



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

EVALUACIÓN DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO DE MATERIALES
CONSTRUCTIVOS DE UN EDIFICIO RESIDENCIAL
DE LA CIUDAD DE QUITO

Autora

Melany Alejandra Zaldumbide Burbano

Año
2018



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS APLICADAS

EVALUACIÓN DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO DE MATERIALES CONSTRUCTIVOS
DE UN EDIFICIO RESIDENCIAL DE LA CIUDAD DE QUITO

“Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos para
optar por el título de Ingeniera en Sonido y Acústica”

Profesor guía

Msc. Daniel Nuñez Solano

Autora

Melany Alejandra Zaldumbide Burbano

Año

2018

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber revisado este trabajo, Evaluación del aislamiento acústico de materiales constructivos de un edificio residencial de la ciudad de Quito, de Melany Alejandra Zaldumbide Burbano en el semestre 2018-2, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

Daniel Alejandro Nuñez Solano
Máster en Ingeniería Acústica
CI 1716430911

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber dirigido el trabajo, Evaluación del aislamiento acústico de materiales constructivos de un edificio residencial de la ciudad de Quito, a través de reuniones periódicas con el estudiante Melany Alejandra Zaldumbide Burbano, en el semestre 2018-2, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

Luis Alberto Bravo.
Doctor en Ingeniería Acústica
CI 1711710606

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Melany Alejandra Zaldumbide Burbano.

CI 0401286968

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por haber sido el pilar fundamental durante mi carrera y a mis maestros Lucho, Mac y Virginia por su apoyo y ayuda en este trabajo de titulación.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis padres, ya que sin ellos y su apoyo incansable esto no hubiera sido posible, a Daniel, por darme la fuerza para seguir adelante cuando quise rendirme, y a M, que ahora es fugaz.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo analizar los resultados obtenidos en una investigación in situ en un edificio residencial nuevo de la ciudad de Quito, basado en mediciones acústicas de campo para poder realizar una comparativa con estándares internacionales de aislamiento acústico en edificaciones residenciales.

Para la obtención de resultados se utilizarán como referencia las normativas de aislamiento acústico UNE EN ISO 16283-1, 16283-2 y 16283-3, 717-1 y 717-2, correspondientes al aislamiento de ruido aéreo, ruido de impactos y ruido de fachada, respectivamente.

Los instrumentos utilizados para llevar a cabo estas mediciones fueron Sonómetro CESVA, máquina de impactos CESVA, fuente omnidireccional, amplificador de potencia y generador de ruido.

Después de obtener los resultados basados en las normativas españolas de acústicas y analizarlos, se concluyó que 5 de 12 ensayos, cumplen con las normativas propuestas.

ABSTRACT

The following document's objective is to analyze the results obtained in an on-site investigation in a new residential building in the city of Quito, based on field acoustic measurements to be able to make a comparison with international acoustic insulation standards in residential buildings.

In order to obtain results, the acoustic insulation regulations UNE EN ISO 16283-1, 16283-2 and 16283-3, 717-1 and 717-2, corresponding to the isolation of air noise, impact noise and frontage noise, will be used as reference, respectively.

The instruments used to carry out these measurements were CESVA sound level meter, CESVA impact machine, omnidirectional source, power amplifier and noise generator.

After obtaining the results based on the Spanish acoustics regulations and analyzing them, it was concluded that 5 out of 12 tests satisfy the proposed regulations.

Índice

1. Capítulo I : Introducción.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivo General	7
1.3 Objetivos Específicos	7
2. Capítulo II: Marco Teórico.....	7
2.1 Aislamiento Acústico.....	7
2.1.1 Nociones generales	7
2.2 Descripción de Normativas.....	22
2.2.1 UNE EN ISO 16283-1: Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo.....	22
2.2.2 UNE EN ISO 16283-2 : Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 2: Aislamiento a ruido de impactos.....	28
2.2.3 UNE EN ISO 16283-3: Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 3: Aislamiento a ruido de fachadas.....	32
2.2.4 UNE EN ISO 717-1: Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Ruido aéreo.	35
2.2.5 UNE EN ISO 717-2. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 2: Ruido de impacto. .	36
2.3 Instrumentación	38
2.3.1 Sonómetro.....	38
2.3.2 Fuente Omnidireccional	41
2.3.3 Máquina de impactos	42
2.3.4 Protectores auditivos	43
2.3.5 Calibrador de sonómetro	46

3. Capítulo III: Caso de estudio “Edificio Goya”	47
3.1 Descripción general	47
3.2 Materiales	57
3.3 Exposición al ruido.....	60
3.3.1 Mapa de ruido.....	63
4. Capítulo IV: Metodología.....	67
4.1 Descripción de muestras	67
4.1.1 Ruido Aéreo	68
4.1.2 Ruido de Impacto.....	70
4.2.3 Ruido de fachada.....	73
4.2 Descripción del procedimiento	75
4.2.1 Procedimiento de medición: Ruido Aéreo.....	75
4.2.2 Procedimiento de medición: Ruido de Impacto.....	77
4.2.3 Procedimiento de medición: Ruido de Fachada.....	81
5. Capítulo V: Resultados.....	82
5.1 Análisis de resultado.....	82
5.1.1 Ruido Aéreo	83
5.1.2 Ruido de Impacto.....	86
5.1.3 Ruido de Fachada	91
5.2 Comparación de normativas de construcción	94
5.2.1 Tulsma.....	94
5.2.2 NEC	96
5.2.3 DB HR	97
6. Conclusiones.....	100
Referencias	102

1. Capítulo I: Introducción

Dentro de los últimos años, no solo en el Ecuador, sino en el resto del mundo, se ha incrementado de manera significativa la construcción y edificación de viviendas y edificaciones recreativas y oficinas, por lo que cada país debería contar con normativas acústicas de construcción que permitan el cumplimiento de parámetros mínimos de confort para los habitantes de dichas edificaciones.

En este país, tales normativas acústicas no existen, únicamente existen parámetros de confort básico mencionadas en la normativa de construcción NEC, pero no existe nada específico en cuanto a normativas de confort acústico o de molestia de escucha auditiva o referencial de ruido, por lo que se propone hacer una evaluación acústica de “transmisión de ruido” en un edificio de viviendas en la ciudad de Quito, tema que no se había realizado antes, basándose en las normativas Españolas de acústica, para así demostrar la necesidad de cumplimiento y posterior creación de dichas normativas ya que en Ecuador no se aplican.

1.1 Antecedentes

Desde la antigüedad, el ser humano ha buscado la forma de resguardarse, protegerse y, por ende, la necesidad de construir un lugar en el que pueda vivir. No obstante, el mismo ser humano está en la constante búsqueda por mejorar su estilo de vida, y en este caso, busca mejorar las características de su vivienda, tanto en diseño y durabilidad, como en avances de ingeniería, la cual, en este caso, incluye la motivación por buscar una mejor calidad de materiales de construcción y al mismo tiempo reducir las molestias por ruido.

Con crecientes ciudades y metrópolis, se necesita mejorar la productividad de las personas y el ambiente en el que se desarrollan, pero esto no es posible sin un correcto aislamiento de ruido en el lugar en el que habitan o trabajan.

Este es el motivo por el cual se ha decidido investigar sobre el aislamiento acústico de los materiales de construcción y el impacto que esto tiene en el uso de estos en distintas viviendas y edificaciones.

El lugar de estudio será un edificio del norte de la ciudad de Quito que se encuentra parcialmente habitado, el mismo que es de tipo perteneciente a la constructora Rosero y Asociados, la cual fue creada en el 2000 con el fin de satisfacer necesidades de vivienda urbana, brindando los más altos estándares en calidad de construcción y diseño.

La constructora Rosero y Asociados es una empresa constructora a nivel nacional que desarrolla proyectos habitacionales, de oficinas y comerciales con características de optimización de recursos, renovación de propuestas arquitectónicas inclusión de nuevos materiales lo cual conlleva a una industrialización de la construcción tomando en cuenta básicamente el potencial del capital humano en todas sus jerarquías desde los más altos directivos pasando por todo tipo de trabajadores. El edificio propuesto se llama Goya, está ubicado en la Avenida Eloy Alfaro y Portugal e incluye departamentos de 1,2 y 3 dormitorios.

Para llevar a cabo el análisis acústico del edificio Goya se llevarán a cabo mediciones in situ basadas en las normativas acústicas internacionales ISO 16283-1, ISO 16283-2 e ISO 16283-3, correspondientes a ruido aéreo, ruido de impacto y ruido de fachada respectivamente.

Estas normativas han sido revisadas, estandarizadas y aprobadas por la Organización Internacional de Estandarización (ISO), la cual es una organización internacional, independiente y no gubernamental.

“La normativa sobre edificación en general se inició en el antiguo Ministerio de la Vivienda en los años sesenta, con la publicación de las MV (Normas del Ministerio de la Vivienda); concretamente se editaron entre los años 60-70 las normas siguientes:

- MV 101-1962 Acciones en la Edificación
 - MV 102-1975 Acero laminado para estructuras de edificación
 - MV 103-1972 Cálculo de las estructuras de acero laminado en la edificación
 - MV 104-1966 Ejecución de las estructuras de acero laminado en la edificación
 - MV 105-1967 Roblones de acero
 - MV 106-1968 Tornillos de alta resistencia y sus tuercas y arandelas
 - MV 108-1976 Perfiles huecos de acero para estructuras de edificación 2
 - MV 201-1972 Muros resistentes de fábrica de ladrillo
 - MV 301-1970 Impermeabilización de cubiertas con materiales bituminosos”
- (Delgado, 2009, p.3).

Una de las normativas más importantes en la que se basa este trabajo, es el documento básico de Protección frente al ruido (DB HR), el cual tiene como objetivo establecer reglas y procedimientos que permitan cumplir las exigencias básicas de protección contra el ruido.

El DB HR forma parte del Código técnico de la edificación (CTE) el cual establece las exigencias que deben cumplir los edificios con respecto a los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad.

“En el CTE se define el objetivo que se persigue: evitar que los usuarios de los edificios, dentro de estos sufran molestias o enfermedades debidas al ruido. Y, para cumplir este objetivo, se fijan las características acústicas, tanto de aislamiento como de acondicionamiento, que deben cumplir los elementos constructivos del edificio. En esta comunicación se presentan las nuevas exigencias del CTE respecto al requisito de Protección contra el ruido y vamos a examinarlas en relación con la normativa aplicable hasta ahora, la Norma Básica de la Edificación NBE-CA 88 Condiciones acústicas en los edificios” (Delgado, 2009, p.2)

Cuando se habla de molestia auditiva, se hace referencia al ruido y de las fuentes sonoras de las cuales provienen. En una edificación, estas fuentes de ruido están claramente marcadas por el ruido de tráfico de las avenidas, el ruido de transmisión aérea proveniente de los usuarios de los departamentos colindantes y el ruido de transmisión estructural ocasionado por dichos usuarios del edificio o maquinaria que se encuentra dentro del mismo.

“El ruido es un agente que se considera parte de la ciudad, así que para muchos no se percibe como una molestia sin embargo para otros comienza a ser uno de los inconvenientes de la vida; algunos se han ido a vivir fuera de las mismas para evitarlo. Por ello se considera como un factor que empieza a adquirir un porcentaje dentro del precio de una vivienda, e incluso que podría influir en el precio del suelo” (Dómenech, Gortari, 2006, P.2).

La transmisión de este ruido dependerá de varios factores, uno de ellos, los materiales de las particiones internas y externas de la edificación vertical, del espesor de estas y de su calidad de construcción, entre otros.

“Es bien conocido que paredes de idéntico diseño pueden presentar diferentes comportamientos de aislamiento al ruido cuando se mide su rendimiento *in situ*. Esto se puede deber a deficiencias en la construcción, diferencias en la calidad de los materiales utilizados o errores en la interpretación del diseño. También pueden existir diferencias en los valores de aislamiento acústico obtenidos en mediciones producto de problemas de reproducibilidad de las mediciones, la incertidumbre asociada a la cadena de medición o un inadecuado procedimiento de medición” (Marino, Monteiro, 2012, p.3).

Cuando se habla de particiones, no solo se hace referencia a particiones verticales como paredes y fachadas, sino también a particiones horizontales con suelos, techos y lozas, las cuales son el principal medio de transmisión de ruido de impacto y estructural.

“Para evitar el ruido de impacto producido por movimiento de mobiliario, baile, golpes directos, etc., o para atenuar el campo acústico (sonido de baja frecuencia procedente de altavoces de gran potencia) es necesaria la instalación de suelos flotantes. Todo el interés que se ponga en la construcción del techo acústico y en el cerramiento perimetral puede verse perjudicado enormemente si no se presta la misma atención en la colocación del suelo flotante, ya que se tendrá transmisión del ruido por vía estructural entrando en el aislamiento global. Conseguir un buen aislamiento a través del suelo requiere contemplar varios factores a la hora de instalar un suelo técnico” (Muñoz, Torres, 2005, p.1).

Para evitar dichas molestias auditivas mencionadas previamente, es necesario basarse en normativas de construcción que permitan verificar la calidad no solo estructural, sino acústica de la construcción o edificación en cuestión.

“El Área de Acústica del Laboratorio de Control de la calidad de la Edificación del Gobierno Vasco tiene entre sus objetivos desarrollar y difundir información que posibilite la mejora del confort acústico de los edificios. Para ello, a finales de los años 90, el Área de Acústica se dotó de las instalaciones necesarias para caracterizar acústicamente los sistemas y productos utilizados en la construcción de edificios. En esa época existían pocos datos acústicos de los sistemas y productos que se estaban utilizando y desde el área se realizó una campaña de medidas sobre soluciones típicas utilizadas en el País Vasco y en España. Estos datos, junto con los datos de ensayos realizados en el laboratorio a clientes, sirvieron para el desarrollo en 2001 de la base de datos acústica en frecuencias ‘dBMat’. A comienzos del año 2000 se estaba ya desarrollando la nueva normativa acústica a aplicar a las edificaciones de España (actual DB-HR del CTE). Este nuevo desarrollo de reglamentación prevé la solicitud de requisitos acústicos al edificio terminado. El Área, consciente de la necesidad de disponer de herramientas que permitieran diseñar acústicamente los edificios en fase de proyecto, desarrolló el software de predicción de aislamiento en edificios Acoubat-dBMat. que integra la base de datos acústicos en” (López, de Rozas, 2016, p.3).

