



**UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**

Estudio y diseño para el reacondicionamiento de áreas hospitalarias de Lima para cumplir los estándares de calidad ambiental de ruido utilizando un software de modelamiento acústico

**TESIS**

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

**AUTORES**

Espinoza Infantes Raphael Marcos (0000-0002-9860-9345)

Sotomayor Córdor Juan Alonso (0000-0001-7728-9699)

**ASESORA**

Ventura Barrera Carmen Luz (0000-0003-0603-9777)

**Lima, 21 junio de 2021**

## **DEDICATORIA**

Dedicamos este trabajo a Dios por darnos la vida, todo lo que tenemos, por ser como somos y cuidarnos de todo mal en todo momento.

Dedicamos nuestra tesis a nuestros jefes superiores de la empresa **ESTREMADOYRO Y FASSIOLI y JE CONSTRUCCIONES GENERALES** que nos apoyaron con los horarios y permisos para poder estudiar.

A nuestros familiares que siempre nos brindan su amor, comprensión y paciencia hacia nuestra persona que con su apoyo incondicional nos enseñaron que hay que seguir adelante, que siempre hay oportunidades y que no nos debemos rendir nunca a pesar de los obstáculos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a nuestra asesora que nos encaminó para la culminación de este documento, a nuestros compañeros y familiares por su constante apoyo a darnos aliento y a nuestras parejas por su paciencia y comprensión.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal el estudio de los niveles de ruido dentro de los hospitales, específicamente en las áreas de recuperación del Hospital del Niño, así como una propuesta para la reducción de los niveles de ruido. La medición de los niveles de ruido se efectuó en los corredores aledaños a los ambientes de recuperación, estas mediciones se realizaron con un sonómetro calibrado adecuadamente. De esta forma fue posible la determinación de los niveles de ruido máximo y su distribución en el horario diurno. La determinación de los niveles de ruido dentro de los ambientes de recuperación no fue posible, pues estos se encontraban en uso, durante el desarrollo del trabajo de investigación; sin embargo, se determinó la distribución espacial de los niveles de ruido mediante el modelamiento de la presión sonora, usando el software SoundPLAN. Finalmente, se propuso la colocación de paneles de corcho de  $e=20$  mm, como una técnica que permita la reducción de los niveles de ruido dentro los ambientes de recuperación. Los resultados de las mediciones mostraron que los niveles de ruido pueden alcanzar los 79.4 dBA, en los corredores aledaños a las áreas de recuperación, mientras que los niveles de ruido alcanzaron los 55 dBA, dentro de los mismos, además, el uso de paneles de corcho permitió la reducción del ruido hasta en un 21%.

Palabras clave.

Ruido, paneles acústicos, sonómetro, SoundPLAN.

## **ABSTRACT**

The main objective of this research work was to study noise levels within hospitals, specifically in the recovery areas of the “Hospital del Niño”, as well as a proposal for the reduction of noise levels. The measurement of noise levels was made in the corridors near the recovery environments, this was done by means of a properly calibrated sound level meter. In this way it was possible to determine the maximum noise levels and their distribution during the day. The determination of the noise levels within the recovery environments was not possible, since they were in use during the development of the research work; however, the spatial distribution of the noise levels was determined by modeling the sound pressure, using the SoundPLAN software. Finally, the placement of 20 mm thick cork panels was proposed as a technique that allows the reduction of noise levels within recovery environments. The results of the measurements showed that the noise levels can reach 79.4 dBA, in the corridors surrounding the recovery areas, while the noise levels reached 55 dBA, within them, in addition, the use of panels of cork allowed noise reduction by up to 21%.

### Keywords

Noise, acoustic panels, sound level meter, SoundPLAN.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
1 CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	20
1.1 Antecedentes .....	20
1.2 Realidad problemática .....	27
1.3 Formulación del problema .....	31
1.4 Hipótesis .....	31
1.5 Objetivos .....	31
1.6 Objetivo General.....	31
1.7 Objetivos Específicos.....	32
1.8 Indicadores de logro de los objetivos.....	32
1.9 Descripción del contenido.....	32
2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	34
2.1 El ruido.....	34
2.2 Fuentes de ruido.....	35
2.2.1 Tránsito vehicular .....	35
2.2.2 Ruido industrial .....	35
2.2.3 Construcción y servicios.....	36
2.2.4 Actividades de Ocio.....	36
2.2.5 Multitud de personas hablantes .....	36
2.3 Tipos de ruido .....	36

2.3.1	Ruido continuo .....	37
2.3.2	Ruido intermitente .....	37
2.3.3	Ruido de impulsivo.....	38
2.3.4	Ruido tonal .....	39
2.3.5	Ruido de baja frecuencia .....	40
2.3.6	Ruido blanco.....	41
2.3.7	Ruido Rosa .....	41
2.4	Reverberación del ruido .....	42
2.5	Parámetros de ruido .....	43
2.5.1	Nivel de Presión Sonora Continua Equivalente con Ponderación A (Lp,A,eqT). 43	
2.5.2	Nivel de Presión Sonora Máximo (LAmáx ó NPS máx.).....	44
2.5.3	Nivel de Presión Sonora Mínimo (Lamin ó NPS min).....	44
2.5.4	Nivel de Exposición al ruido ponderado A normalizado para la jornada de 8 h; Nivel diario de exposición al ruido (Lex,8h) .....	44
2.5.5	Nivel de Presión Sonora de pico con ponderación C,Lp,Cpico. ....	45
2.5.6	Nivel Percentil (LN). ....	46
2.6	Propagación del ruido ambiental .....	46
2.6.1	Tipos de fuente .....	47
2.6.2	Barreras.....	48
2.6.3	Atenuación atmosférica .....	49

2.6.4	Viento y temperatura .....	49
2.6.5	Efectos de terreno .....	50
2.6.6	Ruido en el receptor.....	51
2.6.7	Reflexión .....	51
2.6.8	Ventanas Abiertas y Cerradas.....	51
2.7	Legislación nacional .....	51
2.8	Materiales y propiedades .....	54
2.8.1	Materiales con estructura reflectante .....	55
2.8.2	Propiedades generales de los aislantes .....	56
2.8.3	Clasificación de los materiales aislantes .....	56
3	CAPÍTULO III: MATERIAL Y MÉTODOS .....	73
3.1	Material .....	73
3.1.1	Población .....	73
3.1.2	Muestra .....	73
3.2	Método .....	74
3.2.1	Procedimiento .....	74
3.2.2	Nivel de la investigación .....	75
3.2.3	Diseño de la investigación .....	76
3.2.4	Variables de estudio y operacionalización .....	76
3.3	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	78
3.3.1	Imágenes satelitales de Google maps del área de estudio .....	78
3.3.2	Formato de medición de cantidad de personas y niveles de ruido .....	78



3.3.3	Herramientas manuales.....	78
3.3.4	Protocolo nacional de monitoreo de ruido ambiental.....	78
3.3.5	Cámara fotográfica .....	78
3.3.6	App sound meter para android.....	78
3.3.7	Audio frequency counter .....	78
3.3.8	Sonómetro modelo hd600 marca extech .....	79
3.4	Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	80
3.4.1	Software Revit .....	80
3.4.2	Sketchup .....	80
3.4.3	Software arcgis .....	81
3.4.4	Software SoundPLAN .....	81
3.4.5	Software Microsoft office 2010.....	82
4	CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE MEJORA.....	83
4.1	Identificar las fuentes de ruido.....	83
4.2	Realizar levantamiento arquitectónico del ambiente y tomar mediciones de niveles de ruido	83
4.3	Identificar los puntos de filtración de ruido .....	84
4.4	Reacondicionamiento de los ambientes implementando materiales acústicos .....	84
5	CAPÍTULO V: RESULTADOS .....	85
5.1	Resultados de acuerdo al primer objetivo .....	85
5.2	Resultados de acuerdo al segundo objetivo .....	86
5.2.1	Mediciones de los niveles de ruidos .....	90

5.2.2	Modelamiento de la propagación del ruido .....	98
5.3	Resultados de acuerdo con el tercer objetivo.....	104
5.3.1	Propuesta de aislamiento acústico .....	104
6	CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN .....	117
6.1	Verificación.....	117
7	CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES .....	122
8	CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES .....	125
9	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	127
10	ANEXOS.....	131
10.1	Aparatos fotométricos 01 .....	132
10.2	Aparatos fotométricos 02 .....	133
10.3	Formato de mediciones .....	134
10.4	Paneles fotográficos .....	135

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coeficientes de absorción acústica de materiales. Adoptado de acústico. Fuente: Adaptado de “Acústico”, por Cibel, 2018 .....	64
Tabla 2: Coeficientes de absorción obtenidos experimentalmente, en función de las frecuencias. Fuente: An improved reverberation formula, por Arau, 1998 .....	70
Tabla 3: Coeficiente de absorción típicos en materiales acústicos disponibles en el mercado, Fuente: Tang et, al 2018 .....	71
Tabla 4: Definiciones operacionales de variables en estudio de emisión de ruido ambiental Fuente: Elaboración propia .....	76
Tabla 5: Definiciones operacionales de variables en estudio de receptores de ruido ambiental. Fuente propia .....	76
Tabla 6: Niveles de ruido monitoreados en el hospital Loayza. Fuente: Elaboración propia.....	95
Tabla 7: Niveles de ruido monitoreados en el hospital Dos de Mayo. Fuente: Elaboración propia .....	96
Tabla 8: Máximos niveles de ruido presentes en los tres hospitales y las reducciones logradas. Fuente: Elaboración propia .....	116
Tabla 9: Niveles de ruido alcanzados con las mejoras propuestas. Fuente: Elaboración propia .....	117

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Panel Acústico Fuente: Farrehi, Brahmajee y Mojtaba, 2015. This sound acoustic panel is 36×96 inches and thickness measured 3/8 inch with overall depth of 11 inches. Custom panel. ....	23
Figura 2: Hospital docente Belén de Lambayeque. Fuente: Idrogo (2018) .....	24
Figura 3: Evaluación rápida de los niveles de ruido en Lima Metropolitana. Fuente: Sistema Nacional de Información Ambiental .....	28
Figura 4: Niveles de ruido en los hospitales de Lima Metropolitana. Fuente: Elaboración propia .....	29
Figura 5: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido. Fuente: Ordenanza N°410-MSI – guiado por OMS .....	30
Figura 6: Cantidad de puntos de medición por tipo zona de aplicación que exceden los ECA ruido. Fuente: Dirección de Evaluación - (OEFA, 2016).....	31
Figura 7: Ruido Compuesto por ondas desordenadas. Fuente: Adaptado de “Introducción al sonido y la acústica”, por Polanco, 2000.....	35
Figura 8: Frecuencia continua producido por el ruido. Fuente: Adaptado de Sound & Vibration Measurement A/S, por Brüel & Kjær, 2000 .....	37
Figura 9: Ruido producido por Aviones y alarma. Fuente: Adaptado de Sound & Vibration Measurement A/S, por Brüel & Kjær, 2000.....	38
Figura 10: Ruido producido por Explosivos. Fuente: Adaptado de Sound & Vibration Measurement A/S, por Brüel & Kjær, 2000.....	38
Figura 11: Ruido producido por ventiladores bombas. Fuente: Adaptado de Sound & Vibration Measurement A/S, por Brüel & Kjær, 2000 .....	40

Figura 12: Ruidos de bajo frecuencia producido por motores Diesel. Fuente: Adaptado de Sound & Vibration Measurement A/S, por Brüel & Kjær, 2000 .....	41
Figura 13: Ruido blanco y ruido rosa. Fuente: Adaptado de Sound & Vibration Measurement A/S, por Brüel & Kjær, 2000.....	41
Figura 14: Fenómeno de la reverberación. Fuente: Adaptado de Sound & Vibration Measurement A/S, por Brüel & Kjær, 2000 .....	42
Figura 15: Fuente puntual. Fuente: Adaptado de Sound & Vibration Measurement A/S, por Brüel & Kjær, 2000 .....	47
Figura 16: Fuente lineal. Fuente: Adaptado de Sound & Vibration Measurement A/S, por Brüel & Kjær, 2000 .....	48
Figura 17: Barreras. Fuente: Adaptado de Sound & Vibration Measurement A/S, por Brüel & Kjær, 2000 .....	498
Figura 18: Viento y temperatura. Fuente: Adaptado de Sound & Vibration Measurement A/S, por Brüel & Kjær, 2000.....	50
Figura 19: Determinación de la forma de una superficie reflectante. Fuente: Adaptado de Sound & Vibration Measurement A/S, por Brüel & Kjær, 2000 .....	54
Figura 20: Poliestireno extruido. Fuente: Adaptado de DANOSA, 2021 .....	587
Figura 21: Poliuretano. Fuente: Adaptado de DANOSA, 2021 .....	598
Figura 22: Colocación de lana de vidrio. Fuente: Adaptado de HyN Empaquetaduras e Importaciones SAC, 2021 .....	609
Figura 23: Lana de Roca. Fuente: Adaptado de pisos.com, 2021 .....	60
Figura 24: Vidrio Celular. Fuente: Adaptado de DANOSA, 2021 .....	621
Figura 25: Corcho aglomerado expandido. Fuente: Adaptado de DANOSA, 2021 .....	62
Figura 26: Fibra de madera. Fuente: Adaptado de DANOSA, 2021.....	63
Figura 27: Fibra de cáñamo. Fuente: Adaptado de AISLA GRANADA, 2021 .....	62

Figura 28: Propagación del ruido a través el espacio y de las superficies. Fuente: Lu et. al (2018). .....	677
Figura 29: Emisión de una fuente de ruido y las sucesivas reflexiones que generan la reverberación. Fuente: <i>Lu et. al (2018)</i> .....	67
Figura 30: Reflexión de las ondas sonoras en un muro rígido. Fuente: <i>Lu et. al (2018)</i> .....	68
Figura 31: App de Medidor de Frecuencia. Fuente: Adaptado de DANOSA, 2021 .....	78
Figura 32: Sonómetro modelo HD600. Fuente: Adaptado de Extech, 2021 .....	79
Figura 33: Programa Revit. Fuente: Adaptado de Autodesk, 2021 .....	80
Figura 34: Programa Sketchup. Fuente: Adaptado de Autodesk, 2021 .....	80
Figura 35: Sistemas de información geográfica ArcGIS. Fuente: Adaptado de Google Imagen .....	81
Figura 36: Modelamiento de ruido. Fuente: Adaptado de SoundPLAN .....	82
Figura 37: Ubicación del Instituto Nacional de salud del Niño. Fuente: Elaboración propia .....	86
Figura 38: Ubicación del Instituto Nacional de salud del Niño. Fuente: Elaboración propia .....	86
Figura 39: Zona de hospitalización Pabellón II Medicina C del Instituto Nacional de salud del Niño. Fuente: Elaboración propia.....	87
Figura 40: Hall de circulación Pabellón II Medicina C del Instituto Nacional de Salud del Niño. Fuente: Elaboración propia.....	88
Figura 41: Puntos de medición de ruido en hall de circulación hospitalización del Instituto Nacional de Salud del Niño. Fuente: Elaboración propia. ....	89
Figura 42: Puntos de medición del ruido dentro la zona norte de cuidados intermedios y hospitalización del Instituto Nacional de Salud del Niño. Fuente: Elaboración propia. ....	90

Figura 43: Niveles de ruido registrados en la zona sur del sector de hospitalización del hospital de niño. Fuente: Elaboración propia. ....	91
Figura 44: Niveles de ruido a diferentes horas del día, medidas en el punto P1 del hall de circulación zona de hospitalización. Fuente: Elaboración propia. ....	92
Figura 45: Niveles de ruido a diferentes horas del día, medidas en el punto P2 del hall de circulación zona de hospitalización. Fuente: Elaboración propia. ....	92
Figura 46: Niveles de ruido a diferentes horas del día, medidas en el punto P3 del hall de circulación zona de hospitalización. Fuente: Elaboración propia. ....	94
Figura 47: Niveles de ruido a diferentes horas del día, medidas en el punto P4 del hall de circulación zona de hospitalización. Fuente: Elaboración propia. ....	94
Figura 48: Niveles de ruido presentes en el hospital Loayza. Fuente: Elaboración propia.....	96
Figura 49: Niveles de ruido monitoreados en el hospital Dos de Mayo. Fuente: Elaboración propia.....	97
Figura 50: Geometrías del Pabellón II – Medicina C de la zona de hospitalización del Hospital de niño en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia. ....	98
Figura 51: Modelamiento del ambiente de la zona de hospitalización del Hospital de niño en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia. ....	99
Figura 52: Generación de fuentes y puntos de recepción de ruido en la zona aledaña en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia. ....	101
Figura 53: Generación de mapa de ruido actual dentro de los ambientes de interés, vista en planta en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia.....	102
Figura 54: Sección longitudinal del mapa de ruido actual dentro de los ambientes de interés, vista de corte en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia. ....	102

Figura 55: Representación isométrica del mapa de ruido actual dentro de los ambientes de interés, vista 3D en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia. ....	1033
Figura 56: Sistema de vidrio insulado empleado para la primera propuesta. Fuente: Fuente: Adaptado vidriocristales, 2021.....	104
Figura 57: Generación de mapa de ruido empleando ventanas de vidrio insulado, vista en planta en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia.....	105
Figura 58: Sección longitudinal del mapa de ruido empleando ventanas de vidrio insulado, vista de corte en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia. ....	106
Figura 59: Representación isométrica del mapa de ruido empleando ventanas de vidrio insulado, vista 3D en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia. ....	106
Figura 60: Puerta contraplacada de madera. Fuente: Adaptado de Ciapesa sac, 2021.....	107
Figura 61: Generación de mapa de ruido empleando ventanas de vidrio insulado y puertas contraplacadas en pasadizo de ingreso, vista en planta en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia.....	108
Figura 62: Sección longitudinal del mapa de ruido empleando ventanas de vidrio insulado y puertas contraplacadas en pasadizo de ingreso, vista de corte en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia.....	108
Figura 63: Representación isométrica del mapa de ruido empleando ventanas de vidrio insulado y puertas contraplacadas en pasadizos de ingreso, vista 3D en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia. ....	109
Figura 64: Paneles de corcho. Fuente: Adaptado de CORK PERU, 2021 .....	110
Figura 65: Generación de mapa de ruido empleando ventanas de vidrio insulado y paneles de corcho en pasadizo de ingreso, vista en planta en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia.....	111



Figura 66: Sección longitudinal del mapa de ruido empleando ventanas de vidrio insulated y paneles de corcho en pasadizo de ingreso, vista de corte en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia.....	111
Figura 67: Representación isométrica del mapa de ruido empleando ventanas de vidrio insulated y paneles de corcho en pasadizos de ingreso, vista 3D en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia.....	112
Figura 68: Propiedades de los materiales existentes a través de la interfaz gráfica. Fuente: Elaboración propia.....	1143
Figura 69: Definición de materiales de la primera y segunda propuesta a través de la interfaz gráfica. Fuente: Elaboración propia.....	1154
Figura 70: Definición de materiales de la tercera propuesta a través de la interfaz gráfica. Fuente: Elaboración propia.....	1154
Figura 71: Definición de materiales de la segunda propuesta a través de la interfaz gráfica. Fuente: Elaboración propia.....	1165
Figura 72: Niveles de ruido logrados con el método propuesto. Fuente: Elaboración propia .....	118

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 .....	42
Ecuación 2 .....	44
Ecuación 3 .....	444
Ecuación 4 .....	45
Ecuación 5 .....	455
Ecuación 6 .....	663
Ecuación 7 .....	665
Ecuación 8 .....	665
Ecuación 9 .....	675
Ecuación 10 .....	686
Ecuación 11 .....	708
Ecuación 12 .....	69
Ecuación 13 .....	73

## LISTA DE SÍMBOLOS

V: es el volumen del recinto en m

$\alpha_i$ : el coeficiente de absorción acústica de la superficie

$S_i$ : medida ésta en m<sup>2</sup>.

P0: valor de referencia, es 20  $\mu$ Pa (micro pascal).

Lp,A,e: es el nivel de presión sonora continuo

Te: es la duración efectiva, en horas, de la jornada laboral.

To: es la duración de referencia, To= 8h

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta la realidad problemática o situación que motiva el estudio, así como la formulación del problema, los objetivos de la investigación y la hipótesis de la investigación. Así mismo, se presentan los antecedentes de la investigación, es decir, un grupo de investigaciones previas a este trabajo.

### 1.1 Antecedentes

Existen diversos estudios que señalan el impacto que genera el ruido, los olores y contexto ambiental en la recuperación de pacientes de las diferentes áreas. Uno de los primeros estudios evaluados es el del autor Jaime Luginnah, quien hizo un recuento de estudios anteriores relacionados, en el cual evaluó los niveles de ruido y de molestia en los pacientes. Mediante encuestas telefónicas y en línea, el autor reunió una cantidad de variables a evaluar. La muestra del estudio fue de 603 personas, de las cuales el 53% fueron realizadas por teléfono y el 47% vía web. Esta encuesta evaluó qué tanto afecta al ser humano la presencia del ruido, con ello se obtuvo las diferentes dimensiones de molestia. Las escalas de medición fueron colocadas como el ruido del tráfico que molesta mucho, poco, moderadamente o nada. Los resultados de este análisis experimental dieron cuenta que los niveles de molestia están relacionados a qué tanto interfiere el ruido en las actividades normales de la persona. Del total de encuestados, se puede dar cuenta que más del 87% manifestaron sensación de molestia ante la contaminación por ruido, por lo que se puede afirmar que existe un efecto negativo en las personas. Además, las personas que viven en zonas con mayores niveles de privación presentaron un efecto negativo en la salud física. Por lo que se puede asociar la contaminación por ruido con factores relacionados con la salud.

El segundo estudio evaluado, corresponde a un análisis realizado por Paul Hauptman, quien evaluó el impacto que genera el ruido en los pacientes adultos hospitalizados. Para ello, es

necesario especificar que los pacientes tomados como muestra de estudio son aquellos que presentaron como enfermedad latente una insuficiencia cardiaca. Por ello, el autor se enfocó en precisar la importancia de la tranquilidad en las habitaciones de los pacientes. La Organización Mundial de Salud (OMS) recomienda que los niveles permitidos de ruido en las habitaciones de los hospitales sean de 30 dB. Sin embargo, estas cifras no se presencian en la realidad. Hauptman señala que los niveles de ruido en un hospital pueden variar, por ejemplo, solo en las salas de cirugía, lugar donde se presenció una menor contaminación por ruido, alcanza los 42 dB. Por lo que, una sala de cuidados intensivos, lugar donde se encuentran los pacientes de mayor cuidado y riesgo, presentó un nivel de ruido de 67 dB. Estas cifras muestran que ni en los lugares donde se encuentran los pacientes más críticos se puede cumplir con lo recomendado por la OMS.

El autor señala que los pacientes en estudio tienen más de 50 años y se excluyeron aquellos que presentaron algún tipo de trastorno de sueño como apnea obstructiva del sueño. Para evaluar los datos tomados, el autor utilizó estadística descriptiva con modelos multivariantes de regresión lineal para controlar las variables como raza, edad y sexo. Asimismo, cabe precisar que los datos obtenidos fueron tomados específicamente durante las horas de la noche.

Los resultados demostraron los valores inferidos, es decir, los pacientes presentaron un menor tiempo de sueño en el hospital, lo que a su vez repercutió en el menor IC de cada uno de estos.

“Las fuentes más comunes de interrupción del ruido reportado por los pacientes fueron conversación personal (65%), compañeros (54%), las alarmas (42%), intercomunicadores (39%) los niveles de ruido en las habitaciones de los pacientes son marcadamente superiores a los niveles recomendados y se asocia con la pérdida clínicamente significativa del sueño en los

pacientes hospitalizados. Gran parte de este ruido se atribuye a fuentes provenientes como la conversación personal en los hospitales.” (Hauptman, 2012, p. 69)

Por lo expuesto, se afirma que efectivamente existe una relación entre los niveles de ruido presentado en el interior de los hospitales con el estado de salud, en el sueño y en la satisfacción de los pacientes.

Finalmente, el tercer estudio evaluado corresponde a los autores Peter Farrehi, Brahmajee Nañnamothu y Mojtaba Navvab, quienes realizan un análisis sobre la reducción del ruido en el hospital mediante la instalación de paneles acústicos de sonido y de difusión. Los autores mencionan que el ruido ambiental es uno de los principales factores que genera estrés en los pacientes hoy en día. Por lo que, con frecuencia se ha tratado de reducir mediante la aplicación de diferentes métodos como el blindaje del paciente o alterando el comportamiento del personal. Sin embargo, estos métodos tradicionales han sido muy incómodos y han limitado mucho en las labores necesarias del personal. Por ello, Farrehi, Brahmajee y Mojtaba señalan que una opción muy interesante es la reducción del ruido mediante la utilización de paneles acústicos de sonido. Este método muy poco explorado lo que hace es reducir el ruido y no tratar de eliminarlo, lo que resulta más factible de realizar. Estos paneles estarían ubicados en los pasillos de los hospitales colocados en las paredes verticales y en el techo con el objetivo de no influir con el tránsito cotidiano de los pacientes, tal como se muestra en la Figura 1.



*Figura 1: Panel Acústico. Fuente: Farrehi, Brahmajee y Mojtaba, 2015. This sound acoustic panel is 36×96 inches and thickness measured 3/8 inch with overall depth of 11 inches. Custom panel.*

Los autores realizaron pruebas experimentales (Figura 1) sobre uno de los pasillos y tomaron muestras durante 72 horas. El resultado no fue favorable en el turno del día ya que cabe la posibilidad que en esos días el movimiento haya disminuido. Sin embargo, si se pudo ver la diferencia en el horario de la noche, ya que hubo una disminución de 6dB en las habitaciones de los pacientes respecto a las horas del día.

En los hospitales no solo los pacientes tienen un impacto sonoro si no también los trabajadores que incluyen doctores, enfermeras, auxiliares y personal administrativo. De la búsqueda en la literatura científica no se encontró ningún estudio sobre el impacto al personal. Por lo que el enfoque de esta tesis es el impacto del ruido al personal administrativo y se determinó si mediante la utilización de materiales con propiedades acústicas y técnicas se puede minimizar este impacto.

Otro trabajo relevante es el presentado por Idrogo (2018) en su tesis doctoral titulada “Niveles De Ruido Que Se Producen En El Interior Del Hospital Provincial Docente Belén De Lambayeque Y Que Generan Contaminación Acústica” presentada ante la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Este trabajo de investigación pone de relieve el impacto negativo que tienen los altos niveles de ruido en hospitales. Expone a través de una serie de datos las deficiencias existentes en la recuperación de las personas internadas debido a los niveles de ruido. Además de esto, este trabajo tiene como principal objetivo realizar las mediciones de campo de los niveles de ruido existentes en diferentes zonas del hospital provincial docente Belén de Lambayeque. Los resultados encontrados por este investigador muestran que los niveles de ruido alcanzan en el día hasta los 100 dB, en zonas críticas como Unidad de cuidados intensivos. Además, como resulta obvio, los máximos niveles de ruido se presentaron en las zonas aledañas a la vía pública, por lo que el autor recomienda extremas los cuidados en estas zonas del hospital.



*Figura 2: Hospital docente Belén de Lambayeque. Fuente: Idrogo (2018)*



Un trabajo orientado a la cuantificación de los niveles de ruido en el hospital nivel IV Carlos Alberto Seguin Escobedo, es el presentado por Esrom Medina (2019), titulado “Estudio de la Contaminación Acústica en el Servicio de Neonatología del Hospital nivel IV Carlos Alberto Seguin Escobedo, Arequipa - 2018”. Este trabajo de investigación está enfocado a medir y cuantificar los niveles de rui

dos existentes en diversas áreas del hospital Carlos Seguin (Figura 2) de la ciudad de Arequipa. La metodología empleada en este trabajo de investigación consistió en mediciones de campo con equipo de grabación y medidores de ruido. Con la finalidad de tener medidas confiables y útiles, las grabaciones se realizaron a lo largo de un mes, incluyendo tres días a la semana y en distintos horarios, los que fueron, mañana, medio día, tarde y noche. Los resultados mostraron que los niveles de ruido máximo fueron de 65dB, estos ocurrieron en la unidad de neonatos. Como se puede observar de los resultados, los máximos niveles de ruido duplican los valores recomendados por la organización mundial de salud (OMS) para el caso de hospitales, por lo que el autor recomienda la intervención en estas zonas, con la finalidad de alcanzar los niveles de ruido ideales.

## **EXPERIENCIAS INTERNACIONALES SOBRE REACONDICIONAMIENTO DEL RUIDO**

Emine Kol, PhD, Abid Demircan, MD, Abdullah Erdogan, MD, Zehra Gencer, y Hakan Erengin, implementaron una serie de medidas en una unidad de cuidados intensivos, orientadas a la minimización de los niveles de ruido dentro de este. Sus resultados fueron publicados en el paper titulado “The Effectiveness of Measures Aimed at Noise Reduction in an Intensive Care Unit”. Las medidas implementadas por estos autores consistieron en una mejor distribución de áreas de uso, educación a los trabajadores de las unidades de cuidados intensivos, así como la implementación de políticas dentro del hospital. Los resultados de este trabajo mostraron que

fue posible una reducción de ruidos del orden de 80dB, antes de la implementación de las medidas comentadas, y del orden de 60dB, después de la implantación de las medidas comentadas. Los resultados son notables, pues muestran que una adecuada gestión y educación del personal de salud, pueden minimizar considerablemente los niveles de ruido en áreas sensibles de un hospital como las unidades de cuidado intensivos.

Yinghang Chen, Dasheng Li, Donger Xu presentaron los resultados de una serie de investigación orientadas a la aplicación de materiales acústicas para minimizar considerablemente los niveles de ruido dentro de vehículos motorizados. Aunque este trabajo de investigación no centra sus esfuerzos específicamente en hospitales, los resultados obtenidos se han considerado útiles para su aplicación en el caso de unidades hospitalarias, específicamente en unidades de cuidados intensivos. Estos investigadores han propuesto el uso de los denominados materiales amortiguadores o damper materiales, en inglés. De acuerdo con los resultados presentados en estos papers, los materiales amortiguadores son capaces de absorber gran parte de la energía de vibración producida por el sonido, por lo que resulta un aislante acústico de primera calidad. De hecho, hacen referencia una pintura de este tipo que podría aplicarse en forma de spray en los interiores de la carcasa de un vehículo, logrando una gran efectividad a la hora de asilar el ruido.

Peter M Farrehi, Brahmajee K Nallamothu, Mojtaba Navva presentaron una serie de estudios orientados al uso de paneles acústicos orientados a la reducción de los niveles de ruido, sus resultados fueron publicados en el paper titulado “Reducing hospital noise with sound acoustic panels and diffusion: a controlled study”. El uso de paneles acústicos permite absorber y disipar gran parte de las ondas sonoras emitidas dentro de un hospital, o dentro del ambiente donde estas unidades se ubiquen. De acuerdo con los resultados presentados por estos investigadores, el uso de paneles acústicos logró una reducción de hasta el 50% en los niveles de ruido, por lo

que se perfila como una de las alternativas técnicas más viables encontradas en la búsqueda bibliográfica. En general, esta experiencia muestra que el uso de materiales acústicos es una opción adecuada para la minimización de los niveles de ruido dentro de unidades hospitalarias que requieren de niveles de ruido por debajo de ciertos límites.

Ángel Sandro Díaz Carmona y Gina Jarmila Taco Pari presentaron un trabajo de investigación orientado a la reducción de los niveles de ruido dentro de ambientes de trabajo. Para esto, los autores usaron materiales acústicos denominadas barreras acústicas. Los resultados de su trabajo se presentaron en la tesis de grado titulada Evaluación y propuesta de atenuación de los niveles de ruido mediante barreras absorbentes en una empresa de alimentos balanceados, Arequipa2018”.

## **1.2 Realidad problemática**

En la actualidad, se puede señalar que el ruido ambiental se ha convertido en un problema psicosocial que puede afectar la salud de las personas. Según la OMS, el ruido por tráfico es considerado uno de los problemas más graves que afectan la salud pública de los ciudadanos, incluso en niveles bajos.

En la actualidad el ruido es uno de los problemas de contaminación más importantes existentes, ya que debido al estilo de vida moderno, gran cantidad de las actividades humanas conllevan el uso de algún tipo de herramienta mecánica, que usualmente genera una gran cantidad de ruido. De hecho, algunas de las actividades humanas más populares, y de mayor generación de ruido son las discotecas, las obras de construcción, los vehículos de combustión interna, entre otros (OSMAN, 2009).

