de aislamiento a partir de los datos recogidos en la Fase II

Una vez tengamos todos los niveles de presión acústica en los diferentes recintos y en las diferentes mediciones de las posiciones elegidas en el Excel de la práctica, se dará paso al cálculo de los parámetros **DnT,w**; **Ia**; **DnT,w(C)** y **R'_w** según los procedimientos dictados en las normas ISO 717-1 e ISO R-717. En todo caso, los alumnos los calcularán mediante hojas Excel.

Para el cálculo de estos parámetros los valores de la curva de referencia para el aislamiento a ruido aéreo que proporciona la Norma UNE-EN ISO 717-1 para obtener valores de aislamiento globales. Estos valores de referencia son los que se exponen a continuación:





Frecuencia	Valores de referencia	
	dB	
Hz	Bandas de tercio de octava	Bandas de octava
100	33	36
125	36	
160	39	
200	42	45
250	45	
315	48	
400	51	52
500	52	
630	53	
800	54	55
1000	55	
1250	56	
1600	56	56
2000	56	
2500	56	
3150	56	

Los índices y parámetros seleccionados para esta práctica son los de mayor uso y validez en la actualidad por normativas y publicaciones de relevancia en materia de aislamiento acústico. A continuación se explicará de forma detallada el procedimiento para obtener cada parámetro:

4.3.1 Parámetro $D_{nT,w}$

La diferencia de niveles estandarizada ponderada $D_{nT,w}$ es una magnitud global de aislamiento ponderada mediante una curva de referencia. La Norma UNE-EN ISO 717-1 describe este parámetro como la diferencia de niveles estandarizada a un tiempo de referencia ($T_0=0,5s$) medida en el recinto receptor y ponderada mediante el desplazamiento de la curva de referencia a 500 Hz sobre la curva de la D_{nT} .

Por lo tanto, para obtener la $D_{nT,w}$ tiene que realizarse a partir de la D_{nT} y la curva de referencia que dicta la Norma ISO 717-1. Teniendo la D_{nT} y la los valores de referencia para cada banda de tercio de octava la manera de proceder para obtener el $D_{nT,w}$ será la dispuesta en el Apartado 4.4 de la norma, donde se explica el método de comparación:

Para valorar los resultado de una medición de acuerdo con las Normas ISO 10140-2, ISO 16283-1 e ISO 16283-2 en bandas de una tercio de octava (o en bandas de octava), los datos de la misma se deben expresar con una cifra decimal. Desplácese la curva de referencia de interés en saltos de 1 dB (0,1 dB para la expresión de la incertidumbre) hacia la curva de medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea la mayor posible, pero no mayor a 32,0 dB (medición en 16 bandas de un tercio de octava), o a 10,0 dB (medición en 5 bandas de ovtava).

Se produce una desviación desfavorable en una determinada frecuencia cuando el resultado de las mediciones es inferior al valor de referencia. Solo deben considerarse las desviaciones desfavorables.



4.3.2 Índice I_a

El índice de aislamiento I_a es una magnitud global de aislamiento ponderada mediante una curva de referencia. La Norma UNE-EN ISO R-717 describe este parámetro como la diferencia de niveles estandarizada a un tiempo de referencia ($T_0=0,5s$) medida en el recinto receptor y ponderada mediante el desplazamiento de la curva de referencia a 500 Hz, cumpliendo unos determinados requisitos, sobre la curva de la D_{nT} .

Por lo tanto, para obtener la I_a tiene que realizarse a partir de la D_{nT} y la curva de referencia que dicta la Norma ISO 717-1. Teniendo la D_{nT} y la los valores de referencia para cada banda de tercio de octava, la manera de proceder para obtener el $D_{nT,w}$ será la dispuesta en la ISO R-717, donde se explica el método de comparación para obtener el índice de aislamiento global. Los pasos a seguir serán similares a los que se han de realizar para obtener la diferencia de niveles estandarizada global, pero no se registrarán por los mismos criterios para el desplazamiento de la curva de referencia. La ISO R-717, para el cálculo del índice de aislamiento global dicta dos condiciones de obligatorio cumplimiento en el desplazamiento de los valores de referencia para la obtención de este índice.

La manera de proceder para calcular el I_a será la siguiente:

- a) Calcular D_{nT} para cada banda de tercio de octava

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log\left(\frac{T_2}{T_0}\right) \text{ dB}$$

Donde:

- L_1 es el nivel medio de presión sonora en el recinto emisor, en dB.
 - L_2 es el nivel medio de presión sonora en el recinto receptor, en dB.
 - T_2 es el tiempo de reverberación en el recinto receptor, en segundos.
 - T_0 es el tiempo de reverberación de referencia, 0,5 segundos.
- b) Desplácese la curva de referencia de la ISO R-717 en saltos de 1 dB sobre la curva D_{nT} hasta que se cumplan las condiciones siguientes:
 - i) La media de las desviaciones desfavorables, es decir cuando el valor del aislamiento es inferior al de la curva de referencia desplazada, es mayor de 1 pero menor de 2. Dicha media la obtenemos dividiendo la suma de las desviaciones desfavorables por el número total de bandas de frecuencia controladas (16).
 - ii) La máxima desviación desfavorable es inferior a 8 dB.



- c) En las condiciones definidas en el apartado anterior, determinamos el índice de aislamiento acústico a ruido aéreo global, I_a , como el valor que presenta la curva de referencia para la banda de 500 Hz.

Una vez entendido el proceso anterior, se obtendrá el índice global mediante la hoja de Excel diseñada para ello.

Centro Universitario de la Defensa
Escuela Naval Militar de Marín

I_a

El índice se calcula de la siguiente forma:

1. Calcular DnT para cada banda de tercio de octava
2. Desplazar la curva de referencia sobre el DnT, cumpliendo:
 - a) El cociente de la suma de las desviaciones desfavorables entre el número de bandas de octava cuantificadas resultará entre 1 y 2
 - b) La máxima desviación desfavorable será inferior a 8 dB
3. Seleccionar como la el valor de la curva desplazada a 500 Hz

Valores de referencia

Frecuencia Hz	Curva de referencia dB
100	33
125	36
160	39
200	42
250	45
315	48
400	51
500	52
630	53
800	54
1000	55
1250	56
1600	56
2000	56
2500	56
3150	56
4000	56
5000	56

Freq	DnT	Curva desplazada	Desv. desfavorables
100	29,8	24	0
125	30,6	27	0
160	32,4	30	0
200	31,4	33	1,6
250	33,8	36	2,2
315	36,4	39	2,6
400	39,6	42	2,4
500	42,0	43	1
630	44,9	44	0
800	44,0	45	1
1000	45,3	46	0,7
1250	45,0	47	2
1600	43,6	47	3,4
2000	42,0	47	5
2500	44,3	47	2,7
3150	44,8	47	2,2
4000	0,0	0	0
5000	0,0	0	0

Suma de valores desfavorables en número de bandas cuantificadas: **1 < 1,675 < 2**

I_a
43,0 dB

Nivel de emisión	Nivel de Recepción	Ruido de fondo	Tiempo de reverberación	L2 corregido por fondo	DnT	
100	64,7	37,6	17,0	0,93	37,6	29,8
125	60,6	36,7	17,9	1,90	35,7	30,6
160	61,1	34,8	22,9	1,88	34,5	32,4
200	58,2	32,3	23,3	1,53	31,7	31,4
250	58,5	30,9	28,6	1,53	29,6	33,8
315	58,7	27,8	25,0	1,32	26,5	36,4
400	57,9	23,3	17,6	1,18	22	39,6
500	57,7	20,8	17,4	1,18	19,5	42,0
630	58,3	18,9	16,5	1,31	17,6	44,9
800	56,9	18,8	14,3	1,44	17,5	44,0
1000	56,4	17,4	14,0	1,57	16,1	45,3
1250	55,9	17,0	10,7	1,54	15,8	45,0
1600	55,4	17,5	9,6	1,56	16,7	43,6
2000	53,9	17,8	10,9	1,55	16,8	42,0
2500	53,3	14,7	7,9	1,46	13,7	44,3
3150	50,7	11,5	7,1	1,36	10,2	44,8
4000	0	0	0	0	0	0,0
5000	0	0	0	0	0	0,0

4.3.3 Parámetro $D_{nT,w}(C)$

La diferencia de niveles estandarizada ponderada, también denominada $D_{nT,w}+C$ ó $D_{nT,w}(C)$, es obtenida a partir de la diferencia de niveles estandarizada ponderada ($D_{nT,w}$) añadiéndole la suma de un término de adaptación espectral (C).

Al adquirir la $D_{nT,w}(C)$ a raíz del $D_{nT,w}$ primero se deberá calcular este primero. Por lo que, siguiendo los pasos descritos anteriormente en relación al Apartado 4.4 de la ISO 717-1 de los métodos de comparación obtendremos la diferencia de niveles estandarizada ponderada y con el cálculo del término de adaptación espectral C, tendrá un valor que podrá ser equiparable el parámetro de la diferencia de niveles estandarizada ponderada espectral ($D_{nt,A}$).

Nos estableceremos en un punto donde ya hallamos calculado $D_{nt,w}$, con lo cual, calcular C es lo siguiente que se tendrá que hacer. En el Apartado 4.5 del cálculo de los términos de adaptación espectral se explica lo siguiente:

Los términos de adaptación espectral, C_j , en decibelios, se deben calcularse con los espectros sonoros dado en el apartado 4.3, mediante la ecuación:

$$C_j = X_{Aj} - X_w$$



Donde

j es el índice de los espectros sonoros nº 1 y 2;

X_w es el valor del índice global calculado de acuerdo con 4.4 partir de los valores de R , R' , D_n , o D_{nT}' ,

X_{Aj} es calculado a partir de

$$X_{Aj} = - 10 \lg \sum 10^{(L_{ij} - X_i)/10} \text{ dB}$$

Donde

i es el índice para las bandas de tercio de octava de 100 Hz a 3150 Hz, o para las bandas de octava de 125 Hz a 2000 Hz;

L_{ij} son los niveles de la frecuencia i para el espectro j , tal como se dan en el apartado 4.3;

X_i es el índice de reducción sonora R_i , o el índice de reducción sonora aparente, R'_i , o la diferencia normalizada de nivel sonoro, $D_{n,i}$, o la diferencia estandarizada de nivel sonoro, $D_{nT,i}$, a la frecuencia de medición, i , expresado con una cifra decimal.

Calcúlese la magnitud, X_{Aj} , con suficiente precisión y redondéese el resultado a un valor entero. El término de adaptación del espectro resultante es un valor entero por definición y se debe identificar de acuerdo con el espectro utilizado, como sigue:

C cuando se calcule con el espectro nº 1 (ruido rosa ponderado A);

C_{tr} cuando se calcule con el espectro nº 2 (ruido de tráfico urbano ponderado A)

Conocido lo expuesto en el Apartado 4.5, se puede resumir el procedimiento del $D_{nT,A}$ de la siguiente forma:

a) Cálculo de la D_{nT} y calculo posterior de la $D_{nT,w}$.

b) Cálculo de X_A , que será menos diez logaritmo del sumatorio de diez elevado a la diferencia del nivel del espectro menos la D_{nT} a cada frecuencia de banda de tercio de octava entre diez. Es decir:

$$X_A = - 10 \lg ((10^{(L_1 - D_{nT1})/10}) + ((10^{(L_2 - D_{nT2})/10}) + ... + (10^{(L_i - D_{nTi})/10})) \text{ dB}$$

Se deberá tener en cuenta el espectro sonoro con el que se quiera realizar la ponderación, siendo estos, dos tipos diferentes de espectro, como se observa en



la tabla de espectros de nivel sonoro para calcular los términos de adaptación que se da en la Norma ISO 717-1.

Frecuencia	Niveles sonoros, <i>L_{ij}</i> dB			
	Espectro nº1 para calcular C		Espectro nº2 para calcular C _{tr}	
	Tercio de octava	Octava	Tercio de octava	Octava
100	-29	-21	-20	-14
125	-26		-20	
160	-23		-18	
200	-21	-14	-16	-10
250	-19		-15	
315	-17		-14	
400	-15	-8	-13	-7
500	-13		-12	
630	-12		-11	
800	-11	-5	-9	-4
1000	-10		-8	
1250	-9		-9	
1600	-9	-4	-10	-6
2000	-9		-11	
2500	-9		-13	
3150	-9		-15	

- c) Una vez calculado X_A , para obtener C, se restará X_A menos $D_{nT,w}$. Teniendo calculado el término espectral C, se procederá a expresar el resultado de la $D_{nT,A}$ de la siguiente forma:

$$C = X_A - D_{nT,w}$$

Si se han calculados C y C_{tr} :

$$- D_{nT,w}(C;C_{tr}) = 41 (-1;-4) \text{ dBA}$$

Si solo se ha calculado para un espectro, C o C_{tr} :

$$- D_{nT,w}(C) = 41 (-1) \text{ dBA}$$



Una vez entendido el proceso anterior, se obtendrá el parámetro global mediante la hoja de Excel diseñada para ello.

B

C

D

E

F

G

H

I

J

K

L

M

N

O

P

Q

R

S

T

U

V

W

X

Y

Z

Centro Universitario de la Defensa

Escuela Naval Militar de Marín



>Cálculo de DnT,A:

1. Se suman los valores de ponderación A a los valores L1 de referencia (todos los valores son 100 dB)

2. Se restan los DnT a los valores L1 de referencia ponderados

3. Se se calcula en dB la suma en naturales de los valores de L2 de referencia ponderados

4. Restese la suma de L1 ref A menos la suma de L2 ref A

>Cálculo de Dnt,w(C):

1. Se calcula Xa, como el menos 10 logaritmo de la suma en naturales de la resta de los valores de espectro menos los DnT

2. Se calcula C, como la resta de Xa menos el DnT,y

3. Se expresa el resultado de la siguiente forma:

DnT,A = X (Y) dB

DnT,W= 30 dB

Suma (Log) de Niveles ponderados A

110,1

81,1

29 dBA

DnT,A

Freq	DnT	L1ref	Ponderación A	L1ref A	L2ref A
100	23,9	100	-19,1	80,9	57,0
125	19,4	100	-16,1	83,9	64,5
160	13,6	100	-13,4	86,6	73,1
200	23,7	100	-10,9	89,1	65,4
250	26,2	100	-8,6	91,4	65,2
315	24,9	100	-6,6	93,4	68,5
400	27,0	100	-4,8	95,2	68,2
500	26,6	100	-3,2	96,8	71,2
630	26,9	100	-1,9	98,1	72,2
800	31,9	100	-0,8	99,2	67,3
1000	29,3	100	0,0	100,0	70,7
1250	30,8	100	0,6	100,6	69,8
1600	31,1	100	1,0	101,0	69,9
2000	33,1	100	1,2	101,2	68,1
2500	36,7	100	1,3	101,3	65,6
3150	33,3	100	1,2	101,2	67,9
4000	36,7	100	1	101,0	65,3
5000	33,3	100	0,6	100,6	67,2

Dnt,w(C)

Freq	DnT	Espectro	Li-Dnt	Li-Dnt en naturales
100	23,9	-29	-52,9	5,13E-06
125	19,4	-26	-46,4	2,88E-05
160	13,6	-23	-36,5	0,000224
200	23,7	-21	-44,7	3,39E-05
250	26,2	-19	-45,2	3,02E-05
315	24,9	-17	-41,9	6,46E-05
400	27,0	-15	-42,0	6,31E-05
500	26,6	-13	-38,6	0,000138
630	26,9	-12	-37,9	0,000162
800	31,9	-11	-42,9	5,13E-05
1000	29,3	-10	-39,3	0,000117
1250	30,8	-9	-39,8	0,000105
1600	31,1	-9	-40,1	9,77E-05
2000	33,1	-9	-42,1	6,17E-05
2500	36,7	-9	-42,7	3,39E-05
3150	33,3	-9	-42,3	5,89E-05
4000	36,7	0	-35,7	0,000269
5000	33,3	0	-33,3	0,000458

DnT,w+C

31,6 dB

DnT,w(C)

30,3 (-1,3) dB

Xaj = -10(log(Suma)

29

C= Xaj - Dnt,W

-1,3



Sabido esto, para obtener la diferencia de niveles estandarizada ponderada se seguirán los siguientes pasos:

a) Calcular R para cada banda de tercio de octava

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \log\left(\frac{S}{A}\right) \quad \text{ó} \quad R' = L_1 - L_2 + 10 \log\left(\frac{ST_2}{0,16V}\right)$$

$$A = \frac{0,16 V}{T}$$

Donde:

- L_1 es el nivel medio de presión sonora en el recinto emisor, en dB.
- L_2 es el nivel medio de presión sonora en el recinto receptor, en dB.
- T_2 es el tiempo de reverberación en el recinto receptor, en segundos.
- S es el área de la separación común, en metros cuadrados.
- A es el área de la absorción equivalente del recinto receptor, en metros cuadrados.
- V es el volumen del recinto receptor, en metros cúbicos.

b) Desplazar la curva de referencia para que cuando al restarla a la R de forma individual para cada banda de tercio de octava, los valores desfavorables (cuando la curva de referencia sea mayor que la curva que se crea con la R) sumen lo máximo, pero no mayor de 32,0 dB.

c) Seleccionar como R'_w el valor de la curva desplazada a 500 Hz

Una vez entendido el proceso anterior, se obtendrá el índice global mediante la hoja de Excel diseñada para ello.

A

B

C

D

E

F

G

H

I

J

K

L

M

N

O

P

Q

R

S

T

U

V

Escuela Naval Militar de Marín



R,w

>El Índice R_w se calcula de la siguiente forma:

1. Calcular R' para cada banda de tercio de octava

2. Desplazar la curva de referencia para que cuando al restarla a la R' de forma individual para cada banda de tercio de banda de octava, los valores desfavorables sumen lo máximo sin exceder de 32 dB

3. Seleccionar como DnT,w el valor de la curva desplazada a 500 Hz

R' = L1 - L2 + 10 Log ($\frac{ST_2}{0,16V}$)

Valores de referencia

Frecuencia Hz	Curva de referencia dB	Curva desplazada -23	Desv. desfavorables
100	33		
125	36		
160	39		
200	42		
250	45		
315	48		
400	51		
500	52		
630	53		
800	54		
1000	55		
1250	56		
1600	56		
2000	56		
2500	56		
3150	56		
4000	56		
5000	56		

Freq	R	Curva desplazada	Desv. desfavorables
100	23,3	10	0
125	18,7	13	0
160	12,8	16	3,2
200	23,1	19	0
250	25,5	22	0
315	24,2	25	0,8
400	26,4	28	1,6
500	24,9	29	4,1
630	25,2	30	4,8
800	31,2	31	0
1000	28,7	32	3,3
1250	30,1	33	2,9
1600	30,4	33	2,6
2000	32,4	33	0,6
2500	35,1	33	0
3150	32,6	33	0,4
4000	35,1	33	0
5000	32,6	33	0,4

S

V

14,5 m2

52,9 m3

Suma Desfavorables

O.K.

24,3

< 32

R,w

29 dB

Nivel de emisión

Nivel de Recepción

Ruido de fondo

tiempo de reverberación

L2 corregido por fondo

Freq	L1	L2	B2	T2	L2,corr.	R
100	55	37,3	40,8	1,56	36	23,3
125	59,1	46,4	39,1	1,91	45,5	18,7
160	60,8	52,4	37,4	1,62	52,4	12,8
200	71,3	52,3	33,2	1,49	52,3	23,1
250	75,6	53,6	31,2	1,32	53,6	25,5
315	69,3	47,9	29,7	1,11	47,9	24,2
400	68,8	44,7	28,4	0,98	44,7	26,4
500	65,4	42,7	27,2	0,97	42,7	24,9
630	61,3	38,9	25,3	1,07	38,7	25,2
800	66,4	39	29,5	1,25	38,5	31,2
1000	70	45	28	1,36	45	28,7
1250	69,5	43,1	24,8	1,37	43,1	30,1
1600	70	43,3	22,6	1,38	43,3	30,4
2000	69,7	40,8	20,6	1,31	40,8	32,4
2500	69,8	38	17,4	1,24	38	35,1
3150	66,8	37,3	15,2	1,19	37,3	32,6
4000	69,8	38	17,4	1,24	38	35,1
5000	66,8	37,3	15,2	1,19	37,3	32,6

Los resultados de los parámetros de aislamiento obtenidos para los diferentes ensayos que se hayan realizado se anotarán en la siguiente tabla:

[illegible]

Los valores globales de aislamiento obtenidos en la Fase III y que han sido anotados en la tabla se compararán con los límites establecidos por las diferentes publicaciones y normativas de referencia.

3.5 Fase V: Contenido de un informe acústico

En esta Fase, los alumnos entregarán al profesor un informe escrito que contenga un resumen de las Fases realizadas anteriormente, incluidas las hojas de Excel diseñadas completadas en su totalidad. El informe concluirá con un cumplimiento o no cumplimiento, en relación con la normativa de calidad acústica de referencia que proponga el profesor.



4. Requisitos y protocolo para los ensayos

-Los ensayos acústicos de aislamiento al ruido aéreo entre recintos se realizarán de acuerdo con los requisitos exigidos y con el protocolo de medición establecido en la norma UNE EN ISO 16283-1:2014 “Medición *in situ* del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Medición *in situ* del aislamiento al ruido aéreo entre locales”, o cualquier otra que la sustituya.

-Cuando sea necesario realizar mediciones de tiempos de reverberación, éstas se desarrollarán según las directrices de la norma UNE-EN ISO 3382:2001 “Medición del tiempo de reverberación de recintos con referencia a otros parámetros acústicos”, o cualquier otra que la sustituya.

-Las medidas realizadas y valores calculados se desarrollarán conforme a las siguientes normas:

- UNE EN 60651, UNE EN 60651/A1 y UNE EN 60804, UNE EN 60804/A1: Sonómetros y Sonómetros integradores promediadores.
- UNE EN 61260 Electroacústica. Filtros de bandas de octava y 1/N fracción de octava.
- UNE EN 20942: Calibradores acústicos.
- Normas UNE EN ISO 16283:2014: Medición “in situ” del aislamiento acústico en los edificios y los elementos de construcción.
- Orden Ministerial 29920, Ministerio de Fomento, de 16 de diciembre de 1998 por la que se regula el control metrológico del Estado sobre los instrumentos destinados a medir niveles de sonido audible.
- ORDEN ITC/2845/2007, de 25 de septiembre, por la que se regula el control metrológico del Estado de los instrumentos destinados a la medición de sonido audible y de los calibradores acústicos.
- La precisión del instrumento de medida es del tipo 1 definido en la norma UNE EN 60651 y UNE EN 60804.



- El sistema de medida completo incluyendo el micrófono ha sido comprobado antes de cada medición mediante el calibrador acústico de clase 1 según la norma UNE EN 60942.
- Los filtros de 1/3 de octava del equipo cumplen la norma UNE EN 61260 en su clase 0.
- Para la medida del tiempo de reverberación el equipo cumple con los requisitos definidos en la norma UNE EN 20354.

La fuente sonora utilizada es del tipo omnidireccional y cumple con los requisitos especificados en el anexo A.1 de la norma UNE EN ISO 16283-1:2014 y generará un ruido estacionario en el recinto emisor con un espectro continuo y uniforme en el tiempo, en el rango de frecuencia considerado. La potencia sonora de la fuente será la suficiente como para que el nivel de presión sonora en el recinto receptor sea al menos de 10 dB más alto que el ruido de fondo en cualquier banda de frecuencia, en los casos que no se pueda cumplir esta condición se desarrollarán las oportunas correcciones por ruido de fondo acorde a lo especificado en el apartado 9.2 de la norma UNE EN ISO 16283-1:2014. Se consigue así crear un campo sonoro lo más difuso posible en el recinto emisor.