La búsqueda de una mejora en la calidad acústica en las edificaciones ha hecho que las normativas existentes presenten mejoras y actualizaciones, como es el caso de la ISO 140-4 e ISO 140-7, correspondientes a las antiguas normativas de ruido aéreo e impacto respectivamente. Las cuales han sido reemplazadas por la ISO 16283-1, ISO 16283-2 e ISO 16283-3, mencionadas anteriormente.

“La norma ISO 16283-1 (2014), recientemente publicada en España como UNE EN ISO 16283-1: 2014 (septiembre de 2014), reemplaza a la norma ISO 140-4, y define la metodología de ensayo y cálculo de las propiedades de aislamiento acústico en mediciones “in situ” para ruido aéreo. Esta norma introduce cambios importantes que requieren un análisis específico, los cuales se exponen en la presente comunicación. Los resultados obtenidos en la realización de ensayos a tres casuísticas diferentes mediante la utilización de los distintos métodos de ensayo contemplados en ambas normas ayudarán a ver las consecuencias que este cambio presentará en los resultados del valor global de la diferencia de niveles normalizada” (Espinel, 2014, p.1).

“Muchas son las ocasiones en las que el diseño de los edificios se centra, exclusivamente en condiciones de tipo estético, constructivo o estructural, obviando la importancia de cualidades de otra índole, lo que puede conllevar ciertas carencias, y obligar a un sinfín de correcciones posteriores, que mejoren aspectos como, por ejemplo, el confort acústico interior. En este sentido, el Departamento de Proyectos de Audiotec propone valerse de las propias exigencias requeridas en una normativa acústica vigente, como si de una herramienta de diseño se trataran. De este modo se logrará que el edificio, no sólo satisfaga las necesidades arquitectónicas básicas, sino que, además, cumpla con los requisitos de confort acústico más esenciales para sus usuarios, sin precisar modificaciones o correcciones posteriores” (Quintero, 2013, p.1).

1.2 Objetivo General

Analizar el aislamiento acústico en el edificio Goya ubicado en la Av. Eloy Alfaro y Portugal, según sus materiales de construcción, con base en las normas de medición acústica.

1.3 Objetivos Específicos

- Realizar mediciones de fachada, ruido aéreo y de impacto en base a la UNE EN ISO 16283 parte 1, UNE EN ISO 16283 parte 2 y la UNE EN ISO 16283 parte 3.

Comparar resultados con otras normativas nacionales de requerimiento de aislamiento.

2. Capítulo II: Marco Teórico

2.1 Aislamiento Acústico

2.1.1 Nociones generales

Cuando se habla de un recinto y de su aislamiento acústico, se hace referencia a sus componentes que lo limitan o lo dividen, ya sean paredes, pisos o techos. Los cuales lo dividen en dormitorios, baños, sala, cocina, etc, o a su vez, sus limitaciones, con departamentos colindantes y viviendas vecinas.

El aislamiento acústico de un recinto depende del grosor, masa, y la calidad de los materiales, ya que se busca una menor transmisibilidad y un mayor aislamiento acústico a fin de garantizar el confort sonoro y la calidad acústica, el cual es un requerimiento cada vez más demandado por los usuarios.

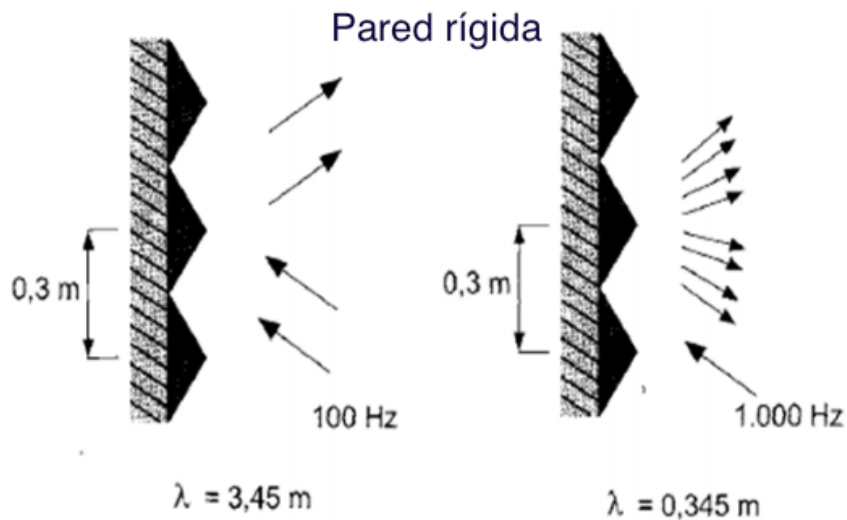


Figura 1. Ejemplos de dispersión de ondas sonoras producidas por reflexiones en superficies.

Tomado de fadu, s.f.

La pérdida por transmisión o también llamado Transmission Loss (TL) se conoce como la cantidad de sonido que se transmite de un recinto a otro por medio de una partición en común, la cual puede ser una pared, un suelo, un techo, etc. Se aplica el criterio de que, a mayor pérdida de transmisión, se tiene un mejor aislamiento acústico. La fórmula general de pérdida de transmisión está dada por:

$$\Delta L_{TL}(\theta) = 10 \log \left| 1 + \frac{\zeta_n \cos \theta}{2} \right|^2 \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde:

ζ_n : es la impedancia nominal de la pared.

(Long, 2006).

La ley de masas establece que la reducción de intensidad acústica a través de un elemento es en función del cuadrado del producto de la masa unitaria (m) por la frecuencia considerada (f).

Esta ley está dada por:

$$\tau_{\theta} = \left[1 + \left(\frac{\omega m_s \cos \theta}{2 \rho_0 c_0} \right)^2 \right]^{-1} \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde:

τ_{θ} : transmisibilidad de la energía incidente a través del panel en función del ángulo θ .

ω : frecuencia angular $\left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$.

m_s : densidad de la superficie de la masa $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$.

ρ_0 : densidad del aire $\left(1,18 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \right)$

c_0 : velocidad del sonido en el aire.

(Long, 2006).

La cantidad de aislamiento acústico de un elemento en un recinto dependerá de las características constructivas del mismo como se indica en la ley de masas, en donde el aislamiento aumentará a razón de 6 dB por octava por duplicación de la masa (Long, 2006).

Si se tiene una gran masa se tendrá una rigidez alta, con una masa menor se tendrá una menor rigidez. De esta forma obtiene una pérdida de transmisión como se muestra en la figura 2.

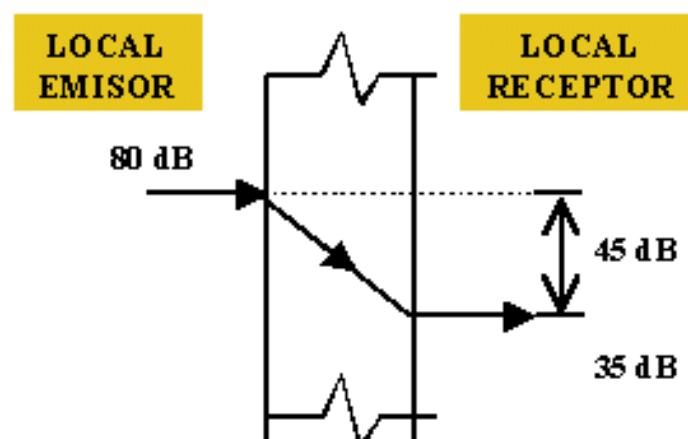


Figura 2. Ejemplo de pérdida por transmisión entre recinto emisor y receptor. Tomado de ehu, s.f.

Una pared simple es aquella en la que todos sus puntos de la masa sobre una misma normal no varían su distancia entre sí cuando la pared entra en vibración, esta pared puede estar formada por varias capas de distintos materiales.

La pérdida de transmisión de una pared simple se obtiene por la incidencia de una onda plana en un ángulo θ con respecto a la normal y está dado por:

$$\Delta L_{TL}(\theta) = 10 \log \left[1 + \left(\frac{\omega m_s \cos \theta}{2 \rho_0 c_0} \right)^2 \right] \quad (\text{Ecuación 3})$$

(Long, 2006).

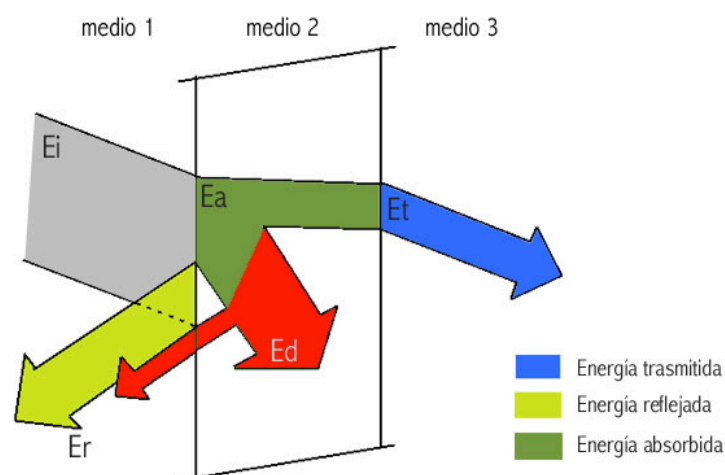


Figura 3. Energía acústica.

Tomado de eumus, s.f.

La figura 3 describe la incidencia perpendicular de una onda acústica sobre una pared. Parte de esta incidencia será reflejada y la otra será absorbida. Una vez que se ha sido absorbida, una parte de esta energía se disipa y la otra se transmite. Esta pérdida de transmisión o aislamiento acústico puede calcularse usando la Ley de masas, la cual se encuentra expresada como:

$$R = 20 \log M \pi f Z [dB] \quad (\text{Ecuación 4})$$

donde:

M : masa por unidad de superficie

f : frecuencia

Z : equivalente a 415 [rayls] si el medio es el aire.

(Long, 2006).

Para que esta relación se cumpla se debe tomar en cuenta que:

- La frecuencia de la onda incidente sea mucho mayor a los modos propios de la pared.

-

Que la incidencia de la onda sea perpendicular al panel o a la pared.

En la práctica, difícilmente se cumple que una pared o una partición cumpla con la ley de masas con exactitud, en especial cuando el elemento forma parte de una edificación encontrándose conectado a este por medio de otros elementos con distinta rigidez.

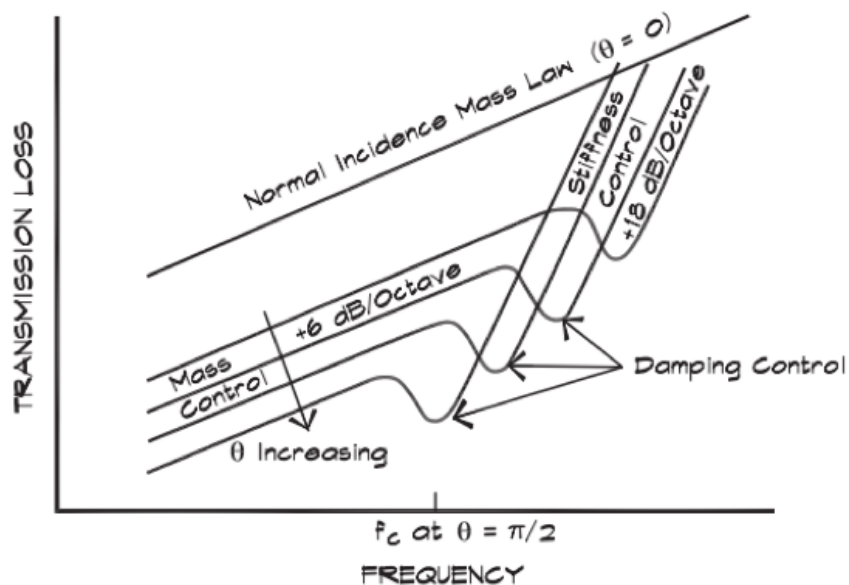


Figura 4. Pérdida por transmisión vs frecuencia.

Tomado de Long, 2006.

La figura 2.4 describe la pérdida de transmisión acústica en función de la frecuencia, en la cual se puede apreciar 3 zonas claramente marcadas:

- Zona de elasticidad: donde la frecuencia (f) es menor a la frecuencia natural (f_0) y corresponde a bajas frecuencias, donde el aislamiento llega hasta casi topar la frecuencia natural y es técnicamente nulo.
- Zona de masa: donde la frecuencia (f) se encuentra en la frecuencia natural (f_0) y la frecuencia crítica (f_c). Esta zona tiene un aumento de 6 [dB/Octava] y corresponde a la ley de masas.
- Zona de amortiguamiento: donde la frecuencia es mayor a la frecuencia crítica (f_c). En esta zona el aislamiento baja hasta llegar a la frecuencia crítica y luego vuelve a aumentar de forma progresiva a 18 [dB/Octava]. Una banda de octava es un intervalo de frecuencias comprendido entre una frecuencia determinada y otra igual al doble de la anterior (Everest, 1989).

Cuando se habla de TL, es importante mencionar las vías de propagación del sonido son aérea y estructural.

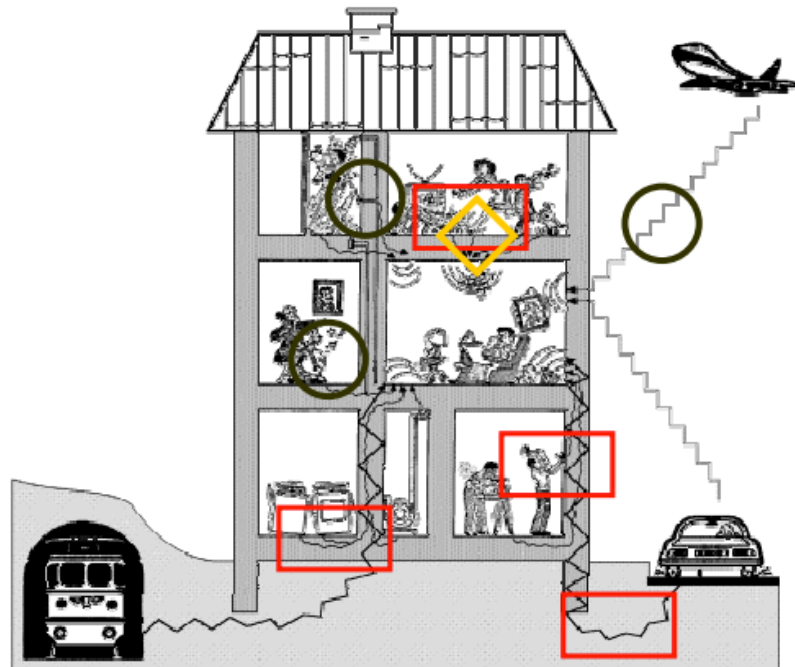


Figura 5. Vías de propagación de ruido.