Según estudios realizados por diferentes autores como Barregard, Fuks y Willich, se puede identificar que este problema va más allá de causar molestias, ya que puede provocar problemas de salud relacionados con el estrés, problemas cardiovasculares como la hipertensión y el

infarto de miocardio e incluso a largo plazo se ha demostrado incidencia con problemas de salud relacionados con la diabetes mellitus tipo 2.

Las personas afectadas por la depresión no sólo experimenta de menor calidad de vida debido a que sufren, sino también pueden ser incapaces de hacer frente a las tareas diarias de la vida, incluyendo la realización de actividades ocupacionales, lo que se traduce en un aumento de la licencia por enfermedad (Wedegaertner, 2013).

Esta problemática mundial también se puede ver reflejado en la ciudad de Lima. En el siguiente mapa (Figura 3) se puede apreciar la contaminación sonora que provoca el alto tráfico urbano ocasionado por el exceso de vehículos en la capital limeña.

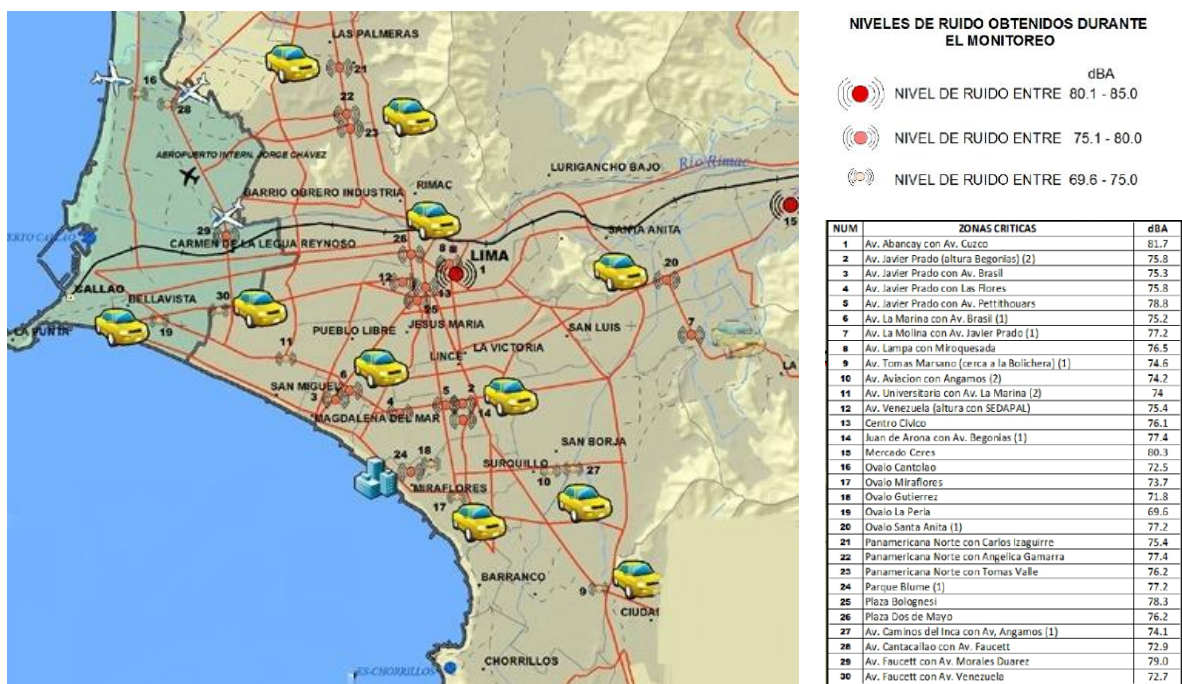


Figura 3: Evaluación rápida de los niveles de ruido en Lima Metropolitana. Fuente: Sistema Nacional de Información Ambiental

La alta contaminación por ruido visualizada en la imagen anterior ha provocado no sólo problemas de estrés en los ciudadanos, sino que ha influido en la recuperación de pacientes

hospitalizados, ya que este ruido externo no puede ser controlado así el paciente se encuentre en una habitación cerrada, en ello radica la importancia de nuestro problema de investigación, con el análisis del nivel de ruido de los hospitales tanto en el horario diurno como nocturno. Ante esto, se realizaron mediciones experimentales sobre los niveles de ruido en tres hospitales de MINSA en Lima Metropolitana. El primero fue el Hospital Arzobispo Loayza, el segundo el Hospital Dos de Mayo, por último, el Hospital del Niño (Figura 4).

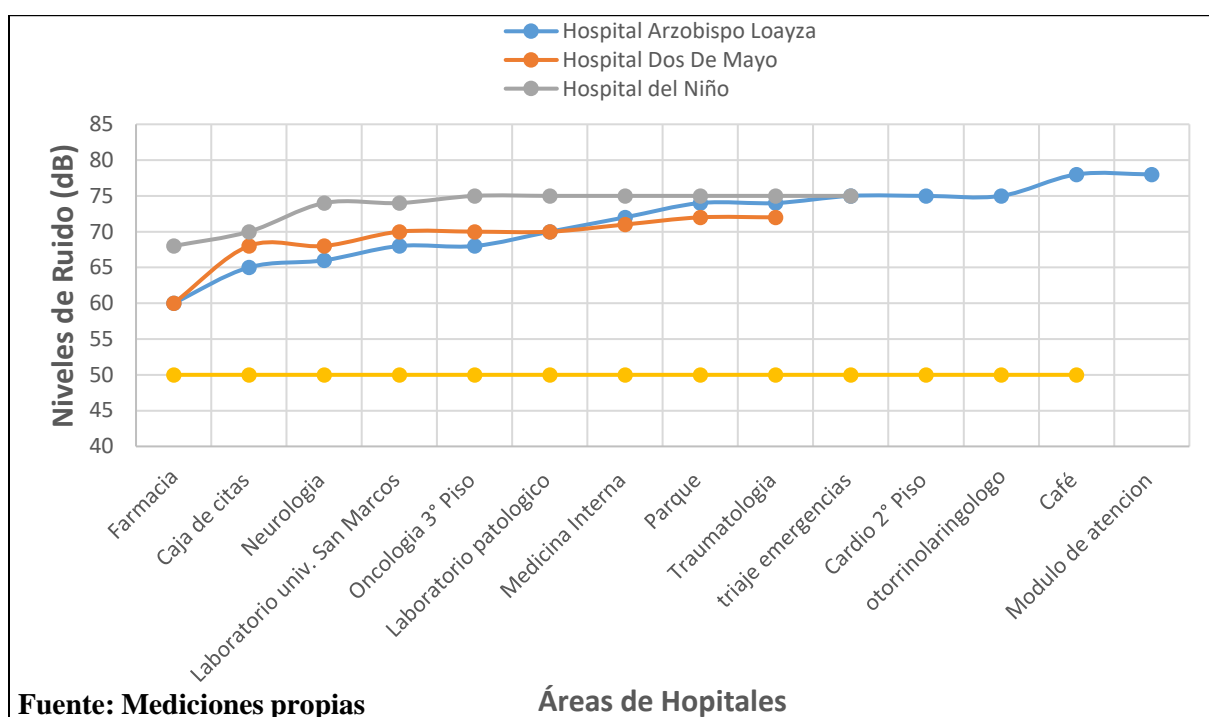


Figura 4: Niveles de ruido en los hospitales de Lima Metropolitana. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Figura 4, los niveles de ruido superan los niveles Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de ruido. De acuerdo con lo establecido en el Decreto Supremo N° 085-2003 de la Presidencia del Consejo de Ministros (PCM), los hospitales se encuentran en zonas de protección especial (establecimientos de salud, establecimientos educativos, asilos y orfanatos) por ende los niveles de ruido en el horario nocturno no pueden exceder los 50 decibelios y en el horario diurno no pueden exceder los 40 decibelios. Posteriormente la

municipalidad de San Isidro aprobó una ordenanza municipal para que estos niveles de ruido se alineen a los niveles permitidos según a la OMS, en la Figura 5 se presenta el cuadro publicado por la Ordenanza N°410-MSI publicado el 26 de noviembre del 2015.

USO DE LA EDIFICACIÓN	TIPO DE RECINTO	Valores (LAeqT) expresados en dBA	
		Período Día	Período Noche
Vivienda o uso residencial	Zonas comunes (patios interiores, piezas habitables, pasillos, aseo, cocina)	45	35
	Zonas de dormitorios	40	30
Hospitalario	Zonas comunes	45	35
	Zonas de dormitorios	40	30
Educativo	Aulas	40	40
	Salas de lectura	35	35
Recreativo y espectáculos	Cines y teatros	35	35
	Bingos y salas de juego	45	45
Comerciales	Bares y establecimientos comerciales	45	45
Administrativos y oficinas	Despachos profesionales	40	40
	Oficinas	45	40

*Figura 5: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido. Fuente: Ordenanza N°410-MSI – guiado por OMS*

Uno de los organismos vinculados con la contaminación sonora y auditiva es, sin duda alguna, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). Este organismo realizó una campaña de medición en el 2015, que revelan de los ciento noventa y cuatro (194) puntos de medición el 90% exceden los valores en dBA de los Estándares Calidad Ambiental (ECA) de ruido, tal como se aprecia en la Figura 6.

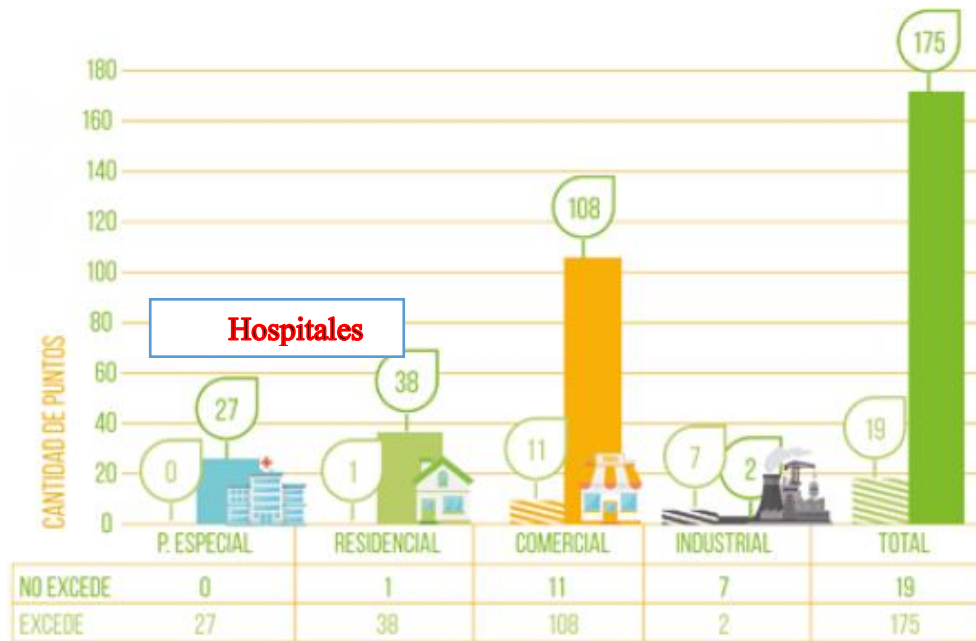


Figura 6: Cantidad de puntos de medición por tipo zona de aplicación que exceden los ECA ruido.  
Fuente: Dirección de Evaluación - (OEFA, 2016)

### 1.3 Formulación del problema

¿Qué mejoras acústicas es posible alcanzar en los hospitales de Lima al reacondicionar las áreas hospitalarias mediante el uso de materiales acústicos?

### 1.4 Hipótesis

El reacondicionamiento de áreas hospitalarias usando paneles de corcho en las paredes, vidrio insulado en las ventanas y paneles acústicos en las puertas, permitirá reducir los niveles de ruido en los hospitales de Lima.

### 1.5 Objetivos

#### 1.6 Objetivo General

Demostrar que el reacondicionamiento propuesto de las áreas hospitalarias permite alcanzar los Estándares de Calidad Ambiental del ruido mediante el uso de materiales con propiedades acústicas.

## 1.7 Objetivos Específicos

- Analizar las diversas fuentes de ruido que se generan en los hospitales.
- Recopilar y analizar la fundamentación teórica, forma de aplicación y los diferentes tipos de materiales acústicos según la calidad y eficiencia.
- Obtener el reacondicionamiento adecuado para cumplir con los ECA- Ruido en las áreas hospitalarias mediante el modelamiento.

## 1.8 Indicadores de logro de los objetivos

<b>Objetivos específicos</b>	<b>Indicadores de logro</b>
Analizar las diversas fuentes de ruido que se generan en los hospitales.	Entrega de la información recopilada de campo.
Recopilar y analizar la fundamentación teórica, forma de aplicación y los diferentes tipos de materiales acústicos según la calidad y eficiencia.	Entrega del marco teórico finalizado.
Obtener el reacondicionamiento adecuado para cumplir con los ECA- Ruido en las áreas hospitalarias mediante el modelamiento.	Modelar mediante el software SoundPLAN.

## 1.9 Descripción del contenido

A continuación, se detalla el contenido de la tesis:



**En el capítulo II**, se desarrolló el marco teórico y los conceptos más relevantes acerca de los materiales acústicos. Asimismo, se explicaron los diferentes tipos y aplicaciones según la necesidad requerida.

**En el capítulo III**, se desarrolló la metodología para implementar el presente trabajo de investigación. Además, se clasificó la investigación realizada, tanto por su alcance como por su tipo. Se analizó la población de estudio y se definió la muestra con criterios probabilísticos.

**En el capítulo IV**, se desarrolló el procedimiento que deberán seguir aquellos proyectos hospitalarios existentes, que presenten los mismos problemas de altos niveles de ruido.

**En el capítulo V**, se desarrollaron los resultados de las mediciones efectuadas en tres hospitales, a decir, el Instituto de Salud del Niño, el hospital Arzobispo Loayza y el hospital Dos de Mayo. Además, se muestran los resultados de la aplicación de la propuesta de reacondicionamiento. También se muestran los resultados del modelamiento de la propagación del ruido con el software SoundPLAN.

**En el capítulo VI**, se analizaron los resultados obtenidos en la sección anterior, y se contrastan estos con resultados de otros trabajos de investigación similares. Al no poder comparar directamente los casos de diferentes hospitales, se comparan los resultados en términos cualitativos.

Finalmente, se desarrolló las conclusiones y recomendaciones de la tesis de investigación.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta el estado del arte del conocimiento sobre el tema de investigación. Se empieza definiendo conceptos como el ruido, propagación, leyes de controlan la propagación de ondas sonoras en el espacio. Asimismo, se habla del concepto de reverberación mecánica y los coeficientes de absorción de los materiales.

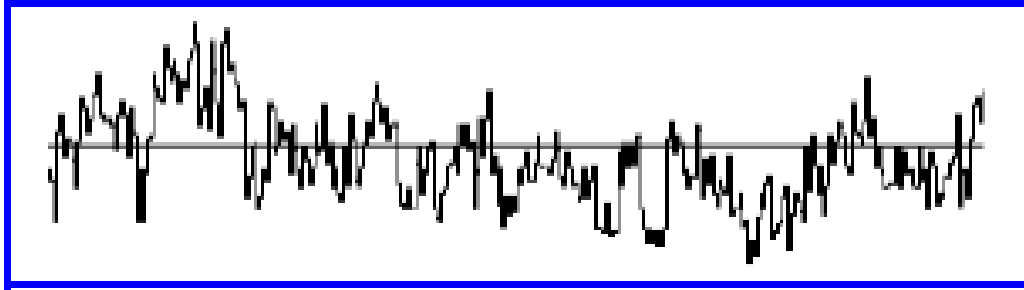
### 2.1 El ruido

El ruido es una percepción, generalmente desagradable y de complejo patrón, de las ondas sonoras. El ruido al igual que el sonido se moviliza por medio de las vibraciones mecánicas del medio circundante, en este caso la atmosfera terrestre. Tales variaciones se manifiestan como los cambios de presión causadas por encima y debajo del valor estático de la presión atmosférica (equivalentes a 105 pascales) (Harris, 1995). Las variaciones de presión se originan de diversas formas, una de ellas es debida a la excitación del aire mediante la acción de un objeto mecánico, tales como las cuerdas vocales. De hecho de acuerdo con (Harris, 1995), los sonidos son provocados por la perturbación del aires por medio de las cuerdas vocales, en el caso del ser humano.

Los principales efectos del ruido se han considerado como auditivos y extra-auditivos; los primeros están en correlación a la pérdida de la capacidad auditiva (depende de su nivel, duración y sobre todo de los dBA (nivel de presión sonora equivalente con ponderación)).

El sonido no necesariamente tiene que ser muy fuerte o elevado para ser considerado ruido. A veces, un sonido muy suave como el de abrir y cerrar una puerta con las bisagras ya desgastadas puede producir una desconcentración, pero los ruidos más fuertes son más perjudiciales. Adicionalmente, el ruido es un conjunto de sonidos mezclados y desordenados. Al visualizar las ondas del ruido se observa que no posee una longitud de

onda, frecuencia, ni amplitud constante y que se distribuye aleatoriamente unas sobre otras como se aprecia en la Figura 7.



*Figura 7: Ruido Compuesto por ondas desordenadas. Fuente: Adaptado de “Introducción al sonido y la acústica”, por Polanco, 2000*

## **2.2 Fuentes de ruido**

El ruido proviene de diferentes fuentes como el tráfico urbano, la industria, actividades de ocio y de ferrocarriles.

### **2.2.1 Tránsito vehicular**

Esta fuente de ruido representa una de las principales fuentes de contaminación sonora. Los vehículos de carga pesada o en sí más grandes son los que emiten mayor cantidad de ruido a comparación de aquellos que son pequeños y ligeros. El ruido se genera por el sonido que genera el motor y por la fricción con el suelo y el aire. Además, el ruido que generan los vehículos depende de la velocidad a la que circulen. Sin embargo, existen otras consideraciones a tomar en cuenta como la rugosidad de las ruedas y raíles, la cantidad de motores encendidos, los silbatos, altavoces y el flujo vehicular.

### **2.2.2 Ruido industrial**

El sector industrial es una de las fuentes de ruido que genera la mayor cantidad de problemas. Ello es producido, en su mayoría, por maquinarias, las cuales generan frecuencias alternantes

de sonido, componentes tonales, sonidos desagradables y disruptivos. Un ejemplo de ello son las instalaciones fijas, así como las fábricas, bombas de calor y sistemas de ventilación en tejados. Ante ello, existen leyes que protegen a los trabajadores frente a la contaminación del ruido industrial

### **2.2.3 Construcción y servicios**

El ruido generado por las construcciones es proveniente de las grúas, hormigoneras, soldaduras, martilleo y perforadoras. Asimismo, los servicios que brinda la municipalidad como lo son la limpieza de las calles y el recojo de basura también causan un ruido considerable. En el caso de los servicios como el aire acondicionado y ventilación, los sistemas de tuberías y ascensores generan un ambiente acústico incómodo tanto en el interior como exterior.

### **2.2.4 Actividades de Ocio**

Esta fuente de ruido es originada por los aparatos electrónicos como las radios, televisores, licuadoras, entre otros. El comportamiento poco respetuoso de los ciudadanos en viviendas multifamiliares como los eventos deportivos o fiestas es lo que genera el ruido en las viviendas. Las actividades de ocio como los conciertos y discotecas pueden producir altos niveles de presión sonora.

### **2.2.5 Multitud de personas hablantes**

Esta fuente de ruido es producida por la gran cantidad de personas que se encuentran en ambientes de espacios cerrados. Las personas generan ondas sonoras complejas continuamente cambiantes. Los sonidos del habla varían ampliamente tanto de nivel de presión sonora global como en contenido de la frecuencia en función del tiempo.

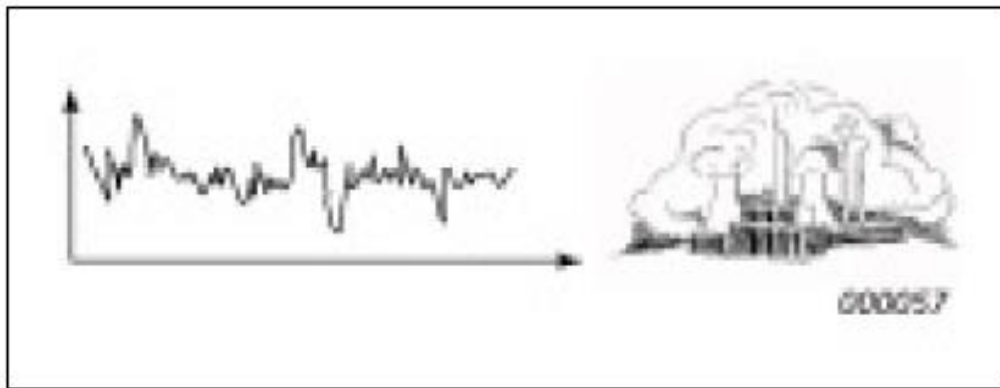
## **2.3 Tipos de ruido**

Con la finalidad de seleccionar los parámetros a medir, el equipo a utilizar y la duración de las mediciones, los tipos de ruido se pueden clasificar de la siguiente manera:

### 2.3.1 Ruido continuo

El ruido continuo es fenómeno originado por la variación periódica en el tiempo de un oscilador mecánico que termina excitando las partículas de aire de manera sostenida en el tiempo y generando lo que se conoce como ruido continuo (Brüel & Kjør, 2000).

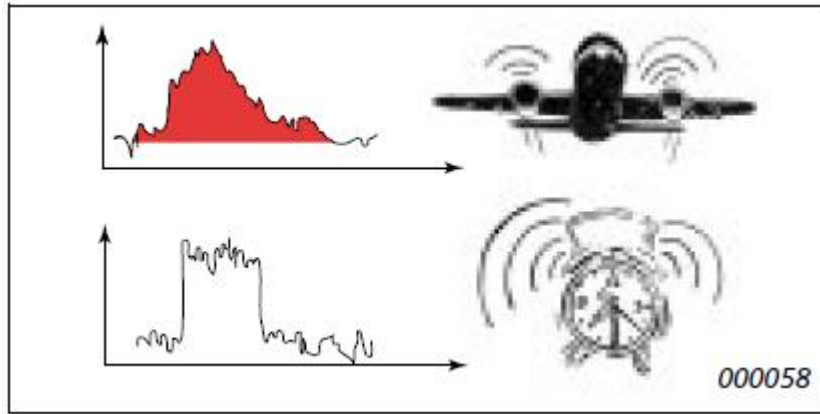
Aunque todo tipo de ruido puede ser entendido como una señal en el tiempo, otro de los parámetros que caracterizan al ruido es la amplitud máxima de este, a este parámetro se le denomina amplitud y da una medida de la cantidad de anergia que almacena una onda durante su vida útil.



*Figura 8: Frecuencia continúa producido por el ruido. Fuente: Adaptado de Sound & Vibration Measurement A/S, por Brüel & Kjør, 2000*

### 2.3.2 Ruido intermitente

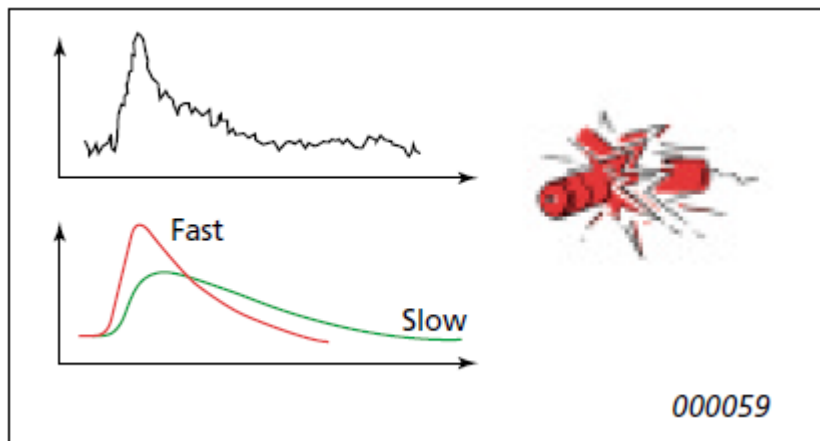
Los ruidos intermitentes son aquellos que preservan vibraciones sonoras con frecuencias de onda adecuadas y magnitudes de potencia elevadas. Algunos ejemplos claros son cuando suena la alarma de un reloj por un periodo de tiempo breve, de la misma manera puede encajar dentro de esta definición el motor de un avión durante el despegue de este Ver Figura 9.



*Figura 9: Ruido producido por Aviones y alarma. Fuente: Adaptado de Sound & Vibration Measurement A/S, por Brüel & Kjør, 2000*

### 2.3.3 Ruido de impulsivo

Este tipo de ruido se genera por explosiones, una troqueladora o pistola, como se observa en la Figura 10. Es un ruido abrupto y breve que genera mayor molestia que otros tipos de ruido. Para la cuantificación de este ruido se puede utilizar la diferencia entre un parámetro con respuesta rápida y uno de respuesta lenta. Asimismo, deberá tomarse en cuenta la tasa de repetición de cada pulso.



*Figura 10: Ruido producido por Explosivos. Fuente: Adaptado de Sound & Vibration Measurement A/S, por Brüel & Kjør, 2000*

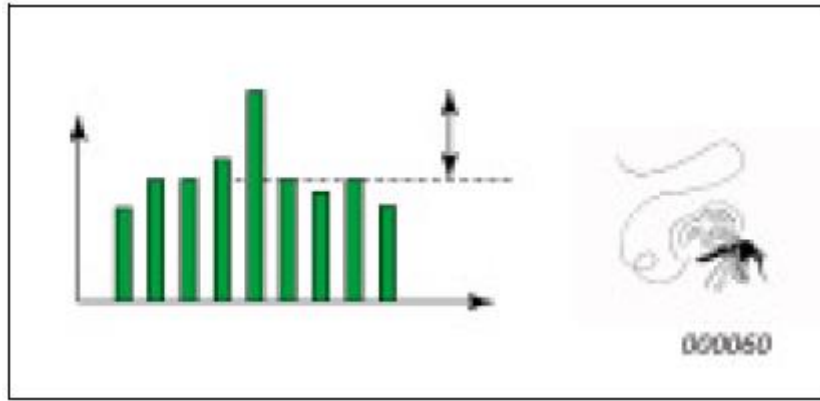
### 2.3.4 Ruido tonal

Son ruidos que son claramente audibles en tonos puros, un ejemplo de esto se muestra en la Figura 11. Se pueden detectar utilizando un analizador de espectro por tercios de octava cuando se observa que una banda de frecuencia excede en más de 5 dB a las dos bandas contiguas.

Los tonos molestos pueden verse generados de dos maneras:

- Existen una gran cantidad de máquinas dentro de las edificaciones que varían tanto en función como en tamaño. Gran parte de estas están orientadas a cumplir una serie de funciones, como el bombeo de las aguas, o funciones mecánicas orientadas a la producción. El funcionamiento de estas máquinas en general crea una serie de vibraciones en la misma máquina que después son transmitidas a la estructura, generando gran cantidad de ruido.
- También pueden generar tonos los flujos pulsantes de líquidos o gases que se producen por causa de procesos de combustión o restricciones de flujo.

Los tonos pueden ser identificados subjetivamente, escuchándolos, u objetivamente mediante el análisis de frecuencias. La audibilidad se calculó mediante la comparación de la intensidad máxima de las frecuencias dominantes sobre las frecuencias promedios instaladas tal como se muestra en la siguiente grafica.



*Figura 11: Ruido producido por ventiladores bombas. Fuente: Adaptado de Sound & Vibration Measurement A/S, por Brüel & Kjør, 2000*

### **2.3.5 Ruido de baja frecuencia**

El ruido de baja frecuencia consta de una energía acústica relevante con un margen de frecuencias entre 8 a 100 Hz, como se observa en la Figura 12. El ruido de baja frecuencias es uno de los más molestos para el ser humano y, lamentablemente, es uno de los más frecuentes y comunes durante la vida de este; siendo en la mayor parte de los casos, indispensable el uso de las máquinas que lo generan. Este tipo de ruido es generado por vehículos de combustión interna tan frecuentes en la vida del ser humano que a la fecha resultan inevitables. Algunas de tales maquinas son los motores diésel de trenes, barco e incluso cierto número de plantas de generación e energía eléctrica. Otra de las características de este ruido es su fácil propagación y diseminación por el ambiente, ya que se expande fácilmente en todas las direcciones y puede ser sentido y percibido con facilidad a muchos kilómetros desde la fuente de origen. El ruido de baja frecuencia es más engorroso de lo esperado con una medida del nivel de presión sonora ponderado A.



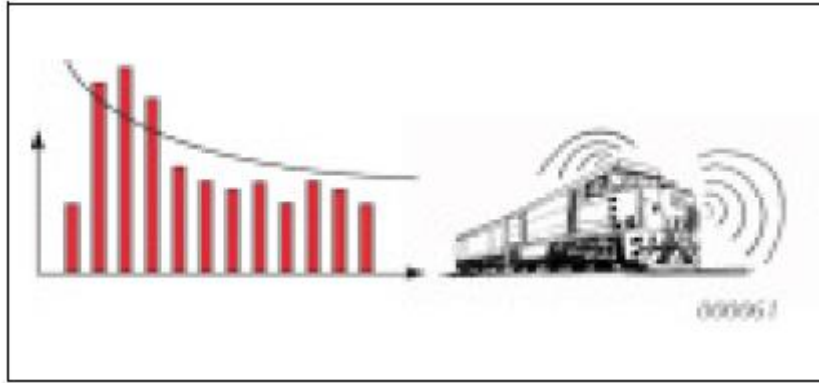


Figura 12: Ruidos de bajo frecuencia producida por motores Diesel. Fuente: Adaptado de Sound & Vibration Measurement A/S, por Brüel & Kjær, 2000

### 2.3.6 Ruido blanco

Este tipo de ruido contiene todas las frecuencias con la misma amplitud. Es un ruido que se caracteriza por presentar un aumento de 3 decibelios en la presión del sonido cada vez que se eleva la banda de octava.

### 2.3.7 Ruido Rosa

Este ruido es constante en todas las bandas de octava. Es usado en medidas de aislamiento y en laboratorio. Se caracteriza por tener una disminución de 3 decibelios en la presión del sonido cada vez que se eleva la banda de octava. Un ejemplo se muestra en la Figura 13.

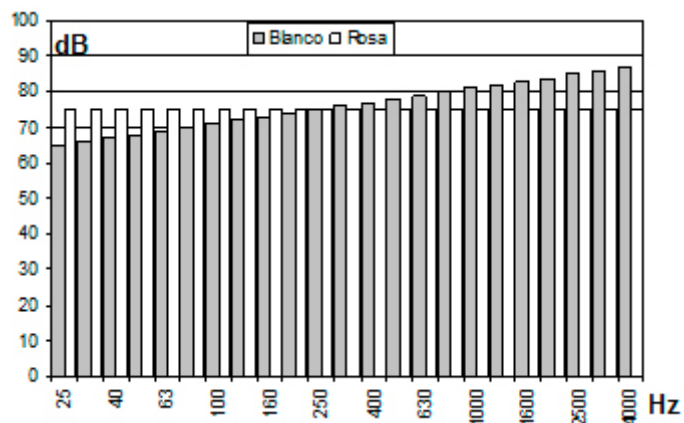


Figura 13: Ruido blanco y ruido rosa. Fuente: Adaptado de Sound & Vibration Measurement A/S, por Brüel & Kjær, 2000

## 2.4 Reverberación del ruido

De acuerdo con la física elemental, el fenómeno de reverberación es aquel que ocurre cuando una fuente puntual o distribuida de ruido emiten una vibración sonora que se extiende y prolonga a través del espacio y del aire, impactando en los obstáculos presentes una y otra vez, tal como se aprecia en la figura siguiente.