ANEXO II: ENTREGABLE DEL ALUMNO

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD
2		12														12														
3		Freq	Pos 1	Pos 2	Pos 3	Pos 4	Pos 5	Pos 6	Pos 7	Pos 8	Pos 9	Pos 10	Prom	Desv. Est		Freq	Pos 1	Pos 2	Pos 3	Pos 4	Pos 5	Pos 6	Pos 7	Pos 8	Pos 9	Pos 10	Prom	Desv. Est		
4		100											0.0			100											0.0			
5		125											0.0			125											0.0			
6		160											0.0			160											0.0			
7		200											0.0			200											0.0			
8		250											0.0			250											0.0			
9		315											0.0			315											0.0			
10		400											0.0			400											0.0			
11		500											0.0			500											0.0			
12		630											0.0			630											0.0			
13		800											0.0			800											0.0			
14		1000											0.0			1000											0.0			
15		1250											0.0			1250											0.0			
16		1600											0.0			1600											0.0			
17		2000											0.0			2000											0.0			
18		2500											0.0			2500											0.0			
19		3150											0.0			3150											0.0			
20		4000											0.0			4000											0.0			
21		5000											0.0			5000											0.0			
22																														
23		12														12														
24		Freq	Pos 1	Pos 2	Pos 3	Pos 4	Pos 5	Prom	Desv. Est							Freq	Pos 1	Pos 2	Pos 3	Pos 4	Pos 5	Pos 6	Prom	Desv. Est						
25		100						0.0								100							0							
26		125						0.0								125							0							
27		160						0.0								160							0							
28		200						0.0								200							0							
29		250						0.0								250							0							
30		315						0.0								315							0							
31		400						0.0								400							0							
32		500						0.0								500							0							
33		630						0.0								630							0							
34		800						0.0								800							0							
35		1000						0.0								1000							0							
36		1250						0.0								1250							0							
37		1600						0.0								1600							0							
38		2000						0.0								2000							0							
39		2500						0.0								2500							0							
40		3150						0.0								3150							0							
41		4000						0.0								4000							0							
42		5000						0.0								5000							0							
43																														



DnT,w

> El parámetro DnT,w se calcula de la siguiente forma:

$$DnT = L1 - L2 + 10 \log\left(\frac{T2}{T0}\right)$$

1. Calcular DnT para cada banda de tercio de octava
2. Desplazar la curva de referencia para que cuando al restarla a la D_{nT} de forma individual para cada banda de tercio de octava, los valores desfavorables sumen lo máximo sin exceder de 32 dB
3. Seleccionar como DnT,w el valor de la curva desplazada a 500 Hz

Valores de referencia

Frecuencia Hz	Curva de referencia dB
100	33
125	36
160	39
200	42
250	45
315	48
400	51
500	52
630	53
800	54
1000	55
1250	56
1600	56
2000	56
2500	56
3150	56
4000	56
5000	56

Freq	DnT	Curva desplazada	Desv. desfavorables
100	0,0	33	33
125	0,0	36	36
160	0,0	39	39
200	0,0	42	42
250	0,0	45	45
315	0,0	48	48
400	0,0	51	51
500	0,0	52	52
630	0,0	53	53
800	0,0	54	54
1000	0,0	55	55
1250	0,0	56	56
1600	0,0	56	56
2000	0,0	56	56
2500	0,0	56	56
3150	0,0	56	56
4000	0,0	56	56
5000	0,0	56	56

Suma
Desfavorables **O.K.**
< 32

DnT,w
dB

	Nivel de emisión	Nivel de Recepción	Ruido de fondo	tiempo de reverberacion	L2 corregido por fondo	
Freq	L1	L2	B2	T2	L2,corr.	DnT
100	0,0	0,0	0,0	0,0		
125	0,0	0,0	0,0	0,0		
160	0,0	0,0	0,0	0,0		
200	0,0	0,0	0,0	0,0		
250	0,0	0,0	0,0	0,0		
315	0,0	0,0	0,0	0,0		
400	0,0	0,0	0,0	0,0		
500	0,0	0,0	0,0	0,0		
630	0,0	0,0	0,0	0,0		
800	0,0	0,0	0,0	0,0		
1000	0,0	0,0	0,0	0,0		
1250	0,0	0,0	0,0	0,0		
1600	0,0	0,0	0,0	0,0		
2000	0,0	0,0	0,0	0,0		
2500	0,0	0,0	0,0	0,0		
3150	0,0	0,0	0,0	0,0		
4000	0,0	0,0	0,0	0,0		
5000	0,0	0,0	0,0	0,0		

Centro Universitario de la Defensa
Escuela Naval Militar de Marín



R_w

El índice R_w se calcula de la siguiente forma:

$$R' = L1 - L2 + 10 \log\left(\frac{ST2}{0,16V}\right)$$

1. Calcular R' para cada banda de tercio de octava
2. Desplazar la curva de referencia para que cuando al restarla a la R' de forma individual para cada banda de tercio de octava, los valores desfavorables sumen lo máximo sin exceder de 32 dB
3. Seleccionar como DnT,w el valor de la curva desplazada a 500 Hz

Valores de referencia

Frecuencia Hz	Curva de referencia dB
100	33
125	36
160	39
200	42
250	45
315	48
400	51
500	52
630	53
800	54
1000	55
1250	56
1600	56
2000	56
2500	56
3150	56
4000	56
5000	56

Freq	R	desplazada	Desv. desfavorables
100	0,0	29	29
125	0,0	32	32
160	0,0	35	35
200	0,0	38	38
250	0,0	41	41
315	0,0	44	44
400	0,0	47	47
500	0,0	48	48
630	0,0	49	49
800	0,0	50	50
1000	0,0	51	51
1250	0,0	52	52
1600	0,0	52	52
2000	0,0	52	52
2500	0,0	52	52
3150	0,0	52	52
4000	0,0	52	52
5000	0,0	52	52

S	m2
V	m3

Suma Desfavorables	O.K.
< 32	

R _w
dB

	Nivel de emisión	Nivel de Recepción	Ruido de fondo	tiempo de reverberacion	L2 corregido por fondo	
Freq	L1	L2	B2	T2	L2,corr.	R
100	0,0	0,0	0,0	0,0		
125	0,0	0,0	0,0	0,0		
160	0,0	0,0	0,0	0,0		
200	0,0	0,0	0,0	0,0		
250	0,0	0,0	0,0	0,0		
315	0,0	0,0	0,0	0,0		
400	0,0	0,0	0,0	0,0		
500	0,0	0,0	0,0	0,0		
630	0,0	0,0	0,0	0,0		
800	0,0	0,0	0,0	0,0		
1000	0,0	0,0	0,0	0,0		
1250	0,0	0,0	0,0	0,0		
1600	0,0	0,0	0,0	0,0		
2000	0,0	0,0	0,0	0,0		
2500	0,0	0,0	0,0	0,0		
3150	0,0	0,0	0,0	0,0		
4000	0,0	0,0	0,0	0,0		
5000	0,0	0,0	0,0	0,0		

Sheet1

Mediciones

DnT,w

R_w

la

DnTw+C, DnT,A y DnT,w(C)

+



la

>El Índice la se calcula de la siguiente forma:

1. Calcular DnT para cada banda de tercio de octava
2. Desplazar la curva de referencia sobre el DnT, cumpliendo:
 - a) El cociente de la suma de las desviaciones desfavorables entre el número de bandas de octava cuantificadas resultará entre 1 y 2
 - b) La máxima desviación desfavorable será inferior a 8 dB
3. Seleccionar como la el valor de la curva desplazada a 500 Hz

Valores de referencia

Frecuencia a Hz	Curva de referencia dB
100	33
125	36
160	39
200	42
250	45
315	48
400	51
500	52
630	53
800	54
1000	55
1250	56
1600	56
2000	56
2500	56
3150	56
4000	56
5000	56

Freq	DnT	Curva desplazada	Desv. desfavorables
100	0,0	33	33
125	0,0	36	36
160	0,0	39	39
200	0,0	42	42
250	0,0	45	45
315	0,0	48	48
400	0,0	51	51
500	0,0	52	52
630	0,0	53	53
800	0,0	54	54
1000	0,0	55	55
1250	0,0	56	56
1600	0,0	56	56
2000	0,0	56	56
2500	0,0	56	56
3150	0,0	56	56
4000	0,0	56	56
5000	0,0	56	56

Suma de valores
desfavorables en
número de bandas
cuantificadas

ERROR

1<

<2

la

dB

	Nivel de emisión	Nivel de Recepción	Ruido de fondo	tiempo de reververacion	L2 corregido por fondo	
Freq	L1	L2	B2	T2	L2,corr.	DnT
100	0,0	0,0	0,0	0,0		
125	0,0	0,0	0,0	0,0		
160	0,0	0,0	0,0	0,0		
200	0,0	0,0	0,0	0,0		
250	0,0	0,0	0,0	0,0		
315	0,0	0,0	0,0	0,0		
400	0,0	0,0	0,0	0,0		
500	0,0	0,0	0,0	0,0		
630	0,0	0,0	0,0	0,0		
800	0,0	0,0	0,0	0,0		
1000	0,0	0,0	0,0	0,0		
1250	0,0	0,0	0,0	0,0		
1600	0,0	0,0	0,0	0,0		
2000	0,0	0,0	0,0	0,0		
2500	0,0	0,0	0,0	0,0		
3150	0,0	0,0	0,0	0,0		
4000	0,0	0,0	0,0	0,0		
5000	0,0	0,0	0,0	0,0		

Centro Universitario de la Defensa

Escuela Naval Militar de Marín



>Cálculo de DnT,A:

1. Se suman los valores de ponderación A a los valores L1 de referencia (todos los valores son 100 dB)
2. Se restan los DnT a los valores L1 de referencia ponderados A
3. Se se calcula en dB la suma en naturales de los valores de L1 y L2 de referencia ponderados
4. Restese la suma de L1 ref A menos la suma de L2 ref A

>Cálculo de Dnt,w(C):

1. Se calcula Xa, como el menos 10 logaritmo de la suma en naturales de la resta de los valores de espectro menos los DnT
2. Se calcula C, como la resta de Xa menos el DnT,w
3. Se espresa el resultado de la siguiente forma:

$$DnT,A = X - (Y) \text{ dB}$$

DnT,W= 0 dB

Suma (Log) de Niveles ponderados A 111,0 111

Dnt,A

1 dBA

DnT,A

Freq	DnT	L1ref	Ponderación A	L1ref A	L2ref A
100	0,0	100	-19,1	80,9	80,9
125	0,0	100	-16,1	83,9	83,9
160	0,0	100	-13,4	86,6	86,6
200	0,0	100	-10,9	89,1	89,1
250	0,0	100	-8,6	91,4	91,4
315	0,0	100	-6,6	93,4	93,4
400	0,0	100	-4,8	95,2	95,2
500	0,0	100	-3,2	96,8	96,8
630	0,0	100	-1,9	98,1	98,1
800	0,0	100	-0,8	99,2	99,2
1000	0,0	100	0,0	100,0	100,0
1250	0,0	100	0,6	100,6	100,6
1600	0,0	100	1,0	101,0	101,0
2000	0,0	100	1,2	101,2	101,2
2500	0,0	100	1,3	101,3	101,3
3150	0,0	100	1,2	101,2	101,2
4000	0,0	100	1	101,0	101
5000	0,0	100	0,5	100,5	100,5

DnT,w(C)

Cálculo de C para Espectro nº1

Freq	DnT	Espectro	Li-Dnt	Li-Dnt en naturales
100	0,0	-30		
125	0,0	-27		
160	0,0	-24		
200	0,0	-22		
250	0,0	-20		
315	0,0	-18		
400	0,0	-16		
500	0,0	-14		
630	0,0	-13		
800	0,0	-12		
1000	0,0	-11		
1250	0,0	-10		
1600	0,0	-10		
2000	0,0	-10		
2500	0,0	-10		
3150	0,0	-10		
4000	0,0	-10		
5000	0,0	-10		

DnT,w+C

dB

DnT,w(C)

() dB

$$C = X_{aj} - DnT,W$$

$$X_{aj} = -10\log(\text{Suma})$$

Sheet1

Mediciones

DnT,w

Rw

la

DnTw+C, DnT,A y DnT,w(C)

+

ANEXO III: EJEMPLO DE CÁLCULO Y GRÁFICAS OBTENIDAS EN UN ENSAYO ACÚSTICO

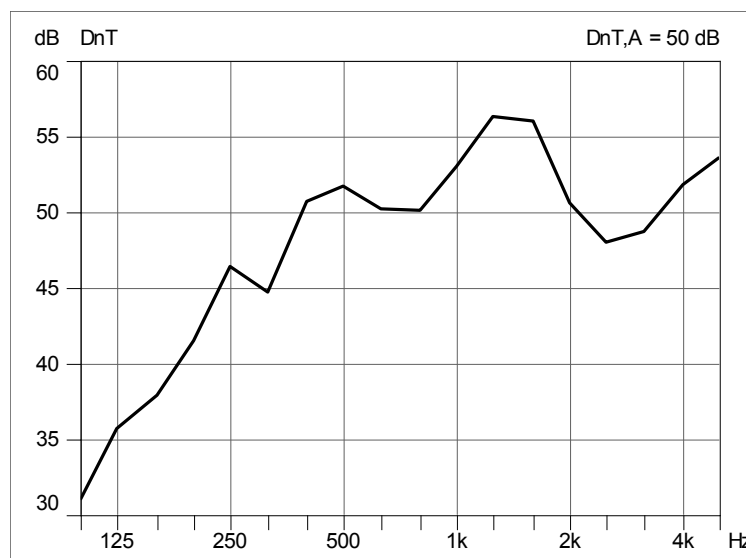
EJEMPLO DE GRÁFICOS Y RESULTADOS OBTENIDOS EN UN ENSAYO DE AISLAMIENTO ACÚSTICO REAL

Aislamiento a ruido aéreo realizado en un edificio entre locales destinados a la docencia

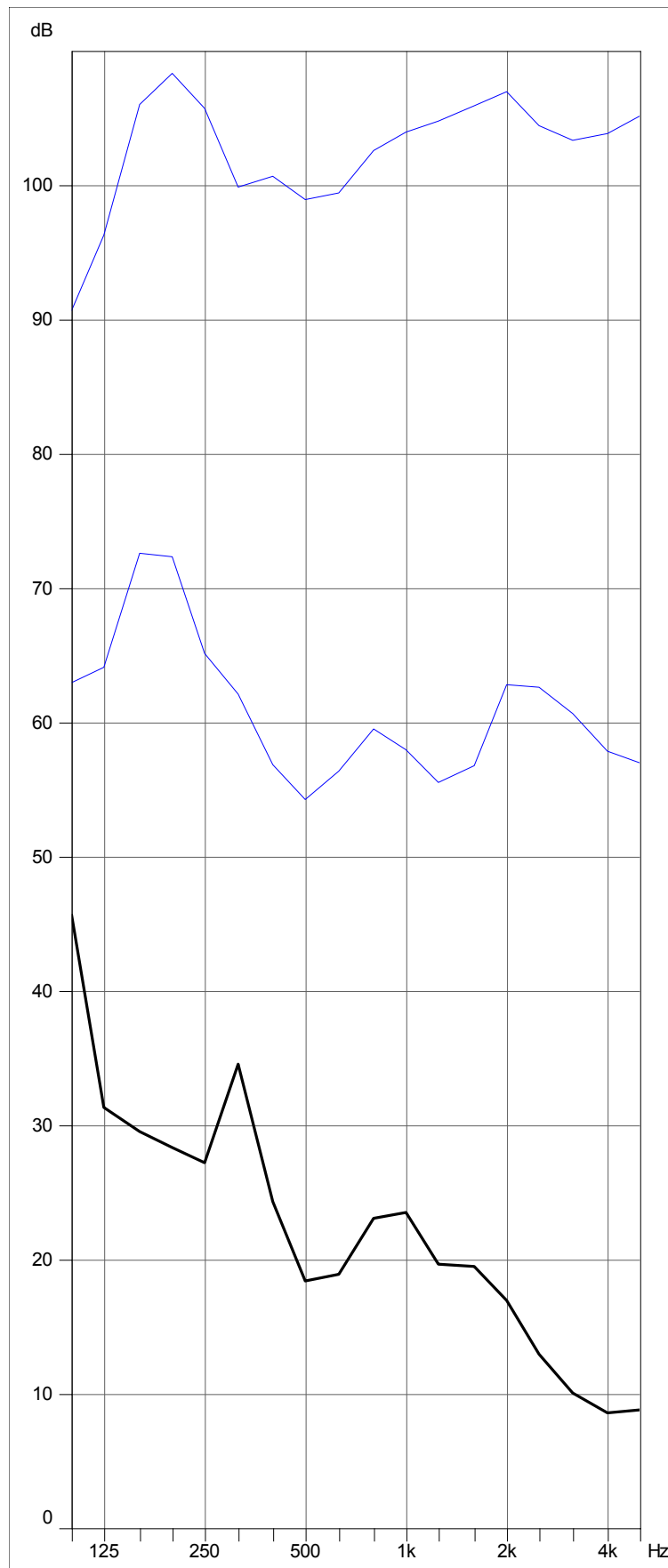
- Recinto Emisor L2: SALA DE INSTALACIONES (habitación número 1)
- Recinto Receptor L2: TOMA DE MUESTRAS (habitación número 3)
- T0: 0,50 s.

RESULTADOS GLOBALES

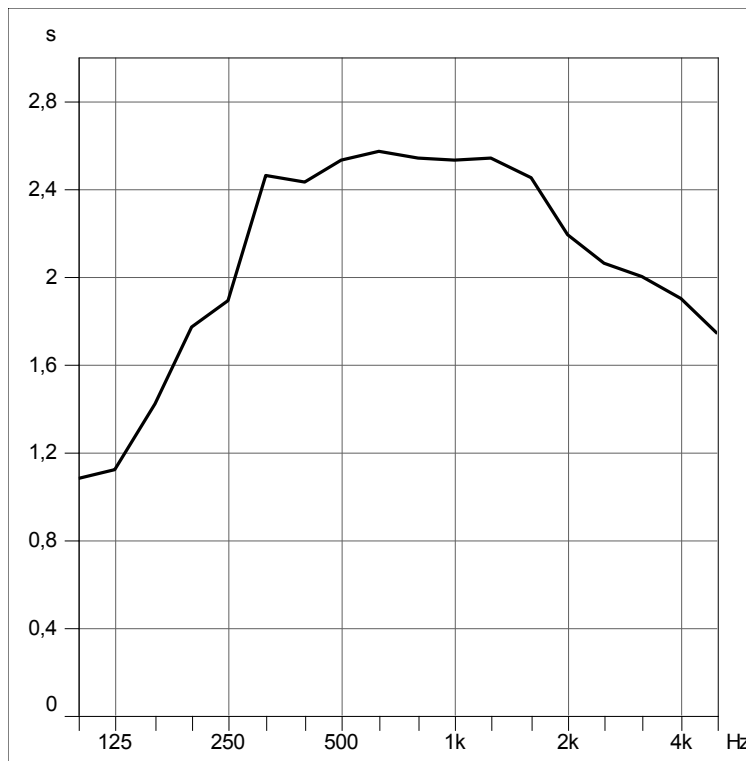
D_{nTw} =	51 dB
$D_{nTw}+C(100-5000)$ =	50 dB
$D_{nT,A}$ =	50 dB



Part. C Resultados

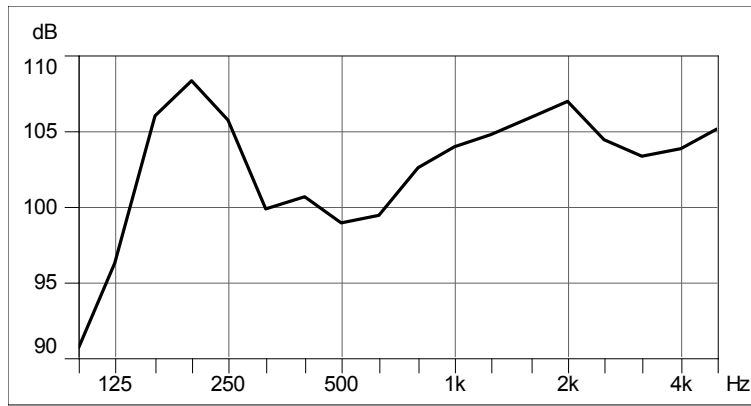


Part. C Niveles de Sonido

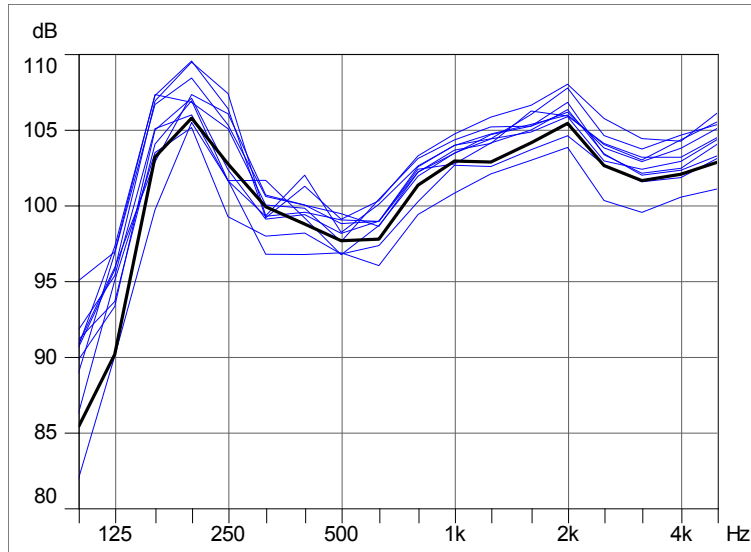


Part. C Reverberación

Part. C Resultados:					
[Hz]	L1A[dB]	L2A[dB]	B2A[dB]	T2A[s]	DnT[dB]
100	90,6	62,9	45,7	1,08	31,0
125	96,3	64,1	31,3	1,12	35,7
160	106,0	72,6	29,5	1,42	37,9
200	108,3	72,3	28,3	1,77	41,5
250	105,7	65,1	27,2	1,89	46,4
315	99,8	62,1	34,5	2,46	44,7
400	100,6	56,8	24,3	2,43	50,7
500	98,9	54,2	18,4	2,53	51,7
630	99,4	56,4	18,9	2,57	50,2
800	102,6	59,5	23,1	2,54	50,1
1 k	103,9	57,9	23,5	2,53	53,0
1,25 k	104,8	55,5	19,6	2,54	56,3
1,6 k	105,9	56,8	19,5	2,45	56,0
2 k	106,9	62,8	16,9	2,19	50,6
2,5 k	104,4	62,6	12,9	2,06	48,0
3,15 k	103,3	60,6	10,0	2,00	48,7
4 k	103,8	57,8	8,6	1,90	51,8
5 k	105,1	57,0	8,8	1,74	53,6