Tomado de Bruel & Kjaer, s.f.

Donde:

- : Transmisión por vía aérea
- : Ruido de impacto
- : transmisión por vía estructural

En el tipo de transmisión de vía aérea, el sonido se propaga de forma perpendicular a una partición o fachada, mas no se propaga de forma longitudinal. De esta forma la energía sonora emitida se propaga por el medio aéreo excitando el campo sonoro y poniendo la pared en vibración, esta cantidad de energía acústica que se transmitió se debe a porosidades, grietas, ductos de ventilación, etc.

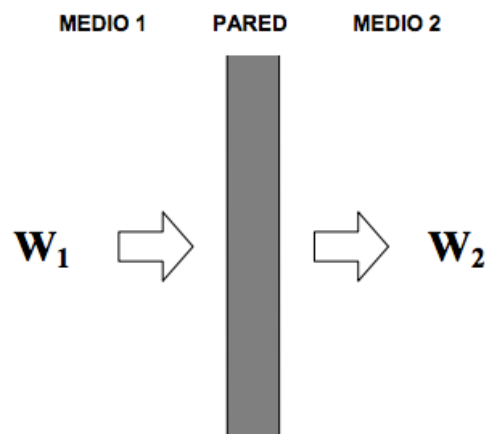


Figura 6. Transmisión de vía aérea.

Tomado de fadu, s.f.

Cuando se realiza una medición de ruido aéreo in situ entre 2 recintos (un recinto es un espacio de una edificación limitado por cerramientos, particiones o separaciones) con una partición en común, se calcula el aislamiento acústico aparente R' el cual esta dado por la fórmula 5.

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

L_1 : nivel de emisión

L_2 : nivel de recepción

S : área del elemento separador

A : absorción equivalente del recinto receptor

Este es un tipo de transmisión acústica directa en donde la transmisión de sonido al recinto receptor pasa a través del elemento de separación.

La transmisión estructural es aquella en la que el ruido de impacto incide de forma directa en la estructura de la edificación ya sea por golpe o roce. Dentro de la transmisión estructural se encuentra la transmisión por flancos, la cual consiste en la propagación del sonido o transmisión de este por paredes laterales dependiendo de su espesor. Es decir, este tipo de transmisión se produce de forma adyacente y repercute en el recinto receptor como se muestra en la figura 7.

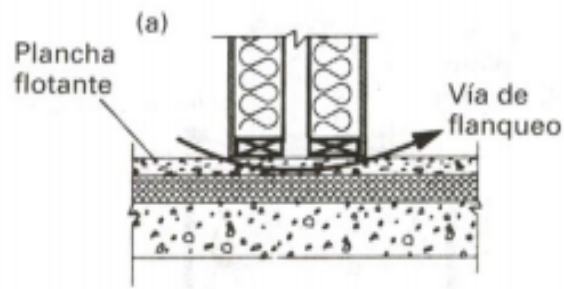


Figura 7. Vía de transmisión por flancos.

Tomado de urg, s.f.

Un elemento de flanco es un elemento constructivo adyacente a un elemento de separación, por el cual se produce la transmisión acústica indirecta estructural o por vía de flancos.

Este es un tipo de transmisión acústica indirecta, la cual consiste en la transmisión de sonido al recinto receptor a través de caminos de transmisión distintos al directo o por estructura, también conocido como transmisión por flancos.

En el aislamiento a ruido de impacto se usa un sistema masa-resorte como se muestra en la figura 8.

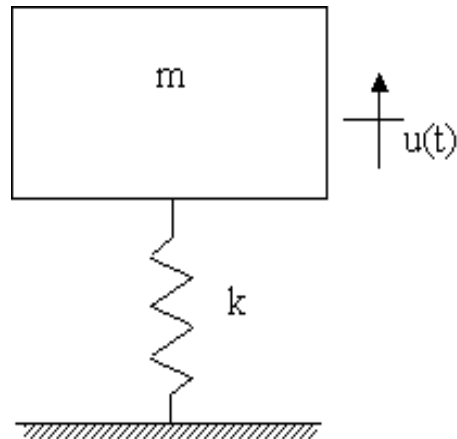


Figura 8. Sistema masa – resorte.

Tomado de Miyara, (2006).

Un ejemplo de esta estructura tipo masa-resorte es el piso flotante, en donde el piso es la masa y está apoyado una losa o piso estructural por medio de un elemento elástico. El piso flotante es un elemento de construcción sobre forjado que comprende una capa de apoyo y una de material aislante a ruido de impactos como se muestra en la figura 9.

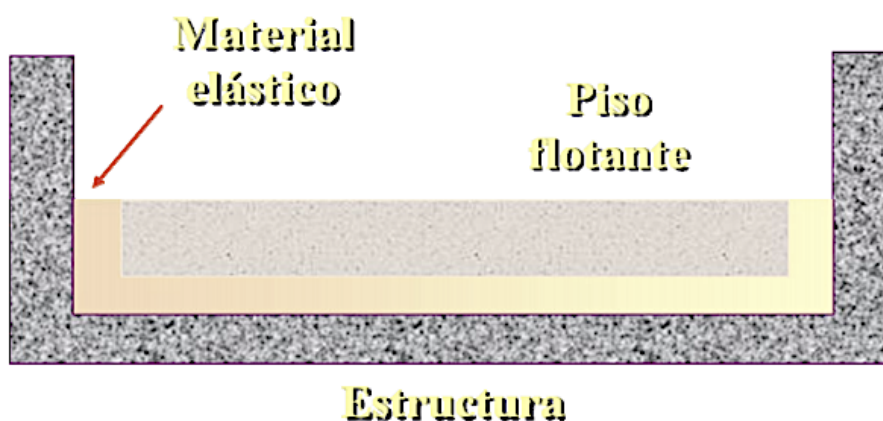


Figura 9. Ejemplo de estructura masa-resorte con piso flotante.

Tomado de fadu, s.f.

Otras vías de transmisión son por medio de puertas y ventanas, las cuales pueden darse por la apertura o cierre de las mismas o desajustes propios de construcción de estas como se muestra en la figura 10. Aún si se tiene una pared o una fachada construida correctamente y con un buen aislamiento acústico, las puertas y ventanas pueden ser elementos determinísticos que pueden empeorar el buen aislamiento de dicha pared, ya que un muro puede aislar 50 dB y tiene una venta que aísla 20 dB, se tendrá un aislamiento aproximado de 35 a 40 dB. Una fachada es un cerramiento que limita un edificio y lo separa del exterior.

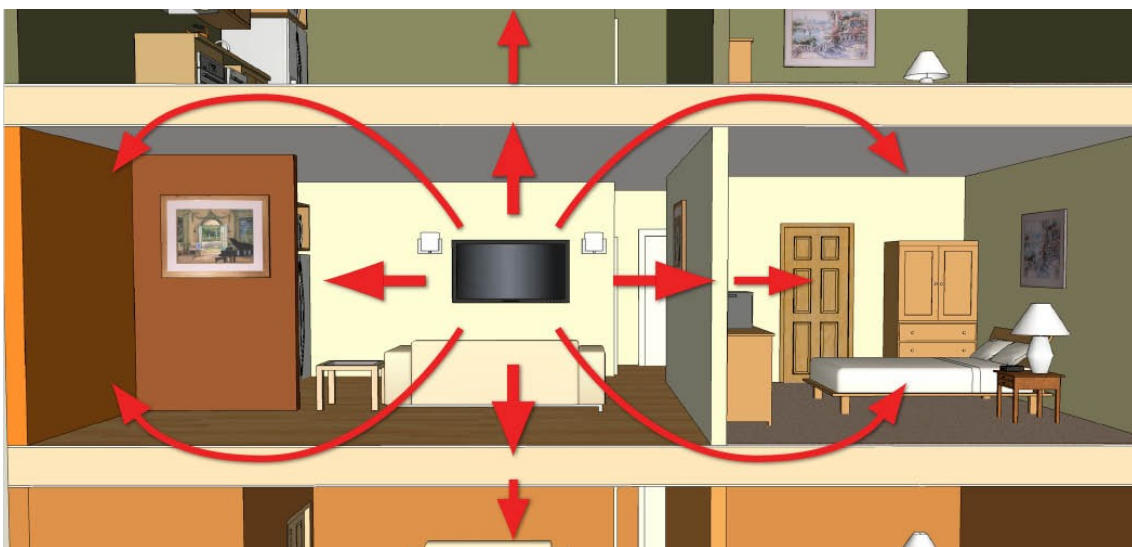


Figura 10. Vías de transmisión: puertas y ventanas.

Tomado de sound proofing company, s.f.

Los ductos de ventilación son otro medio de propagación del sonido, ya que estos se encuentran instalados a través de los recintos y el sonido que se transmite por ellos se propaga con poca atenuación. Este es un problema común en edificios, ya que la mayoría de los ductos de ventilación de los cuartos de baño están conectados entre sí como se muestra en la figura 11.

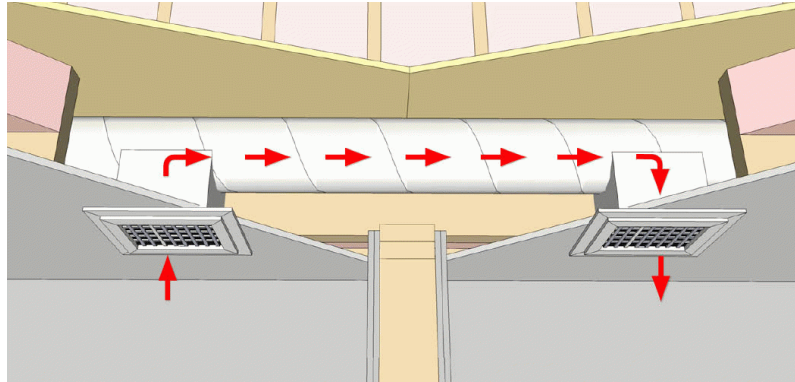


Figura 11. Ductos de ventilación como medio de propagación del sonido.
Tomado de sound proofing company, s.f..

La transmisión por puentes acústicos también existe, y ocurre al conectar de forma rígida las 2 hojas de una pared doble por descuido o por el paso de tuberías o cableado que se realizó de forma incorrecta resultando en la degradación del aislamiento en altas frecuencias de forma considerable. En la figura 12 se muestra un esquema de la transferencia y pérdida del sonido en una construcción común.

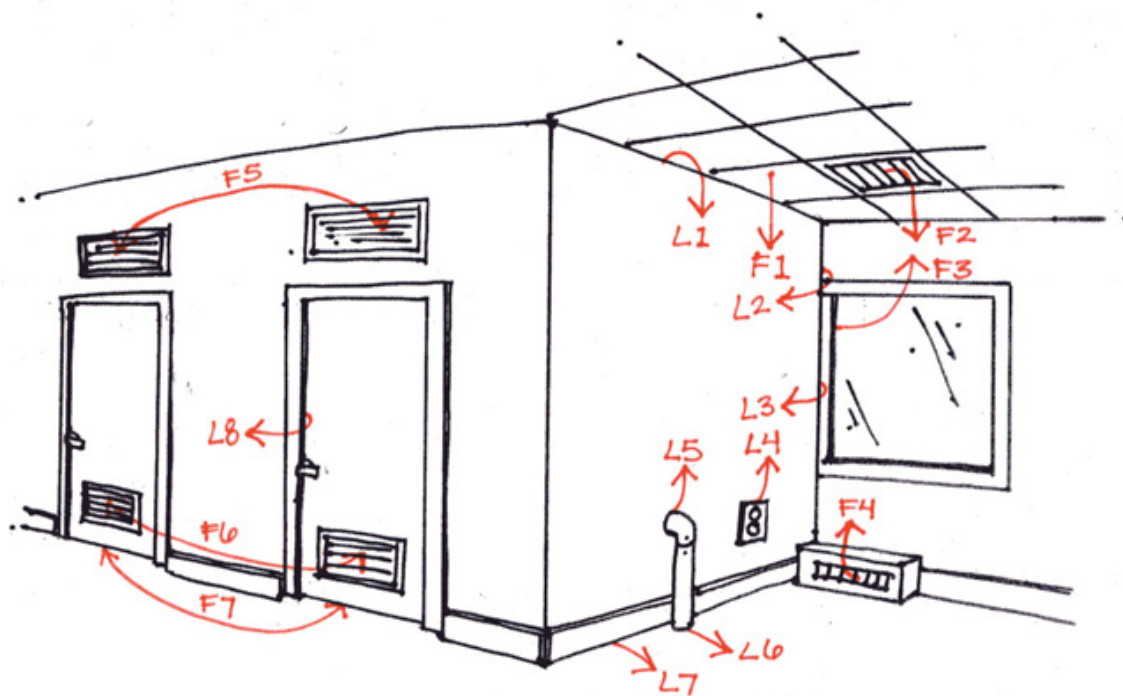


Figura 12. Vías de transmisión y pérdida de sonido. Donde L representa vías de pérdida y F representa vías de flanqueo.

Tomado de stratings, s.f.

En la siguiente tabla se muestran los distintos niveles de atenuación de materiales de construcción típicos de una construcción según su frecuencia.

Tabla 1.

Índice de reducción acústica en función de la frecuencia.

Índice de reducción acústica (dB)					
Frecuencia central de banda de octava (HZ)					
Material	125	250	500	1k	2k
Ladrillo	30	36	37	37	37
Bloque hueco	33	33	33	39	45
Bloque concreto	38	36	40	45	50
Puerta de madera	26	33	40	43	48
Vidrio laminado	23	31	38	40	47
Madera contrachapada	17	15	20	24	28
Acero	15	19	31	32	35
Acero laminado (metal)	15	25	28	32	39
Muro de madera	24	34	40	45	49
Techo de teja	21	26	33	33	35
Techo raso	39	40	49	53	57
Techo raso de madera	22	37	43	49	57
Ducto de ventilación	45	41	35	36	42

Tomado de Long, 2006.

