RAE

1. TIPO DE DOCUMENTO: Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO DE SONIDO

2. TÍTULO: ANÁLISIS Y PROPUESTA DE CONTROL DE RUIDO EN EMBARCACIONES SEGÚN NORMATIVAS IMO-468 E ISO-2923

3. AUTORES: Alejandro Martínez Ortiz y Marlon Andrés Molina Gómez

4. LUGAR: Bogotá, D.C.

5. FECHA: Febrero de 2014

6. PALABRAS CLAVE: Ruido, embarcación, control de ruido, características sonoras, normativa, modelación, software, predicción, Cadna(R).,

7. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO: El objetivo principal de este proyecto es el de modelar las fuentes de ruido presentes en una embarcación de la empresa Océano Scuba, para diseñar y simular un sistema de control de ruido.

8. FUENTES CONSULTADAS: IMO 468 “Code on noise levels on boardships” Código sobre niveles de ruido a bordo de embarcaciones.

Resolución 1792 de 1990. Art.1o.

DataKustiks. Cadna(R) Prediction of noise levels inside rooms User Manual. 2012

Resolución IMO 343. Recommendation on methods of measuring noise levels at listening posts. 1975

Oceanyacht. Ficha técnica. 1980

9. CONTENIDOS: En el desarrollo de este proyecto se realizar el análisis y propuesta de control de ruido en una embarcación de la empresa Océano Scuba según las normativas ISO 2329 e IMO 468.

10. METODOLOGÍA: Es de carácter empírico-analítico, con base en el estudio de ruido en una embarcación y diseño de un sistema de control de ruido.

11. CONCLUSIONES: El mayor ruido generado por una embarcación es de los motores, para calcular los valores de emisión y propagación, se deben usar métodos determinados por normativas como la IMO-468 para que la mediciones sean lo más exacta posibles.

Es posible realizar la predicción de ruido en una embarcación en las fases tempranas de su construcción mediante software de modelación como CadnaR el cual permite dar un vistazo a los posibles problemas de ruido que puede presentar una estructura.

ANÁLISIS Y PROPUESTA DE CONTROL DE RUIDO EN EMBARCACIONES SEGÚN NORMATIVAS IMO-468 E ISO-2923

Alejandro Martínez Ortiz

Marlon Andrés Molina Gómez

Proyecto De Grado

Universidad de San Buenaventura

Facultad de Ingeniería

Ingeniería de Sonido

Bogotá 2014

ANÁLISIS Y PROPUESTA DE CONTROL DE RUIDO EN EMBARCACIONES SEGÚN NORMATIVAS IMO-468 E ISO-2923

Alejandro Martínez Ortiz

Marlon Andrés Molina Gómez

Tutor:

Belman Jahir Rodríguez
Ingeniero de Sonido

Universidad de San Buenaventura
Facultad de Ingeniería
Ingeniería de Sonido
Bogotá 2014

Nota de Aceptación

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Firma del Jurado

_____

Firma del Jurado

_____

Agradecimientos

A nuestros padres por su amor, comprensión, apoyo incondicional y esfuerzo en nuestra educación y futuro.

Al ingeniero Belman Jahir Rodríguez por su apoyo incondicional en el proyecto y por guiarnos en este proceso de aprendizaje.

A nuestros amigos por estar con nosotros en este proceso de crecimiento profesional.

A la empresa Océano Scuba por permitirnos realizar el estudio en una de sus embarcaciones.

CONTENIDO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 18

1.1 ANTECEDENTES 18

1.1.1 Active and passive control of machinery noise in future warships: a ship designer's viewpoint 18

[3]Proc.UDT Active and passive control of machinery noise in future warships: a ship designer's viewpoint,1998 18

1.1.2 TSI realiza la predicción de vibraciones del buque "MONTE MEIXUEIRO" 19

[4] TSI, TSI realiza la predicción de vibraciones del buque "MONTE MEIXUEIRO", 2006 19

1.1.3 Buques pesqueros silenciosos. Un hito de los pequeños y medianos astilleros españoles. Lecciones aprendidas 20

1.1.4 Ship noise and its effects on seafarers 'health, Dominique Jeagaden 21

1.1.5 Estudio del impacto de ruido en trabajadores del mar, SGS TECNOS SA. Departamento de Desarrollo de Proyecto s e Innovación 21

1.1.6 Caracterización del campo acústico, ruido y vibraciones de una lancha, Centro de Investigación y Desarrollo Naval. Cuba. 22

1.1.7 "ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL EX-POST POR LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA EMBARCACIÓN M/N GALÁPAGOS EXPLORER II, DURANTE SUS ACTIVIDADES TURISTICAS EN LA RESERVA MARINA DE GALÁPAGOS". 22

1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 23

1.3 PREGUNTA PROBLEMA 23

1.4 JUSTIFICACIÓN 24

1.5 OBJETIVOS 24

1.5.1 OBJETIVO GENERAL 24

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 24

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES 25

1.6.1 ALCANCES 25

1.6.2 LIMITACIONES 25

2. MARCO DE REFERENCIA 26

2.1 MARCO CONCEPTUAL 26

2.1.1 RUIDO 26

2.1.1.1 NIVELES Y TIEMPOS MÁXIMOS DE EXPOSICIÓN A RUIDO EN COLOMBIA . 26

2.1.1.2 EFECTOS DEL RUIDO SOBRE LA AUDICIÓN 27

2.1.1.3 PROBLEMAS DE SALUD Y PÉRDIDA DE LA AUDICIÓN 28

2.1.1.4 TIPOS DE RUIDO SEGÚN LA INTENSIDAD Y EL PERIODO 29

2.1.1.5 TIPOS DE RUIDO SEGÚN LA FRECUENCIA 30

2.1.2 MAPAS DE RUIDO 30
2.1.3 RUIDO DE MOTOR 31
2.1.4 CURVAS DE PONDERACIÓN 31
2.1.5 MÉTODOS DE CÁLCULO DE RUIDO (Cadna(R)) 32
2.1.5.1 MODELO DE FUENTE IMAGEN 32
2.1.6 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN 36
2.1.6.1 SONÓMETRO 36
2.1.6.2 PISTÓFONO 37
2.1.7 CONTROL DE RUIDO 37
2.1.7.1 CONTROL DE RUIDO ACTIVO 38
2.1.7.1.1 CONTROL TIPO LAZO ABIERTO (FEEDFORWARD). 38
Cuando se dispone de una señal que nos da una referencia del ruido que se desea cancelar, la configuración del sistema de control es de lazo abierto, según se muestra a continuación en la figura 4: 38
2.1.7.1.2 CONTROL TIPO LAZO CERRADO (FEEDBACK) 39
2.1.7.1.3 ALGORITMOS DE CONTROL 40
2.1.7.2 CONTROL DE RUIDO PASIVO 45
2.1.7.2.1 CONTROL MECÁNICO O DE INGENIERÍA 45
2.1.7.3 CONTROL DE RUIDO PASIVO PORTABLES 47
2.1.7.4 CONTROL ADMINISTRATIVO 47
2.1.7.5 PROTECCIÓN PERSONAL 47
2.1.8 TRANSMISIÓN AÉREA DEL SONIDO 48
2.1.8.1 AISLAMIENTO ACÚSTICO AL RUIDO AÉREO 48
2.1.8.2 AISLAMIENTO Y TRANSMISIONES LATERALES 49
2.1.9 IMPACTO DE RUIDO EN TRABAJADORES DEL MAR 50
2.1.9.1 EL RUIDO COMO FACTOR DE RIESGO PARA LA SEGURIDAD Y LA SALUD EN EL TRABAJO DE LOS TRABAJADORES DEL MAR 50
2.1.9.2 FISIOLOGIA DE LA AUDICIÓN Y REPERCUSIONES DE LA EXPOSICIÓN AL RUIDO 53
2.2 MARCO LEGAL Y NORMATIVO 56
2.2.1 IMO 468 CÓDIGO SOBRE NIVELES DE RUIDO A BORDO DE EMBARCACIONES[35] 56
2.2.1.1 LAS RECOMENDACIONES SE HACEN PARA 57
2.2.1.2 PROPÓSITO 57
2.2.2 RESOLUCIÓN IMO 343 57
2.2.3 NORMATIVA ISO 717 59
2.2.3.1 DEFINICIÓN 59
2.2.4 NORMATIVA ISO 140 - 4 59
3. METODOLOGÍA 60
3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN 60
3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN 60
3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN 60
3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA 60
3.5 HIPÓTESIS 61

3.6 VARIABLES *61*
3.6.1 DEPENDIENTES 61
3.6.2 INDEPENDIENTES 61
4. DESARROLLO INGENIERIL 62
4.1 DATOS GENERALES *62*
4.2 OCEAN YACHT 55 SUPER SPORT *63*
4.2.1 DATOSTÉCNICOS 64
4.3 MEDICIÓN *65*
4.3.1 INSTRUMENTOS Y MATERIAL NECESARIO 65
4.3.2 IMO 468 65
4.3.2.1 CONDICIONES DE OPERACIÓN EN EL MAR 65
4.3.2.2 CONDICIONES AMBIENTALES 66
4.3.2.3 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN SEGUN IMO-468 67
4.3.2.4 POSICIONES DE MEDICIÓN SEGUN IMO-468 67
4.3.2.5 LÍMITES DE NIVELES DE RUIDO 69
4.3.2.6 ÍNDICE DE AISLAMIENTO ACÚSTICO 70
4.4 PUNTOS DE MEDICIÓN *70*
4.4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ESPACIOS 72
4.4.1.1 CUARTO DE MOTORES 72
4.4.1.2 HABITACIÓN 1 74
4.4.1.3 HABITACIÓN 2 75
4.4.1.4 HABITACIÓN 3 76
4.4.1.5 SALA DE ESTAR 77
4.4.1.6 NAVEGACIÓN 78
4.5 MEDICIÓN GENERAL *79*
4.6 MEDICIÓNPOR TERCIO DE OCTAVA *80*
4.6.1 CUARTO DE MOTORES 80
4.6.2 HABITACIÓN 1 82
4.6.3 HABITACIÓN 2 83
4.6.4 HABITACIÓN3 84
4.6.5 SALA DE ESTAR 85
4.6.6 NAVEGACIÓN 86
4.7 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FUENTES DE RUIDO *87*
4.8 POSIBLES DAÑOS AUDITIVOS SOBRE LOS TRABAJADORES A BORDO *87*
4.9 CÁLCULO DE AISLAMIENTO EN ESTADO ACTUAL *88*
4.9.1 HABITACIÓN 1 89
4.9.2 HABITACIÓN 2 90
4.10 ELECCION DE MÉTODO DE CONTROL DE RUIDO *92*
4.11 PROPUESTA DE AISLAMIENTO *93*
4.11.1 CÁLCULO DE TL PARA LA NUEVA PARED 94
4.11.2 CÁLCULO DE TL PARA LA PARED COMPUESTA 97

4.12 CÁLCULO DE ÍNDICE DE AISLAMIENTO SEGÚN ISO 717 - 1..... 102
4.13 CÁLCULO DE Rw CON EL SOFTWARE SOUNDFLOW..... 104
4.14 RENDERIZACIÓN DE ESPACIOS..... 105
4.14.1 RENDER SIN PROPUESTA DE AISLAMIENTO 105
4.14.2 RENDER CON PROPUESTA DE AISLAMIENTO 106
4.15 SIMULACION CADNA(R)..... 107
4.15.1 PASOS DE MODELADO CADNA(R) 108
4.15.2 PREDICCIÓN DE NIVELES DE RUIDO EN LA EMBARCACIÓN SIN PROPUESTA DE AISLAMIENTO..... 114
4.15.3 PREDICCIÓN DE NIVELES DE RUIDO EN LA EMBARCACIÓN CON PROPUESTA DE AISLAMIENTO..... 114

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS..... 116
5.1 AISLAMIENTO HABITACIÓN 1 PARED COMPUESTA..... 116
5.2 AISLAMIENTO HABITACIÓN 2 PARED COMPUESTA..... 117
5.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS SPL FINALES..... 118
5.3.1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS SPL POR OCTAVA 119

6. CONCLUSIONES 121

7. RECOMENDACIONES..... 123

8. BIBLIOGRAFIA 124
6. TSI, Buques pesqueros silenciosos. Un hito de los pequeños y medianos astilleros españoles. Lecciones aprendidas, 2006..... 124

ANEXO 1- Mapa de ruido en estado actual 127

ANEXO 2 - Mapa de ruido con propuesta de aislamiento..... 128

ANEXO3 – Costo estudio de ruido..... 129

ANEXO 4 - Formato técnico de medición IMO 468 130

ANEXO 5 – Espectros de nivel sonoro para calcular los términos de adaptación 131

ANEXO 6 – Tiempos límites de exposición según IMO 468..... 132

ANEXO 7 – Reporte de pared compuesta en software SoundFlow 133

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. LÍMITES PERMISIBLES PARA EXPOSICIÓN OCUPACIONAL AL RUIDO 26
TABLA 2. NIVELES DE RUIDO PARA DIFERENTES SITUACIONES 27
TABLA 3. SOLUCIONES TÍPICAS DE CONTROL DE RUIDO 46
TABLA 4. DATOS TÉCNICOS 64
TABLA 5. LÍMITES DE NIVELES DE RUIDO 69
TABLA 6.ÍNDICE DE AISLAMIENTO ACÚSTICO 70
TABLA 7. LÍMITES Y NIVELES OBTENIDOS 79
TABLA 8. MEDICIÓN CUARTO DE MOTORES 81
TABLA 9. MEDICIÓN HABITACIÓN 1 82
TABLA 10. MEDICIÓN HABITACIÓN 2 83
TABLA 11. MEDICIÓN HABITACIÓN 3 84
TABLA 12. MEDICIÓN SALA DE ESTAR 85
TABLA 13. MEDICIÓN NAVEGACIÓN 86
TABLA 14 CARACTERÍSTICAS DE FUENTES DE RUIDO EN LA EMBARCACIÓN 87
TABLA 15.DAÑOS AUDITIVOS SEGÚN LOS AÑOS DE EXPOSICIÓN AL RUIDO 37 88
TABLA 16. RESULTADOS TL POR TERCIO DE OCTAVA HABITACIÓN 1 90
TABLA 17. RESULTADOS TL POR TERCIO DE OCTAVA HABITACIÓN 2. 91
TABLA 18. COMPARACIÓN ENTRE MÉTODOS DE CONTROL DE RUIDO. 92
TABLA 19. CÁLCULO DE TL POR TERCIO DE OCTAVA PARA PARED A CONSTRUIR. 95
TABLA 20. COMPARACIÓN ENTRE MATERIALES PROPUESTOS PARA EL AISLAMIENTO 96
TABLA 21. CÁLCULO TL COMPUESTO HABITACIÓN 1 100
TABLA 22. CÁLCULO TL COMPUESTO HABITACIÓN 2 101
TABLA 23. CALCULO DE ÍNDICE DE AISLAMIENTO PARED COMPUESTA SEGÚN NORMATIVA ISO-717 103
TABLA 24. CALCULO DE RW SEGÚN SOFTWARE SOUNDFLOW 104
TABLA 25. COMBINACIÓN DE COLORES PARA REPRESENTACIONES GRÁFICAS CADA 5 DB(A) 108
TABLA 26. COMPARACIÓN DE RESULTADOS FINALES 118
TABLA 27. COMPARACIÓN DE RESULTADOS POR OCTAVA 119

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PÉRDIDA AUDITIVA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE EXPOSICIÓN Y DE LA FRECUENCIA PARA UN NIVEL MEDIO DE 99DB 29
FIGURA 2. CURVAS DE PONDERACIÓN 32
FIGURA3. TRAYECTORIAS DE LOS RAYOS DIFRACTADOS ENCONTRADOS EN TORNO A DOS OBSTÁCULOS 33
FIGURA 4. CONTROL DE RUIDO ACTIVO FEEDFORWARD. 39
FIGURA 5. CONTROL DE RUIDO FEEDBACK 39
FIGURA 6. ELEMENTOS DE UN SISTEMA DIGITAL DE UN CONTROL ACTIVO DE RUIDO 41
FIGURA 7. ESTRUCTURA DE UN FILTRO DIGITAL FIR. 42
FIGURA 8. ESTRUCTURA DE UN FILTRO DIGITAL IIR 44
FIGURA 9. REPRESENTACIÓN DE MEDIDA DE AISLAMIENTO EN LABORATORIO. 50
FIGURA10. AUDIOMETRÍA A TRABAJADORES DEL MAR 52
FIGURA 11. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO REALIZADO 62
FIGURA12. PLANO OCEAN YATCH 55 SUPER SPORT 64
FIGURA 13. PUNTO DE MEDICIÓN 1 CUARTO DE MOTORES 71
FIGURA 14. PUNTOS DE MEDICIÓN 2, 3, 4, 5 71
FIGURA15. PUNTOS DE MEDICIÓN 6 (NAVEGACIÓN) 72
FIGURA16.LÍMITES Y NIVELES OBTENIDOS 79
FIGURA17.COMPARACIÓN PONDERACIÓN A Y Z CUARTO DE MOTORES 81
FIGURA 18. COMPARACIÓN PONDERACIÓN A Y Z HABITACIÓN 1 82
FIGURA19. COMPARACIÓN PONDERACIÓN A Y Z HABITACIÓN 2 83
FIGURA 20. COMPARACIÓN PONDERACIÓN A Y Z HABITACIÓN 3 84
FIGURA21. COMPARACIÓN PONDERACIÓN A Y Z SALA DE ESTAR 85
FIGURA22. COMPARACIÓN PONDERACIÓN A Y Z NAVEGACIÓN 86
FIGURA23 VISTA 1 CUARTO DE MOTORES SIN PARED COMPUESTA 105
FIGURA24. VISTA 2 CUARTO DE MOTORES SIN PARED COMPUESTA 105
FIGURA25. VISTA 1 CUARTO DE MOTORES CON PARED COMPUESTA. 106
FIGURA26. VISTA 2 CUARTO DE MOTORES CON PARED COMPUESTA. 106
FIGURA 27. DIAGRAMA DE FLUJO PASOS DE MODELACIÓN CADNA(R) 108

FIGURA28. VENTANA INICIAL CADNAR 109
FIGURA29. INSERCIÓN BITMAP EN CADNAR 109
FIGURA30. OPCIONES BITMAP 110
FIGURA31. PLANO BASE CADNAR 110
FIGURA32. VISTA 3D MODELO CADNAR 111
FIGURA33. OPCIONES OBSTÁCULO TIPO CAJA 112
FIGURA 34. ÍNDICES DE REDUCCIÓN SONORA OBSTÁCULOS TIPO CAJA 112
FIGURA 35. OPCIONES PUNTO RECEPTOR 113
FIGURA36. OPCIONES EMISOR TIPO CAJA 113
FIGURA 37. COMPARACIÓN AISLAMIENTO ENTRE LA PARED SIMPLE Y LA PROPUESTA DE AISLAMIENTO EN EL HABITACIÓN1 116
FIGURA38. COMPARACIÓN VALORES FINALES DE SPL PARED SIMPLE Y PARED COMPUESTA HABITACIÓN 1. 116
FIGURA39. COMPARACIÓN AISLAMIENTO ENTRE LA PARED SIMPLE Y LA PROPUESTA DE AISLAMIENTO EN LA HABITACIÓN 2. 117
FIGURA40. COMPARACIÓN VALORES DE SPL FINALES PARED SIMPLE Y PARED COMPUESTA HABITACIÓN 2. 117

INDICE DE FOTOS

FOTO 1. CUARTO DE MOTORES 73
FOTO 2. HABITACION 1 74
FOTO 3. HABITACION 2 75
FOTO 4. HABITACION 3 76
FOTO 5. SALA DE ESTAR 77
FOTO 6. NAVEGACION 78

INDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN1. ATENUACIÓN POR DIVERGENCIA 34
ECUACIÓN2. ATENUACIÓN POR ABSORCIÓN DEL AIRE 34
ECUACIÓN3. ATENUACIÓN POR BARRERA 34
ECUACIÓN 4. CALCULO PARA LA VELOCIDAD DEL SONIDO EN EL RECINTO 35
ECUACIÓN5. DIFERENCIA DE LONGITUD EN Z 35
ECUACIÓN6. PÉRDIDA POR REFLEXIÓN 35
ECUACIÓN 7. PERDIDA POR REFLEXIÓN TOTAL 35
ECUACIÓN8. AISLAMIENTO ACÚSTICO 50
ECUACIÓN9. AISLAMIENTO ACÚSTICO NORMALIZADO 89
ECUACIÓN 10. CÁLCULO DE COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN 94
ECUACIÓN11. NUMERO DE ONDA 94
ECUACIÓN 12. CALCULO DE TL PARA PARED SIMPLE 94
ECUACIÓN 13. CALCULO TL PARED COMPUESTA CONDICIÓN 1 97
ECUACIÓN 14. CALCULO TL PARED COMPUESTA CONDICIÓN 2 98
ECUACIÓN 15. CALCULO TL PARED COMPUESTA CONDICIÓN 3 98
ECUACIÓN 16. CALCULO FRECUENCIA DE RESONANCIA. 99
ECUACIÓN17. CALCULO DE PWL 107

RESUMEN

En el desarrollo de este proyecto se realizará el análisis y propuesta de control de ruido en una embarcación de la empresa **Océano Scuba** según las normativas ISO 2923 e IMO 468.

Estas normativas se usarán con el fin de observar el comportamiento del ruido en embarcaciones, los posibles daños al personal que trabaja a bordo y la presentación de una propuesta de control de ruido, que permita mejorar las características sonoras de la embarcación.

El resultado de la investigación servirá para que en un futuro sea regulado con mayor rigor el comportamiento del ruido al interior de embarcaciones, lograr una mayor satisfacción y comodidad del personal a bordo de embarcaciones generando un ambiente agradable de trabajo, mediante la implementación de sistemas que permitan controlar el ruido dentro de la embarcación.

Palabras Clave: Ruido, embarcación, control de ruido, características sonoras, normativa, modelación, software, predicción, Cadna(R).

ABSTRACT

An analysis and noise control proposal in a vessel of the company "Oceano Scuba", according to the ISO 2923 and IMO 468, is visible through the developing of this project.

These standards will be taken into account for the observation of the noise behavior inside boats and possible harm to personnel working on board, which will finally lead us to present a proposal on noise control that will improve the sound characteristics of the boat.

The ultimate goal of this research is to set a basis on a more strict regulation of noise behavior within vessels, greater staff satisfaction and onboard comfort creating a pleasant working environment through the implementation of noise controlling systems inside the boat.

Keywords: Noise, boat, control noise, sound characteristics

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas más comunes a los que están expuestos trabajadores a bordo de embarcaciones, son los altos niveles de ruido en las diferentes zonas de trabajo como lo son las salas de maquinaria, dormitorios, comedor, etc. El ruido es por lo tanto, un problema, que tiene un fuerte impacto sobre el trabajador.

Como estudiantes de Ingeniería de sonido este problema es de gran importancia lo que nos lleva a realizar el estudio de niveles de ruido en embarcaciones. Como objeto de estudio se eligió una embarcación de la empresa OcéanoScuba que se encuentra ubicada en Taganga; la metodología que se utilizará en la investigación son los métodos descritos en la resolución IMO 468[1] e ISO 2923 sobre niveles de ruido permitidos en embarcaciones; los protocolos de medición descritos en estas normativas se usarán para realizar las respectivas mediciones y elaborar el modelo de ruido en Cadna(R)[2]

Como objetivo final de la investigación se realizará el modelado del cuarto de motores para observar el comportamiento de ruido, diseñar y emular un sistema de control que nos permita reducir niveles de ruido a bordo de la embarcación, con el fin de reducir los posibles daños a los trabajadores abordo.

Por último la investigacióndará lugar a nuevas investigaciones sobre ruido en embarcaciones y los posibles daños, tanto para la maquinaria, como para la salud de los trabajadores.

---

[1] IMO 468 "Codeonnoiselevelsonboardships" Código sobre niveles de ruido a bordo de embarcaciones.

[2] Cadna(R) Software de predicción de ruido en interiores

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Active and passive control of machinery noise in future warships: a ship designer's viewpoint[3]

El autor hace aquí una revisión de las técnicas pasivas y activas para reducir el ruido en barcos de guerra. Estos barcos han de ser más silenciosos cada día, tanto en ruido radiado como en ruido propio. El ruido radiado puede conducir a una localización lejana por un buque enemigo. El ruido propio reduce la capacidad de funcionamiento del sonar, tanto en operación activa como pasiva. Las líneas espectrales, asociadas casi siempre a la maquinaria instalada en el barco, son de vital importancia en la firma de un barco, y sirven para identificarlo. Por tanto, reducir esas líneas espectrales es de transcendental importancia. Aquí es donde tiene más importancia el control activo.

El autor reivindica que el control activo, al que califica como una tecnología de importancia emergente, tendrá un papel determinante en problemas asociados con aspectos concretos del ruido de maquinaria y en ciertas vías de propagación. Las fuerzas fluctuantes, causa de la generación de ruido en un barco, se originan en la transmisión a través de los calzos de la maquinaria, a través de los ejes rotantes, conexiones flexibles de las tuberías, y en el golpeo del ruido aéreo en el casco del barco. A velocidades altas, hay que considerar además el ruido de flujo hidrodinámico y el de propulsión. Incluso a frecuencias bajas, una fuerza puntual excita un gran número de grados de libertad acústicos.

---

[3] *Proc.UDT Active and passive control of machinery noise in future warships: a ship designer's viewpoint,1998*

La firma de ruido de un barco a una sola frecuencia resulta de un gran número de fuerzas fluctuantes actuando en paralelo. Por tanto, no es razonable esperar una reducción significativa de la firma del barco simplemente actuando con un número limitado de fuerzas secundarias sobre su estructura, aun cuando estas fuerzas estén óptimamente controladas en amplitud y fase a cada frecuencia. Esta discusión tiene un cierto paralelismo con la de control local o global en un recinto. Aquí podríamos decir que el control global no es muy viable, debido a la complejidad del campo de ruido, pero el control local tiene una aplicación importante en problemas concretos de ruido.

1.1.2 TSI realiza la predicción de vibraciones del buque "MONTE MEIXUEIRO"[4]

El autor hacer especial énfasis en que la Predicción tiene por objeto "predecir o estimar" los niveles de vibración esperados en la estructura del buque en fases tempranas de la construcción, con el objetivo de poder introducir soluciones de mejora eficaces y contrastadas sin mayor costo que la modificación de planos.

La herramienta de "Predicción de Vibraciones" no sólo supone una anticipación a las posibles problemáticas en esta materia y, por lo tanto, una reducción de costos de construcción, sino la especialización de la construcción naval, mediante la entrega de un producto de alto valor añadido como lo constituyen buques confortables, destaca el autor, desde el punto de vista de la habitabilidad y confort del personal que trabaja a bordo, al reducirse y controlarse los niveles de vibraciones y ruido. Desde el punto de vista del constructor, no sólo se logra un buque confortable, si no

---

[4] *TSI, TSI realiza la predicción de vibraciones del buque "MONTE MEIXUEIRO", 2006*

que además se reducen los costos de mantenimiento de la maquinaria a bordo, ya que altos niveles de vibración en una estructura pueden reducir la vida util de determinados componentes en un equipo. El enfoque que se plantea en una Predicción de Vibraciones y Ruido para un buque es radicalmente distinto al que se venía planteando. Hoy en día nadie pone en duda, que la estructura de un buque o la propulsión del mismo, sea objeto de cálculo y ensayo, del mismo modo, la Predicción de Vibraciones y Ruido permite desde la caracterización de los focos de vibración y ruido, conocer si dicho buque conseguirá cumplir con una determinada cota de confort. En este sentido hay que decir que las especificaciones de los constructores, en esta materia, son cada vez más exigentes y se extienden a todo tipo de buques.

Las ventajas de solicitar una especificación correctamente definida, y exigente en materia de vibraciones y ruido permite que, además de obtener ventajas desde el punto de vista de mantenimiento, la tripulación conviva en un entorno menos hostil y la fatiga debida a la vibración y ruido sea muy inferior.

1.1.3 Buques pesqueros silenciosos. Un hito de los pequeños y medianos astilleros españoles. Lecciones aprendidas.[5]

Este artículo describe la metodología de gestión integral de vibraciones y ruidos y las técnicas de predicción de vibraciones y ruidos empleadas para la consecución de los requerimientos establecidos. Las “decisiones novedosas” adoptadas en este proyecto, la metodología empleada y los resultados obtenidos, pueden ser un “referente exportable” al Sector de la construcción naval en general, y al sector pesquero en particular.

[5] *TSI, Buques pesqueros silenciosos. Un hito de los pequeños y medianos astilleros españoles. Lecciones aprendidas, 2006*

1.1.4 Ship noise and its effects on seafarers 'health, Dominique Jeagaden[6]

El artículo hace referencia al ruido como un factor de estrés significativo en los buques. El hecho de que las instalaciones se encuentran por encima del mecanismo de propulsión, los incrementos en la potencia del motor y la aparición de vibración significa que la reducción de ruido se ha convertido en una cuestión tanto de salud de la tripulación, ya que es de comodidad a bordo.

El autor hace referencia a principales fuentes de ruido en embarcaciones y los efectos sobre la salud en trabajadores del mar.

1.1.5 Estudio del impacto de ruido en trabajadores del mar, SGS TECNOS SA. Departamento de Desarrollo de Proyecto s e Innovación[7]

Este artículo refiere principalmente al impacto de ruido sobre trabajadores a bordo de embarcaciones, daños auditivos y extra auditivos debidos a prolongados laxos de tiempo de exposición a ruido.

El autor resalta principalmente el control que debe realizar en cuanto a esta problemática, regular el tiempo de exposición y los niveles permitidos dentro de cada zona de la embarcación para evitar o reducir los problemas generados en trabajadores por el ruido.

---

[6] *Dominique Jeagaden, Ship noise and its effects on seafarers*

[7] *SGS TECNOS SA, Estudio del impacto de ruido en trabajadores del mar. Departamento de Desarrollo de Proyecto s e Innovación,*

1.1.6 Caracterización del campo acústico, ruido y vibraciones de una lancha, Centro de Investigación y Desarrollo Naval. Cuba.[8]

En este artículo se recogen las experiencias y resultados obtenidos durante la caracterización vibro acústica (mediciones del campo acústico primario, ruido ambiente y vibraciones en compartimientos) de proyectos de Lanchas, así como se expone la metodología, normas y recomendaciones realizadas por el equipo de investigadores que participó en las mismas. El conocimiento de los parámetros medidos es de gran valor técnico, pues determina la influencia negativa de estos en la tripulación, en el equipamiento a bordo y en la posible afectación del personal que realice actividades de buceo en zonas de mar cercanas a la embarcación.

1.1.7 "ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL EX-POST POR LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA EMBARCACIÓN M/N GALÁPAGOS EXPLORER II, DURANTE SUS ACTIVIDADES TURISTICAS EN LA RESERVA MARINA DE GALÁPAGOS".[9]

El artículo describe la realización del estudio de impacto ambiental Ex-post por la operación y mantenimiento de la embarcación M/N GALÁPAGOS EXPLORER II, con el objeto de regular su funcionamiento dentro del marco de cumplimiento de la normativa ambiental vigente en la Reserva Marina de Galápagos.