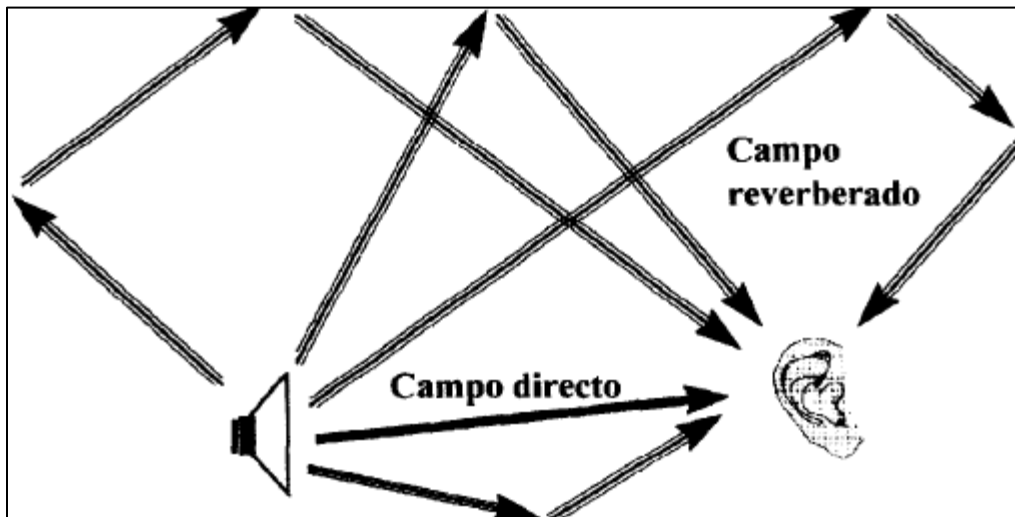


Figura 14: Fenómeno de la reverberación. Fuente: Adaptado de *Sound & Vibration Measurement A/S*, por Brüel & Kjær, 2000

De acuerdo con la literatura técnica consultada para el desarrollo de este trabajo de investigación, el tiempo de reverberación es uno de los parámetros claves en el estudio del comportamiento y difusión del ruido a nivel mecánico. Este parámetro se denota con el símbolo  $T$ , y se define como el tiempo requerido para lograr que las repeticiones generadas por la reverberación logren amplitudes de apenas un milésimo del valor inicial o el valor del emisor puntual. Una definición alternativa podría ser el tiempo en el que los niveles de presión generados por los ruidos estén en el orden de los 60 Db.

Para medir la reverberación se emplea la magnitud tiempo de reverberación. Se define este como el tiempo necesario para que la intensidad acústica de un sonido, inicialmente

estacionario, en un recinto se reduzca a una millonésima parte de su valor inicial, contando a partir del instante en que cesa su emisión. Esto se muestra en la Figura 14.

En numerosos recipientes o recintos la cantidad de reverberación resulta tan baja debido a la gran cantidad de objetos que existen y que por tanto absorben las ondas mecánicas formadas durante el proceso de reverberación. Una de las ecuaciones disponibles para el cálculo de las o estimación del tiempo de reverberación es la ecuación dada por Sabine y mostrada a continuación:

$$T = 0.163 \frac{V}{A_T} = 0.163 \frac{V}{\sum_i (\alpha_i S_i + 4mV)}$$

*Ecuación 1*

En donde **T** es el tiempo de reverberación, **V** es el volumen de la sala en m<sup>3</sup>, **A<sub>T</sub>** es la suma del área de absorción de los materiales presentes en la sala y **α<sub>i</sub>** el coeficiente de absorción acústica de la superficie, **S<sub>i</sub>** es la superficie medida ésta en m<sup>2</sup>.

## 2.5 Parámetros de ruido

En este punto conviene recordar que ya se han hablado de una serie de parámetros que describen de manera adecuada la propagación de los niveles de ruido. Algunos de ellos nos las características de las fuentes de propagación. A continuación se muestra una serie de parametros que influyen directamente en los niveles de ruido

### 2.5.1 Nivel de Presión Sonora Continua Equivalente con Ponderación A (L<sub>p,A,eqT</sub>).

Es un parámetro matemático que mide el nivel de presión esperado por una onda mecánica sonora al atravesar por una superficie, en este trabajo y los relacionados con el tema usualmente se representa por **A**, **PA** durante un intervalo de tiempo indicado de duración **T** (comenzando

en  $t_1$  y finalizando en  $t_2$ ), y el cuadrado de un valor de referencia,  $P_0$  expresado en decibeles.

En la Ecuación 2 se muestran las ecuaciones que describen este fenómeno.

$$L_{p,A,T} = L_{p,A,eqT} = 10 \lg \left[ \frac{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} PA^2(t) dt}{P_0^2} \right] dB$$

*Ecuación 2*

Donde  $L_p$  es el nivel de presión sonora, el valor de referencia,  $P_0$  es 20  $\mu$ Pa (micro pascal).

### **2.5.2 Nivel de Presión Sonora Máximo ( $L_{Amax}$ ó NPS máx.)**

Se define como la cota superior de los valores de presión sonoras obtenidas de una medición espacial durante un momento dado.

### **2.5.3 Nivel de Presión Sonora Mínimo ( $L_{amin}$ ó NPS min)**

Al igual que la presión sonora máxima este valor representa el valor mínimo de todas las mediciones efectuadas de la presión sonora ejercida por la vibración del sonido.

### **2.5.4 Nivel de Exposición al ruido ponderado A normalizado para la jornada de 8 h;**

#### **Nivel diario de exposición al ruido ( $L_{ex,8h}$ )**

Se realiza la medición durante la jornada en un puesto de trabajo, es medir directamente durante un tiempo de medición que abarque el 100% del tiempo de exposición del trabajador. (Mauricio Sánchez V., 2014). En la Ecuación 3 se muestra las relaciones obtenidas para este caso específico.

$$L_{ex,8h} = L_{p,A,eqTe} + 10 \text{Log} \left[ \frac{T_e}{T_0} \right] dB$$

*Ecuación 3*

Donde

**Lex:** Nivel de exposición al ruido.

**Lp,A,eqTe:** Es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A para Te.

**Te:** Es la duración efectiva, en horas, de la jornada laboral.

**To:** Es la duración de referencia, To= 8h (Standardization, 2009).

**Nota 1:** Si la duración efectiva de la jornada laboral, **Te**, es igual a 8h, entonces Lex 8h es igual a Lp, A, eq, 8h.

**Nota 2:** Si se desea conocer la exposición media o normalizada de varios días, se puede utilizar la Ecuación 4, mostrada a continuación.

$$Lex, 8h = 10 \log \left[ \frac{1}{X} \sum_{X=1}^X 10^{0.1 * Lex, 8h, x} \right] dB$$

*Ecuación 4*

El valor de **X** se escoge de acuerdo al propósito del proceso de promediar. Ejemplo 5 lleva a un nivel diario de exposición al ruido normalizado a una semana laborable de 5 días laborables de 8h.

### 2.5.5 Nivel de Presión Sonora de pico con ponderación C, Lp, Cpico.

Es el NPS instantáneo más alto registrado durante un intervalo de medición (impulso). A diferencia de Lmax, el Lpico se detecta independientemente de los ajustes de respuesta e índices de ponderación. En la Ecuación 5 se muestra el resultado de estas mediciones.

$$Lp, Cpico = 10 \log \frac{P_{cpico}^2}{P_o^2} dB$$

*Ecuación 5*

Donde **Lp** es el nivel de presión sonora y el valor de referencia **Po** es 20 µPa.

### **2.5.6 Nivel Percentil (LN).**

Para la duración establecida del periodo total de medición, el nivel sonoro o nivel promediado en el tiempo que es superado el X por 100 del periodo total de su medición. Salvo que se especifique lo contrario, se sobre entiende la ponderación. Así se utilizan niveles sonoros, hay que especificar la ponderación temporal, si se utilizan niveles sonoros equivalentes, hay que especificar el periodo de medición de cada muestra (Harris, 1995).

## **2.6 Propagación del ruido ambiental**

Existen muchos factores que afectan el nivel de ruido, por lo que las mediciones pueden variar hasta decenas de decibeles para el mismo origen de ruido. Algunos de los parámetros que tienen que ver de manera directa con la propagación del ruido y por tanto de su intensidad son, por ejemplo, las características de la fuente; esto tienen que ver con el hecho de que no es lo mismo un emisor puntual unidireccional que un emisor puntual multidireccional. Otro parámetro que afecta a la propagación del ruido es la presencia de obstáculos; esto es debido a que el ruido, al ser una onda mecánica, gasta gran cantidad de ruido cuando intenta cruzar medios de diferente densidad.

A continuación se listan algunos de los factores más importantes que afectan a la propagación del ruido son:

- 1) El tipo de emisor o tipo de fuente
- 2) El espacio que separa al emisor como al receptor
- 3) La capacidad de retención del ruido de la atmosfera
- 4) La velocidad y densidad del viento
- 5) Variación o gradiente de la temperatura
- 6) Presencia de objetos que obstaculizan el paso de las ondas sonoras
- 7) Absorción del terreno

- 8) Reflexiones
- 9) Humedad
- 10) Precipitación

Todos estos factores deben ser considerados para obtener resultados característicos tanto en la medida como en el cálculo.

## 2.6.1 Tipos de fuente

### 2.6.1.1 Fuente puntual

Se dice fuente puntual cuando las dimensiones de una fuente de ruido son pequeñas en relación a la distancia al oyente (ver Figura 15). La propagación de la energía sonora se percibe en forma esférica, por lo tanto, la presión del sonido es la misma en todos los puntos, estos disminuyen en 6 dB al doblar la distancia de propagación. Esto se mantendrá constante hasta que los efectos del suelo y la atenuación del aire influyan notoriamente en el nivel.

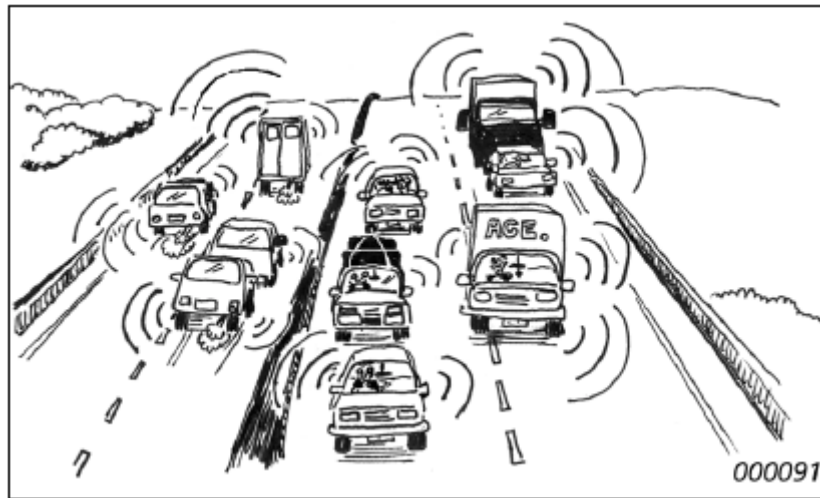


*Figura 15: Fuente puntual. Fuente: Adaptado de Sound & Vibration Measurement A/S, por Brüel & Kjær, 2000*

### 2.6.1.2 Fuente lineal

Se dice que una fuente de sonido es lineal si las fuentes pueden ser consideradas distribuidas durante una línea recta o curva en el espacio. Un buen ejemplo de una fuente lineal puede ser cuando un grupo de vehículos hacen sonar su bocina al mismo tiempo, encontrando que el

sonido se distribuye de manera lineal. Una imagen bastante clara sobre una fuente de ruido lineal se muestra a continuación.



*Figura 16: Fuente lineal. Fuente: Adaptado de Sound & Vibration Measurement A/S, por Brüel & Kjær, 2000*

## 2.6.2 Barreras

La reducción de ruido causado por una barrera depende de dos factores (Figura 17):

- 1) La diferencia de la trayectoria de la onda sonora al viajar por encima de la barrera comparada con la transmisión directa al receptor.
- 2) El contenido frecuencial del ruido.



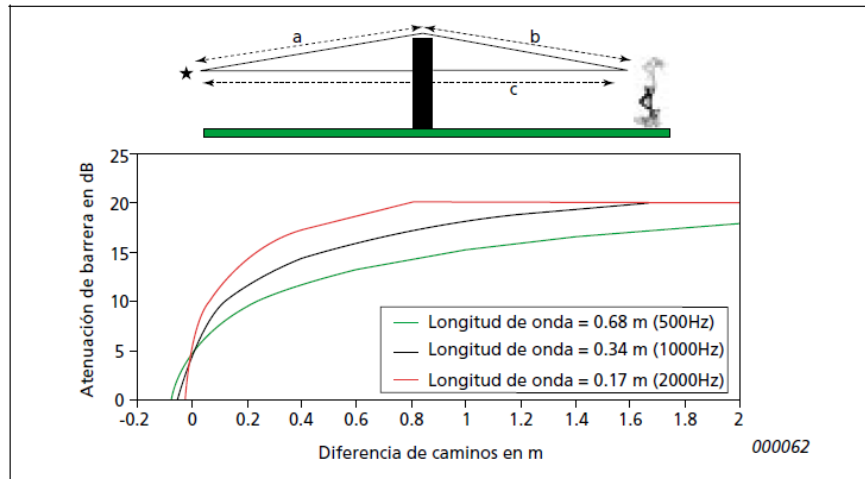


Figura 17: Barreras. Fuente: Adaptado de Sound & Vibration Measurement A/S, por Brüel & Kjær, 2000

### 2.6.3 Atenuación atmosférica

La atenuación atmosférica es una materia compleja y aquí lo podemos resumir afirmando que, la reducción de ruido al transportarse por el aire depende de muchos factores, tales como:

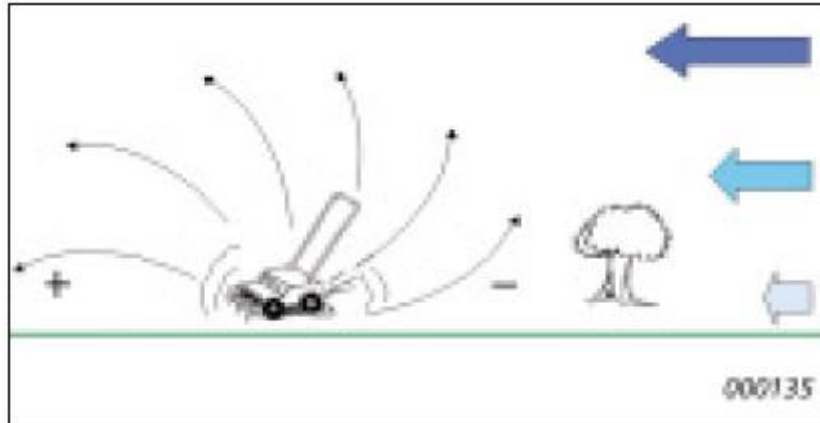
- Espacio existente entre la fuente y el emisor
- Variación de las frecuencias contenidas en el registro
- Valor medio de la temperatura ambiental
- Humedad del medio ambiente
- Presión ambiental

### 2.6.4 Viento y temperatura

La altitud hace que la velocidad del viento aumente, esto a su vez hace que la trayectoria del sonido se desvíe para “hacerla converger” en el lado favorable del viento y crear una “sombra” en el lado contrario del viento donde se encuentra la fuente (ver Figura 18).

La rapidez de cambio espacial de la temperatura tiene un efecto evidente en la propagación del ruido, pues al existir variaciones de temperatura de un punto a otro, la

densidad de los aires disminuye o aumenta, provocando un efecto diferente a la propagación del ruido. De igual forma, la razón de cambio espacial de la velocidad del viento tiene especial impacto en la propagación del viento, pues a mayor velocidad, la propagación del sonido termina viéndose afectada.



*Figura 18: Viento y temperatura. Fuente: Adaptado de Sound & Vibration Measurement A/S, por Brüel & Kjør, 2000*

### **2.6.5 Efectos de suelo**

El ruido reflejado por el suelo interfiere con el ruido propagado directamente. El efecto del reflejo en el suelo es diferente cuando se trata de superficies acústicamente duras como el concreto, blandas como el césped o mixtas. La atenuación del suelo se realiza con el cálculo en bandas de frecuencia, teniendo en cuenta las correlaciones del rango de frecuencia y el tipo de suelo entre la fuente y el receptor. La lluvia puede afectar la erosión del suelo. Por ejemplo, la nieve puede causar sequías importantes y puede resultar en malas condiciones de temperatura. Los principios generales no recomiendan tomar medidas bajo estos términos.

### **2.6.6 Ruido en el receptor**

### **2.6.7 Reflexión**

Cuando las ondas del sonido impactan sobre una superficie, parte de su energía acústica se refleja, parte se transmite a través de ella y la otra parte es absorbida. Si la absorción y la transmisión son bajas, como suele ocurrir en los edificios, la mayor parte de la energía se agota y se dice que la parte superior es muy reflectante. Por lo tanto, el nivel de presión sonora cerca de la superficie se obtiene de la salida de sonido original y el sonido de uno o más reflejos.

### **2.6.8 Ventanas abiertas y cerradas**

Cuando están en casa, a muchas personas les gusta cerrar las ventanas debido al clima o por cultura. En este caso, el edificio absorbe el ruido ambiental perturbador y normalmente proporciona una protección de 20-30 dB (sonido de fachada). Las ventanas suelen ser acústicamente débiles, pero se pueden arreglar con un diseño adecuado.

## **2.7 Legislación nacional**

En el Perú existen normas ambientales con el propósito de proteger a la población de los efectos de alto niveles de ruido ambiental. En el año 2003, el expresidente Alejandro Toledo mediante un D.S. N°.085-2003-PCM con los estándares de ruido ambiental que se debe cumplir en todo el territorio peruano (SINIA, 2003).

Posteriormente los demás distritos crearon ordenanzas municipales siendo la primera la municipalidad de San Borja con la Ordenanza N°306-2004-MSB.

### **➤ Ley 28611, Ley General del Ambiente**

“Artículo 115.- De los ruidos y vibraciones 115.1 Las autoridades sectoriales son responsables de normar y controlar los ruidos y las vibraciones de las actividades que se encuentran bajo su regulación, de acuerdo a lo dispuesto en sus respectivas leyes de organización y funciones. 115.2 Los gobiernos locales son responsables de normar y

controlar los ruidos y vibraciones originados por las actividades domésticas y comerciales, así como por las fuentes móviles, debiendo establecer la normativa respectiva sobre la base de los ECA” (OEFA, 2015, p.39).

➤ **Ley 27972, Ley Orgánica de las Municipalidades**

“Artículo 80.- Saneamiento, Salubridad Y Salud Las municipalidades, en materia de saneamiento, salubridad y salud, ejercen las siguientes funciones: 1. Funciones específicas exclusivas de las municipalidades provinciales: 1.2 Regular y controlar la emisión de humos, gases, ruidos y demás elementos contaminantes de la atmósfera y el ambiente. 3. Funciones específicas exclusivas de las municipalidades distritales: 3.4. Fiscalizar y realizar labores de control respecto de la emisión de humos, gases, ruidos y demás elementos contaminantes de la atmósfera y el ambiente.” (OEFA, 2015, p.39)

➤ **Decreto Supremo 085-2003 PCM, Estándares Nacionales de la Calidad Ambiental para el Ruido**

“Artículo 4.- De los Estándares Primarios de Calidad Ambiental para Ruido Los Estándares Primarios de Calidad Ambiental (ECA) para Ruido establecen los niveles máximos de ruido en el ambiente que no deben excederse para proteger la salud humana. Dichos ECA’s consideran como parámetro el Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación A (LAeqT) y toman en cuenta las zonas de aplicación y horarios, que se establecen en el Anexo N° 1 de la presente norma.

Artículo 5.- De las zonas de aplicación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido Para efectos de la presente norma, se especifican las siguientes zonas de aplicación: Zona Residencial, Zona Comercial, Zona Industrial, Zona Mixta y Zona de Protección Especial. Las zonas residencial, comercial e industrial deberán haber sido establecidas como tales por la municipalidad correspondiente.

Artículo 6.- De las zonas mixtas En los lugares donde existan zonas mixtas, el ECA se aplica de la siguiente manera: Donde exista zona mixta Residencial - Comercial, se aplica el ECA de zona residencial; donde exista zona mixta Comercial - Industrial, se aplica el ECA de zona comercial; donde exista zona mixta Industrial - Residencial, se aplica el ECA de zona Residencial; y donde exista zona mixta que involucre zona Residencial - Comercial - Industrial se aplica el ECA de zona Residencial. Para lo que se tendrá en consideración la normativa sobre zonificación.” (OEFA, 2015, p.44)

“Artículo 12°.- De los Planes de Acción para la Prevención y Control de la Contaminación Sonora Las municipalidades provinciales en coordinación con las municipalidades distritales, elaboraron planes de acción para la prevención y control de la contaminación sonora con el objeto de establecer las políticas, estrategias y medidas necesarias para no exceder los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental de Ruido. (...) Asimismo, las municipalidades provinciales deberán establecer los mecanismos de coordinación interinstitucional necesarios para la ejecución de las medidas que se identifiquen en los Planes de Acción”. “Artículo 10°.- De la vigilancia de la contaminación sonora La vigilancia y monitoreo de la contaminación sonora en el ámbito local es una actividad a cargo de las municipalidades provinciales y distritales de acuerdo a sus competencias, sobre la base de los lineamientos que establezca el Ministerio de Salud. Las Municipalidades podrán encargar a instituciones públicas o privadas dichas actividades. Los resultados del monitoreo de la contaminación sonora deben estar a disposición del público. El Ministerio de Salud a través de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) realizó la evaluación de los programas de vigilancia de la contaminación sonora, prestando apoyo a los municipios, de ser necesario. La DIGESA elaboró un informe anual sobre los resultados de dicha evaluación”. (OEFA, 2015, p.45)

➤ **Disposiciones transitorias**

“Primera. - En tanto el Ministerio de Salud no emita una Norma Nacional para la medición de ruidos y los equipos a utilizar, éstos serán determinados de acuerdo a lo establecido en las Normas Técnicas peruana ¿siguientes: ISO 1996-1:1982: Acústica - Descripción y mediciones de ruido ambiental, Parte I: Magnitudes básicas y procedimientos. ISO 1996- 2:1987: Acústica - Descripción y mediciones de ruido ambiental, Parte II: Recolección de datos pertinentes al uso de suelo” (OEFA, 2015, p.46)

➤ **NTP-ISO 1996-1:2007 (ACÚSTICA. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: Índices básicos y procedimiento de evaluación)**

Define las bases para describir los niveles de ruido en ambientes comunitarios y los procedimientos para su evaluación. Además, menciona los métodos para evaluar los niveles de ruido ambiental y para la predicción.

➤ **NTP ISO 1996-2 2008 (ACÚSTICA. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de ruido ambiental. 1a Edición)**

Describe los métodos para poder medir la presión sonora. La NTP ISO 1996 puede ser usada para medir cualquier ponderación de frecuencia o en cualquier banda de frecuencia.

## **2.8 Materiales y propiedades**

Los materiales absorbentes son aquellos que son utilizados para la corrección acústica, ya que en lugar de reflejar la onda sonora incidente absorben gran parte de su energía transformándola en calor por el efecto que provoca su porosidad. Por lo general, son materiales como fibras minerales, vegetales o animales.

En el aislamiento acústico pueden emplearse muchos métodos para crear una barrera en la propagación del ruido entre dos recintos. Existen materiales que se pueden considerar buenos

aislantes acústicos como el hormigón, la terracota y el yeso. Sin embargo, su principal función no es la de aislamiento acústico y no se encuentra clasificado como tal.

### 2.8.1 Materiales con estructura reflectante

Existen materiales que no presentan una clasificación clara como los que presentan una estructura reflectante. Este tipo de aislante tiene el poder reflectante de ciertas superficies lisas y el fraccionamiento de las láminas de aire. Ver Figura 19.

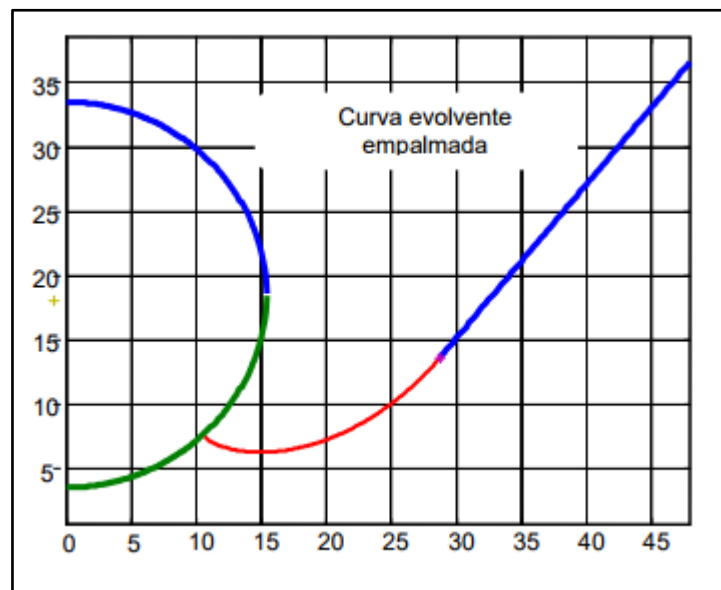


Figura 19: Determinación de la forma de una superficie reflectante. Fuente: Adaptado de Sound & Vibration Measurement A/S, por Brüel & Kjær, 2000

El aislante más conocido es el ALFOL, el cual está compuesto por hojas de aluminio de pequeño espesor. El coeficiente de conductividad para este material es de 0.034 Kcal/m h °C a 0 °C y de 0.041 Kcal/m h °C a 50 °C. (Rougeron, 1977). Además, la temperatura a la cual se puede utilizar es de 20 grados centígrados aproximadamente.

Una de las características de este tipo de material es que no pueden soportar sobrecargas, por lo que sólo pueden ser utilizadas para el aislamiento térmico de muros dobles o en cubiertas con pendiente.

### **2.8.2 Propiedades generales de los aislantes**

La función especial de un material aislante es ofrecer una buena resistencia a la transmisión de calor. Un material considerado un aislante acústico debe tener un alto coeficiente de absorción en la gama de frecuencias a corregir. Si bien estos materiales poseen ciertas propiedades específicas, algunas de las cualidades complementarias podrían cambiar de acuerdo al lugar donde sean colocadas.

Entre las principales cualidades de los aislantes acústicos están:

- No inflamabilidad
- Buena resistencia mecánica
- Ausencia de propiedades corrosivas
- Estabilidad física y química (no se dilata con el calor y es resistente a la humedad y a la oxidación)
- Flexibilidad o rigidez según la estructura donde sea colocado
- Estética para la remodelación
- Precio acorde con los beneficios que brinda

### **2.8.3 Clasificación de los materiales aislantes**

La elección de un material aislante resulta difícil, ya que existe un gran número de variedades y cada uno de masa diferente. Por lo que resulta necesario entender la utilidad que va a tener este material y en base a ello poder elegirlo según la resistencia y estructura que se requiera.

Los aislantes pueden clasificarse en:

- Según su estructura: granular, fibrosa, alveolar
- Según su origen: vegetal, mineral
- Según su resistencia



### **2.8.3.1 Clasificación de materiales según su origen**

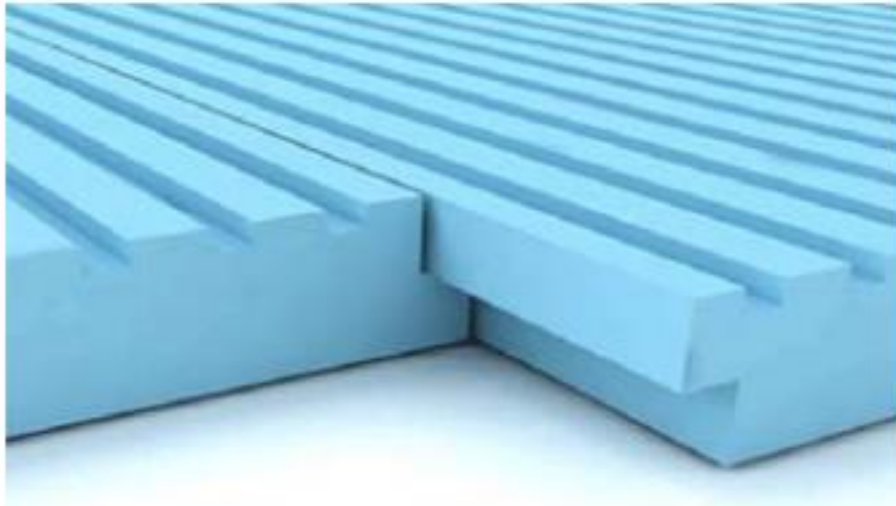
#### **2.8.3.1.1 Materiales de origen sintético orgánico**

##### **Poliestireno Expandido (EPS)**

Este material está hecho de plástico espumado conocido como “Corcho Blanco”, el cual es utilizado como aligerante y aislante térmico. Presenta distintos espesores y densidades. Presenta una composición química de 95% de poliestireno y 5% de gas. Además, tiene una conductividad térmica que va desde 0.029 hasta 0.053 W/m<sup>°</sup>K. Este material no presenta mucha resistencia mecánica, por lo que resulta ser más económico.

##### **Poliestireno Extruido (XPS)**

Este material está hecho de plástico espumado, tiene como cualidades ser un aislante duradero y resistente al agua, ya que presenta una baja absorción a este (no se pudre) (ver Figura 20). Además, presenta elevadas prestaciones mecánicas, lo que significa que puede recibir peso encima. Presenta una conductividad térmica entre un rango de 0.025 y 0.040 W/m<sup>°</sup>K. Su espesor está entre los 30 y 100 mm (a mayor espesor mayor es la capacidad de aislamiento térmico). Tiene un acabado superficial liso, acanalado y sin piel (recomendado para aislamiento exterior). Tiene un acabado lateral recto, machihembrado, lo que garantiza la continuidad del aislamiento.



*Figura 20: Poliestireno extruido. Fuente: Adaptado de DANOSA, 2021*

### **Poliuretano (PUR)**

Este material está compuesto por petróleo y azúcar (ver Figura 21). Es considerado un muy buen aislante, por lo que posee un buen coeficiente de conductividad térmica, la cual desde 0.019 hasta 0.040 W/m<sup>2</sup>K. La buena conductividad térmica que posee se debe a que este material permite la formación de una espuma rígida ligera, por lo que se caracteriza por tener una rapidez estructural, gran adherencia sobre cualquier superficie y es resistente a la humedad del ambiente. Además, tiene un costo que va acorde con las propiedades que ofrece como aislante. Se considera que es uno de los productos más utilizados en los últimos años por su gran capacidad de aislamiento.



*Figura 21: Poliuretano. Fuente: Adaptado de DANOSA, 2018*

Este material tiene como principales aplicaciones el de aislamiento de medianeras en restauración, aislamiento de cámaras en fachadas y es utilizado como núcleo central en paneles sándwich de otros materiales.

#### **2.8.3.1.2 Materiales de origen sintético inorgánico**

##### **Lanas minerales: lana de vidrio y lana de roca**

La lana es un material flexible constituido por un entrelazado de filamentos de materiales pétreos formando un fieltro, el cual contiene aire en estado inmóvil. Este tipo de material permite elaborar productos muy ligeros con un alto nivel de aislamiento térmico. Es un producto natural compuesto por arena silíceo para las lanas de vidrio y roca basáltica para las lanas de roca.

Este material se caracteriza por brindar una importante ganancia de aislamiento acústico en construcciones donde se implementa generando una gran reducción sonora notable.

## **Lana de fibra de vidrio**

Este tipo de material se suministra en forma de mantas y paneles (ver Figura 22). Estos últimos están compuestos por arena de sílice, carbonato de calcio y de magnesio por lo que es resistente a la humedad. Presenta una conductividad térmica que va desde 0.030 hasta 0.050 W/m°K. La lana de vidrio no retiene el agua, debido a la porosidad abierta que posee.



*Figura 22: Colocación de lana de vidrio. Fuente: Adaptado de HyN Empaquetaduras e Importaciones SAC, 2021*

## **Lana de roca**

Este material está conformado por el 98% de roca de origen volcánico y 2% de ligante orgánico (ver Figura 23). Su presentación es a través de paneles, fieltros y mantas. Presenta una conductividad térmica de 0.030 - 0.050 W/m°K. La lana de roca presenta ventajas como la facilidad y rapidez de instalación, es químicamente inerte, no hidrófilo y favorece al cuidado del medio ambiente.

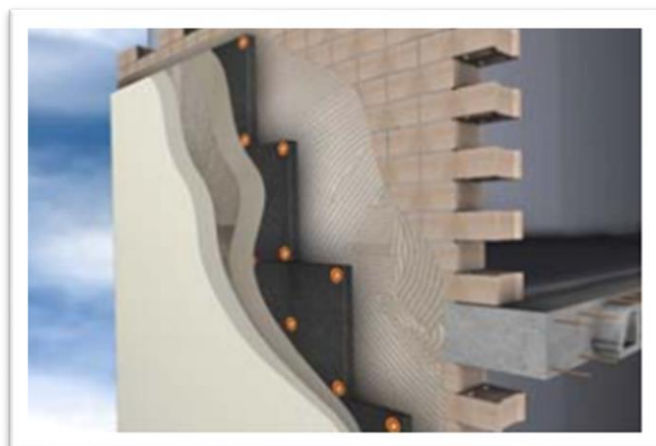


*Figura 23: Lana de Roca. Fuente: Adaptado de pisos.com, 2021*

También existe la lana de roca proyectada, la cual está compuesta por lana de roca y cemento blanco. Presenta aislamiento término proyectado sin puentes térmicos. Además, tiene alta resistencia mecánica y una excelente absorción acústica. No es tóxico ni emite gases que dañen el medio ambiente. El modo de aplicación es mediante una máquina neumática directamente sobre la zona a cubrir.