Estos índices de reducción acústica están en función del coeficiente de absorción de cada material. El coeficiente de absorción acústica es la relación entre energía acústica absorbida por un objeto y la energía acústica incidente sobre el mismo, referida a la unidad de superficie. Es en función de la frecuencia.

Un ejemplo de coeficientes de absorción de materiales se muestra en la tabla 2 a continuación.

Tabla 2.

Coefficientes de absorción de sonido de materiales en función de las frecuencias.

Coeficientes de absorción del sonido en función de la frecuencia (Hz)					
Material/Frecuencia	125	250	500	1k	2k
Baldosa	0,2	0,4	0,7	0,8	0,6
Yeso	0,1	0,2	0,5	0,6	0,7
Gypsum	0,3	0,1	0,05	0,04	0,07
Contrachapado	0,6	0,4	0,1	0,1	0,1
Bloque de concreto	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4
Ladrillo	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05
Alfombra	0,02	0,06	0,15	0,4	0,6
Piso de madera	0,4	0,3	0,2	0,2	0,15
Vidrio (ventana)	0,3	0,2	0,2	0,1	0,07
Cortinas	0,07	0,3	0,5	0,7	0,7

Tomado de Hall, s.f.

Los materiales acústicos comúnmente utilizados en construcción se mencionan en la figura 13.

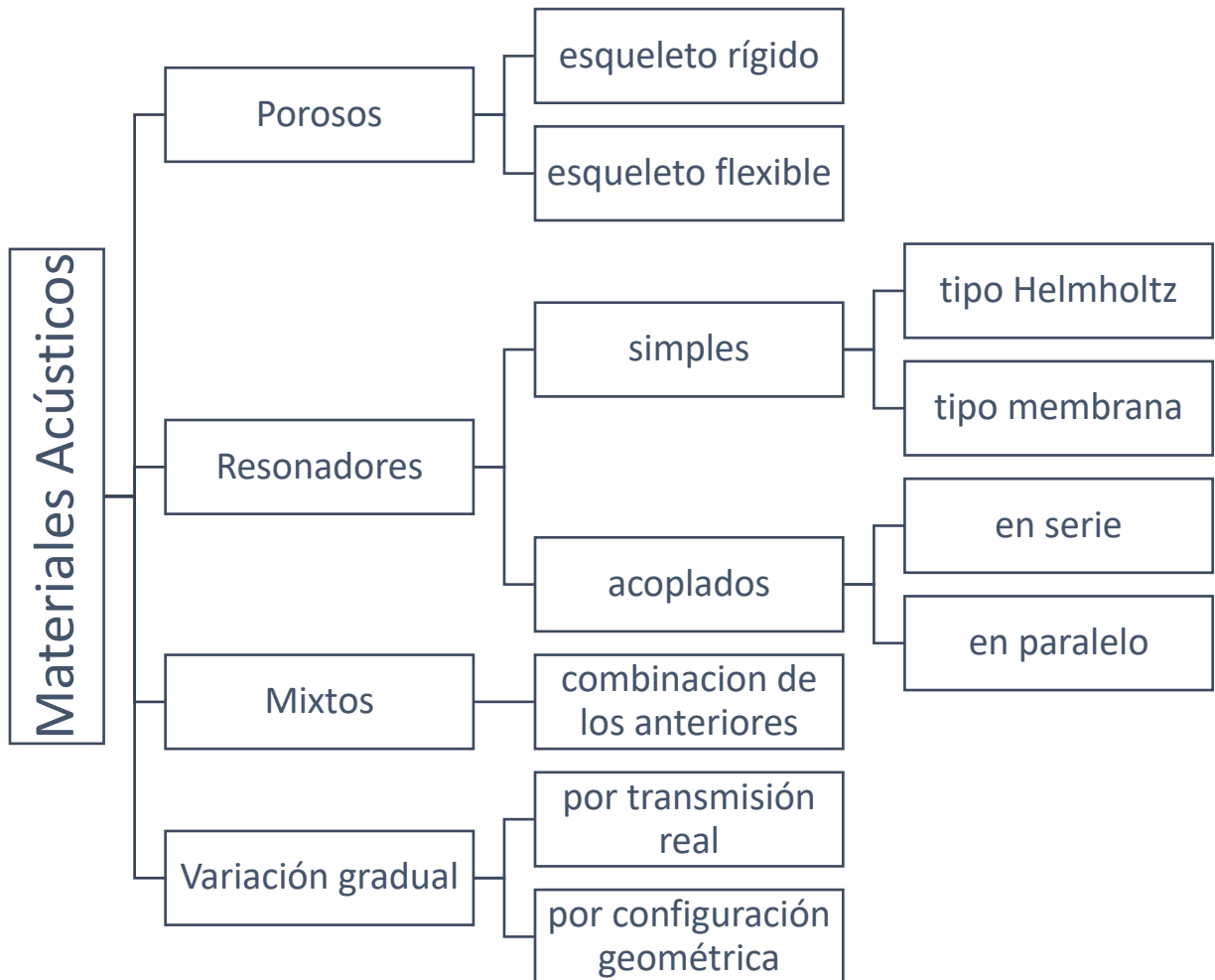


Figura 13. Organizador gráfico de materiales acústicos

Tomado de [fadu](#), s.f.

La siguiente imagen muestra un esquema de la capacidad de absorción de los distintos materiales acústicos. En la primera figura se observa que en el material poroso rígido hay gran absorción en altas frecuencias. La segunda figura

muestra la absorción de un resonador de Helmholtz, el cual posee un pico, absorbiendo frecuencias específicas.

La tercera figura corresponde al resonador de membrana, el cual tiene una absorción media en frecuencias bajas.

La cuarta figura muestra un panel perforado, en el cual se observa que su curva de comportamiento tiene una mayor absorción en frecuencias medias y bajas con un ancho de banda mayor.

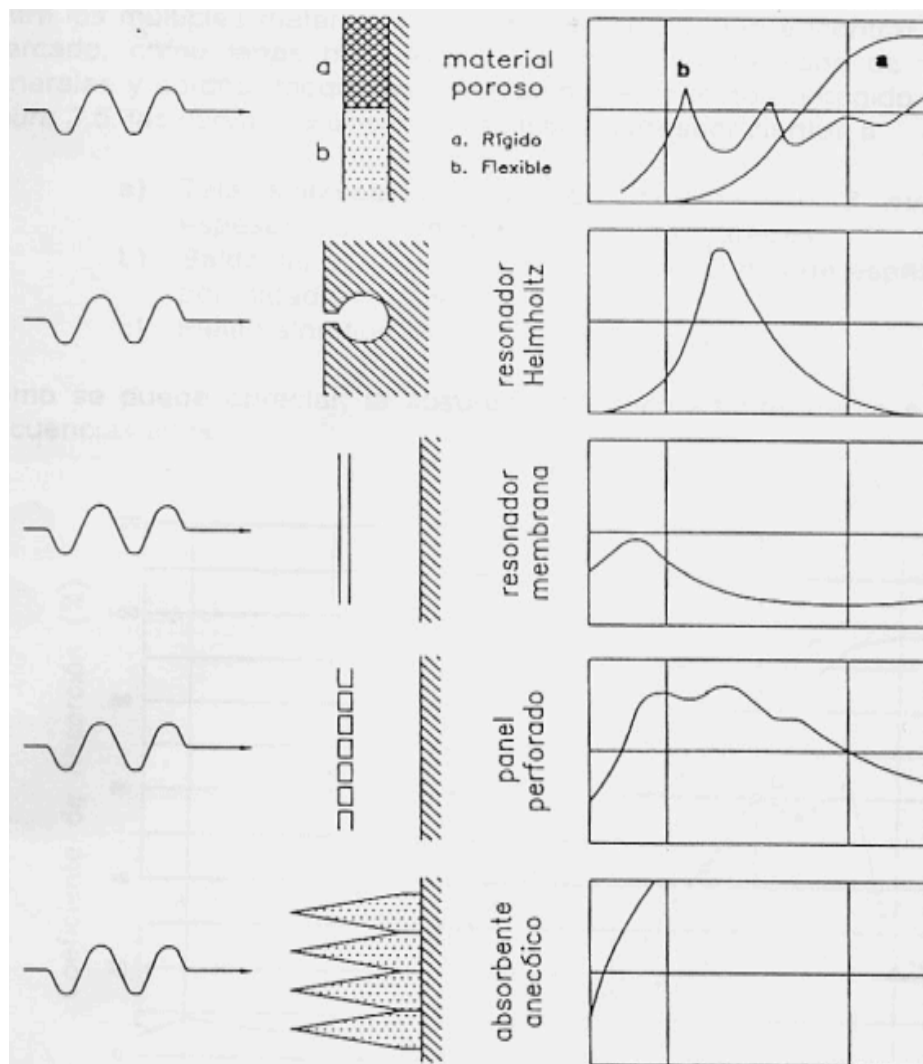


Figura 14. Absorción de materiales acústicos según su tipo.

Tomado de fadu, s.f.

2.2 Descripción de Normativas

Las normas ISO 16283 parte 1, 2 y 3 describen los procedimientos para llevar a cabo las mediciones in situ del aislamiento acústico en edificios y en los elementos de construcción. El aislamiento acústico de ruido aéreo, ruido de impactos y ruido de fachada, se describe en las normas ISO 16283-1, ISO 16283-2 e ISO 16283-3 respectivamente.

2.2.1 UNE EN ISO 16283-1: Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo.

En esta normativa se describe el procedimiento para las mediciones in situ de aislamiento a ruido aéreo en los edificios. En esta se especifica los procedimientos para determinar el aislamiento acústico entre recintos usando mediciones de presión acústica, recintos entre 10 metros cúbicos y 250 metros cúbicos en un rango frecuencia de 50 [Hz] a 5k [Hz].

Se puede caracterizar el comportamiento acústico de dicho aislamiento utilizando los procedimientos que se describen en la Norma ISO 717-1, la cual será descrita más adelante, ya que dicho ruido aéreo medido, depende de la frecuencia y se puede transformar en un valor único.

Para el procedimiento y cálculo de tiempo de reverberación en recintos ordinarios se hará referencia a la Norma ISO 3382-2.

Para llevar a cabo las mediciones y cálculo de esta normativa, se deberá obtener el nivel de presión acústica promediado energéticamente en un recinto (L), el nivel de presión acústica de esquina en un recinto (Lesquina), el nivel de presión acústica de baja frecuencia promediado energéticamente en un recinto (Llf), el tiempo de reverberación (T), el nivel de ruido de fondo (RF) (ver referencia en anexos)

Se usarán distintos tipos de microfonía dependiendo el caso del recinto, los cuales son micrófono fijo, micrófono de movimiento continuo mecanizado, micrófono de barrido manual y micrófono de mano (ver referencia en anexos).

Se tomarán en cuenta las separaciones, sean de tipo separación o separación común.

Se realizará el cálculo de: diferencia de niveles (D), diferencia de niveles estandarizada (DnT) y el índice de reducción aparente (R') (referencia en anexos).

La instrumentación utilizada (cables, micrófonos, altavoces, generadores, etc.) deben cumplir los requisitos para instrumentos clase 1* de acuerdo con la Norma IEC 61672-1 para una aplicación de incidencia aleatoria y su correcta calibración.

Se debe realizar una verificación de equipos al principio y al final de cada medición, y al menos, al principio y al final de cada día de medición. La lectura de las 2 comprobaciones consecutivas debe ser inferior o igual a 0,5 dB. En caso de no ser el resultado de dicha diferencia, se deberá rechazar las mediciones obtenidas hasta contar con una correcta calibración y verificación de los equipos en cuestión.

Para una verificación del correcto cumplimiento de los requisitos de los instrumentos de medición, filtros y calibradores acústicos se deberá realizar por medio de un certificado de conformidad válido según la Norma IEC 61183, avalado por un laboratorio acreditado y autorizado a nivel nacional.

Todas las magnitudes se medirán usando filtros de bandas de tercio de octava en un rango frecuencia de 50k Hz a 50k [HZ].

A modo general, para determinar el aislamiento a ruido aéreo según esta norma, se debe escoger un recinto como recinto emisor conteniendo el o los altavoces, y otro recinto como recinto receptor.

Las mediciones requeridas incluyen:

- Los niveles de presión acústica en ambos recintos con la o las fuentes funcionando.
- El ruido de fondo en el recinto receptor cuando todas las fuentes están apagadas.
- El tiempo de reverberación del recinto receptor.

Esta norma describe 2 procedimientos de medición que se deben usar para el nivel de presión acústica, el tiempo de reverberación y el ruido de fondo:

- Un procedimiento por defecto
- Un procedimiento complementario de baja frecuencia.

Para el caso de nivel de presión acústica y de ruido de fondo, se usa el procedimiento por defecto para todas las frecuencias mencionadas anteriormente, el cual consiste en usar:

- Un micrófono fijo o manual que se mueve de una posición a otra.
- Un conjunto de micrófonos fijos
- Un micrófono con un movimiento continuo o mecanizado
- O realizar un escaneado manual con un micrófono

El operador puede escoger cual de estos métodos utilizar dependiendo de cual sea el método más adecuado para dicho recinto, ya sea emisor o receptor.

Para el caso de nivel de presión acústica, ruido de fondo y tiempo de reverberación, se usará el procedimiento de baja frecuencia para las bandas de

tercio de octava de 50 [Hz], 63 [Hz] y 80 [Hz] únicamente cuando el recinto emisor o receptor tenga un volumen inferior a 25 metros cúbicos.

Procedimiento

Se determinará el nivel promedio en la zona central del recinto emisor y receptor con los altavoces encendidos y el ruido de fondo en el recinto receptor con el altavoz apagado.

El sonido deberá ser generado en el recinto emisor usando altavoces que funcionen de manera simultánea en 2 posiciones, o un solo altavoz movido a 2 posiciones. Este sonido generado debe ser estable y tener un espectro continuo sobre el rango de frecuencias. Se debe tomar en cuenta que el nivel de presión acústica promediado energéticamente en este recinto no presente diferencias de nivel mayores a 8 [dB] entre las bandas de tercio de octava adyacentes

La potencia acústica de el o los altavoces debe ser lo suficientemente alta para que el nivel de presión acústica en el recinto receptor esté por encima del nivel de ruido de fondo de forma significativa.