---

[8] *Centro de Investigación y Desarrollo Naval. Cuba, Caracterización del campo acústico, ruido y vibraciones de una lancha, 2003*

[9] *Galápagos explorer II "estudio de impacto ambiental ex-post por la operación y mantenimiento de la embarcación m/n galápagos explorer ii, durante sus actividades turísticas en la reserva marina de galápagos",2012*

1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Uno de los mayores problemas que se presentan en los trabajadores a bordo de embarcaciones es la pérdida de audición entre otros daños, según estudios realizados por la empresa, SGS Tecno S.A. [7]

El nivel de ruido es un factor de estrés importante a bordo de embarcaciones, el hecho de que las instalaciones se encuentren sobre maquinarias como motores y diferentes fuentes de ruido, representa un factor de riesgo para la tripulación, por lo que se puede presentar problemas en la audición, además de generar accidentes debido a la disminución de inteligibilidad de la palabra o enmascaramiento de señales de alarma durante maniobras de rutina.

En las embarcaciones existen fuentes generadoras de ruido como: los motores principales en la sala de maquinaria, generalmente son motores diésel de combustión interna, cuyos niveles de ruido dependerá de la potencia y las revoluciones por minuto. En la mayoría de casos los niveles de ruido puede oscilar entre 100 - 110 dB SPL(A).

1.3 PREGUNTA PROBLEMA

¿Cuáles son las características de ruido existente en las diferentes zonas de la embarcación y que técnicas de control de ruido se pueden aplicar en estas para garantizar los niveles establecidos por la resolución IMO 468?

1.4 JUSTIFICACIÓN

Los fenómenos de la propagación del sonido y de ruido se presentan constantemente en el diario vivir de las personas y más en aquellas que trabajan con maquinaria o motores ruidosos, como es el caso de los trabajadores a bordo de embarcaciones.

La exposición a altos niveles de ruido y a tiempos elevados pueden producir daños auditivos graves y enfermedades como: sordera, tinnitus entre otros. Debido a esto es de suma importancia desarrollar sistemas de control de ruido que logren reducir el daño a largo plazo en la audición de los trabajadores del mar.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Modelar las fuentes de ruido presentes en una embarcación de la empresa Océano Scuba, para diseñar y simular un sistema de control de ruido.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el comportamiento del ruido al interior de la embarcación mediante las normas IMO468 e ISO 2923.
- Identificar fuentes de ruido dentro de la embarcación que se puedan considerar un riesgo auditivo para el personal a bordo.
- Proponer un sistema de control de ruido en las zonas donde se supere el nivel de ruido permitido por la resolución IMO - 468

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.6.1 ALCANCES

- Realizar un estudio en frecuencias bajas para determinar posibles daños por vibraciones.

- Estimar los posibles daños en la audición de los tripulantes de la embarcación debido al tiempo de exposición al ruido.

1.6.2 LIMITACIONES

- El software de simulación Cadna presenta un rango de frecuencia de análisis de 125 Hz a 4000Hz.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO CONCEPTUAL

En el desarrollo de este proyecto se utilizarán conceptos como los siguientes para referir a datos y resultados correspondientes.

2.1.1 RUIDO

La palabra "Ruido" viene del latín, "rugitus", rugido. En la actualidad se encuentra entre los contaminantes más invasivos, el ruido del tránsito, aviones, camiones de recolección de residuos, equipos y maquinarias de construcción, procesos industriales de fabricación, cortadoras de césped y equipos de sonido fijos o montados en automóviles.

2.1.1.1 NIVELES Y TIEMPOS MÁXIMOS DE EXPOSICIÓN A RUIDO EN COLOMBIA

LÍMITES PERMISIBLES PARA EXPOSICIÓN OCUPACIONAL AL RUIDO	
TIEMPO(HORAS)	SPL dB(A)
8	85
4	90
2	95
1	100
1/2	105
1/4	110
1/8	115

Tabla 1. Límites permisibles para exposición ocupacional al ruido[10]

"Los anteriores Valores Límites Permisibles del nivel sonoro, son aplicados a ruido continuo e intermitente, sin exceder la jornada máxima laborable vigente, de ocho (8) horas diarias. Por la cual se adoptan Valores Límites Permisibles para la exposición ocupacional al ruido".[11]

---

[10] *Resolución 1792 de 1990. Art.1o.*

[11] *Protocolo de Vigilancia Sanitaria Específica para los/as trabajadores/as expuestos a Ruido, de la Comisión de Salud Pública Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud. España*

2.1.1.2 EFECTOS DEL RUIDO SOBRE LA AUDICIÓN[12]

El sonido más débil perceptible por un oído sano es de 0 dB. Los seres humanos oímos desde 20Hz hasta 20000 Hz. Un adulto normal oiría hasta los 8000Hz, dejamos de oír las frecuencias altas porque éstas se recogen en la base del caracol o cóclea siendo aquí donde la erosión de las células receptoras es mayor.

La siguiente tabla muestra diferentes niveles de ruido para diferentes sonidos o situaciones que se pueden dar a lo largo de un día normal y que pueden afectar a la salud de las personas que los sienten

Umbral de dolor	140 dB
Avión sobre la ciudad	130 dB
Umbral de sensación desagradable	120 dB
Taladradoras	
Motocicletas sin silenciador	115 dB
Concierto de Rock	110 dB
Interior discotecas	
Sirena de bomberos	
Claxon autobús	100 dB
Máquina remachadora	95 dB
Camión	
Despertador	90 dB
Claxon automóvil	
Tráfico rodado	85 dB
Interior fábrica	80 dB
Ambiente oficina	70 dB
Máquina de afeitar	
Conversación normal	55-65 dB
Zonas residenciales	40 dB
Susurro	30 dB
Rumor de hojas de árboles	15 dB
Pájaros trinando	10 dB
Umbral de la audición	0 dB

Tabla 2. Niveles de ruido para diferentes situaciones

[12] *http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_03_04/contaminacion/efectos.html*

2.1.1.3 PROBLEMAS DE SALUD Y PÉRDIDA DE LA AUDICIÓN[12]

Los efectos del ruido sobre la audición pueden dividirse en varias categorías:

- **Trauma Acústico**

  El trauma acústico (daño orgánico inmediato del oído por excesiva energía sonora) se restringe a los efectos de una exposición única o relativamente pocas exposiciones a niveles muy altos de presión sonora. El ruido extremadamente intenso que llega a las estructuras del oído interno puede sobrepasar los límites fisiológicos de éstas, produciendo la rotura completa (desgarro del tímpano) y alteración del órgano de Corti. Suele darse en general en explosiones

- **Desplazamiento temporal del umbral de audición inducido por el ruido**

  Tiene como resultado una elevación de los niveles auditivos (una pérdida de la sensibilidad auditiva) después de la exposición al ruido. La pérdida de audición en este tipo de desplazamiento es reversible.

- **Desplazamiento permanente del umbral de audición inducido por el ruido (sordera profesional)**

  La pérdida de audición no es reversible en este caso; permanece durante toda la vida de la persona afectada. Entre 2 ó 3 horas de exposición diaria a un ruido de 90 dB puede causar una pérdida permanente.

La figura 1 indica los niveles de pérdida auditiva que se pueden llegar a producir en el oído debido a la exposición a un ruido de nivel de 99 dB durante diferentes periodos temporales.

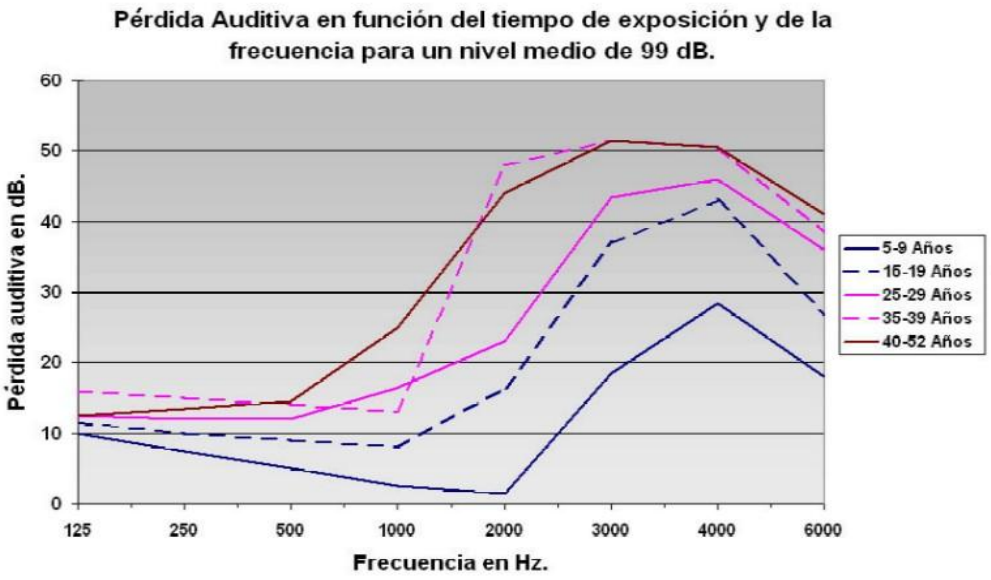


Figura 1. Pérdida auditiva en función del tiempo de exposición y de la frecuencia para un nivel medio de 99dB

2.1.1.4 TIPOS DE RUIDO SEGÚN LA INTENSIDAD Y EL PERIODO

- **Ruido estacionario:** Ruido cuyo nivel de presión sonora permanece constante a lo largo del tiempo.

- **Ruido fluctuante:** Ruido cuyo nivel de presión sonora varía en función del tiempo. Las fluctuaciones pueden ser periódicas o aleatorias (no periódicas). Se puede escoger un límite fluctuación para intentar separar lo que es un ruido estacionario, de uno fluctuante, que suele estar en torno a 6 dB (A).

- **Ruido intermitente:** Ruido que aparece solamente en determinados instantes.

- **Ruido impulsivo**: Ruido cuyo nivel de presión sonora aumenta de manera muy acusada por encima del ruido de fondo en instantes muy cortos de tiempo (impulsos). Los impulsos pueden presentarse de manera aleatoria o repetitiva. Suele ser bastante más molesto que el ruido continuo.

2.1.1.5 TIPOS DE RUIDO SEGÚN LA FRECUENCIA[13]:

- **Ruido Blanco:** Es un tipo de ruido con espectro plano, es decir, tiene la misma energía en todas las frecuencias. Si se representa esta energía en bandas de frecuencia el nivel aumenta 3dB por octava.

- **Ruido Rosa:** Es un tipo de ruido que no tiene respuesta uniforme en todo el ancho de banda, sino que el nivel de energía decrece a razón de 3dB por octava. Si se representa esta energía en bandas de frecuencia vemos que el nivel permanece constante.

- **Ruido Tonal:** Este tipo de ruido presenta en su espectro una marcada componente tonal y puede oírse claramente el tono puro.

- **Ruido de Baja Frecuencia:** Consideraremos valores de baja frecuencia todo ruido que se encuentre entre 20 y 125 Hz. Algunas fuentes que generan componentes de baja frecuencia se encuentran dentro del grupo de maquinaria industrial, principalmente motores, así como transformadores.

2.1.2 MAPAS DE RUIDO

"Un mapa de ruido es una presentación de datos sobre una situación acústica existente o pronosticada en función de un indicador de ruido"[12], en la que se indicará el valor límite vigente, el número de personas afectadas en una zona específica y el número de viviendas expuestas a determinados valores de un indicador de ruido en una zona específica con el propósito de prevenir y reducir el ruido ambiental en particular la exposición que tenga efecto nocivos para la salud humana. También son aplicables a recintos cerrados.

---

[12] *CONSEJO DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, DIRECTIVA 2002/49/CE del 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental. Pág. 3*

[13] *Tipos de ruido, http://www.sisma.net63.net/index_archivos/Page1868.htm*

2.1.3 RUIDO DE MOTOR

Es el ruido del propio vehículo, intervienen los elementos vibrantes que participan en la propulsión, salvo los neumáticos: motor, transmisión, sistemas de admisión, frenos, escape y suspensión.

Cuando el vehículo está por debajo de los 50 km/h, este ruido es el predominante en el tráfico rodado, sucede cuando la vía hay congestión, cuando los vehículos se detienen en la paralela o salen de la vía por los costados orientales y occidentales disminuyendo su velocidad.

2.1.4 CURVAS DE PONDERACIÓN

El comportamiento de los fenómenos físicos como la presión es lineal, mientras que el oído del ser humano tiene un comportamiento logarítmico; para poder ajustar los niveles de dB SPL, es necesario realizar una ponderación por frecuencia.

Esta dependencia de la frecuencia de la sensación de sonoridad fue descubierta y medida por Fletcher y Munson en 1933, ellos adecuaron ciertas curvas para que a partir de redes de filtrado o de ponderación de frecuencia se pudiera alcanzar la sensación auditiva real. Esta red de filtrado tendría que atenuar las bajas y las muy altas frecuencias, dejando las medias casi inalteradas. En otras palabras, tendría que intercalar unos controles de graves y agudos al mínimo antes de realizar la medición.

Una dificultad de este estudio era hacer que el sistema se comportara como el oído sin que la dependencia de la frecuencia para diferentes niveles físicos del sonido afectara. “Por ejemplo, a muy bajos niveles, sólo los sonidos de frecuencias medias son audibles, mientras que a altos niveles, todas las frecuencias se escuchan más o menos con la misma sonoridad”.[14]

---

[14] *HARRIS. Cyril M, Manual de medidas acústicas y control de ruido, Tercera Edición, Mc.Graw- Hill, 1995.*

De esta manera se diseñaron redes de ponderación de frecuencia correspondientes a niveles de alrededor de 40 dB, 70 dB, 100 dB y 120dB SPL llamadas A, B, C y D respectivamente.

Ponderación A: utilizada para sonidos de bajo nivel. Para niveles por debajo de 55 fones.

Ponderación B: Para sonidos de nivel medio. Para niveles entre 55 y 85 fones.
Ponderación C: Para niveles altos. Para niveles mayores a 85 fones.

Ponderación D: Usada para medir ruido de aeronaves. Ponderación SI: poco reconocida hecha por Webster, la cual se enfoca en frecuencias que predominan en la palabra.

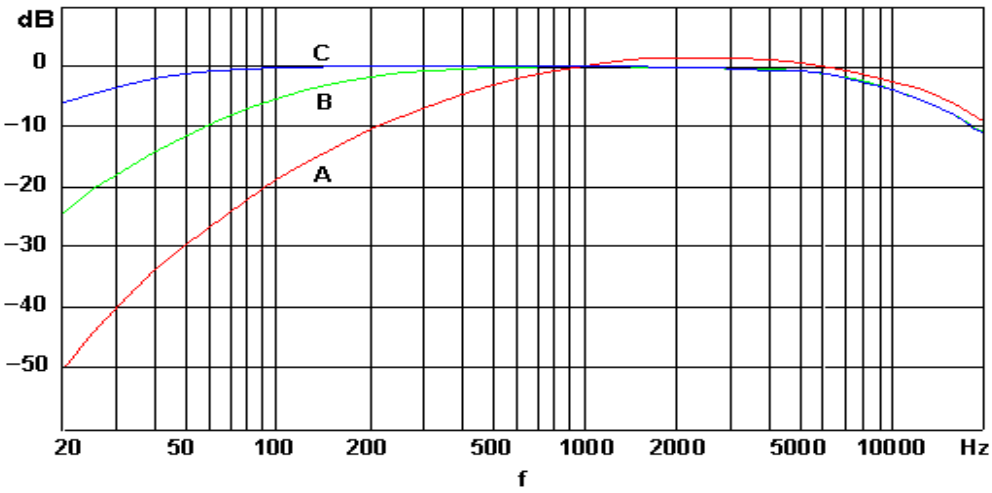


Figura 2. Curvas de ponderación[15]

2.1.5 MÉTODOS DE CÁLCULO DE RUIDO (Cadna(R)) [16]

2.1.5.1 MODELO DE FUENTE IMAGEN

Con este procedimiento, la reflexión en las superficies de las habitaciones y en obstáculos (así como en las fuentes reflectantes) se modela por los rayos,

---

[15] *MIYARA Federico. Niveles Sonoros. Comité Científico Interdisciplinario de Ecología y Ruido. 2003. http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/~acustica/comite/niveles.htm*

[16] *DataKustiks.Cadna(R) Prediction of noise levels inside rooms User Manual.2012*

la ruta de acceso de los rayos se persiguen y se determina paso a paso para cada rayo y para cada punto de reflexión. Para ello es necesario comprobar si hay rayos irradiados por la fuente, si este rayo después de reflejarse n veces en las superficies golpea un receptor o un punto de la cuadrícula. La ubicación de las fuentes de imagen se obtiene mediante la determinación del punto de reflexión y el ángulo de incidencia de los respectivos rayos en un reflector.

A partir de la posición y orientación del reflector con respecto a la trayectoria del rayo se evalúa el ángulo de reflexión, posiblemente debido a la disminución de las propiedades de absorción del reflector. Posteriormente, la trayectoria del rayo se persigue de forma recursiva hasta el fin específico de reflexión. Con los obstáculos situados en la trayectoria del rayo, la trayectoria del rayo que tiene la diferencia más pequeña longitud de la trayectoria alrededor de la disposición de obstáculos en un plano vertical y / o horizontal determina la atenuación barrera.

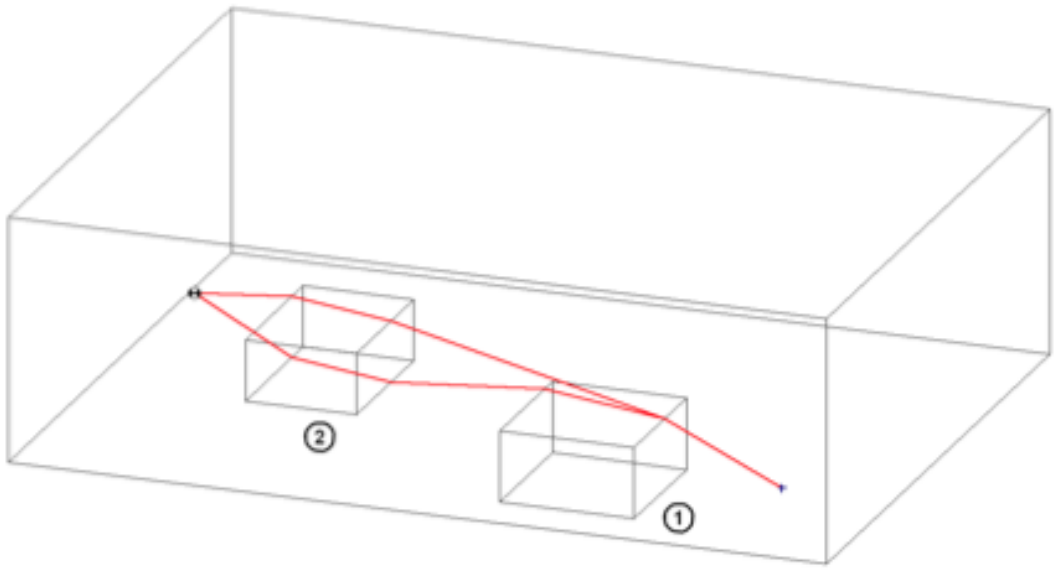


Figura3. **Trayectorias de los rayos difractados encontrados en torno a dos obstáculos**

(1)Obstáculo en el terreno, (2) obstáculos flotando por encima del suelo, cuando se selecciona la opción "difracción vertical" se activa (aquí: 2 caminos encontrados, se utiliza la ruta más corta).

Para el cálculo de los diversos términos de atenuación se aplican los procedimientos de la norma ISO 9613-1 y -2.

La atenuación debido a la divergencia geométrica se calcula a partir de (Ecuaciones 1,2 y 3tomadas de la página 129 del manual de Cadna R):

$$A_{div} = 10 * log\left(4 * \pi * \frac{d^2}{d_0^2}\right)[dB]$$

Ecuación1. Atenuación por divergencia

Donde

d: distancia en línea recta desde la fuente hasta el receptor, en m d0 = 1 m

La atenuación debida a la absorción del aire se calcula a partir de:

$$A_{atm} = \alpha * d/1000\ [dB]$$

Ecuación2. Atenuación por absorción del aire

Donde

α: coeficiente de absorción del aire de acuerdo a la normativa ISO 9613-1

d: distancia en línea recta desde la fuente hasta el receptor, en m

La atenuación por barrera se calcula de la siguiente forma:

$$A_{bar} = D_z = 10 * log\left[3 + \left(\frac{40}{\lambda}\right) * C_3 * z\right][dB]$$

Ecuación3. Atenuación por barrera

Donde (Ecuaciones 4 y 5 tomadas de la página 126 del manual de CadnaR)

$C_3 = 1$ Para difracción simple

$$C_3 = \frac{1 + \left(\frac{5*\lambda}{e}\right)^2}{\frac{1}{3} + \left(\frac{5*\lambda}{e}\right)^2}$$

Ecuación 4. Calculo para la velocidad del sonido en el recinto

Para más de un simple ángulo de difraccióncon

$$1 \leq C_3 \leq 3$$

Y la diferencia de longitud de la trayectoria z:

$$\boldsymbol{z = (d_{ss} + d_{sr} + e) - d}$$

Ecuación5. Diferencia de longitud en Z

Donde

dss: Distancia desde la fuente hasta el primer borde de detección

dsr: Distancia desde el borde anterior de selección para el receptor

e: Distancia desde la fuente hasta el primer y último borde

d: Distancia en línea recta desde la fuente hasta el receptor

La pérdida por reflexión RL_ien dB por una reflexión simple en un reflector i resulta del coeficiente de absorción α_i según:

$$\boldsymbol{RL_i = -10 * log(1 - \alpha_i)[dB]}$$

Ecuación6. Pérdida por reflexión

Para una serie n de reflexiones la pérdida por reflexión total de RL de resultados:

$$RL = \sum_{i=1}^{n} RL_i$$

Ecuación 7. Perdida por reflexión total

2.1.6 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Los aparatos de medida que se van a utilizar para obtener los niveles de presión acústica en el lugar de trabajo son:

2.1.6.1 SONÓMETRO

"Es un aparato de medida diseñado y construido para determinar la presión acústica del ruido. El sonómetro mide el Nivel de Presión acústica en dB y en diversas escalas de ponderación, así como en las configuraciones SLOW, FAST e IMPULSE.

Está limitado su uso a la existencia de un ruido estable, entendiéndose por tal aquel que presenta una diferencia entre valores máximos inferior a 5 dB. Se les exige que cumplan lo establecido en la norma UNE-20464-90 (CEI- 651) para instrumentos del tipo 2." [17]

Como mínimo han de disponer de ponderación en "A" y configuración SLOW.

- Sonómetros integradores: Es un aparato destinado a la medición del nivel de presiónacústica continuo equivalente. A diferencia del sonómetro no integrador, este puede medir cualquier tipo de ruido. Se le exige que cumpla la norma CEI-804 (PNE-20493) para los instrumentos del tipo2.

- Sensibilidad: es la capacidad de los micrófonos para captar presiones sonoras y convertirlas en señales eléctricas, por poner un ejemplo podría asemejarse a la capacidad auditiva del micrófono. Se define como la tención del micrófono (circuido abierto) y la presión que incide sobre él (campo libre). [18]

2.1.6.2 PISTÓFONO

El pistófono, también llamado calibrador acústico, es un instrumento que se utiliza para asegurar el buen funcionamiento de un sonómetro.

Funciona generando un tono estable de nivel a una frecuencia predeterminada. La lectura que realiza el sonómetro la hace coincidir con el nivel que genera el pistófono. Suelen disponen de un selector que permite generar uno o más tonos a una frecuencia de 1 KHz.

La calibración consiste en comparar lo que indica un instrumento y lo que debería indicar de acuerdo a un patrón de referencia con valor conocido.

2.1.7 CONTROL DE RUIDO

Si se determina en un lugar de trabajo que el nivel de ruido está más alto respecto a los niveles permitidos según la ley, se requiere que el empleador reduzca los niveles de ruido. Para encontrar la solución más eficaz en cada problema de ruido hay que estudiar la energía sonora implicada en los diferentes caminos de transmisión de ruido, seleccionar los métodos de control que reducen la energía sonora en todos los caminos.

Se puede controlar el ruido y proteger el oído a través de controles mecánicos o de ingeniería, controles administrativos y protección personal.

---

[16] *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, monografías técnicas sobre seguridad y salud en el trabajo núm. 2, "El Ruido en el Ambiente Laboral"*

[17] *http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_04_05/io8/public_html/microfonos.htm*

2.1.7.1 CONTROL DE RUIDO ACTIVO[19]

El control activo de ruido es una técnica que se ha venido aplicando con buenos resultados desde los años 50; para complementar los resultados obtenidos con técnicas pasivas de control sonoro, no funcionan muy bien en banda baja debido a la elevada longitud de onda de estas frecuencias. Los sistemas CAR tratan de generar electrónicamente un ruido secundario de similar amplitud y en contrafase con el ruido existente (ruido primario). En condiciones de linealidad, ambos campos interfieren destructivamente, resultando en una reducción neta del campo sonoro total.

Este principio funciona tanto mejor cuanto más baja es la frecuencia y cuanto más simples son la estructura espacial y frecuencias del ruido. Con esta información, sabemos que estas técnicas activas funcionan perfectamente en baja frecuencia lo que las hace complemento perfecto con técnicas pasivas que sabemos que funcionan muy bien en banda media y alta.Los sistemas de control de ruido activo requieren censores acústicos (micrófonos, por ejemplo) paramedir el ruido primario y actuadores acústicos (altavoces, por ejemplo) paragenerar el ruido secundario,El micrófono ha de soportar unas condiciones de trabajo muy severas (temperatura, suciedad, corrosión, etc.) y esto hace que se pierda rápidamente las características iníciales del micrófono. Existen varias técnicas para el CAR:

2.1.7.1.1 CONTROL TIPO LAZO ABIERTO (FEEDFORWARD).[20]

Cuando se dispone de una señal que nos da una referencia del ruido que se desea cancelar, la configuración del sistema de control es de lazo abierto, según se muestra a continuación en la figura 4:

---

[19] *María Cuesta Ruiz, control activo de ruido radiado por estructuras bidimensionales*

[20] *http://sac.upc.edu/areas-de-investigacion/control-avanzado/control-activo-de-ruido-acustico-car*

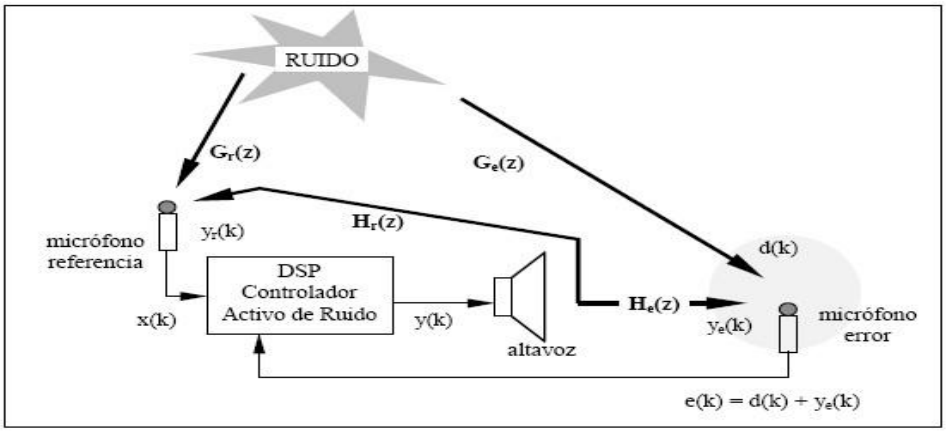


Figura 4. Control de ruido activo feedforward.[20]

El sistema anterior de control mostrado en la figura, puede representarse mediante un diagrama de bloques con todas las funciones de transferencia electro/acústicas involucradas.

2.1.7.1.2 CONTROL TIPO LAZO CERRADO (FEEDBACK)[20]

La señal que recoge el micrófono, señal de error e(k), es la suma del ruido inicial d(k), con el ruido de cancelación ye(k), generado por el altavoz. La señal de error sirve al controlador para modificar su respuesta y(k), con objeto de conseguir que el valor eficaz de la señal de error e(k) sea mínima. Es decir, que la presión acústica en el entorno del micrófono sea nula, como se ve en la figura 5.

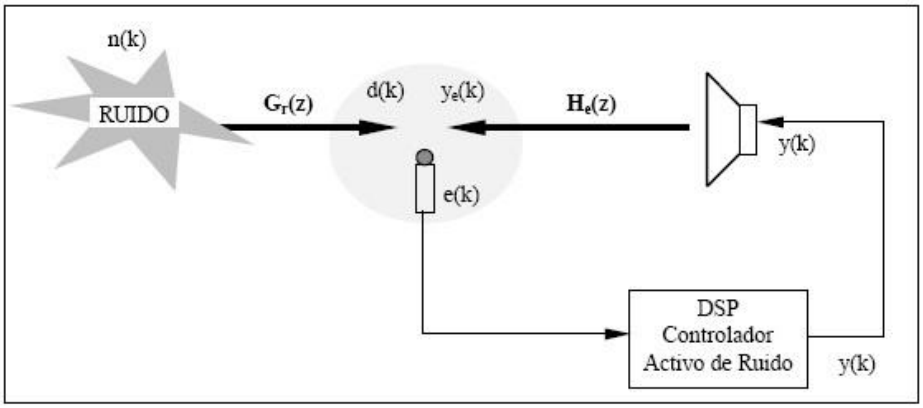


Figura 5. Control de ruido feedback.[20]

2.1.7.1.3 ALGORITMOS DE CONTROL

El controlador ha de ser capaz de seguir todas las posibles variaciones que puedan producirse en el campo acústico (variaciones de fase, de frecuencia, de amplitud, de funciones de transferencia acústica, etc.). Podría pensarse en un diseño analógico, sin embargo, los sistemas analógicos no ofrecen todas las prestaciones de funcionamiento que se les exige a estos sistemas de control tan complejos. El diseño debe realizarse desde el punto de digitalización de las señales analógicas que nos entregan los sensores. Los datos numéricos que representan las señales analógicas, pasan por algoritmos digitales (sistemas discretos), cuya función de transferencia sirve para corregir en fase y amplitud la señal de entrada, y así poder cancelar la señal de error del micrófono del mismo nombre. Estos datos, modificados por el sistema discreto, se convierten de nuevo en señales analógicas, que por medio de actuadores electro-acústicos, se transforman en ondas de presión acústica.

Los elementos que constituyen el controlador digital son los que se muestran en la figura 6. En la etapa de entrada se tiene un filtro paso bajo “anti-aliasing” y el convertidor analógico-digital. En la etapa de salida se encuentra el convertidor digital- analógico y el filtro paso bajo de salida anti-imagen. El sistema digital lo constituye un filtro digital (algoritmo numérico), cuyos parámetros son actualizados dinámicamente por medio de un algoritmo adaptativo, de manera que siga cualquier variación de las condiciones acústicas del sistema.