L1 Promedio

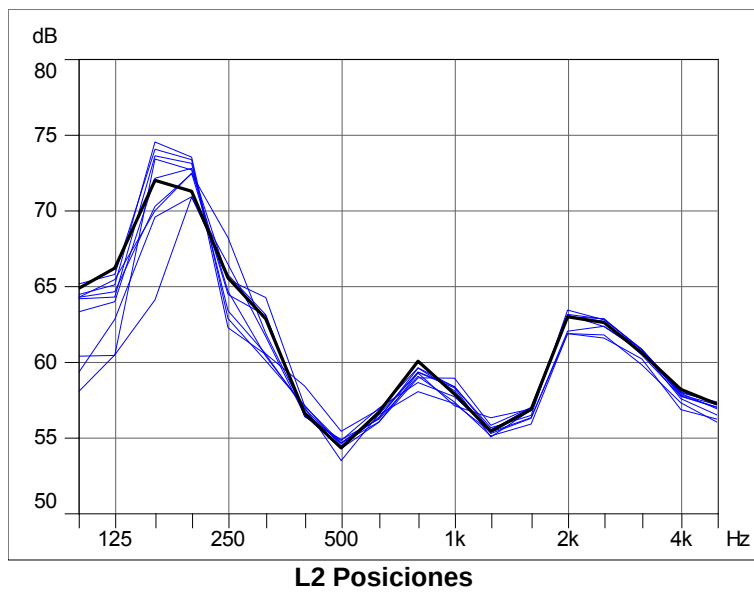
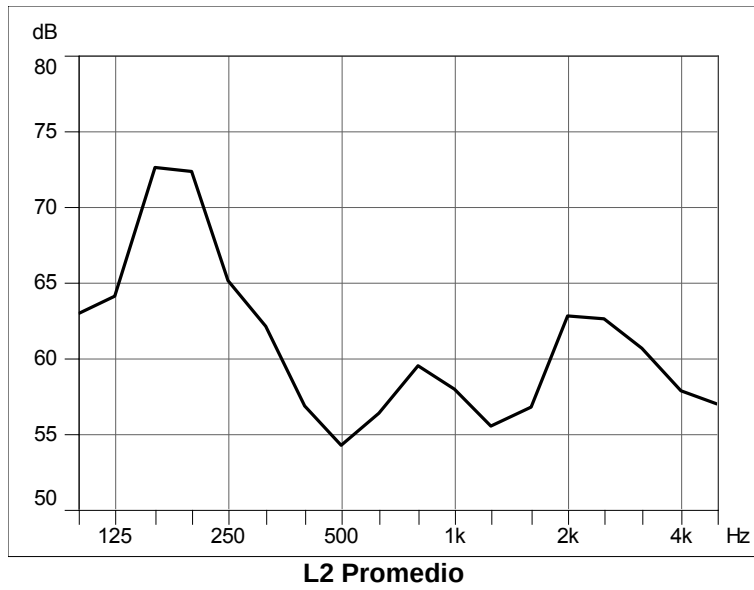


L1 Posiciones

L1 Posiciones:

[Hz]	01[dB] 10[dB]	02[dB] 11[dB]	03[dB] Prm.[dB]	04[dB] Desv.Est.	05[dB]	06[dB]	07[dB]	08[dB]	09[dB]
100	89,8 86,3	91,7 85,3	90,6 90,6	90,7 0,93	91,1	81,9	95,0	88,9	90,8
125	93,3 95,0	95,3 90,1	95,7 96,3	97,3 0,72	93,6	90,0	96,9	96,8	95,9
160	105,0 103,5	105,0 103,2	106,9 106,0	107,2 1,64	104,0	99,7	107,3	106,6	102,8
200	107,1 105,1	106,0 105,7	109,4 108,3	109,5 1,36	106,9	105,5	106,8	108,4	107,3
250	102,3 99,2	101,6 102,7	107,4 105,7	106,4 2,01	101,6	101,6	105,0	105,3	106,0
315	99,1 97,9	99,3 99,9	99,3 99,8	99,2 0,67	101,6	96,8	100,0	100,6	100,7
400	99,4 98,1	99,5 98,7	102,0 100,6	101,2 0,91	99,1	96,7	99,8	100,0	100,0
500	98,1 96,8	99,0 97,6	98,2 98,9	99,1 0,40	96,7	96,8	97,6	99,4	98,8

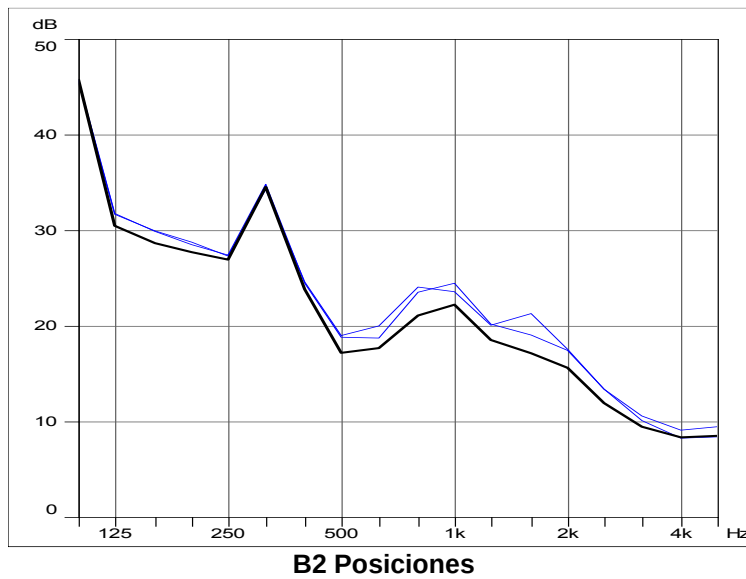
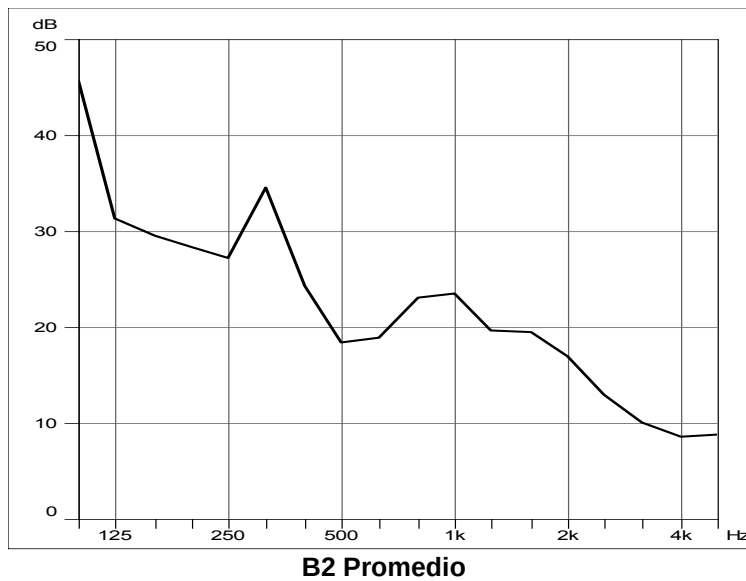
[Hz]	01[dB] 10[dB]	02[dB] 11[dB]	03[dB] Prm.[dB]	04[dB] Desv.Est.	05[dB]	06[dB]	07[dB]	08[dB]	09[dB]
630	98,9 97,3	98,9 97,7	100,1 99,4	100,3 0,68	98,6	96,0	100,4	98,6	98,9
800	102,4 100,2	102,2 101,3	102,6 102,6	103,3 0,39	101,9	99,4	103,1	102,2	102,5
1 k	102,7 102,6	103,4 102,9	103,9 103,9	104,7 0,43	103,4	100,8	104,3	103,6	104,0
1,25 k	104,1 102,5	104,6 102,8	104,7 104,8	105,8 0,58	104,4	102,1	105,2	104,1	104,4
1,6 k	105,0 103,7	105,2 104,1	105,3 105,9	106,6 0,52	104,8	103,0	105,2	106,2	106,0
2 k	106,3 104,6	106,8 105,4	105,9 106,9	108,0 0,87	105,8	103,8	106,1	105,9	107,7
2,5 k	103,4 102,7	103,3 102,6	104,0 104,4	105,7 0,80	102,9	100,3	103,8	104,1	104,6
3,15 k	102,0 101,5	102,1 101,6	103,0 103,3	104,4 0,76	102,4	99,5	102,9	103,2	103,7
4 k	102,3 101,8	102,4 102,0	104,3 103,8	104,2 0,82	102,9	100,5	103,7	103,2	104,6
5 k	103,3 103,1	104,0 102,8	105,5 105,1	106,1 0,74	104,3	101,1	105,1	104,5	105,3



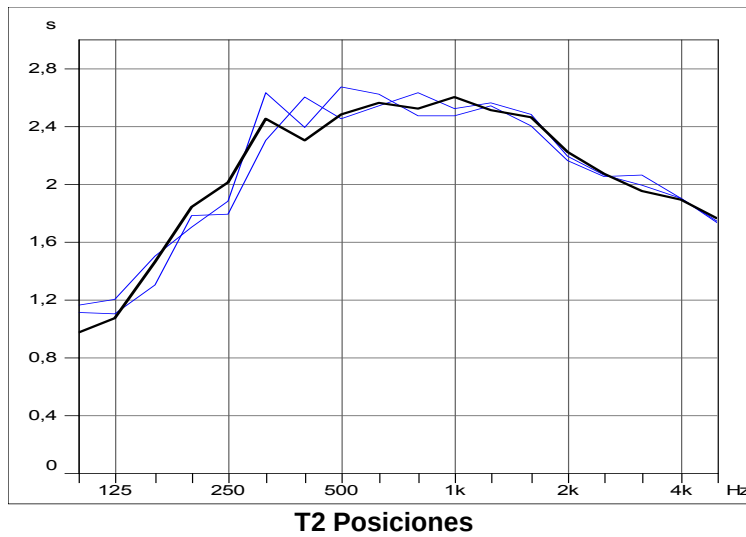
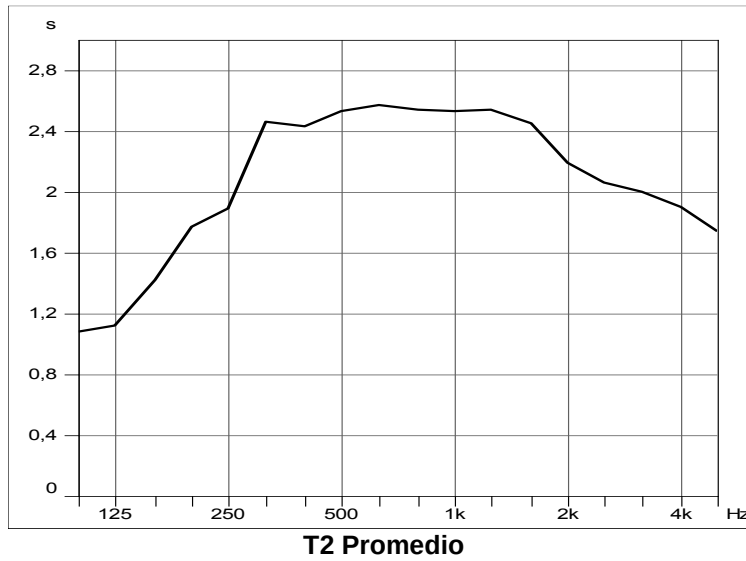
L2 Posiciones:

[Hz]	01[dB] 10[dB]	02[dB] Prm.[dB]	03[dB] Desv.Est.	04[dB]	05[dB]	06[dB]	07[dB]	08[dB]	09[dB]
100	64,2 64,8	64,2 62,9	63,3 2,29	59,2	58,0	60,3	64,1	64,4	65,1
125	64,6 66,2	65,4 64,1	63,9 2,02	62,8	60,4	60,4	64,3	65,1	65,7
160	70,2 72,0	70,0 72,6	72,1 1,68	69,5	64,1	73,4	73,6	74,5	74,0
200	72,4 71,2	72,4 72,3	72,8 0,99	70,9	70,8	72,6	73,1	73,5	73,3
250	68,2 65,5	64,4 65,1	65,4 1,21	66,4	65,7	64,6	63,4	62,8	62,2
315	61,9 62,8	63,0 62,1	64,2 1,58	61,6	63,1	60,3	60,5	60,0	60,5

[Hz]	01[dB] 10[dB]	02[dB] Prm.[dB]	03[dB] Desv.Est.	04[dB]	05[dB]	06[dB]	07[dB]	08[dB]	09[dB]
400	56,7 56,6	56,4 56,8	57,0 0,26	56,4	56,4	57,0	58,4	57,1	56,8
500	54,6 54,3	54,8 54,2	54,6 0,40	54,2	54,8	53,5	55,4	54,4	54,6
630	56,5 56,7	56,2 56,4	56,3 0,22	56,0	56,9	56,5	56,8	56,3	56,0
800	58,0 60,0	59,0 59,5	59,6 0,29	59,2	58,6	59,3	59,6	59,3	58,9
1 k	57,2 57,8	57,3 57,9	58,1 0,45	57,1	57,7	58,3	58,3	58,3	58,9
1,25 k	55,3 55,4	55,1 55,5	55,2 0,43	56,3	55,5	55,0	55,6	55,5	55,8
1,6 k	56,3 56,8	55,9 56,8	56,3 0,25	56,9	56,8	56,8	56,4	57,0	57,0
2 k	61,8 63,0	61,8 62,8	62,0 0,38	62,9	63,1	63,0	63,4	63,0	63,1
2,5 k	61,8 62,6	61,5 62,6	62,3 0,16	62,7	62,3	62,8	62,7	62,6	62,8
3,15 k	59,8 60,6	60,2 60,6	60,7 0,13	60,4	60,6	60,8	60,8	60,8	60,8
4 k	57,3 58,2	56,8 57,8	57,5 0,21	57,7	57,9	57,7	57,9	58,0	57,8
5 k	56,0 57,2	56,2 57,0	56,5 0,26	57,0	56,9	57,0	57,3	57,2	57,1



B2 Posiciones:					
[Hz]	01[dB]	02[dB]	03[dB]	Prm.[dB]	Desv.Est.
100	45,7	45,6	45,8	45,7	0,08
125	31,7	31,7	30,4	31,3	0,59
160	29,9	29,9	28,6	29,5	0,59
200	28,5	28,7	27,7	28,3	0,44
250	27,4	27,3	26,9	27,2	0,20
315	34,8	34,3	34,5	34,5	0,21
400	24,5	24,6	23,8	24,3	0,34
500	18,8	19,0	17,2	18,4	0,81
630	18,7	20,0	17,7	18,9	0,95
800	23,5	24,0	21,1	23,1	1,30
1 k	24,4	23,6	22,2	23,5	0,93
1,25 k	20,2	20,1	18,5	19,6	0,76
1,6 k	19,0	21,3	17,1	19,5	1,72
2 k	17,4	17,5	15,6	16,9	0,89
2,5 k	13,4	13,4	11,9	12,9	0,68
3,15 k	10,1	10,6	9,4	10,0	0,45
4 k	8,2	9,1	8,3	8,6	0,37
5 k	8,4	9,4	8,5	8,8	0,47



T2 Posiciones:					
[Hz]	01[s]	02[s]	03[s]	Prm.[s]	Desv.Est.
100	1,11	1,16	0,97	1,08	0,08
125	1,10	1,20	1,07	1,12	0,05
160	1,30	1,50	1,46	1,42	0,08
200	1,78	1,70	1,84	1,77	0,05
250	1,79	1,88	2,01	1,89	0,09
315	2,30	2,63	2,45	2,46	0,13
400	2,60	2,39	2,30	2,43	0,12
[Hz]	01[s]	02[s]	03[s]	Prm.[s]	Desv.Est.
500	2,45	2,67	2,48	2,53	0,09
630	2,54	2,62	2,56	2,57	0,03
800	2,63	2,47	2,52	2,54	0,06
1 k	2,52	2,47	2,60	2,53	0,05
1,25 k	2,56	2,54	2,51	2,54	0,02
1,6 k	2,48	2,40	2,46	2,45	0,03
2 k	2,19	2,16	2,22	2,19	0,02
2,5 k	2,06	2,05	2,07	2,06	0,00
3,15 k	1,99	2,06	1,95	2,00	0,04
4 k	1,90	1,90	1,89	1,90	0,00
5 k	1,74	1,73	1,76	1,74	0,01

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC
2																													
3																													
4																													
5																													
6																													
7																													
8																													
9																													
10																													
11																													
12																													
13																													
14																													
15																													
16																													
17																													
18																													
19																													
20																													
21																													
22																													
23																													
24																													
25																													
26																													
27																													
28																													
29																													
30																													
31																													
32																													
33																													
34																													
35																													
36																													
37																													
38																													
39																													
40																													
41																													
42																													
43																													

Centro Universitario de la Defensa

Escuela Naval Militar de Marín



DnT,w

El parámetro DnT,w se calcula de la siguiente forma:

$$DnT = L1 - L2 + 10 \log\left(\frac{T2}{T0}\right)$$

1. Calcular DnT para cada banda de tercio de octava
2. Desplazar la curva de referencia para que cuando al restarla a la D_T, de forma individual para cada banda de tercio de banda de octava, los valores desfavorables sumen lo máximo sin exceder de 32 dB
3. Seleccionar como DnT,w el valor de la curva desplazada a 500 Hz

Valores de referencia

Frecuencia Hz	Curva de referencia dB
100	33
125	36
160	39
200	42
250	45
315	48
400	51
500	52
630	53
800	54
1000	55
1250	56
1600	56
2000	56
2500	56
3150	56
4000	56
5000	56

Freq	DnT	Curva desplazada	Desv. desfavorables
100	30,7	32	1,3
125	34,6	35	0,4
160	37,7	38	0,3
200	40,5	41	0,5
250	44,9	44	0
315	44,6	47	2,4
400	49,7	50	0,3
500	50,7	51	0,3
630	49,7	52	2,3
800	50,0	53	3
1000	52,6	54	1,4
1250	55,9	55	0
1600	55,5	55	0
2000	49,9	55	5,1
2500	47,4	55	7,6
3150	48,1	55	6,9
4000	51,2	55	3,8
5000	53,0	55	2

Suma Desfavorables	O.K.
31,8	< 32

DnT,w
51 dB

	Nivel de emisión	Nivel de Recepción	Ruido de fondo	tiempo de reververacion	L2 corregido por fondo	
Freq	L1	L2	B2	T2	L2,corr.	DnT
100	90,7	63,3	45,7	1,1	63,3	30,7
125	95,4	64,3	31,3	1,1	64,3	34,6
160	105,3	72,1	29,5	1,4	72,1	37,7
200	107,4	72,4	28,3	1,8	72,4	40,5
250	104,4	65,2	27,2	1,9	65,2	44,9
315	99,6	62,0	34,5	2,5	62,0	44,6
400	99,8	56,9	24,3	2,4	56,9	49,7
500	98,2	54,5	18,4	2,5	54,5	50,7
630	99,0	56,4	18,9	2,6	56,4	49,7
800	102,1	59,2	23,0	2,5	59,2	50,0
1000	103,5	57,9	23,5	2,5	57,9	52,6
1250	104,3	55,5	19,7	2,5	55,5	55,9
1600	105,2	56,6	19,5	2,4	56,6	55,5
2000	106,3	62,7	16,9	2,2	62,7	49,9
2500	103,7	62,4	13,0	2,1	62,4	47,4
3150	102,6	60,6	10,1	2,0	60,6	48,1
4000	103,2	57,7	8,6	1,9	57,7	51,2
5000	104,4	56,9	8,8	1,7	56,9	53,0

Sheet1

Mediciones

DnT,w

Rw

la

DnTw+C, DnT,A y DnT,w(C)

+

Centro Universitario de la Defensa

Escuela Naval Militar de Marín



R,w

> El Índice R,w se calcula de la siguiente forma:

$$R' = L1 - L2 + 10 \log\left(\frac{ST2}{0,16V}\right)$$

1. Calcular R' para cada banda de tercio de octava
2. Desplazar la curva de referencia para que cuando al restarla a la R' de forma individual para cada banda de tercio de banda de octava, los valores desfavorables sumen lo máximo sin exceder de 32 dB
3. Seleccionar como DnT,w el valor de la curva desplazada a 500 Hz

Valores de referencia

Frecuencia Hz	Curva de referencia dB
100	33
125	36
160	39
200	42
250	45
315	48
400	51
500	52
630	53
800	54
1000	55
1250	56
1600	56
2000	56
2500	56
3150	56
4000	56
5000	56

Freq	R	desplazada	Desv. desfavorables
100	27,9	29	1,1
125	31,8	32	0,2
160	34,9	35	0,1
200	37,7	38	0,3
250	42,1	41	0
315	41,7	44	2,3
400	46,9	47	0,1
500	47,8	48	0,2
630	46,8	49	2,2
800	47,2	50	2,8
1000	49,7	51	1,3
1250	53,0	52	0
1600	52,6	52	0
2000	47,1	52	4,9
2500	44,6	52	7,4
3150	45,3	52	6,7
4000	48,4	52	3,6
5000	50,2	52	1,8

S 10 m²
V 60 m³

Suma Desfavorables **O.K.**
29,6 < 32

R,w
48 dB

	Nivel de emisión	Nivel de Recepción	Ruido de fondo	tiempo de reverberación	L2 corregido por fondo	
Freq	L1	L2	B2	T2	L2,corr.	R
100	90,7	63,3	45,7	1,1	63,3	27,9
125	95,4	64,3	31,3	1,1	64,3	31,8
160	105,3	72,1	29,5	1,4	72,1	34,9
200	107,4	72,4	28,3	1,8	72,4	37,7
250	104,4	65,2	27,2	1,9	65,2	42,1
315	99,6	62,0	34,5	2,5	62,0	41,7
400	99,8	56,9	24,3	2,4	56,9	46,9
500	98,2	54,5	18,4	2,5	54,5	47,8
630	99,0	56,4	18,9	2,6	56,4	46,8
800	102,1	59,2	23,0	2,5	59,2	47,2
1000	103,5	57,9	23,5	2,5	57,9	49,7
1250	104,3	55,5	19,7	2,5	55,5	53,0
1600	105,2	56,6	19,5	2,4	56,6	52,6
2000	106,3	62,7	16,9	2,2	62,7	47,1
2500	103,7	62,4	13,0	2,1	62,4	44,6
3150	102,6	60,6	10,1	2,0	60,6	45,3
4000	103,2	57,7	8,6	1,9	57,7	48,4
5000	104,4	56,9	8,8	1,7	56,9	50,2

Sheet1

Mediciones

DnT,w

Rw

la

DnTw+C, DnT,A y DnT,w(C)

+



la

> El índice la se calcula de la siguiente forma:

1. Calcular DnT para cada banda de tercio de octava
2. Desplazar la curva de referencia sobre el DnT, cumpliendo:
 - a) El cociente de la suma de las desviaciones desfavorables entre el número de bandas de octava cuantificadas resultará entre 1 y 2
 - b) La máxima desviación desfavorable será inferior a 8 dB
3. Seleccionar como la el valor de la curva desplazada a 500 Hz

Valores de referencia

Frecuencia Hz	Curva de referencia dB
100	33
125	36
160	39
200	42
250	45
315	48
400	51
500	52
630	53
800	54
1000	55
1250	56
1600	56
2000	56
2500	56
3150	56
4000	56
5000	56

Freq	DnT	Curva desplazada	Desv. desfavorables
100	30,7	31	0,3
125	34,6	34	0
160	37,7	37	0
200	40,5	40	0
250	44,9	43	0
315	44,6	46	1,4
400	49,7	49	0
500	50,7	50	0
630	49,7	51	1,3
800	50,0	52	2
1000	52,6	53	0,4
1250	55,9	54	0
1600	55,5	54	0
2000	49,9	54	4,1
2500	47,4	54	6,6
3150	48,1	54	5,9
4000	51,2	54	2,8
5000	53,0	54	1