Posiciones de altavoces:

- La distancia entre el altavoz y los límites del recinto debe ser de al menos 0,5m.
- No se deben colocar dentro de los planos paralelos que limitan el recinto y deben estar al menos 0,7 m el uno del otro.
- La distancia para las distintas posiciones es de al menos 0,7 m y por lo menos 1,4 m de distancia entre posiciones.
- El altavoz debe estar a 1m del suelo por lo menos.

Se pueden usar micrófonos fijos sin que el operador esté en el recinto, con un micrófono con trípode o el operador puede estar presente en el recinto con el

micrófono en un trípode o con un micrófono manual, tomando en cuenta que el tronco del cuerpo del operador esté a una distancia de al menos un brazo.

Cuando se usan múltiples altavoces de forma simultánea, se debe usar por lo menos 5 posiciones de micrófono en cada recinto.

Cuando se usa un único altavoz, se debe usar al menos 5 posiciones de micrófono en cada recinto para cada posición de altavoz.

Posiciones de micrófonos:

- Mínimo 0,7 m entre las posiciones de micrófonos fijas.
- Por lo menos 0,5 m entre posición de micrófono y límite del recinto.
- Al menos 1 m de distancia entre cualquier posición de micrófono y altavoz.

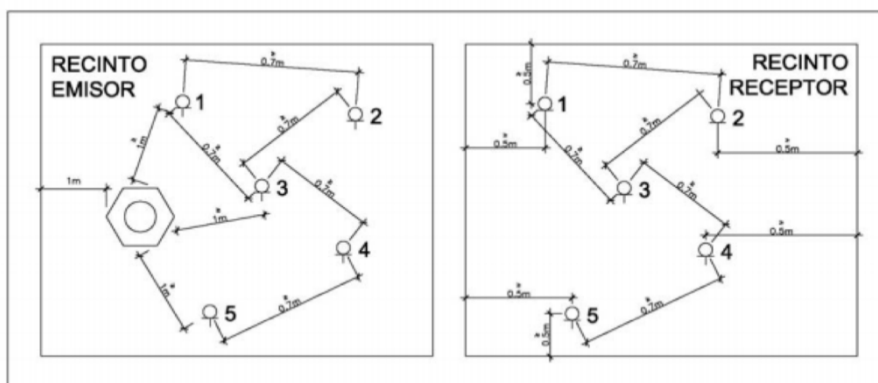


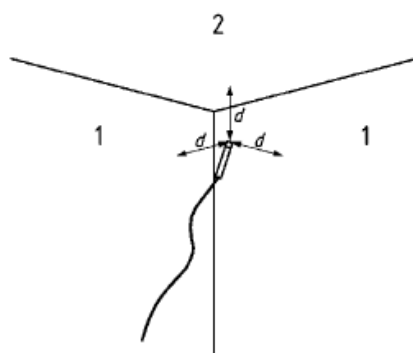
Figura 15. Posicionamiento de micrófonos.

Tomado de ISO, 2014.

Para el caso de un único altavoz funcionando en más de una posición se mide el nivel de presión acústica en el recinto emisor y en el recinto receptor para la primera posición de altavoz y se procede a calcular el nivel de presión acústica promediado energéticamente en ambos recintos para la primera posición de altavoz y se realiza cualquier tipo de corrección de ruido de fondo, procedimiento que será explicado más adelante.

El tiempo de medición es de al menos 15 segundos para cada posición de micrófono.

Si se realiza el procedimiento de bajas frecuencias, las mediciones de presión acústica se realizan en las esquinas para identificar la esquina con el nivel más alto de cada banda. Se debe ubicar el micrófono fijo en las esquinas del recinto a una distancia de 0,3 m a 0,4 m de los límites del recinto como se muestra en la figura 16.



Leyenda

- 1 Pared
- 2 Techo

Figura 16. Ejemplo de posición de micrófono esquinero.

Tomado de ISO, 2014.

Para las mediciones de ruido de fondo se debe garantizar que el nivel de la señal en el recinto receptor no esté afectado por el ruido de fondo. Tomando en cuenta los siguientes factores que contribuyen con el nivel de ruido de fondo:

- El ruido externo que pueda proceder del afuera del recinto de ensayo.
- El ruido eléctrico del sistema receptor.
- Las interferencias eléctricas entre los sistemas fuente y receptor.
- Los dispositivos mecánicos utilizados para el micrófono de movimiento continuo
- Los operadores fuera del recinto de ensayo

Los operadores son una potencial fuente de ruido de fondo cuando se encuentran en el recinto receptor. Se debe usar la misma trayectoria de

micrófono de barrido manual para la toma de señal. Para el procedimiento de baja frecuencia se debe realizar la medición en cada esquina usada anteriormente. Los tiempos de medición de ruido de fondo deben ser de al menos 15 segundos cuando el fondo es estable y continuo, sino se debe usar promedios de tiempo más largos.

Para realizar las correcciones por ruido de fondo, este debe ser por los menos 6 [dB] y de preferencia más de 10 [dB] por debajo del nivel de la señal.

Si la diferencia de nivel está entre 6 [dB] y 10[dB], se calculan las correcciones de nivel de presión acústica con un promedio energético usando la fórmula del apartado de anexos.

Si la diferencia de niveles es menor o igual a 6 [dB] (para cualquier frecuencia), se utiliza la corrección de 1,3 [dB].

Para el tiempo de reverberación se debe utilizar el método de ruido interrumpido, el cual consiste en que para posiciones de micrófono fijas o manuales, se debe medir mínimo 6 mediciones. Se debe usar mínimo una posición de altavoz y 3 posiciones fijas de micrófono haciendo 2 tomas en cada posición.

La incertidumbre de los resultados de la medición se puede determinar con la Norma ISO 12999-1.

2.2.2 UNE EN ISO 16283-2: Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 2: Aislamiento a ruido de impactos.

Esta norma establece los procedimientos para determinar el aislamiento acústico a ruido de impactos en edificaciones, haciendo uso de mediciones de presión acústica con una máquina de impactos que actúa sobre un suelo.

Estos procedimientos se aplican para recintos entre 10 a 250 metros cúbicos de volumen en frecuencias entre 50 [Hz] y 5k [Hz].

Los resultados obtenidos de estos ensayos se pueden usar para cuantificar, evaluar y comparar el aislamiento acústico a ruido de impactos en recintos amueblados o vacíos donde el campo sonoro puede o no aproximarse a un campo difuso.

Se puede utilizar la máquina de impactos para evaluar impactos fuertes o leves como pisadas de personas o de objetos que se caen. Se puede calcular una magnitud única utilizando los procesos de evaluación de la norma ISO 717-2.

Para llevar a cabo las mediciones de este tipo, se deberá obtener los niveles de presión acústica de ruido de impactos promediado energéticamente en un recinto (L_i), el nivel de presión acústica de ruido de impactos de esquinas en un recinto (L_i -esquina), el nivel de presión acústica de baja frecuencia promediado energéticamente en un recinto (L_i -lf), el nivel de presión acústica máximo del ruido de impactos promediado energéticamente en un recinto (L_i -Fmax), el tiempo de reverberación y el ruido de fondo. Términos especificados en el apartado de anexos.

Se podrá utilizar micrófono fijo, de movimiento continuo mecanizado, de barrido manual o de mano.

Se deberá calcular el nivel de presión acústica estandarizado de ruido de impactos (L'_{nt}), el nivel de presión acústica normalizado de ruido de impactos (L'_n), el nivel de presión acústica máximo estandarizado de ruido de impactos (L'_i -Fmax) y el área de absorción equivalente (A), terminología explicada en la sección de anexos.

La instrumentación, calibración y verificación es la misma mencionada en la ISO 16283-1 al igual que el rango de frecuencias con el que se trabajará (de 50 [Hz] a 5k [Hz]).

La determinación del aislamiento de ruido de impactos necesita un recinto receptor en el que se transmite el sonido por una fuente de impactos que actúa sobre una separación. El recinto emisor será aquel donde se encuentre situada la máquina de impactos.

En esta norma se describen los procesos de medición a utilizar para el nivel de presión acústica, el tiempo de reverberación y el ruido de fondo, por medio de un proceso por defecto y uno complementario de baja frecuencia.

El procedimiento por defecto es aquel en el que el ruido de impactos se debe generar utilizando una máquina de impactos para determinar el nivel promedio en la zona central del recinto receptor con la fuente de impactos en funcionamiento y el nivel de ruido de fondo en el recinto receptor cuando la fuente esté apagada.

Posiciones de la fuente:

- La máquina de impactos se debe colocar en al menos 4 posiciones diferentes distribuidas de manera aleatoria en el suelo del recinto emisor.
- La distancia entre la máquina de impactos a los bordes del suelo debe ser de al menos 0,5 m.
- Debe estar a 45° con respecto a las vigas de construcción o nervaduras.

Las mediciones deben arrancar una vez que se haya estabilizado el nivel de ruido.

Posiciones de micrófonos:

- Los micrófonos se pueden usar sin presencia del operador en el recinto
- El operador puede o no estar presente en el recinto
- El número de posiciones de micrófono debe ser igual al número de posiciones de la fuente o de múltiplos enteros del número de posiciones de la máquina.

- Si se utilizan 4 o 5 posiciones de la máquina de impactos, se debe realizar por lo menos 2 mediciones de nivel para cada posición de la máquina.
- Las mediciones deben realizarse en al menos 2 posiciones de micrófono diferentes para cada posición de máquina.
- Si se utilizan 6 posiciones de máquina o más, se debe hacer al menos una medición de nivel por cada posición y en una posición diferente por cada posición.

Se procede a medir el nivel de presión acústica en el recinto receptor para la primera posición de la máquina de impactos. Luego se calcula el nivel de presión acústica promediado energéticamente como se mencionó anteriormente, y luego se realiza las correcciones de ruido de fondo pertinentes.

Se calcula el nivel de presión acústica estandarizado del ruido de impactos y luego se repite el proceso para el resto de las posiciones de la fuente de impactos calculando el nivel de presión acústica estandarizado o normalizado del ruido de impactos con la fórmula del L'_{nt} (ver referencia en anexos).

Todo lo referente al micrófono de movimiento continuo mecanizado o el micrófono de barrido manual es el mismo mencionado en la normativa anterior descrita ISO 16283-1 al igual que las distancias mínimas para las posiciones de micrófonos, la incertidumbre y el procedimiento para bajas frecuencias y las correcciones por ruido de fondo.

El tiempo de reverberación se debe medir usando el método de ruido interrumpido descrito anteriormente. La evaluación del tiempo de reverberación de la curva de caída debe iniciarse 5 [dB] por debajo del nivel de presión acústica inicial, la parte inferior del rango de evaluación debe estar por lo menos 10 [dB] por encima del nivel total de ruido de fondo.

Para determinar el nivel de presión acústica de ruido de impactos normalizado se calcula el área de absorción acústica equivalente a partir del tiempo de reverberación.

2.2.3 UNE EN ISO 16283-3: Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 3: Aislamiento a ruido de fachadas.

Esta normativa establece los procedimientos para llevar a cabo el aislamiento acústico a ruido aéreo de los elementos de fachada, aplicable a recintos entre 10 a 250 metros cúbicos en bandas de un tercio de octava entre 50 [Hz] y 5k [Hz].

El objetivo de esta normativa es estimar el índice de reducción acústica o atenuación acústica de un elemento de fachada ya sea por método por elementos o método global (de fachada entera).

El método por elementos más preciso utiliza un altavoz como fuente sonora artificial, otros métodos por elementos se hacen con ruido de tráfico como fuente de ruido.

Los métodos globales tienen como objetivo estimar la diferencia de presión acústica entre el interior y el exterior en condiciones de tráfico reales. Estos métodos globales se valen de ruido de tráfico como fuente real de ruido y si este es insuficiente se puede usar un altavoz como fuente artificial.

Se deberá calcular el nivel de presión acústico medio sobre la superficie de ensayo ($L_{1,s}$), el nivel de presión acústica medio exterior a una distancia de 2 m frente a la fachada ($L_{1,2m}$), el nivel de presión acústica promediado energéticamente en un recinto (L_2), el nivel de presión acústica de esquina en un recinto ($L_{2esquina}$), el nivel de presión acústica de baja frecuencia promediado energéticamente en un recinto ($L_{2,1f}$), el tiempo de reverberación (T) y el nivel de ruido de fondo.

Los micrófonos que se usan son los mismos mencionados anteriormente en la normativa ISO 16283-1.

Se obtendrán: el índice de reducción acústica aparente (R'_{45}), el índice de reducción acústica aparente ($R'_{tr,s}$), la diferencia de nivel (D_{2m}), la diferencia de niveles estandarizada ($D_{2m,nT}$), la diferencia de niveles normalizada ($D_{2m,n}$) y el área de absorción equivalente (A).

La calibración y verificación de la instrumentación es la misma de la ISO 16283-1 mencionada anteriormente al igual que el rango de frecuencias usado comprendido entre 50 [Hz] y 5k [Hz].

Para la determinación del aislamiento acústico de ruido de fachada se requiere que la fuente de ruido sea exterior. Se requiere medir:

- Los niveles de presión acústica próximos a la fachada y dentro del recinto con la fuente en funcionamiento.
- El ruido de fondo en el recinto receptor cuando el altavoz esté apagado.
- Los tiempos de reverberación en el recinto receptor.

Para la presión acústica y ruido de fondo, se usa micrófono fijo o manual y se desplaza de una posición a otra, un conjunto de micrófonos fijos, un micrófono de movimiento continuo o un micrófono de barrido manual.

En el caso del recinto receptor, el objetivo es minimizar el efecto del ruido de fondo por lo que el operador puede decidir si estar presente o no en el recinto al igual que podrá decidir que modalidad de muestreo de presión acústica le conviene más.

Posiciones de micrófono fijo: Se debe usar un mínimo de 5 posiciones, el tiempo promedio de medición es de al menos 15 segundos y las distancias entre micrófonos será la misma del apartado de micrófonos de la norma ISO 16283-1

mencionada anteriormente al igual que las trayectorias del micrófono de barrido manual, el procedimiento para bajas frecuencias, las mediciones de ruido de fondo, las correcciones de ruido de fondo y el tiempo de reverberación usando el método de ruido interrumpido.

Se debe colocar la fuente o altavoz direccional en una o más posiciones afuera del edificio a una distancia de 2 metros, con un ángulo de incidencia igual a 45° , de preferencia sobre el suelo o lo más alto del suelo como sea posible en la práctica. La distancia desde el altavoz hasta el centro de la muestra del ensayo será de al menos 7 m para el método global con altavoz, como se muestra en la figura a continuación.