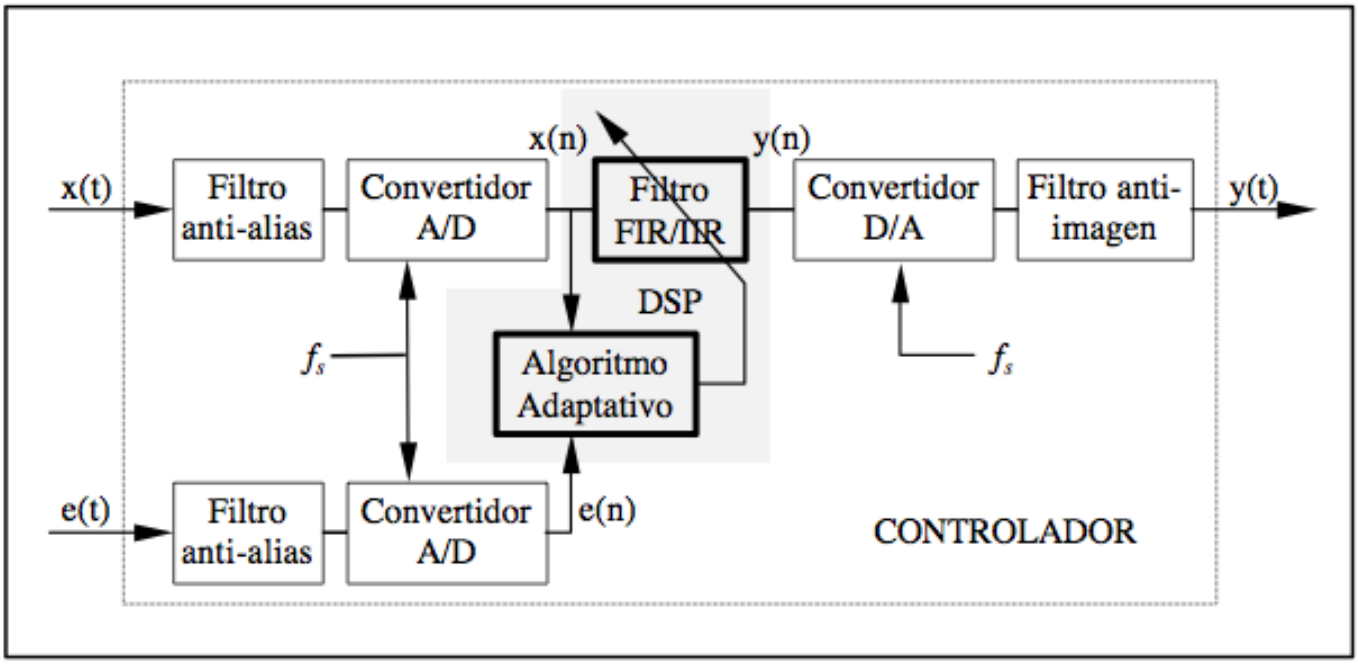


Figura 6. Elementos de un sistema digital de un control activo de ruido

Las señales analógicas de los sensores, micrófonos de error y de referencia, se muestrean a una frecuencia bastante superior a la frecuencia de Nyquist. Generalmente la máxima frecuencia de interés es 500 Hz, y suele escogerse una frecuencia de muestreo de 10 veces este valor, es decir, fs = 5000 Hz [Allie 88, Mínguez 96]. Es decir, las muestras/datos de las señales de entrada se toman cada 1/fs segundos (retardo entre datos). El filtro "anti-aliasing" tiene una frecuencia de corte algo inferior a la mitad de la frecuencia de muestreo. El valor de esta frecuencia de corte se elige entre 1.000 y 2.500 Hz. Obviamente, estos valores son los mismos en la etapa de salida, para reconstruir nuevamente los datos en señales analógicas.

• Filtrado FIR Los datos de entrada pasan por un sistema discreto FIR que aplica a los datosx(n) una determinada función de transferencia, obteniendo unos nuevos datos y(n):

$$y(n) = \sum_{k=0}^{M} c(K)x(n-K)$$

Los datos según se van digitalizando, al ritmo marcado por la frecuencia de muestreo, se almacenan en una zona de memoria del microprocesador (DSP). Esta tabla de memoria se renueva constantemente con la entrada de cada dato: los datos de la tabla se desplazan una posición desechándose el dato más antiguo, y el nuevo dato que acaba de llegar se coloca en la posición de memoria x(n), como se muestra en la figura 3.8. Después, los datos de la tabla se multiplican por unos coeficientes almacenados en otra tabla de memoria, y por último se suman todos los productos resultantes, obteniéndose de esta forma el dato y(n). Este proceso corresponde a un filtrado digital tipo FIR, cuya función de transferencia está determinada por los valores de los coeficientes c(k).

Cualquier función de transferencia analógica puede modelarse mediante un filtro FIR. Los parámetros que determinan la similitud de la misma dependen de los valores c(k) y de su número (posiciones de memoria) [Oppenheim 89], por consiguiente cuantos más coeficientes mejor aproximación.

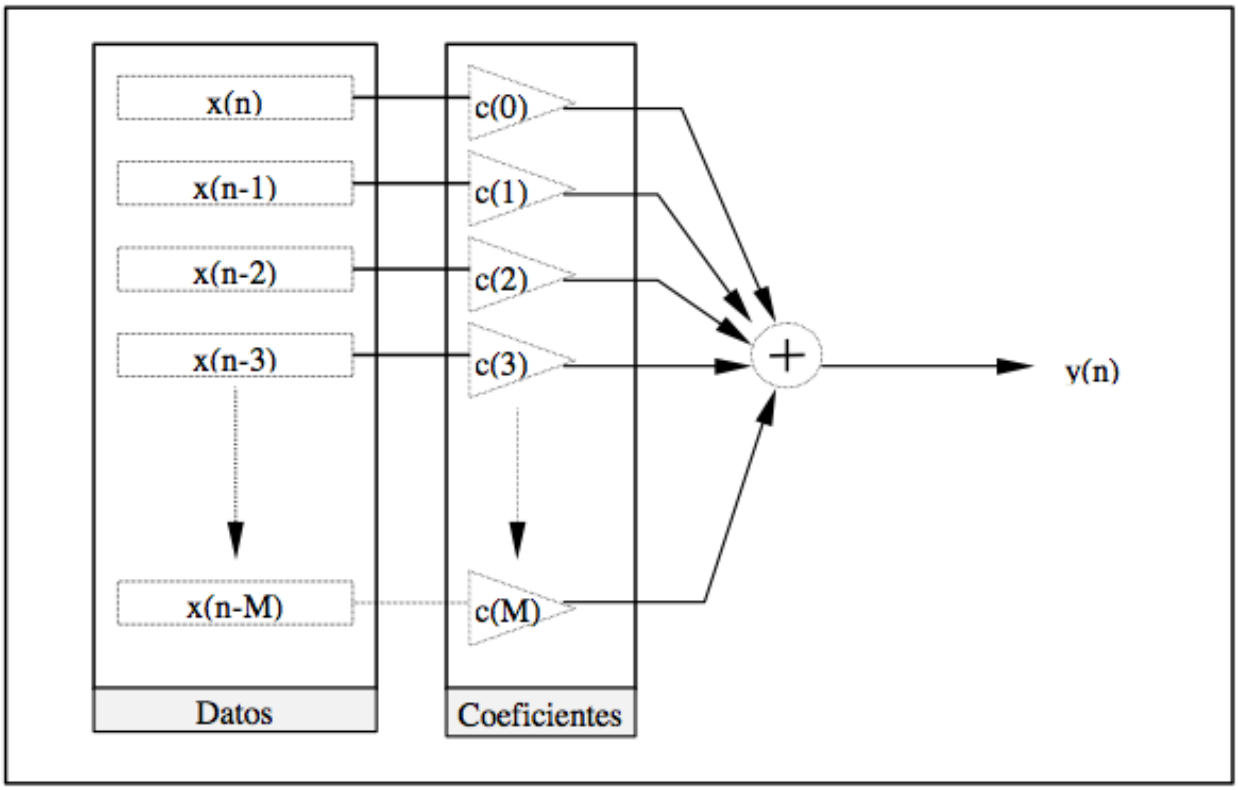


Figura 7. Estructura de un filtro digital FIR.

El número de coeficientes M+1, determina el máximo retardo que puede aplicar el filtro FIR a los datos de entrada x(n). El retardo máximo, dado en segundos, que puede aplicar un filtro FIR a unos datos de entrada x(n), es el número de coeficientes del filtro M dividido por la frecuencia de muestreo. Por lo tanto, el parámetro M será un factor a tener en cuenta en el diseño del controlador. Por ejemplo, si estamos muestreando a 5.000 Hz y se estima necesario que el controlador sea capaz de realizar cambios de fase equivalentes a 10 msg, el número mínimo de coeficientes del filtro será:

$M = 10^{-2} \cdot fs = 0{,}01 \cdot 5.000 = 50$ coeficientes

Para variar la amplitud de la señal y hacerla coincidir exactamente con la amplitud de la señal del ruido, el filtro simplemente realiza un escalado de los valores de los coeficientes c(k), atenuándolos o realzándolos.

• Filtro IIR

El sistema discreto puede realizarse mediante un filtro tipo IIR, que necesita menos coeficientes que un filtro FIR equivalente que tenga la misma función de transferencia. El número de coeficientes de un filtro FIR puede ser elevado cuando se manejan retardos demasiado grandes. En tal caso, suelen utilizarse estructuras basadas en filtrado IIR. La diferencia con respecto al filtrado FIR es que los datos de salida se guardan en otra tabla de datos, y son multiplicados por una nueva tabla de coeficientes según se muestra en la figura 8.

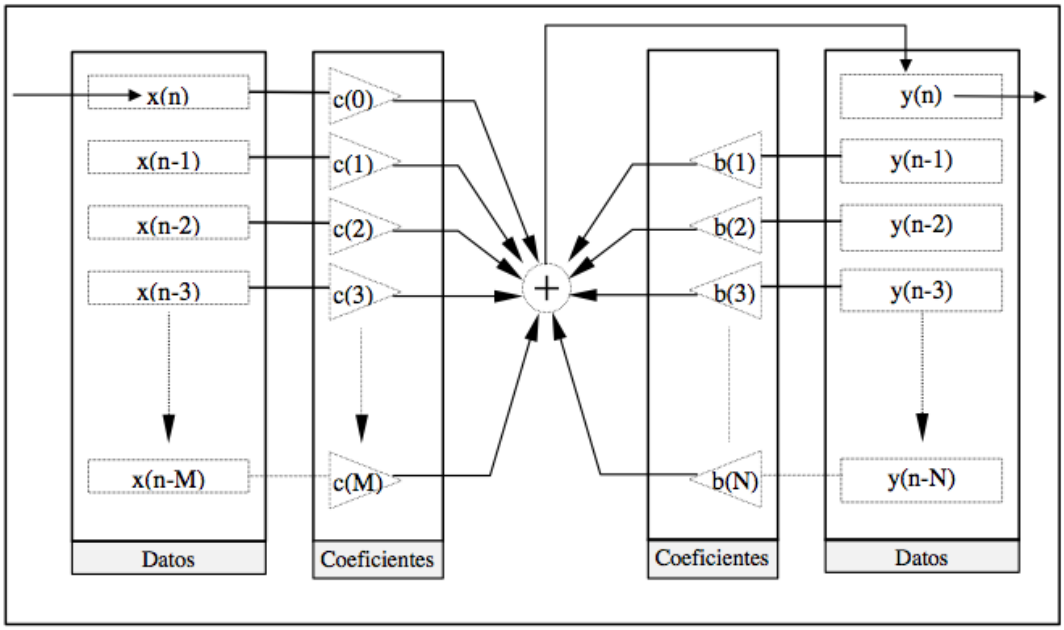


figura 8. Estructura de un filtro digital IIR

El algoritmo de cálculo que realiza un filtro IIR obedece a la expresión:

$$y(n) = \sum_{K=0}^{M} c(k)x(n-k) + \sum_{K=1}^{N} b(k)y(n-k)$$

De esta forma, los datos de salida se realimentan en el algoritmo de calculo por medio de los coeficientes de realimentación b(k). En las aplicaciones donde exista realimentación acústica, cuando la señal que se emite por el altavoz se recoge nuevamente en el micrófono de referencia, suele utilizarse esta estructura para que los coeficientes b(k) anulen la realimentación y la señal de referencia sea lo mas “limpia” posible. Un problema muy importante que presentan los filtros IIR es su potencial inestabilidad. Este factor es el que hace que su utilización no sea demasiado corriente en los sistemas de control activo de ruido. Siempre se prefiere anular la realimentación por métodos electro-acústicos, micrófonos y altavoces directivos o sensores acelerómetros directamente situados sobre la fuente de ruido [Winkler 95, Elliott 88

2.1.7.2 CONTROL DE RUIDO PASIVO

2.1.7.2.1 CONTROL MECÁNICO O DE INGENIERÍA

El control mecánico o de ingeniería se efectúa sobre la fuente de ruido y el medio en el cual se transmite el mismo. Las soluciones que se implementan usualmente son:

- Ubicación y Distribución: Las fuentes no radian ruido de forma uniforme en todas las direcciones, por lo tanto, hay que combinar la orientación de la fuente con la posición del receptor para obtener mejores resultados. Lo ideal es instalar las maquinas que vibran y generan ruido estructural en la parte baja del edificio o en el sótano.

- Barreras y Pantallas: Las dimensiones de las barreras serán mayores que las del foco o fuente, se situaran lo más próximo posible al foco de ruido y en caso de situar las barreras en el interior de locales industriales la utilización será adecuada cuando la constante del local sea superior a $20m^2$.

- Encerramientos acústicos: Es importante considerar el tamaño de los orificios de ventilación y puertas, debido a que las altas frecuencias atraviesan fácilmente las aperturas. Para el diseño de encerramientos se deberá tener presente el espectro en frecuencia del foco, los valores límites recomendados, el aislamiento requerido y los materiales absorbentes a utilizar.

- Silenciadores: Los silenciadores son filtros acústicos que se ubican en aquellos lugares por donde se transporta un fluido, generalmente este fluido es el aire. Los silenciadores absorbentes, también llamados disipativos, se usan cuando el ruido predominante se encuentra entre las medianas y altas frecuencias, aproximadamente de 1000 Hz. en adelante. Cuando el ruido predominante se encuentra en las bajas frecuencias se recomiendan los silenciadores reactivos.

Los silenciadores absorbentes o dispositivos operan bajo el principio de la

absorción de las ondas sonoras debido a la distribución de material absorbente dentro del silenciador, por tanto la reducción de ruido que ofrece un silenciador absorbente es diferente para cada frecuencia en bandas de octava comúnmente se calcula para las frecuencias comprendidas entre 125 y 8000 Hz; esta distribución de material absorbente, en un silenciador de sección circular, se realiza por medio de concéntricos ubicados dentro del silenciador, que, de acuerdo a la cantidad de ruido que se desea reducir puede tener 1, 2, 3 o más concéntricos recubiertos por ambos lados con materiales absorbentes.

De acuerdo a las fuentes de ruido existen soluciones de control del mismo presentadas a continuación en la Tabla 3:

FUENTES DE RUIDO	**SOLUCIONES DE CONTROL**
COMPRESORES	Recubrimiento acústico
	Silenciadores en línea
VENTILADORES	Reducir velocidad de giro
	Aumentar número de palas
	Utilizar correas
TORRES DE REFRIGERACION	Encerramiento total
	Anti vibratorios
	Silenciadores
MAQUINAS MOTORES	anti vibratorios
	Pantallas
	cercamientos parciales
	techos y suelos aislantes
	revestimiento absorbente

Tabla 3. Soluciones típicas de control de ruido [21]

[21] *REJANO DE LA ROSA, Manuel, Ruido Industrial y Urbano, Paraninfo Thomson Learning. 2000.*

2.1.7.3 CONTROL DE RUIDO PASIVO PORTABLES[22]

Los protectores auditivos portables son dispositivos de singular importancia en el control pasivo de ruido. Ellos garantizan (cuando la selección es correcta), la atenuación necesaria que asegura la disminución de la exposición efectiva al ruido. Se requeriráel uso de protectores auditivos cuando el nivel de exposición al ruido supere los 85 dB(A).

Es común la selección de dispositivos de protección auditiva sin considerar, seriamente, si realmente el modelo que se trabaja es capaz de asegurar la mejor protección. Es preciso realizar un estudio previo de las características del ambiente sonoro para el cual se busca el resguardo más efectivo. El ingeniero de planta debe velar por la calidad del medio de protección auditiva. Para ello, deberá considerar la información del fabricante (o suministrador).

2.1.7.4 CONTROL ADMINISTRATIVO

Con el fin de contribuir a un programa de control de ruido se pueden implementar soluciones de tipo administrativo tales como:

- Reducir el tiempo de trabajo en áreas de ruido fuerte (por ejemplo, rotar los trabajos asignados)

- Aumentar la distancia entre el trabajador y la fuente de ruido

- Modificar las condiciones de operación realizando los trabajos ruidosos cuando haya menos personas afectadas.

-Efectuar un control de salud aditiva en los trabajadores.

22Ing. Luis Felipe Sexto, El Control pasivo de ruido como elemento de la seguridad industrial, 2002

2.1.7.5 PROTECCIÓN PERSONAL

Dependiendo de la proporción y número de máquinas y personas afectadas pueden encontrarse diferentes soluciones de control. En operaciones que generan niveles elevados de ruido se automatiza el proceso de forma que la máquina entra en funcionamiento cuando el trabajador abandona el recinto; cuando la presencia del operario es esporádica pueden utilizarse protectores auditivos debidamente homologados por normativas como UNE-EN 352, y de acuerdo con la legislación laboral.

2.1.8 TRANSMISIÓN AÉREA DEL SONIDO

2.1.8.1 AISLAMIENTO ACÚSTICO AL RUIDO AÉREO

Si se coloca una barrera entre dos locales para obtener un aislamiento al ruido aéreo, la transmisión del ruido, de un local a otro, se puede realizar por dos caminos: por la vía directa, debido bien a la porosidad, fisuras o intersticios, o bien por el llamado “efecto diafragma o de membrana”.

El ruido puede transmitirse también por otras vías que no sea la vía directa: el paso a través de caminos secundarios da origen a las llamadas vías secundarias, que permiten el paso de un punto a otro a través de caminos intermedios tales como conductos de ventilación, rejillas, etc.

Así, al analizar un tema de ruido, es fundamental conocer el tipo de problema al que nos enfrentamos, es fundamental conocer si se trata de transmisión por vía aérea o no, en cuyo caso se hablaría de transmisión estructural o de vía sólida, donde el medio transmisor ya no es el aire sino las propias paredes adyacentes, los forjados, los pilares, etc.

De este modo, para conseguir un aislamiento acústico a ruido aéreo, lo que debe evitarse es que el medio transmisor del ruido (en este caso el aire) circule libremente.

Principalmente debe evitarse el camino de visión directa entre emisor y receptor

mediante barreras, pantallas, paredes, etc.

Para conseguir grandes aislamientos es importante incrementar la masa del paramento o pared de sepa- ración. A mayor masa, mayor aislamiento se conseguirá. Tal como indica la ley de masa simple: el aislamiento de una pared simple es diez veces el logaritmo decimal del cuadrado del cociente entre el producto de la densidad superficial de masa por la pulsación, dividido por el doble de la impedancia característica del medio (en el aire la velocidad es c=345 m/s y la densidad=1.19 kg/m^3).

De aquí se deduce que para una frecuencia fija, el aislamiento aumenta en 6 dB cuando se duplica la masa. Análogamente, para una masa dada, el aislamiento crece 6 dB al duplicar la frecuencia. Aunque esta ley es experimental y por tanto aproximada, se cumple en un margen de frecuencias conocido como Zona de Control por Masa.

La mayoría de las veces no es suficiente con sustituir las paredes más delgadas por otras de mayor espesor. Esto se debe principalmente a la existencia del comportamiento que presentan las paredes a la flexión. A menor frecuencia, mayor longitud de onda y, por tanto, mayor “efecto diafragma”.

2.1.8.2 AISLAMIENTO Y TRANSMISIONES LATERALES

Un problema acústico común en todo recinto, es la transmisión hacia el interior del sonido procedente hacia el exterior. En la práctica, esta transmisión es el resultado de vibraciones diafragmáticas de las paredes del recinto.

Son las pérdidas de transmisión las que van a determinar el aislamiento acústico que proporciona la partición.

La medición del aislamiento acústico de un cerramiento TL (Transmisión Loss) o bien el parámetro R ha de realizarse mediante ensayos de laboratorio.

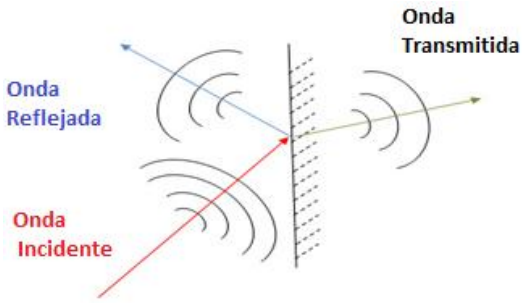


Figura9. Representación de medida de aislamiento en laboratorio.[23]

Para determinar el aislamiento acústico de un paramento divisorio entre dos locales, se requiere establecer un nivel de presión sonora L_2 (dB) que se produce en el espacio receptor. Asimismo, se deben determinar las unidades de absorción A que tiene el local receptor. Con esto, el aislamiento acústico normalizado de la pared es(Ecuación tomada de la página 48 del libro acústica para la arquitectura)

$$L_N = L_1 - L_2 + 10 * log \frac{10}{A} [dB]$$

Ecuación8. Aislamiento acústico

Siendo:A = Absorción de la sala receptora en m^2 (Sabinos métricos)

2.1.9 IMPACTO DE RUIDO EN TRABAJADORES DEL MAR

2.1.9.1 EL RUIDO COMO FACTOR DE RIESGO PARA LA SEGURIDAD Y LA SALUD EN EL TRABAJO DE LOS TRABAJADORES DEL MAR

La pérdida de audición entre los trabajadores del mar, constituye uno de los riesgos laborales de salud más comunes[24, 25]. En algunos estudios, como el llevado a cabo entre trabajadores del mar de Noruega, la pérdida de audición representa una de cada cuatro lesiones relacionadas con el trabajo[26, 27].

El nivel de ruido es un factor de estrés importante a bordo de los buques. El hecho de que las instalaciones se encuentren sobre el mecanismo de propulsión, el aumento de la potencia del motor y la aparición de vibraciones significativas,

[23] *LópezCebran, Iñigo .Acústica para la arquitectura. Acústica Arquitectónica s.a. 2001*

representa un factor de riesgo para la tripulación, tanto por la pérdida auditiva que puede generar, como por su influencia en la génesis de determinados accidentes, en cuanto que imposibilita el entendimiento de instrucciones o el enmascaramiento de advertencias o señales de alarma durante las maniobras de pesca.

Entre las principales fuentes generadoras de ruido, destaca la de los motores principales de la sala de máquinas. La gran mayoría de los buques son propulsados por motores diésel de combustión interna, cuyos niveles de ruido dependerán de la potencia y revoluciones por minuto de los motores, siendo proporcional a la velocidad de rotación y la presión máxima de combustión. En la mayoría de los buques, el nivel de ruido puede oscilar entre 100-110dB(A).

Aparte del ruido generado por el motor principal, también hay que considerar como fuentes de ruido, la de los motores auxiliares que dan servicio a grúas o maquinillas hidráulicas, generadores de electricidad, y la maquinaria en las bodegas y salas de preparación del pescado, según la modalidad de pesca de que se trate, encontrando posibles niveles que oscilan entre 80- 100dB(A).

En la gráfica siguiente podemos ver una comparación de las audiometrías entre trabajadores no expuestos, trabajadores del mar expuestos a niveles de 82dB(A) en 24 horas, y trabajadores del sector industrial expuestos 8 horas a niveles de 90 dB(A).

---

[24] *Pérez B, Bernier F, Abril I. Exposición al ruido en buques de pesca. Centro Nacional de Medios de Protección. INSHT. Revista Seguridad y Salud en el Trabajo 2008. 45:12-20*

[25] *Cifuentes T, Bermúdez P. Patología auditiva inducida por el ruido en la población laboral de pesca de bajura. MapfreMedicina 2000, 11(4):258-63*

[26] *Heikki MD. Medical examinations of seafarers, who is fit for work at sea? Med Mar 2002*

[27] *NorskLaegeforening. Vol 23. 2005. Disponible en: http://spanish.press.hear-it.org*

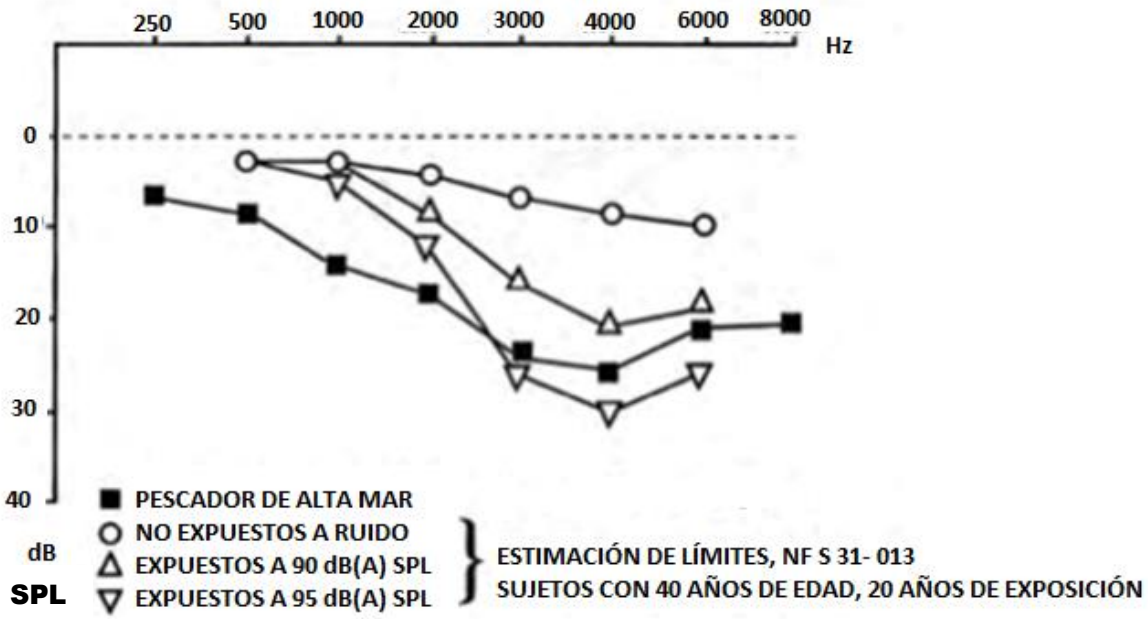


Figura10. Audiometría a trabajadores del mar [28]

El ruido puede causar un efecto negativo, tanto en la salud, como en el bienestar físico y psíquico de las personas[28, 29,30], dependiendo su nocividad de 5 factores fundamentales:

- Nivel de intensidad: el ruido máximo permitido es de 87dB(A) si la intensidad es mayor debe protegerse al trabajador
- Tiempo de exposición: no debe exceder los tiempos de exposición permitidos según la normativa IMO-468. Ver anexo 6
- Frecuencia: los ruidos de alta frecuencia son más nocivos que los de alta frecuencia

[28] *Jegaden D. Textboock of maritime medicine.Capítulo 11.5 Ship Noise and its effects on seafarers health*

2.1.9.2 FISIOLOGIA DE LA AUDICIÓN Y REPERCUSIONES DE LA EXPOSICIÓN AL RUIDO

- Intervalo entre las exposiciones: si la exposición al ruido es constante o variante durante el tiempo de trabajo
- Sujeto pasivo receptor: persona que está expuesta a este ruido

En general, dentro de los efectos del ruido se encuentran: la cefalea, la dificultad para la comunicación oral, disminución de la capacidad auditiva o hipoacusia, perturbación del sueño y descanso, estrés, fatiga, neurosis y depresión, molestias o sensaciones desagradables que el ruido provoca, etc., y que a menudo se acompaña de zumbido y tinnitus, en forma continua o intermitente, efectos sobre el rendimiento, alteración del sistema circulatorio (hipertensión arterial y vasoconstricción) y digestivo (aumento de secreciones y del peristaltismo intestinal), aumento de secreciones hormonales: tiroides suprarrenales (cortisol), trastornos en el sistema neurosensorial, disfunción sexual, otros efectos[28, 29 , 30, 31].

Existen varios mecanismos de exposición a un ambiente ruidoso, esto puede ser de manera continua, fluctuante, intermitente o impulsiva y dependerá de ello la profundidad y la rapidez con la que se desarrolle la pérdida auditiva, aunque en cualquiera de estos casos, es lamentablemente irreversible. Dependiendo de los estímulos (intensidad, duración, frecuencia, tono, horario etc.), el ruido puede causar daño a las células ciliadas que van desde su destrucción total a lesiones en alguna de sus supra estructuras (ejemplo, estereocilios).[7]

---

[28] *García A. García AM. Agentes físicos. Capítulo 22. Libro Salud Laboral. Conceptos y técnicas para la prevención de riesgos laborales. 2o Edición. Masson 2005. pp317-23*

[29] *Santisteban C, Santalla Z. Efectos del ruido sobre la memoria y la atención: una revisión. Psicothema 1990; 2(2):49-91*

[30] *May JJ. Occupational hearing loss.Am J Ind Med 2000; 37:112-20*

[31] *Maqueda J, Ordaz E, Cortés RA et al. Efectos extra auditivos del ruido, salud, calidad de vida y rendimiento en el trabajo; actuación en vigilancia de la salud. ENMT. Instituto de Salud Carlos III. Ministerio de Ciencia e Innovación. 2010.*

Sin embargo, cualquiera que sea el daño, generalmente se traduce en alteraciones en la función auditiva.

La pérdida auditiva ocasionada por un ruido se divide clásicamente en dos:

1. Trauma acústico, que es causado por un ruido único, de corta duración pero de muy alta intensidad (por ejemplo, una explosión) y resulta en una pérdida auditiva repentina y generalmente dolorosa.

2. Hipoacusia neurosensorial inducida por ruido, por exposición crónica a ruidos de no tan alta intensidad, es decir a ruidos de 87 dB que sean constantes (exposición a más de 4 horas)[32]. El mecanismo por el cual esta exposición causa lesión no es muy bien conocido, pero también hay destrucción de las estructuras del oído medio. Generalmente se acompaña de otros síntomas tales como acúfenos, disminución de la capacidad de discriminación, distorsión de los sonidos, etc.

Un trabajador con hipoacusia inducida por ruido, comúnmente consulta al médico porque presenta dificultad para oír y entender el lenguaje cotidiano, especialmente en un ambiente ruidoso. Así mismo, la exposición constante a ruidos puede generar cefalea, cansancio y mal humor.

El estudio de elección para el diagnóstico de la hipoacusia inducida por ruido es la audiometría, en donde característicamente se encuentra disminución en los umbrales auditivos de las frecuencias altas (3.000-6.000 Hz).

Además, la combinación con ciertos fármacos produce reacciones más fuertes que el estímulo sonoro solamente, tal es el caso de los amino glucósidos, diuréticos de asa, salicilatos y antineoplásicos, los cuales, utilizados en ambientes ruidosos, han demostrado tener mayor otoxicidad[32,33,34].

---

[32] *NIOSH.Common hearing lost prevention term.2006*

Dentro del sector que incluye a los trabajadores del mar, son los correspondientes a la marina mercante, y más concretamente, los buques que transportan mercancías peligrosas, los que pueden verse expuestos a diferentes agentes químicos ototóxicos, tales como el monóxido de carbono, humos de combustión, disolventes, etc., aunque en los buques de pesca también podemos encontrar casuística al respecto

[33] *INSHT. Erga bibliográfico. No 442. 2011.*

[34] *Agencia Europea Para la Seguridad y la Salud en el Trabajo. Combined exposure to Noise and ototoxic substances.2009.*

2.2 MARCO LEGAL Y NORMATIVO

2.2.1 IMO 468 CÓDIGO SOBRE NIVELES DE RUIDO A BORDO DE EMBARCACIONES[35]

El código sobre niveles sonoros a bordo de los buques (en adelante denominado el código) se ha desarrollado para proporcionar orientación a los gobiernos sobre los principios de control de ruido a bordo de buques en general. Su propósito es estimular y promover el control del ruido a nivel nacional en el marco de las directrices acordadas a nivel internacional.

Orientación a la administración de los niveles máximos de ruido y los límites de exposición al ruido se debe considerar que los principales objetivos del código.

Las recomendaciones sobre los procedimientos y los programas deben considerarse como un intento de establecer la uniformidad internacional en lugar de establecer reglas estrictas a seguir.