### **Vidrio celular**

Este material se caracteriza por tener un tiempo de vida útil muy largo. Además, presenta gran resistencia a la compresión, debido a la geometría que presenta sus celdas (ver Figura 24). Presenta un aislamiento de seguridad inorgánica y una conductividad térmica de 0.035-0.055 W/m<sup>°</sup>K. Una de las ventajas del vidrio celular es la estabilidad dimensional, no se deforma, es resistente a los ácidos y a los ataques de los roedores. Asimismo, contribuye con el medio ambiente, ya que se puede fabricar con vidrio reciclado hasta en un 60% y no usa productos que contaminan.



*Figura 24: Vidrio Celular. Fuente: Adaptado de DANOSA, 2021*

### **2.8.3.1.3 Materiales de origen natural orgánico**

#### **Corcho aglomerado expandido**

Este tipo de material es 100% natural y es considerado como una materia prima renovable (ver Figura 25). Presenta un coeficiente de conductividad térmica de 0.034-0.100 W/m<sup>°</sup>K. Su presentación es en sacos y es recomendado porque evita la desertificación del suelo.



*Figura 25: Corcho aglomerado expandido. Fuente: Adaptado de DANOSA, 2021*

#### **Madera: fibra de madera, virutas de madera**

Este material es un aislante térmico y acústico que está compuesto a base de fibras y virutas de madera (ver Figura 26). La madera presenta una conductividad térmica de 0.038-0.107 W/m°K.



*Figura 26: Fibra de madera. Fuente: Adaptado de DANOSA, 2021*

### **Fibra de cáñamo (Fibra de lino, lana de oveja, balas de paja)**

Este material es un aislante térmico y acústico compuesto a base de fibra de cáñamo (ver Figura 27). El cáñamo es una planta herbácea y su fibra es considerada muy estable y duradera. Las cualidades de este material es que es 100% natural y reciclable. Además, puede molerse y ser reutilizado en la producción de bloques de fibra. Asimismo, presenta una conductividad térmica de 0.037-0.045 W/m°K.



*Figura 27: Fibra de cáñamo. Fuente: Adaptado de AISLA GRANADA, 2021*

### 2.8.3.2 Clasificación de materiales por su Coeficiente absorción Acústico.

La capacidad de absorción del ruido es una medida que tiene algunos materiales e implementos de tolerar el paso del ruido a través de sus cuerpos. Estos parámetros son únicos, pues característica a cada material específico. En la escala de mediciones existentes se considera que un valor de 1 es idóneo pues la gran mayoría de las vibraciones fueron absorbidas por el material, mientras que un valor de 0 significa que toda la energía incidente en un cuerpo se fue de manera inmediata. Un resumen de tales propiedades se muestra en la Tabla 1.

La propiedad de absorción del sonido de un material depende del ángulo con que la onda sonora incide sobre él, de manera que, por conveniencia, el coeficiente se presenta como un tipo de medida de todos los ángulos de incidencia (Harris, 1995).

Una forma típica de medir la cantidad de energía absorbida por un material es través del denominado coeficiente de absorción, definida en la ecuación 6. Este parámetro se define como la energía absorbida dividida entre la energía incidente.

$$\alpha = \frac{\text{Energía absorbida}}{\text{Energía incidente}} \text{ (no tiene unidad)}$$

*Ecuación 6*

El coeficiente de absorción sonora ( $\alpha$ ) para la gran mayoría de materiales no es constante a distintas frecuencias. Entonces cada material en un recinto absorberá el sonido de manera proporcional a su área (Moscoso, 2012).

*Tabla 1: Coeficientes de absorción sonora en función de los materiales. Fuente: Adaptado de "Acústico", por Cibel, 2018*



Materiales	Coeficiente de absorción sonora HZ					
	Frecuencias altas o agudas			Frecuencias bajas o graves		
	125	250	500	1000	2000	4000
Espuma de poliuretano de 50mm.	0.07	0.32	0.72	0.88	0.97	1.01
Lana de vidrio de 14kg/m <sup>3</sup> y 25mm de espesor	0.15	0.25	0.40	0.50	0.65	0.70
Lana de vidrio de 14kg/m <sup>3</sup> y 50 mm de espesor	0.25	0.45	0.7	0.8	0.85	0.85
Lana de vidrio de 35kg/m <sup>3</sup> y 25mm de espesor	0.20	0.40	0.80	0.90	1.00	1.00
Lana de vidrio de 35 kg/m <sup>3</sup> y 50 mm de espesor	0.30	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00
Ladrillo sin enlucir	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07
Ladrillo pintado	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
Placa de yeso 12mm a 10mm	0.29	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09
Cubre piso sobre hormigón	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65
Bloque de hormigón ligero poroso	0.36	0.44	0.31	0.29	0.39	0.25
Bloque hormigón Pintado	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08
Suelo de hormigón	0.01	0.01	0.015	0.02	0.02	0.02
Mármol o Azulejo	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Madera	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07
Madera contraplacada con 1 cm de espesor	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11
Madera de panel aglomerado	0.47	0.52	0.50	0.55	0.58	0.63
Parquet de madera sobre hormigón	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.07
Parquet de madera sobre listones	0.20	0.15	0.12	0.10	0.10	0.07
Alfombra de goma de 0.5cms de espesor	0.04	0.04	0.08	0.12	0.03	0.10
Alfombra de lana 1.2 kg/cm <sup>2</sup>	0.10	0.16	0.11	0.30	0.50	0.47
Cortina 475g/m <sup>2</sup>	0.07	0.31	0.49	0.75	0.70	0.60
Vidrio	0.03	0.02	0.02	0.01	0.07	0.04
Ventana de vidrio Domiciliario	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
Puertas y ventanas Abiertas domiciliarias	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Pared de ladrillo enlucida con yeso	0.013	0.015	0.020	0.030	0.040	0.050
Superficie de Piscina Llena de agua	0.008	0.008	0.013	0.150	0.020	0.250
Asiento de madera (0.8m <sup>2</sup> /asiento)	0.010	0.020	0.030	0.040	0.060	0.080
Asiento tapizado Grueso (0.80m <sup>2</sup> /asiento)	0.440	0.440	0.440	0.440	0.440	0.440
Persona en asiento de madera (0.80m <sup>2</sup> /asiento)	0.340	0.390	0.440	0.540	0.560	0.560
Persona en asiento tapizado grueso (0.80m <sup>2</sup> /asiento)	0.530	0.510	0.510	0.560	0.560	0.590
Persona de pie (0.80m <sup>2</sup> /persona)	0.250	0.440	0.590	0.560	0.620	0.500

*Nota:* Coeficiente de absorción de materiales. Adaptado de “Acústico”, por Cibiel, 2018.

### 2.8.3.3 Tópicos de la teoría del ruido de Sabine

De acuerdo con la teoría clásica de la reverberación, los sonidos se propagan a través de un medio, usualmente el aire, y gran parte de su energía se atenúa al impactar con los obstáculos

que se encuentran en su camino, como es el caso de una habitación, usualmente son muros, techos y pisos; sin embargo, la energía que no se pierde se refleja continuando el proceso, aunque con menor energía en cada ciclo, por tanto, con menores niveles de sonido o menores niveles de amplitud. De acuerdo con la teoría clásica de la reverberación de W.C. Sabine, los niveles de energía de un sonido decaen rápidamente, mediante la siguiente Ecuación 7:

$$E(t) = E_0 \exp(-N\alpha t)$$

*Ecuación 7*

Donde  $\alpha$  es el coeficiente de absorción medio, definido en la siguiente Ecuación 8:

$$\alpha = \left( \sum_i s_i \alpha_i \right) / S$$

*Ecuación 8*

$N$ , es el número de reflexiones que se producen en la sala, donde ( $c$  es la velocidad del sonido y  $l_m$  es el libre camino medio), que en condiciones gaussianas o conducta estadística normal como ocurre en el caso de que la distribución uniforme de la absorción en una sala es como se muestra en la siguiente Ecuación 9:

$$l_m = 4V/S$$

*Ecuación 9*

De acuerdo con la teoría de Sabine y otras análogas, a las que no se hizo mención en este trabajo por estar fuera de sus objetivos, mencionan que la razón del decaimiento de la amplitud del sonido es en general una pendiente constante, es decir, que el decaimiento entre dos instantes cualquiera de tiempo es el mismo. Ésta es la pendiente de una línea recta descendente

que se inicia cuando el sonido de medición es cesado. De acuerdo con estas ideas, se ha demostrado que la relación existente entre la razón de decaimiento ( $D$ ), el coeficiente medio de absorción y el número de reflexiones dentro de un recinto cualquiera están relacionados por la siguiente Ecuación 10 (Arau et. al 1988):

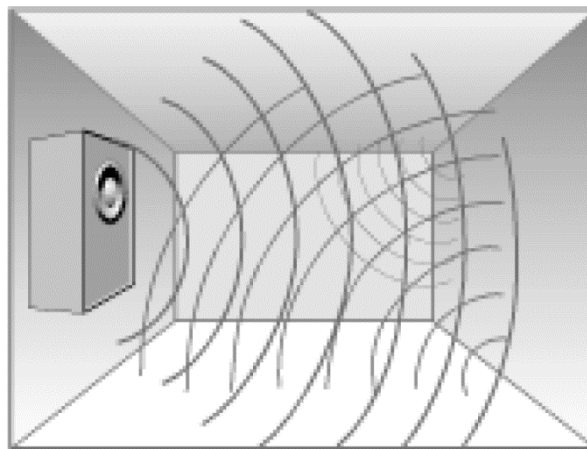
$$D = 10 N a \log e$$

*Ecuación 10*

Como se observa de la expresión anterior, si el coeficiente de absorción medio  $a$  y el número de reflexiones  $N$  del recinto si son constantes también lo es la razón de decaimiento del sonido  $D$ .

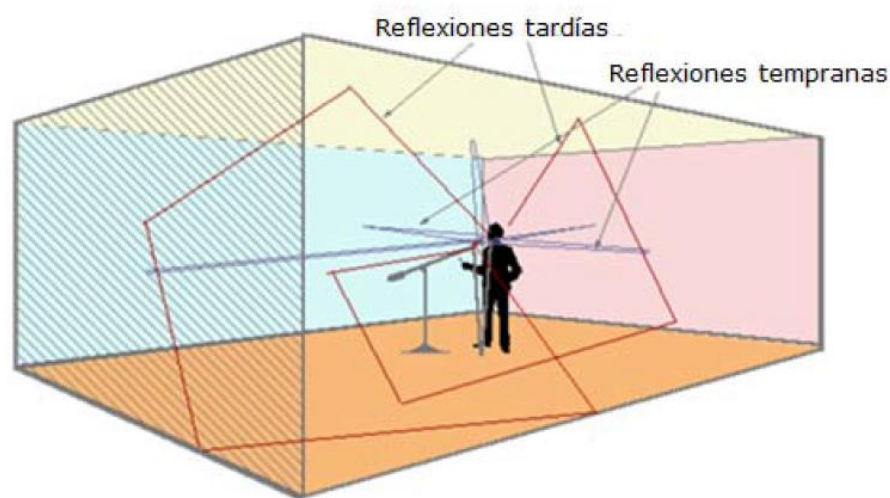
#### **2.8.3.4 Tiempo de reverberación**

Como se sabe el ruido es la propagación de la perturbación generada por una fuente través de un medio, usualmente el aire, como se muestra en la Figura 28. Cuando la perturbación encuentra obstáculos en su camino, como muros u otros, una parte de la energía incidente ingresa a la superficie de impacto, mientras que la otra parte se refleja, es decir, continúa excitando el aire circundante.



*Figura 28: Propagación del ruido a través el espacio y de las superficies. Fuente: Lu et. al (2018).*

Este fenómeno, dependerá directamente de la capacidad que un material tenga para absorber grandes cantidades de esta energía. De esta manera, si los materiales son poco absorbentes, el ruido continúa emitiéndose por un periodo prolongado de tiempo, hasta que cese. Se le denomina reverberación al tiempo que le toma a un ruido hasta que la amplitud de las ondas sonoras que genera sea inaudible para el oído humano. Un gráfico, donde se pueden apreciar los conceptos mencionados, se muestra en la Figura 29.



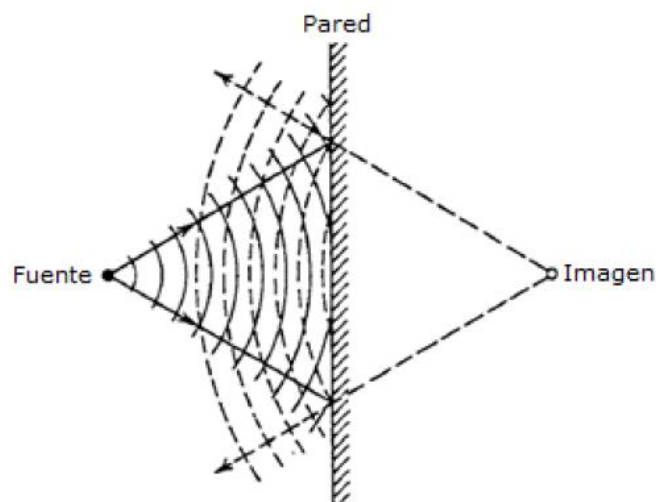
*Figura 29: Emisión de una fuente de ruido y las sucesivas reflexiones que generan la reverberación. Fuente: Lu et. al (2018)*

Si se considera que el volumen de la habitación en la que se emite el ruido es  $V$ , y que el área lateral total es de  $A$  unidades cuadradas, el tiempo de reverberación  $T$ , de acuerdo con Sabine es según la siguiente Ecuación 11:

$$T = 0.161 \frac{V}{A}$$

*Ecuación 11*

Como se mencionó anteriormente, el tiempo de reverberación dependerá de la capacidad de absorción de los materiales, de acuerdo con esto se puede mencionar que, como regla práctica, los materiales más rígidos tienen menor coeficiente de absorción, tal es el caso, por ejemplo, del concreto, ladrillo o cerámicos, los que favorecerán a un mayor tiempo de reverberación, mientras que materiales como alfombras, cortinas e incluso las personas dentro de una habitación, disminuyen el tiempo de reverberación. Esto está íntimamente ligado al hecho de que cuando uno ingresa a una habitación desamoblada, puede escuchar fácilmente una especie de reflejo de su voz (eco), mientras que una vez que la habitación está amoblada, el tiempo de reverberación disminuye hasta convertirla en imperceptible. Ver Figura 30.



*Figura 30: Reflexión de las ondas sonoras en un muro rígido. Fuente: Lu et. al (2018)*

### **2.8.3.5 Coeficiente de absorción acústica**

El coeficiente de absorción acústica es uno de los parámetros más importantes a la hora de estudiar la propagación del ruido, ya que como se mencionó anteriormente, la reflexión de las ondas sonoras dependerá de manera directa de este parámetro.

Se define como la relación que existe entre la energía absorbida y la energía de la onda que incide sobre una superficie. Esta idea puede ser expresada de manera matemática mediante la siguiente Ecuación 12:

$$\alpha = \frac{E_{\alpha}}{E_i}$$

*Ecuación 12*

Donde se puede apreciar con claridad que  $E_{\alpha}$ , es la medida de la cantidad de energía que se absorbió en el impacto de la onda sonora, mientras que  $E_i$ , es la cantidad de energía que incide sobre la superficie.

De la definición presentada, se concluye que este parámetro, siempre será inferior a la unidad, ya que la cantidad de energía absorbida podrá ser a lo mucho igual a la cantidad de energía incidente, por el principio de la conservación de la energía, lo que haría que un material altamente absorbente tenga un valor de 100%, mientras que si el material, no absorbe ninguna cantidad de la energía introducida, es decir, toda la energía se refleja, este valor alcanzaría el cero, es decir, los materiales más reflectantes, tendrían coeficientes de absorción relativamente pequeños.

Otro hecho de gran importancia a la hora de tomar en cuenta en la incidencia de las ondas mecánicas son las frecuencias de estas, ya que, cuanto mayor sea la frecuencia de una onda mecánica, mayor será la cantidad de energía que esta tenga asociada.

En la práctica, el coeficiente de absorción depende también la frecuencia del ruido, por lo que se tendrán valores ligeramente mayores en función de la frecuencia de estos, como se aprecia en la siguiente Tabla 2.

*Tabla 2: Coeficientes de absorción obtenidos experimentalmente, en función de las frecuencias.  
Fuente: An improved reverberation formula, por Arau, 1998.*

Material	Espesor mm	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
Ladrillo visto		0.05	0.04	0.05	0.03	0.04	0.06	0.05	0.05
Hormigón		0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
Mármol Enlucido		0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
yeso		0.04	0.04	0.06	0.06	0.08	0.05	0.06	0.06
Vidrio		0.08	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
Cortinas típicas		0.05	0.07	0.15	0.40	0.45	0.50	0.55	0.40
Lana de roca	25	0.05	0.10	0.40	0.65	0.75	0.80	0.75	
	50	0.10	0.15	0.45	0.65	0.75	0.80	0.80	
	100	0.25	0.40	0.65	0.80	0.85	0.85	0.90	0.85
Espuma poliuretano	25	0.10	0.15	0.25	0.55	0.75	0.80	0.90	0.90
	50	0.15	0.20	0.50	0.75	0.95	0.90	0.90	0.90
Techos escayola		0.20	0.20	0.15	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05
Moqueta		0.10	0.10	0.20	0.25	0.35	0.30	0.30	0.30
Suelos plásticos		0.05	0.05	0.10	0.10	0.10	0.05	0.50	0.05
Techos acústicos pesados		-	-	-	-	-	-	-	-
Techos acústicos separados		0.05	0.10	0.30	0.55	0.60	0.60	0.45	0.40
Techo		0.20	0.35	0.50	0.70	0.70	0.80	0.75	0.70
Persona sentada		0.15	0.20	0.35	0.45	0.45	0.50	0.45	0.35
Asiento vacío		0.05	0.10	0.10	0.20	0.20	0.25	0.25	0.20

Resulta de gran interés observar algunos de los valores que se presentan en la tabla anterior, en especial en algunos de los materiales de mayor aplicación práctica en la ingeniería civil, tal es el caso del concreto. El concreto es uno de los materiales con los coeficientes de absorción más bajos, de la tabla presentada se pueden apreciar valores que oscilan desde 1% hasta 3%, lo que quiere decir que la energía reflejada puede alcanzar valores de hasta el 99%, lo que representan valores considerablemente elevados.

Algunos otros materiales interesantes son por ejemplo la espuma de poliuretano, la que posee elevados niveles de absorción acústica, la que, dependiendo del espesor de este, y de las frecuencias de incidencia, puede llegar a alcanzar hasta un 90% de absorción. Una de las consecuencias más importantes de estas características es que el ruido generado cesa con mucha rapidez, por lo que se pueden reducir las molestias a las personas. En la Tabla 3, se muestran los coeficientes de absorción de algunos de los materiales acústicos más comunes disponibles en el mercado.

*Tabla 3: Coeficiente de absorción típicos en materiales acústicos disponibles en el mercado, Fuente: Tang et. al, 2018*

<b>Materiales Acústicos del Mercado (HZ)</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>
Espuma de poliuretano de 35mm (Fonac)	0.11	0.14	0.36	0.82	0.90	0.97
Espuma de poliuretano de 50mm (Fonac)	0.15	0.25	0.50	0.94	0.92	0.99
Espuma de poliuretano de 75mm (Fonac)	0.17	0.44	0.99	1.00	1.00	1.00
Espuma de poliuretano de 35mm (Sonex)	0.06	0.20	0.45	0.71	0.95	0.89
Espuma de poliuretano de 50mm (Sonex)	0.07	0.32	0.72	0.88	0.97	1.00
Espuma de poliuretano de 75mm (Sonex)	0.13	0.53	0.90	1.00	1.00	1.00
Lana de vidrio de 14 kg/m <sup>3</sup> y 25mm de espesor	0.15	0.25	0.40	0.50	0.65	0.70
Lana de vidrio de 14 kg/m <sup>3</sup> y 50mm de espesor	0.25	0.45	0.70	0.80	0.85	0.85
Lana de vidrio de 35 kg/m <sup>3</sup> y 25mm de espesor	0.20	0.40	0.80	0.90	1.00	1.00
Lana de vidrio de 33 kg/m <sup>3</sup> y 50mm de espesor	0.30	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00



## **CAPÍTULO III: MATERIAL Y MÉTODOS**

En este capítulo se presenta la metodología implementada para la realización del presente trabajo de investigación. Además, se clasificó la investigación realizada, tanto por su alcance como por su tipo. Se analizó la población de estudio y se definió la muestra con criterios probabilísticos. Finalmente, se hizo una exposición de los instrumentos de recolección y análisis de datos usados.

### **3.1 Material**

#### **3.1.1 Población**

De acuerdo con Hernández Sampieri et. al (2014), la población es el conjunto de elementos, con características específicas, acerca de las cuales se desea obtener información, o para las que las conclusiones obtenidas serán válidas. Además, se debe tener en cuenta, que la población se define a partir de los objetivos del estudio.

De acuerdo con esto, y considerando que el objetivo del trabajo es demostrar que es posible reducir los niveles de ruido dentro de espacios hospitalarios, usando paneles de poliestireno, se decidió definir como población de estudio los ambientes hospitalarios del instituto Nacional de Salud de Niño, la que fue cuantificada de acuerdo con su superficie. De acuerdo con esto, se obtuvo que el tamaño de la población resultó ser de 26,383.34 m<sup>2</sup>.

#### **3.1.2 Muestra**

De acuerdo con Hernández Sampieri et. al (2018) la muestra es un subconjunto de la población elegida, usualmente, mediante un proceso probabilístico. A continuación se muestra el proceso seguido durante este trabajo de investigación para la elección de las muestras.

Teniendo en cuenta que el tamaño de la población se definió como el área total del Instituto Nacional de Salud del Niño, el tamaño de la población se debe obtener de acuerdo con la siguiente Ecuación 13:

$$n = \frac{z^2 \sigma^2 N}{e^2(N-1) + z^2 \sigma^2}$$

*Ecuación 13*

Donde: **n** es el tamaño de la muestra, **N** es la población o universo, **z** es el nivel de confianza, **e** es el error muestral y **σ** es la proporción de individuos.

Los resultados de la aplicación de esta expresión indican que, si se desea que los resultados obtenidos tengan una confianza del 95%, el tamaño de la muestra deberá ser, como mínimo, de 380 m<sup>2</sup>. En este punto resulta importante aclarar que se decidió estudiar la zona dedicada a la hospitalización del mencionado hospital, la que tenía un área total de 400 m<sup>2</sup>, por lo que se puede decir que el tamaño de la muestra elegida tiene el tamaño adecuado.

## **3.2 Método**

El presente trabajo de investigación pretende describir, exponer y corregir el fenómeno de contaminación acústica dentro de Hospitales, principalmente en las zonas de atención a los pacientes, debido a que representa una amenaza constante, y muchas veces ignorada, para la salud de los usuarios de estas instituciones. Todo esto se hizo desde el punto de vista del aislamiento de ondas sonoras y del uso de materiales aislantes acústicos. Las medidas tomadas serán comparadas con los valores obtenidos con los ECA (Estándares de Calidad Ambiental).

### **3.2.1 Procedimiento**

El procedimiento usado en el desarrollo del presente trabajo de investigación tiene esencialmente dos partes, siendo la primera la recolección de datos de campo, y la segunda parte, el procesamiento de los datos en gabinete. A continuación, se procede a comentar cada uno de estos pasos.

La recolección de datos consistió en determinar la información útil sobre los hospitales que se estudiaron, tales como distribución de los ambientes, ubicación, aforo entre otros. El segundo paso consistió en la medición de los niveles de ruido en determinadas áreas de los hospitales. Este paso se realizó mediante el uso de dispositivos especiales llamadas sonómetros. Estos dispositivos fueron adquiridos de empresas con credibilidad, teniendo en consideración que sus equipos estuvieron estar calibrados de manera adecuada.

Una vez determinados los niveles de ruido de manera experimental, se procedió a la implementación del reacondicionamiento propuesto. Este reacondicionamiento implicó el uso de paneles de corcho en las paredes, vidrios insulados en las ventanas, y placas contra placadas acústicas en las puertas. En este punto es importante entender que, debido a que no fue posible implementar estas soluciones en las áreas hospitalarias de manera física, debido a la situación actual y que se trata de hospitales en operación, todo el trabajo de implementación y evaluación del impacto en los niveles de ruido se realizó mediante un modelamiento computacional. En este caso se usó el software SoundPLAN, para la predicción de la propagación de los niveles de ruido presentes dentro los ambientes de interés.

Finalmente, los resultados encontrados en cuestión de niveles de ruidos se compararon con los niveles de ruido medidos experimentalmente, y se comprobó si el reacondicionamiento propuesto mejoró o no los niveles de ruido existentes.

### **3.2.2 Nivel de la investigación**

De acuerdo con Hernández Sampieri et. al (2014), una investigación científica puede tener tres niveles, de acuerdo con su alcance, estas son: Investigaciones exploratorias, correlacionales y explicativas. De acuerdo con el mismo autor, las investigaciones de tipo explicativa pretenden establecer las causas de algún fenómeno en concreto, por lo que, de acuerdo con los objetivos de este trabajo, la presente investigación califica como una investigación explicativa.

### **3.2.3 Diseño de la investigación**

De acuerdo con Hernández Sampieri et. al (2014), el diseño de la investigación es el conjunto de procedimientos orientados al desarrollo de la investigación y esencialmente existen dos tipos específicos, los diseños experimentales y no experimentales. Los diseños experimentales son todos aquellos procesos en los que el o los investigadores son capaces de manipular deliberadamente las variables y así medir su efecto en las variables dependientes. Mientras que los diseños no experimentales, se limitan a la medición de la realidad tal como la encuentran.

De acuerdo con estas definiciones y con los objetivos del presente trabajo de investigación, el diseño de esta fue no experimental, pues no se manipularon de manera intencional las variables, sino que se midieron in situ, en este caso, el nivel de ruido sobre las zonas de recuperación de pacientes hospitalizados.

### **3.2.4 Variables de estudio y operacionalización**

#### Variable Independiente

- Cantidad de personas
- Dimensiones de la sala de espera
- Distancia entre la fuente de ruido y los receptores
- Dimensiones de los módulos de atención
- Coeficiente de absorción del ruido

#### Variables Dependientes

- Nivel de presión sonora equivalente en ponderación A ( $L_{eq}$ )
- Mapa de ruido generado con el software ArGis y SoundPLAN

A continuación, se presentan las definiciones operacionales correspondientes a las variables consideradas en estudio de emisión (Tabla 4) y correspondientes a las variables en estudio de receptores (Tabla 5).

*Tabla 4: Definiciones operacionales de variables en estudio de emisión de ruido ambiental Fuente: Elaboración Propia.*

<b>Variable</b>	<b>Definición operacional</b>
Cantidad de personas	Conteo de pacientes que se encuentran en la sala de espera. Expresados en (Cantidad personas/hora).
Dimensiones de la sala de espera	Medición del largo, ancho y alto de la sala de espera. Expresados en (m <sup>2</sup> ).
Coefficiente de reflexión del ruido	Revisión de las tablas de coeficiente de reflexión acústica según el tipo de frecuencia. El coeficiente se expresa en decibeles (dB).
Distancia entre la fuente de ruido y los receptores	Medición de la separación entre los emisores y los receptores del ruido. Se expresa en metros (m).
Temperatura ambiental	Medición de la temperatura ambiental mediante un termómetro ambiental, expresadas en Celsius (°C).
Nivel de presión sonora equivalente en ponderación A (Leq)	Estimación de los Leq mediante las mediciones continuas y frecuencias resultados por el equipo sonómetro, expresados en decibeles con ponderación A (dBA).

*Tabla 5: Definiciones operacionales de variables en estudio de receptores de ruido ambiental. Fuente propia*

<b>Variable</b>	<b>Definición operacional</b>
Cantidad de personas	Conteo de empleados receptoras en los módulos de atención. Expresados en (Cantidad personas/día).
Dimensiones de los módulos de atención	Medición del largo, ancho y alto de los módulos de atención de cada hospital. Expresados en (m <sup>2</sup> ).
Coefficiente de absorción del ruido	Revisión de las tablas de coeficiente de absorción acústica según el tipo de frecuencia. El coeficiente se expresa en decibeles (dB).
Temperatura ambiental	Medición de la temperatura ambiental mediante un termómetro ambiental, expresadas en Celsius (°C).
Molestia a causa del ruido ambiental	Realización de encuestas a los receptores en los módulos de atención, se expresa como mucho, regular o poco.

### **3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.3.1 Imágenes satelitales de Google maps del área de estudio**

Las imágenes satelitales usadas en el trabajo de investigación fueron obtenidas de la aplicación de la aplicación web Google Maps o Earth, considerando diferentes niveles de resolución.

#### **3.3.2 Formato de medición de cantidad de personas y niveles de ruido**

Con el desarrollo de este formato se ha medido el nivel de ruido producido por la comunicación hablada, de los usuarios Ver Anexo (Formato de mediciones y panel fotográfico)

#### **3.3.3 Herramientas manuales**

Wincha, lápiz, hojas bond y tableros de apuntes.

#### **3.3.4 Protocolo nacional de monitoreo de ruido ambiental**

Mediante el uso de este protocolo que establece metodologías, técnicas y procedimientos para realizar las mediciones del nivel de ruidos (MINAM, 2013).

#### **3.3.5 Cámara fotográfica**

Dispositivo que se utilizó para capturar imágenes y fotografías de las áreas de estudio.

#### **3.3.6 App sound meter para android**

Es un software de medición de ruido que requiere de una serie de periféricos como un micrófono de alta resolución. Las medidas se hacen en decibelios.

#### **3.3.7 Audio frequency counter**

Audio Frequency Counter es un aplicativo que mide la frecuencia del ruido en base a la entrada de micrófono (ver Figura 31). Cuenta cuando la entrada sube o baja más allá de un nivel establecido y se convierte en frecuencia o un período de tiempo. Esta aplicación puede

proporcionar una medición de frecuencia más precisa para señales de entrada de frecuencia única.

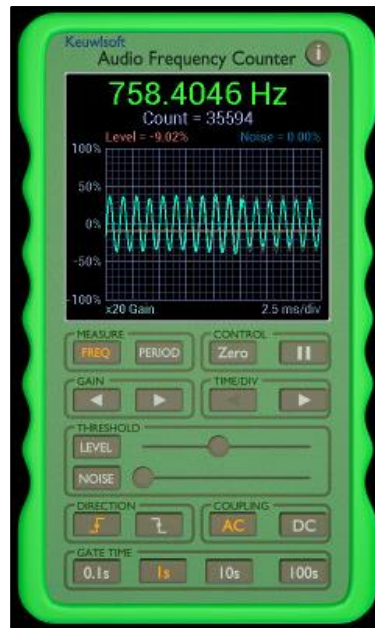


Figura 31: App de Medidor de Frecuencia. Fuente: Adaptado de DANOSA, 2018

### 3.3.8 Sonómetro modelo hd600 marca extech

Este periférico o hardware, permite la medición de los niveles de ruido así como su grabación y almacenaje en dispositivos extraíbles. Los niveles de ruido disponibles en esta máquina varían desde los 30 dB hasta los 130 Db, además se disponen de hasta tres escalas de medición.



Figura 32: Sonómetro modelo HD600. Fuente: Adaptado de Extech, 2018

### 3.4 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

#### 3.4.1 Software Revit

Es un software para BIM, que tiene potentes herramientas que le permiten procesar un modelo inteligente para planificar, diseñar, construir y administrar edificios e infraestructura. Revit es compatible con un proceso de diseño multidisciplinario para el diseño colaborativo (ver presentación referencial en la Figura 33). (Autodesk, 2018).



*Figura 33: Programa Revit. Fuente: Adaptado de Autodesk, 2018*

#### 3.4.2 Sketchup

Es un Software de modelamiento en 3D que permite modelar edificios, paisajes, escenarios, mobiliarios, personas y cualquier objeto o artículo que imagine el diseñador o dibujante (ver presentación referencial en la Figura 34).