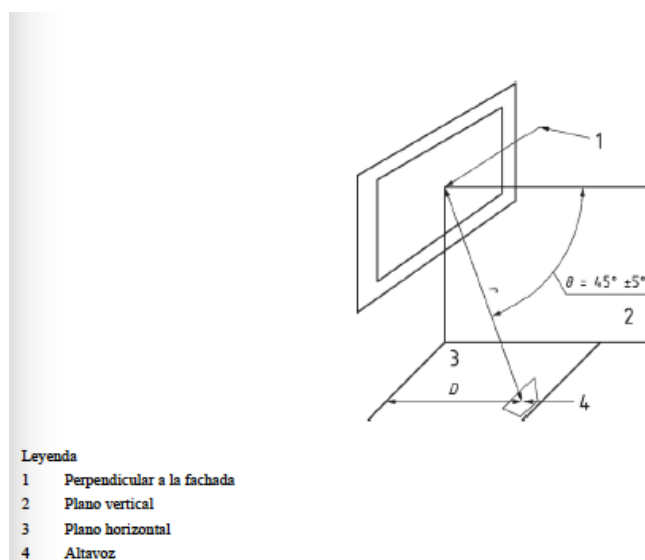


Figura 17. Geometría del método del altavoz.

Tomado de ISO, 2014.

La directividad del altavoz debe ser tal que se cumpla que las diferencias en el nivel de presión acústica entre cada banda de octava no sean mayores a 5 [dB], solo en caso de que la muestra sobrepase una medida de 5 m, se pueden aceptar diferencias de hasta 10 [dB].

La altura del micrófono debe ser de 1,5 m con respecto al piso del recinto receptor.

2.2.4 UNE EN ISO 717-1: Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Ruido aéreo.

Esta parte de la normativa define:

- Las magnitudes globales para aislamiento de ruido aéreo en edificaciones y de elementos de construcción tales como paredes, puertas, ventanas y pisos.
- Considera los distintos espectros sonoros de la fuente de ruido tales como ruido interior de los edificios y ruido de tráfico exterior al edificio
- Proporciona reglas para la determinación de estas magnitudes a partir de los resultados de medición por bandas de tercio de octava.

Las magnitudes globales que forman parte de esta normativa pretenden clasificar el aislamiento acústico y simplificar la formulación de los requisitos acústicos de los códigos de edificación.

Para esta normativa se aplican las siguientes definiciones:

- Magnitud global para valoración del aislamiento a ruido aéreo: Es el valor en [dB] a 500 [Hz] de la curva de referencia ajustada a los valores experimentales según el método especificado en esta parte de la norma.
- Término de adaptación de espectro: Es el valor de [dB] que se añadirá al valor de la magnitud global para tener en cuenta las características de un espectro de ruido particular.

Para valorar los resultados de una medición en bandas de tercio de octava, con precisión de 0,1 [dB], se debe desplazar la curva de referencia en saltos de 1

[dB] hacia la curva medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea lo mayor posible pero que no se pase de 32,0 [dB]

Esta normativa y sus valores de la curva de referencia (figura 2.18) se utilizará para los resultados de ruido aéreo y de fachada.

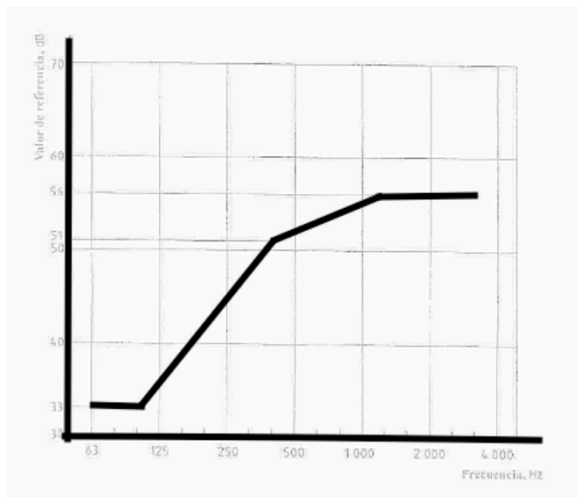


Figura 18. Valores para la curva de referencia para aislamiento de ruido aéreo, en bandas de tercio de octava.

Tomado de ISO, 2014.

2.2.5 UNE EN ISO 717-2. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 2: Ruido de impacto.

Sobre la siguiente norma:

- Define magnitudes globales para el aislamiento a ruido de impactos en edificaciones y de forjados - suelos.
- Proporciona reglas para la determinación de estas magnitudes a partir de los resultados de medición de bandas de tercio de octava de acuerdo a normas internacionales.

- Define magnitudes globales para la reducción de ruido de impactos de cubiertas de suelos y suelos flotantes a partir de los resultados de medición conforme a la norma internacional ISO 140-8.

Para esta normativa se aplican las siguientes definiciones:

- Magnitud global para la valoración del aislamiento a ruido de impactos derivada de mediciones en bandas de tercio de octava: es el valor en [dB] a 500 [Hz] de la curva de referencia una vez ajustada a los valores experimentales.
- Magnitud global para la valoración del aislamiento a ruido de impactos a partir de mediciones en banda de octava: el valor en [dB] a 500 [Hz] de la curva de referencia ajustada a los valores experimentales de esta normativa.
- Reducción ponderada del nivel de presión sonora de impactos: diferencia de niveles ponderados de la presión de impactos normalizada de un suelo de referencia sin y con revestimiento del suelo obtenidos con un método especificado de esta norma.
- Adaptación espectral: es el valor en [dB] que se añadirá a la magnitud global para tener en cuenta la carencia de ponderación de nivel sonoro de impactos.
- Nivel normalizado ponderado equivalente de la presión sonora de impactos de un suelo macizo sin revestimiento: es la suma de nivel normalizado ponderado de la presión sonora de impactos de suelo sin revestimiento.

Para valorar los resultados de una medición en bandas de tercio de octava, con precisión de 0,1 [dB], se debe desplazar la curva de referencia en saltos de 1

[dB] hacia la curva medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea lo mayor posible pero que no se pase de 32,0 [dB]

Para este apartado se usará la siguiente curva de referencia para ruido de impactos:

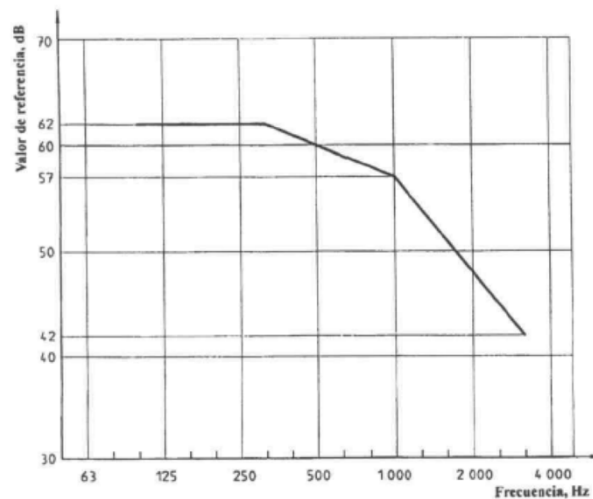


Figura 19. Curva de referencia para ruido de impactos, en bandas de tercio de octava.

Tomado de ISO, 2014.

2.3 Instrumentación

2.3.1 Sonómetro

Es un instrumento de medición que permite medir niveles de presión sonora o ruido existente en un lugar y momento determinado. Es también un analizador de espectro por bandas de octava y octava que permite también medir el tiempo de reverberación y otros parámetros con ponderaciones frecuenciales A, C y Z, al igual que permite el análisis FFT.

La unidad de medida del sonómetro es el decibelio [dB], y su sistema de medición puede ser manual o pre programado, dependiendo de sus características, su marca y su modelo.

Existen distintas clases de sonómetros, por lo que las normas CEI 60651 y la CEI 60804 emitidas por la Comisión Electrónica Internacional establecen las normas a seguir por los fabricantes de sonómetros y se han establecido las siguientes clases:

- Sonómetro de clase 0: Son aquellos que se utilizan en laboratorios de medición o para obtener niveles referenciales.
- Sonómetro de clase 1: se usan para trabajo de campo con precisión.
- Sonómetro de clase 2: se usan para realizar mediciones generales en trabajos de campo.
- Sonómetro de clase 3: son para realizar mediciones aproximadas por lo que solo se los utiliza para hacer reconocimientos y son los menos precisos.

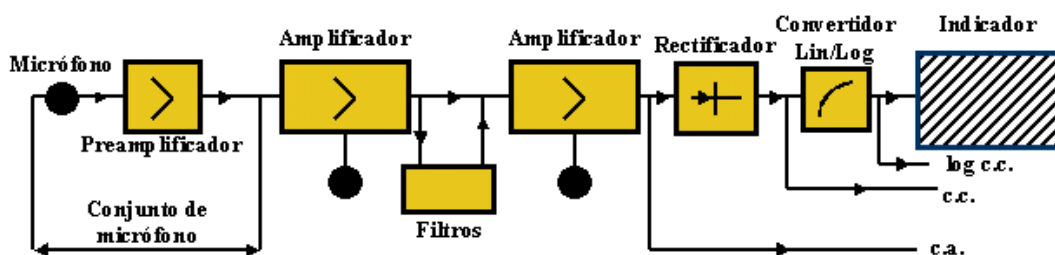


Figura 20. Diagrama de bloque de un sonómetro.

Tomado de ehu, s.f.

La figura 20 muestra el diagrama de bloque de un sonómetro, donde se observa la entrada de la señal, su paso por un preamplificador, seguido por un amplificador y luego un rectificador. Luego pasa por un convertidor logarítmico y se muestra finalmente en pantalla en un espectro de frecuencias.

El espectro de frecuencias representa la distribución de energía de un sonido en función de las frecuencias que lo componen. Se expresa en nivel de presión.



Figura 21. Módulo de análisis en 1/3 de octava.

Tomado de CESVA, s.f.

	LN dB	Δ dB	T30 s	T20 s	R/T1
63	42.0	59.0	0.69	0.56	
125	35.3	73.0	0.65	0.55	
250	38.1	78.2	0.64	0.58	
500	36.1	77.4	0.79	0.76	
1k	31.2	77.6	0.90	0.94	
2k	25.7	80.2	0.87	0.84	
4k	20.1	78.9	0.78	0.77	

Figura 22. Módulo de medición de tiempo de reverberación en bandas de octava.

Tomado de CESVA, s.f.



Figura 23. Sonómetro

Tomado de CESVA, s.f.

2.3.2 Fuente Omnidireccional

La fuente sonora omnidireccional consta de un altavoz omnidireccional y un amplificador. El altavoz de la fuente sonora permite la emisión de ruido en todas las direcciones ya que es un conjunto de 12 altavoces montados en un baffle dodecaédrico. Puede alcanzar los 123 dB PWL de potencia acústica con ruido rosa en las bandas de tercio de octava de 50 a 5000 Hz.

Este altavoz necesita un amplificador para fuente omnidireccional para funcionar la cual permite generar ruido rosa y ruido blanco, tiene un ecualizador gráfico de 1/3 de banda de octava y un amplificador de potencia que permite llegar a los 123 dB en conjunto con el altavoz omnidireccional. El ruido blanco es un tipo de ruido que tiene la misma distribución energética en todas las frecuencias.



Figura 24. Sistema de fuente omnidireccional (altavoz + amplificador)

Tomado de CESVA, s.f.

En la figura 25 que se muestra a continuación se describe el patrón de radiación del altavoz omnidireccional.

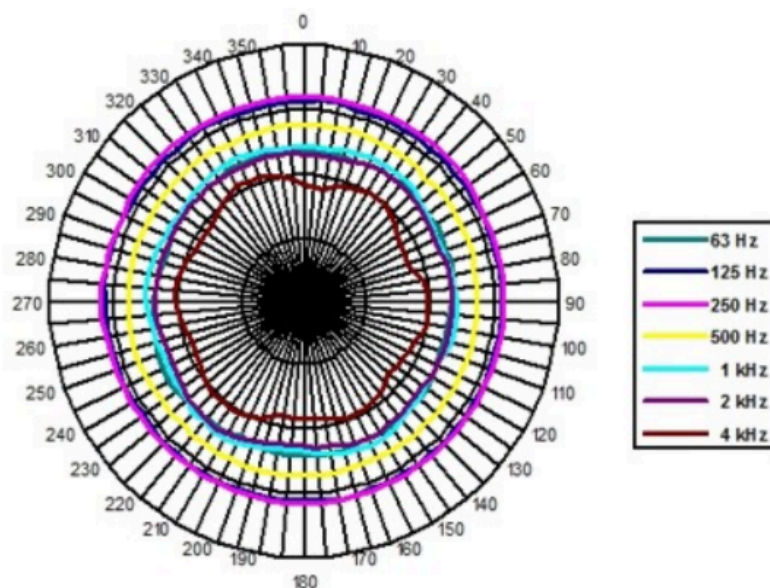


Figura 25. Patrón de radiación de la fuente omnidireccional.

Tomado de CESVA, s.f.

2.3.3 Máquina de impactos

Máquina que permite la medición de ruido a impactos de suelos por medio de la generación de ruido de impacto, la cual consta de 5 martillos alineados de 500 gr cada uno y caen libremente a una distancia de 40 mm del suelo en un tiempo medio de 100 ms entre impactos.



Figura 26. Máquina de impactos.

Tomado de CESVA, s.f.

La máquina de impactos está apoyada en 3 pies de goma que permite que esté aislada de las vibraciones existentes como se muestra en la figura 2.27.



Figura 27. Componentes de la máquina de impactos
Tomado de CESVA, s.f.

Esta maquinaria está estandarizada y diseñada para el cumplimiento de las normas ISO 16283-2, ISO 140-5 e ISO 140-7.

2.3.4 Protectores auditivos

Herramienta de trabajo que permite la protección del aparato auditivo frente a altos niveles de exposición de ruido.



Figura 28. Protectores auditivos tipo orejera marca Truper.
Tomado de TRUPER, 2017.

Es uno de los instrumentos más importantes ya que con ellos se puede evitar molestias auditivas y enfermedades del sistema auditivo y acúfenos.

Vienen en distintas formas y tamaños que se ajustan a la necesidad del usuario, sus presentaciones son en in ears, insertos, semi-insertos, tapones de banda, de goma o de espuma, y tipo orejeras.