La organización ha adoptado una recomendación sobre los métodos de medición de los niveles de ruido en los puestos de escucha con la resolución A.343. Esta recomendación relacionada con la interferencia de ruido a bordo con la recepción adecuada de señales externas de navegación audibles y aunque los métodos de medición de los niveles de ruido de conformidad con la resolución A.343 y el código son diferentes, estos documentos se consideran compatibles en la medida en que el código se refiere principalmente a los efectos del ruido sobre la salud y el bienestar.

---

[35] *Resolución IMO 468.Code on noise levels on board ships.1981*

2.2.1.1 LAS RECOMENDACIONES SE HACEN PARA

- La protección de la gente de mar desde el riesgo de pérdida de la audición inducida por el ruido en condiciones en las que en la actualidad no es factible limitar el ruido a un nivel que no es potencialmente dañino.
- Medición de niveles de ruido y exposición.
- Límites aceptables máximos de niveles de ruido para todas las áreas a las que los trabajadores tengan acceso.

2.2.1.2 PROPÓSITO

El propósito del código es limitar los niveles de ruido y reducir la exposición al ruido con el fin de:

- Ofrecer condiciones de trabajo seguras en cuenta la necesidad de comunicación de voz y escuchar las alarmas sonoras, así como a un entorno en el que las decisiones dirigidas claras se pueden hacer en los puestos de control, la navegación y los espacios de radio y espacios de máquinas con dotación.
- Proteger a la gente de mar de los niveles excesivos de ruido que puede dar lugar a una pérdida de la audición inducida por el ruido.
- Proporcionar a la gente de mar, con un aceptable grado de confort en el descanso, la recreación y otros espacios, así como crear condiciones para la recuperación de los efectos de la exposición a altos niveles de ruido.

2.2.2 RESOLUCIÓN IMO 343 [36]

Esta resolución proporciona instrucciones sobre estrategias de medida e instrumentación y sugiere niveles de ruido de fondo que no deben

excederse, por término medio, en los puestos de escucha de la embarcación.

- Un medidor de nivel de presión sonora (sonómetro)que este dentro de las especificaciones de la norma IEC No. 179 debe ser usado con un filtro de banda de octava de acuerdo con la norma IEC No. 225. El micrófono debe estar equipado con un pop filter, la calibración del sonómetro debe ser controlada con una fuente de sonido estándar (por ejemplo, un pistófono) de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

- Todas las mediciones deben serrealizadas con característica dinámica "slow". Los valores máximos observados durante un período de diez segundos, cuando el buque hace un recorrido a 3/4 de la velocidad, será considerado como el nivel de ruido predominante.

[36] *Resolucion IMO 343.recommendation on methods of measuring noise levels at listening posts. 1975*

2.2.3 NORMATIVA ISO 717

El objeto de los índices de evaluación es la simplificación y clasificación de los valores obtenidos en las medidas de aislamiento acústico.

2.2.3.1 DEFINICIÓN

La magnitud global para la valoración del aislamiento acústico a ruido aéreo se define como el valor en decibelios a 500 Hz de la curva de referencia ajustada según procedimiento.

Rw, R´w, R´45º,w , Rtr,s,w, Dn,w, DnT,w, D2m,nT,w

El término de adaptación espectral (C o Ctr) es el valor, en decibelios, que ha de añadirse al valor de la magnitud global para tener en cuenta las características de un espectro de ruido particular.

2.2.4 NORMATIVA ISO 140 - 4

Esta parte de la Norma ISO 140 especifica los métodos aplicables *in situ* para medir las propiedades de aislamiento acústico al ruido aéreo de las paredes interiores, de los techos y de las puertas entre dos recintos en condiciones de campo sonoro difuso, y para determinar la protección aportada a los ocupantes del edificio.

Estos métodos proporcionan los valores del aislamiento acústico al ruido aéreo en función de la frecuencia. Estos valores pueden transformarse en un número único, que caracteriza sus cualidades acústicas, al aplicar la Norma ISO 717-1.

Los resultados obtenidos pueden utilizarse para comparar el aislamiento acústico entre recintos y para comparar aislamientos acústicos reales medidos, con los valores requeridos.

3. METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque de este proyecto es empíricoanalítico, ya que se aplica a la investigación de problemáticas de ruido existentes en embarcaciones y la propuesta de un sistema de control de ruido que permita ajustar los niveles a lo especificado a la resolución IMO 468.

3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

El proyecto está dirigido hacia el área de acústica y control de ruido, para el caso concreto del proyecto le compete la acústica ambiental, que se encarga del estudio del ruido con respecto al medio ambiente, así como de la búsqueda de soluciones para el control de dicho problema.

3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Básicamente este trabajo presenta dos técnicas de recolección de información. La primera está basada en la recolección de datos por medio de un instrumento de medición (sonómetro) con el que se obtendrán los valores de nivel de presión sonora y todos los datos de campo relacionados con el ruido de motordiésel.

La segunda es la simulación del campo sonoro dentro de la embarcación por medio del software Cadna(R), con y sin el control correspondiente de ruido.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

Las muestras de esta investigación se tomaron básicamente de una embarcación de la empresa **OCEANO SCUBA** con sede en Taganga, Santa Marta, específicamente un yate, se tomaron muestras según la Resolución IMO 468 en cada habitación y la sala de motores de dicha embarcación para verificar el cumplimiento de la norma; En caso de no cumplirse, proponer un sistema de control de ruido.

3.5 HIPÓTESIS

Es posible desarrollar un sistema de control que disminuya el impacto de ruido en trabajadores a bordo de embarcaciones, mediante el análisis de fenómenos acústicos basándose en las normativas ISO 2923 e IMO 468

3.6 VARIABLES

3.6.1 DEPENDIENTES

- Adquisición de datos: se pueden adquirir los datos realizando la medición.
- Procesamiento de señal: se puede procesar la señal según los datos obtenidos por la medición.
- Análisis de la medición: se puede analizar los datos que se obtuvieron y así dar una solución.

3.6.2 INDEPENDIENTES

- Nivel de presión sonora: la presión sonora depende del ruido emitido por las fuentes.
- Condiciones meteorológicas: no es posible controlar condiciones como viento, lluvia o estado del mar
- Calidad de los elementos: estos elementos pueden tener un desgaste gradual por su uso.
- Parámetros ambientales: debido a que la medición se realiza en el mar, no se pueden controlar factores como Presión, temperatura o humedad dentro de la embarcación

4. DESARROLLO INGENIERIL

El primer objetivo del proyecto es modelar las fuentes de ruido presentes en unaembarcación y simular su correspondiente control de ruido, esta información es tomada de las mediciones realizadas a una embarcación de la empresa **OCEANO SCUBA**, donde se realizará el análisis de niveles de ruido según los niveles establecidos por la resolución IMO 468 que establece niveles y tiempos permitidos para la población de trabajadores de mar según sus jornadas, tareas y puestos de trabajo en la embarcación.

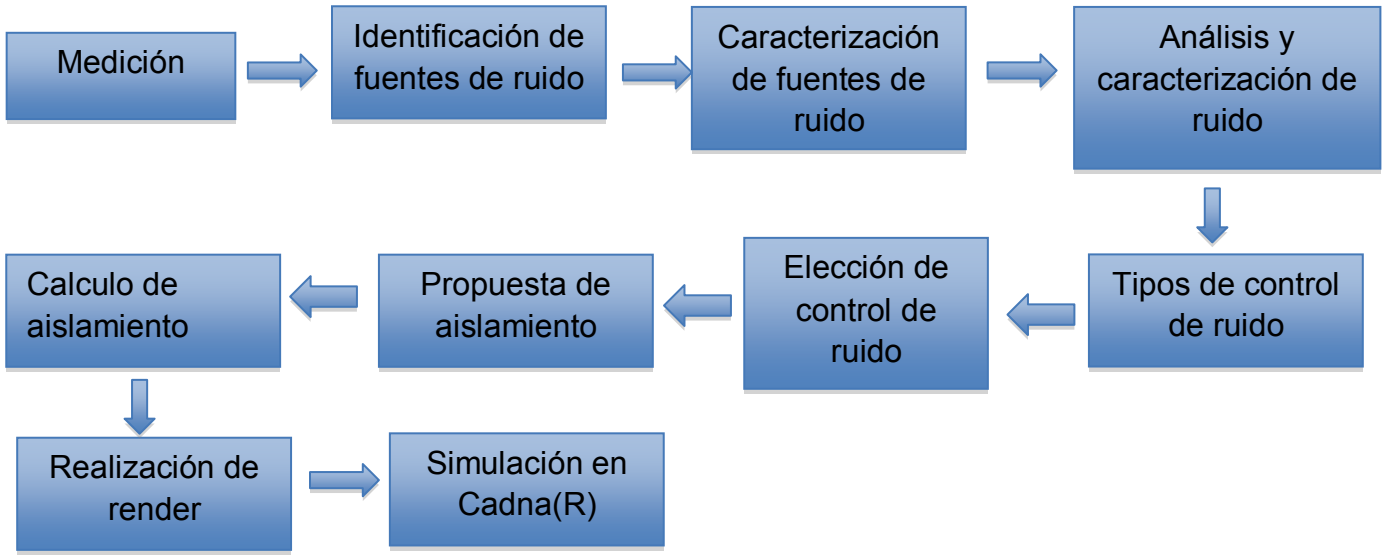


Figura 11. Diagrama de flujo del proceso realizado

4.1 DATOS GENERALES

La Empresa **OCEANO SCUBA** se dedica a brindar servicios de buceo en la ciudad de Santa Martaespecíficamente en Taganga, los cuales cuentan entre sus embarcaciones con un yate **OCEAN YACHT 55 SUPER SPORT** en donde se realizaron las mediciones del proyecto teniendo en cuenta básicamente 6 lugares de la embarcación donde el ruido genera molestias y debería estar regulado.

Se seleccionó esta embarcación debido a que fue la más grande que encontramos midiendo 55 pies de largo, cuenta con 3 habitaciones de alojo, una sala, cuarto de

motores y cuarto de navegación, además de funcionar con dos motores diésel de la empresa Detroit diesel los cuales son la principal fuente de ruido de la embarcación.

4.2 OCEAN YACHT 55 SUPER SPORT

El **OCEAN 55 SUPER SPORT** combina dos elementos esenciales de cualquier moderno pescador, velocidad y belleza. Su larga proa, y el perfil de la cabina elegante son clásicas características de estilo de Jersey, y su actuación de 30 nudos fue una hazaña notable en la década de 1980 por un barco de este tamaño. Bajo la cubiertahay tres camarotes y en la versión mediana del barco con dos cabezas y un salón más espaciosoesto resultó ser más popular entre los propietarios. Tenga en cuenta que el 55 fue re decorado en 1986 con un nuevo flybridge, un parabrisas delantero sólido, y una máscara de negro corriendo alrededor de la caseta. El asiento de proa también fue eliminado en 1986 para un aspecto más aerodinámico. Mientras que la mayoría de los grandes pescadores deportivos de este tamaño requieren de un motor de 12 cilindros diésel para alcanzar (o aproximar) el número mágico de 30 nudos, el Ocean 55 SS lo consiguió con los motores 8V92s más ligeros, más eficientes (y menos costosos). La velocidad de desplazamiento con las versiones de los 735hp de los 8V92s es de 31 nudos, y una velocidad de crucero de unos 27 nudos. Un total de 170 de estos barcos fueron construidos haciéndolos el modelo oceánico más popular jamás producido[37]

---

[38] *Oceanyacht. Ficha tecnica . 1980*

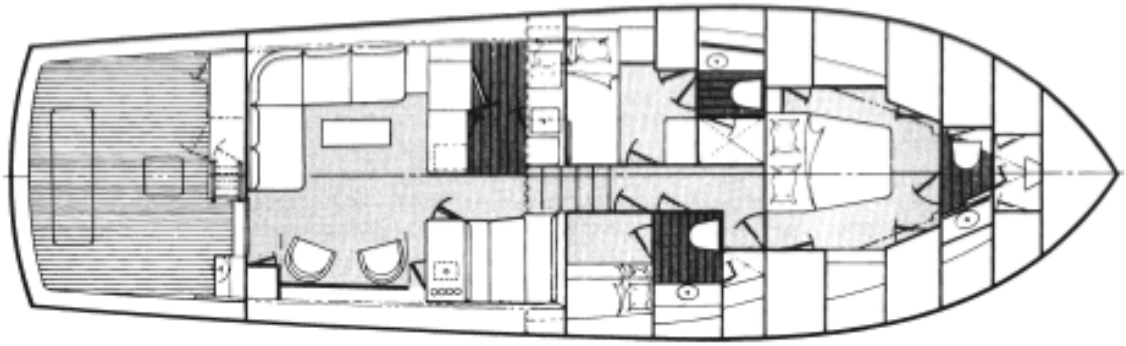


Figura12. Plano OCEAN YATCH 55 SUPER SPORT

4.2.1 DATOSTÉCNICOS

Longitud	17.007 m
Manga	4.99 m
Proyecto	1.34 m
Peso	26.308kg
Separación	4.45 m
Combustible	1.000 galones / 4546 Litros
Agua	200 galones. / 909.21Litros
Cockpit	39.6 m^2
Tipo de Casco	Modified-V
Popa	4 °
Motor	8V92s Detroit diésel
Velocidad	30 nudos

Tabla 4. Datos técnicos

4.3 MEDICIÓN

4.3.1 INSTRUMENTOS Y MATERIAL NECESARIO

Los equipos y elementos empleados para realizar la medición fueron:

- SonómetroSvan943Atipo2, sensibilidad del micrófono 50.4 mv/Pa
- PistófonoSvan SA300
- Trípode
- Cinta métrica
- Computador portátil macbook pro

4.3.2 IMO 468

4.3.2.1 CONDICIONES DE OPERACIÓN EN EL MAR[1]

- Las máquinas propulsoras principales debe hacerse funcionar a velocidad del eje normal.
- Todas las máquinas auxiliares, instrumentos de navegación, radio y equipos de radar, etc, los cuales estén en uso normalmente, deben operar en todo el período de medición
- Las mediciones en los espacios que contengan motores accionados por diésel, bombas de incendio o equipos que normalmente se ejecutan en caso de emergencia, o para propósitos de prueba, se debe tomar con el funcionamiento del equipo.
- Los espacios adyacentes no necesitan ser medidos con equipos operativos.
- La ventilación mecánica y equipos de aire acondicionado deben estar en funcionamiento normal, teniendo en cuenta que la capacidad debe ser de acuerdo con las condiciones de diseño
- Las puertas y ventanas generalmente deben estar cerradas, pero deben estar abiertos en lugares donde comúnmente lo estén, por ejemplo, en el

puente de navegación en la puerta en el lado de sotavento están normalmente abiertas.

- Los espacios deberán estar provistos de todo el equipo necesario. Las mediciones sin muebles suaves se pueden hacer, pero no deberían tenerse en cuenta por su ausencia.
- Las embarcaciones equipadas con hélices de proa, estabilizadores, etc., pueden estar sujetos a altos niveles de ruido durante el funcionamiento. Las medidas deben ser tomadas en posiciones en torno a estas máquinas cuando están en funcionamiento y en los espacios de alojamiento adyacentes y lugares de destino.

4.3.2.2 CONDICIONES AMBIENTALES[1]

- La profundidad del agua bajo la quilla de la embarcación y la presencia de grandes superficies reflejantes en las inmediaciones de la embarcación pueden afectar las lecturas obtenidas, y debería, por lo tanto, estar presente en el reporte de estudio de sonido.

- Las condiciones meteorológicas como el viento y la lluvia, así como el estado del mar, debe ser tanto que no influencien las mediciones. La fuerza del viento y el estado del mar no deberían excederse. Si esto no se puede lograr, se deben reportar las condiciones actuales.

- Se debe tener cuidado al ver el ruido de fuentes de sonido extrañas, como las personas, trabajos de construcción y reparación, que no influencien el nivel de ruido a bordo de la nave en las posiciones de las mediciones. Si es necesario, las lecturas deben corregirse para el estado estacionario de ruido de fondo de acuerdo al principio de sumatoria de energía.

4.3.2.3 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN SEGUN IMO-468[1]

- Durante la medición de niveles de ruido, sólo deben estar presentes en el espacio los operarios necesarios de la embarcación y las personas que van a tomar la medición.

- El sonómetrodebe configurarse en respuesta temporal Slow". Se debe permitir un mínimo de tiempo de medición de 5 segundos. Si la mediciónfluctúa en niveles entre 5 dB(A), debe tomarse el promedio visual de la medición.

4.3.2.4 POSICIONES DE MEDICIÓN SEGUN IMO-468[1]

- Puntos de medición:

  Si no se indica lo contrario, las mediciones deben ser realizadas con el micrófono a una altura de entre 1.2 m y 1.6 m desde la cubierta. La distancia entre dos puntos de medición debe ser de al menos 2m, y en grandes espacios que no contengan maquinaria, las mediciones deben ser tomadas en intervalos no mayores que 7m a través del espacio. En grandes bodegas de carga no necesitan más de tres mediciones. En caso de que no, las mediciones deben tomarse más cerca que 0.5 m desde las orillas del espacio.

- Espacios de alojamiento

  Una medición debe hacerse en la mitad del espacio. El micrófono se debe mover lentamente horizontalmente y / o verticalmente a una distancia de 1 metro. Deben tomarse medicionesadicionales en otros puntos si las diferencias son apreciables, ejemplo: si la diferencia es mayor a 10 dB(A)SPL dentro de la habitación, especialmente en posiciones cerca a la cabeza de una persona (acostada o sentada).

- Espacios de maquinaria

  Las mediciones deben hacerse en las áreas principales de trabajo y estaciones de control, en los espacios de maquinaria y espacios adyacentes a los cuartos de control, con especial atención a los lugares con teléfono donde la comunicación de voz y señales audibles son importantes.

  Las lecturas normalmente no se deben tomar cerca de 1 m de la maquinaria en funcionamiento, o de cubiertas, mamparos u otras superficies grandes, o de las entradas de aire, cuando ello no sea posible, la medida debe ser tomada en una posición entre la máquina y la superficie reflejante.

  Las mediciones de maquinaria que constituyen una fuente de sonido deben ser tomadas a 1 metro de la maquinaria. Las mediciones deben se hechas a una distancia de 1.2 metros a 1.6 metros sobre la cubierta.

Mamparo: Se designa con el nombre de **mamparo** a la construcción de madera o plancha en posición vertical, con las cuales se forman los compartimentos de a bordo; llevan puertas y, en general, están provistos de aberturas, en comunicación con el exterior, para la ventilación de los espacios que limitan.

4.3.2.5 LÍMITES DE NIVELES DE RUIDO

A continuación se presentarán los niveles de ruido permitidos por espacio de alojamiento según la normativa IMO-468:

ESPACIOS	dB(A) SPL
ESPACIOS DE TRABAJO	
Espacios de maquinaria (tripulado)	90
Espacios de maquinaria (no tripulado)	110
Sala de control de maquinaria	75
taller	85
Espacios no específicos de trabajo	90
ESPACIOS DE NAVEGACIÓN	
Puente de navegación	65
Puestos de escucha	70
Cuarto de radio (equipo operativo)	60
Cuarto de radar	65
ESPACIOS DE ACOMODACIÓN	
Cabinas y hospitales	60
Comedores	65
Cuartos de recreación	65
Áreas de recreación abiertas	75
oficinas	65
ESPACIOS DE SERVICIO	
Galeras	75
Despensas	75
Espacios no especificados	90

Tabla 5. Límites de niveles de ruido

4.3.2.6 ÍNDICE DE AISLAMIENTO ACÚSTICO

Las propiedades de aislamiento al ruido aéreo de los mamparos y cubiertas, en el alojamiento deben cumplir al menos con el siguiente índice de reducción acústica (R_w) de acuerdo con la norma ISO-717

	R_w(dB)
Cabina a cabina	30
Comedores, áreas de recreación a cabina	45

Tabla 6.Índice de aislamiento acústico

4.4 PUNTOS DE MEDICIÓN

Los puntos de medición fueron seleccionados por medio de la normativa IMO 468 (tiempos, lugares, distancias y configuración del sonómetro), donde la exposición al ruido es mayor para los trabajadores. A continuación se presentará por medio de planos realizados en el software google sketch up, la serie de puntos donde se tomaron las mediciones de la embarcación.

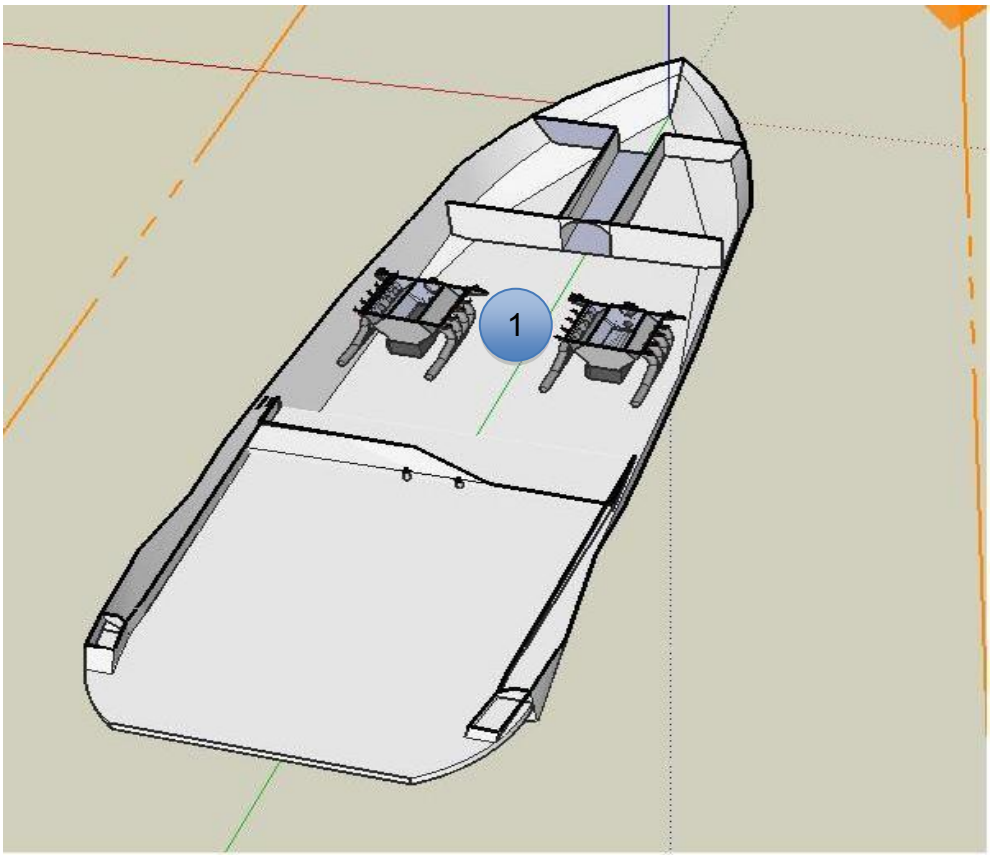


Figura 13. Punto de medición 1 cuarto de motores

Figura 14. Puntos de medición 2, 3, 4, 5

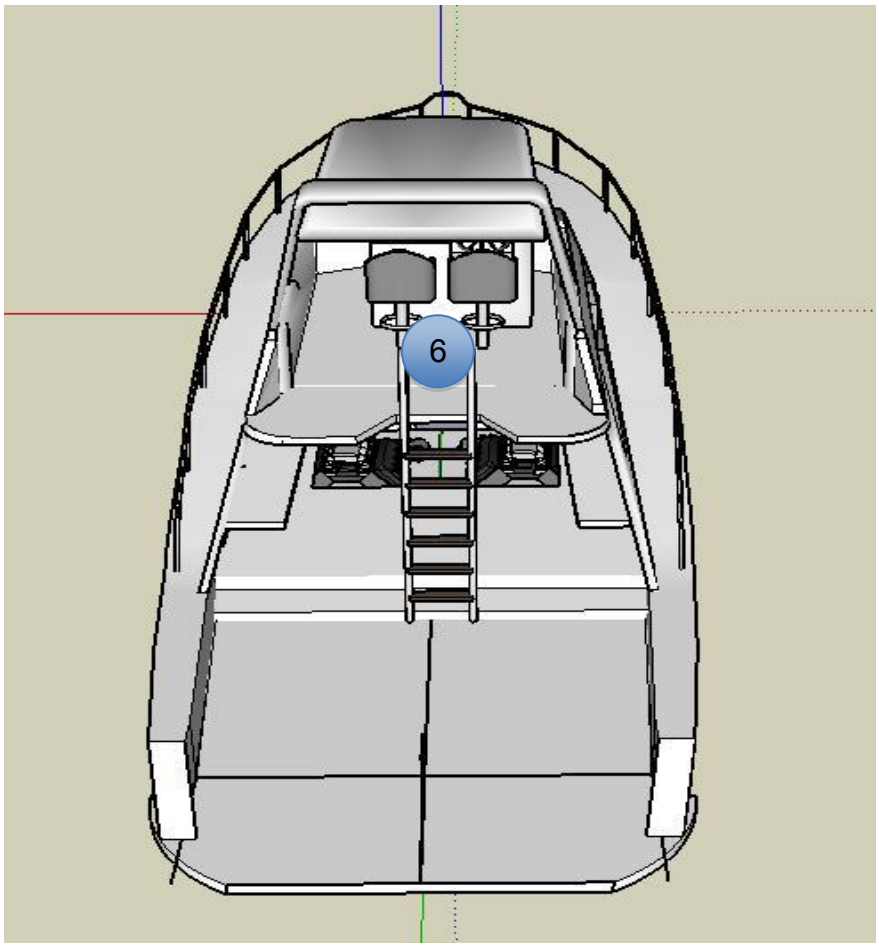


Figura15. Puntos de medición 6 (Navegación)

En las Figuras 13, 14, 15 se muestran los puntos donde se realizaron las mediciones de la embarcación OceanYatch. En la Figura 13 podemos ver el punto de medición 1 (cuarto de motores), en la Figura 14 se muestran los puntos de medición 2 (habitación 1), 3 (habitación 2), 4 (habitación 3) y 5 (sala de estar). Por último en la Figura 15 encontramos el punto de medición 6 (navegación).

4.4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ESPACIOS

4.4.1.1 CUARTO DE MOTORES

El cuarto de motores tiene unas dimensiones 3,11m de ancho, 4,29m de largo y 1,72m de alto, dentro de él se ubican dos motores de la empresa Detroit diéselcon

unas dimensiones de 65 pulgadas (1651 mm) de largo, 46 pulgadas (1168 mm) de ancho y 47 pulgadas (1194 mm) de altura, un peso de 3.230 libras (1.465 kg), maneja cerca de 1800 rpm es un motor que fue fabricado cerca de 1980 e introducido en el yate OceanYacht 55 ss.

En la medición se usó como guía la resolución IMO-468 capítulo 2 el cual habla sobre posicionamiento y configuración de equipos de medición. En este caso al ser el espacio demasiado pequeño para tener una distancia de 2 metros se ubicó el sonómetro entre los motores a una altura de entre 1.2 m y 1.6 m según la normativa como se puede ver en la fotografía (foto1).

Foto 1. **Cuarto de motores**

4.4.1.2 HABITACIÓN 1

En la habitación 1 encontramos unas dimensiones de 1,68 m de ancho, 2,52m de largo y 2,17m de alto. Así mismo encontramos materiales como madera, fibra de vidrio y tapete tal como se puede observan en la foto 2.

Según la resolución IMO 468, se ubicó el sonómetro en la mitad en la habitación a una altura de 1,30m de alto

Foto 2. Habitación 1

4.4.1.3 HABITACIÓN 2

En la habitación 2 encontramos materiales como madera, fibra de vidrio y tapete tal como la habitación 1; las dimensiones son de: 1,68 m de ancho, 3,51m de largo y 2,17m de alto, esta habitación se puede observar en la foto 3.

Foto 3. Habitación 2

4.4.1.4 HABITACIÓN 3

Esta es la habitación principal, las dimensiones son aproximadamente 3,20m de largo, 2,55m de ancho y 2,17m de alto. Ver foto 4.

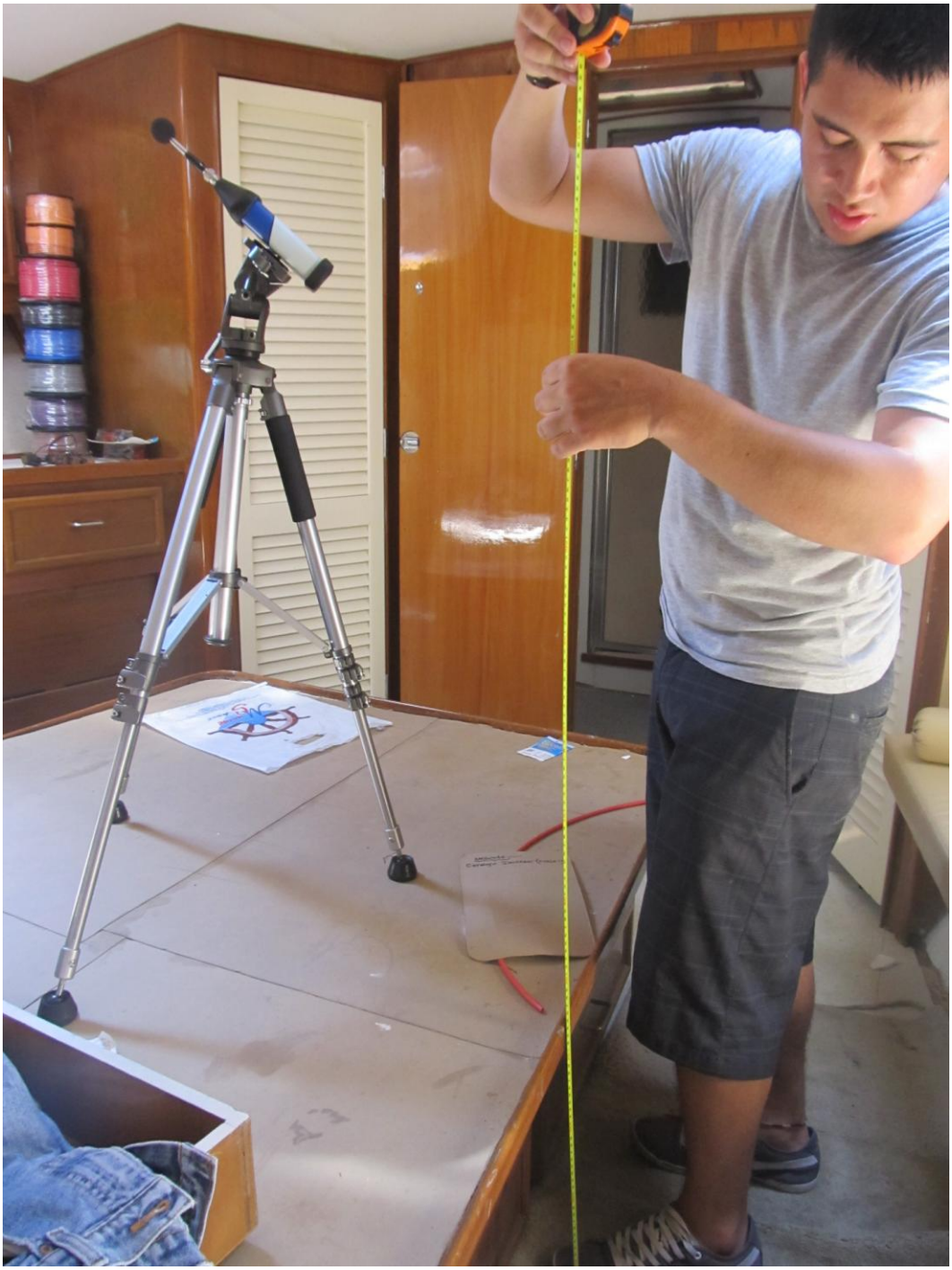


Foto 4. Habitación 3

4.4.1.5 SALA DE ESTAR

Esta sala está situada sobre los motores y tiene una dimensión de 3,64m de ancho, 4,89m largo y 2,30m de alto. Ver foto 5.