*Figura 34: Programa Sketchup. Fuente: Adaptado de Autodesk, 2018*

### **3.4.3 Software arcgis**

Es un complemento sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar información geográfica. Con la plataforma líder mundial para crear y utilizar sistemas de información geográfica (SIG), Permite elaborar mapas y poner información geográfica a disposición de los usuarios (ver presentación referencial en la Figura 35). (Resources, 2018)

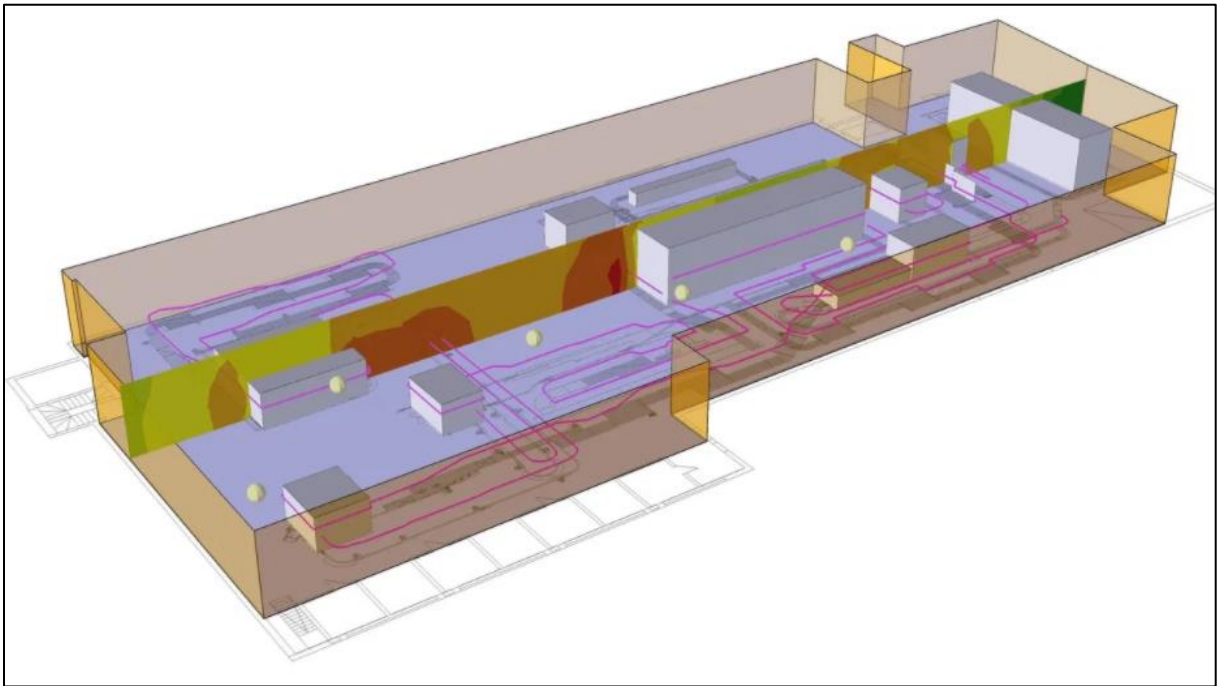


*Figura 35: Sistemas de información geográfica ArcGIS. Fuente: Adaptado de Google Imagen*

### **3.4.4 Software SoundPLAN**

SoundPLAN es el software de modelado de ruido original. SoundPLAN se utiliza y sirve de ayuda tanto al sector público como al privado a cumplir con los estándares ambientales, de salud ocupacional y de ingeniería en todo el mundo. Los productos de modelado de ruido SoundPLAN incorporan todos los estándares reconocidos internacionalmente en un sistema de software intuitivo y fácil de usar. El software siempre ha puesto énfasis en la producción de

resultados gráficos de alta calidad, proporcionando así los medios más poderosos de comunicar los resultados del modelado sobre los cuales se pueden tomar decisiones clave. Ver Figura 36.



*Figura 36: Modelamiento de ruido. Fuente: Adaptado de SoundPLAN*

### **3.4.5 Software Microsoft office 2010**

Básicamente para realizar el desarrollo digital de la tesis, informes y presentación de la investigación desarrollada.

#### **3.4.5.1 Computadora personal**

Una computadora personal equipada para cumplir con los estudios e investigaciones de la presente tesis.

## **CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE MEJORA**

En este capítulo se describe el procedimiento que deberán seguir aquellos proyectos hospitalarios existentes, que presenten los mismos problemas de altos niveles de ruido. Este procedimiento se basa en el estudio realizado por la presente tesis, donde se identificó que los altos niveles de ruido eran emitidos por las personas presentes en el lugar.

### **4.1 Identificar las fuentes de ruido**

Es necesario observar e identificar las diferentes fuentes de ruido que existen en los ambientes donde se realizará la propuesta de mejora. Que por lo general son emitidos por los visitantes o personas que circulan en los ambientes hospitalarios.

### **4.2 Realizar levantamiento arquitectónico del ambiente y tomar mediciones de niveles de ruido**

En este punto es necesario realizar un levantamiento arquitectónico de la distribución geométrica del ambiente en estudio, luego contrastar esta información con los planos del proyecto con el fin de evaluar posibles modificaciones o implementación. Posteriormente se debe evaluar el tipo de material con el que está compuesto la estructura actual (muros, techos, pisos, puertas, ventanas, etc.).

Una vez identificado los materiales de las que está compuesto el ambiente, se procederá a identificar las propiedades de absorción acústica de cada uno de estos materiales, según la Tabla 2 de la presente tesis.

Se debe realizar las mediciones de los niveles de ruido con un equipo adecuado para este fin (sonómetro) debidamente calibrado y certificado para realizar estas mediciones. Una vez

obtenida los niveles de ruido e identificado la fuente de ruido, estos serán contrastadas con niveles máximos de ruido permitidos por la OMS.

### **4.3 Identificar los puntos de filtración de ruido**

Ya contando con la distribución arquitectónica y con las propiedades de absorción acústica de los materiales con las que están compuestos los ambientes. Se precede a realizar el mapa de ruido usando diferentes herramientas como un software de modelamiento acústico o realizando mediciones en puntos internos y externos del área en estudio, con esto, se puede obtener la propagación del ruido, también se puede identificar los puntos más desfavorables de la transmisión del ruido. Esta información nos ayudará a tener identificado los puntos que debemos mejorar para controlar la propagación del ruido.

### **4.4 Reacondicionamiento de los ambientes implementando materiales acústicos**

Una vez realizado el mapa de ruido e identificado los puntos más desfavorables por la propagación del ruido, se debe implementar diferentes sistemas (tipos de muros, tipos de puertas, tipos de ventanas y paneles acústicos) y materiales que tengan mayor absorción acústica con el fin de reducir los niveles de ruido.

De acuerdo al estudio de nuestra tesis se recomienda el uso de los siguientes sistemas y materiales:

- Uso de puertas contraplacadas. Que en el mercado peruano lo podemos encontrar a un precio estimado de S/. 280.00 x m<sup>2</sup> instalado.
- Uso de ventanas de sistema insulado. Que en el mercado peruano lo podemos encontrar a un precio estimado de S/. 540.00 x m<sup>2</sup> instalado.
- Uso de paneles acústicos conformado de material corcho de e=20mm. Que en el mercado peruano lo demos encontrar a un precio estimado de S/. 450.00 x m<sup>2</sup> instalado.

Estas recomendaciones están basadas según el desarrollo y la experimentación de la presente tesis.

## **CAPÍTULO V: RESULTADOS**

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología propuesta en el capítulo anterior a la problemática definida en el primer capítulo. Se presentan los resultados de las mediciones efectuadas en tres hospitales, a decir, el Instituto de Salud del Niño, el hospital Arzobispo Loayza y el hospital Dos de Mayo. Además, se muestran los resultados de la aplicación de la propuesta de reacondicionamiento. También se muestran los resultados del modelamiento de la propagación del ruido con el software SoundPLAN.

### **5.1 Resultados de acuerdo al primer objetivo**


De acuerdo con las observaciones realizadas durante este estudio se ha podido observar que las fuentes de ruido dentro de los hospitales analizados fueron de la siguiente manera:

- Fuentes de ruido provenientes de las conversaciones de los visitantes y del personal médico.
- Fuentes de ruido provenientes de los equipos y accesorios del hospital (camillas, sillas de rueda, mesas de instrumentos y alimento, etc.)
- Fuentes de ruido provenientes de equipos de perifoneo.

Se identificó que las fuentes de ruido más relevantes y constantes fueron provenientes de las conversaciones de las personas.

Otra de las fuentes de ruido identificadas fueron las provenientes de las bocinas de los vehículos, pero de muy baja incidencia.

Hora de inicio: 06:00 a. m.  
 Horario diurno: 7 am hasta 5pm  
 Hospital: Arzobispo Loayza

Area Hospitalaria	Cantidad personas	Tiempo Inicio	Tiempo Termino	Db min	DbA	Db max.	Fotografía
Modulo de Atención	65	06:15 a. m.	06:52 a. m.	73	84	86	
	70	07:00 a. m.	07:52 a. m.	33	70	88	
	70	08:00 a. m.	08:50 a. m.	73	84	87	
	65	09:17 a. m.	09:52 a. m.	33	70	88	
	68	10:01 a. m.	10:58 a. m.	33	70	88	
	68	11:00 a. m.	11:45 a. m.	73	84	86	
	66	12:10 a. m.	12:52 a. m.	73	84	87	
	68	01:10 p. m.	01:59 p. m.	40	61	69	
	69	02:15 p. m.	03:01 p. m.	33	70	88	
	50	03:10 p. m.	04:00 p. m.	35	52	69	
	25	04:02 p. m.	05:00 p. m.	35	53	68	

## 5.2

### Resultados de acuerdo al segundo objetivo

Para cumplir con los objetivos planteados en el desarrollo del presente trabajo de investigación, se decidió estudiar las condiciones de ruido existentes en un Hospital representativo, no sólo de la ciudad de Lima, sino del país. El hospital elegido fue el Instituto Nacional de Salud del Niño, ubicada en el distrito de Breña, específicamente en la Av. Brasil N°600, como se muestra en la Figura 37.



Figura 37: Ubicación del Instituto Nacional de salud del Niño. Fuente: Elaboración propia



Figura 38: Ubicación del Instituto Nacional de salud del Niño. Fuente: Elaboración propia.

Pese a que se ha definido un hospital específico para el estudio de los niveles ruido, se ha decidido realizar las mediciones de los niveles de ruido en la zona de hospitalización de este, como se muestra en la Figura 39. Es importante aclarar que esta zona fue elegida debido a que es una de las más críticas de un hospital, por lo que, para que pueda cumplir con sus objetivos, se requiere un control acústico adecuado.

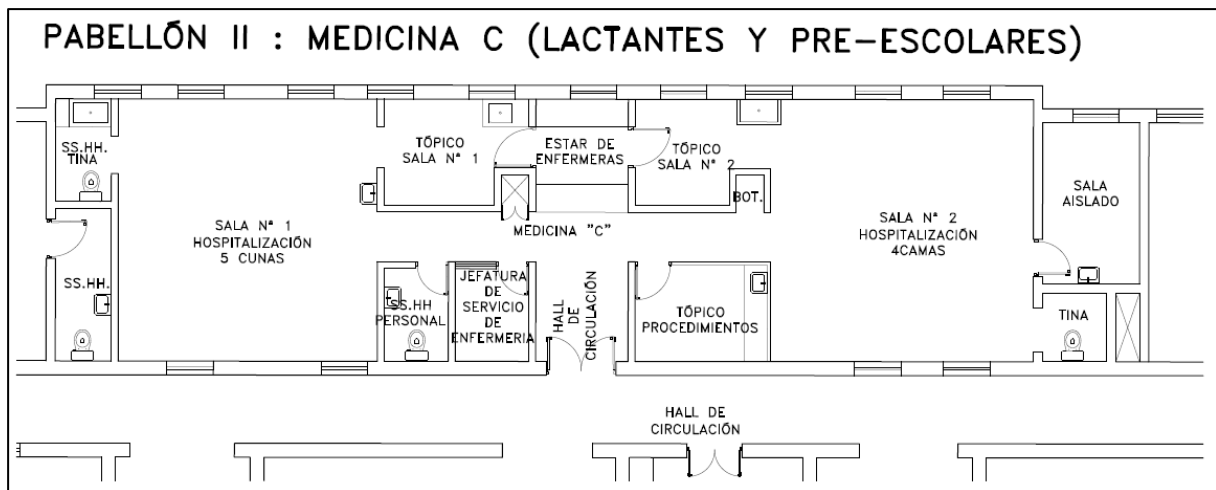


Figura 39: Zona de hospitalización Pabellón II Medicina C del Instituto Nacional de salud del Niño. Fuente: Elaboración propia.

Estos ambientes de la zona en estudio fueron construidos entre los años 1950 y 1968, bajo el tipo de construcción, donde no se tenían en consideración los limitantes en cuanto a los

impactos de salud ambiental, es decir, aún no existían las normativas que rigen los niveles de ruido permitidos en cada tipo de construcción. En cuanto al tipo de construcción de estos ambientes, fueron diseñadas y construidas bajo el sistema dual o mixto, de acuerdo a la Norma E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones.

La zona de estudio consta de dos salas destinados a la hospitalización, donde la sala 1 consta de 5 cunas y la sala 2 consta de 4 camas, también estas salas cuentan con un tópicos cada una, además, la zona cuenta con servicios higiénicos, jefatura de servicio de enfermería y un tópicos de procedimientos. Para este caso, las mediciones de los niveles de ruido se realizaron en el hall de circulación como se muestra en la Figura 39. Estas mediciones se realizaron en el hall de circulación debido a que los accesos para ingresar a las salas de hospitalización se encontraban restringidas, justamente por la recuperación de los pacientes. Por otro lado, uno de los objetivos de nuestra investigación es demostrar los niveles de ruido que se presentan dentro de estas salas, para ello se ha empleado el modelamiento acústico teniendo como referencia las fuentes de ruido generadas en el hall de circulación y aplicando las propiedades de los diferentes tipos de materiales con el que están construidas estos ambientes.

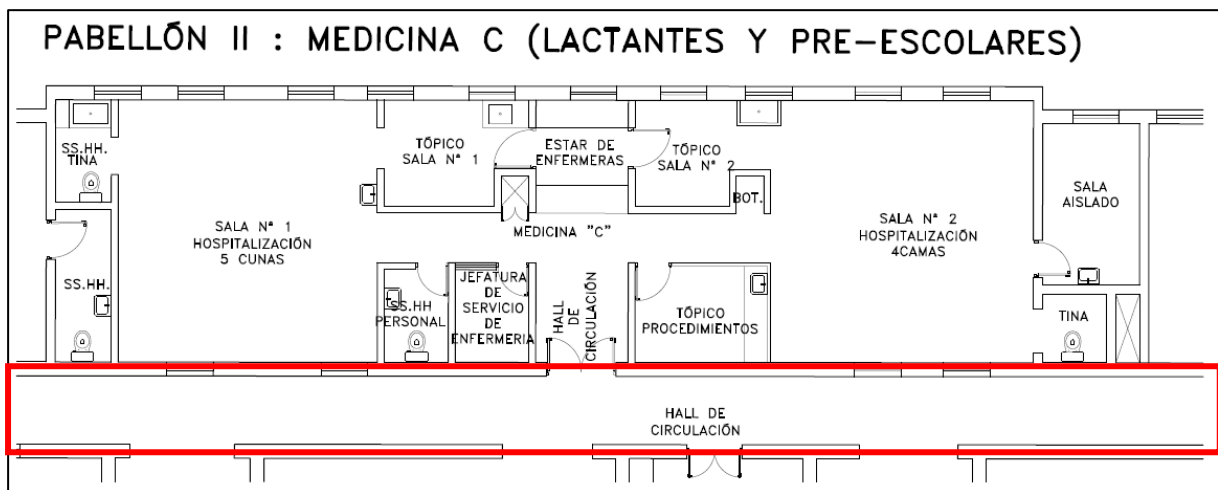


Figura 40: Hall de circulación Pabellón II Medicina C del Instituto Nacional de Salud del Niño.  
Fuente: Elaboración propia.



Del análisis de las áreas existentes dentro de la zona de trabajo, se ha determinado que las zonas de hospitalización son críticas, debido a que los pacientes usan estos ambientes para lograr su recuperación; por tanto, estas zonas, además de cumplir con las exigencias sanitarias pertinentes, deberán cumplir con los niveles de ruido permisibles.

Se realizaron las mediciones de los niveles de ruido en tres puntos diferentes del hall de circulación tal como se muestra en la Figura 40. Las muestras tomadas se denominan fuentes de ruido lineal según el software de modelamiento acústico SoundPLAN. Se le denomina fuentes de ruido lineal justamente por la presencia de las personas en todo el recorrido del hall de circulación, formándose así una fuente de ruido lineal, debido a que estas personas son los principales emisores del ruido para esta investigación.



*Figura 41: Puntos de medición de ruido en hall de circulación hospitalización del Instituto Nacional de Salud del Niño. Fuente: Elaboración propia.*

En este punto es importante aclarar que, por disposición de las autoridades del Instituto de Salud del Niño, no es posible realizar mediciones dentro de los ambientes dedicados a la hospitalización de pacientes, por lo que todas las mediciones se hicieron en los alrededores de estos ambientes. Lo anterior resulta, en términos generales, adecuado, ya que las fuentes de

ruido dentro del hospital se dan por la actividad del personal a lo largo de los corredores, así como por el tránsito de los visitantes y/o familiares.

Con la finalidad de determinar los niveles de ruido en los corredores de los ambientes estudiados se ha determinado una serie de recorridos en los corredores aledaños a los ambientes de interés. En este caso, las mediciones se realizaron en cuatro puntos estratégicos a lo largo del hall de circulación etiquetados como P1, P2, P3 y P4 tal como se muestra en la Figura 41.

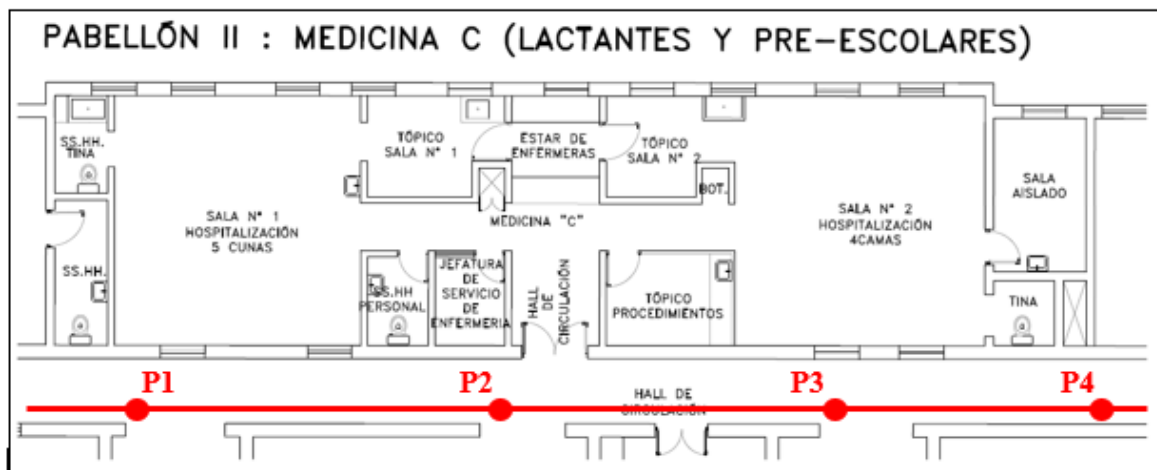


Figura 42: Puntos de medición del ruido dentro la zona norte de cuidados intermedios y hospitalización del Instituto Nacional de Salud del Niño. Fuente: Elaboración propia.

De manera similar, se ha trazado un recorrido alrededor de los ambientes ubicados dentro de la zona norte de cuidados intermedios y hospitalización, como se puede observar en la Figura 42. Es importante aclarar que los ambientes de esta zona son los más expuestos a los niveles de ruido.

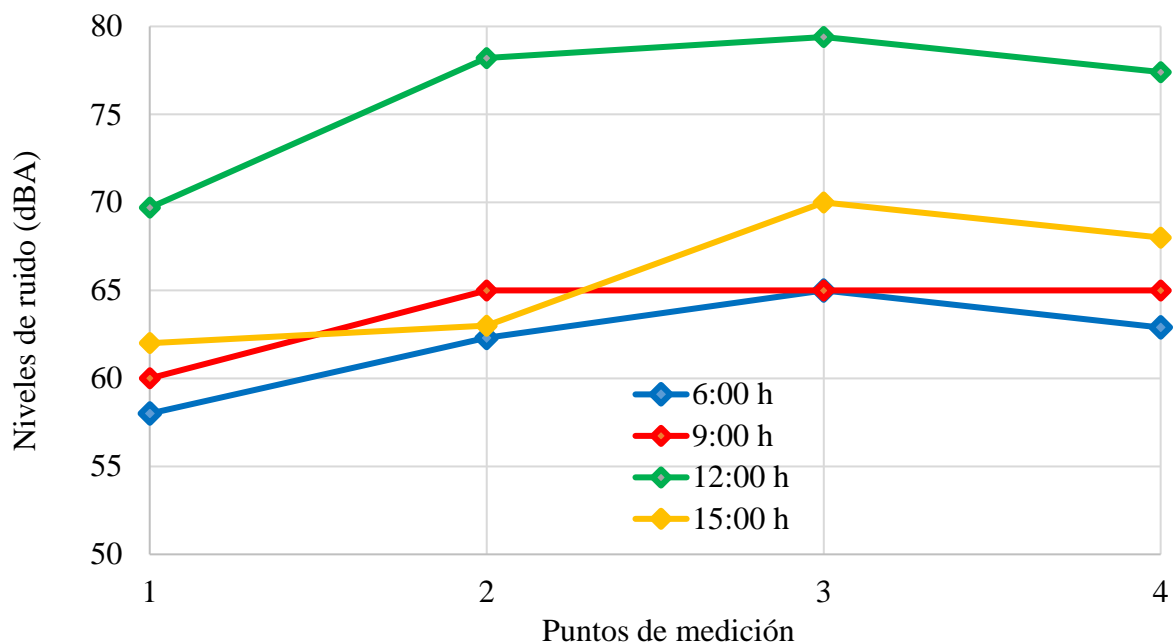
## 5.2.1 Mediciones de los niveles de ruidos

### 5.2.1.1 Hospital de salud nacional del niño

Una vez establecidas las zonas de estudio dentro del hospital del niño, y establecidos los puntos de control dentro de estas, se procedió a la instalación de un sonómetro en cada uno de

estos puntos, con los que se procedió a la medición de los niveles de ruido. En este punto es importante mencionar que el equipo usado fue calibrado previamente, por lo que las medidas realizadas son confiables.

Los resultados obtenidos se muestran de forma gráfica en la Figura 43. Es importante mencionar que la información se ha presentado de tal forma que en el eje vertical se muestra la escala de ruido usada en las mediciones, mientras que en el eje horizontal se muestran los puntos sobre los que se realizaron las mediciones, para esto, se ha decidido usar las siguientes relaciones, se asigna al P1 como punto 1, al P2 como punto 2, al P3 como punto 3 y al P4 como punto 4.

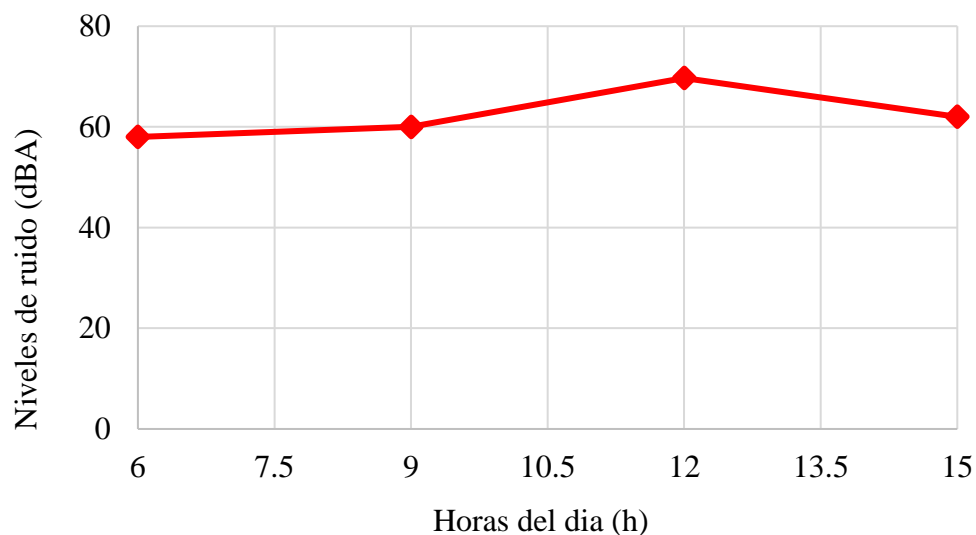


*Figura 43: Niveles de ruido registrados en la zona sur del sector de hospitalización del hospital de niño. Fuente: Elaboración propia.*

En cuanto al color de las líneas presentadas, conviene aclarar que cada color está asociada a la hora del día en la que se efectuó la medición en los mismos puntos, de esta manera, se puede mencionar que el color azul está asociado a las 6:00 de la mañana, debido a que estas

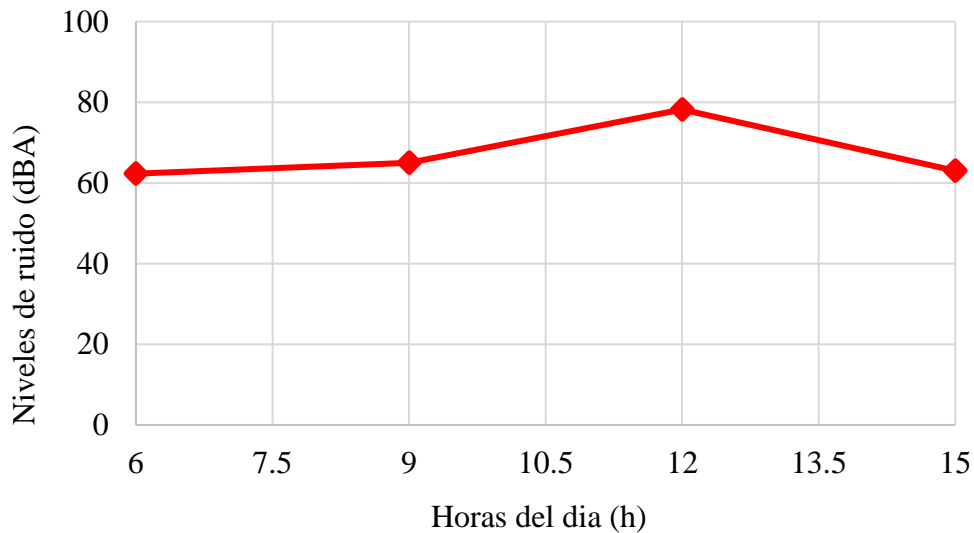
mediciones se realizaron en ese horario. Una relación semejante fue aplicada en cada una de las horas de medición siguientes, tal como se puede observar en la leyenda presentada.

Los resultados indican que los niveles de ruido varían de manera importante con la hora a la que fueron medidas, ya que como se observa de los resultados presentados, los niveles de ruido más bajos fueron encontrados a las seis de la mañana, hora en que los corredores de esta zona se encuentran con numero parcial de visitantes, personal médico, etc. Mientras que los máximos niveles de ruido se presentaron cerca al medio día, una hora en la que, por lo general, los corredores se encuentran con gran cantidad de usuarios, familiares y personal médico.



*Figura 44: Niveles de ruido a diferentes horas del día, medidas en el punto P1 del hall de circulación zona de hospitalización. Fuente: Elaboración propia.*

Los resultados presentados también indican que en general, el nivel de ruido es aproximadamente constante en todo el corredor, ya que como se puede apreciar de las mediciones efectuadas, por ejemplo, al medio día la distribución de ruido fue aproximadamente constantes y tuvo un valor que oscilo entre 60 dBA y 70 dBA, este hecho resulta interesante debido que los resultados encontrados indican que los niveles de ruido pueden tratarse como fuentes lineales distribuidas a lo largo de los corredores.



*Figura 45: Niveles de ruido a diferentes horas del día, medidas en el punto P2 del hall de circulación zona de hospitalización. Fuente: Elaboración propia.*

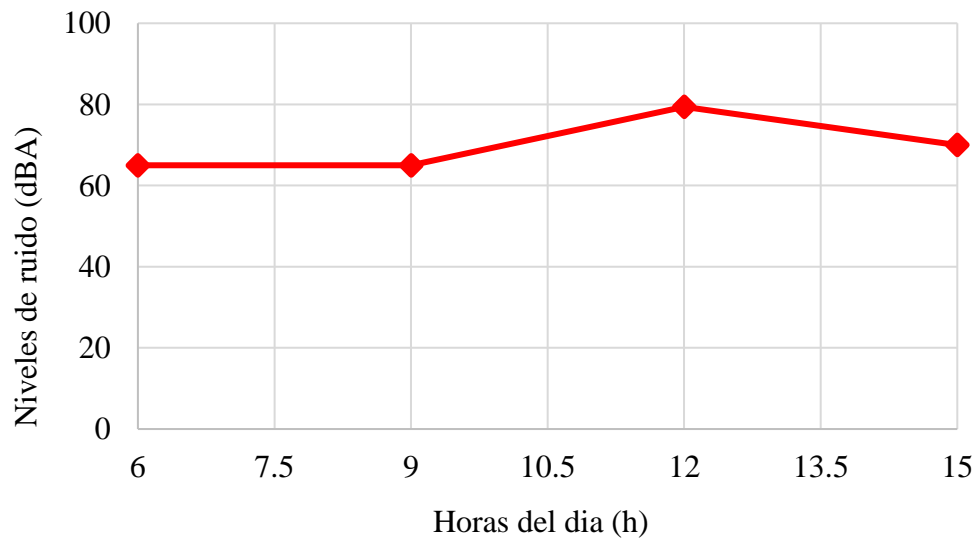
En cuanto a los resultados máximos se puede observar que el máximo nivel de ruido registrado de las mediciones efectuadas fue de 78 dBA, un resultado interesante, ya que, de acuerdo con mediciones hechas en trabajos de investigación previos, los niveles de ruidos en las calles están en el rango de 65 dBA a 80 dBA. Los niveles de ruido máximos encontrados son niveles de ruido importantes, por lo que, es importante que los niveles de ruido dentro de los ambientes, es decir, en los ambientes en los que los pacientes se recuperan deberían de tener algún tipo de aislante acústico.

En este punto resulta de gran importancia tomar en cuenta que de acuerdo con la organización mundial de la salud (OMS), los niveles de ruido máximos permisibles dentro de ambientes hospitalarios son de 40 dBA, por lo que, sin un tratamiento acústico adecuado de las paredes de los ambientes mencionados, los pacientes estarían expuestos a la acción de niveles de ruido comparables a una avenida transitada.

Adicionalmente a la información presentada en la Figura 44, la información obtenida ha sido ordenada considerando los niveles de ruido y las horas del día en las que fueron medidas, esto permite observar la evaluación del ruido a lo largo de un día normal. De acuerdo con esto, en

la Figura 45 se muestran los niveles de ruido medidos en el punto P2 del recorrido trazado en el hall de circulación del área de recuperación del hospital del niño. Como se puede ver de este gráfico, existe una clara tendencia a que los niveles de ruido se vayan incrementando conforme pasan las horas de hecho se pudo observar que los niveles de ruido más bajos se dieron al inicio del día, es decir, aproximadamente a las seis de la mañana, mientras que los niveles máximos del ruido se dieron aproximadamente al medio día.

Además de los resultados presentados en esta gráfica, se decidió presentar información de este tipo para los otros puntos de medición, es decir, los puntos P3 y P4, los que se muestran en la Figura 46 y la Figura 47 respectivamente. En todos los casos, los resultados muestran tendencias muy similares, es decir, que los niveles máximos de ruido durante el día se presentaron alrededor del mediodía.