Existen varios tipos y modelos según el nivel de exposición:

Para niveles menores a 85 dB(A): Son aquellos en los que no es obligatorio usar protección auditiva, pero se pone a disposición para comodidad y protección. Son de tipo inserto.



Figura 29. Protectores auditivos sistema Optime Alert Verde.

Tomado de 3M, 2017.



Figura 30. Protectores auditivos tipo inserto.

Tomado de TRUPER, 2017.

Para niveles entre 83dB(A) – 93dB(A): Son aquellos en los que los valores de exposición a ruido se encuentran sobre el nivel permitido y su uso es obligatorio.



Figura 31. Protectores auditivos sistema Optime Alert Amarillo.

Tomado de 3M, s.f.

Para niveles entre 87dB(A) – 97dB(A): Son aquellos que se usan cuando se sobrepasan los valores de nivel de exposición al ruido y son de uso obligatorio. Son ideales para trabajar con ruido de alta frecuencia.



Figura 32. Protectores auditivos sistema Optime Alert Rojo.

Tomado de 3M, s.f.

Para niveles entre 95dB(A) – 110dB(A): son para trabajo con valores de exposición mayores a los permitidos y su uso es obligatorio y son idóneos para protección frente a todas las frecuencias.



Figura 33. Protectores auditivos sistema Optime Alert Verde.

Tomado de 3M, s.f.

2.3.5 Calibrador de sonómetro

Los instrumentos de medición acústica necesitan ser calibrados cada cierto tiempo ya que la sensibilidad de los micrófonos varía con el tiempo ya que se producen fluctuaciones en la cara de las placas, o cual modifica dicha sensibilidad.

El proceso de calibración de un instrumento consiste en ajustar ligeramente la ganancia del amplificador de entrada para que de esta forma se compensen las variaciones de sensibilidad.

En los sonómetros clase 1, la teoría de operación de un calibrador es generar una onda sinusoidal de 94 dB o 114 dB a 1kHz, así el sonómetro levanta la señal y la muestra en dB.

El medidor de nivel de sonido se ajusta en caso de ser necesario para equiparar la señal de salida del calibrador lo mas posible.



Figura 34. Calibrador clase 1 Cesva
Tomado de CESVA, s.f.

3. Capítulo III: Caso de estudio “Edificio Goya”

3.1 Descripción general

“Goya” es un edificio residencial de la ciudad de Quito que se encuentra ubicado en la Avenida Eloy Alfaro y Portugal, el cual fue construido por la constructora Rosero y Asociados. El inicio de la obra fue en enero del 2015 y la entrega de la obra terminada fue en enero del 2017.

El nombre del edificio se debe al artista español Francisco de Goya, el cual abarca la pintura, el grabado y el dibujo en sus obras. Esto fue lo que se quiso plasmar en esta edificación y sus acabados, su arte románticista.



Figura 35. Ubicación edificio Goya.

Tomado de Google Maps, 2018.



Figura 36. Edificio residencial Goya.

Tomado de Rosero y Asociados, s.f.

El edificio de 11 pisos cuenta con 49 departamentos, 29 de 1 habitación y 20 de 2 habitaciones. Existen 5 departamentos “tipo” que se detallan a continuación:

Departamento tipo 1: hay un total de 10 departamentos de este tipo en el edificio, este tipo de departamento es de 2 dormitorios y tiene un área de $69,87 m^2$.



Figura 37. Departamento tipo 1
Tomado de Rosero y Asociados, s.f.

Departamento tipo 2: hay un total de 9 departamentos de este tipo, todos los departamentos tipo 2 son suites (1 habitación) y cuentan con balcón con vista a la Avenida Eloy Alfaro. Tienen un área de $48,09 m^2$.



Figura 38. Departamento tipo 1
Tomado de Rosero y Asociados, s.f.

Departamento tipo 3: existen 10 departamentos tipo 3 en el edificio, son de 1 habitación y no cuentan con balcón a pesar de estar ubicados frente a la Avenida Eloy Alfaro. Su área es de 49,15 m².

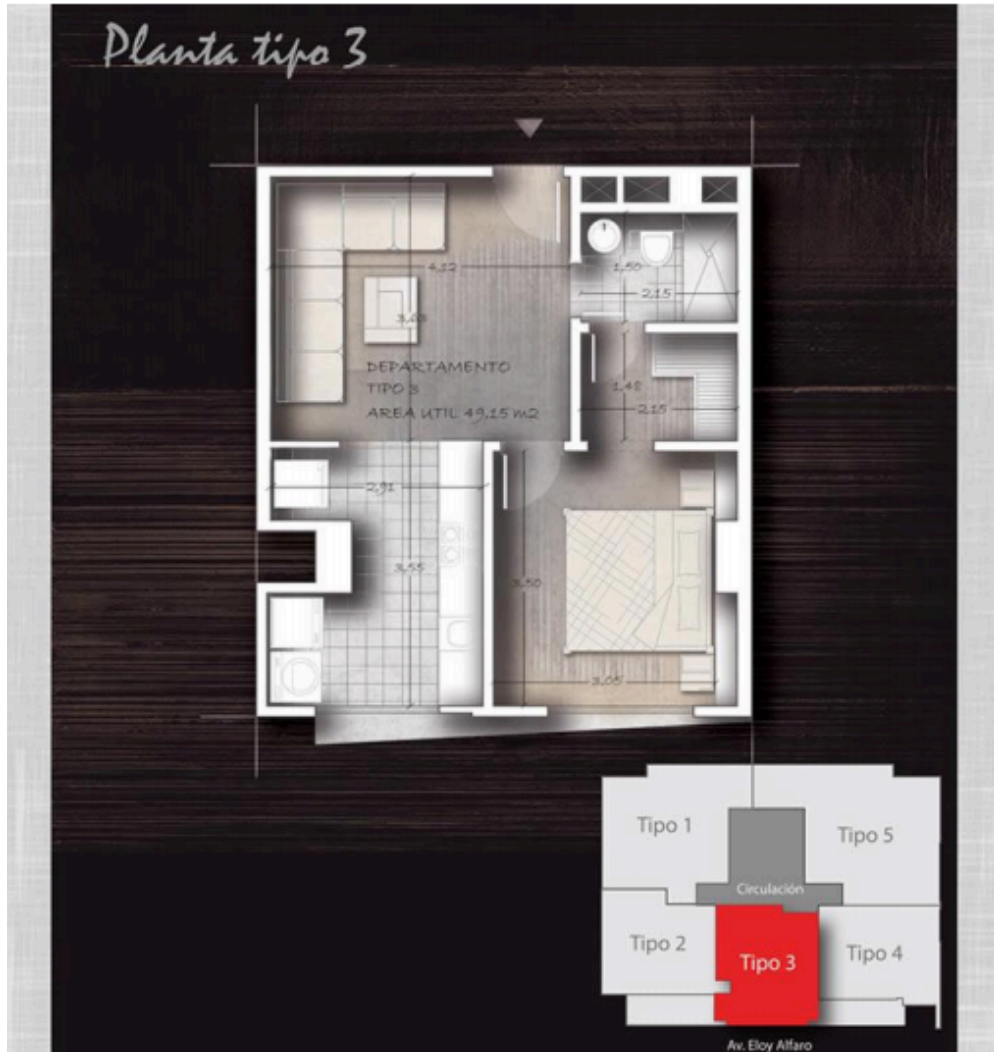


Figura 39. Departamento tipo 3

Tomado de Rosero y Asociados, s.f.

Departamento tipo 4: hay un total de 10 departamentos de este tipo, son departamentos de 1 dormitorio y tienen balcón con vista a la Avenida Eloy Alfaro. El área de este tipo de departamentos es de 55,04 m^2 .



Figura 40. Departamento tipo 4
Tomado de Rosero y Asociados, s.f.

Departamento tipo 5: existen 10 departamentos tipo 5 dentro del edificio, son los más grandes con un área de 83,97 m². Este tipo de departamentos son de 2 dormitorios.



Figura 41. Departamento tipo 5

Tomado de Rosero y Asociados, s.f.

A más de los 49 departamentos que posee el edificio Goya, cuenta con 52 parqueaderos privados y 6 parqueaderos para visitas. Cuenta también con 2 locales comerciales ubicados en la planta baja.

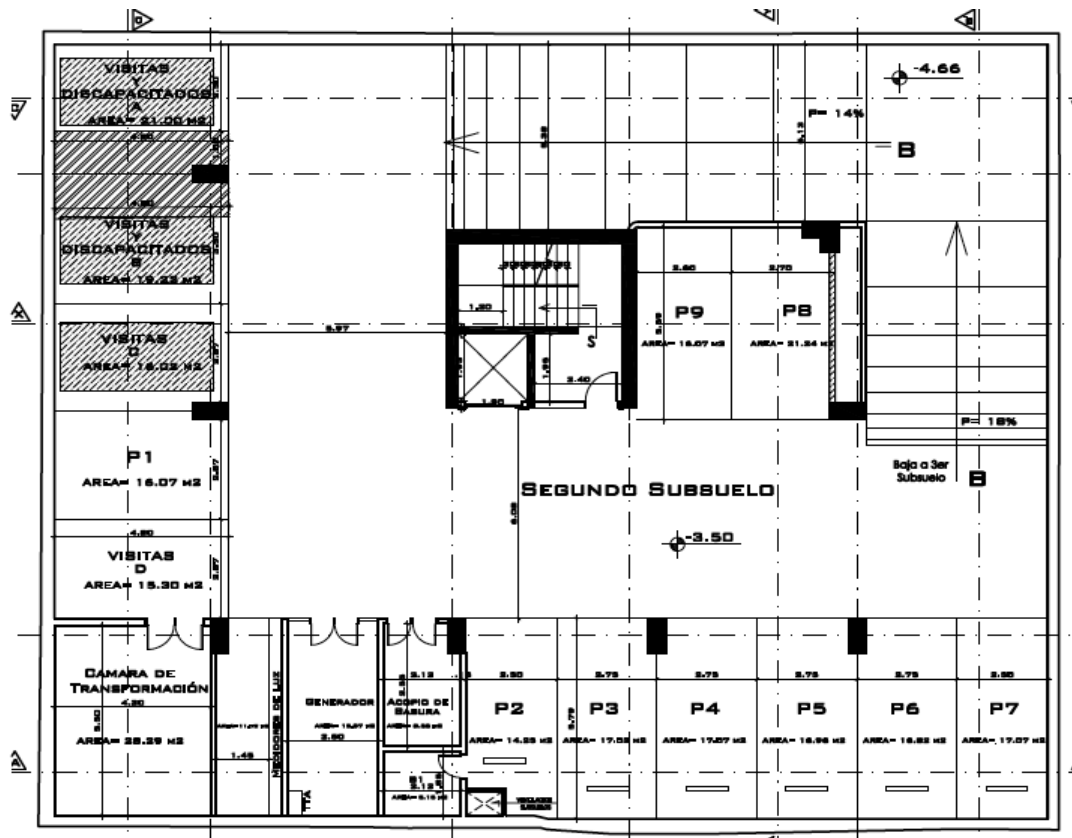


Figura 42. Planta subsuelo parqueaderos

Tomado de Rosero y Asociados, s.f.

Por su moderna estructura, el edificio Goya cuenta con distintas áreas recreacionales o amenities. Entre ellas se pueden encontrar un lounge bar que se encuentra en el primer piso junto a una sala de juegos que posee una cocina al aire libre, un gimnasio totalmente equipado y una sala de eventos ubicados en la planta baja, un hidromasaje con vista panorámica y un área BBQ ubicados en la terraza del edificio.

A continuación, en la figura 43 se muestra un plano del piso 1, el cual es distinto a la planta tipo, ya que en este piso se encuentra el área de juegos y de recreación al igual que la cocina al aire libre y el lounge bar.

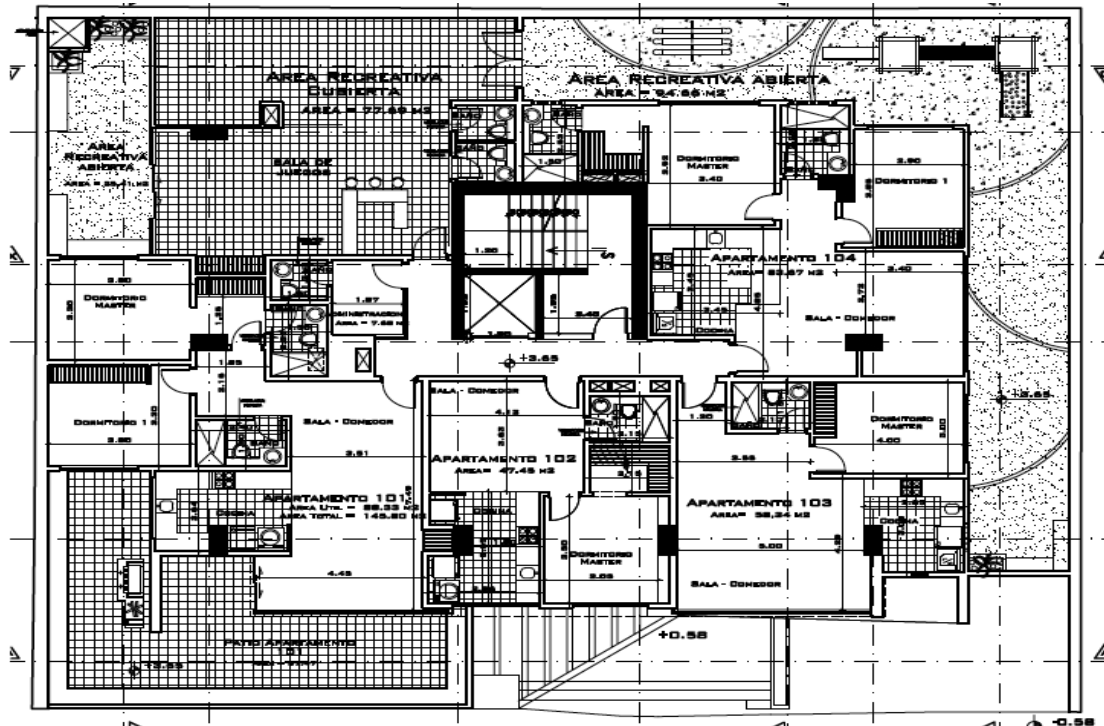


Figura 43. Planos planta piso 1

Tomado de Rosero y Asociados, s.f.