Foto 5. Sala de estar

4.4.1.6 NAVEGACIÓN

La navegación se hace en la parte superior de la embarcación y esta al aire libre, las dimensiones son de 3,65m de ancho, 3,39 de largo y 2,18 de alto. Ver foto 6.

Foto 6. Navegación

4.5 MEDICIÓN GENERAL

Según la resolución IMO-468 y los niveles que dicha norma establece como limites, se obtiene la comparación con los niveles medidos en la tabla 7.

Datos de medición		
Espacio	**límites de ruido dB(A)**	**niveles medición dB(A)**
1. CUARTO DE MOTORES	110	117.3
2. HABITACIÓN 1	60	89.8
3. HABITACIÓN 2	60	85.6
4. HABITACIÓN 3	60	73.2
5. SALA DE ESTAR	75	73.9
6. NAVEGACIÓN	65	79.5

Tabla 7. Límites y niveles obtenidos

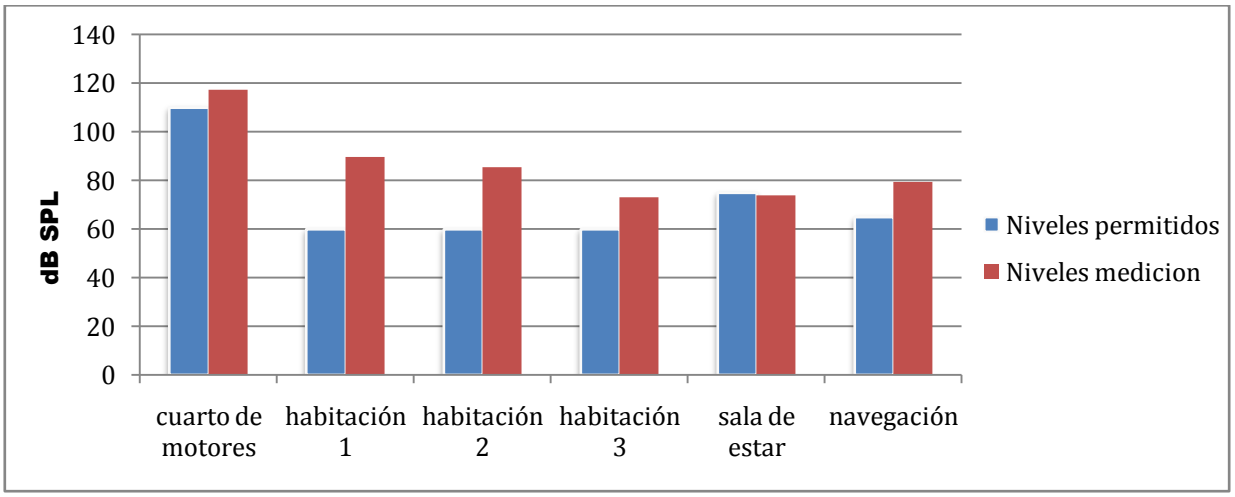


Figura16.Límites y niveles obtenidos

De acuerdo a la tabla 7 y la figura 16 que compara los datos obtenidos y los niveles permitidos, se puede notar que a excepción de la sala de estar los demás lugares de medición no cumplen con los niveles establecidos.

El lugar que tiene el mayor problema de ruido es la habitación 1 que tiene aproximadamente 30 dB más de lo permitido por la resolución IMO 468 las demás habitaciones presentan un rango de entre 13 a 20 dB sobre pasando la normativa, esto debido a que están aledañas al cuarto de motores, es necesario ver los resultados por punto y por frecuencia para obtener resultados tonales y establecer una propuesta de control de ruido para estos lugares.

4.6 MEDICIÓNPOR TERCIO DE OCTAVA

Los siguientes datos son los correspondientes a la medición realizada a la embarcación **OCEAN YATCH 55 SS** de la empresa **OCEANO SCUBA** en la ciudad de barranquilla el día 11 de octubre del 2013.

En las tablas donde se presentan los resultados obtenidos **f[Hz]** indica la frecuencia en hercios y **Lev[dB]**indica el nivel SPL en dB de su respectiva frecuencia.

4.6.1 CUARTO DE MOTORES

Los datos de las mediciones realizadas en el cuarto de motores siguiendo las recomendaciones de la resolución IMO-468, se pueden ver en la tabla 8, en esta se puede observar que existen niveles de ruido críticos en frecuencias bajas, lo cual sugiere un tratamiento para reducir los niveles de presión sonora en estas frecuencias

OCTAVE_1/3__(Lin,_RMS)					
f[Hz]	Lev[dB]	f[Hz]	Lev[dB]	f[Hz]	Lev[dB]
25	113.3	315	110.2	4000	96.3
31.5	112.4	400	110	5000	94.5
40	112.1	500	110.1	6300	93.9
50	111.8	630	109.7	8000	93.2
63	111.6	800	109.2	10000	90.4
80	110.6	1000	108.9	12500	90
100	111.4	1250	107.2	16000	89.5
125	111.2	1600	106.2	20000	67.4
160	110.8	2000	105.3	TOT_A	117.3
200	108.9	2500	101.3	TOT_C	122.4
250	110.5	3150	100	TOT_Lin	123.3

Tabla 8. Medición cuarto de motores

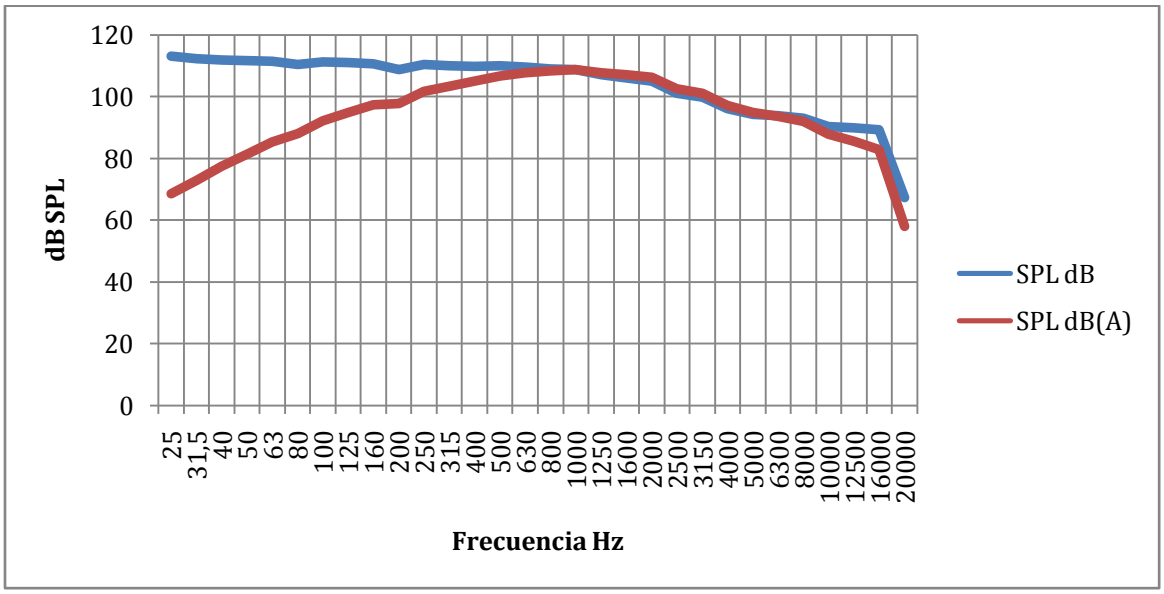


Figura17.Comparación ponderación A y Z cuarto de motores

Como se puede observar en la figura 17 el motor maneja un contenido tonal grande en frecuencias bajas desde la frecuencia de 31.5 Hz hasta cerca de 1KHz lo que propone la implementación de un sistema de control de ruido que permita reducir de una manera significativa el contenido de energía de estas frecuencias.

4.6.2 HABITACIÓN 1

Los datos de las mediciones realizadas en la habitación 1, se muestran en la tabla 9, estas fueron realizadas siguiendo las recomendaciones de la resolución IMO-468

OCTAVE_1/3__(Lin,_RMS)					
f[Hz]	Lev[dB]	f[Hz]	Lev[dB]	f[Hz]	Lev[dB]
25	85.2	315	81.5	4000	75.3
31.5	84.3	400	81.2	5000	74.3
40	83.9	500	80.7	6300	73.1
50	83.2	630	80.4	8000	72.1
63	83.5	800	79.3	10000	70.5
80	82.9	1000	79.2	12500	68.2
100	83	1250	79	16000	67.7
125	83.2	1600	79.1	20000	58
160	83.1	2000	79.9	TOT_A	89.8
200	82.5	2500	77.5	TOT_C	94.6
250	82.1	3150	76.4	TOT_Lin	95.5

Tabla 9. Medición habitación 1

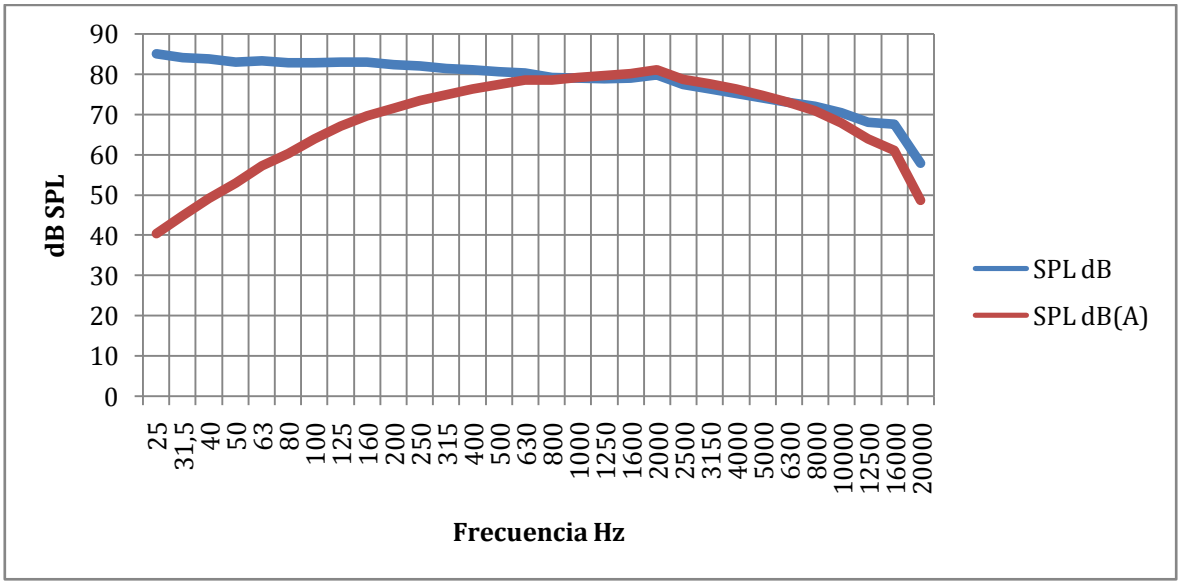


Figura 18. Comparación ponderación A y Z habitación 1

En la figura 18se observa el contenido tonal del ruido en la habitación. Así mismo se evidencia que hay una disminución de energía de cerca de 20 dB en promedio del cuarto de motores a la habitación según la resolución IMO-468 debería ser de

30 dB de cuarto a cuarto y de 45 dB de un área con altos niveles de ruido a una habitación lo que indica que es necesario el aislamiento de la sala de motores con el resto de compartimientos de la embarcación para lograr cumplir con los niveles establecidos por la resolución y crear espacios que estén a un nivel de ruido aceptable.

4.6.3 HABITACIÓN 2

Los datos de las mediciones realizadas en la habitación 2 siguiendo las recomendaciones de la resolución IMO 468, se observan en la tabla 10.

OCTAVE_1/3__(Lin,_RMS)					
f[Hz]	Lev[dB]	f[Hz]	Lev[dB]	f[Hz]	Lev[dB]
25.0	80	315.0	77.6	4000.0	72.3
31.5	79.3	400.0	77.3	5000.0	72.1
40.0	79.2	500.0	76.7	6300.0	71.8
50.0	78.9	630.0	76.4	8000.0	69.6
63.0	78.8	800.0	76	10000.0	68.6
80.0	78	1000.0	75.8	12500.0	68.2
100.0	78.3	1250.0	69	16000.0	58.9
125.0	77.9	1600.0	74.5	20000.0	58
160.0	77	2000.0	74.1	TOT_A	85.6
200.0	77.8	2500.0	73.9	TOT_C	89.3
250.0	77.6	3150.0	74.3	TOT_Lin	89.2

Tabla 10. Medición habitación 2

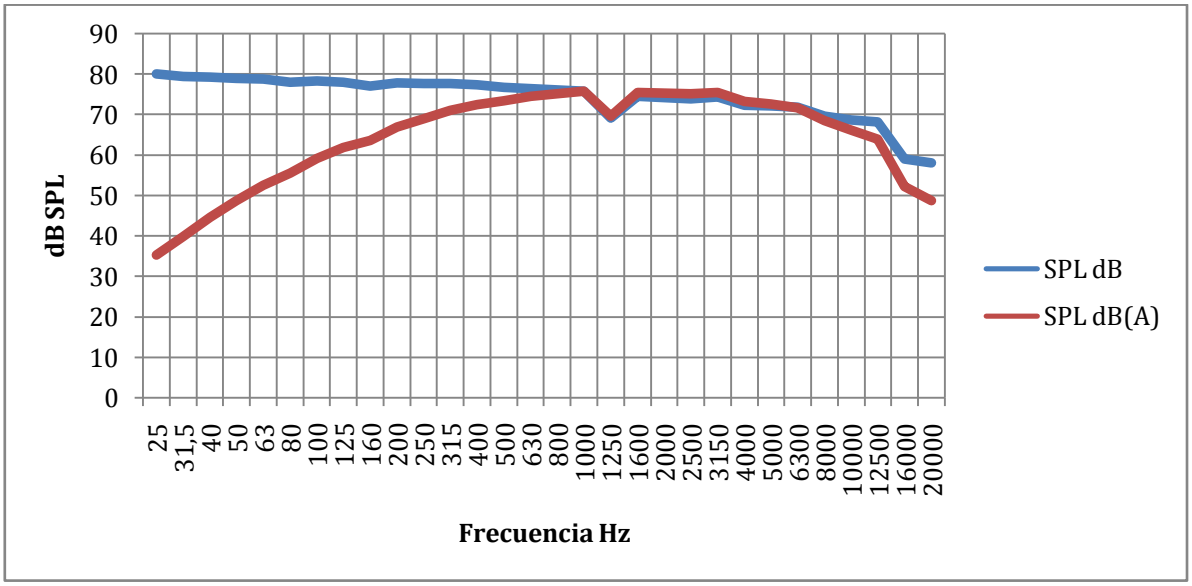


Figura19. Comparación ponderación A y Z habitación 2

En esta habitación se nota una disminución del nivel de ruido con respecto a la habitación anterior en cerca de 5 dB en el nivel total lineal y ponderado (A) además de mostrar un patrón similar en los niveles de ruido de forma tonal, donde se puede observar que frecuencias desde 31.5 Hz hasta cerca de 1KHz resaltan, lo que propone y ratifica un aislamiento hacia estas frecuencias.

4.6.4 HABITACIÓN3

Los datos de las mediciones realizadas en la habitación 3 siguiendo las recomendaciones de la resolución IMO-468, se muestran en la tabla 11.

OCTAVE_1/3__(Lin,_RMS)					
f[Hz]	Lev[dB]	f[Hz]	Lev[dB]	f[Hz]	Lev[dB]
25	66.3	315	62.1	4000	60.2
31.5	68.4	400	63.9	5000	59.1
40	67.3	500	63.2	6300	57.3
50	67.2	630	59.8	8000	57.3
63	66.1	800	62.3	10000	54.8
80	65.7	1000	63.5	12500	57.2
100	66.3	1250	59.2	16000	54.8
125	65.3	1600	60	20000	56.7
160	66.3	2000	62.1	TOT_A	73.2
200	65.1	2500	63.1	TOT_C	77.4
250	64.7	3150	60.1	TOT_Lin	78.2

Tabla 11. Medición habitación 3

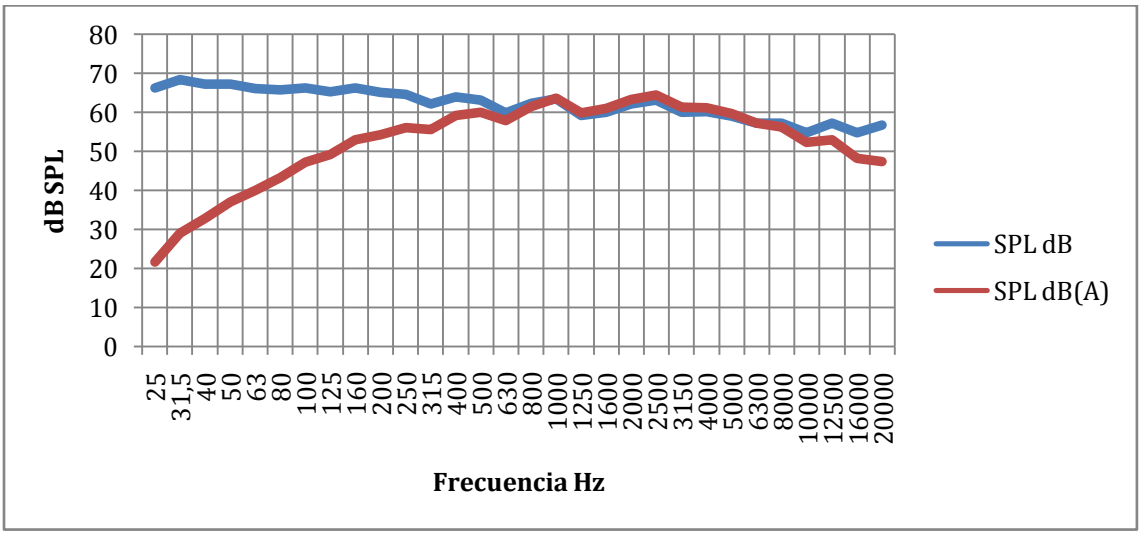


Figura 20. Comparación ponderación A y Z habitación 3

En esta habitación se logra una disminución mayor del nivel de ruido generado por el motor, sin embargo esta habitación no cumple con el nivel permitido por la resolución y pasándolo por cerca de 13 dB (A).

4.6.5 SALA DE ESTAR

Estos son los datos de las mediciones realizadas en la sala de estar siguiendo las recomendaciones de la resolución IMO 468 tal como se muestra en la tabla 12.

OCTAVE_1/3__(Lin,_RMS)					
f[Hz]	Lev[dB]	f[Hz]	Lev[dB]	f[Hz]	Lev[dB]
25	77.4	315	65.2	4000	60.2
31.5	76.4	400	63.8	5000	56.2
40	78.2	500	63.2	6300	58.2
50	76.1	630	62.8	8000	57.3
63	75.1	800	63.4	10000	55.1
80	74.2	1000	63.5	12500	54.2
100	73	1250	61.9	16000	54.8
125	72.4	1600	62.4	20000	53
160	73.1	2000	62.1	TOT_A	73.9
200	72.1	2500	61	TOT_C	84.1
250	64.7	3150	60.8	TOT_Lin	85.6

Tabla 12. Medición sala de estar

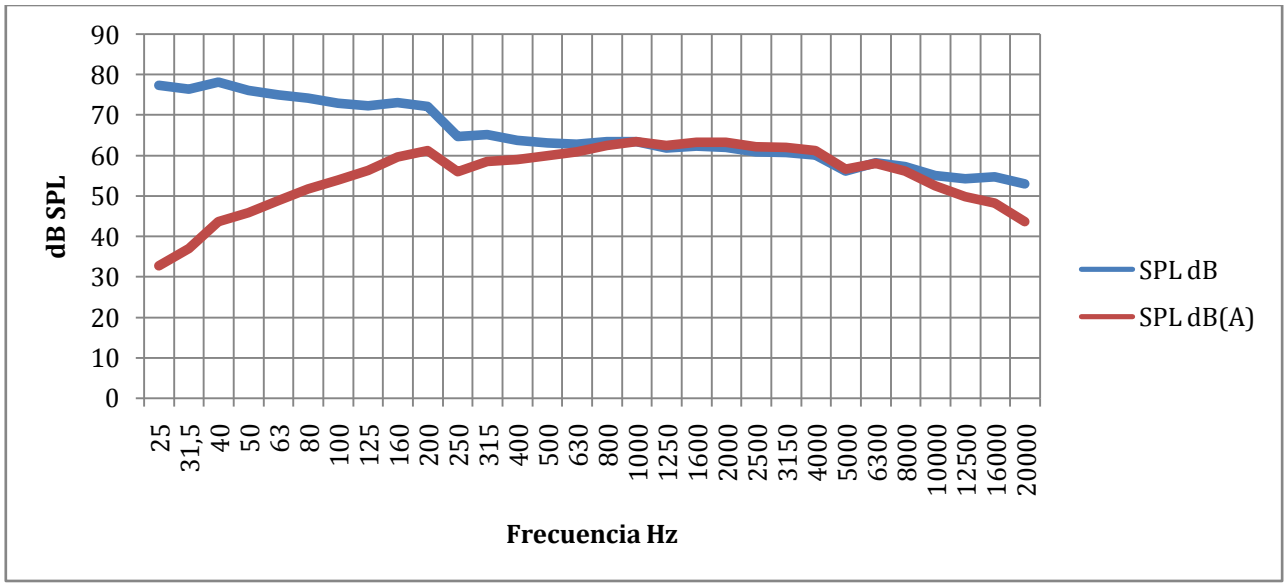


Figura21. Comparación ponderación A y Z sala de estar

Por el contrario a las demás habitaciones esta es la única que da cumplimiento al nivel estipulado por la resolución IMO 468 que indica que en zonas recreativas y

de esparcimiento se permite un nivel de 75 dB(A), esta habitación reporta un nivel de 73 dB(A) lo que indica que al estar bajo el cumplimiento de la norma no necesita mayor control.

4.6.6 NAVEGACIÓN

Estos son los datos de las mediciones realizadas en la sala de navegación siguiendo las recomendaciones de la resolución IMO 468 tal como se muestra en la tabla 13.

OCTAVE_1/3__(Lin,_RMS)					
f[Hz]	Lev[dB]	f[Hz]	Lev[dB]	f[Hz]	Lev[dB]
25	77.4	315	69.6	4000	60.2
31.5	76.4	400	68.5	5000	59.4
40	78.2	500	70.3	6300	58.2
50	76.1	630	70.8	8000	57.3
63	75.1	800	67.4	10000	64.5
80	74.2	1000	69.4	12500	54.2
100	73	1250	70	16000	54.8
125	72.4	1600	71.3	20000	53
160	73.1	2000	66.8	TOT_A	79.5
200	72.1	2500	66.9	TOT_C	85.2
250	64.7	3150	68.9	TOT_Lin	86.5

Tabla 13. Medición navegación

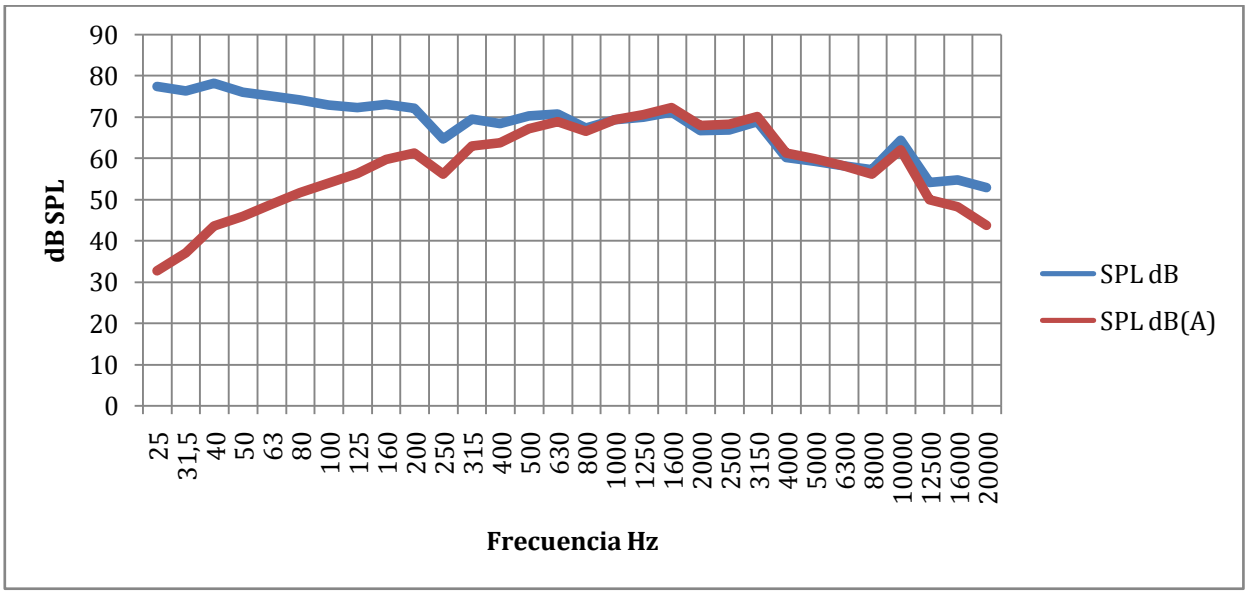


Figura22. Comparación ponderación A y Z navegación

En esta habitación no se realizará ningún tipo de control debido a que se encuentra al aire libre y es muy difícil la implementación de un sistema capaz de

reducir estos niveles, sin afectar la estética de la embarcación, debido al ruido aerodinámico producido por la superficie del barco entre otras fuentes de ruido.

4.7 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FUENTES DE RUIDO

Según lo visto en el numeral **2.1.9 Impacto de ruido en trabajadores del mar** podemos decir que las mayores fuentes generadoras de ruido son las motores diesel de combustión interna, ya que generan un nivel de ruido que puede oscilar entre 100 - 110 dB(A) SPL.

Las fuentes de ruido que se encontraron en la embarcación y sus características se encuentran en la tabla 14

FUENTE	CARACTERÍSTICAS	TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO
MOTORES	Ruido estacionario	8 horas
	Ruido en bajas frecuencias	
BOMBAS DE AGUA	Ruido intermitente	5 segundos

Tabla 14 Características de fuentes de ruido en la embarcación

Se puede observar que las fuentes que mayor nivel de presión sonora general son los motores, ya que estos están en continuo funcionamiento y tienen propiedades de ruido estacionario y en bajas frecuencias. Por otro lado las bombas de agua generan ruido intermitente y dependen del uso de los inodoros los cuales no tienen un tiempo de uso establecido.

4.8 POSIBLES DAÑOS AUDITIVOS SOBRE LOS TRABAJADORES A BORDO

La única fuente de ruido que es considerada un riesgo auditivo para el personal a bordo son los motores según la resolución 1792 artículo 1 de 1990 [10] , la cual adopta límites permisibles para la exposición ocupacional al ruido, donde los motores superan el límite permitido por exposición a 85 dB(A) de 8 horas.

Para poner en contexto el posible daño que puede causar estos niveles de ruido, observamos la figura 10 en la página 53 de este documento, donde analizan los resultados de audiometrías realizadas a trabajadores del mar con edades de 40

años y entre 20 y 23 años de exposición al ruido. Concluyendo que al exponerse a niveles que superan los 90 dB(A) , durante periodos largos de tiempo, producen perdidas en frecuencias altas y en algunas frecuencias medias.

FASES	EXPOSICION(AÑOS)	SINTOMAS	REV/IRREV
Perturbación temporal del umbral	<5 años	Asintomática	Reversible
Latencia tonal	>5 años	Acufenos: • bilaterales • agudos • moderada intensidad	Irreversible
Latencia subtotal	>10 años	Hipoacusia moderada: acufenos intermitentes • Bilaterales • Agudos • Moderada intensidad	Irreversible
Sordera manifiesta	>20 años	Deterioro en la producción del lenguaje	Irreversible

Tabla 15.Daños auditivos según los años de exposición al ruido 37

En la tabla 15 se puede observar los posibles daños auditivos que pueden producirse en trabajadores por la exposición al ruido en 5, 10 y 20 años.

4.9 CÁLCULO DE AISLAMIENTO EN ESTADO ACTUAL

Mediante la teoría obtenida del libro “Industrial Noise Control and Acoustics de R.F Barron” sobre aislamiento y la teoría anteriormente sustentada en el marco teórico se realizaron los siguientes cálculos con el fin de encontrar el aislamiento acústico del recinto y observar si los resultados cumplen con la resolución IMO-468, el resultado es el siguiente.

---

[37] *Magali Marisol Leñero Jiménez, Gustavo Haself Solís Coiffier, DAÑOS A LA SALUD CAUSADOS POR RUIDO, 2006*

El volumen de la sala es de 21.74m3, la temperatura es aproximadamente de 34 ºc la velocidad del sonido a esta temperatura es de 351.9 m/s. El material del que está hecho la sala de maquinaria es poliéster con fibra de vidrio, así por medio de la siguiente ecuación determinamos el aislamiento acústico normalizado que existe entre las habitaciones y la sala de motores.

$$Ln = L1 - L2 + 10LOG\left(\frac{10}{ABS}\right)[dB]$$

Ecuación9. Aislamiento acústico normalizado

Ecuación tomada del libro **acústica para la arquitectura** de la empresa acústica arquitectónica en la página 48.

4.9.1 HABITACIÓN 1

La absorción de la habitación receptora en este caso es igual a 22.97Sabine/m2

$$Ln = 117.3 - 89.8 + 10LOG\left(\frac{10}{22.97}\right)[dB]$$

$$Ln = 19.18\ dB(A)$$

Por lo tanto el aislamiento acústico normalizado es de 19.8 dB(A), además los resultados de pérdida por transmisión por tercio de octava se presenta en la tabla 15.

Freq (Hz)	TL (dB)
25	28.1
31.5	28.1
40	28.2
50	28.6
63	28.1
80	27.7
100	28.4
125	28
160	27.7
200	26.4
250	28.4
315	28.7
400	28.8
500	29.4
630	29.3
800	29.9
1000	29.7
1250	28.2
1600	27.1
2000	26.4
2500	23.8
3150	23.6
4000	21
5000	20.2
6300	20.8
8000	21.1
10000	19.9
12500	21.8
16000	21.8
20000	9.4

Tabla 16. Resultados TL por tercio de octava habitación 1.

4.9.2 HABITACIÓN 2

La absorción de la habitación 2 es 22.61 Sabine/m2

$$Ln = 117.3 - 85.6 + 10LOG\left(\frac{10}{22.61}\right) dB(A)$$

$$Ln = 23.54\ dB(A)$$

Por lo que el aislamiento acústico normalizado es de 23.54 dB(A). Los resultados por tercio de octava se muestran en la tabla 16.

Freq (Hz)	TL (dB)
25	33.3
31.5	33.1
40	32.9
50	32.9
63	32.8
80	32.6
100	33.1
125	33.3
160	33.8
200	31.1
250	32.9
315	32.6
400	32.7
500	33.4
630	33.3
800	33.2
1000	33.1
1250	38.2
1600	31.7
2000	31.2
2500	27.4
3150	25.7
4000	24
5000	22.4
6300	22.1
8000	23.6
10000	21.8
12500	21.8
16000	30.6
20000	9.4

Tabla 17. Resultados TL por tercio de octava habitación 2.