*Figura 46: Niveles de ruido a diferentes horas del día, medidas en el punto P3 del hall de circulación zona de hospitalización. Fuente: Elaboración propia*

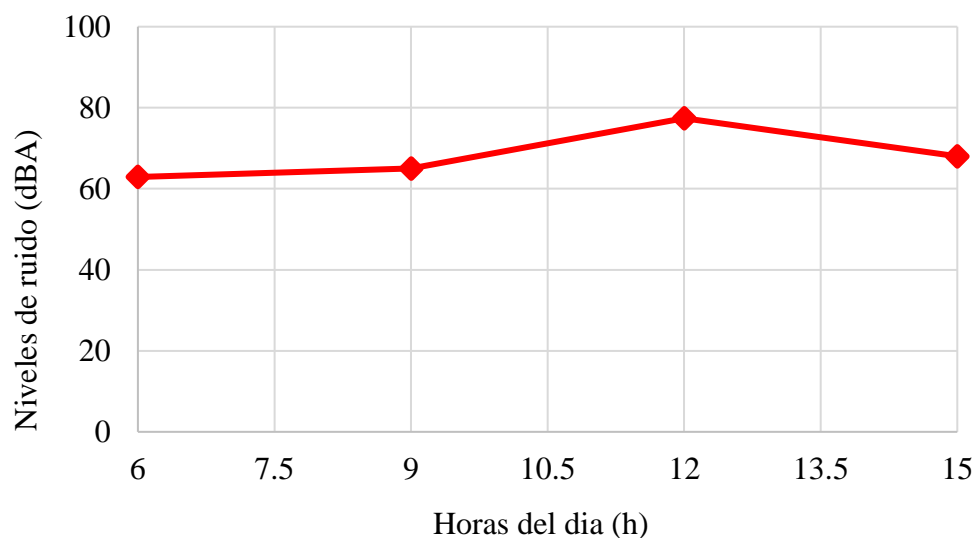


Figura 47: Niveles de ruido a diferentes horas del día, medidas en el punto P4 del hall de circulación zona de hospitalización. Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.1.2 Hospital arzobispo Loayza

Se realizaron una serie de mediciones de los niveles de ruido en el hospital Arzobispo Loayza.

Tabla 6: Niveles de ruido monitoreados en el hospital Loayza. Fuente: Elaboración propia.

Cantidad personas	Tiempo Inicio	Tiempo Termino	dB min	dBA	dB max.
65	6:15 a. m.	6:52 a. m.	73	84	86
70	7:00 a. m.	7:52 a. m.	33	70	88
70	8:00 a. m.	8:50 a. m.	73	84	87
65	9:17 a. m.	9:52 a. m.	33	70	88
68	10:01 a. m.	10:58 a. m.	33	70	88
68	11:00 a. m.	11:45 a. m.	73	84	86
66	12:10 p. m.	12:52 a. m.	73	84	87
68	1:10 p. m.	1:59 p. m.	40	61	69
69	2:15 p. m.	3:01 p. m.	33	70	88
50	3:10 p. m.	4:00 p. m.	35	52	69
25	4:02 p. m.	5:00 p. m.	35	53	68

De acuerdo con los resultados obtenidos como se aprecia en la Tabla 6, se ha podido determinar que los máximos niveles de ruido encontrados alcanzaron el valor de 84 dBA, mientras que el valor mínimo alcanzó un valor de 52 dBA. Como puede observarse de estos resultados, en todo momento los niveles de ruido superaron con facilidad los niveles máximos recomendados por la OMS, que tiene un valor de 40 dBA. Ver Figura 48.

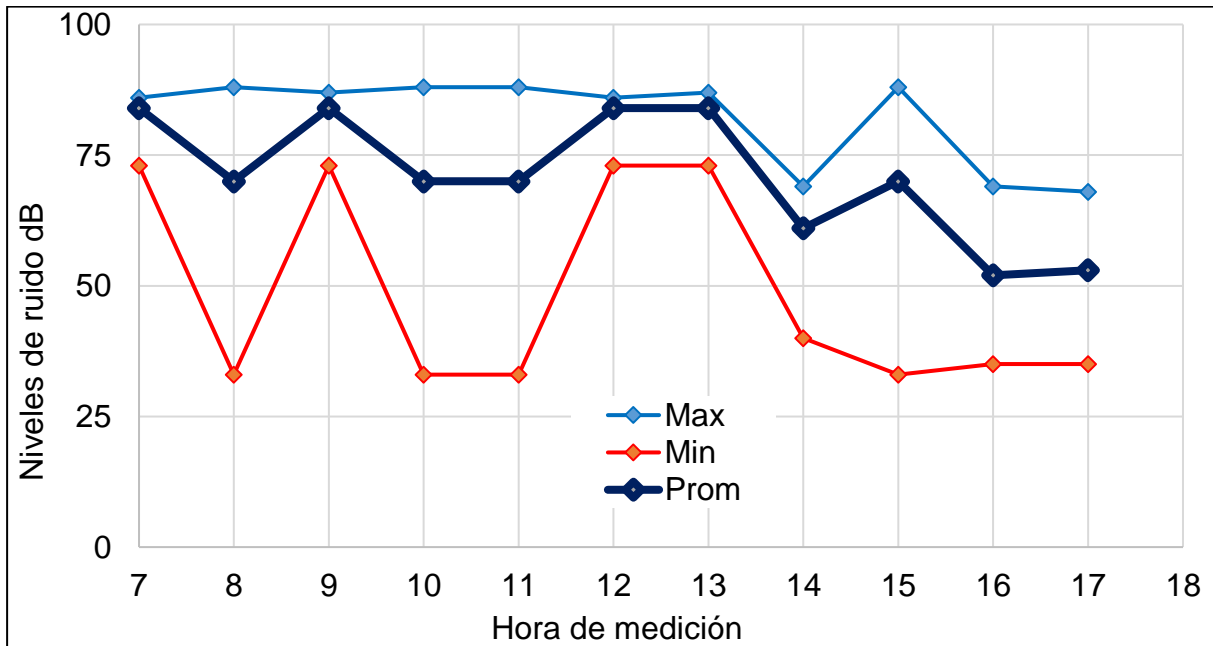


Figura 48: Niveles de ruido presentes en el hospital Loayza. Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.1.3 Hospital dos de Mayo

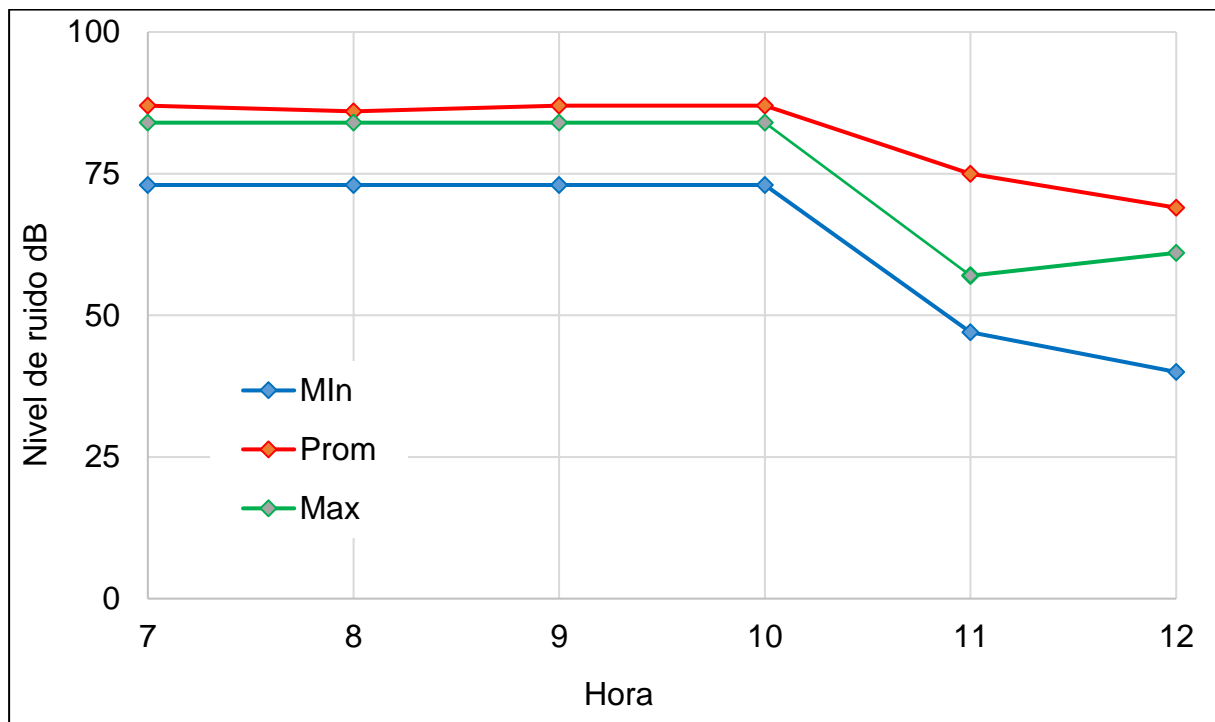
Además del hospital Arzobispo Loayza, se realizaron una serie de mediciones en el hospital dos de Mayo.

Tabla 7: Niveles de ruido monitoreados en el hospital Dos de Mayo. Fuente: Elaboración propia.

Cantidad personas	Tiempo Inicio	Tiempo Terminó	dB min	dBA	dB Max.
130	7:00 a. m.	7:52 a. m.	73	84	87
124	8:00 a. m.	8:50 a. m.	73	84	86
136	9:17 a. m.	9:52 a. m.	73	84	87
124	10:01 a. m.	10:58 a. m.	73	84	87
130	11:00 a. m.	11:45 a. m.	47	57	75
136	12:10 a. m.	12:52 a. m.	40	61	69



Los resultados obtenidos en la Tabla 7 muestran que los máximos niveles de ruido encontrados fueron de alrededor de 84 dBA, mientras que el mínimo valor registrado a lo largo de todo el día fue de 57 dBA. Nuevamente se puede observar que estos valores superan con mucha facilidad el máximo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Ver Figura 49.



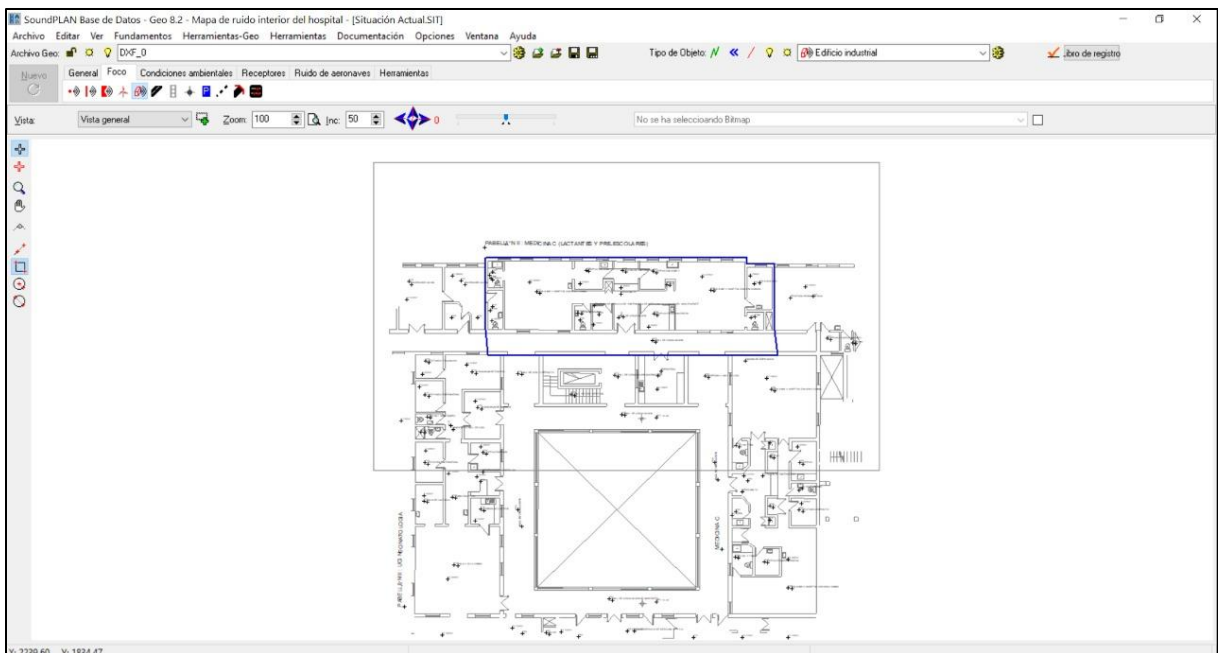
*Figura 49: Niveles de ruido monitoreados en el hospital Dos de Mayo. Fuente: Elaboración propia.*

Como se puede observar de los resultados presentados, tanto los máximos niveles de ruido como los mínimos evaluados en los tres hospitales de análisis han superado con toda facilidad el máximo nivel de ruido recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Con estos resultados se pudo concluir que, si se desea un ambiente equilibrado en los hospitales y que promueva la recuperación de sus pacientes, se deben tomar medidas para minimizar los niveles de ruido presentes en las diferentes unidades presentes. Por lo que con base en estos

resultados se recomienda el reacondicionamiento de numerosos ambientes de un hospital, en especial, el de las unidades de recuperación.

## 5.2.2 Modelamiento de la propagación del ruido

En esta sección se ha modelado la distribución de los niveles de ruido dentro de los ambientes de interés, los que fueron presentados en las secciones anteriores. Para el modelamiento de los niveles de ruido se usó el software SoundPLAN, que es capaz de modelar la distribución de los niveles de ruido para cualquier geometría. En este punto, conviene aclarar que el software usado es capaz de generar las geometrías deseadas usando su propia interfaz gráfica o usando software de dibujo y modelado externos, tales como AutoCAD y REVIT como se muestra en la Figura 50.

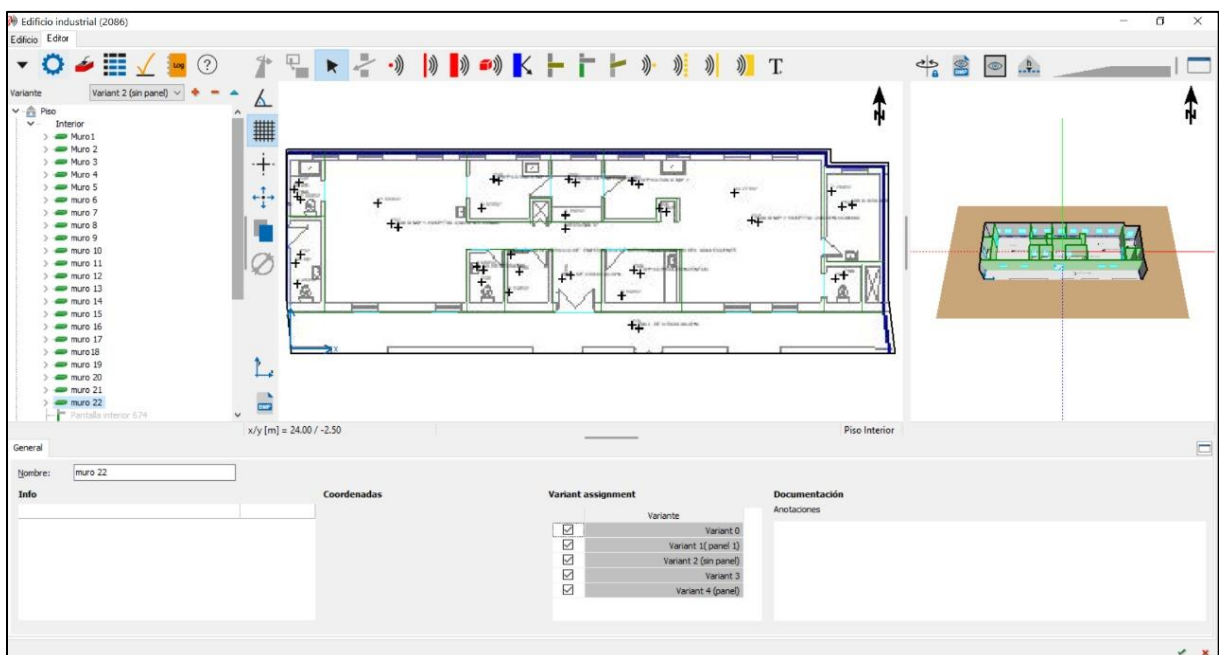


*Figura 50: Geometrías del Pabellón II – Medicina C de la zona de hospitalización del Hospital de niño en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia.*

El primer paso del modelamiento se da definiendo las características geométricas específicas, tales como dimensiones en planta de los ambientes y la altura de los ambientes, además si existen elementos internos que puedan contribuir a la absorción del ruido, deben ser modelados.

En esta primera sección se han modelado las características geométricas de los ambientes de hospitalización del Pabellón II – Medicina C del hospital del niño, tal como se muestra en la Figura 51. Como puede verse de este gráfico, el software posee una interfaz gráfica bastante amigable, por lo que, tanto el ingreso de la información como el procesamiento y post procesamiento de los datos se hacen con relativa facilidad.

Una vez que se ha definido la geometría de base, se procede a la creación de las superficies, estas se hacen con base en las características geométricas de los elementos ingresados en las secciones previas. Se recomienda que el modelado agrupe superficies con características similares, por ejemplo, es recomendable que todas las superficies que componen el piso de un ambiente se agrupen dentro de una categoría llamada piso.



*Figura 51: Modelamiento del ambiente de la zona de hospitalización del Hospital de niño en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia.*

Lo mencionado, resulta de gran utilidad práctica en el modelamiento, pues permite asignarles propiedades de manera práctica a grupos definidos de esta manera, esto debido a que usualmente, los pisos de una habitación están hechos con materiales de un mismo tipo, ideas similares puede extenderse con toda facilidad al caso de otros elementos como muros o techos.

El siguiente paso en el modelamiento es definir las características acústicas de los materiales que componen el recinto, en este punto se debe tener claro que usualmente dentro de una habitación tanto las paredes como el piso o techo pueden estar hechos de materiales diferentes, o aun sin ser diferentes pueden estar revestidos con materiales diferentes, por lo que sus propiedades acústicas serán, en general, diferentes.

En este trabajo de investigación, las características acústicas de los materiales se han definido mediante el uso de factores de absorción de ruido. Además, estos se han definido siguiendo las recomendaciones hechas en el software de análisis usado. De acuerdo con esto se han considerado los siguientes factores de absorción en función de los materiales predominantes en los ambientes estudiados.

Otro de los factores más importantes en el modelamiento es la definición de las fuentes de ruido. El software usado permite la definición de fuentes puntuales de ruido, los que se definen por medio de la potencia de la emisión medida en decibelios.

En el caso estudiado se han definido cuatro puntos de ruido, formando así una fuente de emisión de ruido lineal, las mismas que se han ubicado en el corredor o hall de circulación de la zona mencionada, además, se han definido los puntos de recepción de ruido en cada ambiente de estudio, tal como se muestra en la Figura 52. Sobre este gráfico es importante aclarar que las

fuentes en general se colorean de rojo y los puntos de recepción en general se colorean de amarillo.

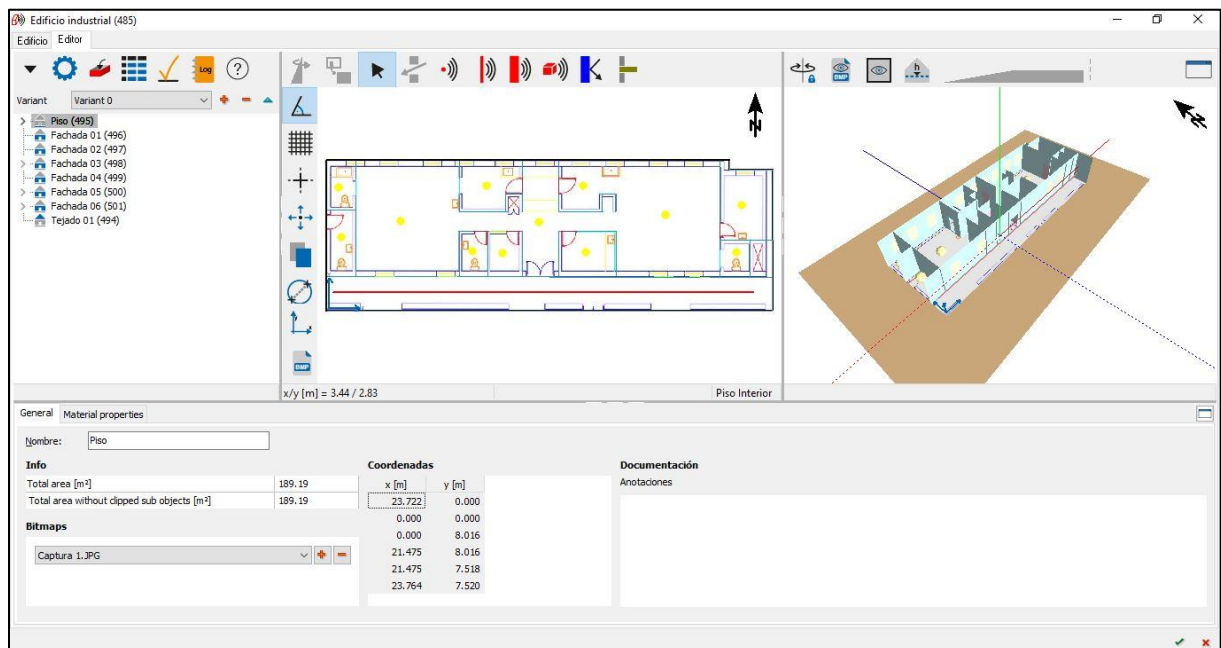


Figura 52: Generación de fuentes y puntos de recepción de ruido en la zona aledaña en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia.

El software SoundPLAN posee dos tipos de receptores, puntuales y de superficie. Los receptores puntuales son una especie de micrófonos que permiten obtener la medición del ruido en zonas específicas. El segundo tipo de receptor son las superficies, una de las mayores ventajas de receptores de superficie es que miden la intensidad y la posición de estos, lo que permite estudiar la distribución espacial del ruido, por lo que se puede apreciar de forma clara la intensidad y la ubicación de estos.

En el caso estudiado se han definido ambos tipos de receptores, es decir, puntuales y de superficie, por lo que se podrá tener una apreciación gráfica de la distribución del ruido y una medida exacta de los valores en un punto interior de la zona en estudio.

Finalmente, y como paso previo al procesamiento de los datos, se debe definir el primer mapa de ruido de la región a estudiar, pues de esta manera el software puede resolver las ecuaciones que rigen la propagación del ruido de manera eficaz. En la Figura 53, Figura 54 y Figura 55 se muestran los mapas de ruido previo a la solución del problema estudiado.

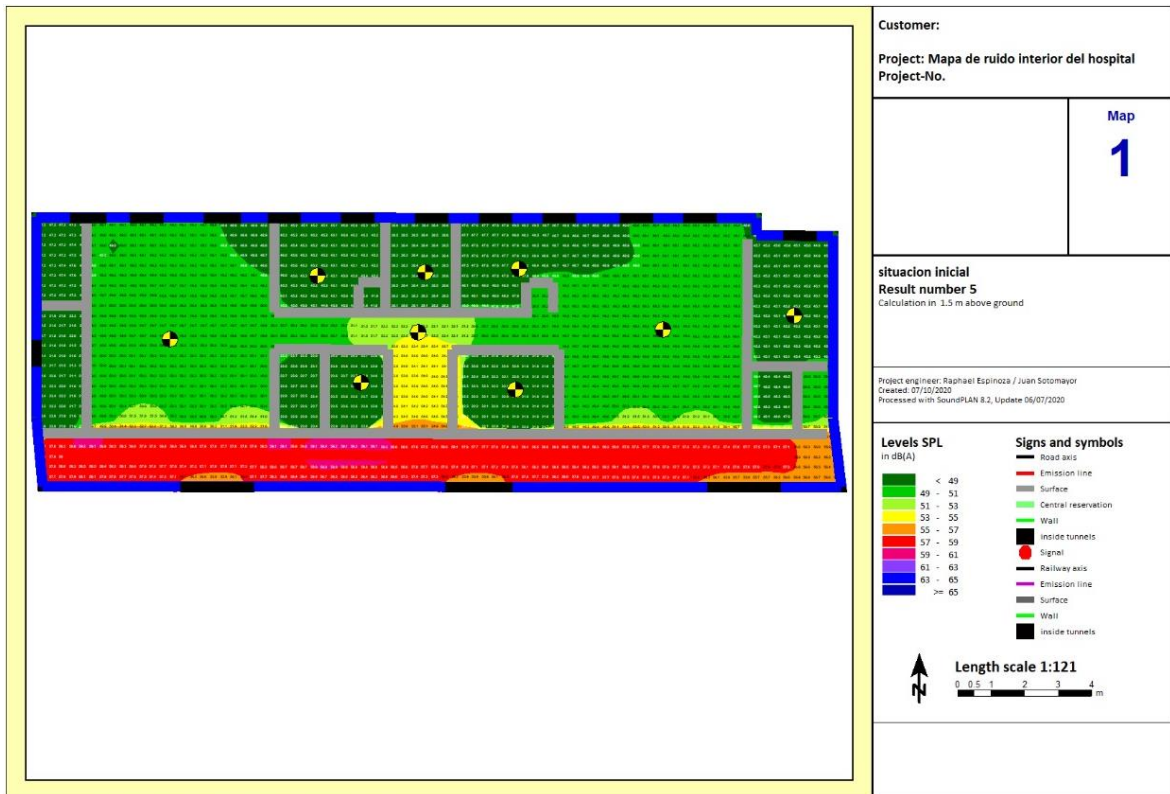


Figura 53: Generación de mapa de ruido actual dentro de los ambientes de interés, vista en planta en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia.

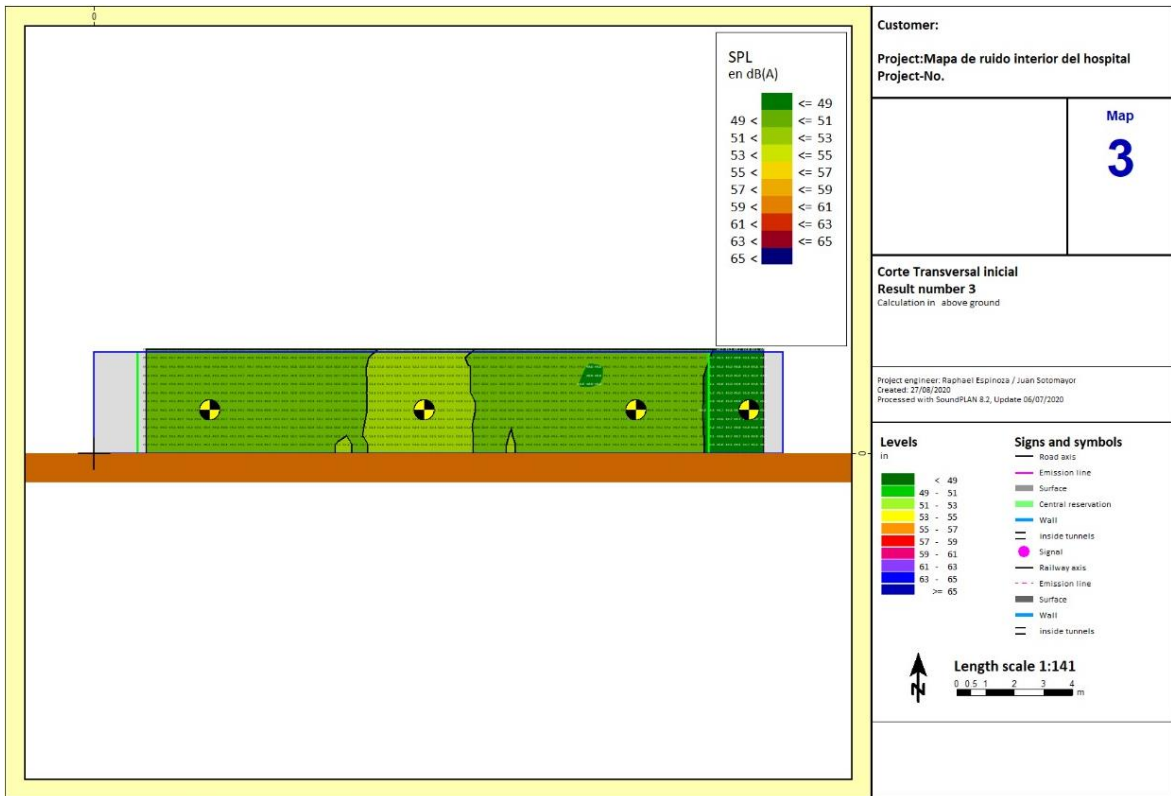


Figura 54: Sección longitudinal del mapa de ruido actual dentro de los ambientes de interés, vista de corte en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia

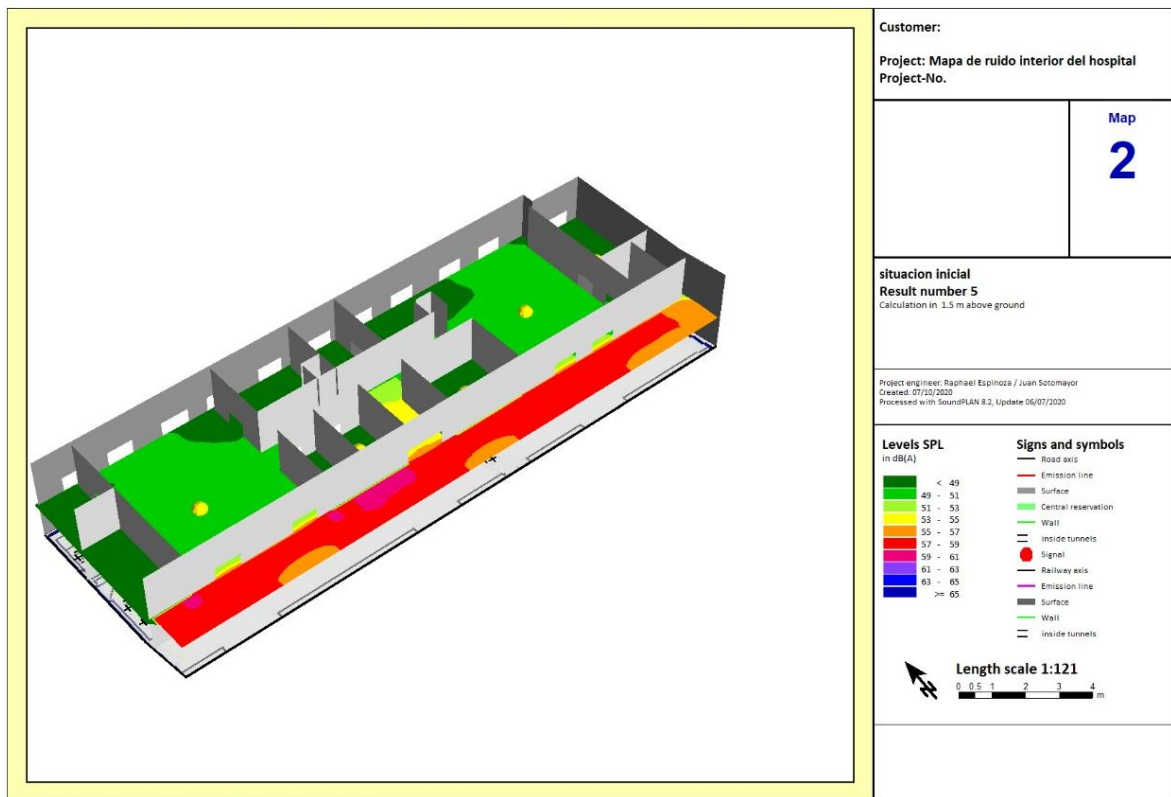


Figura 55: Representación isométrica del mapa de ruido actual dentro de los ambientes de interés, vista 3D en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia.

Es importante aclarar que estos ambientes de la zona en estudio están compuestos por columnas, vigas y losas de concreto armado, acompañados de muros portantes de ladrillo de arcilla  $e=0.15\text{m}$ . Estos a su vez, tienen como acabado final enchapes de baldosas en pisos, tarrajeo y pintura en muros, tarrajeo y pintura en techos, puertas contraplacadas de madera y ventanas de vidrio crudo  $e=5\text{mm}$ .

Por otro lado, cabe aclarar también, que en general la elección de un mapa de ruido refinada tiene efectos significativos en el cálculo, puesto que garantiza mayor fiabilidad de los resultados, mientras que un mapa poco refinado puede dar resultados con muy poco detalle.