Suma de valores desfavorables en número de bandas cuantificadas

1 < 1,613 < 2

O.K.

la

50,0 dB

	Nivel de emisión	Nivel de Recepción	Ruido de fondo	tiempo de reverberación	L2 corregido por fondo	
Freq	L1	L2	B2	T2	L2,corr.	DnT
100	90,7	63,3	45,7	1,1	63,3	30,7
125	95,4	64,3	31,3	1,1	64,3	34,6
160	105,3	72,1	29,5	1,4	72,1	37,7
200	107,4	72,4	28,3	1,8	72,4	40,5
250	104,4	65,2	27,2	1,9	65,2	44,9
315	99,6	62,0	34,5	2,5	62,0	44,6
400	99,8	56,9	24,3	2,4	56,9	49,7
500	98,2	54,5	18,4	2,5	54,5	50,7
630	99,0	56,4	18,9	2,6	56,4	49,7
800	102,1	59,2	23,0	2,5	59,2	50,0
1000	103,5	57,9	23,5	2,5	57,9	52,6
1250	104,3	55,5	19,7	2,5	55,5	55,9
1600	105,2	56,6	19,5	2,4	56,6	55,5
2000	106,3	62,7	16,9	2,2	62,7	49,9
2500	103,7	62,4	13,0	2,1	62,4	47,4
3150	102,6	60,6	10,1	2,0	60,6	48,1
4000	103,2	57,7	8,6	1,9	57,7	51,2
5000	104,4	56,9	8,8	1,7	56,9	53,0

Centro Universitario de la Defensa

Escuela Naval Militar de Marín



>Cálculo de DnT,A:

1. Se suman los valores de ponderación A a los valores L1 de referencia (todos los valores son 100 dB)
2. Se restan los DnT a los valores L1 de referencia ponderados A
3. Se se calcula en dB la suma en naturales de los valores de L1 y L2 de referencia ponderados
4. Restese la suma de L1 ref A menos la suma de L2 ref A

>Cálculo de Dnt,w(C):

1. Se calcula Xa, como el menos 10 logaritmo de la suma en naturales de la resta de los valores de espectro menos los DnT
2. Se calcula C, como la resta de Xa menos el DnT,w
3. Se espresa el resultado de la siguiente forma:

$$DnT,A = X \text{ (Y) dB}$$

DnT,W= **51 dB**

Suma (Log) de Niveles ponderados A **111,0** **61,9** **50 dBA**

DnT,A

Freq	DnT	L1ref	Ponderación A	L1ref A	L2ref A
100	30,7	100	-19,1	80,9	50,2
125	34,6	100	-16,1	83,9	49,3
160	37,7	100	-13,4	86,6	48,9
200	40,5	100	-10,9	89,1	48,6
250	44,9	100	-8,6	91,4	46,5
315	44,6	100	-6,6	93,4	48,8
400	49,7	100	-4,8	95,2	45,5
500	50,7	100	-3,2	96,8	46,1
630	49,7	100	-1,9	98,1	48,4
800	50,0	100	-0,8	99,2	49,2
1000	52,6	100	0,0	100,0	47,4
1250	55,9	100	0,6	100,6	44,7
1600	55,5	100	1,0	101,0	45,5
2000	49,9	100	1,2	101,2	51,3
2500	47,4	100	1,3	101,3	53,9
3150	48,1	100	1,2	101,2	53,1
4000	51,2	100	1	101,0	49,8
5000	53,0	100	0,5	100,5	47,5

Dnt,A

DnT,w(C)

Cálculo de C para Espectro nº1

Freq	DnT	Espectro	Li-Dnt	Li-Dnt en naturales
100	30,7	-30	-60,7	8,51E-07
125	34,6	-27	-61,6	6,92E-07
160	37,7	-24	-61,7	6,76E-07
200	40,5	-22	-62,5	5,62E-07
250	44,9	-20	-64,9	3,24E-07
315	44,6	-18	-62,6	5,5E-07
400	49,7	-16	-65,7	2,69E-07
500	50,7	-14	-64,7	3,39E-07
630	49,7	-13	-62,7	5,37E-07
800	50,0	-12	-62,0	6,31E-07
1000	52,6	-11	-63,6	4,37E-07
1250	55,9	-10	-65,9	2,57E-07
1600	55,5	-10	-65,5	2,82E-07
2000	49,9	-10	-59,9	1,02E-06
2500	47,4	-10	-57,4	1,82E-06
3150	48,1	-10	-58,1	1,55E-06
4000	51,2	-10	-61,2	7,59E-07
5000	53,0	-10	-63,0	5,01E-07

DnT,w+C

50 dB

DnT,w(C)

51 (-1) dB

$$C = X_{aj} - DnT,W$$

$$X_{aj} = -10\log(\text{Suma}) \quad \mathbf{50,2} \quad \mathbf{C = -1}$$

Sheet1

Mediciones

DnT,w

Rw

la

DnTw+C, DnT,A y DnT,w(C)

+

ANEXO IV: NORMATIVAS DE CALIDAD ACÚSTICA EN BUQUES

ANNEX 1

**RESOLUTION MSC.337(91)
(adopted on 30 November 2012)**

ADOPTION OF THE CODE ON NOISE LEVELS ON BOARD SHIPS

THE MARITIME SAFETY COMMITTEE,

RECALLING Article 28(b) of the Convention on the International Maritime Organization concerning the functions of the Committee,

RECALLING ALSO resolutions A.343(IX) and A.468(XII) by which the Assembly of the Organization adopted the Recommendation on methods of measuring noise levels at listening posts and the Code on noise levels on board ships, respectively,

RECOGNIZING the need to establish mandatory noise level limits for machinery spaces, control rooms, workshops, accommodation and other spaces on board ships, taking into account experience gained with regard to noise control and allowable exposure levels since the adoption of resolution A.468(XII),

NOTING regulation II-1/3-12 of the International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974, as amended (hereinafter referred to as "the Convention"), adopted by resolution MSC.338(91), concerning protection against noise,

NOTING ALSO that the aforementioned regulation II-1/3-12 provides that ships shall be constructed to reduce onboard noise and to protect personnel from noise in accordance with the Code on noise levels on board ships (hereinafter referred to as "the Code"),

HAVING CONSIDERED, at its ninety-first session, the recommendation made by the Sub-Committee on Ship Design and Equipment, at its fifty-sixth session,

1. ADOPTS the Code on noise levels on board ships, the text of which is set out in the annex to the present resolution;
2. INVITES Contracting Governments to the Convention to note that the Code will take effect on 1 July 2014 upon entry into force of regulation II-1/3-12 of the Convention;
3. REQUESTS the Secretary-General to transmit certified copies of this resolution and the text of the Code, contained in the annex, to all Contracting Governments to the Convention;
4. ALSO REQUESTS the Secretary-General to transmit copies of this resolution and the annex to all Members of the Organization which are not Contracting Governments to the Convention.

* * *

ANNEX

CODE ON NOISE LEVELS ON BOARD SHIPS

PREAMBLE

CHAPTER 1 – GENERAL

- 1.1 Scope
- 1.2 Purpose
- 1.3 Application
- 1.4 Definitions

CHAPTER 2 – MEASURING EQUIPMENT

- 2.1 Equipment specifications
- 2.2 Use of equipment

CHAPTER 3 – MEASUREMENT

- 3.1 General
- 3.2 Personnel requirements
- 3.3 Operating conditions at sea trials
- 3.4 Operating conditions in port
- 3.5 Environmental conditions
- 3.6 Measurement procedures
- 3.7 Determination of noise exposure
- 3.8 Calibration
- 3.9 Measurement uncertainties
- 3.10 Points of measurement
- 3.11 Measurements in machinery spaces
- 3.12 Measurements in navigation spaces
- 3.13 Measurements in accommodation spaces
- 3.14 Measurements in normally unoccupied spaces

CHAPTER 4 – MAXIMUM ACCEPTABLE SOUND PRESSURE LEVELS

- 4.1 General
- 4.2 Noise level limits
- 4.3 Survey report

CHAPTER 5 – NOISE EXPOSURE LIMITS

- 5.1 General
- 5.2 Conservation of hearing and use of hearing protectors
- 5.3 Limits of exposure of seafarers to high noise levels
- 5.4 24-hour equivalent continuous sound level limit
- 5.5 Hearing conservation programme

CHAPTER 6 – ACOUSTIC INSULATION BETWEEN ACCOMMODATION SPACES

- 6.1 General
- 6.2 Sound insulation index
- 6.3 Erection of materials

CHAPTER 7 – HEARING PROTECTION AND WARNING INFORMATION

- 7.1 General
- 7.2 Requirements for hearing protectors
- 7.3 Selection and use of hearing protectors
- 7.4 Warning notices

APPENDIX 1	FORMAT FOR NOISE SURVEY REPORT
APPENDIX 2	GUIDANCE ON THE INCLUSION OF NOISE ISSUES IN SAFETY MANAGEMENT SYSTEMS
APPENDIX 3	SUGGESTED METHODS OF ATTENUATING NOISE
APPENDIX 4	SIMPLIFIED PROCEDURE FOR DETERMINING NOISE EXPOSURE

PREAMBLE

1 The Code on noise levels on board ships (hereinafter referred to as "the Code") has been developed to provide international standards for protection against noise regulated by regulation II-1/3-12 of the International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974, as amended. Although the Code is legally treated as a mandatory instrument under the SOLAS Convention, certain provisions of the Code remain recommendatory or informative (see paragraph 1.1.3).

2 These regulations, recommendations and advice are intended to provide Administrations with the tools to promote "hearing saving" environments on board ships. This is, however, a dynamic topic, dealing with the human and technical environments in which they interface. Rules and recommendations will necessarily evolve, on a case-by-case basis, as a result of various technological as well as safety management practice developments. For this reason Administrations are encouraged to pass on experience and information received from recognized organizations, ship operators and equipment designers to improve this Code.

3 The Code has been developed having regard to conventional passenger and cargo ships. While certain types and sizes of ships have been excluded from its application, it should be recognized that full application to ships which differ appreciably from the conventional types of ships regarding design or operations might need specific consideration.

4 The Organization adopted a Recommendation on methods of measuring noise levels at listening posts (resolution A.343(IX)), which this Code is not intended to supersede. That Recommendation relates to interference by shipborne noise with the proper reception of external audible navigation signals and although the methods of measuring noise levels in accordance with the Recommendation and with the Code differ, these documents are to be considered compatible inasmuch as this Code is concerned primarily with the effect of noise on health and comfort. Care will be needed to ensure that there is compatibility between the general requirements and the requirements for audibility of navigation signals.

3.12 Measurements in navigation spaces

Measurements shall be taken on both navigating bridge wings but should only be taken when the navigating bridge wing to be measured is on the lee side of the ship.

3.13 Measurements in accommodation spaces

3.13.1 One measurement shall be taken in the middle of the space. The microphone shall be moved slowly horizontally and/or vertically over a distance of 1 m (+/- 0.5 m, taking into account the measurement criteria in paragraph 3.10.1). Additional measurements should be performed at other points if appreciable differences, i.e. greater than 10 dB(A), in the level of sound inside the room occur, especially near the head positions of a sitting or lying person.

3.13.2 The number of measurement cabins shall be not less than 40 per cent of total number of cabins. Cabins which are obviously affected by noise, i.e. cabins adjacent to machinery or casings, must be considered in any case.

3.13.3 For ships with a large number of crew cabins, such as passenger/cruise ships, it will be acceptable to reduce the number of measurement positions. The selection of cabins to be tested shall be representative for the group of cabins being tested by selecting those cabins in closer proximity to noise sources, to the satisfaction of the Administration.

3.13.4 On open deck, measurements shall be taken in any areas provided for the purpose of recreation.

3.14 Measurements in normally unoccupied spaces

3.14.1 In addition to the spaces referred to in sections 3.10 to 3.13, measurements shall be taken in all locations with unusually high noise levels where seafarers may be exposed, even for relatively short periods, and at intermittently used machinery locations.

3.14.2 In order to restrict the number of measurements and recordings, noise levels need not be measured for normally unoccupied spaces, holds, deck areas and other spaces which are remote from sources of noise.

3.14.3 In cargo holds, at least three microphone positions in parts of holds where personnel are likely to carry out work shall be used.

CHAPTER 4 – MAXIMUM ACCEPTABLE SOUND PRESSURE LEVELS

4.1 General

4.1.1 The limits specified in this section shall be regarded as maximum levels and not as desirable levels. Where reasonably practicable, it is desirable for the noise level to be lower than the maximum levels specified.

4.1.2 Before the ship is put in service, the limits specified in section 4.2 shall be assessed by the equivalent continuous sound level measurement for that space. In large rooms with many measurement positions the individual positions shall be compared to the limits.

4.1.3 Personnel entering spaces with nominal noise levels greater than 85 dB(A) should be required to wear hearing protectors while in those spaces (see chapter 5). The limit of 110 dB(A) given in paragraph 4.2.1 assumes that hearing protectors giving protection meeting the requirements for hearing protectors in chapter 7 are worn.

4.1.4 Limits are specified in terms of A-weighted sound pressure levels (see paragraphs 1.4.4 and 1.4.24).

4.2 Noise level limits

Limits for noise levels (dB(A)) are specified for various spaces as follows:

Designation of rooms and spaces	Ship size	
	1,600 up to 10,000 GT	≥10,000 GT
4.2.1 Work spaces (see 5.1)		
Machinery spaces ⁵	110	110
Machinery control rooms	75	75
Workshops other than those forming part of machinery spaces	85	85
Non-specified work spaces ⁶ (other work areas)	85	85
4.2.2 Navigation spaces		
Navigating bridge and chartrooms	65	65
Look-out posts, incl. navigating bridge wings ⁷ and windows	70	70
Radio rooms (with radio equipment operating but not producing audio signals)	60	60
Radar rooms	65	65
4.2.3 Accommodation spaces		
Cabin and hospitals ⁸	60	55
Messrooms	65	60
Recreation rooms	65	60
Open recreation areas (external recreation areas)	75	75
Offices	65	60

⁵ If the maximum noise levels are exceeded when machinery is operating (only permitted if dispensation is granted in accordance with paragraph 1.3.6), stay should be limited to very short periods or not allowed at all. The area should be marked according to section 7.4.

⁶ Examples are open deck workspaces that are not machinery spaces, and open deck workspaces where communication is relevant.

⁷ Reference is made to the *Recommendation on methods of measuring noise levels at listening posts* (resolution A.343(IX)) which also applies.

⁸ Hospitals: treatment rooms with beds.

Designation of rooms and spaces	Ship size	
	1,600 up to 10,000 GT	≥10,000 GT
4.2.4 Service spaces		
Galleys, without food processing equipment operating	75	75
Serveries and pantries	75	75
4.2.5 Normally unoccupied spaces		
Spaces referred to in section 3.14	90	90

4.3 Survey report

4.3.1 A noise survey report shall be made for each ship. The report shall comprise information on the noise levels in the various spaces on board. The report shall show the reading at each specified measuring point. The points shall be marked on a general arrangement plan, or on accommodation drawings attached to the report, or shall otherwise be identified.

4.3.2 The format for noise survey reports is set out in appendix 1.

4.3.3 The noise survey report shall always be carried on board and be accessible for the crew.

CHAPTER 5 – NOISE EXPOSURE LIMITS

5.1 General

5.1.1 The noise level limits as set out in chapter 4 are designed so that if they are complied with seafarers will not be exposed to an $L_{ex}(24)$ exceeding 80 dB(A), i.e. within each day or 24-hour period the equivalent continuous noise exposure would not exceed 80 dB(A). For a new ship, compliance with these criteria should be verified on the basis of sea trial measurements of noise levels by calculation of the expected noise exposure of each category of crew members in accordance with the method prescribed in section 3.7.

5.1.2 In spaces with sound pressure levels exceeding 85 dB(A), suitable hearing protection should be used, or to apply time limits for exposure, as set out in this section, to ensure that an equivalent level of protection is maintained.

5.1.3 Each ship to which these regulations apply should include in their Safety Management System a section on the company's policy regarding hearing protection, exposure limits and conduct training on those matters, which will be logged in their training records.

5.1.4 Consideration should be given to the instruction of seafarers on these aspects, as recorded in appendix 2. No crew member should be exposed unprotected to peak values exceeding 135 dB(C).

5.2 Conservation of hearing and use of hearing protectors

In order to comply with the exposure criteria of this section, the use of hearing protectors complying with chapter 7 is permitted. Even when hearing protectors are required for compliance with the Code, risk assessments, a hearing conservation programme and other measures may be implemented by the Administration.

5.3 Limits of exposure of seafarers to high-noise levels

Seafarers should not be exposed to noise in excess of the levels and durations shown in figure 5.1 and described in paragraphs 5.3.1 to 5.3.5.

5.3.1 *Maximum exposure with protection (zone A, Figure 1)*

No seafarer, even when wearing hearing protectors, should be exposed to levels exceeding 120 dB(A) or to an L_{eq} (24) exceeding 105 dB(A).

5.3.2 *Occasional exposure (zone B, Figure 1)*

Only occasional exposures should be allowed in zone B and hearing protectors with an attenuation between 25 and 35 dB(A) should be used.

5.3.3 *Occasional exposure (zone C, Figure 1)*

In zone C only occasional exposures should be allowed and hearing protectors with an attenuation of at least 25 dB(A) should be used.

5.3.4 *Daily exposure (zone D, Figure 1)*

If seafarers routinely work (daily exposure) in spaces with noise levels within zone D hearing protectors with an attenuation up to at least 25 dB(A) should be used and risk assessment and a hearing conservation programme may be considered.

5.3.5 *Maximum exposure without protection (zone E, Figure 1)*

For exposures of less than eight hours, seafarers without hearing protection should not be exposed to noise levels exceeding 85 dB(A). When seafarers remain for more than eight hours in spaces with a high noise level, an L_{eq} (24) of 80 dB(A) should not be exceeded. Consequently, for at least a third of each 24 hours each seafarer should be subject to an environment with a noise level below 75 dB(A).

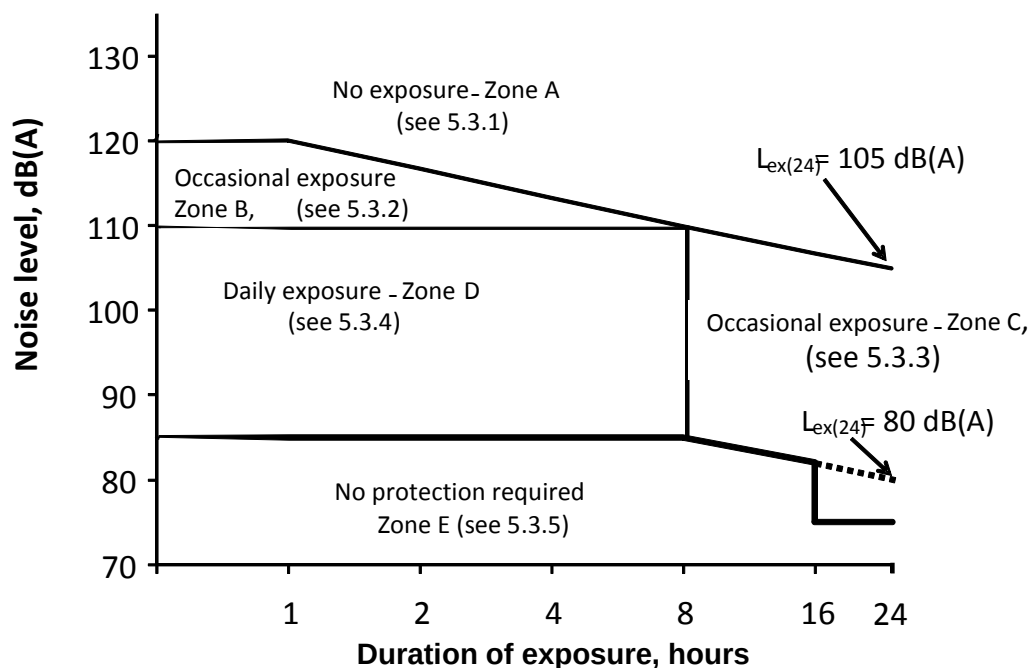


Figure 1: Allowable daily and occasionally occupational zones

Note: To work in Zone A – D hearing protectors attenuating the sound to the ear down to below 85 dB(A) are required. To work in Zone E hearing protectors are not required but should be accessible if the sound level is over 80 dB(A) for more than eight hours.

5.4 24-hour equivalent continuous sound level limit

As an alternative to compliance with the provisions of section 5.3 (figure 1), no unprotected seafarer should be exposed to a 24-hour equivalent continuous sound level greater than 80 dB(A). Each individual's daily exposure duration in spaces requiring the use of hearing protectors should not exceed four hours continuously or eight hours in total.

5.5 Hearing conservation programme

5.5.1 A hearing conservation programme may be provided for seafarers working in spaces with $L_{Aeq} > 85 \text{ dB(A)}$ in order to train them in the hazards of noise and use of hearing protection, and to monitor hearing acuity. Some elements of a hearing conservation programme are as follows:

- .1 Initial and periodic audiometric tests administered by a trained and appropriately qualified person, to the satisfaction of the Administration.
- .2 Instruction of exposed persons on the hazards of high and long duration noise exposures and on the proper use of ear protectors (see appendix 2).
- .3 Maintenance of audiometric test records.
- .4 Periodic analysis of records and hearing acuity of individuals with high hearing loss.

5.5.2 An optional element of a hearing conservation programme is to control the 24-hour equivalent continuous sound level to which individuals working in high noise level spaces are exposed. Such control requires calculation of the 24-hour equivalent continuous sound level. If this 24-hour level does not meet the limits, the duration of exposure should be controlled or hearing protectors used at appropriate times to bring the individual's exposure within the limit.

CHAPTER 6 – ACOUSTIC INSULATION BETWEEN ACCOMMODATION SPACES

6.1 General

Consideration shall be given to the acoustic insulation between accommodation spaces in order to make rest and recreation possible even if activities are going on in adjacent spaces, e.g. music, talking, cargo handling, etc.

6.2 Sound insulation index

6.2.1 The airborne sound insulation properties for bulkheads and decks within the accommodation shall comply at least with the following weighted sound reduction index (R_w) according to ISO Standard 717-1:1996 as amended (1:2006), part 1⁹:

Cabin to cabin	$R_w = 35$
Messrooms, recreation rooms, public spaces and entertainment areas to cabins and hospitals	$R_w = 45$
Corridor to cabin	$R_w = 30$
Cabin to cabin with communicating door	$R_w = 30$.

6.2.2 The airborne sound insulation properties shall be determined by laboratory tests in accordance with ISO 10140-2:2010, to the satisfaction of the Administration.

6.3 Erection of materials

6.3.1 Care should be taken in the erection of materials and in the construction of accommodation spaces. During sea trial testing, if the erection of materials is in doubt then measurements should be taken on board ships for a representative selection of each type of partition, floors, doors as requested in paragraph 6.2.1 and to the satisfaction of the Administration.

6.3.2 The apparent weighted sound reduction index R'_w should comply with the requirements of the paragraph 6.2.1 with tolerance of up to 3 dB.

Note: Field measurements should be performed according to ISO 140-4:1998¹⁰. When the area of the materials tested is $<10 \text{ m}^2$, a minimum value of 10 m^2 should be considered for the calculation of the R'_w index.