4.10 ELECCION DE MÉTODO DE CONTROL DE RUIDO

Los métodos que existen para el control de ruido se muestran en la tabla 18.

Control de ruido	Tipo de control de ruido	Ventajas	Desventajas
Activo	FEEDBACK	Sistemas pequeños Efectivos	◦ Micrófonos y altavoces sujetos a problemas por humedad. ◦ Mantenimiento. ◦ Alimentación eléctrica Implican desarrollo grande y costoso
	FEEDFORDWARD		
Pasivo	Barreras	Control definitivo Apariencia Estética	◦ Las dimensiones de las barreras son mayores a las de la fuente. ◦ La utilización es adecuada cuando la constante del cuarto es mayor a 20 m^2
	Enceramiento	Limitación de acceso	◦ Hay que considerar los orificios de ventilaciones y puertas
	Aislamientos	Fácil integración Buen Aislamiento Buena apariencia estética	◦ Mantenimiento
	Protectores auditivos	Portabilidad	◦ Olvido de uso

Tabla 18. Comparación entre métodos de control de ruido.

Al analizar los diferentes tipos de control de ruidose obtienen las siguientes conjeturas:

- El control activo de ruido (Feedback y Feedforward) Representa costos adicionales tanto en investigación, desarrollo, instalación y mantenimiento del sistema en general, debido a la humedad que puede existir en el ambiente marítimo.
- El recinto tiene un área menor a 20m^2 por lo que una barrera no sería la mejor solución en cuanto a control de ruido.

- El encerramiento no es viable ya que el motor necesita sistemas de ventilación y refrigeración. Además necesita ser revisado y monitoreado periódicamente por el personal.
- Una propuesta de aislamiento, permitiría obtener una disminución en niveles de ruido en zonas específicas de la embarcación .
- Los protectores auditivos pueden ser incómodos de usar durante tiempos prolongados de trabajo, sin embargo permiten reducir el nivel de ruido en el receptor.

Debido a las razones anteriores el método de control de ruido elegido para el diseño, es una propuesta de aislamiento que darán la ventaja de escoger las zonas donde se desea reducir los niveles de ruido

4.11 PROPUESTA DE AISLAMIENTO

La propuesta de aislamiento se implementará en el cuarto de motores, ya que en este lugar es donde se presentan los mayores niveles de ruido, afectando las habitaciones aledañas de la embarcación, los cuales deberían presentar un riesgo auditivo mínimo y que en este caso sobrepasan los niveles máximos permitidos por la normativa IMO-468, por otra parte la sala de navegación se encuentra al aire libre lo que dificulta el control de ruido por lo que no se realizará un control especifico en esta zona de la embarcación.

Teniendo en cuenta que los problemas más graves se encuentras en frecuencias bajas, se tomó como referencia la frecuencia de 125 Hz, y basándose en la teoría estadística que dice que el espesor del material a usarse para mejorar la absorción debe ser de ¼ de la longitud de onda de la frecuencia, para que el aislamiento sea efectivo. Se propone la construcción de una pared en este caso evaluaremos las características de 3 materiales diferentes (Madera de roble, poliéster con fibra de vidrio y Lucite) con un espesor de 0.06m a una distancia de 0.6m de la pared ya existente, que funcione como una pared compuesta que permita reducir los niveles de ruido en frecuencias bajas, teniendo en cuenta que la fibra de vidrio es altamente absorbente en frecuencias superiores a 1KHz.

4.11.1 CÁLCULO DE TL PARA LA NUEVA PARED

Para calcular el TL a través de la nueva pared que se propone construir, se utilizaron las fórmulas descritas por R.F Barroun en el capítulo 4.7 del libro INDUSTRIAL NOISE CONTROL AND ACOUSTICS que se describen a continuación.

Para obtener el TL es necesario obtener el coeficiente de transmisión de la pared, este se obtiene de la siguiente manera, cuando la pared se encuentra entre dos materiales iguales (Ecuación 4-125 del libro Industrial noise control and acoustics).

$$a_t = \frac{4}{4 * cos^2(K_2 * L) + [(Z_1/Z_2) + (Z_2/Z_1)]^2 * sin^2(K_2 * L)}$$

Ecuación 10. Cálculo de coeficiente de transmisión

Dónde:

$$K_2 = \frac{2 * \pi * f}{C_2}$$

Ecuación11. Numero de onda

$$C_2 = velocidad\ del\ sonido\ en\ el\ material\ [m/s]$$

$$Z = Impedancia\ caracteristica\ del\ material\ [\ Pa \cdot s/m.]$$

$$L = Espesor\ del\ material\ m$$

Para calcular TL se usa la siguiente ecuación (Ecuación 4-147 del libro Industrial Noise Control and Acoustics de Randall F. Barron).

$$TL = 10LOG\left(\frac{1}{a_t}\right)[dB]$$

Ecuación 12. Calculo de TL para pared simple

Siguiendo el procedimiento anterior calculamos la pérdida por transmisión de nueva pared a construir y obtenemos los resultados presentados en la tabla 19. este cálculo fue realizado para 3 materiales.

FREQ (Hz)	at (Madera)	at (Poliéster + fibra de vidrio)	at (Lucite (Pmma))	TL Madera (dB)	TL poliéster + fibra de vidrio (dB)	TL Lucite (dB)
25	$13.73x10^{-3}$	$9.36x10^{-3}$	$5.69x10^{-3}$	18.62	20.28	22.44
31.5	$8.69x10^{-3}$	$5.91x10^{-3}$	$3.59x10^{-3}$	20.61	22.28	24.44
40	$5.41x10^{-3}$	$3.67x10^{-3}$	$2.23x10^{-3}$	22.67	24.34	26.51
50	$3.46x10^{-3}$	$2.35x10^{-3}$	$1.43x10^{-3}$	24.60	26.27	28.44
63	$2.18x10^{-3}$	$1.48x10^{-3}$	$0.90x10^{-3}$	26.60	28.28	30.45
80	$1.35x10^{-3}$	$0.92x10^{-3}$	$0.55x10^{-3}$	28.67	30.35	32.52
100	$0.86x10^{-3}$	$0.59x10^{-3}$	$0.35x10^{-3}$	30.61	32.29	34.46
125	$0.55x10^{-3}$	$0.37x10^{-3}$	$0.22x10^{-3}$	32.54	34.22	36.40
160	$0.33x10^{-3}$	$0.23x10^{-3}$	$0.13x10^{-3}$	34.69	36.37	38.54
200	$0.21x10^{-3}$	$0.14x10^{-3}$	$8.95x10^{-5}$	36.62	38.30	40.48
250	$0.13x10^{-3}$	$9.45x10^{-5}$	$5.73x10^{-5}$	38.56	40.24	42.41
315	$8.77x10^{-5}$	$5.96x10^{-5}$	$3.61x10^{-5}$	40.57	42.25	44.42
400	$5.44x10^{-5}$	$3.69x10^{-5}$	$2.24x10^{-5}$	42.64	44.32	46.49
500	$3.48x10^{-5}$	$2.37x10^{-5}$	$1.43x10^{-5}$	44.58	46.25	48.42
630	$2.19x10^{-5}$	$1.49x10^{-5}$	$9.07x10^{-6}$	46.58	48.25	50.42
800	$1.36x10^{-5}$	$9.30x10^{-6}$	$5.64x10^{-6}$	48.66	50.31	52.48
1000	$8.72x10^{-6}$	$5.98x10^{-6}$	$3.63x10^{-6}$	50.59	52.23	54.40
1250	$5.59x10^{-6}$	$3.85x10^{-6}$	$2.34x10^{-6}$	52.52	54.14	56.30
1600	$3.42x10^{-6}$	$2.38x10^{-6}$	$1.45x10^{-6}$	54.66	56.23	58.38
2000	$2.19x10^{-6}$	$1.55x10^{-6}$	$9.49x10^{-7}$	56.58	58.09	60.22
2500	$1.41x10^{-6}$	$1.02x10^{-6}$	$6.28x10^{-7}$	58.49	59.91	62.02
3150	$8.99x10^{-7}$	$6.72x10^{-7}$	$4.18x10^{-7}$	60.46	61.72	63.79
4000	$5.66x10^{-7}$	$4.49x10^{-7}$	$2.84x10^{-7}$	62.46	63.47	65.46
5000	$3.71x10^{-7}$	$3.22x10^{-7}$	$2.09x10^{-7}$	64.30	64.91	66.79
6300	$2.43x10^{-7}$	$2.46x10^{-7}$	$1.67x10^{-7}$	66.14	66.08	67.76
8000	$1.60x10^{-7}$	$2.14x10^{-7}$	$1.58x10^{-7}$	67.94	66.68	67.99
10000	$1.13x10^{-7}$	$2.39x10^{-7}$	$2.09x10^{-7}$	69.46	66.20	66.79
12500	$8.45x10^{-8}$	$4.49x10^{-7}$	$6.28x10^{-7}$	70.73	63.47	62.02
16000	$6.88x10^{-8}$	$2.37x10^{-5}$	$3.63x10^{-6}$	71.62	46.25	54.40
20000	$6.91x10^{-8}$	$5.60x10^{-7}$	$2.09x10^{-7}$	71.60	62.51	66.79

Tabla 19. Cálculo de TL por tercio de octava para pared a construir.

Como se puede observar, los tres materiales se comportan de manera similar en cuanto a la reducción de ruido, por lo que se analizaron otros aspectos importantes para la implementación de cada uno de estos materiales como se observa en la tabla 20.

Material	Características	Dimensiones de láminas	Cantidad de láminas aproximadas	Costo por lámina	Costo total aproximado
Madera	• Aplicar impermeabilízate si se expone a humedad • Contemplar el límite de esfuerzo de los tableros • Fácil de cortar y de manipular • Realice cortes finos en la madera • Se sugiere no hacer cortes en el mismo sentido del ensamble	122x244cm 15mm	11	$ 57.900	$ 636.900
Poliéster +fibra de vidrio	• Resistencia • Ergonomía • Requieren Equipos Sencillos para su Instalación • Larga Duración • Economía y Facilidad en su Transporte • Facilidad en el Manejo • Rápida Instalación • Fácil Mantenimiento	122x244cm 25mm	7	$ 68.300	$ 478.100
Lucite (Pmma)	• Transparencia de alrededor del 92%. El más transparente de los plásticos. • Alta resistencia al impacto, de unas 10 a 20 veces la del vidrio. • Elevada rigidez. • Resistente a la intemperie y a los rayos ultravioleta. • No hay una envejecimiento apreciable en 10 años de exposición exterior. • De dureza similar a la del aluminio. • Gran facilidad de mecanización y moldeo. • Excelente aislante térmico y acústico.	30x30cm 25mm	214	$ 613.536	$ 131.296.704

Tabla 20. Comparación entre materiales propuestos para el aislamiento

Al realizar la comparación entre los materiales propuestos se llega a las siguientes conclusiones:

- Al usar madera en la embarcación, se pueden presentar problemas debido a la humedad, lo cual representa costos futuros en el mantenimiento de este material.
- El Lucite (Pmma), es muy útil para realizar tratamientos acústicos, además de ser transparente, rígido y con alta resistencia a los impactos; Pero sus elevados costos limitan la utilización de este materialen un aislamiento acústico de este tipo
- El poliéster + fibra de vidrio es un materia económico, de fácil mantenimiento y resistencia, por lo tanto no va a generar gastos por mantenimiento en el fututo.

Debido a este comparativo se toma la decisión de hacer un aislamiento acústico con poliéster + fibra de vidrio para el cuarto de máquinas, ya que por lo visto es el material más económico de los tres, con buen aislamiento y no necesita mantenimiento como la madera.

4.11.2 CÁLCULO DE TL PARA LA PARED COMPUESTA

Para el caculo de TL en la pared compuesta se utilizaron las ecuaciones descritas en el capítulo 4.10 del libro INDUSTRIAL NOISE CONTROL AND ACOUSTICS de R.F Barron. Lo primero que se debe tener en cuenta son las siguientes condiciones

Si (Ecuación 4-174 del libro Industrial Noise Control and Acoustics de Randall F. Barron).

$$\frac{\rho * c}{\pi * (M1 + M2)} < f < f_0$$

Entonces la fórmula de cálculo de TL es (Ecuación 4-176 del libro Industrial Noise Control and Acoustics de Randall F. Barron).

$$\boldsymbol{TL = 20log(M1 + M2) + 20log(f) - 47.3\ dB}$$

Ecuación 13. Calculo TL pared compuesta condición 1

Si (Ecuación 4-177 del libro Industrial Noise Control and Acoustics de Randall F. Barron).).

$$f_0 < f < \left(\frac{C}{2 * \pi * d}\right)$$

Entonces la fórmula de cálculo de TL se calcula de la siguiente forma:(Ecuación 4-178 del libro Industrial Noise Control and Acoustics de Randall F. Barron).).

$$\boldsymbol{TL = TL_1 + TL_2 + 20LOG\left(\frac{4 * \pi * f * d}{C}\right) dB}$$

Ecuación 14. Calculo TL pared compuesta condición 2

Si

$$f > \left(\frac{C}{2 * \pi * d}\right)$$

Entonces la fórmula de cálculo de TL se calcula de la siguiente forma:(Ecuación 4-179 del libro Industrial noise control and acoustics).

$$\boldsymbol{TL = TL_1 + TL_2 + 10LOG\left(\frac{4}{1 + (2/\alpha)}\right) dB}$$

Ecuación 15. Calculo TL pared compuesta condición 3

Dónde:

M= masa superficial del material

F0= frecuencia de resonancia de las paredes acopladas

P=densidad del aire (1.184Kg/m^3)

C= velocidad del sonido

α= coeficiente de absorción del material en la frecuencia

De esa manera obtenemos los siguientes resultados:(Ecuación 4-175 del libro Industrial Noise Control and Acoustics de Randall F. Barron).

$$f_0 = \frac{351.9}{2 * \pi}\left(\frac{1.2254}{0.6} * \left(\frac{1}{4.55} + \frac{1}{4.55}\right)\right)^{\frac{1}{2}} [Hz]$$

Ecuación 16. Calculo frecuencia de resonancia.

$$\boldsymbol{f_0 = 53.6\ Hz}$$

$$\frac{\boldsymbol{c}}{\boldsymbol{2 * \pi * d}} = \boldsymbol{93.34\ Hz}$$

Ecuación tomada del libro **Industrial Noise Control and Acoustics de Randall F. Barron** en el capítulo 4.10

En las tablas 21 y 22 se muestra los datos de TL calculados para las habitaciones 1 y 2.

Freq (Hz)	TL1 (dB)	TL2 (dB)	α	TL comp (dB)	Motores (dB)	Cuarto 1(dB)	Final (dB)	Final (dB(A))
HABITACION 1								
25	28,1	20,28	0,15	47,14	113,3	85.2	66,16	21,46
31,5	28,1	22,28	0,17	49,15	112,4	84.3	63,25	23,85
40	28,2	24,34	0,18	51,22	112,1	83.9	60,88	26,28
50	28,6	26,27	0,19	55,47	111,8	83.2	56,33	26,13
63	28,1	28,28	0,2	58,98	111,6	83.5	52,62	26,42
80	27,7	30,35	0,19	62,73	110,6	82.9	47,87	25,37
100	28,4	32,29	0,18	67,31	111,4	83	44,09	24,99
125	28	34,22	0,18	57,41	111,2	83.2	53,79	37,69
160	27,7	36,37	0,23	60,22	110,8	83.1	50,58	37,18
200	26,4	38,3	0,28	61,62	108,9	82.5	47,28	36,38
250	28,4	40,24	0,34	66,28	110,5	82.1	44,22	35,62
315	28,7	42,25	0,49	69,91	110,2	81.5	40,29	33,69
400	28,8	44,32	0,64	72,98	110	81.2	37,02	32,22
500	29,4	46,25	0,79	76,19	110,1	80.7	33,91	30,71
630	29,3	48,25	0,85	78,32	109,7	80.4	31,38	29,48
800	29,9	50,31	0,92	81,22	109,2	79.3	27,98	27,18
1000	29,7	52,23	0,99	83,15	108,9	79.2	25,75	25,75
1250	28,2	54,14	0,97	83,50	107,2	79	23,70	24,30
1600	27,1	56,23	0,95	84,43	106,2	79.1	21,77	22,77
2000	26,4	58,09	0,93	85,53	105,3	79.9	19,77	20,97
2500	23,8	59,91	0,92	84,72	101,3	77.5	16,58	17,88
3150	23,6	61,72	0,91	86,30	100	76.4	13,70	14,90
4000	21	63,47	0,9	85,41	96,3	75.3	10,89	11,89
5000	20,2	64,91	0,9	86,05	94,5	74.3	8,45	8,95
6300	20,8	66,08	0,9	87,82	93,9	73.1	6,08	5,98
8000	21,1	66,68	0,9	88,72	93,2	72.1	4,48	3,38
10000	19,9	66,2	0,9	87,04	90,4	70.5	3,36	0,86
12500	21,8	63,47	0,9	86,21	90	68.2	3,79	-0,51
16000	21,8	46,25	0,9	68,99	89,5	85.2	20,51	13,91
20000	9,4	62,51	0,9	72,85	67,4	84.3	0,00	0,00
						Total nivel lin	69,35663588	
						Total dB(A)	44,63898575	

Tabla 21. Cálculo TL compuesto habitación 1

Freq (Hz)	TL1 (dB)	TL2 (dB)	α	TL Comp (dB)	Motores (dB)	Cuarto 2 (dB)	Final (dB)	Final (dB (A))
HABITACION 2								
25	33,3	20,28	0,15	47,14	113,3	80	66,16	21,46
31,5	33,1	22,28	0,17	49,15	112,4	79,3	63,25	23,85
40	32,9	24,34	0,18	51,22	112,1	79,2	60,88	26,28
50	32,9	26,27	0,19	59,77	111,8	78,9	52,03	21,83
63	32,8	28,28	0,2	63,68	111,6	78,8	47,92	21,72
80	32,6	30,35	0,19	67,63	110,6	78	42,97	20,47
100	33,1	32,29	0,18	72,01	111,4	78,3	39,39	20,29
125	33,3	34,22	0,18	62,71	111,2	77,9	48,49	32,39
160	33,8	36,37	0,23	66,32	110,8	77	44,48	31,08
200	31,1	38,3	0,28	66,32	108,9	77,8	42,58	31,68
250	32,9	40,24	0,34	70,78	110,5	77,6	39,72	31,12
315	32,6	42,25	0,49	73,81	110,2	77,6	36,39	29,79
400	32,7	44,32	0,64	76,88	110	77,3	33,12	28,32
500	33,4	46,25	0,79	80,19	110,1	76,7	29,91	26,71
630	33,3	48,25	0,85	82,32	109,7	76,4	27,38	25,48
800	33,2	50,31	0,92	84,52	109,2	76	24,68	23,88
1000	33,1	52,23	0,99	86,55	108,9	75,8	22,35	22,35
1250	38,2	54,14	0,97	93,50	107,2	69	13,70	14,30
1600	31,7	56,23	0,95	89,03	106,2	74,5	17,17	18,17
2000	31,2	58,09	0,93	90,33	105,3	74,1	14,97	16,17
2500	27,4	59,91	0,92	88,32	101,3	73,9	12,98	14,28
3150	25,7	61,72	0,91	88,40	100	74,3	11,60	12,80
4000	24	63,47	0,9	88,41	96,3	72,3	7,89	8,89
5000	22,4	64,91	0,9	88,25	94,5	72,1	6,25	6,75
6300	22,1	66,08	0,9	89,12	93,9	71,8	4,78	4,68
8000	23,6	66,68	0,9	91,22	93,2	69,6	1,98	0,88
10000	21,8	66,2	0,9	88,94	90,4	68,6	1,46	-1,04
12500	21,8	63,47	0,9	86,21	90	68,2	3,79	-0,51
16000	30,6	46,25	0,9	77,79	89,5	58,9	11,71	5,11
20000	9,4	62,51	0,9	72,85	67,4	58	0,00	0,00
						Total nivel lin	68,95110878	
						Total dB(A)	40,07706346	

Tabla 22. Cálculo TL compuesto habitación 2

De esta manera obtenemos el TL de la habitación 1 por frecuencia y se ve en la tabla 16, donde TL1 es la pérdida por transmisión de la pared simple medida. TL2 es la pérdida por transmisión de la pared que se propone construir, TLcomp es el TL calculado para la pared compuesta con las ecuaciones 9, 10 ,11 y αlos coeficientes de absorción de la fibra de vidrio tomados del apéndice D del libro Industrial Noise Control and Acoustics de Randall F. Barron

4.12 CÁLCULO DE ÍNDICE DE AISLAMIENTO SEGÚN ISO 717 - 1

En la tabla 23, se obtuvo el índice ponderado de reducción sonora Rw (índice de aislamiento), donde Ri son los valores calculados de TL de la pared compuesta, los valores de referencia desplazados con los propuestos por la normativa ISO-717-1 (página 9), la desviación desfavorable es la diferencia entre los valores de referencia desplazados y los valores de Ri por frecuencia, solo se toman los valores mayores a 0 y su suma no puede ser mayor a 32. El espectro número 1 y número 2 para calcular c y $c_u$son los valores de espectro de nivel sonoro para calcular los términos de adaptación propuestos en la normativa ISO 717-1(Anexo 5). Rw es igual al resultado del valor de referencia desplazado en la frecuencia de 500 Hz, por lo tanto en nuestro caso el índice de aislamiento Rw es igual 75dB.

$$Rw(C; C_u) = 75(-5; -10)$$

Tabla 23. Calculo de índice de aislamiento pared compuesta según normativa ISO-717

Frecuencia	Ri	Valores de referencia dezplazados +24 dB	Desviacion desfavorable	Espectro n1	Ln-Ri	$10^{\left(\frac{Ln-Ri}{10}\right)}$	Espectro n2	L-Ri	$10^{\left(\frac{L-Ri}{10}\right)}$
Hz	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB * 10-5)	(dB)	(dB)	(dB * 10-5)
100	61,02	57	4,02	-29	-90,02	24378,1	-20	-81,02	1936,4
125	61,74	60	1,74	-26	-87,74	70469,3	-20	-81,74	2805,4
160	63,68	63	0,68	-23	-86,68	1577,6	-18	-81,68	4988,8
200	64,4	66		-21	-85,4	4477,1	-16	-80,4	141,5
250	68,41	69		-19	-87,41	2779,7	-15	-83,41	6982,3
315	70,84	72		-17	-87,84	3715,3	-14	-84,84	7413,1
400	73,1	75		-15	-88,1	5508	-13	-86,1	8729,7
500	75,71	76		-13	-88,71	6531,3	-12	-87,71	8222,4
630	77,63	77		-12	-89,63	8550,6	-11	-88,63	107,6
800	80,31	78	2,31	-11	-91,31	8128,3	-9	-89,31	128,8
1000	82,05	79	3,05	-10	-92,05	111,68	-8	-90,05	177
1250	82,46	80	2,46	-9	-91,46	280,54	-9	-91,46	280,5
1600	83,44	80	3,44	-9	-92,44	466,6	-10	-93,44	370,6
2000	84,6	80	4,6	-9	-93,6	645,6	-11	-95,6	407,3
2500	83,81	80	3,81	-9	-92,81	21,3	-13	-96,81	851,1
3150	85,42	80	5,42	-9	-94,42	23,4	-15	-100,42	588,8
	suma = 31,753< 32		31,53	suma =137664,42		137664,42	suma=44131,3		44131,3
	Rw=41+24=75			10log(137664,42)=51		51,3882171	10log(44131,3)=46		46,44746721
				C=51-56=-5			Cu=46-56=10		

Teniendo en cuenta el término de adaptación espectral adecuado para este proyecto, en este caso Cu (factorías, que emiten ruido en frecuencias bajas y medias), el Rw es igual a 65 dB.

Al analizar los resultados obtenidos de Rw se puede concluir que las propiedades de aislamiento al ruido aéreo cumplen con el índice de reducción acústica que propone la normativa ISO-717, donde el índice de aislamiento entre cabina y cabina tiene que ser de 30 dB y entre comedor, áreas de recreación a cabina debe ser de 45dB; superando estos índices en 20 dB mejorando considerablemente el confort acústico en las habitaciones.

4.13 CÁLCULO DE Rw CON EL SOFTWARE SOUNDFLOW

Se modelo la estructura de la pared compuesta con el material polyester + fibra de vidrio en el software Soundflow para obtener resultados comparativos y evaluar el Rw calculado con la normativa ISO 717. Los resultados se presentan en la tabla 24.

Estructura	Alfa	NRC	Rw	C	Ctr	C 50-5000	Ctr 50-5000	STC
Pared compuesta	0,00	0,00	54	-1	-3	-1	-5	58

Tabla 24. Calculo de Rw según Software Soundflow

El resultado obtenido de TL se muestra en el reporte creado por el software SoundFlow (Anexo 7), donde se pueden observa los resultados por tercio de octava de TL existentes en la pared simulada.

4.14 RENDERIZACIÓN DE ESPACIOS

4.14.1 RENDER SIN PROPUESTA DE AISLAMIENTO

En la las figuras 23 y 24 se da una vista desde diferentes ángulos del estado actual de la embarcación entre la sala de motores y las habitaciones 1 y 2. Se puede observar que existe un espacio considerable entre la pared que separa las habitaciones y los motores, lo cual permite la implementación de la propuesta de aislamiento sugerida.

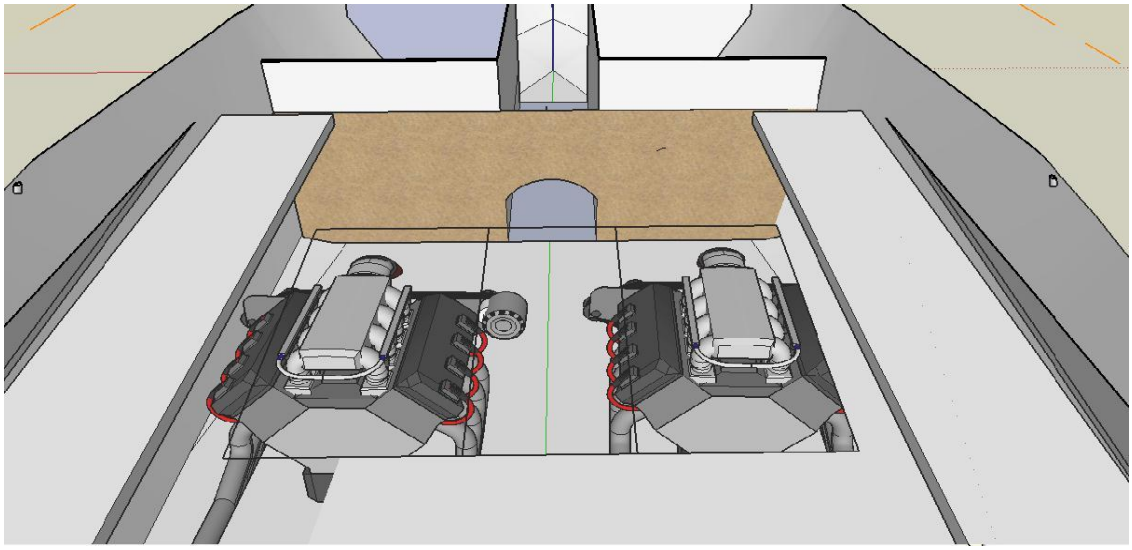


Figura23 Vista 1 cuarto de motores sin pared compuesta

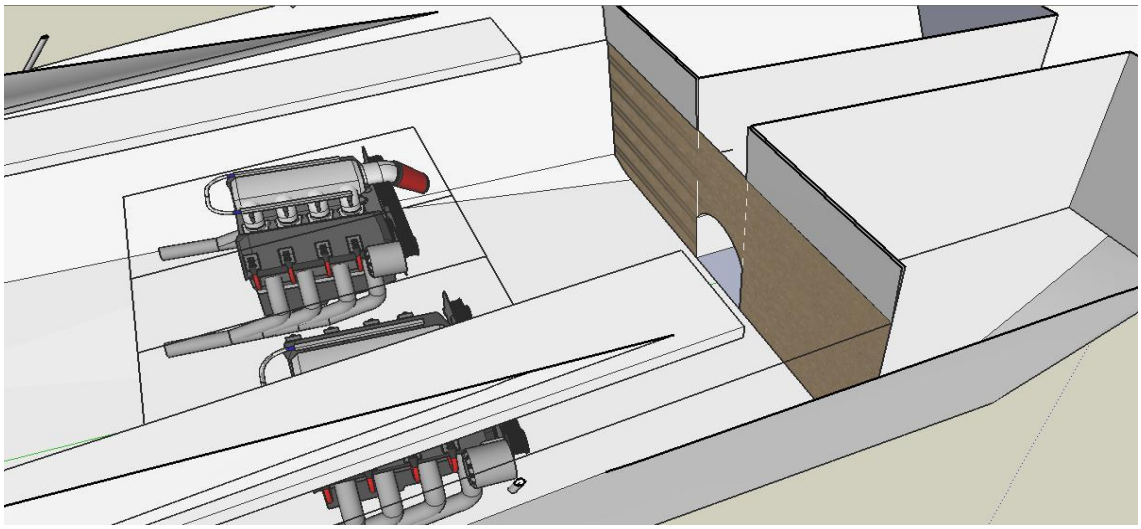


Figura24. Vista 2 Cuarto de motores sin pared compuesta

4.14.2 RENDER CON PROPUESTA DE AISLAMIENTO

En la las figuras 25 y 26 se da una vista desde diferentes ángulos de la propuesta de aislamiento que se pretende implementar en la embarcación entre la sala de motores y las habitaciones 1 y 2. Se puede ver que al colocar la pared propuesta, se reduce el espacio de la sala de motores pero esta no afecta en ningún momento el funcionamiento de las máquinas y no es necesario desplazarlas.

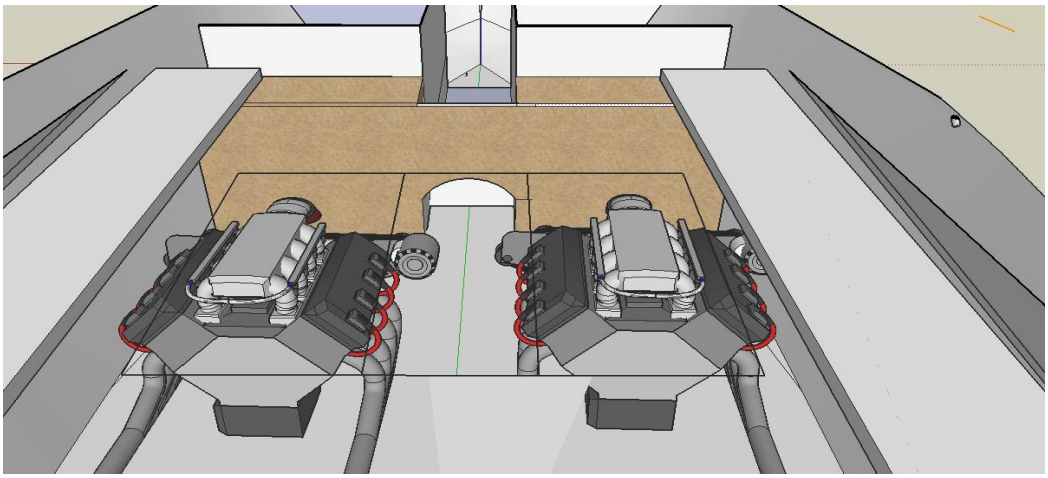


Figura25. Vista 1 cuarto de motores con pared compuesta.