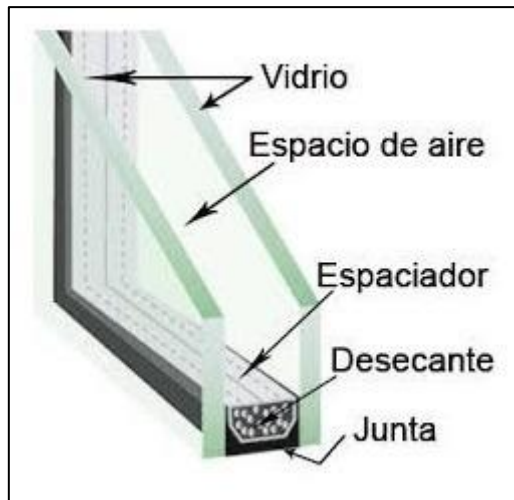
### **5.3 Resultados de acuerdo con el tercer objetivo**

#### **5.3.1 Propuesta de aislamiento acústico**

Como se ha podido observar de la sección anterior, el nivel de ruido dentro de las habitaciones, en las condiciones en las que se encuentra es relativamente elevado, por lo que a modo de propuestas para la disminución de estos niveles se han empleado varias formas de hacerlo, prevaleciendo siempre el uso de los materiales que cumplen con las propiedades de absorción acústica y con las características de salubridad por tratarse un ambiente hospitalario.

Como primera propuesta del estudio, se realiza reemplazando los vidrios convencionales de las ventanas por unos vidrios insulados (Vi), llamado también Termopanel o DVH, es un doble vidrioado diseñado para ofrecer control térmico y acústico, está compuesto por dos hojas de vidrio separados por aire o algún otro gas apropiado, mediante el uso de uno o más espaciadores que evitan la condensación de humedad entre los vidrios, tal como se muestra en la Figura 56.





*Figura 56: Sistema de vidrio insulado empleado para la primera propuesta. Fuente: Adaptado vidrioycristales, 2021.*

Además, es importante tener en consideración que el coeficiente de absorción encontrado para este caso fue de 0.60, como se puede apreciar, un valor muy superior al 0.05 de coeficiente de absorción que tiene el vidrio convencional.

Teniendo como base estos datos del material, se procesó y definió el segundo mapa de ruido de la región a estudiar, pues de esta manera el software puede resolver las ecuaciones que rigen la propagación del ruido de manera eficaz. Luego se obtuvo la primera solución como se muestra en la Figura 57, Figura 58 y Figura 59.

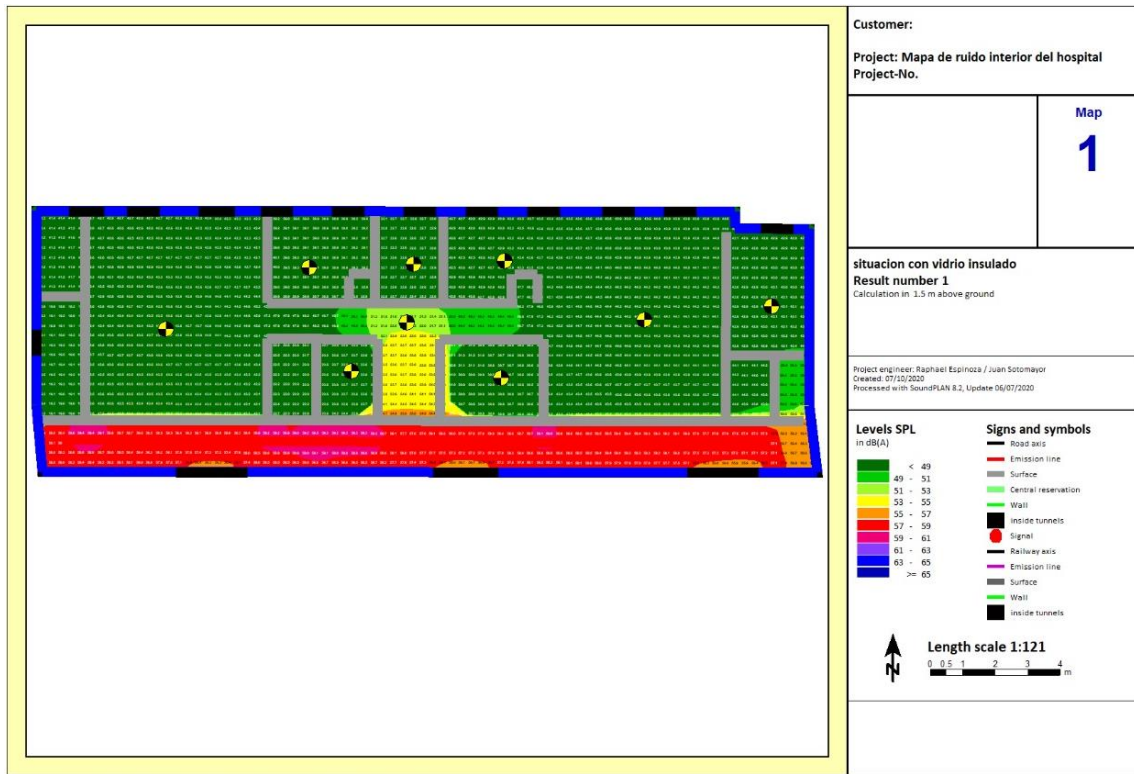


Figura 57: Generación de mapa de ruido empleando ventanas de vidrio insulated, vista en planta en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia.

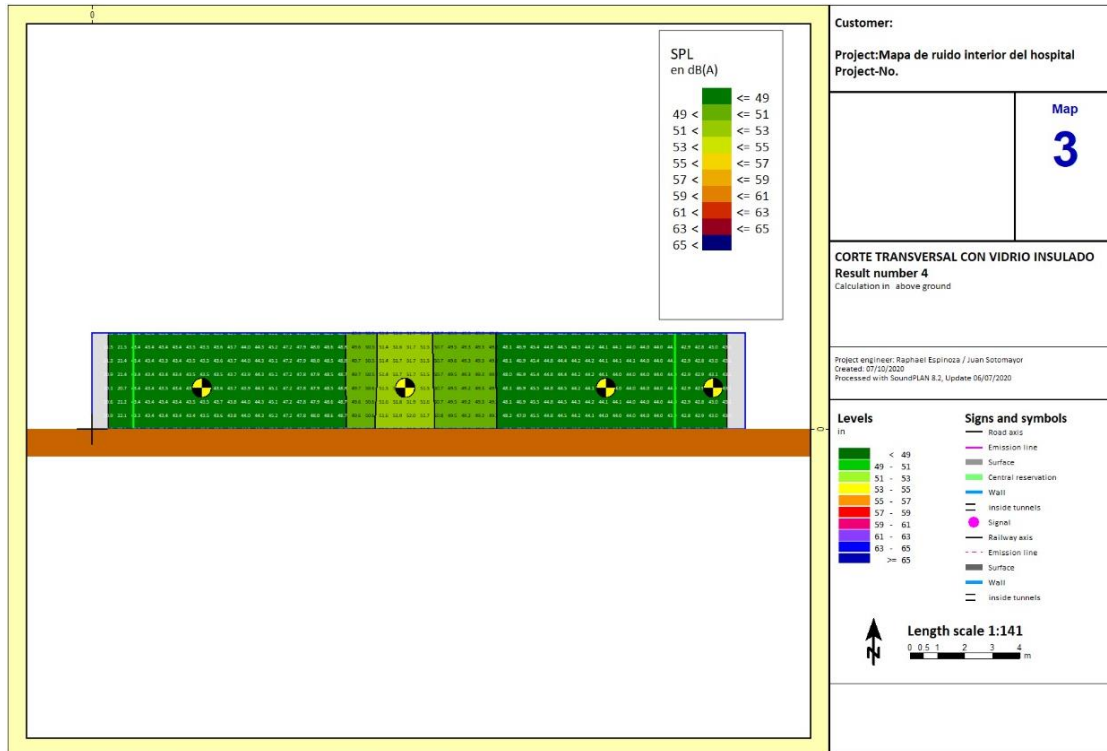


Figura 58: Sección longitudinal del mapa de ruido empleando ventanas de vidrio insulated, vista de corte en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia.

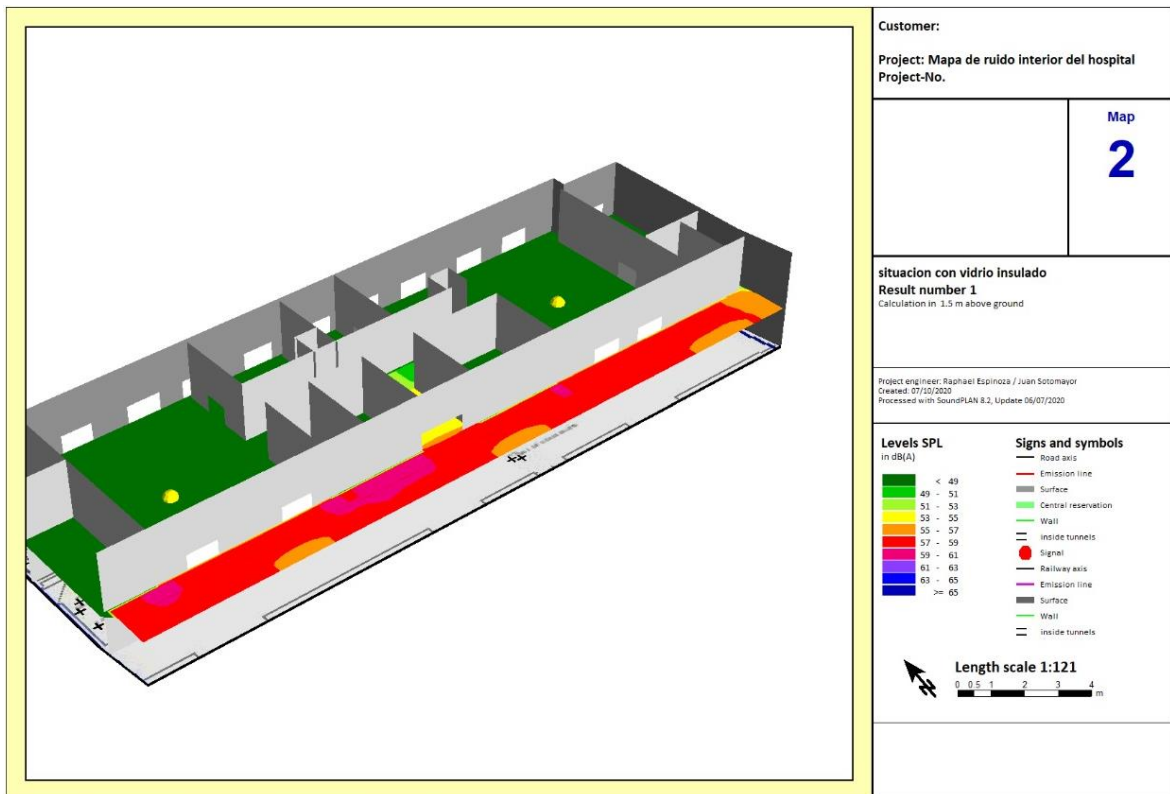


Figura 59: Representación isométrica del mapa de ruido empleando ventanas de vidrio insulated, vista 3D en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia.

Como segunda propuesta del estudio, se realiza considerando las ventanas con vidrios insulated (Vi) y colocando 2 puertas contraplacadas de madera (Pa) en el pasadizo de los ingresos a las habitaciones de recuperación, una en cada ingreso. Ya sabiendo las propiedades acústicas de los vidrios insulated, se sabe también, que las puertas contraplacadas tienen las propiedades de absorción acústica muy altas que van entre el 0.95 a 1.00, debido que estos tienen la forma y compuesto de un sándwich o un panel como se muestra en la Figura 60.



Figura 60: Puerta contraplacada de madera. Fuente: Adaptado de Ciapesa sac, 2021

Con estos datos de la segunda propuesta, se pasó a procesar y definir el tercer mapa de ruido de la región a estudiar, para que el software puede resolver las ecuaciones que rigen la propagación del ruido de manera eficaz para este caso. Luego se obtuvo la segunda solución como se muestra en la Figura 61, Figura 62 y Figura 63.

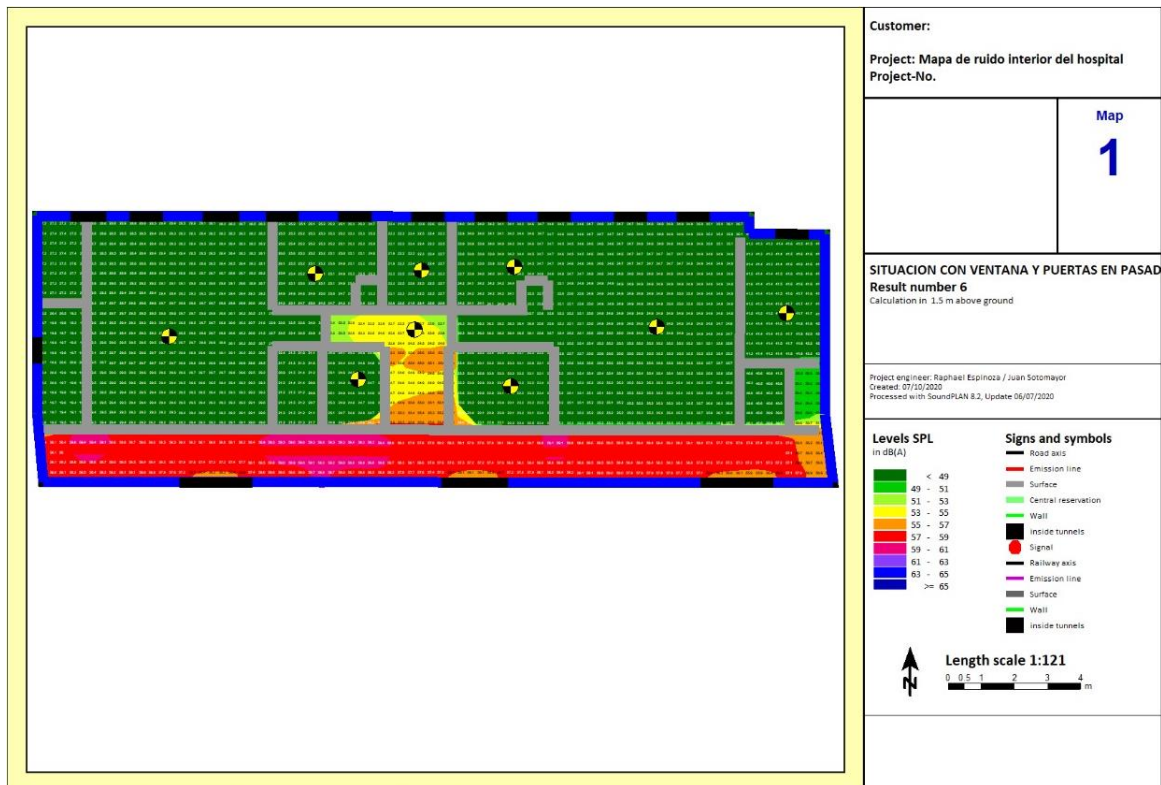
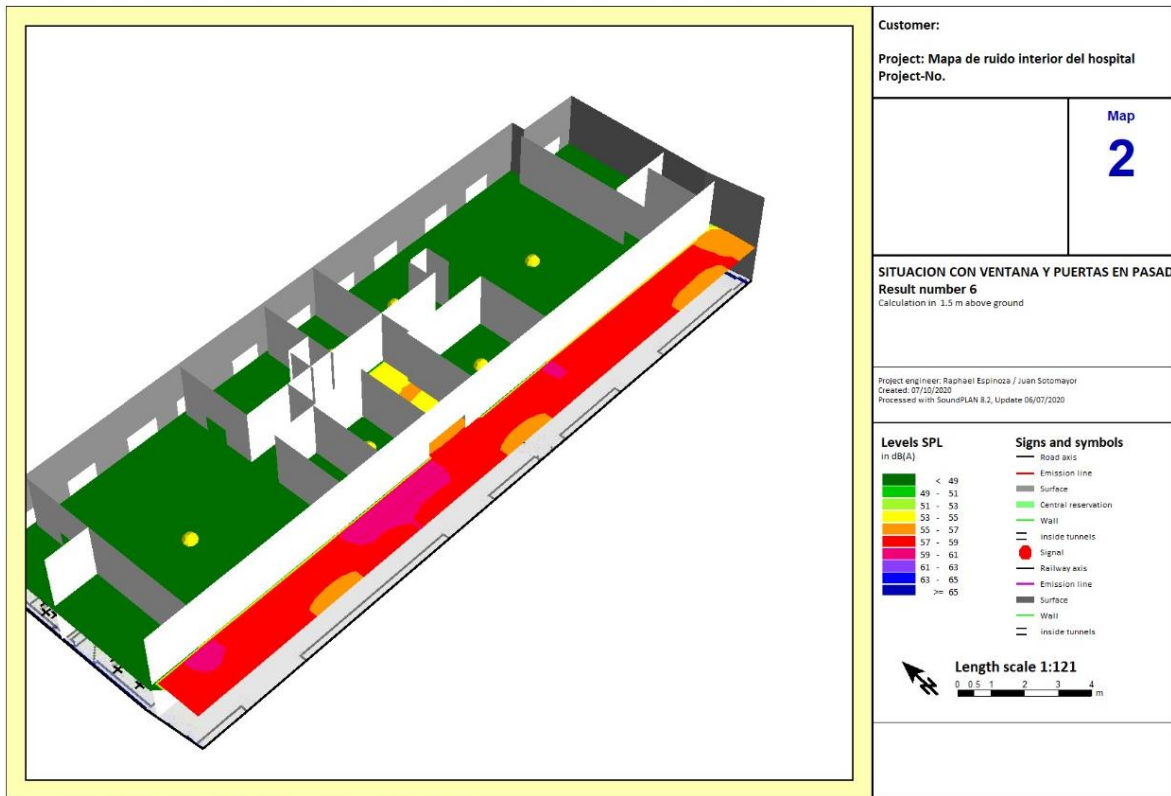


Figura 61: Generación de mapa de ruido empleando ventanas de vidrio insulatedo y puertas contraplacadas en pasadizo de ingreso, vista en planta en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia.



Figura 62: Sección longitudinal del mapa de ruido empleando ventanas de vidrio insulatedo y puertas contraplacadas en pasadizo de ingreso, vista de corte en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia.



*Figura 63: Representación isométrica del mapa de ruido empleando ventanas de vidrio insulated y puertas contraplacadas en pasadizos de ingreso, vista 3D en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia.*

Finalmente, se propone la tercera opción de solución para cumplir con los estándares de calidad ambiental de ruido en estos ambientes. En este caso, se consideraron las ventanas con vidrios insulated (Vi), se quitaron las puertas contraplacadas (Pa) empleadas en la propuesta anterior y en lugar de estas, se proponen paneles de corcho (Pc) de 20mm de espesor (Ver Figura 64), las mismas que serán presentadas y pegadas en los muros del pasadizo de ingreso a las habitaciones. Se optó por los paneles de corcho debido a que cuentan con propiedades de absorción acústica altas que van desde los 0.12 hasta 0.77 correlativamente según van aumentando las frecuencias de emisión del ruido.



*Figura 64: Paneles de corcho. Fuente: Adaptado de CORK PERU, 2021*

Estos datos fueron llevados y procesados para generar el cuarto y último mapa de ruido de la región a estudiar, para que el software pueda resolver las ecuaciones que rigen la propagación del ruido de manera eficaz para este caso. Luego se obtuvo la tercera solución como se muestra en Figura 65, Figura 66 y Figura 67.

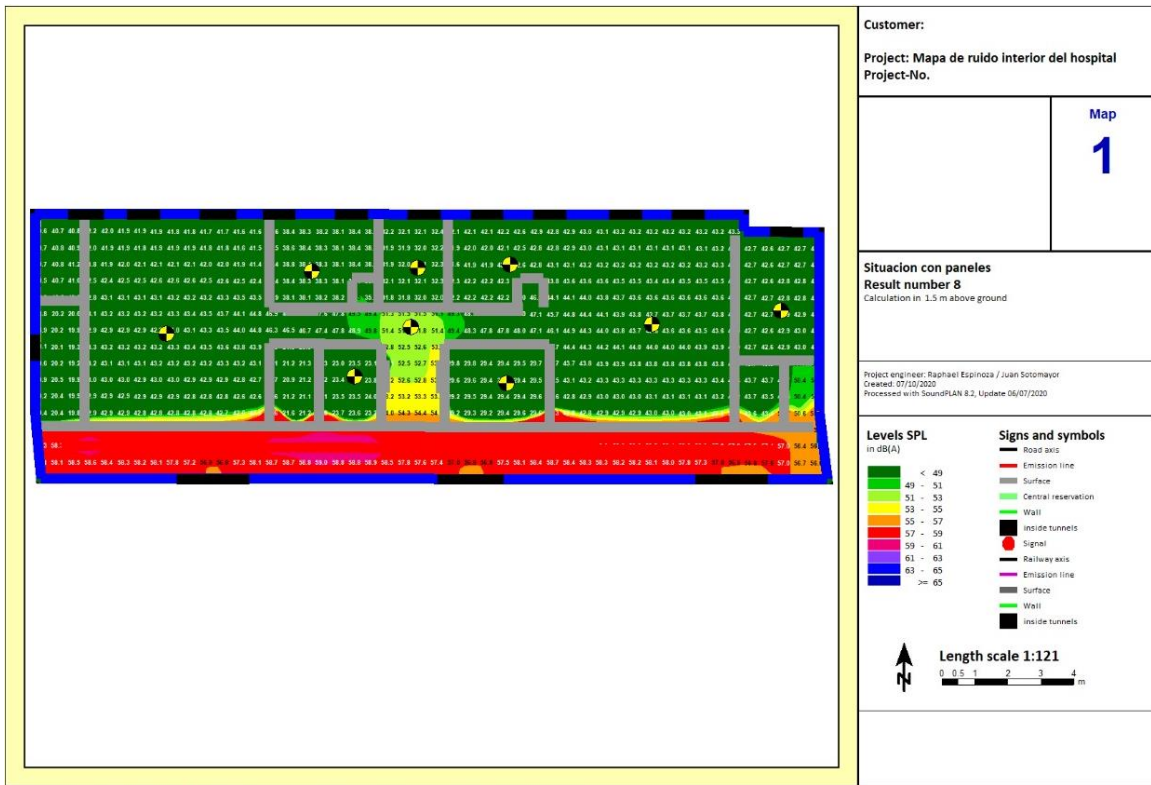


Figura 65: Generación de mapa de ruido empleando ventanas de vidrio insulated y paneles de corcho en pasadizo de ingreso, vista en planta en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia.



Figura 66: Sección longitudinal del mapa de ruido empleando ventanas de vidrio insulated y paneles de corcho en pasadizo de ingreso, vista de corte en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia.





Figura 67: Representación isométrica del mapa de ruido empleando ventanas de vidrio insulated y paneles de corcho en pasadizos de ingreso, vista 3D en el software SoundPLAN. Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, se ha considerado que es posible el uso de baldosas acústicas en los techos, a modo de falso cielo raso, esto permitió disminuir los niveles de ruido presentes en los ambientes estudiados.

Es importante mencionar una vez más, que las mediciones dentro de los ambientes no resultaron una alternativa para este estudio, debido a que estos ambientes se encontraban en uso durante las mediciones realizadas. Por tal motivo, se recurrió al uso del software SoundPLAN, que es un código que implementa la teoría de la reverberación mediante el uso de una interfaz gráfica, como se muestran en figuras presentadas anteriormente.

Además, es posible la definición de nuevos materiales los que se caracterizan de acuerdo con su coeficiente de absorción. En este sentido, es importante aclarar que el software tiene una librería de materiales por defecto, dentro de las que no se encuentra, necesariamente, el material

de nuestro interés. Debido a esto, se han definido nuevos materiales, tanto para el caso de los vidrios insulados, como para el caso de los paneles de corcho.

En secciones previas se han presentado los coeficientes de absorción de ambos materiales, estos valores fueron del 5% y 77%, para el caso de albañilería confinada y los paneles de corcho, respectivamente, además, la definición de las características mecánicas más resaltantes dentro del SoundPLAN, como se muestra en la Figura 68, Figura 69 y Figura 70.

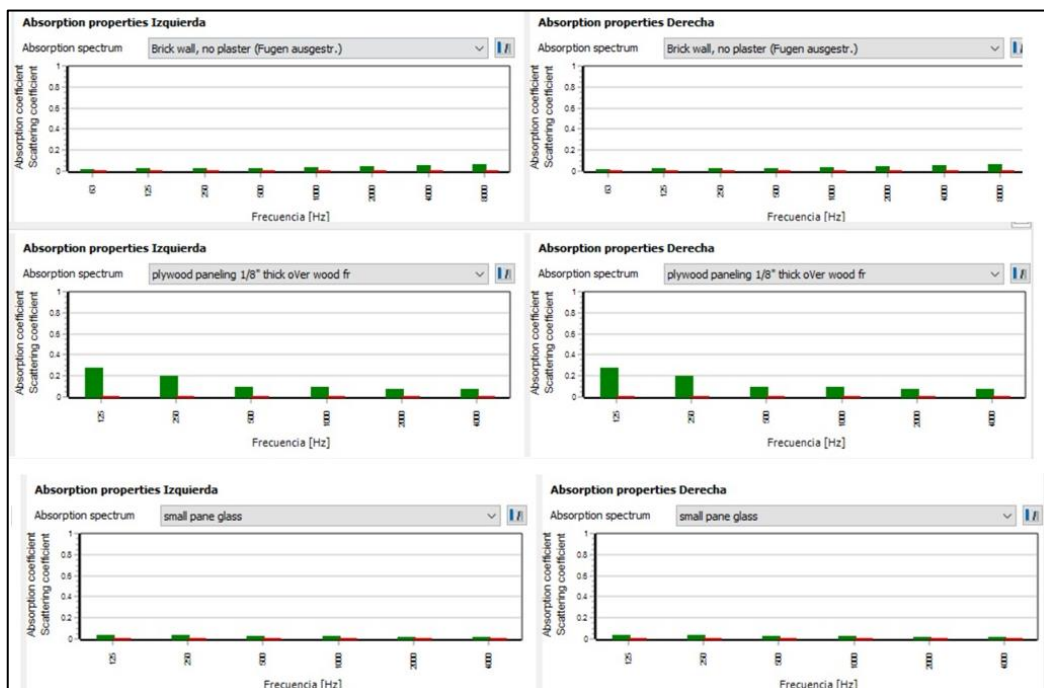


Figura 68: Propiedades de los materiales existentes a través de la interfaz gráfica. Fuente: Elaboración propia

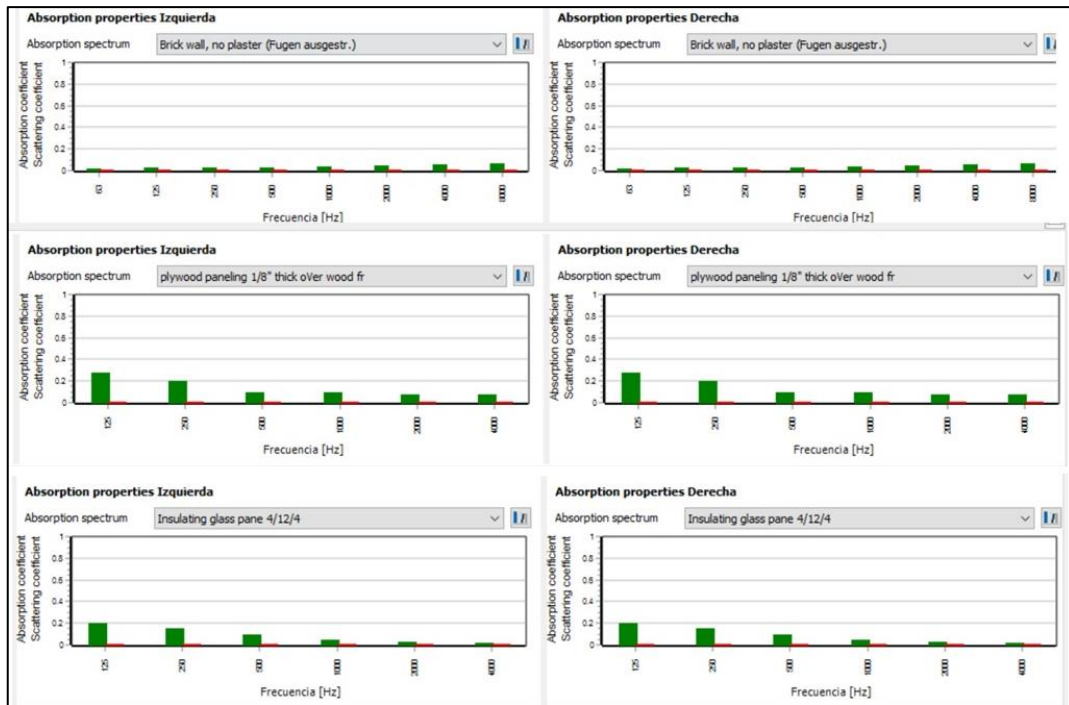


Figura 69: Definición de materiales de la primera y segunda propuesta a través de la interfaz gráfica. Fuente: Elaboración propia

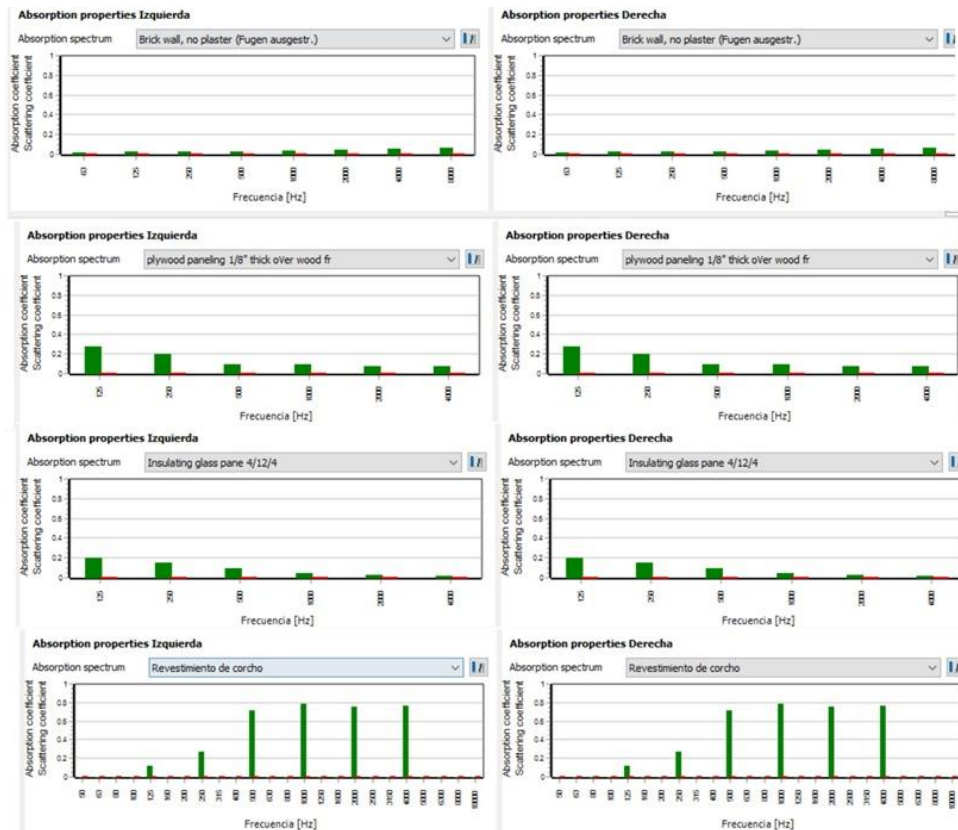


Figura 70: Definición de materiales de la tercera propuesta a través de la interfaz gráfica. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se demostró que, si se emplean cualquiera de las tres alternativas propuestas, entonces se puede alcanzar a reducir los niveles de ruido permitidos, de acuerdo a los estándares de calidad ambiental de ruido establecidos en el Decreto Supremo N° 085-2003 de la Presidencia del Consejo de Ministros (PCM).

Además, con la finalidad de obtener una medición certera en función de las frecuencias de los ruidos, el software SoundPLAN permite realizar mediciones puntuales de los niveles de ruido dentro de la habitación, resultado que se muestra en la Figura 71. De este resultado se puede apreciar que el nivel de ruido máximo alcanzó un módulo de 42.1 dBA, es decir, se logró una reducción del 21% de los niveles de ruido presentados antes de la colocación de los paneles de corcho.