⁹ ISO Standard 717-1 – Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – part 1: Airborne sound insulation, and its amendment published in 2006.

¹⁰ ISO 140-4 Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – part 4: field measurements of airborne sound insulation between rooms.

Appendix 2

GUIDANCE ON THE INCLUSION OF NOISE ISSUES IN SAFETY MANAGEMENT SYSTEMS

1 Instruction to seafarers

1.1 Seafarers should be instructed in the hazards of high and long duration noise exposures and the risk of noise-induced hearing loss. Instruction should be given to all seafarers on initial employment and periodically thereafter to those regularly working in spaces with noise levels in excess of 85 dB(A). Instruction in the provisions of the Code should include:

- .1 noise exposure limits and the use of warning notices;
- .2 the types of hearing protectors provided, their approximate attenuation and their proper use, fitting, and the effects on normal communications when first wearing such protection;
- .3 company policies and procedures related to hearing protection and where appropriate any monitoring programme which may be available for seafarers working in spaces covered by warning notices; and
- .4 guidance on the possible signs of hearing loss such as ringing in the ear, dead ear, or fullness in the ear and mitigating techniques to be effected when those signs occur.

1.2 Appropriate seafarers should receive such instruction as is necessary in the correct use and maintenance of machinery and silencers or attenuators in order to avoid the production of unnecessary noise.

2 Responsibility of ship operators

2.1 The ship operator should be responsible for ensuring that means for noise reduction and control are applied and maintained such that the requirements of the Code are met.

2.2 Where noise levels in any space exceed the limit of 85 dB(A), shipowners should ensure that:

- .1 the space is identified and relevant provisions of the Code are complied with;
- .2 the master and senior officers of the ship are aware of the importance of controlling entry into the space and the importance of the use of suitable hearing protection;
- .3 suitable and sufficient hearing protection is provided for distribution on an individual basis to all relevant crew members; and
- .4 the master, senior officers and any safety officer on board a ship are aware of the need for the relevant training and information to be provided on board.

2.3 Where hand tools, galley and other portable equipment produce noise levels above 85 dB(A) in normal working conditions, shipowners should ensure that warning information should be provided.

3 Responsibility of seafarers

Seafarers should be made aware of the need to ensure that:

- .1 all measures adopted for noise control are utilized;
- .2 any defective noise control equipment is reported to responsible persons under the ship's safety management system;
- .3 suitable hearing protectors are always worn when entering areas in which their use is required by warning notices and that those protectors are not removed in those spaces, even for short periods; and
- .4 the hearing protectors provided for their use are not damaged or misused and are maintained in a sanitary condition.

4 Selection of hearing protectors

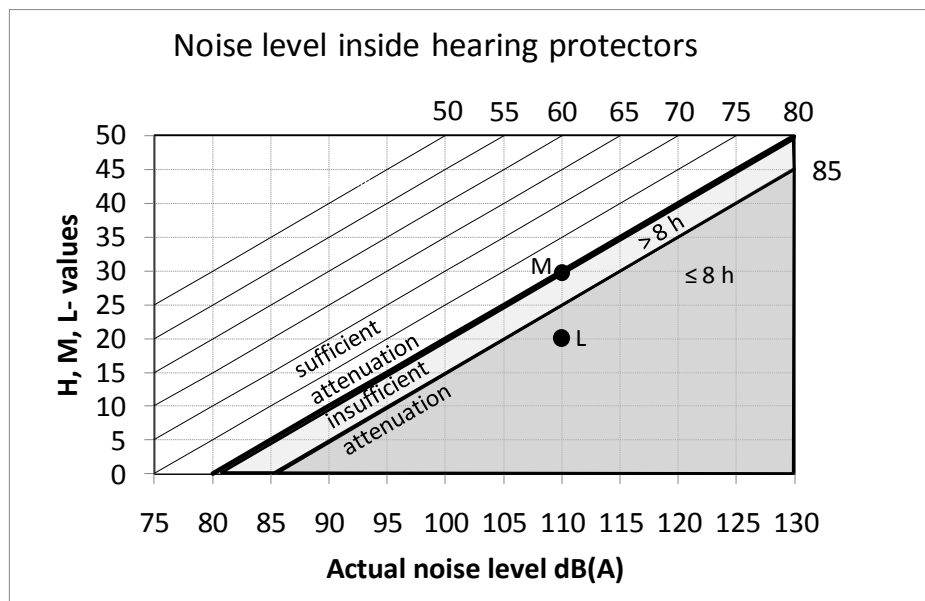
4.1 Selection of suitable hearing protectors should be carried out according to the HML-method described in ISO 4869-2:1994. In order to give guidance to ship operators and seafarers in choosing proper hearing protection, a short description of the HML-method and its use is given below.

4.2 The HML-method is a rating which is calculated in accordance with ISO 4869-2:1994, "Estimation of effective A-weighted sound pressure levels when hearing protectors are worn". Using the H, M, and L ratings requires both A-weighted (L_{Aeq}) and C-weighted (L_{Ceq}) sound pressure levels of the noise and the HML values for the hearing protector in question, which will be provided by the manufacturer.

4.2.1 The HML values for a hearing protector are related to the attenuation that the protector offers in noise of high, medium and low frequencies. These H and M values are used in the calculation of the protected exposure level for noises which have primary energy in the middle and high frequencies. This is considered the case if the measured L_{Ceq} and L_{Aeq} levels differ by 2 dB or less.

4.2.2 The M and L values for the hearing protector are used in the calculation of the protected exposure level for noises which have appreciable low-frequency components and for which the measured L_{Ceq} and L_{Aeq} levels differ by more than 2 dB in those spaces where the protector is intended to be used.

4.3 An example of simple use of the HML method:



On a given ship, the measured sound level in the machinery room is 110 dB(A), 115 dB(C). The chosen hearing protectors have the following attenuation according to the manufacturer: H= 35 dB, M=30 dB, L=20 dB.

- .1 Mark the hearing protectors' L and M values on the vertical line starting at the actual noise level (110 dB(A)).
- .2 Settle if the noise has low or high/medium frequency. If the difference $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ is more than 2 dB the noise has low frequency (L) and if $L_{ceq} - L_{Aeq}$ is less than 2 dB the noise has high or medium frequency (M).
- .3 If the sound is of high/medium frequency ($L_{Ceq} - L_{Aeq} \leq 2$), follow the diagonal line from the M-value and take a reading of the noise level inside the hearing protectors. In this case the noise level inside the hearing protectors is 80 dB(A) which means that the attenuation of the hearing protectors are sufficient for work over 8 hours a day.
- .4 If the sound has low frequency ($L_{Ceq} - L_{Aeq} > 2$), follow the diagonal lines from the L-value and take a reading of the noise level inside the hearing protectors. In this case, the noise level inside the hearing protectors is > 85 dB(A) which means that the hearing protectors are not good enough even for a working day of 8 hours. Choose a hearing protector that has an L-value above 25 dB instead.

4.4 Calculation by the HML-method – Principle and example

Determination of feasibility of a particular protector in a specific noise environment can also be calculated. The values H, M and L may be used to estimate L'A (total A-weighted noise level at the ear) for a particular protector in specific noise situation.

- .1 Calculate $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ (This requires measurements of L_{Aeq} and L_{Ceq} . All class 1 sound level meter can apply A-weighted or C-weighted.)

- .2 If $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ is ≤ 2 dB, the Predicted Noise Reduction level (PNR) is calculated using the equation:

$$PNR = M - \left(\frac{H - M}{4} * (L_{Ceq} - L_{Aeq} - 2) \right)$$

If $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ is > 2 dB, PNR is calculated using the equation:

$$PNR = M - \left(\frac{M - L}{8} * (L_{Ceq} - L_{Aeq} - 2) \right)$$

- .3 The PNR is then subtracted from the total A-weighted noise level to give the effective A-weighted level at the ear under the protector $L'A$:

$$L'A = L_{Aeq} - PNR$$

Example: Hearing protector $H = 35$ dB, $M = 25$ dB, $L = 20$ dB

Noise level in engine-room:

$$L_{Aeq} = 108.7 \text{ dB(A)}$$

$$L_{Ceq} = 109.0 \text{ dB(C)}$$

$$L_{Ceq} - L_{Aeq} = 0.3 \text{ dB}$$

$$PNR = 25 - ((35-25)/4)*(0.3-2) = 29.3 \text{ dB}$$

$$L'A = 108.7 - 29.3 = 79.4 \text{ dB(A)}.$$

In this case, the noise level inside the hearing protectors is below 80 dB(A) which means that the attenuation of the hearing protectors is sufficient for work over eight hours a day.

Appendix 3

SUGGESTED METHODS OF ATTENUATING NOISE

1 General

1.1 In order to obtain a noise reduction on board ships to comply with the limits given in chapters 4 and 5 of the Code, careful consideration should be given to means of such reduction. This appendix is intended to provide information for the design of a ship in this respect.

1.2 Design and construction of noise control measures should be supervised by persons skilled in noise control techniques.

1.3 Some of the measures which can be taken to control the noise level or reduce the exposure of seafarers to potentially harmful noise are indicated in sections 2 to 10 of this appendix. It is emphasized that it will not be necessary to implement all or any of the measures recommended in this appendix on all ships. This Code does not provide detailed technical information needed for putting constructional noise control measures into effect, or for deciding which measures are appropriate in particular circumstances.

1.4 In applying noise control measures, care should be taken to ensure that rules and regulations concerning ship structure, accommodation and other safety matters are not infringed and the use of sound reduction materials should not introduce fire, safety or health hazards nor should such material, by virtue of flimsy construction or attachment, introduce hazards that may tend to impede either evacuation or de-watering of the spaces.

1.5 The need for noise control should be taken into account at the design stage when deciding which of different designs of engines and machinery are to be installed, the method of installation and the siting of machinery in relation to other spaces, and the acoustic insulation and siting of the accommodation spaces.

1.6 Due to the normal method of ship construction, it is most probable that noise originating from machinery and propellers reaching the accommodation and other spaces outside the machinery spaces will be of the structure-borne type.

1.7 When designing efficient and economic measures for noise control of machinery installations in existing ships, the measurement of sound produced in terms of A-weighted sound level may need to be supplemented by some form of frequency analysis.

2 Isolation of sources of noise

2.1 Where practicable, any engines or machinery producing noise levels in excess of the limits set out in section 4.2 of the Code should be installed in compartments which do not require continuous attendance (see also paragraph 6.1 of this appendix).

2.2 Accommodation should be sited both horizontally and vertically as far away as is practicable from sources of noise such as propellers and propulsion machinery.

2.3 Machinery casings should, where practicable, be arranged outside superstructures and deckhouses containing accommodation spaces. Where this is not feasible, passageways should be arranged between the casings and accommodation spaces, if practicable.

2.4 Consideration should be given, where practicable, to the placing of accommodation spaces in deck houses not in superstructures extending to the ship's side.

2.5 Consideration may also be given, where applicable, to the separation of accommodation spaces from machinery spaces by unoccupied spaces, sanitary and washing rooms.

2.6 Suitable partitions, bulkheads, decks, etc., may be needed to prevent the spread of sound. It is important that these be of the correct construction and location in relation to the source of sound and the frequency of the sound to be attenuated.

2.7 Where a space, such as a machinery space, is being divided into noisy (not continually manned) and less noisy (capable of being continually manned) spaces, it is preferable to have complete separation¹¹.

2.8 It may be advisable to provide sound absorbing material in certain spaces in order to prevent increase of noise level due to reflection from partitions, bulkheads, decks, etc.

3 Exhaust and intake silencing

3.1 Exhaust systems from internal combustion engines, air-intake systems to machinery spaces, accommodation spaces and other spaces should be so arranged that the inflow or discharge orifices are remote from places frequented by seafarers.

3.2 Silencers, noise-cancelling equipment or attenuators should be fitted when necessary.

3.3 To minimize accommodation noise levels it is normally necessary to reduce structure-borne noise by isolating exhaust systems and certain pipe work and duct work from casings, bulkheads, etc.

4 Machinery enclosure

4.1 In continuously manned spaces or spaces where seafarers might reasonably be expected to spend lengthy periods of time on maintenance or overhaul work, and where separation as detailed in section 2 of this appendix is not practicable, consideration should be given to the fitting of sound insulating enclosures or partial enclosures to engines or machinery producing sound pressure levels in excess of the limits set out in section 4.2 of the Code.

4.2 Where the noise level produced by engines or machinery installed in spaces as in paragraph 4.1 above falls within the criteria of paragraph 5.3.1 of the Code and zone A of figure 5.1, it is essential that noise reduction measures are provided.

4.3 When sound insulating enclosures are fitted, it is important that they entirely enclose the noise source.

5 Reduction of noise in the aft body

To reduce the noise influence in the aft body of the ship, especially to the accommodation spaces, consideration may be given to noise emission problems during the design procedures relating to the aft body, propeller, etc.

¹¹ In these cases it may be necessary to ensure the supervision of the plant by installing alarms in the less noisy compartments and to arrange means of escape so that seafarers may leave these compartments without danger.

6 Enclosure of the operator

6.1 In most machinery spaces it would be desirable and advisable to protect operating or watchkeeping seafarers by providing a sound reducing control room or other similar space (see paragraph 2.1 of this appendix).

6.2 In continuously manned machinery spaces of small ships and of existing ships where noise levels are in excess of 85 dB(A), it would be desirable to provide a noise refuge at the control station or manoeuvring platform where the watch keeper might be expected to spend the major part of the time.

7 Control of noise accentuation into accommodation spaces

7.1 To reduce noise levels in accommodation spaces it may be necessary to consider the isolation of deckhouses containing such spaces from the remaining structure of the ship by resilient mountings.

7.2 Consideration may also be given to the provision of flexible connections to bulkheads, linings and ceilings and the installation of floating floors within accommodation spaces.

7.3 The provision of curtains to side scuttles and windows and the use of carpets within accommodation spaces assist in absorbing noise.

8 Selection of machinery

8.1 The sound produced by each item of machinery to be fitted should be taken into account at the design stage. It may be possible to control noise by using a machine producing less airborne, fluid-borne or structure-borne sound.

8.2 Manufacturers should be requested to supply information on the sound produced by their machinery and also to provide recommended methods of installation in order to keep noise levels to a minimum.

9 Inspection and maintenance

All items of machinery, equipment and associated working spaces should be periodically inspected as part of the onboard safety management system with respect to any noise control/reduction features. Should such inspection reveal defects in the means for noise control, or other defects causing excessive noise, these should be rectified as soon as is practical.

10 Vibration isolation

10.1 Where necessary, machines should be supported on carefully selected resilient mountings. To ensure the effectiveness of the isolation, the mountings should be installed on a sufficient stiff foundation.

10.2 Where structure-borne sound from auxiliary machinery, compressors, hydraulic units, generating sets, vents, exhaust pipes and silencers produces unacceptable noise levels in accommodation spaces or on the navigating bridge, use of resilient mountings should be considered.

10.3 When sound insulating enclosures are fitted consideration may be given to the machine being resiliently mounted and pipe, trunk and cable connections to it being flexible.

11 Noise prediction

11.1 In the design phase of new ships, the designer/yard may predict by calculations, qualified assessments or the like, the expected noise levels in areas of the ship likely to have noise levels over acceptable levels from chapter 4.

11.2 The noise predictions referred to in paragraph 11.1 should be used in the design phase to identify possible areas in the ship where special consideration must be given to noise reduction measures in order to observe the noise level limits stipulated in section 4.2 of the Code.

11.3 The noise predictions and any noise reduction measures planned in the design phase should be documented, especially in cases where, according to the noise predictions, it must be expected that compliance with any of the noise level limits of section 4.2 of the Code will be difficult to achieve, despite reasonable technical initiatives.

12 Noise-cancelling equipment

12.1 Noise cancellation, also known as anti-noise, is the process whereby mostly low-frequency (below 500 Hz) repetitive noises such as made by engines and rotating machinery, is cancelled out by introducing a cancelling anti-noise signal which is equal to but 180 degrees out of phase with the noise. This anti-noise is introduced to the environment in a way that it matches the noise in the region of interest. The two signals then cancel each other out, effectively removing a significant portion of the noise energy from the environment.

12.2 Several applications for this technology exist. They include:

- .1 Active mufflers – have been shown in other modes of transportation to reduce exhaust noise from internal combustion engines, compressors, and vacuum pumps without the inefficiencies caused by back pressure.
- .2 Active mounts – these can contain vibration from rotating machines to improve comfort, decrease wear on moving parts, and reduce secondary acoustic noise from vibration.
- .3 Noise-cancelled quiet zones – currently silent seats and (automobile) cabin quieting systems for various modes of transportation exist. The possibility exists for producing active-quieted bunks of other spaces for seafarer comfort and recovery.
- .4 Noise-cancelling headsets – these can extend hearing protection beyond passive ear defenders to include low frequencies. Active headsets can also allow communication, by permitting normal conversation, and improve work place safety.

12.3 It is suggested that information concerning experience from these active noise-reducing systems be provided to the Organization to better evaluate the performance parameters of these systems.

13 Noise recovery areas

13.1 Incorporation of noise recovery areas may be used as an alternative design approach for the construction of ships under 1,600 GT or ice-breaking vessels. Noise recovery areas may also be considered for incorporation in ship-specific applications where noisy operations (examples are extended air/helicopter operations or heavy weather operation of dynamic positioning equipment) are undertaken for time periods over and above those of normal, routine seagoing practices. The use of these spaces should be integrated into ship safe operations policies under the ISM Code.

13.2 Noise recovery areas should be provided if no other technical or organizational solutions are feasible to reduce excessive noise from sound sources.

Appendix 4

SIMPLIFIED PROCEDURE FOR DETERMINING NOISE EXPOSURE

1 General

1.1 In order to ensure that seafarers will not be exposed to an $L_{ex}(24)$ exceeding 80 dB(A), this appendix is providing information on a simplified procedure for determining the related noise exposure.

1.2 The determination of noise exposure should be usually carried out based on ISO 9612:2009.

1.3 A simplified method based on the noise measurements during sea trial/harbour stay and a job profile for crew members is described in the following:

2 Work analysis/Job profiling and off-duty hours

2.1 With the help of a crew list, different job categories (groups) will be defined.

Example:

- Master
- Chief engineer
- Electrician
- Cook
- etc.

2.2 For each job category, a job profile has to be defined individually. The job profile is related to the work spaces on board the vessel.

Example:

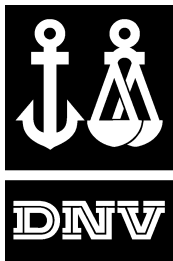
- Wheelhouse
- Ship office
- Machinery control room
- Workshop
- Engine-room
- Galley
- etc.

2.3 For each job category, the working shift is to be divided into partitions (i) related to the work spaces. A similar assessment should be made for off-duty hours (the partitions are based on estimations by the owner/operator/employer).

Example:

A full day for an electrician may be divided into the following partitions:

i = 1	Workshop	=	$T_i = 5$ hours
i = 2	Machinery control room	=	$T_i = 2$ hours
i = 3	Ship office	=	$T_i = 2$ hours
i = 4	Engine-room	=	$T_i = 1$ hour
i = 5	Off-duty	=	$T_i = 14$ hours
Total		=	$T_{total} = 24$ hours



RULES FOR CLASSIFICATION OF **SHIPS**

SPECIAL SERVICE AND TYPE
ADDITIONAL CLASS

PART 5 CHAPTER 12

COMFORT CLASS

JANUARY 2011

CONTENTS	PAGE
Sec. 1 General Requirements.....	5
Sec. 2 Noise and Vibration	6
Sec. 3 Indoor Climate	13
App. A Guidelines for Handling of Excessive Noise and Vibration Levels	20

DET NORSKE VERITAS

Veritasveien 1, NO-1322 Høvik, Norway Tel.: +47 67 57 99 00 Fax: +47 67 57 99 11

CHANGES IN THE RULES

General

As of October 2010 all DNV service documents are primarily published electronically.

In order to ensure a practical transition from the “print” scheme to the “electronic” scheme, all rule chapters having incorporated amendments and corrections more recent than the date of the latest printed issue, have been given the date January 2011.

An overview of DNV service documents, their update status and historical “amendments and corrections” may be found through http://www.dnv.com/resources/rules_standards/.

Main changes

Since the previous edition (January 2009), this chapter has been amended, most recently in January 2010. All changes previously found in Pt.0 Ch.1 Sec.3 have been incorporated and a new date (January 2011) has been given as explained under “General”.

In addition, the layout has been changed to one column in order to improve electronic readability.

The electronic pdf version of this document found through <http://www.dnv.com> is the officially binding version
© Det Norske Veritas

Any comments may be sent by e-mail to rules@dnv.com
For subscription orders or information about subscription terms, please use distribution@dnv.com
Computer Typesetting (Adobe Frame Maker) by Det Norske Veritas

If any person suffers loss or damage which is proved to have been caused by any negligent act or omission of Det Norske Veritas, then Det Norske Veritas shall pay compensation to such person for his proved direct loss or damage. However, the compensation shall not exceed an amount equal to ten times the fee charged for the service in question, provided that the maximum compensation shall never exceed USD 2 million.
In this provision “Det Norske Veritas” shall mean the Foundation Det Norske Veritas as well as all its subsidiaries, directors, officers, employees, agents and any other acting on behalf of Det Norske Veritas.

CONTENTS

Sec. 1 General Requirements	5
A. Classification.....	5
A 100 Application.....	5
A 200 Grouping of environmental standards.....	5
A 300 Class notations	5
B. Definitions	5
B 100 Definitions	5
C. Documentation	5
C 100 Noise and vibration	5
C 200 Indoor climate	5
Sec. 2 Noise and Vibration	6
A. General.....	6
A 100 Rule applications.....	6
A 200 International standards	6
A 300 Definitions	6
A 400 Abbreviations.....	6
B. Noise and Vibration Requirements	7
B 100 General.....	7
B 200 Noise criteria.....	7
B 300 Sound insulation	8
B 400 Impact sound insulation, passenger ships	8
B 500 Vibration criteria.....	9
C. Certification and Testing, Noise	9
C 100 General.....	9
C 200 Distribution of measuring positions in sleeping cabins	10
C 300 Distribution of measuring positions for public spaces.....	10
C 400 Measuring positions open deck recreation areas	10
C 500 High speed and light craft.....	10
C 600 Reporting	10
D. Certification and Testing, Vibration	11
D 100 General.....	11
D 200 Measuring positions.....	11
D 300 Data acquisition	11
D 400 Reporting	12
E. Test Conditions.....	12
E 100 General.....	12
E 200 Noise	12
E 300 Vibration	12
Sec. 3 Indoor Climate.....	13
A. General.....	13
A 100 Rule applications.....	13
A 200 International standards	13
A 300 Terminology and units	13
A 400 Abbreviations.....	14
B. Requirements for On Board Climate	14
B 100 General.....	14
B 200 Climate requirements.....	14
C. Certification and Testing.....	16
C 100 General.....	16
C 200 Measuring locations.....	17
C 300 Testing	17
C 400 Reporting	18
D. System Requirements	18
D 100 General.....	18
D 200 HVAC System Failure Mode Control	18
D 300 HVAC System Maintainability	19
D 400 Filter requirements	19

App. A Guidelines for Handling of Excessive Noise and Vibration Levels..... 20

A. Introduction 20

A 100 General..... 20

B. Excessive Vibration Levels 20

B 100 Deviations from vibration limits..... 20

C. Excessive Noise Levels 21

C 100 Deviations from noise limits..... 21

D. Scaling or Weighting of the Measurements in Cabins..... 22

D 100 General..... 22

SECTION 1 GENERAL REQUIREMENTS

A. Classification

A 100 Application

101 The rules in this chapter state requirements for noise, vibration and indoor climate on board ships.

102 The rules aim at attaining a ship with controlled environmental standards. Compliance with the rules shall be verified through measurements of defined environmental parameters.