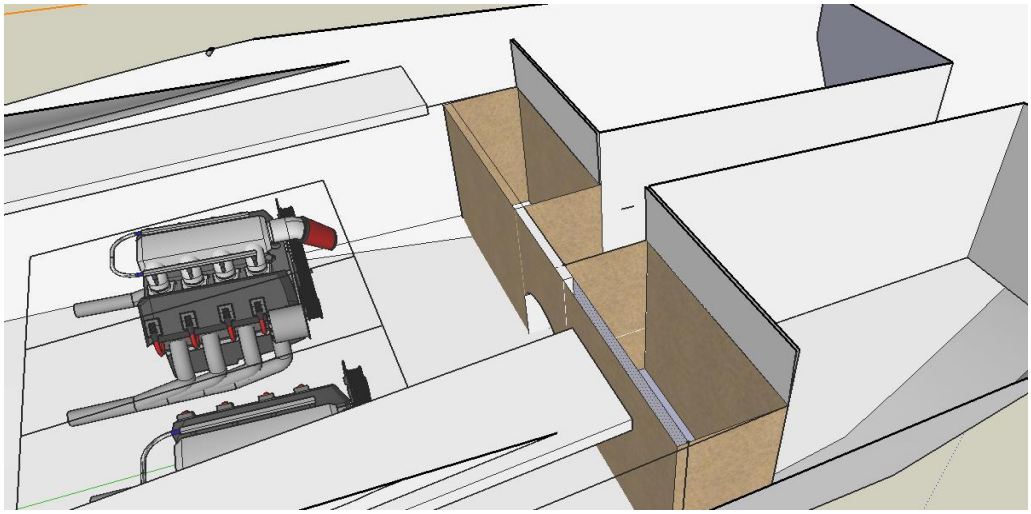


Figura26. Vista 2 cuarto de motores con pared compuesta.

4.15 SIMULACION CADNA(R)

El software Cadna(R) simula ambientes industriales, por lo que en él se pueden caracterizar fuente como motores, sistemas de ventilación, entre otros. Lo que permite una simulación del ambiente de la embarcación en este caso un yate de la empresa Océano Scuba y su principal fuente de ruido dos motores diésel de la empresa DETROIT DIESEL y lo caracterizaremos con los resultados de la medición "insitu" en el cuarto de motores.

Para la simulación el software requiere del PWL del objeto emisor en este caso el motor simulado por medio de un emisor tipo caja, el programa tiene 4 métodos teóricos por los que se puede realizar la simulación, en este caso usaremos el modelo de campo difuso, en donde la fórmula para hallar el PWL del objeto emisor con base en el SPL es la siguiente: (Ecuación tomada de la página 144 del manual de CadnaR).

$$PWL = SPL + 10\log\left(\frac{ABS}{4} + 4\pi r^2\right)[dB\ PWL]$$

Ecuación17. Calculo de PWL

Donde ABS es la absorción del recinto y r la distancia del receptor, en este caso el PWL es igual a 137.4 dB para los dos motores.

Los colores usados para caracterizar el ruido son lo que se proponen en la resolución 0627, como se puede observar en la tabla 25.

Zona de Ruido dB(A)	Color	Sombreado
Menor de 35	Verde claro	Puntos pequeños, baja densidad
35 a 40	Verde	Puntos medianos, media densidad
40 a 45	Verde oscuro	Puntos grandes, alta densidad
45 a 50	Amarillo	Líneas verticales, baja densidad
50 a 55	Ocre	Líneas verticales, media densidad

55 a 60	Naranja	Líneas verticales, alta densidad
60 a 65	Cinabrio	Sombreado cruzado, baja densidad
65 a 70	Carmín	Sombreado cruzado, media densidad
70 a 75	Rojo lila	Sombreado cruzado, alta densidad
75 a 80	Azul	Franjas verticales anchas
80 a 85	Azul oscuro	Completamente negro

Tabla 25. Combinación de colores para representaciones gráficas cada 5 dB(A)

4.15.1 PASOS DE MODELADO CADNA(R)

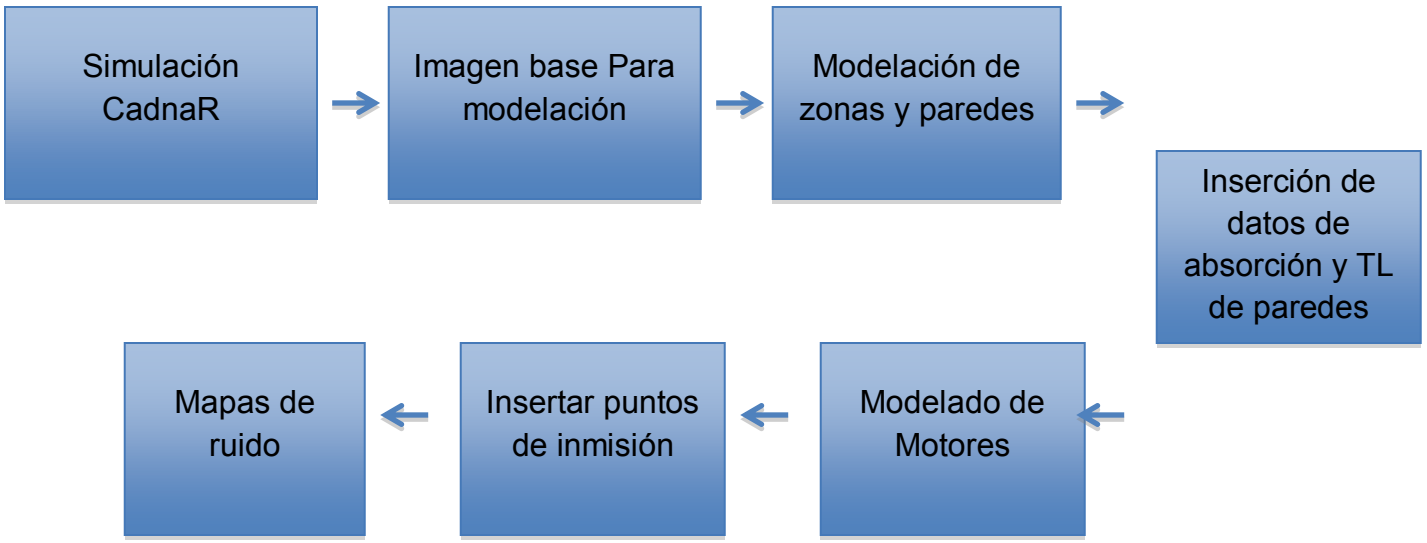


Figura 27. Diagrama de flujo pasos de modelación Cadna(R)

En la figura 28 se observa la primera pantalla que mostrará el sistema al ingresar al software.

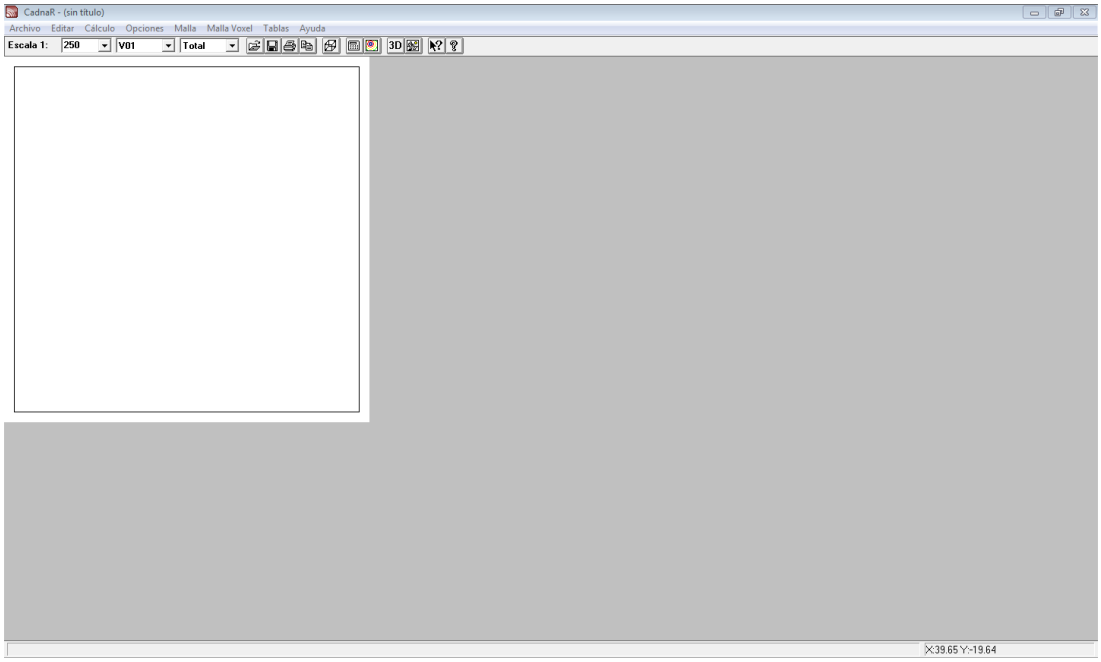


Figura28. Ventana inicial CadnaR

Trabajamos con la opción bitmap como base, así tomamos el plano de la embarcación con las medidas debidamente rectificadas y la medida en el lugar de la medición, la imagen que aparecerá en el software es la que se muestra en la figura 29.

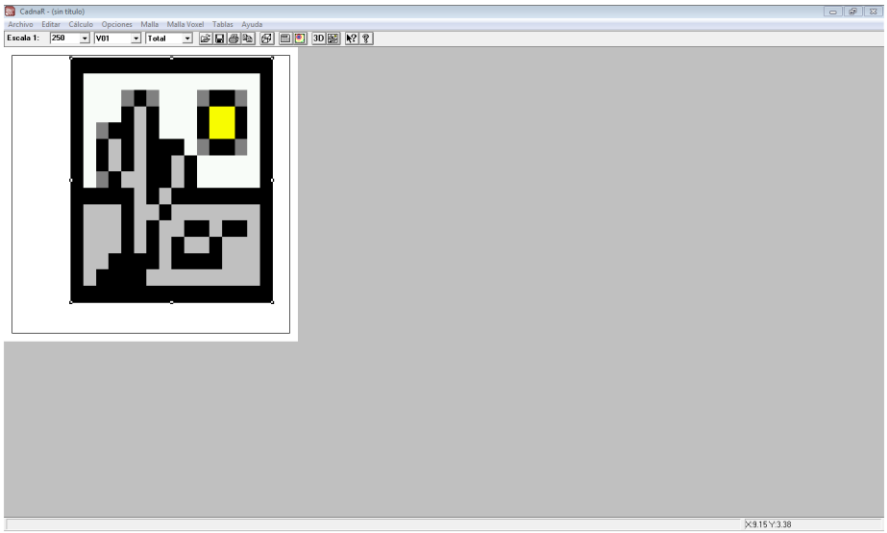


Figura29. Inserción bitmap en CadnaR

Las opciones del cuadro bitmap se ven en la figura 30, en esta pantalla se puede especificar las medidas (en metros) del plano que se desea realizar entre otras opciones de configuración.

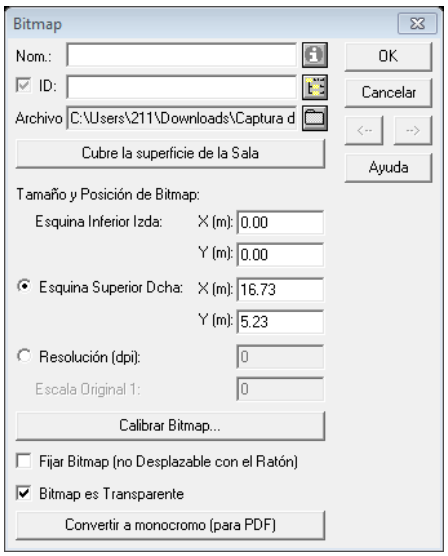


Figura30. Opciones Bitmap

En archivo seleccionamos la imagen que queremos usar como base para realizar el modelado y en la parte de tamaño y posición se especifican el tamaño real de la embarcación, en la figura 31 se presenta como se verá la imagen base de el objeto a modelar.

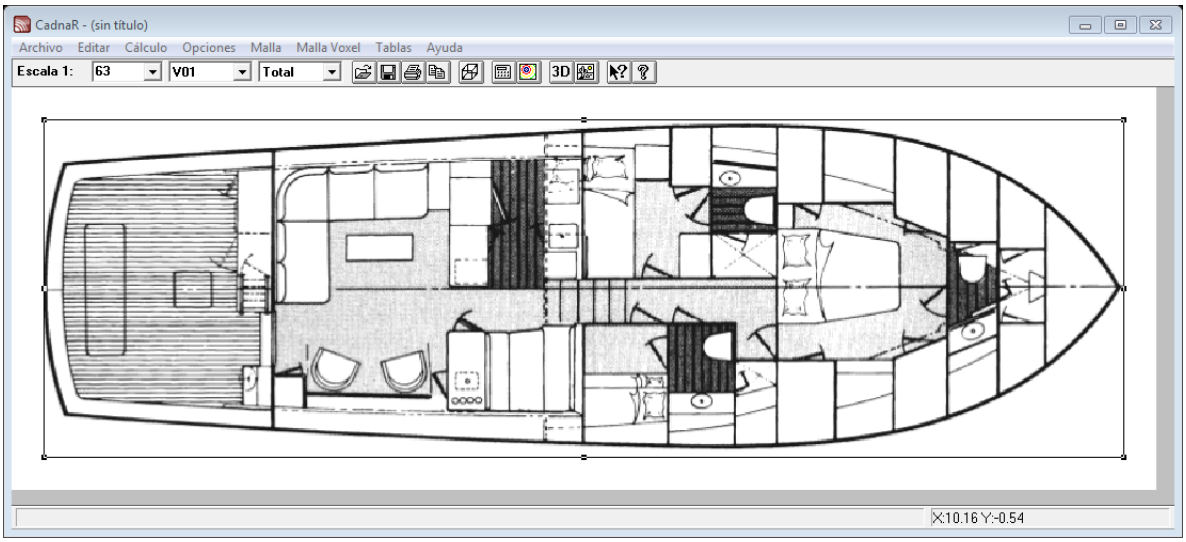


Figura31. Plano base CadnaR

Uno de las principales limitaciones es que no se pueden crear superficies redondas ni con una angulación horizontal, por lo que la modelación de la embarcación se hizo de una manera tal que fuera lo más exacta posible para reducir el margen de error entre la medición y la predicción, se usaron las herramientas “Barrera” y “Obstáculo tipo caja” para el modelado de paredes, agregando los valores de TL, α de cada pared y material según los resultados obtenidos en la medición, para introducir valores de absorción, pérdida por transmisión y dimensiones de cada pared existente en la embarcación, se abre la ventana “obstáculo de caja” como se muestra en la figura 33.

Con la opción editar sala que aparece en la barra de símbolos con el icono, se ingresan los valores correspondientes a alto, largo y ancho de la embarcación y dentro de la sala se modela cada cuarto como se puede observar en la figura 27. Los receptores se ubicaron a una altura de 1.3m con respecto al suelo de cada habitación, como se realizó en las mediciones.

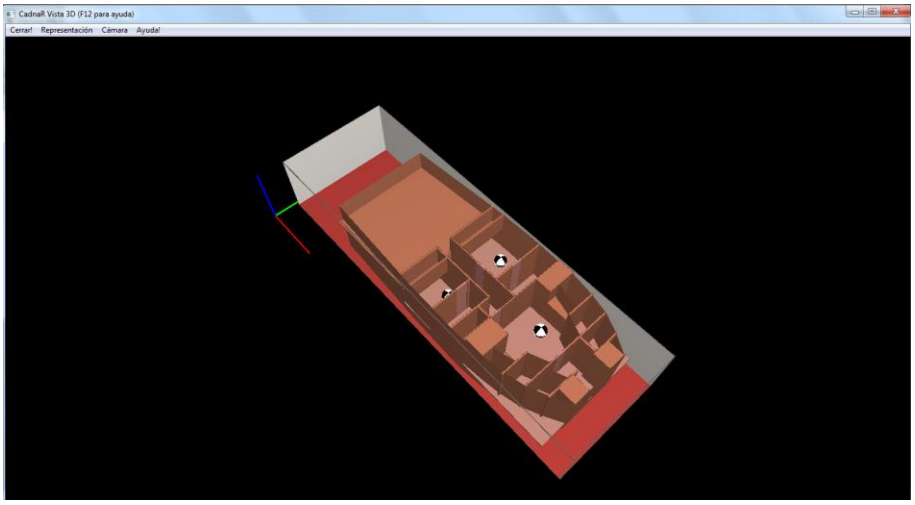


Figura32. Vista 3D Modelo CadnaR

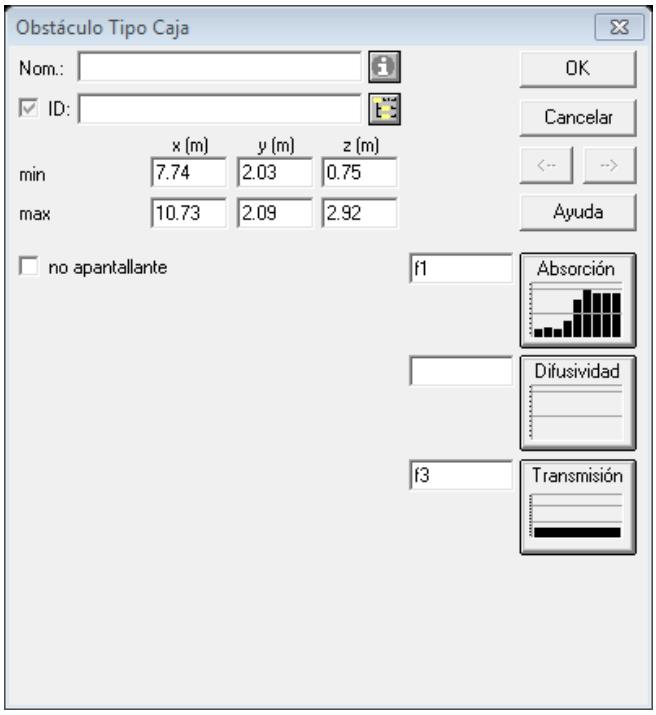


Figura33. Opciones obstáculo tipo caja

Para ingresar los índices de reducción sonora (TL) por tercio de octava se presiona el botón transmisión y aparece la ventana que se ve en la figura 34, donde se pueden ingresar los valores respectivos de cada pared.

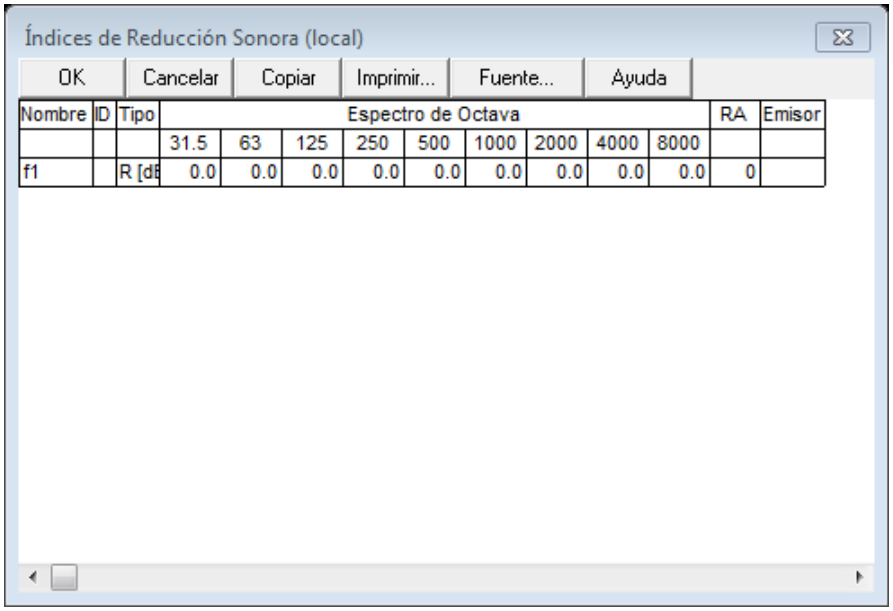


Figura 34. Índices de reducción sonora obstáculos tipo caja

Para ubicar los puntos receptores en las habitaciones los valores se ingresan en la ventana que se muestra en la figura 35, donde también se pueden observar los niveles del espectro que hay en la habitación.

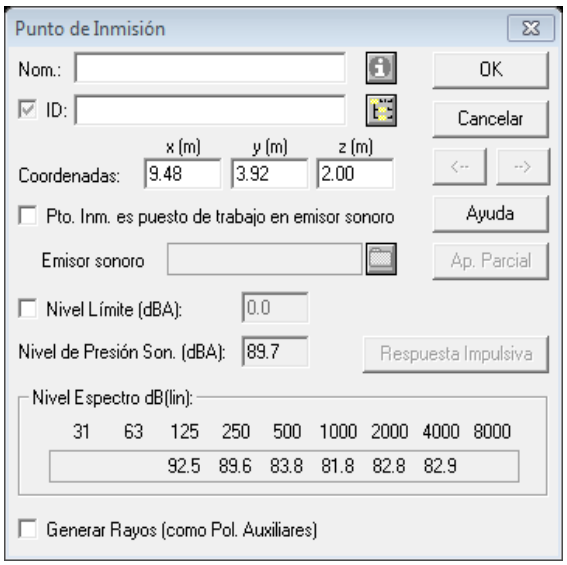


Figura 35. Opciones punto receptor

Para modelar los motores se utilizó la herramienta “emisor tipo caja” , el cual permite ingresar valore SPL y PWL característicos del motor como se observa en la figura 36. El PWL se calculó con la ecuación 13.

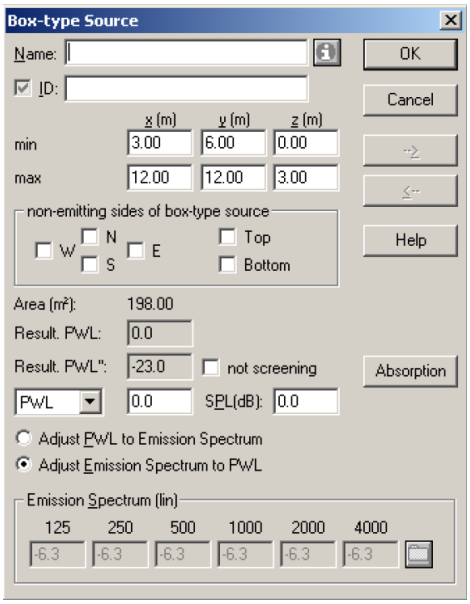


Figura36. Opciones emisor tipo caja

El modelo de cálculo que se utilizó es el modelo de fuente de imagen el cual se explica anteriormente (Marco teórico).

Los respectivos mapas de ruido se encuentran en los anexos 1 y 2.

4.15.2 PREDICCIÓN DE NIVELES DE RUIDO EN LA EMBARCACIÓN SIN PROPUESTA DE AISLAMIENTO

En el anexo 1 se observa el mapa de ruido de la embarcación en su estado actual, donde según los colores propuestos para la caracterización de ruido, este en su gran mayoría, incumple la normativa IMO-468.Se puede notar que en las habitaciones hay un nivel de ruido mayor a los 89 dB(A) lo cual es preocupante ya que genera un gran riesgo de pérdida auditiva para los trabajadores y habitantes de la embarcación.

En la simulación de la embarcación sin la propuesta de aislamiento se ve que en los 2 cuartos aledaños al cuartos de motores, los niveles de ruido son similares a los de la medición, sin embargo en la habitación 3 se puede notar que los niveles que se predicen por medio del software difieren con respecto a la medición real, por lo que la herramienta sirve para estipular posibles niveles de ruido más no suministra resultados precisos de ruido.

4.15.3 PREDICCIÓN DE NIVELES DE RUIDO EN LA EMBARCACIÓN CON PROPUESTA DE AISLAMIENTO

En el anexo 2 se puede notar que la propuesta de aislamiento es acertada en sus cálculos. Ya que en las habitaciones existirían niveles de presión sonora menores a 47 dB(A) indicados con el color verde, lo que los da una idea de la magnitud de la mejora con respecto a los niveles actuales de la embarcación.

En la predicción de niveles de ruido al interior de la embarcación se puede ver que en los puntos donde se desarrolló la medición los niveles son similares a los calculados anteriormente mediante la fórmula propuesta por Randall. F Barron.

Donde el nivel de la habitación 1 es de 47.5 dB (A) y el nivel en la habitación2 es de 46.6 dB (A), de la misma manera teniendo una variación en la simulación de ±5 dB(A) (Ver anexo 2. Mapa de ruido embarcación propuesta de mejora).

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 AISLAMIENTO HABITACIÓN 1 PARED COMPUESTA

En las Figuras 37 y 38 se observa la comparación de pérdida por transmisión entre la pared simple y la pared compuesta; la comparación de niveles de presión sonora finales de la habitación1sin propuesta de aislamiento y con propuesta de aislamiento.

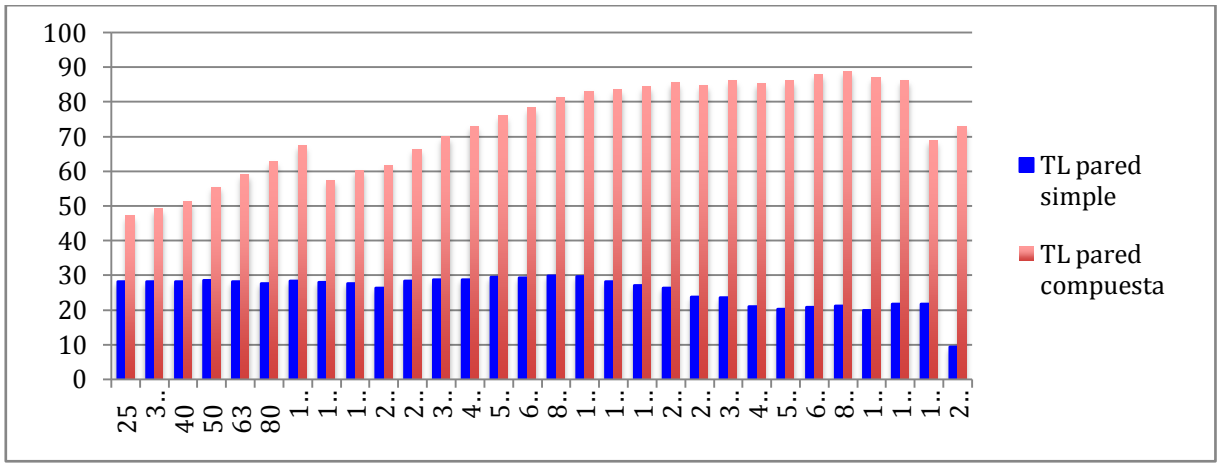


Figura 37. Comparación aislamiento entre la pared simple y la propuesta de aislamiento en el habitación1

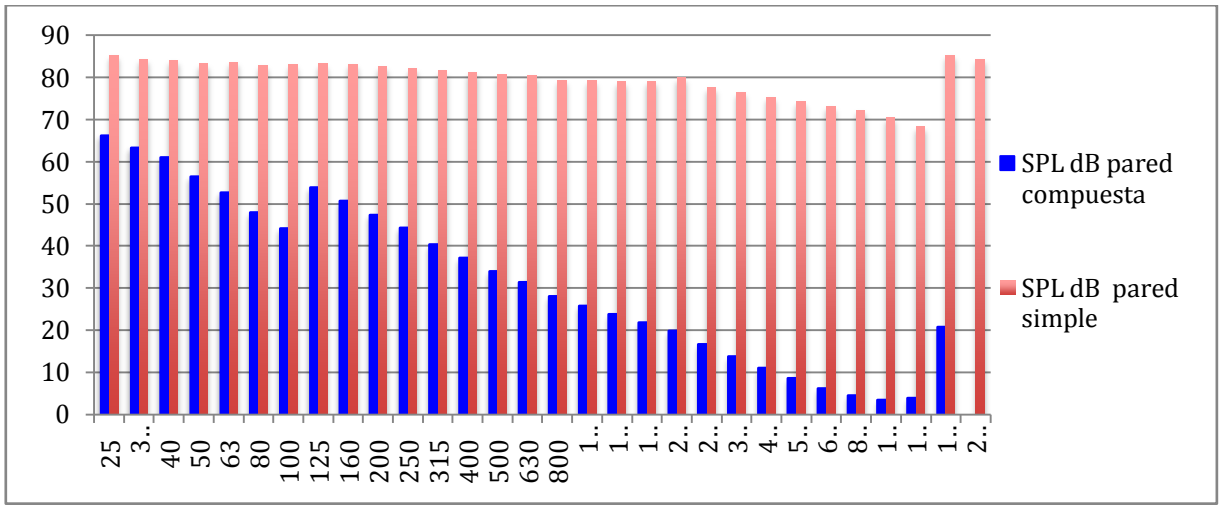


Figura38. Comparación valores finales de SPL pared simple y pared compuesta habitación 1.

De esta manera vemos que la pared compuesta lograría una disminución de cerca de 46.56dB(A) mejorando considerablemente el TL del cuarto y cumpliendo la normativa IMO 468 estando en por debajo del límite aproximadamente 13 dB(A)

5.2 AISLAMIENTO HABITACIÓN 2 PARED COMPUESTA

Al observar las figuras 39 y 40 se puede apreciar la pérdida por transmisión entre la pared simple y la pared compuesta, de las misma manera que se realizó con la habitación 1; Así mismo se aprecia la comparación de niveles de presión sonora finales sin propuesta y con propuesta de aislamiento en la habitación 2

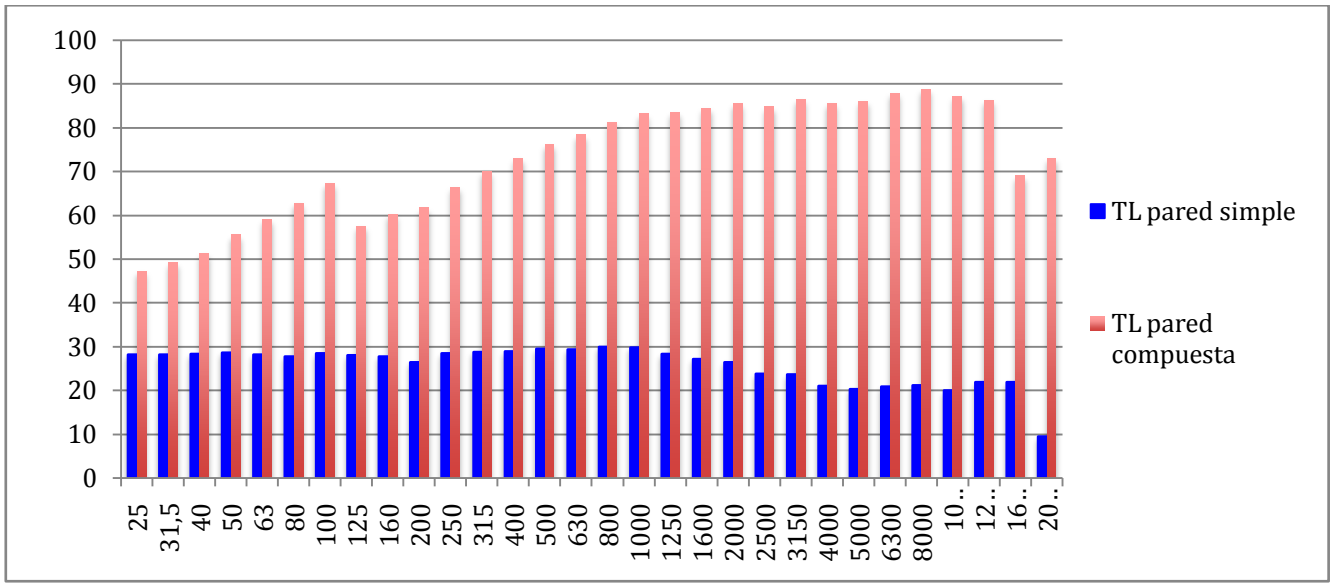


Figura39. Comparación aislamiento entre la pared simple y la propuesta de aislamiento en la habitación 2.