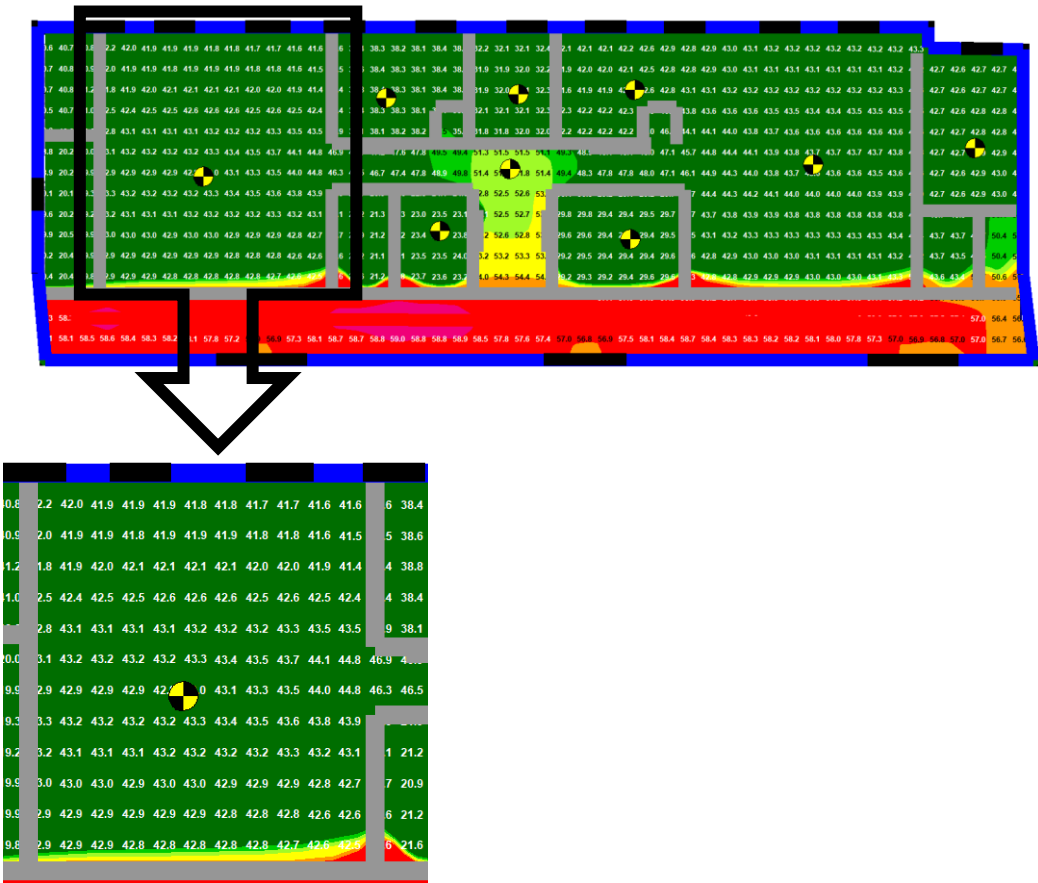


Figura 71: Definición de materiales de la segunda propuesta a través de la interfaz gráfica.  
Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos en la sección anterior, y se contrastan estos con resultados de otros trabajos de investigación similares. Al no poder comparar directamente los casos de diferentes hospitales, se comparan los resultados en términos cualitativos. Se muestra también que la propuesta de rehabilitación de los ambientes hospitalarios propuestos ha tenido un efecto benéfico, ya que se ha logrado reducir los niveles de ruido al ser comparados con las mediciones experimentales.

### 6.1 Verificación

La propuesta de mejora en los niveles de ruido dentro de ambientes hospitalarios consiste en la colocación de paneles de corcho en las paredes, vidrio insulado en las ventanas de los ambientes en los que se desea mejorar el aislamiento acústico y finalmente, paneles acústicos en puertas de estos ambientes.

En la Tabla 8 se muestran los resultados de los niveles máximos de ruido encontrados de manera experimental en los hospitales de salud del niño, Loayza, y dos de mayo. Además, se presentan los niveles de ruido encontrados en los ambientes de interés, mediante el modelado en software SoundPLAN. Es importante entender que el modelado ha tratado de reproducir las condiciones de protección acústica que forma parte de la propuesta de este trabajo de investigación. Para esto, se ha tomado en cuenta los coeficientes de absorción de ruido de los materiales considerados en el modelado.

*Tabla 8: Máximos niveles de ruido presentes en los tres hospitales. Fuente: Elaboración propia.*

ISN (dBA)		Loayza (dBA)		Dos de Mayo (dBA)	
Max	Prom	Max	Prom	Max	Prom
55	52	84	65	84	65

Tabla 9: Niveles de ruido alcanzados con las mejoras propuestas. Fuente: Elaboración propia.

Vi (dBA)	Vi+Pa (dBA)	Vi+Pc (dBA)
50	49	43

Como se puede apreciar en la Tabla 9, los niveles máximos de ruido dentro de los ambientes de interés, en cada uno de los casos analizados, resulta estar en el orden de los 55 dBA, un valor muy superior a lo recomendado en áreas hospitalarias dedicadas a la recuperación de los pacientes que es de 40 dBA, como máximo. Es importante comentar que, de acuerdo con las observaciones realizadas en campo, este nivel de ruido no es permanente, sino que, es un caso especial que ocurre únicamente alrededor del mediodía en cada uno de los casos analizados, por lo que se podría decir que es un valor extraordinario.

Los resultados del procesamiento de datos han arrojado algo interesante, y es que, en cada uno de los casos, el ruido promedio semanal ha resultado ser de 52 dBA, en cada uno de los casos analizados. Es importante aclarar que el ruido promedio semanal es la suma de todos los niveles de ruido acumulados a lo largo de una semana y divididos entre el total de datos disponibles.

De hecho, el software de modelamiento del ruido SoundPLAN, usado en la solución de las condiciones vistas en campo y de las condiciones propuestas para una rehabilitación de los ambientes estudiados, solicita como un dato de ingreso los niveles de ruido promedio semanales, así como las razones de ruido máximo y ruido promedio semanal, por lo que son estos datos los que finalmente se ingresan al software, además de los coeficientes de absorción de los materiales involucrados.

Ahora, se muestran los resultados obtenidos del modelamiento de las condiciones estudiadas usando el software SoundPLAN. Es importante recordar que, en términos prácticos, se han usado tres propuestas de reacondicionamiento, que para fines de estudio son complementarias.

La primera consistió únicamente en el uso de vidrio insulado (Vi) en las ventanas. La segunda propuesta consistió en el uso del vidrio insulado más las puertas contraplacadas (Vi+Pa) y finalmente, la tercera propuesta consistió en el uso del vidrio insulado más paneles de corcho en las paredes (Vi+Pc). Los resultados, en cuestión de niveles de ruidos se muestran a continuación, en la

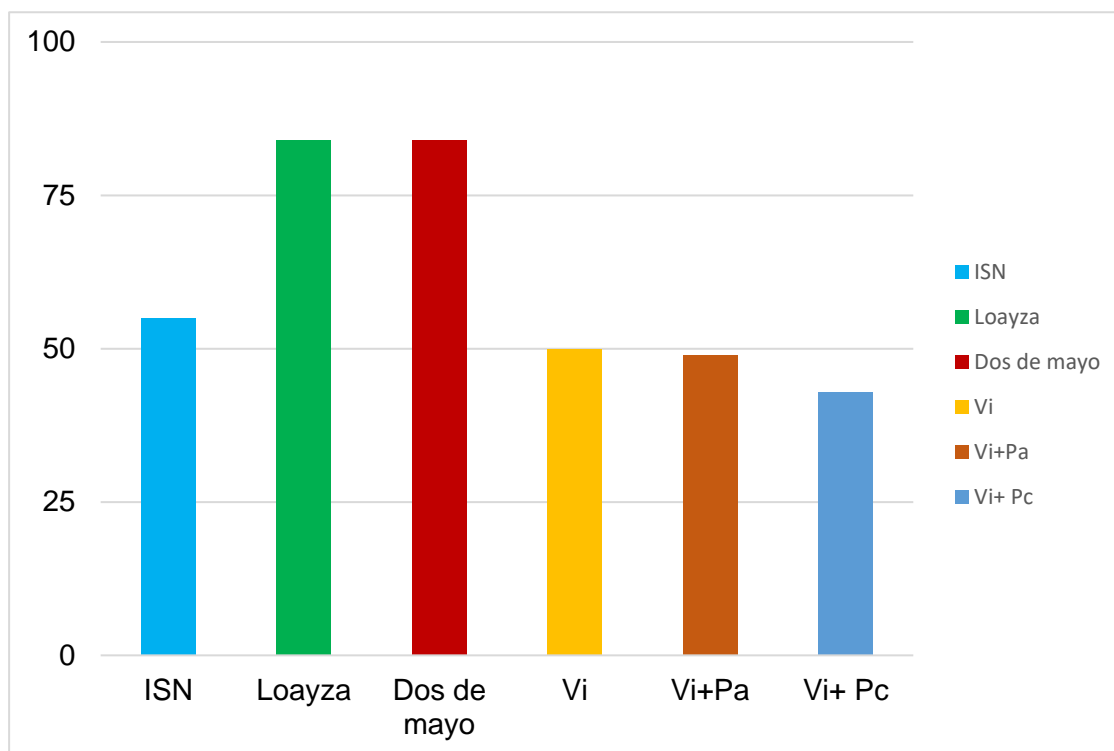


Figura72.

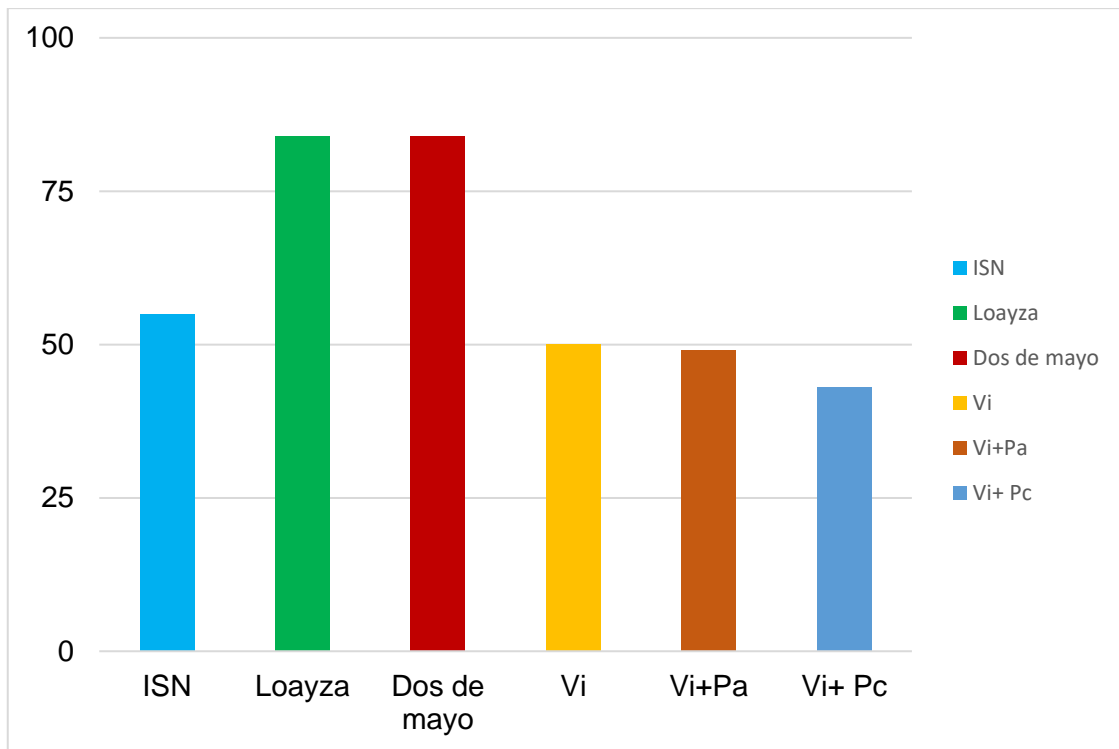


Figura 72: Niveles de ruido logrados con el método propuesto. Fuente: Elaboración propia.

Del gráfico presentado se puede apreciar con facilidad que la aplicación de la propuesta de reacondicionamiento logró una reducción notable en los niveles de ruido presentes en los ambientes de interés. Se observa que se logró reducir los niveles de ruido desde un máximo de 55 dBA hasta un valor de 49 dBA para las dos primeras propuestas de reacondicionamiento, esto representa una reducción de hasta el 10% en los niveles de ruido. Para el tercer caso de reacondicionamiento se observaron reducciones de hasta 43 dBA, siendo el caso más favorable encontrado. Esta reducción representa una reducción de los niveles de ruido de hasta el 21%. Resultando en una reducción muy significativa.

De los resultados presentados en la sección anterior, se concluye que los niveles de ruido dentro las instalaciones de salud, dedicadas a la recuperación y rehabilitación de pacientes dentro del hospital del niño fueron muy elevadas, encontrando valores que alcanzaron hasta los 79.4 dBA, en los pasillos y corredores del hospital aledaños a las mencionadas áreas.



Es un hecho evidente que los niveles de ruido tienen un efecto nocivo en cualquier persona, basta con reconocer que cuando uno se encuentra cerca de una avenida, muchas veces resulta intolerable nuestra permanencia prolongada en estos lugares. De hecho, existen estudios como los de Harris (2015), que muestran que los niveles de ruido elevados pueden provocar alteraciones en la conducta de las personas. Esta afirmación se hace evidente cuando se observa el comportamiento negativo de muchos conductores de transporte público dentro la ciudad de Lima. Aunque esta situación tiene un impacto de gran magnitud sobre las personas sanas, su impacto es aún mayor sobre personas convalecientes.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), el ruido es uno de los factores externos más incidentes en la recuperación de los pacientes de un hospital. De hecho, este organismo explica que para que la recuperación de un paciente sea la adecuada, se requiere que los niveles de ruido dentro de los ambientes destinados a la recuperación sean a lo sumo de 40 dBA.

En este punto es importante mencionar que los niveles de ruido medidos se obtuvieron en los pasillos y corredores aledaños a las zonas de recuperación, además, como estas áreas se encontraban ocupadas durante la realización de este trabajo de investigación, no fue posible acceder a sus interiores y poder realizar las mediciones de los niveles de ruido correspondientes. Sin embargo, con la finalidad de estimar los niveles de ruido en los interiores, se modeló la propagación del ruido en el espacio, como consecuencia de la aplicación de fuentes puntuales de ruido, las que se colocaron externamente, simulando las presiones sonoras emitidas durante una conversación.

Finalmente, como producto de la simulación realizada, se obtuvo que los niveles de ruido dentro de las habitaciones o salas de recuperación de pacientes tuvieron un valor máximo de 55

dB(A), valor que excede el máximo recomendado en las zonas de recuperación, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Como una alternativa de solución, el presente trabajo de investigación propuso la colocación de paneles de corcho en las paredes de los ambientes de un hospital destinados a la recuperación de pacientes. Se eligió el uso de estos paneles, ya que tienen un elevado nivel de absorción acústica, de hasta el 77%. Los resultados mostraron que los niveles de ruido se redujeron hasta los 43 dB, es decir, se logró una reducción del 21% en los niveles de ruido.

Los resultados presentados están de acuerdo con los obtenidos por Farrehi et. al (2015), quienes encontraron que el uso de paneles acústicos lograba una reducción considerable de los niveles de ruido dentro de los ambientes hospitalarios, alcanzado una reducción de hasta el 30%, en los casos más favorables.

## CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES

### Objetivo General

Demostrar que el reacondicionamiento propuesto de las áreas hospitalarias permite alcanzar los Estándares de Calidad Ambiental del ruido mediante el uso de materiales con propiedades acústicas.

De los resultados encontrados se concluye que la aplicación de la técnica de rehabilitación propuesta (uso de paneles de corcho en las paredes y vidrio insulado en las ventanas) permite mejorar notablemente los niveles de ruido en ambientes hospitalarios, logrando una reducción de hasta un 21% en los niveles de ruido. Aunque es importante hacer notar que no se logró alcanzar los niveles de ruido recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

### Objetivo específico 01

Analizar las diversas fuentes de ruido que se generan en los hospitales.

1. Los niveles de ruido fueron debido esencialmente a dos tipos de fuentes, las fuentes vehiculares y el ruido debido a los visitantes, familiares y el personal de salud de todas las áreas.
2. Los niveles de ruido presentes en lugares aledaños y en las zonas destinadas a la recuperación de los pacientes resultaron ser elevados, alcanzando en algunos casos los 79.4 dBA de intensidad.
3. Los niveles de ruido resultaron ser sorprendentemente altos si se toma en consideración que de acuerdo con la OMS los niveles máximos recomendados para hospitales fueron de 40 dBA. Además, en estos ambientes se detectaron algunos tipos de ruidos como: ruidos intermitentes, ruidos tonales y ruidos de baja frecuencia.

### Objetivo específico 02

Recopilar y analizar la fundamentación teórica, forma de aplicación y los diferentes tipos de materiales acústicos según la calidad y eficiencia.

1. Los materiales implementados en la propuesta de aislamiento acústico son materiales de construcción accesibles y disponibles en el mercado peruano.
2. El uso de materiales acústicos como paneles de corcho permite la reducción de los niveles de ruido dentro de los ambientes interiores, tal como ha demostrado las simulaciones efectuadas con el software SoundPLAN.
3. Las reducciones encontradas mediante el uso del método propuesto, es decir, el uso de paneles de corcho en la paredes y vidrio insulado en las ventanas resultó en un 21% de reducción en los niveles de ruido.

### Objetivo específico 03

Obtener el reacondicionamiento adecuado para cumplir con los ECA- Ruido en las áreas hospitalarias mediante el modelamiento.

1. El software SoundPLAN es un código que permite la ejecución de simulaciones de la distribución de los niveles de ruido a través del espacio, es capaz de considerar la distribución de superficies tales como muros exteriores e interiores.
2. SoundPLAN permite el ingreso de las propiedades de los materiales acústicos propuestos, las mismas que fueron corroboradas y aplicadas para el reacondicionamiento del área en estudio.
3. El modelamiento con SoundPLAN permitió determinar los niveles de ruido dentro de los ambientes en los que no era posible la instalación de los equipos de

medición. Los resultados mostraron que efectivamente la propuesta de reacondicionamiento permitió disminuir hasta en 21% los niveles de ruido dentro de ambientes críticos.

## **CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES**

### Objetivo General

Demostrar que el reacondicionamiento propuesto de las áreas hospitalarias permite alcanzar los Estándares de Calidad Ambiental del ruido mediante el uso de materiales con propiedades acústicas.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se recomienda el uso de paneles de corcho como recubrimiento en las paredes de los ambientes hospitalarios, así como el uso del vidrio insulado, ya que poseen un elevado nivel de absorción acústica, lo que provoca una disminución notable de los niveles de ruido dentro de los ambientes.

### Objetivo específico 01

Analizar las diversas fuentes de ruido que se generan en los hospitales.

1. La colocación de paneles o algún otro material que permita la reducción de los niveles de ruido debe ser de fácil colocación y de preferencia que no requiera ser colocado dentro de los ambientes de recuperación.
2. Se recomienda la implementación del vidrio insulado en lugar del vidrio convencional, pues los resultados de este trabajo muestran que logra reducir de manera considerable los niveles de ruido.
3. Se recomienda la implementación de reductores de ruido en ambientes de recuperación o UCI, ya que, debido a la OMS, para que estos ambientes cumplan con su función de recuperación necesitan niveles de ruido de máximo 40 dBA.

### Objetivo específico 02

Recopilar y analizar la fundamentación teórica, forma de aplicación y los diferentes tipos de materiales acústicos según la calidad y eficiencia.

1. Aunque en general tomar las mediciones dentro de los ambientes de recuperación son difíciles, debido a que son ambientes que deben mantener cierto control, se recomienda realizar mediciones con sonómetro al interior de estas.
2. Se recomienda realizar un desagregado de los niveles de ruido provenientes de diferentes fuentes, tales como personas, vehículos, entre otros.
3. Se recomienda el uso de paneles de corcho como una forma de minimizar los niveles de ruido dentro de un ambiente hospitalario, debido a su elevado nivel de absorción.

#### Objetivo específico 03

Obtener el reacondicionamiento adecuado para cumplir con los ECA- Ruido en las áreas hospitalarias mediante el modelamiento.

1. Se recomienda el estudio de alternativas adicionales a las presentadas, en especial aquellas que permitan su colocación en seco, debido a que, estos ambientes donde se instalen estos materiales deben cumplir con las exigencias de salubridad.
2. Se recomienda la aplicación de fibras de poliestireno en las paredes como una forma de incrementar los niveles de absorción acústicas de los muros de los ambientes de hospitalización.
3. Se recomienda investigar el uso de sistemas Drywall con interiores de fibras de vidrio y evaluar su impacto en la reducción de los niveles de ruido dentro de los ambientes de hospitalización.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arjunan, A. C. (2014). Development of a 3D finite element acoustic model to predict the sound reduction index of stud based double-leaf walls. *Journal of Sound and Vibration*, 333 (23), 6140-6155. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2014.06.032>
- Arau & Kjær (1998). *Sound & Vibration Measurement A/S. Environmental Noise*. Nærum.
- Autodesk. (2018). <https://latinoamerica.autodesk.com/products/revit-family/overview>.
- Brüel & Kjær (2000). *Sound & Vibration Measurement A/S. Environmental Noise*. Nærum.
- Cibel, D. M. (2018). Modeling of Tarsus-Adana-Gaziantep highway-induced noise pollution within the scope of Adana city and estimated the affected population. *Applied Acoustics*, 115, 1158-165. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.08.029>
- DANOSA. (21 de enero de 2018). <http://www.danosa.fr>. Recuperado de <http://www.danosa.fr/danosa/CMSServlet?node=T32&lng=1&site=1&dbg=1> [consulta: 17 de enero de 2021].
- Ester Orban, I. K. (2015). Residential Road Traffic Noise and High Depressive Symptoms after Five Years of Follow-up: Results from the Heinz Nixdorf Recall Study. *Environ Health Perspectives*, 124(5), 578-585. Doi: 10.1289/ehp.1409400
- Extech (2018). [www.extech.com](http://www.extech.com). Recuperado de [http://www.extech.com/resources/HD600\\_UMsp.pdf](http://www.extech.com/resources/HD600_UMsp.pdf) [consulta: 17 de enero de 2021].
- Farrehi, P., Nallamothu, B. & Navvab, M. (2015). Reducing hospital noise with sound acoustic panels and diffusion: a controlled study. *BMJ Quality & Safety*, 25(8), 1-3. doi:10.1136/bmjqs-2015-004205



- Harris, C. M. (1995). Manual De Medidas Acústicas Y Control Del Ruido (Vol. I). España: Antonio Garcia Brage.
- Idrogo, C. (2018). Niveles de ruido en hospitales. Lima Perú. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Lu, S., Xu, W., Chen, Y. & Yan, X. (2017). An experimental study on the acoustic absorption of sand panels. *Applied Acoustics*, 116 (C), 238-248. Doi: 10.1016/j.apacoust.2016.09.002
- MINAM, M. (2013). Perú Patente n° N°227-2013-MINAM. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/02/RM-N%C2%BA-227-2013-MINAM.pdf> [consulta: 17 de enero de 2021].
- Moscoso, R. (2012). Una Introducción a la ingeniería Acústica Arquitectónica. Recuperado de <http://blog.pucp.edu.pe/blog/physica/2012/03/25/una-introduccion-a-la-acustica-arquitectonica-coloquios-de-fisica-2012-1-3/> [consulta: 17 de enero de 2021].
- Neilands, J. (1995). Room Sound Absorption - Sound Absorption Coefficient. The Engineering Toolbox, 26723-26726. Obtenido de [https://www.engineeringtoolbox.com/accoustic-sound-absorption-d\\_68.html](https://www.engineeringtoolbox.com/accoustic-sound-absorption-d_68.html)
- Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía (OSMAN). (2009). Ruido y Salud. Recuperado de [https://www.diba.cat/c/document\\_library/get\\_file?uuid=72b1d2fd-c5e5-4751-b071-8822dfdfdded&groupId=7294824](https://www.diba.cat/c/document_library/get_file?uuid=72b1d2fd-c5e5-4751-b071-8822dfdfdded&groupId=7294824) [consulta: 17 de enero de 2021].
- Oiamo, T., Luginaah, I. & Baxter, J. (2015). Cumulative effects of noise and odour annoyances on environmental and health related quality of life. *Social Science & Medicine*, 146, 191-203. doi: 10.1016/j.socscimed.2015.10.043

- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). (2016). Contaminación sonora en Lima y Callao. Recuperado de [http://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=19088](http://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=19088) [consulta: 17 de enero de 2021].
- Polanco, C. C. (2000). *Introducción al Sonido y la Acústica*. Santiago: Paraninfo.
- Rougeron, C. (1977). *Aislamiento acústico y térmico en la Construcción*. Barcelona: Editores técnicos asociados s.a.
- Sánchez, M., Valenzuela, J. & Fontecilla, H. (2014). Metodologías para obtener la dosis de ruido diaria (DRD). Recuperado de [http://ingenieriaacustica.cl/documentos/prexor/METODOLOGIAS\\_PARA\\_OBTENER\\_LA\\_DOSIS\\_DE\\_RUIDO\\_DIARIA\\_\(DRD\).pdf](http://ingenieriaacustica.cl/documentos/prexor/METODOLOGIAS_PARA_OBTENER_LA_DOSIS_DE_RUIDO_DIARIA_(DRD).pdf) [consulta: 17 de enero de 2021].
- Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA). (2003). Decreto Supremo N° 085-2003-PCM - Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido. Recuperado de <http://sinia.minam.gob.pe/normas/reglamento-estandares-nacionales-calidad-ambiental-ruido>. [Consulta: 17 de enero de 2021].
- Standardization, I. O. (2009). ISO 9612 Acústica - Determinación de la exposición al ruido laboral - Método de ingeniería. Norma Técnica Peruana, 9-11.
- Tang, X. & Yan, X. (2017). Acoustic energy absorption properties of fibrous materials: A review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 111, 360-380. doi: 10.1016/j.compositesa.2017.07.002
- Yoder, J., Stasiunas, P., Meltzer, D., Knutson, K. & Arora, V. (2012). Noise and Sleep Among Adult Medical Inpatients: Far From a Quiet Night. *Arch Intern Med*, 172(1), 68–70. doi: 10.1001/archinternmed.2011.603

Soundplan-uk.com (17 de enero de 2021). <https://soundplan-uk.com/Obtenidode>  
<https://soundplan-uk.com/>

## **ANEXOS**

# 10.1 Aparatos fotométricos 01



**METROLOGIA E INGENIERIA LINO S.A.C.**  
Av. Venezuela 2040 Urb. Ces Lima Cercado - Lima - Lima - Lima  
Central Telf.: (511) 713-9066 / 713-9080 Nextel: 109\*8846 RPM: #999048181  
Consulta Técnica: Central Telf.: 713-9070 / 713-9071 RPM: \*481579 Nextel: 832\*3234  
E-mail: ventas@metroil.com.pe / web: www.metroil.com.pe

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°CE-0170-2017

Exp.: 44784  
Fecha de emisión : 2017-10-03  
Página 1 de 1

- 1. SOLICITANTE :** CERTIFICACIONES ALIMENTARIAS HIDROBIOLÓGICAS Y MEDIO AMBIENTALES S.A.C.  
**DIRECCIÓN :** Calle Gamarra N° 294 Urb. Miramar - San Miguel - Lima
- 2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN :** SONÓMETRO  
**Marca :** AMPROBE  
**Modelo :** SM-20  
**N° de serie :** 09050001  
**Código de identificación :** No indica  
**Tipo de indicación :** Digital  
**Clase :** 2  
**División de escala :** 0 (\*)  
**Procedencia :** Taiwan
- 3. FECHA Y LUGAR DE LA CALIBRACIÓN**  
Calibrado el 2017-10-03 en el Laboratorio de ENERLAB S.A.C.
- 4. MÉTODO DE CALIBRACIÓN**  
La calibración se efectuó por comparación directa con patrones debidamente certificados.
- 5. TRAZABILIDAD**  
Los resultados de la calibración tienen trazabilidad a los patrones del SNM-INDECOPI  
Se utilizó el siguiente equipo patrón :
  - Sonómetro Digital marca: Extech modelo: 407035 de serie: Q602910 con Certificado de Calibración LE-1002-2016 del SNM-INDECOPI
  - Termohigrómetro marca: Extech modelo: RH390 de serie: 12068351 con Certificado de Calibración LT-467-2016 del SNM-INDECOPI
- 6. CONDICIONES DE CALIBRACIÓN**

Temperatura ambiental	Inicial : 21,9 °C	Final : 22,3 °C
Humedad relativa	Inicial : 67,1 %H.R.	Final : 66,0 %H.R.

  
  
**Ing. MARCO A. MONTALVO CABREJOS**  
Gerente del Servicio Metrologico  
C.I.P. : 118920

Este documento al ser emitido sin el simbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INDECOPI - SNA

**PROHIBIDA LA REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACION DE METROIL S.A.C.**  
F-M-160 /2016 / Rev. 00



Data Sheet



## SM-20-A Sound Meter-A

The Amprobe SM-20-A Sound Level Meter has been designed to meet the measurement requirements of safety Engineers, Health, Industrial safety offices and quality control in various environments. It offers two types of measurements: A weighting and C weight.

The A weighting is for general noise sound level and the C weighting is for measuring sound level of acoustic material control in various environments (ie 94dB 1 kHz etc...). The SM-20-A conforms to the IEC651 Type 2, ANSI S1.4 Type 2, and JISC1502 requirements for Sound Level Meters. Which means the SM-20-A uses two different weighting filters required by the IEC 651 and ANSI S1.4 Type 2: The A-Weighting and the C-Weighting audio filtering.

### No hassle warranty

*No waiting.*

*No shipping charges.*

Our commitment to high-quality products and customer service is demonstrated by our industry exclusive "No Hassle" warranty. In the unlikely event that an Amprobe Test Tool requires warranty service, any of our local dealers are authorized to replace it, on the spot.

(note: \$500 MSLP limit)



- Designed to meet the measurement requirements of Safety Engineers, Health, Industrial safety offices and quality control in various environments.
- A and C weightings for checking compliance with safety regulations as well as acoustic analysis
- Measuring ranges: A Weighting 30~130dB, C Weighting 35~130dB
- Frequency range: 31.5Hz~8KHz
- Display with 0.1dB steps on a 4 digit LCD
- Slow (1 sec) and fast (125ms) response settings to check peak and average noise levels
- MAX/MIN recording
- Internal memory, 14,000 records
- Recording intervals from 1 second to 8 hours
- PC computer download capabilities
- Data Hold to freeze reading on digital display
- CE, designed to meet IEC651 Type2, ANSI S1.4 Type2




Amprobe® Test Tools

[www.Amprobe.com](http://www.Amprobe.com)

### 10.3 Formato de mediciones


#### FORMATO DE MEDICIONES

Hora de inicio: 06:00 a. m.  
 Horario diurno: 7 am hasta 5pm  
 Hospital: Arzobispo Loayza

Area Hospitalaria	Cantidad personas	Tiempo Inicio	Tiempo Termino	Db min	DbA	Db max.	Fotografia
Modulo de Atencion	65	06:15 a. m.	06:52 a. m.	73	84	86	
	70	07:00 a. m.	07:52 a. m.	33	70	88	
	70	08:00 a. m.	08:50 a. m.	73	84	87	
	65	09:17 a. m.	09:52 a. m.	33	70	88	
	68	10:01 a. m.	10:58 a. m.	33	70	88	
	68	11:00 a. m.	11:45 a. m.	73	84	86	
	66	12:10 a. m.	12:52 a. m.	73	84	87	
	68	01:10 p. m.	01:59 p. m.	40	61	69	
	69	02:15 p. m.	03:01 p. m.	33	70	88	
	50	03:10 p. m.	04:00 p. m.	35	52	69	
	25	04:02 p. m.	05:00 p. m.	35	53	68	

#### FORMATO DE MEDICIONES

Hora de inicio: 07:00 a. m.  
 Horario diurno: 7 am hasta 1:pm  
 Hospital: Dos de Mayo

Área Hospitalaria	Cantidad personas	Tiempo Inicio	Tiempo Termino	Db min	DbA	Db Max.	Fotografia
Modulo de Atención SIS	130	07:00 a. m.	07:52 a. m.	73	84	87	
	124	08:00 a. m.	08:50 a. m.	73	84	86	
	136	09:17 a. m.	09:52 a. m.	73	84	87	
	124	10:01 a. m.	10:58 a. m.	73	84	87	
	130	11:00 a. m.	11:45 a. m.	47	57	75	
	136	12:10 a. m.	12:52 a. m.	40	61	69	

10.4 Paneles fotográficos

HOSPITAL DOS DE MAYO





**HOSPITAL ARZOBISPO LOAYZA**



**INSTITUTO NACIONAL DEL NIÑO - BREÑA**