A 200 Grouping of environmental standards

201 The environmental standards are divided in two groups:

- **V** Noise and vibration
- **C** Indoor climate.

202 The additional class notation may be given for each group separately, or for both groups.

A 300 Class notations

301 Vessels which fulfil the requirements of Sec.2 will be given the additional class notation **COMF-V(crn)**, where **crn** is a comfort rating number which quantifies the comfort rating of noise and vibration for the vessel.

302 Vessels which fulfil the requirements of Sec.3 will be given the additional class notation **COMF-C(crn)**, where **crn** is a comfort rating number which quantifies the comfort rating of the indoor climate for the vessel.

303 Vessels which fulfil all the requirements in this Chapter will be given the additional class notation **COMF-V(crn)C(crn)**.

B. Definitions

B 100 Definitions

101 The main parameters determining the comfort on board a vessel are defined below.

102 *Noise*: Audible air pressure fluctuations generated by ship machinery, systems or structure, i.e. in the frequency range 20 – 20 000 Hz.

103 *Vibration*: Structural motion in the frequency range 1 – 100 Hz.

104 *Indoor climate*: Ambient temperature, temperature gradient, air velocity, humidity and carbon dioxide concentration used as descriptors for indoor climate.

105 Only effects of the above parameters on the well-being of crew and passengers are considered by these rules. Possible influence on machinery, structure or other systems is considered in other relevant parts of the Rules.

C. Documentation

C 100 Noise and vibration

101 Required documentation is described in Sec.2

C 200 Indoor climate

201 Required documentation is described in Sec.3.

SECTION 2 NOISE AND VIBRATION

A. General

A 100 Rule applications

101 The rules give requirements for noise and vibration related to comfort on board ships. Reference is made to national and international standards on noise and vibration criteria related to hearing damage, speech intelligibility for safety reasons, and acceptable vibration for machinery and equipment.

102 The rules apply to the spaces specified in tables B1–B9.

A 200 International standards

201 International standards have been used as foundation for the rules, but have not necessarily been adhered to. When setting the noise and vibration limits, and determining the measuring procedure, due consideration has been given to technical and practical limitations inherent in the design and construction of different types of ship and localities.

202 The standards shown below contain provisions which are referred to in this text or have been used by the Society as basis when developing the rules. Unless a particular edition is referred to explicitly, the latest edition of each standard shall apply.

203 *Noise:*

- IMO Resolution A. 468 (XII), “Code on noise levels onboard ship”.
- ISO 2923, “Acoustics – Measurement of noise on board vessels”.
- ISO 31/VII, “Quantities and units of acoustics”.
- IEC Publication 651, “Sound level meters”.
- IEC Publication 225, “Octave, half-octave and third-octave band filters intended for the analysis of sound and vibration”.
- IEC Publication 804, and amendment no. 1, 1989, “Integrating-averaging sound level meters”.
- IEC Publication 942, “Sound calibrators”.
- ISO R717/1, “Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation in buildings and interior elements”.
- ISO 717/2, “Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Impact sound insulation”.
- ISO 140/4, “Acoustics – Measurements of sound insulation in buildings and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms”.
- ISO 140/7, “Acoustics – Measurements of sound insulation in buildings and of building elements – Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors”.

204 *Vibration:*

- ISO 6954, “Mechanical vibration and shock – Guidelines for the overall evaluation of vibration in merchant ships”.
- ISO 2041, “Vibration and shock – Vocabulary”
- ISO 4867, “Code for the measurement and reporting of shipboard vibration data”
- ISO 4868, “Code for the measurement and reporting of local vibration data of ship structures and equipment”.
- ISO 2631, “Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration”.

A 300 Definitions

301 Basic noise and vibration quantities and units are defined in ISO 31/VII and ISO 2041.

302 *Crew Accommodation:* Cabins, offices, hospitals, mess rooms, recreation rooms, and open deck areas to be used by officers and crew.

303 *Passenger Accommodation:* All areas intended to be used by passengers.

304 *Public spaces:* Communal indoor areas, e.g. restaurants, theaters, cinema, discos, shops, reading rooms, game rooms, gymnasiums, hobby rooms etc. Corridors, washrooms and toilets are excluded.

A 400 Abbreviations

401 *ISO:* International Organization for Standardization

402 *IMO:* International Maritime Organization

403 *IEC:* International Electrotechnical Commission.

B. Noise and Vibration Requirements

B 100 General

101 Compliance with the rules shall be verified through measurements. It may, however, be advantageous to carry out calculations at an early project stage in order to ensure that necessary noise and vibration control measures are included.

102 The required test conditions are given in Chapter E.

103 The requirements for noise and vibration are set up for several types of ships related to the main class issued for the ship. The requirements for each type of ship are divided in groups for specified locations.

104 All locations specified in the tables below shall comply with the criteria in order to be assigned the additional class notation **COMF-V**. However, in special cases small deviations from the requirements may be accepted. This will be decided by the Society in each particular case. Guidelines for handling of excessive noise and vibration levels are given in Appendix A.

105 The noise and vibration criteria are divided into three groups depending on the level of comfort achieved, i.e. comfort rating number (**crn**) **1**, **2** and **3**, where (**crn**) **1** represents the highest comfort level and (**crn**) **3** represents an acceptable level of comfort.

106 The highest comfort rating number achieved for noise or vibration will determine the overall rating for noise and vibration, e.g. a vessel meeting (**crn**) **2** for vibration and (**crn**) **1** for noise will be denoted (**crn**) **2**.

107 For offshore service vessels to be operated at DP (Dynamic Positioning) mode, noise and vibration measurements shall be carried out with the side thrusters in operation. The operating condition shall correspond to contractual conditions or with at least 40% power on the thrusters.

108 For passenger ships the given comfort rating number applies to the passenger accommodation only. The crew accommodation shall comply with minimum rating (**crn**) **3** for cargo ships.

B 200 Noise criteria

201 The maximum allowed noise levels for different ships, localities and comfort standards are given in Table B1, B2, B3 and B4.

202 In Table B4 Yacht, the noise levels specified for the transit condition apply to yachts not intended for overnight cruising. For yachts intended for overnight cruising, the rules for passenger ships shall apply for the transit condition.

Table B1 Passenger Ships - Passenger Accommodation Noise levels in dB(A)			
<i>Locations</i>	<i>Comfort rating number (crn)</i>		
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Passenger top grade cabins	44	47	50
Passenger cabins, standard	49	52	55
Public spaces	55	58	62
Open deck recreation ^{1) 2)}	65	65	70
1) 5 dB(A) relaxation in sports areas and passage ways			
2) 5 dB(A) relaxation near ventilation inlets and outlets			

Table B2 Cargo ships ¹⁾ - Crew Accommodation Noise levels in dB(A)			
<i>Locations</i>	<i>Comfort rating number (crn)</i>		
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Wheelhouse	60	60	65
Radio room	55	55	60
Crew cabins	50	55	60
Crew public spaces	55	60	65
Hospital	55	55	60
Offices	60	60	65
Engine control room	70	70	75
Open deck recreation	70	70	75
1) For working areas and engine room it is referred to IMO Res. A. 468 (XII).			

Table B3 High Speed and Light Craft - Length above and below 50m Noise levels in dB(A)						
<i>Locations</i>	<i>Comfort rating number (crn)</i>					
	<i>50m and below</i>			<i>Above 50m</i>		
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Passenger localities	65	70	75	60	65	68
Navigation bridge	60	60	65	60	60	65
Service areas /hops/kiosk	68	73	78	65	65	70

Table B4 Yacht - Owner and Guest Areas Noise levels in dB(A)						
<i>Locations</i>	<i>Comfort rating number (crn)</i>					
	<i>In harbour condition</i>			<i>Transit condition</i>		
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Sleeping rooms	35	40	45	-	-	-
Lounges / Saloons	40	45	50	53	58	62
Outdoor re-creation areas	50	55	60	75	80	85
Navigation bridge	-	-	-	60	60	65

Table B5 Sound Insulation Indexes	
<i>Positions</i>	<i>$L_p + RW'$ (dB)</i>
Cabin to cabin (crew)	88
Cabin to cabin (passenger)	90
Cabin to corridor	87
Cabin to stairways	100
Cabin to engine rooms	100
Cabin to public spaces	100
Machinery/ technical spaces to passenger corridor	100

B 300 Sound insulation

301 The acoustic insulation between accommodation spaces, is at least to satisfy the requirements for weighted apparent sound insulation indexes given in Table B5. Note that the requirements are stated as the sum of the relevant noise criterion L_p and the weighted apparent sound insulation index. This has been done because a low background noise level will require a stricter requirement to sound insulation in order to achieve a satisfactory level of comfort.

302 For cabins in areas with a low background noise level (below 45 dB(A)) precautions shall be taken when a boundary of such a cabin is facing an entertainment area. For such cases a minimum weighted apparent sound insulation index of 65 dB is recommended. Care should also be exercised when mounting loudspeakers to the structure, so that noise transmission from the loudspeaker in the structure is avoided.

B 400 Impact sound insulation, passenger ships

401 For passenger cabins the normalized impact sound pressure level is not to exceed 50 dB. For passenger cabins below areas with wooden deck, marble deck or similar hard deck covering materials, the above requirement may be relaxed to 60 dB due to constructional limitations.

402 For passenger cabins located below dance floors, stages and gymnasiums, a normalized impact sound pressure level shall not exceed 45 dB.

Table B6 Passenger Ships - Passenger Accommodation Vibration level in mm/s peak for single frequency components between 5 and 100 Hz ¹⁾			
<i>Locations</i>	<i>Comfort rating number (crn)</i>		
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Passenger top grade cabins	1.5	2.0	2.5
Passenger cabins, standard	1.5	2.5	4.0
Public spaces	1.5	2.5	4.0
Open decks recreation	2.5	3.5	5.0

1) For frequencies below 5 Hz the requirements follow constant acceleration curves corresponding to the acceleration at 5 Hz.

Table B7 Cargo Ships - Crew Accommodation and Work Places			
Vibration level in mm/s peak for single frequency components between 5 and 100 Hz ¹⁾			
<i>Locations</i>	<i>Comfort rating number (crn)</i>		
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Cabins	2.5	3.5	5.0
Mess/recreation rooms	2.5	3.5	5.0
Offices	2.5	3.5	5.0
Navigation bridge	2.5	3.5	5.0
Control rooms	3.5	4.5	6.0
Work places	3.5	4.5	6.0
1) For frequencies below 5 Hz the requirements follow constant acceleration curves corresponding to the acceleration at 5 Hz.			

Table B8 High Speed and Light Craft			
Vibration level in mm/s peak for single frequency components between 5 and 100 Hz ¹⁾			
<i>Locations</i>	<i>Comfort rating number (crn)</i>		
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Passenger localities	2.0	3.5	5.0
Navigation bridge	2.0	3.5	5.0
Offices	2.0	3.5	5.0
Control rooms	3.0	4.5	6.0
1) For frequencies below 5 Hz the requirements follow constant acceleration curves corresponding to the acceleration at 5 Hz.			

Table B9 Yacht - Owner and Guest Areas						
Vibration level in mm/s peak for single frequency components between 5 and 100 Hz ¹⁾						
<i>Locations</i>	<i>Comfort rating number (crn)</i>					
	<i>In harbour conditions</i>			<i>Transit conditions</i>		
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Accommodation	0.5	1.0	2.0	1.0	2.0	3.0
Outdoor re-creation areas	0.5	1.0	2.0	2.0	3.0	4.0
Navigation bridge	-	-	-	1.5	2.5	4.0
1) For frequencies below 5 Hz the requirements follow constant acceleration curves corresponding to the acceleration at 5 Hz.						

B 500 Vibration criteria

501 The standards to be met are given in Tables B6, B7, B8 and B9.

502 The vibration limits are given in vibration velocity, peak amplitude. If RMS (Root Mean Square) values are measured, each frequency component may be converted to peak amplitude by multiplication of $\sqrt{2}$ (1.41).

503 It should be noted that ISO 6954 defines a conversion factor to be multiplied with the time averaged peak values. The obtained “max repetitive value” should be compared to the guideline. In these rules, the time averaged peak values shall be directly compared to the given limits, since a conversion factor is already incorporated in the limits.

504 The specified vibration levels apply to the maximum single frequency component of vertical, fore and aft and athwartship vibration which shall be assessed separately.

C. Certification and Testing, Noise

C 100 General

101 The measurements shall be carried out according to the procedures described in ISO 2923. When the procedure described in ISO 2923 deviates from any requirements or procedure mentioned in these rules, the requirements in these rules take precedence.

102 The instrumentation to be used for the measurements shall comply with the requirements given in ISO 2923.

103 A test program shall be approved prior to the measurements. The test program is at least to include the following information:

- specification of measuring locations
- required loading conditions
- required operating conditions for machinery
- instrumentation to be used.

104 The measuring positions shall be selected such as to give a representative description of the noise situation on board the ship. Since the noise levels normally are higher close to the major sources such as propellers and main/auxiliary engines, a higher density of measuring positions will be required in areas near noise sources.

105 The number and location of measuring positions shall be approved by the Society prior to the noise survey.

106 If the specified criterion is exceeded, octave band analysis of the noise shall be performed.

C 200 Distribution of measuring positions in sleeping cabins

201 For conventional cargo ships with less than 100 cabins and the accommodation restricted to a separate section in the aft-ship, in the midship area or in the fore-ship, noise measurements shall be taken in all cabins.

202 For ships with a large number of cabins distributed over a major portion of the ship, e.g. a passenger ship, measurements may be limited to a selected number of cabins. By dividing the length of the ship in three parts, the minimum number of measuring positions is given in Table C1. The measuring positions shall be evenly distributed amongst the cabins within each of the aft-, mid- and foreship sections of the ship.

Table C1 Distribution and number of measuring positions for cabins	
<i>Measuring region</i>	<i>Minimum percentage of cabins in the region to be measured</i>
Aftship (Aft end to 1/3 L)	40%
Midship (1/3 L to 2/3 L)	25%
Foreship (2/3 L to fore end)	15%

L is the distance from the aft to the forward perpendicular.

C 300 Distribution of measuring positions for public spaces

301 The noise level shall be measured in all the public spaces on board. The measuring positions shall be selected such as to give a representative description of the noise situation in the public spaces on board the ship.

302 In large rooms, such as lounges, restaurants, etc., several measuring positions may be necessary to get a representative description of the noise situation. No distance between measuring positions or between measuring positions and walls shall exceed 7 m.

303 The measured noise levels in the different positions in a room form a set of measurements for this room. This set of measurements shall be compared to the noise criteria taking into account the allowable standard deviation for public spaces, see Appendix A.

C 400 Measuring positions open deck recreation areas

401 Several measuring positions will normally be required to cover these areas. If more than one noise registration is made for positions which naturally belong together, a set of measurements for the area shall be applied for the comparison with the noise criteria according to the procedures described above.

C 500 High speed and light craft

501 In the passenger saloons of high speed and light craft, measurements shall be taken in at least the following positions:

- at the aft seat row / seat position, near starboard side, near centreline and near port side, but at least 0.5 m from reflecting surfaces.
- for vessels with length over all 50 m and below, in positions near centreline and ship sides at distances not exceeding 4 m in longitudinal directions and at least 0.5 m from reflecting surfaces
- for vessels with length over all above 50 m, at distances not exceeding 4 m from the aft seat-position to a position beyond half the length over all of the vessel, near starboard side, near centreline and near port side, but at least 0.5 m from reflecting surfaces. Forward of the mid-ship position, at distances not exceeding 7 m in longitudinal direction.

502 The criteria given in Table B3, apply in each measuring location in the passenger saloon for high speed and light craft.

C 600 Reporting

601 The report shall comply with the requirements in ISO 2923.

602 The positions of the noise measurements shall be plotted on general arrangement drawings of the ship.

603 The dB(A) levels shall be listed in tables and preferably plotted on general arrangement drawings of the ship.

604 If the specified noise criterion is exceeded, octave band readings shall be reported.

D. Certification and Testing, Vibration

D 100 General

101 The measurements shall be carried out according to the procedures described in ISO 4868. When the procedure described in ISO 4868 deviates from any requirements or procedure mentioned in these rules, the requirements in these rules take precedence.

102 The instrumentation to be used for the measurements shall be of an electronic type. The signal may be stored on tape, analysed directly by means of a FFT-analyser, or by means of PC-based equipment.

103 A test program shall be approved prior to the measurements. The test program is at least to include the following information:

- specification of measuring locations
- required loading conditions
- required operating conditions for machinery
- instrumentation to be used.

104 The measuring positions shall be selected such as to give a representative description of the vibration situation on board the ship.

105 The number and location of measuring positions shall be approved by the Society prior to the vibration survey.

D 200 Measuring positions

201 Vibration measurements in cabins are normally to be taken at the floor in the center of the room and shall reflect the vibration of the steel structure.

202 For larger spaces (public rooms, messes, recreation areas, etc.) it may be necessary to distribute a number of measuring positions.

203 The measured vibration levels in the different positions in a public room form a set of measurements for this room. This set of measurements shall be compared to the vibration criteria taking into account the allowable standard deviation for public spaces, see Appendix A.

204 On decks where the accommodation extends over a large proportion of the length of the ship, as for instance for passenger vessels, it is recommended that the measuring positions should be distributed according to the Table D1. The distribution shall be applied on each deck.

Table D1 Distribution and number of measuring positions for cabins	
<i>Measuring region</i>	<i>Percentage of measuring positions to be placed in the region</i>
Aftship (Aft end to 1/3 L)	60%
Midship (1/3 L to 2/3 L)	30%
Foreship (2/3 L to fore end)	10%
L is the distance from the aft to the forward perpendicular.	

205 Vibration levels in vertical, longitudinal and transverse direction are subjected to assessment. Recording of vibration levels in longitudinal and transverse direction is not required in all positions, but must be taken in sufficient number of positions in order to represent the global vibration of the deck according to the paragraphs below.

206 For ships with the accommodation placed in a deck house, transverse vibration to be recorded at the front and aft end, and longitudinal vibration at the port and starboard side of the deck house at each deck level.

207 For ships where the accommodation extends over a large portion of the length of the vessel, as for instance for passenger ships, the transverse vibration to be recorded at approximately 25% of the positions, evenly distributed along the ship. The longitudinal vibration to be recorded at one position on each deck.

208 The distribution of the measuring positions shall be approved prior to the tests. The measuring positions may, however, be subjected to alterations during the testing based on actual findings during the survey on board the ship.

D 300 Data acquisition

301 The measurements shall be analysed using FFT - techniques, and presented in the frequency domain (frequency spectra).

302 Analysis parameters:

- frequency range 1– 100 Hz
- at least 400 spectral-lines

- window function which gives an accurate estimate of the amplitude value of the single peaks in the frequency spectra (for instance Flat top window)
- the vibration recordings shall be averaged over a time period of approximately 1 min.

303 The results should preferably be presented as vibration velocities.

304 The velocity levels should preferably be given in peak single amplitude. If not, the units and conventions applied shall be clearly stated.

D 400 Reporting

401 The report shall contain the following information:

- ship and machinery particulars
- condition during the measurements such as power output, propeller/engine speed, draught, water depth under keel, wind and sea state
- sketch showing the location of the measuring positions and their direction of measurements
- tables of all significant components of the vibration levels and corresponding frequency. Alternatively the frequency spectra for the different locations may be presented, or the significant vibration components plotted in a graph
- instrumentation which has been used, including type of analyser, window function which has been applied, averaging time and resolution.

E. Test Conditions

E 100 General

101 The required conditions to be fulfilled during the tests are based on ISO 2923 for noise and ISO 4868 for vibration. Major items to be fulfilled are listed below. When the test conditions described in the ISO standards deviate from any requirements or procedure mentioned in these rules, the requirements in these rules take precedence.

102 Generally the power output on the propeller shaft(s) shall correspond to contractual normal seagoing condition, or at least 85% of maximum continuous power available on the propeller shaft(s). All other machinery shall be run under normal operating conditions during the tests. For propulsion plants with shaft-generators and boosters, the power to be used on the propeller shaft(s) shall be based on a normal operation of the ship and will be determined and approved for each individual case.

103 The test should be conducted in a depth of water not less than three times the draught of the ship for vessels which normally are operated in deep waters. For ships to be operated continuously in shallow waters, the tests shall be performed at relevant depth of water.

104 The tests should be conducted in a quiet sea (Sea state 3 or less).

105 The loading condition(s) of the ship shall be as close as possible to normal operating condition(s). For ships with larger variation than 25% in relevant displacements, the measurements shall be taken at two loading conditions close to the relevant heavy and light condition. The loading condition(s) to be used shall be approved by the Society prior to the testing.

106 The rudder angle should be restricted to about 0 degrees ± 2 degrees (minimum rudder action is desired).

107 For offshore service vessels to be operated at DP, noise and vibration measurements shall be carried out with the side thrusters in operation. The operating condition shall correspond to contractual conditions or with at least 40% power on the thrusters.

108 For yachts the noise and vibration levels should be measured for a “normal” harbour condition. In this condition the power supply shall be provided by the yacht's auxiliary engine(s), the HVAC system shall be run at rated capacity and the power consumption shall be at least 85% of the normal service supply.

109 Any divergence from the above mentioned conditions shall be clearly stated in the report.

E 200 Noise

201 Air-conditioning supply and ventilation supply shall be run at normal full capacity during the tests.

202 The rooms shall be fully equipped with actual deck covering (carpets, vinyl, etc.), ceiling, curtains, furniture, etc.

203 Doors and windows shall be closed.

E 300 Vibration

301 The decks shall be fully equipped with regards to outfit weights.

SECTION 3 INDOOR CLIMATE

A. General

A 100 Rule applications

101 The rules outline standards, conventions, guidelines and specifications for the purpose of categorization of a vessel's on board climate in relation to the performance of the on board Heat, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC) plant at the typical ambient climatic conditions to which the vessel will be subjected during its intended use. (see Sec.B, on restrictions).

102 The rules apply to passenger vessels with a dead-weight and/or length exceeding 100 tons or 50m and to combined cargo/passenger vessels and cargo vessels exceeding 300 tons deadweight.

103 The rules apply to the occupancy zone in designated locations specified in Table B1.

A 200 International standards

201 International standards have been used as foundation for the rules, but have not necessarily been adhered to. When setting the limits to the climate parameters, and determining the measuring procedure, due consideration has been given to technical and practical limitations inherent in the design and construction of different types of ship and localities.

202 The standards listed below have been used by the Society as basis when developing the rules. Unless a particular edition is referred to explicitly, the latest edition of each standard shall apply.

203 Standard - Guidelines

- ISO 7547, Shipbuilding – Air-conditioning and ventilation of accommodation spaces on board ships – Design conditions and basis of calculations
- ISO 7730, Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria
- ISO 7726, Thermal environments – Instruments and methods for measuring physical quantities
- ASHRAE, Applications Handbook. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. Atlanta, 91
- ANSI/ASHRAE, Standard 55-2004; Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy
- ANSI/ASHRAE, Standard 62.1 - 2007, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality
- CIBSE Commissioning Code A: 1996 (2006); Air Distribution Systems (The Chartered Institute of Building Service Engineers).