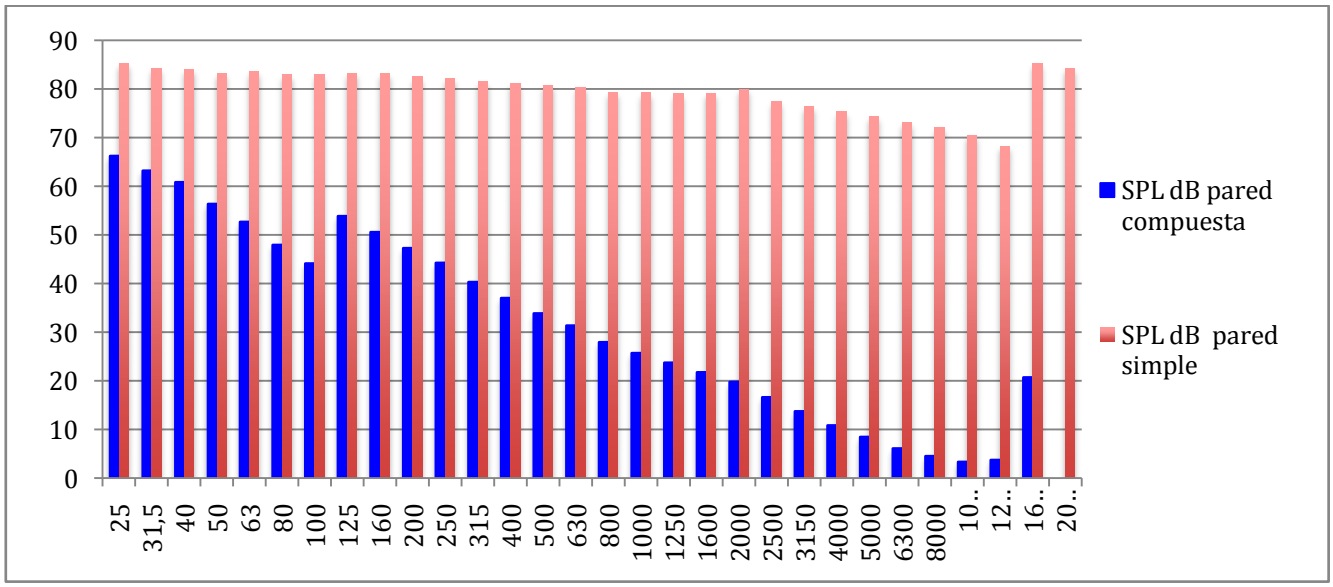


Figura40. Comparación valores de SPL finales pared simple y pared compuesta habitación 2.

Al analizar estos resultados podemos determinar que la pared compuesta lograría una disminución de aproximadamente 46dB(A), lo cual mejoraría considerablemente el nivel de ruido existente en la habitación 2, cumpliendo la normativa, estando por debajo del límite 14 dB(A).

5.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS SPL FINALES

En la tabla 23 se ven los resultados obtenidos de forma teórica y los resultados obtenidos en la predicción con Cadna(R), donde se nota la mejora de pérdida por transmisión entre el cuarto de motores y las habitaciones, tanto en los niveles calculados teóricamente como en los niveles obtenidos con el software.

Se puede notar que los niveles actuales calculados y obtenidos mediante la medición en la embarcación, comparados con los niveles adquiridos por el software en la simulación difieren en ±5 dB(A), lo cual nos indica que este software no es una herramienta exacta, pero es muy útil para estimar niveles de una posible construcción de un sistema de control de ruido.

Además la propuesta de aislamiento da solución al problema de ruido, bajando los niveles considerablemente y cumpliendo la normativa IMO-468 que establece niveles de ruido permitidos por zona de la embarcación.

Comparación de resultados					
Espacio	**Límites de ruido dB(A)**	**Niveles medición dB(A)**	**Niveles predicción sin aislamiento dB(A)**	**Niveles calculados con aislamiento dB(A)**	**Niveles predicción con aislamiento dB(A)**
1. CUARTO DE MOTORES	110	117.3	117.3	117.3	117.3
2. HABITACIÓN 1	60	89.8	89.7	44.06	47.5
3. HABITACIÓN 2	60	85.6	85.8	40.70	46.6
4. HABITACIÓN 3	60	73.2	43.5	-	-

Tabla 26. Comparación de resultados finales

5.3.1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS SPL POR OCTAVA

En la tabla 24 se analizan los resultados de niveles de presión sonora finales tanto en estado actual como con la propuesta de aislamiento de las habitaciones 1 y 2, con el fin de determinar si la solución es eficaz para disminuir los niveles presentes en laembarcación y cuanto difiere la solución calculada con la simulada en el software de modelación y predicción CadnaR.

		RESULTADOS CÁLCULADOS (dB)		RESULTADOS SIMULADOS (dB)	
EN ESTADO ACTUAL	FRECUENCIA (Hz)	HABITACIÓN 1	HABITACIÓN 2	HABITACIÓN 1	HABITACIÓN 2
	31.5	84.3	79,3	-	-
	63	83.5	78,8	-	-
	125	83.2	77,9	92.5	89.3
	250	82.1	77,6	89.6	86.3
	500	80.7	76,7	83.8	80
	1000	79.2	75,8	81.8	77.5
	2000	79.9	74,1	82.8	78.6
	4000	75.3	72,3	82.9	79
	8000	72.1	69,6	-	-
CON AISLAMIENTO	FRECUENCIA(Hz)	HABITACIÓN 1	HABITACIÓN 2	HABITACIÓN 1	HABITACIÓN 2
	31.5	63,25	63,25	-	-
	63	52,62	47,92	-	-
	125	53,79	48,49	60.9	58.9
	250	44,22	39,72	50.6	49.6
	500	33,91	29,91	22.3	25.3
	1000	25,75	22,35	22.3	25.3
	2000	19,77	14,97	35.5	35.5
	4000	10,89	7,89	37.4	38.3
	8000	4,48	1,98	-	-

Tabla 27. Comparación de resultados por octava

Se puede observar que los resultados de SPL de la embarcación en estado actual tanto en los resultados obtenidos y en la modelación son similares y no varíamás de 5 dB, mientras que en la embarcación con aislamiento presenta diferencias en frecuencias altas de 2KHz donde se ven diferencias entre la simulación y los

resultados calculados de más 15 dB lo que quiere decir que la simulación da una predicción acertada aunque no precisa.

6. CONCLUSIONES

- El mayor ruido generado por la embarcación es de los motores, cerca de 117 dB(A) como se ve en la tabla 7, para calcular los valores de emisión y propagación, se deben usar métodos determinados por normativas como la IMO-468 para que la mediciones sean lo más exacta posibles.

- Es posible realizar la predicción de ruido en una embarcación en las fases tempranas de su construcción mediante un software de modelado como CadnaR el cual permite dar un vistazo a los posibles problemas de ruido que puede presentar una estructura.

- Se puede concluir que la propuesta de aislamiento es efectiva tanto en el modelado como en los resultados calculados teóricamente (tabla 22), además de cumplir a cabalidad los requisitos expresados por las normativas IMO 468 e ISO 717.

- Al analizar los niveles de ruido que están presentes en las habitaciones de la embarcación, es posible determinar que existe un gran riesgo de pérdida auditiva en los trabajadores que exceden las 8 horas de trabajo continuo.

- Al examinar ycomparar los resultados obtenidos en las mediciones y la simulación realizada en el Software CadnaR es posible determinar que puede existir un factor de error de ±5dB(A).

- Al realizar la simulación de la propuesta de reducción de ruido en la embarcación se puede concluir que esta cumple los límites establecidos por las normativas IMO-468 eISO-2923.

- La predicción es una herramienta que sirve para calcular un modelo o estructura que se construirán en un futuro y ver el impacto de ruido que causaría en una determinada zona más no es un cálculo exacto

del comportamiento real, como se observa en los resultados obtenidos en las tablas 26 y 27.

- El programaCadnaR sirve como base para estudios preliminares en espacios cerrados, para tener una primera observación del ruido. Esta herramienta ayuda a obtener el nivel continuo equivalente, más no entrega resultados precisos del ruido que está produciendo debido a que no es posible tener en cuenta todas las variables necesarias para una simulación 100% acertada.

- Es importante implementar de igual manera el uso de protectores auditivos para los trabajadores a bordo de la embarcación con el fin de reducir los efectos negativos en la audición que puedan llegar a tener los habitantes de la embarcación debido a los niveles excesivos de ruido existentes en el cuarto de motores.

- Es necesario promover conciencia social frente al ruido, ya que la población desconoce las normas, las entidades que lo regulan y las consecuencias que puede llegar a causar éste.

- Es posible reducir costos en la construcción de una embarcación realizando un estudio de control de ruido antes de ser construida.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar análisis de vibraciones sobre los motores para estimar el ruido transmitido por vía estructural

- Tener en cuenta un factor de error entre los datos obtenidos en la práctica con los datos que arroja el software.

- Reconocer las fuentes de ruido e identificar los puntos de medición antes de empezar para así no tener que realizar correcciones en el lugar.

- Indagar sobre las normativas existentes para el tipo de estudio acústico que se desea realizar.

- Realizar una audiometría a los trabajadores de la embarcación para determinar si existe una pérdida auditiva previa a la intervención.

- Reevaluar todo el sistema de prevención al ruido de la embarcación tales como protectores auditivos, tiempos de exposición al ruido y tiempos de descanso.

- Realizar mantenimientos preventivos en los motores de la embarcación para que estos no produzcan ruido adicionales o por choque en la estructura.

- El software no permite realizar superficies curvas o ángulos diferente a 90º en posición horizontal, se recomienda modelar lo más exacto para reducir el margen de error

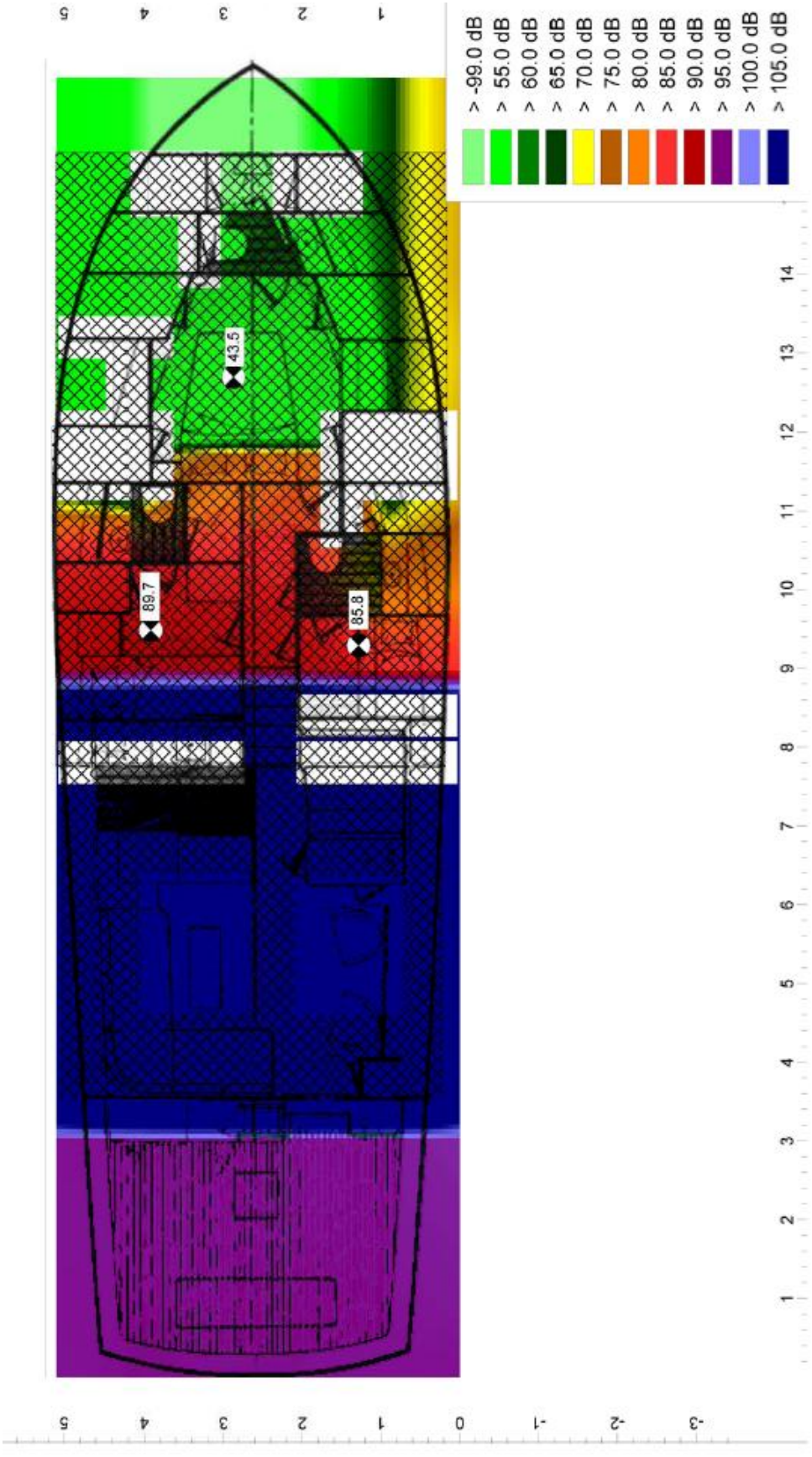
8. BIBLIOGRAFIA

1. Randall F Barron, Industrial Noise Control And Acoustics, Marcel Dekker, Inc ,2001
2. IMO 468 “Codeonnoiselevelsonboardships” Código sobre niveles de ruido a bordo de embarcaciones.
3. Cadna(R) Software de predicción de ruido en interiores
4. Proc.UDT Active and passive control of machinery noise in future warships: a ship designer’s viewpoint,1998
5. TSI, TSI realiza la predicción de vibraciones del buque “MONTE MEIXUEIRO”, 2006
6. TSI**,** Buques pesqueros silenciosos. Un hito de los pequeños y medianos astilleros españoles. Lecciones aprendidas, 2006
7. Dominique Jeagaden, Ship noise and its effects on seafarers
8. SGS TECNOS SA, Estudio del impacto de ruido en trabajadores del mar. Departamento de Desarrollo de Proyecto s e Innovación,2002
9. Centro de Investigación y Desarrollo Naval. Cuba, Caracterización del campo acústico, ruido y vibraciones de una lancha, 2003
10. Galápagos explorer II “estudio de impacto ambiental ex-post por la operación y mantenimiento de la embarcación m/n galápagos explorer ii, durante sus actividades turísticas en la reserva marina de galápagos”,2012.
11. Resolución 1792 de 1990. Art.1o.
12. Protocolo de Vigilancia Sanitaria Específica para los/as trabajadores/as expuestos a Ruido, de la Comisión de Salud Pública Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud. España
13. CONSEJO DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, DIRECTIVA 2002/49/CE del 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental. Pág. 3
14. HARRIS. Cyril M, Manual de medidas acústicas y control de ruido, Tercera Edición, Mc.Graw- Hill, 1995.

15. MIYARA Federico. Niveles Sonoros. Comité Científico Interdisciplinario de Ecología y Ruido. 2003. http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/~acustica/comite/niveles.htm
16. DataKustiks.Cadna(R) Prediction of noise levels inside rooms User Manual.2012
17. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, monografías técnicas sobre seguridad y salud en el trabajo núm. 2, "El Ruido en el Ambiente Laboral"
18. María Cuesta Ruiz, control activo de ruido radiado por estructuras bidimensionales
19. http://sac.upc.edu/areas-de-investigacion/control-avanzado/control-activo-de-ruido-acustico-car
20. REJANO DE LA ROSA, Manuel, Ruido Industrial y Urbano, Paraninfo Thomson Learning. 2000.
21. LópezCebran, Iñigo .Acústica para la arquitectura. AcústicaArquitectónica s.a. 2001
22. Pérez B, Bernier F, Abril I. Exposición al ruido en buques de pesca. Centro Nacional de Medios de Protección. INSHT. Revista Seguridad y Salud en el Trabajo 2008. 45:12-20
23. Cifuentes T, Bermúdez P. Patología auditiva inducida por el ruido en la población laboral de pesca de bajura. Mapfre Medicina 2000, 11(4):258-63
24. Heikki MD. Medical examinations of seafarers, who is fit for work at sea? Med Mar 2002
25. NorskLaegeforening. Vol 23. 2005. Disponible en: http://spanish.press.hear-it.org
26. Jegaden D. Textboock of maritime medicine.Capítulo 11.5 Ship Noise and its effects on seafarers health
27. García A. García AM. Agentes físicos. Capítulo 22. Libro Salud Laboral. Conceptos y técnicas para la prevención de riesgos laborales. 2o Edición. Masson 2005. pp317-23

28. Gantisteban C, Santalla Z. Efectos del ruido sobre la memoria y la atención: una revisión. Psicothema 1990; 2(2):49-91
29. May JJ. Occupational hearing loss.Am J Ind Med 2000; 37:112-20
30. Maqueda J, Ordaz E, Cortés RA et al. Efectos extra auditivos del ruido, salud, calidad de vida y rendimiento en el trabajo; actuación en vigilancia de la salud. ENMT. Instituto de Salud Carlos III. Ministerio de Ciencia e Innovación. 2010.
31. NIOSH.Common hearing lost prevention term.2006
32. INSHT. Erga bibliográfico. No 442. 2011.
33. Agencia Europea Para la Seguridad y la Salud en el Trabajo. Combined exposure to Noise and ototoxic substances.2009.
34. Resolución IMO 468.Code on noise levels on board ships.1981
35. Resolucion IMO 343.recommendation on methods of measuring noise levels at listening posts. 1975
36. Oceanyacht. Ficha tecnica . 1980

ANEXO 1- Mapa de ruido en estado actual



ANEXO 2 - Mapa de ruido con propuesta de aislamiento

ANEXO3 – Costo estudio de ruido

	TAREA	COSTOS	
1	**viajar a el lugar donde se encuentran las embarcaciones**		
	4 Pasajes	$ 800.000	$ 800.000
	viaticos 2 viajes	$ 200.000	$ 200.000
2	**Reconocer las fuentes de ruido.**		
	12 horas de trabajo	$ 300.000	
3	**Identificar los puntos de medición.**		
	4 horas de trabajo	$ 100.000	
4	**realizar la medición.**		
	alquiler de equipos	$ 250.000	
	16 horas de trabajo	$ 400.000	
5	**Descargar datos del sonómetro.**		
	alquiler de equipos	$ 250.000	
	sofware de descarga svantec pc		
	2 horas de trabajo	$ 50.000	
6	**Modelar las fuentes de ruido.**		
	sofware de simulacion	$ 100.000	$ 100.000
	10 horas de trabajo	$ 250.000	
7	**Analizar los datos obtenidos.**		
	3 horas de trabajo	$ 75.000	
8	**Diseñar un sistema de control de ruido.**		
	6 horas de trabajo	$ 150.000	
9	**Simular el diseño de control de ruido.**		
	sofware de simulacion	$ 80.000	$ 80.000
	4 horas de trabajo	$ 100.000	
10	**Comprobar el funcionamiento del sistema**		
11	**Estimar daños en la audición de la tripulación.**		
	1 hora de trabajo	$ 25.000	
12	**Desarrollo y elaboración del Documento.**		
	4 horas de trabajo	$ 100.000	
	resma de papel	$ 15.000	
	impresora	$ 200.000	
	empastado	$ 20.000	$ 20.000
	costo real		**$ 1.200.000**
	costo total	**$ 3.465.000**	

ANEXO 4 - Formato técnico de medición IMO 468

formato de medicon según normativa IMO 648

Nombre de la embarcacion		Ocean 55 Super Sport
puerto		Cowes Marin - Barranquilla
propietario		Roberto Ortiz
constructor		Ocean yatchs
lugar de construccion		
peso bruto		58 ton
tipo de embarcacion		Yate
Dimenciones	*largo*	17 mt ò 55 pies
	ancho	
	alto	
	profundidad	
desplazamiento y maxima profundidad		

Maquinaria

Propulcion (motores)

manufactura	Detroit 8V92
tipo	diesel
numero de unidades	2
potencia maxima	1800 rpm

instrumentos de medicion

equipo	**marca**	**tipo**	**serial**
sonometro	Svan		5168
microfono	Svan		
calibrador	Svan		

condiciones durante la medicion

fecha de medicion	20 de octubre del 2013
hora de inicio	11:00 a.m.
hora de finalizacion	2:00 p.m
velocidad del viento	1.3 m/s
estado del mar	calmado
velocidad de la embarcacion	27 nudos
velocidad de maquinas propulsoras	
potencia maquinas propulsoras	

datos de medicion

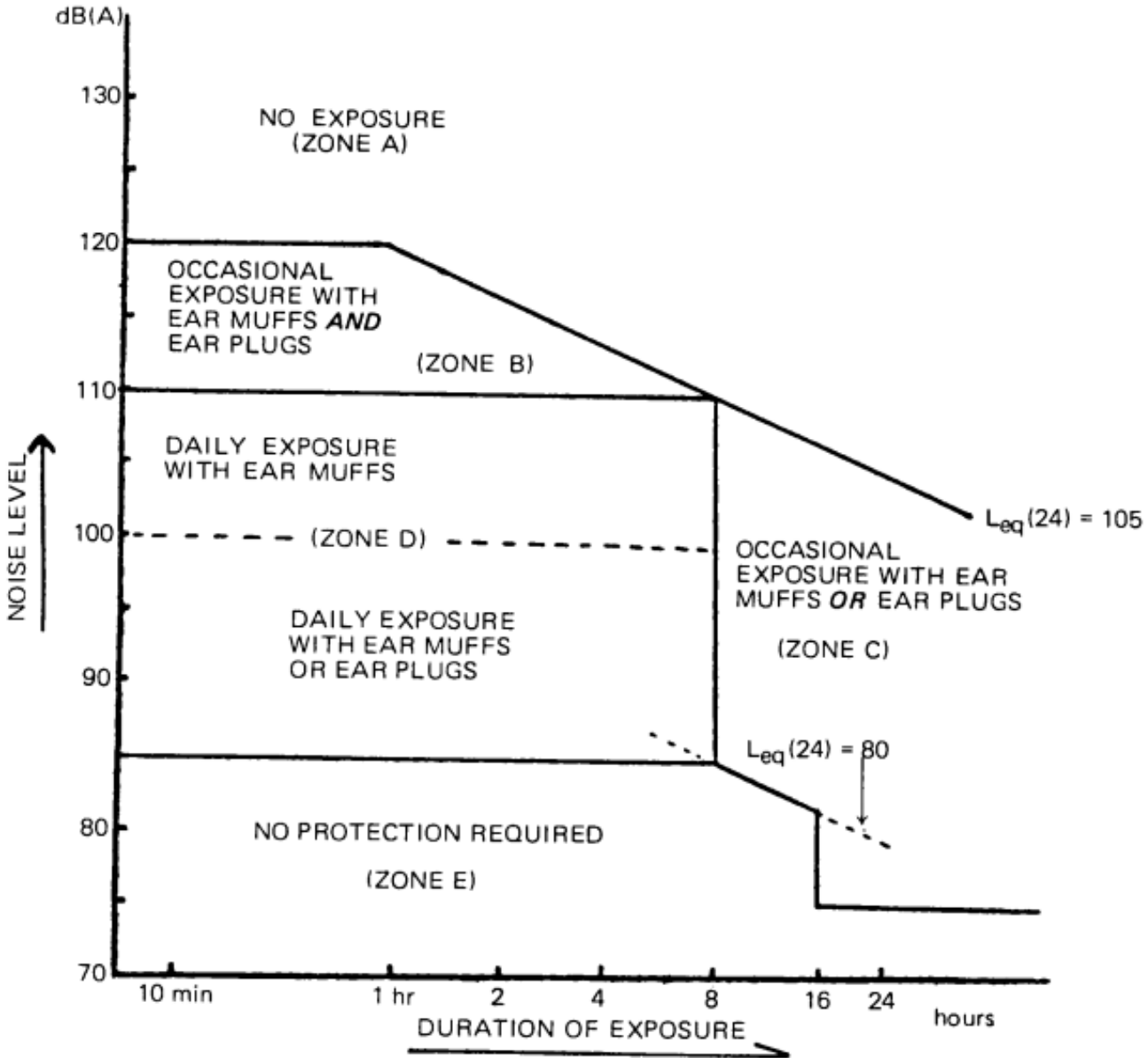
Espacio	**limites de ruido (A)**	**niveles medicion (A)**
cuarto de motores	110	117.3
habitacion 1	60	89.8
habitacion 2	60	80.6
habitacion 3	60	73.2
sala de estar	75	73.9
navegacion	65	79.5

ANEXO 5 – Espectros de nivel sonoro para calcular los términos de adaptación

Frecuencia Hz	Niveles sonoros L dB			
	Espectro nº 1 para calcular C		Espectro nº 2 para calcular C_u	
	Tercio de octava	Octava	Tercio de octava	Octava
100	-29		-20	
125	-26	-21	-20	-14
160	-23		-18	
200	-21		-16	
250	-19	-14	-15	-10
315	-17		-14	
400	-15		-13	
500	-13	-8	-12	-7
630	-12		-11	
800	-11		-9	
1000	-10	-5	-8	-4
1250	-9		-9	
1600	-9		-10	
2000	-9	-4	-11	-6
2500	-9		-13	
3150	-9		-15	

Nota : Todos los niveles están ponderados A y el nivel global de espectro normalizado a 0 dB

ANEXO 6 – Tiempos límites de exposición según IMO 468



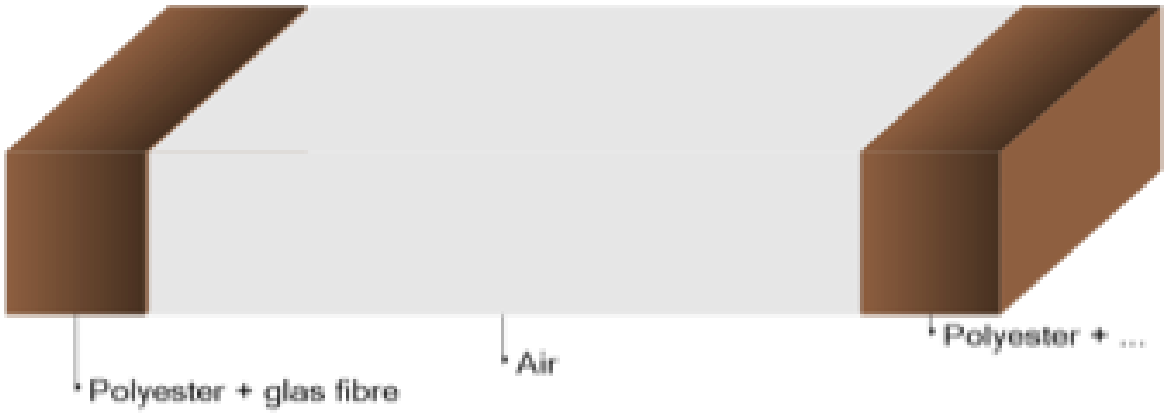
ANEXO 7 – Reporte de pared compuesta en software SoundFlow

AFMG SoundFlow Report

Creation date: 21/02/2014
AFMG SoundFlow Version: 1.0.10

1. Model

1.1 New Structure1*



New Structure1*

Dimension	4,0 x 2,0 [m * m]
Backing	Air
Absorber Model	Absorber
Filename	

1.1.1 Layers

Overview

Layer No.	Material	Thickness [mm]	Material Type
1	Polyester + glas fibre	60,0	Plate
2	Air	600,0	Air
3	Polyester + glas fibre	60,0	Plate

Layer 1: Polyester + glas fibre

F.P.Mechel, "Formulas of Acoustics" Springer 2002, p459

Thickness [mm]	60,0
Material Type	Plate
Density [kg/m³]	2200,0
Young's Modulus [GPa]	11,500
Poisson's Ratio	0,25
Bending Loss Factor	0,02

Layer 2: Air

Thickness [mm]	600,0
Material Type	Air
Temperature [°C]	20,0

Relative Humidity [%]	**40,0**
Pressure [hPa]	**1013,3**

Layer 3 : Polyester + glas fibre

F.P.Mechel, "Formulas of Acoustics" Springer 2002, p459

Thickness [mm]	**60,0**
Material Type	**Plate**
Density [kg/m³]	**2200,0**
Young's Modulus [GPa]	**11,500**
Poisson's Ratio	**0,25**
Bending Loss Factor	**0,02**

2. Results

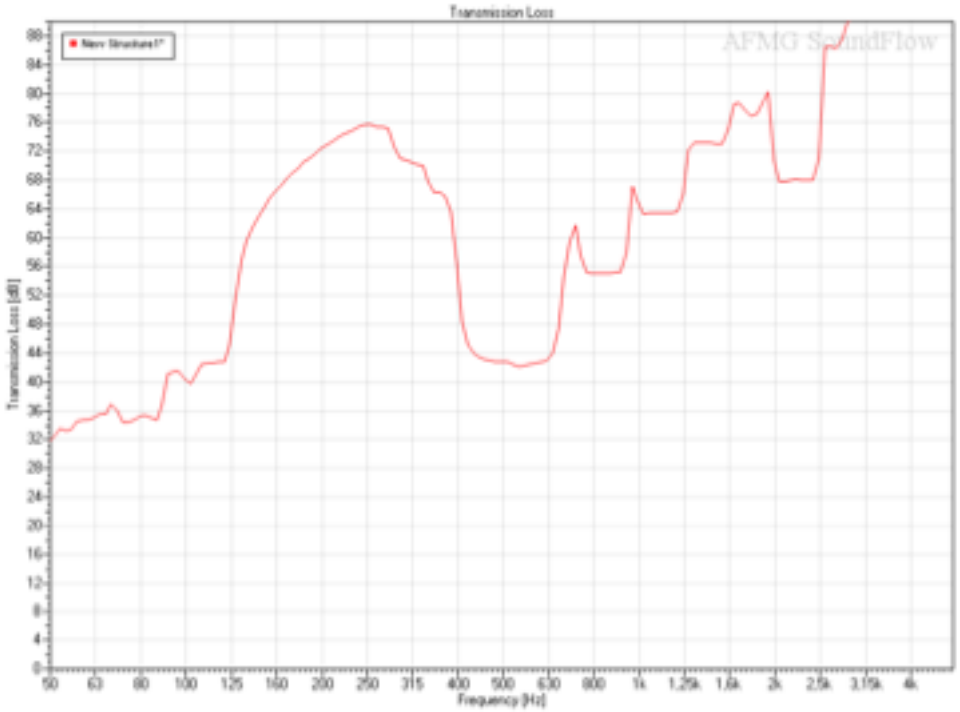
2.1 Broadband Quantities

Diffuse field incidence: 0° - 85°

Structure	ALPHAw	NRC	Rw	C	Ctr	C 50-5000	Ctr 50-5000	STC
New Structure1*	0,00	0,00	54	-2	-4	-1	-6	56

2.2 Transmission Loss

Direction of incidence	Diffuse field (0° - 85°)
Frequency resolution [Octave]	1/24
Frequency smoothing [Octave]	1/3



Transmission Loss

1/3 Octave Band Data	
Frequency [Hz]	New Structure1*
50	31,81
63	35,12
80	35,28
100	40,48
125	45,16
160	66,42
200	72,31
250	75,79
315	70,53
400	56,09
500	42,88
630	42,90
800	55,14

1000	65,22
1250	66,08
1600	75,05
2000	70,67
2500	71,01
3150	92,79
4000	90,64
5000	108,12