A 300 Terminology and units

301 *Onboard climate*: A general term for the physical factors that influence human beings inside a vessel or installation at sea.

302 *Thermal comfort*: A comfortable thermal balance between man and the environment.

303 *Temperature*: The average temperature of a specific number of temperature measurements in a particular space, expressed in °C.

304 *Relative humidity*: Relative humidity is the actual amount of water vapour in the air compared to the saturation amount of water vapour in the air at the same temperature and pressure. The figure is usually expressed as percentage with saturated air having a relative humidity of 100%.

305 *Relative humidity range*: The range of which relative humidity must be within during all outdoor conditions the HVAC system is designed for.

306 *Air velocity*: The measured mean absolute velocity of a mass of air in motion.

307 *Ambient outside air temperature*: The actual air temperature measured out of direct sun exposure outside of the vessel, expressed in °C.

308 *Draught*: The unwanted local cooling of the body caused by air movement.

309 *Vertical gradient*: Vertical air temperature difference.

310 *Air temperature control span*: A measure of the temperature interval of which each designated space is able to satisfy.

311 *Fresh Air supply quantity*: The quantity of fresh/ outside air per person supplied to a space, expressed in litres/s.

312 *Air supply quantity:* The total amount of supplied air to any given space may consist of a percentage re-circulated return air in addition to the air supply quantity.

313 *Public spaces:* Communal indoor areas, e.g. restaurants, messes, theatres, cinemas, discos, reading rooms, game rooms, gymnasiums, hobby rooms etc. Corridors, washrooms and toilets are excluded.

314 *Cabins:* A general term for smaller spaces on board intended for accommodation only.

A 400 Abbreviations

401 *ISO:* International Organization for Standardization.

402 *ASHRAE:* American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.

403 *CIBSE:* The Chartered Institution of Building Services Engineers.

404 *HVAC:* Heating, Ventilation and Air Conditioning.

B. Requirements for On Board Climate

B 100 General

101 With the specified climate comfort of a room, the majority of the passengers and crew can safely and comfortably perform an activity over a prolonged period of time, for which the room is intended for.

102 Compliance with the rules shall be verified through measurements and documentation.

103 All locations specified in Table B1 shall comply with the criteria in order to be assigned the additional class notation **COMF-C**.

104 The requirements for on board climate are divided into three groups depending on the level of comfort achieved, i.e. comfort rating number (**crn**) **1**, **2** and **3** where (**crn**) **1** represents the highest level of comfort, and (**crn**) **3** an acceptable level of comfort.

105 Only one (**crn**) number, **1**, **2** or **3** can apply to one vessel, except for ships carrying passengers, where it is allowed to differentiate between passenger and crew accommodation.

106 It shall be stated for which outside temperature and humidity range the vessel shall comply with the **Comf-C(crn)** notation. The outside temperature and humidity range for which the vessel meets the **Comf-C(crn)** will be given together with the notation. The class notation is only valid for temperature and humidity ranges within this given range.

B 200 Climate requirements

201 The standard applies to the designated accommodation spaces onboard classified as shown in Table B1.

Table B1 Classification of accommodation spaces	
Type A	Cabins
Type B	Hospital and Ward rooms
Type C	Wheel house, Control rooms, Office areas and public spaces intended for low physical activity such as Conference rooms, Libraries, Card rooms, Seating areas, etc.
Type D	Public spaces intended for high physical activity such as Show lounges, Dining areas, Atriums, Casinos, Shopping areas, Bars, Dance lounges, Discos, Gymnasiums, etc.

202 The requirements to air properties and quality at different localities and comfort standard are shown in Table B2.

203 Each designated space should be able to change from the lower to the higher temperature given in Table B2 within two hours. However for special areas, this temperature control span time criteria may be evaluated separately.

Table B2 Air properties and quality at different localities and comfort standard								
Designated space type	Comfort rating number	Minimum air temperature control span ¹⁾		Maximum air velocity	Minimum fresh air supply quantity per person ²⁾		Vertical air temperature difference	Relative humidity -RH ³⁾
	(crn)	10°C and below (outside)	45°C and above (outside)					
		Min./Max. limit (°C)	Min./Max. limit (°C)	m/s	litres/s	m ³ /hour	°C	%
A	1	18 - 24	22 - 28	0.25	10	36.0	2.0	30 – 60
	2	19.5 - 24	23.5 - 28	0.35	9	32.4	2.5	20 – 60
	3	21 - 24	25 - 28	0.40	8	28.8	3.0	< 65
B	1	18 - 24	22 - 28	0.15	12	43.2	2.0	30 – 60
	2	19.5 - 24	23.5 - 28	0.25	10	36.0	2.5	20 – 60
	3	21 - 24	25 - 28	0.35	8	28.8	3.0	< 65
C	1	20 - 24	23 - 28	0.20	10	36.0	2.0	30 – 60
	2	21 - 24	24 - 28	0.25	9	32.4	3.0	20 – 60
	3	22 - 24	25 - 28	0.35	8	28.8	3.5	< 65
D	1	20 - 24	23 - 28	0.25	10	36.0	2.0	30 – 60
	2	21 - 24	24 - 28	0.30	9	32.4	3.0	20 – 60
	3	22 - 24	25 - 28	0.40	8	28.8	3.5	< 65

1) For outside temperatures between 10°C and 45°C, the control span is to comply with the graphs shown in figs. 1 and 2

2) The number of persons to be considered for cabins is normally the number of beds. For special cabins this may be disregarded. The reason for the deviations is to be documented. The number of persons to be considered in public spaces is the same as the location is designed for.

3) Any relative humidity is to be within the range for all outdoor conditions the HVAC system is designed for. It is not necessary to meet the whole range during the specified design condition.

Temperature control span, designated space type A and B

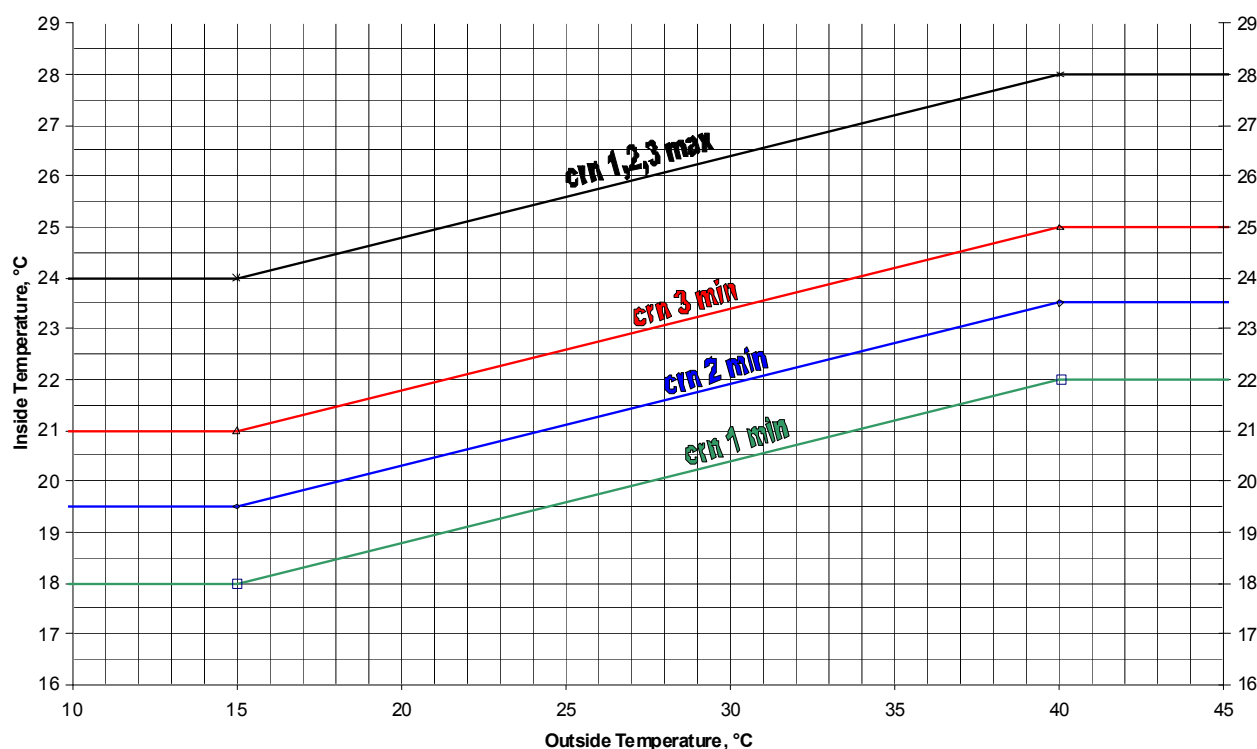


Fig. 1

Temperature control span, designated space type C and D.

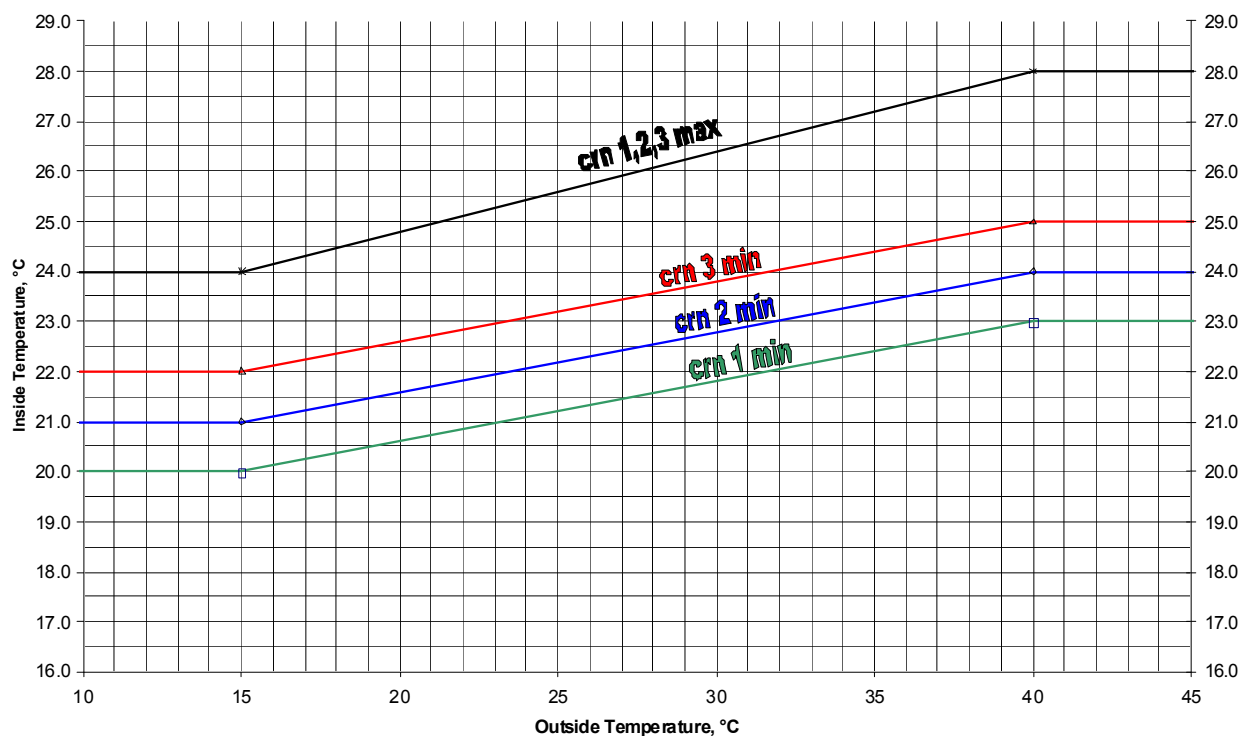


Fig. 2

204 For **(crn) 1**: Individual and automatic room temperature control (with thermostat) of designated spaces type A, B C and D are required.

205 For **(crn) 2** and **3**: Individual room temperature control of designated spaces type A, B, C and D is required.

206 For passenger ships the given comfort rating number applies to the passenger accommodation only. Unless specified, the crew accommodation shall comply with minimum rating **(crn) 3**.

C. Certification and Testing

C 100 General

101 An analysis of the basic HVAC design, calculation procedures and measurements on board, constitutes the basis for the compliance with the designated comfort rating number **(crn)**.

102 In general it may be difficult to achieve the variation in outdoor environment climate for which the HVAC is designed. Documentation showing the relation between outside temperature and the actual effect on cooling /heating unit has to be provided. This documentation may be given as a diagram showing required total cooling/heating effect as function of outside temperature and humidity. The scope of the test may therefore be reduced as long as it can be demonstrated that the capacity and general function of the HVAC plant can sustain a controlled climate on board according to the selected **(crn)**.

103 The following forms the basis for the approval and shall be submitted to the Society for documentation:

- design specification of HVAC plant
- plant layout diagrams
- calculations, standards and procedures
- documents issued during startup of HVAC units reporting air supply and exhaust quantity for all designated spaces
- heat transfer calculation for each room in accommodation.

104 Climate parameters subjected to verification through measurements are:

- vertical air temperature difference
- air temperature control span
- maximum air velocity.

105 Verification tests shall be performed onboard according to a specified program. Approval of this program shall be obtained from the society prior to the execution of measurements. This program shall at least include the following information:

- operating condition of the vessel during the test
- required operating condition of the HVAC plant
- specification of measurement location
- instrument to be used
- test responsible.

106 The measuring position in a location shall be selected such as to give a representative description of the on board climate or according to what is specified in 200 and 300.

107 Air relative Humidity is based on documentation and needs in general not to be verified through measurements.

108 Measurements shall be carried out by DNV or a 3rd party approved by the Society under supervision by a DNV representative onboard.

109 A summary of documentation to be submitted to the society is given in Table C1, with reference to Pt.0 Ch.3.

Table C1 Documentation requirements			
<i>Applicable system</i>	<i>Document type</i>	<i>Detailed description given in Pt.0 Ch.3 under item</i>	<i>Documentation submitted for information (FI) or approval (AP)</i>
Heating, ventilation and air conditioning	Heat balance calculations	S120	FI
Heating, ventilation and air conditioning	Specification	Z100	FI
Heating, ventilation and air conditioning	System Diagram	V011	FI
Heating, ventilation and air conditioning	Test procedure for quay and sea trial	Z140	AP
Heating, ventilation and air conditioning	Report from quay and sea trial	Z150	AP

C 200 Measuring locations

201 For ships with less than 100 cabins and the accommodation restricted to a separate section in the aft-ship, midship or in the fore-ship a full set of measurements applicable to climate parameters in the Table B2 shall be taken in the following minimum number of cabins (n = number of cabins):

- For $n < 10$ Measurements in all cabins
 For $10 \leq n \leq 40$ Measurements in min.10 cabins
 For $n \geq 41$ Measurements in min.25% of all cabins.

The cabins to be measured shall be evenly distributed amongst the cabins on each deck or in each respective fire zone. The positions should include start and end of duct line, if relevant.

202 For ships with more than 100 cabins distributed over a major portion of the ship, e.g. passenger ships, a full set of measurements shall be taken in minimum 10% of the cabins in each firezone containing cabins on each deck. The cabins to be measured shall be evenly distributed amongst the cabins on each deck or in each respective fire zone. The positions should include start and end of duct line.

203 The climate parameters (ref 104) shall be measured in a representative number of public spaces on board. The measuring positions shall be selected such as to give a representative description of the climate in the public spaces on board the ship.

204 The measurements position may be subjected to alterations during the testing based on the actual findings during the survey on board the ship.

C 300 Testing

301 The individual values of the climate parameters as stated in 302-305 shall be verified by measurements

during normal operation. HVAC plant shall be operated with constant output temperature during testing.

302 *Air supply quantity:* The air quantity supplied to a designated space shall be measured according to guidelines issued by the CIBSE Commissioning code, series A, air distribution systems, or any equivalent approved standard.

Documentation of measurements shall be submitted to the Society for approval.

303 *Air temperature control span:* The air temperature in a designated space shall be measured at the geometrical centre of the location. For larger spaces the temperature shall be measured in a representative number of positions in the occupancy zone.

In order to obtain the temperature span in each location, the measurements shall be carried out for the following two conditions with constant setting on central HVAC unit:

- minimum setting on local temperature regulation
- maximum setting on local temperature regulation.

The measurements shall be carried out at steady state conditions. The higher temperature criteria of the temperature control span should be measured within 2 hours after lower temperature measurement (ref B203).

304 *Vertical temperature gradient:* The vertical gradient in all designated spaces shall be measured in the following distances above the floor; 0.1 m, 1.0 m and 2.0 m in the geometrical center of the occupancy zone.

For larger spaces measurements shall be carried out in a representative number of positions in the occupancy zone.

305 *Air Velocity:* The mean air velocity is to be measured at the geometrical centre of the room. However the DNV representative may request alterations of the measurement position based on findings during the survey. Typical alteration may be to carry out the measurement at the position most commonly occupied in the location in question.

306 Minor deviations from the specified values in Table B2 may be acceptable in special cases. The Society decides whether to accept a deviation or not.

C 400 Reporting

401 The report shall contain the following information:

- main particulars of ship and machinery
- identity and description of the space (spaces)
- name of surveying engineer/organisation
- location, date and time of the measurements
- details of type and make of instrumentation used
- instrument calibration data
- vessel operating conditions
- outdoor climatic conditions
- climate parameter measurements according to Table B2.

D. System Requirements

D 100 General

101 In case of system failure, the HVAC system is, depending on the comfort rating number to be achieved, to have a redundancy in designated spaces given in 200.

102 In order to achieve the designated comfort rating number (**crn**), the maintainability of the system shall fulfil certain minimum requirements (see 300).

D 200 HVAC System Failure Mode Control

201 In case of system failure, a controlled climate in spaces designated A and B shall be restored after maximum 12 hours for comfort rating (**crn**) **1** and **2**. If different failures not related to each other occur simultaneously, the restoring time shall be increased by 12 hours.

The minimum required amount of spare parts to be available should be agreed between the owner and the supplier. The list should be available to DNV.

There is no redundancy requirement for comfort rating (**crn**) **3**.

202 A minimum level of ventilation in hospital and engine control room shall be provided during a system failure by means of separate forced ventilation. Regulation of the fans to be located in the respective rooms. This ventilation shall keep the temperature below 35 °C and above 15 °C.

D 300 HVAC System Maintainability

301 In order to guarantee a sustainable **(crn) 1, 2 and 3** climate a degree of system maintainability is required.

302 Ducts, central air handling units, air filters, dust collectors, heat exchangers, re-heaters and air terminals shall be possible to inspect, clean or replace at regular work intervals.

Inspection hatches/doors shall be installed for inspection and cleaning of ducts.

D 400 Filter requirements

401 Air filters in air handling units or fan-coil units supplying air to designated spaces shall have a minimum filtration efficiency* according to the following European or US standards:

<i>Space</i>	crn	<i>Filter</i>	<i>Performance - new filter*</i>
A, B, C, D	1	EU7/F7	90% of PM > 1 micron
A, B, C	2,3	EU7/F7	90% of PM > 1 micron
D	2,3	EU5/F45	

* Airborne particles are inherently difficult to measure accurately and it is difficult to isolate the source of the particles. The particles in the supply air which often dominate on board vessels can be reasonably checked by surveying the supply air filters instead of measuring the particulate concentration in the air.

APPENDIX A GUIDELINES FOR HANDLING OF EXCESSIVE NOISE AND VIBRATION LEVELS

A. Introduction

A 100 General

101 The general requirement is that all the locations on board shall comply with the relevant comfort class noise and vibration criteria. However, small deviations from the requirements may be accepted, depending on the type of location and how much the criteria are exceeded. This Appendix is meant to give guidelines concerning how to handle excessive noise and vibration levels.

B. Excessive Vibration Levels

B 100 Deviations from vibration limits

101 Locations with excessive vibration levels on board a ship shall not exceed the following maximum values in order to obtain a comfort class notation:

- 15% of all the sleeping cabins and public spaces
- 25% of the measurements on the open deck areas.

102 The distribution of excessive vibration levels in the cabins and public spaces shall additionally not exceed the distribution shown in Table B1. The limits in this table are based on a one-sided normal distribution of the excessive vibration levels with a standard deviation of 0.5 mm/s.

Table B1 Distribution of excessive vibration levels in cabins and public spaces			
<i>Range</i>	<i>Excessive vibration level (mm/s)</i>	<i>Limit for cabins/public spaces (maximum 15% of all cabins)</i>	
		<i>Normal</i>	<i>Maximum</i>
I	0.1 - 0.5	11%	(15%)
II	0.6 - 1.0	4%	(4%)

103 The distribution of excessive vibration levels in open deck areas shall additionally not exceed the distribution shown in Table B2. The limits in this table are based on a one-sided normal distribution of the excessive vibration levels with a standard deviation of 1.0 mm/s.

Table B2 Distribution of excessive vibration levels in open deck areas			
<i>Range</i>	<i>Excessive vibration level (mm/s)</i>	<i>Limit for open deck areas (maximum 25% of all positions)</i>	
		<i>Normal</i>	<i>Maximum</i>
I	0.1 - 0.5	11%	(25%)
II	0.6 - 1.0	7%	(14%)
III	1.1 - 1.5	4%	(7%)
IV	1.6 - 2.0	3%	(3%)

104 The number of locations within the lower allowable exceedance values may be increased at the expense of the number of locations within the higher vibration level ranges, but such that all the locations with excessive vibration levels shall not exceed the total maximum (15% of cabins/public rooms, and 25% of open deck areas). The increased limits are shown inside the parentheses in Table B1 and B2.

105 The following example may illustrate the permissible deviations from the normal distribution. One of nine measuring positions in the open deck areas has an exceeding value of 1.0 mm/s of the criteria, while the other positions are within the criteria, i.e. 11% exceeding values in group II. This is regarded as acceptable (see Table B2).

Table B1 and B2 are illustrated in Fig. 1 and 2.

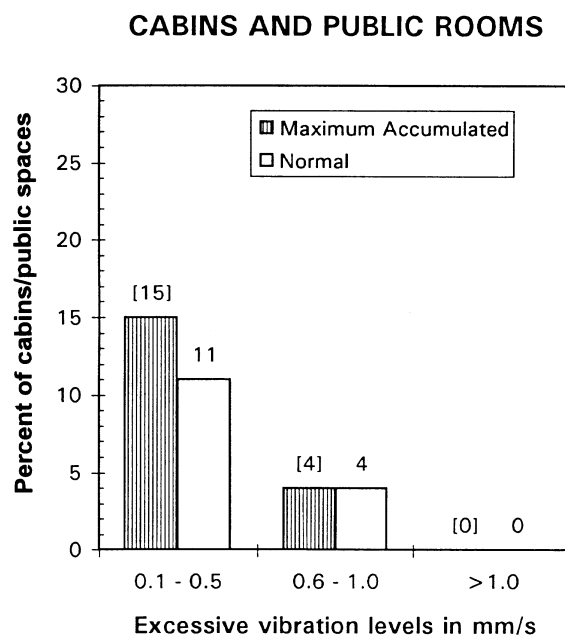


Fig. 1
Excessive vibration levels in mm/s for cabins and public spaces

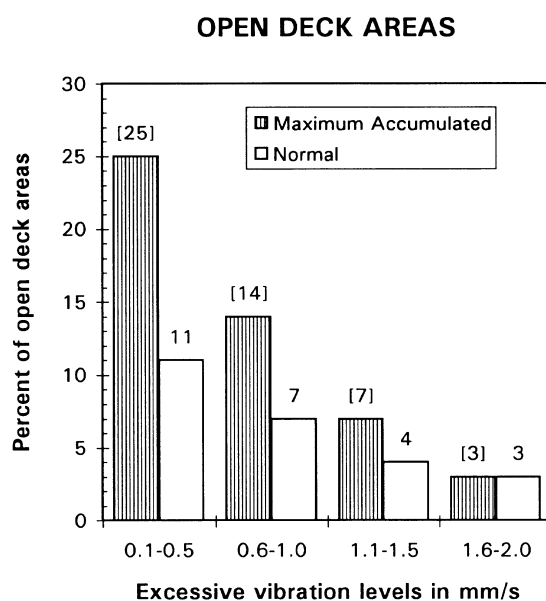


Fig. 2
Excessive vibration levels in mm/s in open deck areas

C. Excessive Noise Levels

C 100 Deviations from noise limits

101 Locations with excessive noise levels on board a ship shall not exceed the following maximum values on board in order to obtain a comfort class notation:

- 15% of all the sleeping cabins
- 30% of all the public spaces (recreation rooms, restaurants, cinemas, open deck recreation areas, etc.)

Table C1 Distribution of excessive noise levels in cabins and public spaces					
<i>Range</i>	<i>Excessive noise level</i>	<i>Limit for cabins (maximum 15% of all cabins)</i>		<i>Limit for public spaces (maximum 30% of all public spaces)</i>	
		<i>Normal</i>	<i>Maximum</i>	<i>Normal</i>	<i>Maximum</i>
I	1 - 3 dB(A)	14%	(15%)	23%	(30%)
II	4 - 6 dB(A)	1%	(1%)	6%	(7%)
III	7 - 10 dB(A)	None	None	1%	(1%)
IV	>10 dB(A)	None	None	None	None

102 The distribution of excessive noise levels shall additionally not exceed the distribution shown in Table C1. The limits in this table are based on a one-sided normal distribution of the excessive noise levels.

103 The distribution of excessive noise levels for cabins (passenger and crew cabins) is stricter than for public spaces. The limits for cabins and public spaces are based on a normal distribution where the mean value is zero (i.e. no deviation from the noise limit), and with a standard deviation of 2 dB(A) for cabins and 3 dB(A) for public spaces.

104 The number of locations within the two lowest noise level ranges may be increased on the expense of the number of locations within the higher noise level ranges, but such that all the locations with excessive noise levels shall not exceed the total maximum (15% of cabins, and 30% of public spaces). The increased limits are shown inside the parentheses in Table C1.

105 The following example may illustrate the permissible deviations from the normal distribution. 25% of the public spaces have noise levels in excess of the relevant comfort class noise limits, but none of the public spaces have higher noise levels than 3 dB(A) in excess of the limits. Then the limit within parentheses in range I for public spaces apply, i.e. up to 30% of the total public spaces may have excessive noise levels in the range 1–3 dB(A) higher than the given limit, and consequently the public spaces will comply with the comfort noise criteria in question.

Table C1 is illustrated in Fig. 3 and 4.

D. Scaling or Weighting of the Measurements in Cabins

D 100 General

101 Since the number of measuring positions is not evenly distributed over the ship, it will be necessary to scale the results, before a comparison with the comfort class noise and vibration criteria can be carried out.

102 The scaling procedures will apply for each deck level and for the three parts of the ship (i.e. aftship, midship and foreship as defined in the rules). The scaling applies to noise and vibration separately. If n cabins are measured in a region with a total of N cabins, the number of cabins with excessive noise or vibration levels shall be multiplied by a scaling factor defined by:

scaling factor = N/n .

103 This scaling factor shall be multiplied with the number of excessive noise or vibration levels in each of the ranges I–II / I–IV (see Tables B1 and B2) for vibration, and I–II / I–III for noise (see Table C1), for the different parts of each deck level. The resulting number (rounded off to the nearest integer) will then be an estimate of the total number of cabins with excessive noise or vibration levels in this part of the ship.

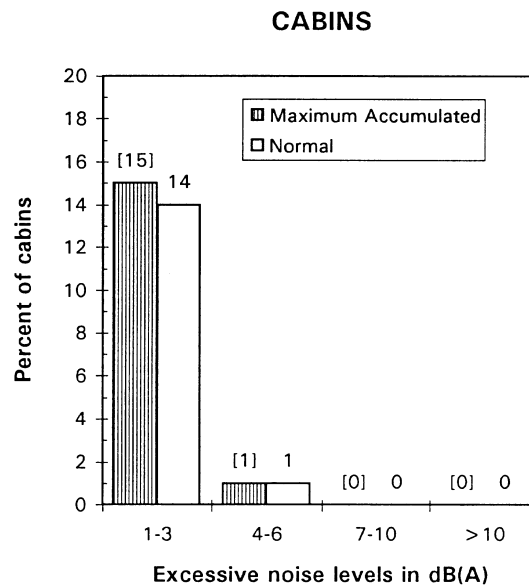


Fig. 3
Excessive noise levels in dB(A) in cabins

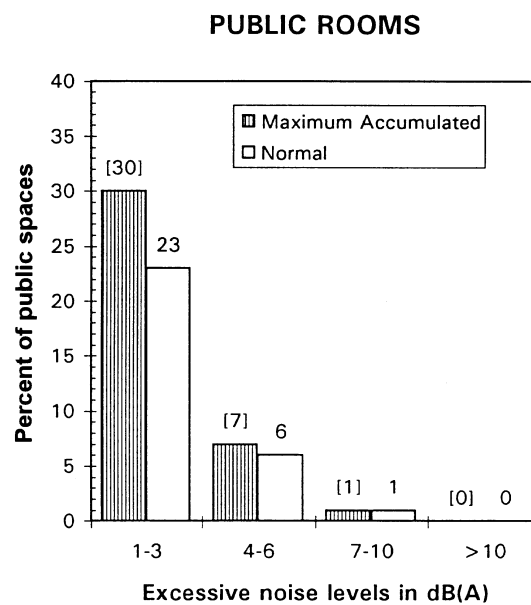


Fig. 4
Excessive noise levels in dB(A) in public spaces

METRIC

MIL-STD-1472G

11 January 2012

SUPERSEDING

MIL-STD-1472F

23 August 1999

**DEPARTMENT OF DEFENSE
DESIGN CRITERIA STANDARD
HUMAN ENGINEERING**



AMSC N/A

AREA HFAC

DISTRIBUTION STATEMENT A. Approved for public release; distribution is unlimited.

MIL-STD-1472G

5.5.4 Acoustical energy and noise.

5.5.4.1 General. Personnel shall be provided an acoustical environment that will not cause personnel injury, interfere with voice or any other communications, cause fatigue, or in any other way degrade system effectiveness. Noise affects human health and performance in a number of ways. Apart from environmental considerations (such as annoyance to the community at large which lie outside the scope of this document), the most critical effects include noise-induced hearing injury and the impact of signal comprehension on communications, survivability, and mission effectiveness (lethality). For hearing conservation purposes, continuous noise (such as from machinery, vehicles, aircraft) is measured either in terms of the A-weighted sound level expressed in dBA, or in terms of the equivalent continuous sound level (8.0 hours), usually written as Leq (8.0 hours) and also expressed in dBA.

5.5.4.2 Equipment and system design. Equipment and total system designs shall be in accordance with MIL-STD-1474. If any conflict is identified in interpretation or applicability between this document and MIL-STD-1474, it shall be resolved by the Government.

5.5.4.3 Total system compliance. The fact that a component which contributes to the overall noise may be Government furnished equipment shall not eliminate the requirement that the total system conform to the criteria herein.

5.5.4.4 Hazardous noise.

5.5.4.4.1 Allowable limits. Equipment shall not generate noise in excess of maximum allowable levels in accordance with MIL-STD-1474.

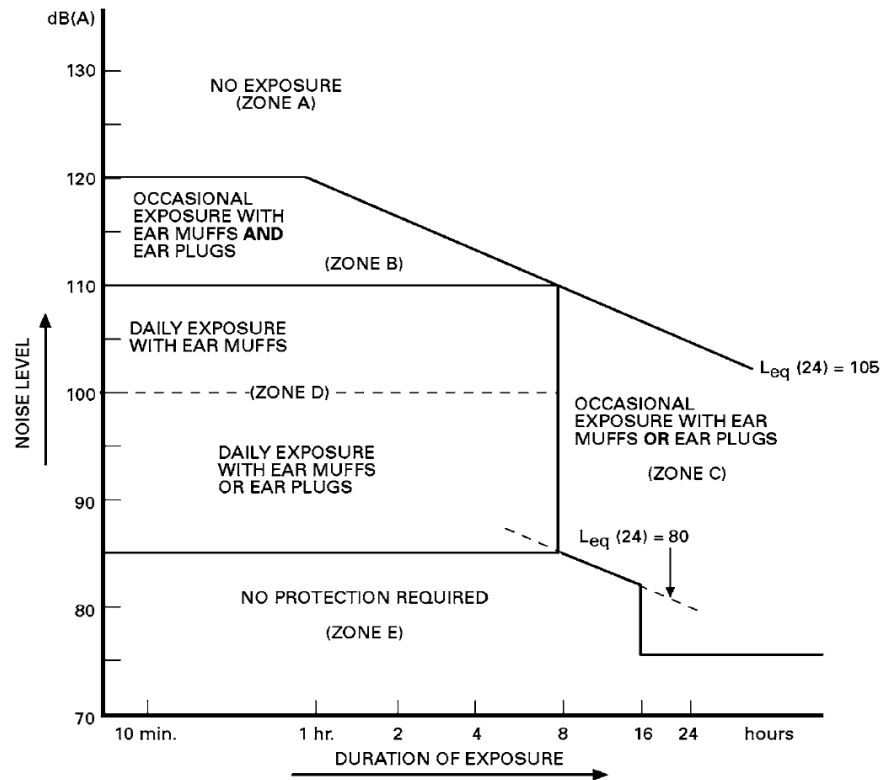
5.5.4.4.3 Mitigation. Where sustained noise levels cannot be maintained below 75 dBA (continuous), and below 85 dBA (8.0-hour exposure), and below 140 dB peak SPL (impulse or impact), the procuring activity will require personnel to use personal hearing protection devices.

a. Hearing protection device compatibility with mission activities. If personal hearing protection devices are authorized for the design, the system design shall accommodate the wearing of personal hearing protection devices (ear plugs or ear muffs) within the context of mission activities.

b. Specific accommodations for hearing protection device compatibility. Accommodations for hearing protection devices shall include communications activities, listening (auditory surveillance) tasks, visual tasks, physical comfort in the operational environment, and any other considerations impacting the likelihood that the user would wear the personal hearing protection devices.

c. Hearing protection device performance. Personnel hearing protection devices shall be provided in accordance with [figure 37](#).

MIL-STD-1472G



NOTES:

- Figure and description adapted from IMO Assembly Resolution A.468 (XII).
- Zone A, Maximum exposure with protection: No personnel, even those wearing hearing protectors, shall be exposed to levels exceeding 120 dBA or to an $L_{eq}(24)$ (24-hour equivalent continuous sound level) exceeding 105 dBA.
- Zone B, Occasional exposure: Only occasional exposure shall be allowed and both ear muffs and ear plugs shall be used unless the exposure duration is restricted to not more than 10 minutes when only ear muffs or plugs are required.
- Zone C, Occasional exposure: Only occasional exposures shall be allowed and ear muffs or plugs shall be required.
- Zone D, Daily exposure: If personnel routinely work with daily exposure in spaces with noise levels within Zone D, hearing protectors shall be worn.
- Zone E, Maximum exposure without protection: For exposures of less than 8 hours, personnel without hearing protection shall not be exposed to noise levels exceeding 84 dBA. When personnel remain for more than 8 hours in spaces with a high noise level, an $L_{eq}(24)$ of 80 dBA shall not to be exceeded. Consequently, for at least a third of each 24 hours, the personnel shall be subject to an environment with a noise level not exceeding 75 dBA.

FIGURE 37. Permissible noise exposure limits.

MIL-STD-1472G

5.5.4.4.4 Exposure limits and protection. Maximum permissible daily and occasional noise exposure limits are shown on [figure 37](#).

a. Alternative noise exposure limits. As an alternative to [figure 37](#), the personal exposure to a 24-hour equivalent continuous sound level shall be no greater than 80 dBA.

b. Hearing protection duration. Each individual's daily exposure duration in spaces requiring the use of hearing protectors shall not exceed 4.0 hours continuously or 8.0 hours total.

c. High noise area. Any area where noise levels exceed 84 dBA shall be classified as a "High Noise Area". Consideration shall be made to reduce personnel exposure to high noise by relocating controls, displays, and workstations from "High Noise Areas" by implementing remote monitoring of equipment in separate, acoustically isolated spaces.

d. Hazard signage. A DANGER hazard sign shall be posted at each entrance into every "High Noise Area." The sign shall be in accordance with the requirements for hazard warning signs (see 5.7.2.1) and shall describe the level of protection required based on [figure 37](#).

e. Hearing protection. The use of earplugs, earmuffs, or both is based on the noise level and length of exposure. Hearing protectors selected for use shall provide at least the noise attenuation at the ear as shown in [table XXV](#). So long as the hearing protection levels in [table XXV](#) can be met, noise cancelling headsets may also be used.

f. Portable equipment. If hand tools or other portable or localized equipment produce noise levels that exceed 84 dBA, a warning sign shall be posted at the work site or on the equipment identifying the hazard and requiring the use of hearing protectors at that site or with that equipment. The warning sign shall comply with the DANGER label requirements for hazard warnings (see 5.7.2.1).

TABLE XXV. Recommended noise attenuation from hearing protectors.

Hearing protection	Minimum attenuation
Ear plugs	20 dBA
Ear muffs	30 dBA
Ear plugs and ear muffs	35 dBA

5.5.4.5 Nonhazardous noise.

5.5.4.5.1 Noise reduction to support verbal communication. Workspace noise shall be reduced to levels that permit necessary direct (person-to-person) and telephone communication and establish an acceptable acoustical work environment.

5.5.4.5.2 Noise level criteria definition. Criteria for workspaces are defined by the A-weighted sound level (dBA) (see 5.5.4.5.5 through 5.5.4.5.10).

5.5.4.5.3 Precedence of A-weighted sound levels. The A-weighted sound level is the desired requirement (see [figure 38](#)).

5.5.4.5.4 Permissible distance guidance. Permissible distance between a speaker and listeners for specified voice levels and ambient noise levels provides guidance on the relationship between required vocal effort, speaker-to-listener distance, and noise level. Procedures for determining speech intelligibility are provided in 5.3.1.8.1.

5.5.4.5.5 General workspaces. Areas requiring occasional telephone use or occasional direct communication at distances up to 1.5 meters (5 feet) shall not exceed 75 dBA (e.g., maintenance shops and shelters, garages, keypunch areas, shipboard engineering areas).

MIL-STD-1472G

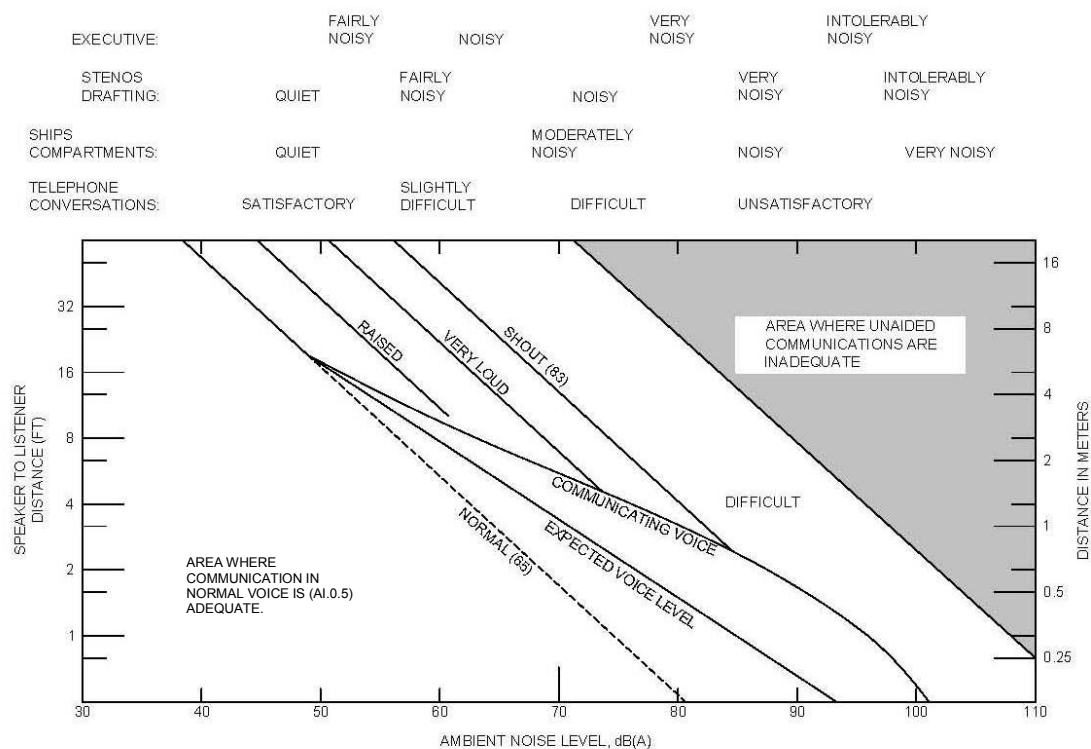


FIGURE 38. Permissible distance between a speaker and listeners for specified voice levels and ambient noise levels.

5.5.4.5.6 Operational areas. Areas requiring frequent telephone use or occasional direct communication at distances up to 1.5 meters (5 feet) shall not exceed 65 dBA (e.g., operation centers, mobile command and communication shelters, combat information centers, word processing centers).

5.5.4.5.7 Large workspaces. Areas requiring no difficulty with telephone use or requiring occasional direct communication at distances up to 4.6 meters (15 feet) shall not exceed 55 dBA (e.g., drafting rooms, shop offices, laboratories).

5.5.4.5.8 Small office spaces/special areas. Areas requiring no difficulty with direct communication shall not exceed 45 dBA (e.g., conference rooms, libraries, offices, command and control centers).

5.5.4.5.9 Extreme quiet areas. Areas requiring extreme quiet shall not exceed 35 dBA (e.g., recording studios).

5.5.4.5.10 Shipboard areas. The maximum permissible noise levels for specific shipboard spaces or maritime installation shall not exceed those indicated in [table XXVI](#). Levels for spaces and categories not covered in [table XXVI](#) shall be as given in the detailed shipbuilding specification (e.g., sonar control rooms, ward rooms). Equipment noise acceptance criteria to achieve specified space levels shall be in accordance with shipboard equipment noise requirements of MIL-STD-1474.

MIL-STD-1472G

TABLE XXVI. Maximum permissible noise levels for ships and maritime structures.

Space	Noise limit dBA (maximum)	Noise limit dBA (preferred)
Work spaces:		
Machinery space (continuously manned)	90	84
Machinery space (not continuously manned)	110	95
Machinery control rooms	75	65
Workshops	84	75
Non-specified spaces	95	84
Control rooms and offices	70	65
Open deck areas (cargo handling)	95	80
Fan Rooms	100	84
Navigation spaces:		
Navigation bridge and chartroom	65	55
Listening post, including bridge wings and windows	70	60
Radio rooms	60	55
Radar room/areas	65	55
Ship's offices	75	60
Accommodation spaces:		
Cabins	60	50
Hospitals, dental, first aid centers	60	45
Mess rooms	65	55
Indoor recreation rooms	65	50
Open deck recreation areas	84	75
Offices	65	55
Service areas:		
Galleys	75	65
Serving lines, pantries, storerooms	84	70
Laundries	84	75
Normally unoccupied spaces:		
Spaces not specified	90	84
NOTE:		
1. All spaces with noise in excess of 84 dBA require the use of hearing protection as shown on figure 37 . Measurement techniques shall be in accordance with IMO Assembly Resolution A.468(XII).		

5.5.4.6 Facility design.

5.5.4.6.1 General. The workspace or facility design shall minimize the ambient noise level to the extent feasible through effective sound reduction or attenuation to meet the criteria herein.

MIL-STD-1472G

5.5.4.6.2 Attenuation by materials and layout.

a. Use of acoustic materials. Acoustic materials with high sound-absorption coefficients shall be provided as necessary in the construction of floors, walls, and ceiling to provide the required sound control.

b. Minimization of noise transmission. Transmission of excessive noise into rooms and work stations shall be attenuated by such means as high-density materials, multilayer materials (e.g., concrete, gypsum board, and sound attenuating (STC rated) ceiling tiles (high density)), and construction techniques (e.g., staggered seams in walls, acoustic caulking of walls to the hard structure of the floor and ceiling (not suspended ceiling), attenuators in heating, ventilation and air conditioning (HVAC) supply and return ducts, STC-rated doors, and at least double-paned windows).

c. Floor, wall, and ceiling treatments to mitigate reverberation. Excessive reverberation in rooms and work stations may be controlled by applying sound absorbing materials on floor, ceiling tiles, and wall treatments.

d. Construction techniques to mitigate noise. Excessive noise in rooms and work stations shall be attenuated by such means as staggered construction of walls, staggering of doors in corridors or between rooms, and use of thick-paned or double-paned windows.

5.5.4.6.3 Reduction of reverberation time. Where speech communication is a consideration, the acoustical treatment of facilities shall be sufficient to reduce reverberation time below the applicable limits of [figure 39](#).

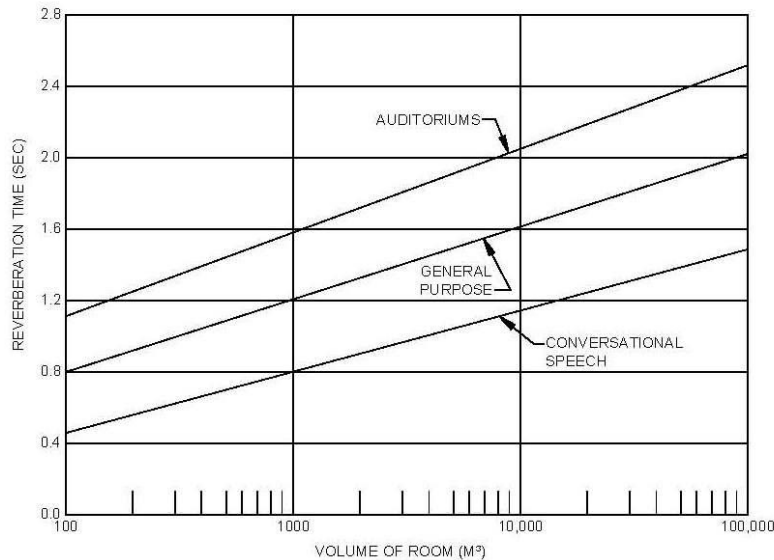


FIGURE 39. Range of acceptable reverberation time.

5.5.5 Vibration and shock.

5.5.5.1 Vehicular whole-body vibration. The following provisions apply to whole-body vibration, in accordance with ISO 2041 and ISO 5805, where the vibratory motions are limited to those transmitted to the human body as a whole through supporting surfaces. This includes the feet for the standing occupant, the buttocks, back, and feet for the seated occupant, and the supporting surface of the occupant lying on his or her back. The applicable frequency range is defined as:

- a. 0.1 to 0.5 Hertz for motion sickness.
- b. 0.5 to 80 Hertz for health, performance, comfort, and perception.