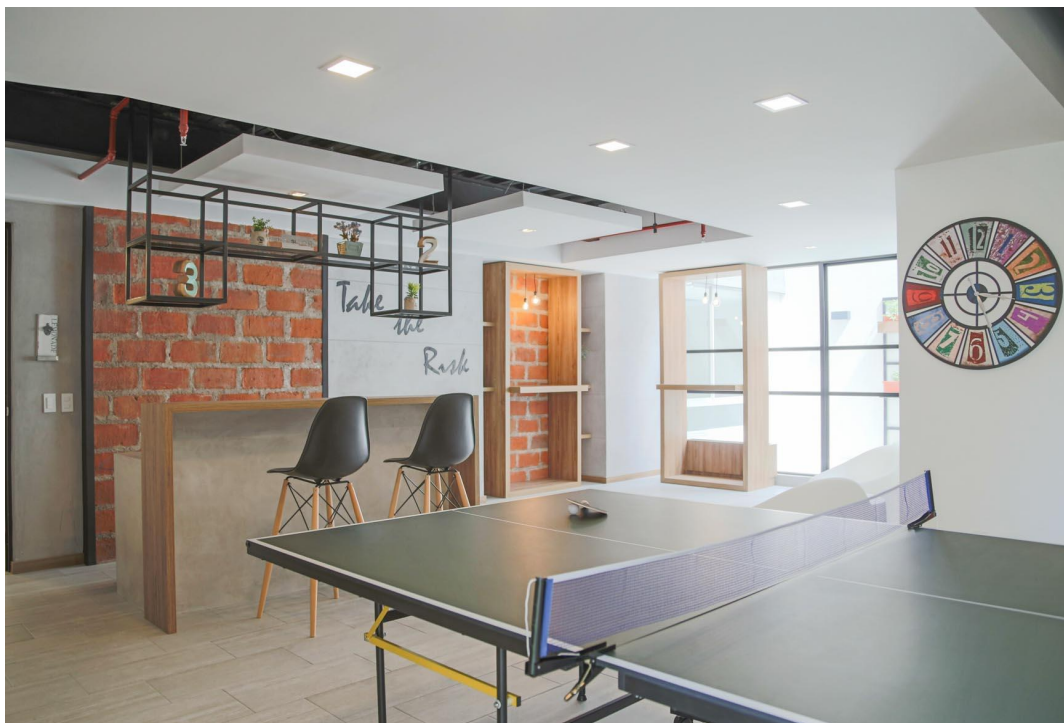


Figura 44. Sala de juegos y recreación

Tomado de Rosero y Asociados, s.f.

La figura 44 muestra la sala de juegos y área recreacional del edificio, la cual es bastante amplia y está limitada por 3 paredes de concreto, de las cuales 2 de ellas tienen ventanales y puertas corredizas como parte de la pared, y 2 de ellas son de ladrillo con una puerta de vidrio como entrada al recinto.

3.2 Materiales

En esta sección se detallarán los materiales de obra civil que se usaron para llevar a acabo la construcción del edificio Goya.

Techos: la cubierta del edificio son losas livianas de deck y la losa tiene un espesor de 12 cm, con vigas descolgadas de hormigón armado y terrazas inaccesibles del mismo material. A estas lozas se le colocó una impermeabilización asfáltica y un recubrimiento de gres a la superficie al igual que a las terrazas inaccesibles con la diferencia de que a éstas se les agregó porcelanato de alto tránsito en la superficie.

Pisos: los pisos de las áreas comunales son de porcelanato al igual que los pisos de los departamentos (baños, cocinas y áreas húmedas).

El piso de las áreas sociales y de los dormitorios es de piso laminado de 12mm.

En todos los entre pisos se hace un corte hecho de, superficie del porcelanato o piso laminado, luego una losa de 12 cm, luego va una capa de deck de calibre 76, luego una cámara de aire de 40 cm seguido de cartón, yeso o gypsum y por último el estuco y la pintura.

Únicamente el último piso de departamentos posee lana de vidrio en la cámara de aire.

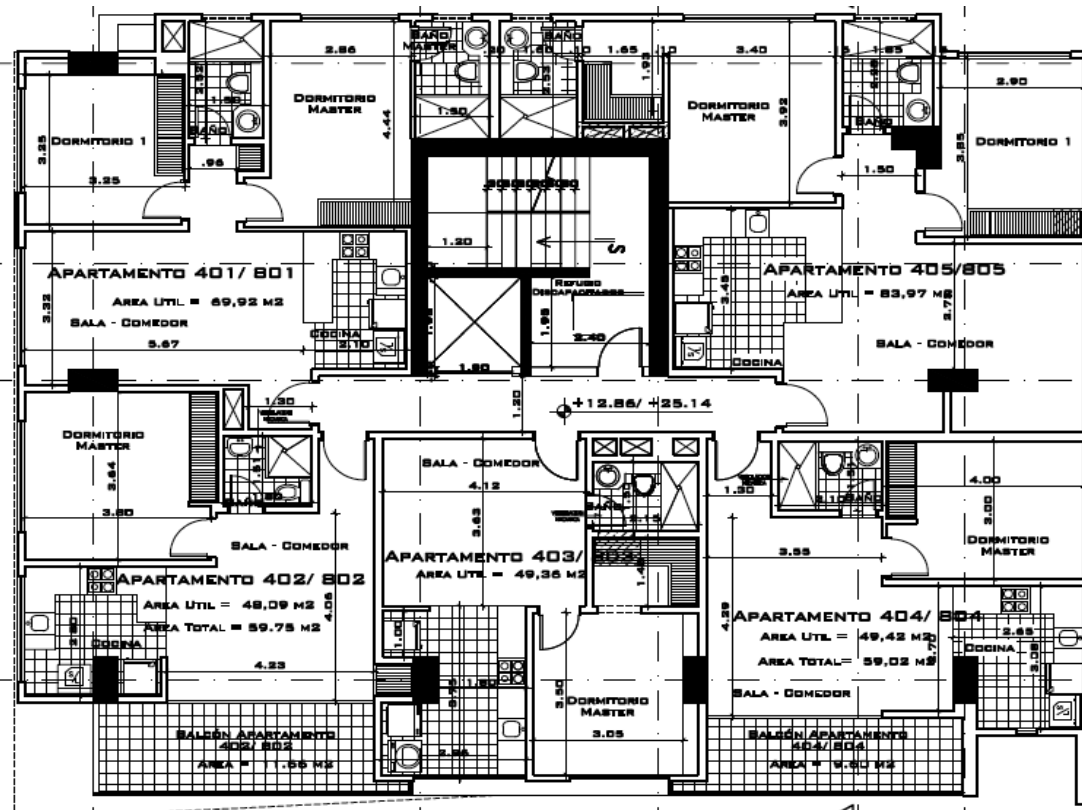


Figura 45. Planta tipo

Tomado de rosero y Asociados, s.f.

La figura 45 muestra la planta tipo por piso del edificio, a la cual se hace referencia de forma general para la descripción de los materiales usados en la construcción.

Paredes: Las particiones internas son paredes de mampostería de bloque enlucido con puertas de Hdf aglomerado laminadas, el cual es un tipo de tabla de fibra de madera. La dimensión de las paredes depende de la división, entre departamentos es de 20 cm, las exteriores son de 15 cm y las internas son de 15 cm.

Ventanas: tienen perfilería de aluminio y vidrio de 8 mm. En la fachada principal y habitaciones norte y sur, se usó perfilería rellena, vidrio laminado y vidrio con control de sonido.

El vidrio con sistema de control de sonido puede atenuar efectivamente el ruido en un máximo de 52 dB aumentando el espesor del vidrio y usando una interlámina especial de control acústico.

Este vidrio está procesado con una laminería especial de control acústico de 0,76 mm de espesor, reduce la transmisión de sonido en los espacios acristalados al menos 3dB de diferencia que con un PVB normal, mejorando el confort acústico del recinto.



Figura 46. Departamento modelo

Tomado de Rosero y Asociados, s.f.

La figura 46 muestra un departamento modelo, el cual es muy similar a los departamentos que se usaron como recintos emisores y receptores para las mediciones de ruido aéreo e impacto. En la figura se puede observar las particiones interiores, las ventanas y el piso de un departamento tipo 5.

La fachada del edificio es de mampostería de bloque y algunas zonas tienen recubrimiento de pintura exterior de rulato, también conocido como revestimiento acrílico, otras zonas de la fachada son de porcelanato. La fachada principal del edificio posee vidrio en la puerta de entrada al mismo y en los 2 locales comerciales.

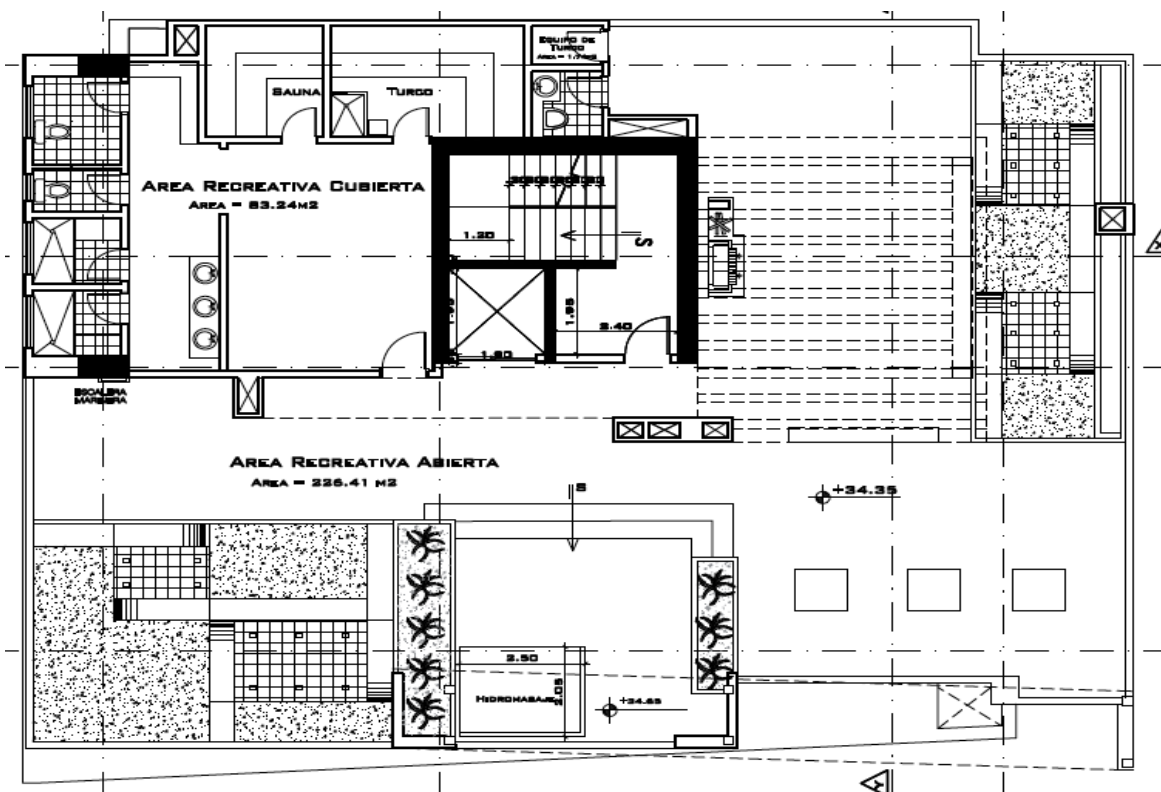


Figura 47. Planta terraza

Tomado de Rosero y Asociados, s.f.

3.3 Exposición al ruido

El ruido es a menudo una de las externalidades ambientales generada por el desarrollo y crecimiento de ciudades debido al aumento de tráfico vehicular y de otras fuentes fijas de ruido (Long, 2006).

La transmisión de ruido de tráfico de un punto a otro se discute en términos de un modelo fuente – propagación - receptor, donde la fuente es descrita por el nivel de presión sonora y su directividad, el medio de propagación es caracterizado por varios mecanismos de atenuación como la distancia o la

presencia de barreras, y el receptor es el punto donde el nivel de transmisión es calculado o medido.

Cuando el punto de medición está cerca a la fuente, los mecanismos de atenuación a parte de la distancia y la directividad, tienen un efecto menos impactante en el nivel recibido. Mientras la distancia de fuente receptor aumenta, hay muchas mas variables de atenuación que entran en juego, ya que a grandes distancias existen consideraciones ambientales de primordial importancia como pérdida por atenuación del aire y del suelo, dirección y velocidad del viento (Long, 2006).

Los efectos de la exposición al ruido han sido estudiados ampliamente, considerándolo como un estresor biológico y como un riesgo potencial de la salud pública (Hays et al., 2017). En Europa, se estima que 1 de 4 personas están expuestas a niveles de ruido que superan los 55 dBA durante un día normal, por lo que una herramienta útil para la evaluación de dicha contaminación acústica y de gestión de ruido son los mapas estratégicos de ruido, ya que son una representación gráfica del problema en cuestión que permite saber a áreas con mayor saturación de ruido y permite estimar la población expuesta al mismo proponiendo medidas de gestión contra el ruido (Debnat y Kumar, 2018; Vogiatzis y Remi, 2014).

En Ecuador, se revisó el Texto Unificado de Legislación Secundaria Medioambiental (TULSMA) en el 2015. En el anexo 5 (el cual se regula los niveles máximos de NPS de emisión de ruido para fuentes fijas y móviles) se incorporó un apartado sobre mapas de ruido, el cual establece que, en un plazo de 4 años, los ayuntamientos de ciudades con una población superior a 250 mil habitantes presenten mapas de ruido de tráfico a la autoridad nacional competente (MAE, 2015).

Por este motivo, se vio la necesidad de crear mapas de ruido de la ciudad de Quito, ya que el Distrito Metropolitano de Quito se divide en 32 parroquias

urbanas y 33 rurales, donde la población urbana estimada en 2017 es de 1,7 millones de habitantes mientras que su mancha urbana es de aproximadamente 275 km^2 . El número de vehículos que se registran en la ciudad superan los 450 mil y la tasa de crecimiento anual promedio entre 2010 y 2016 fue del 4%.

De esta forma el mapa de ruido de la ciudad de Quito, permite visualizar datos reales de ruido de tráfico que impactan en el medio ambiente y en la salud de los habitantes de zonas urbanas y rurales de la capital (INEC, 2017).

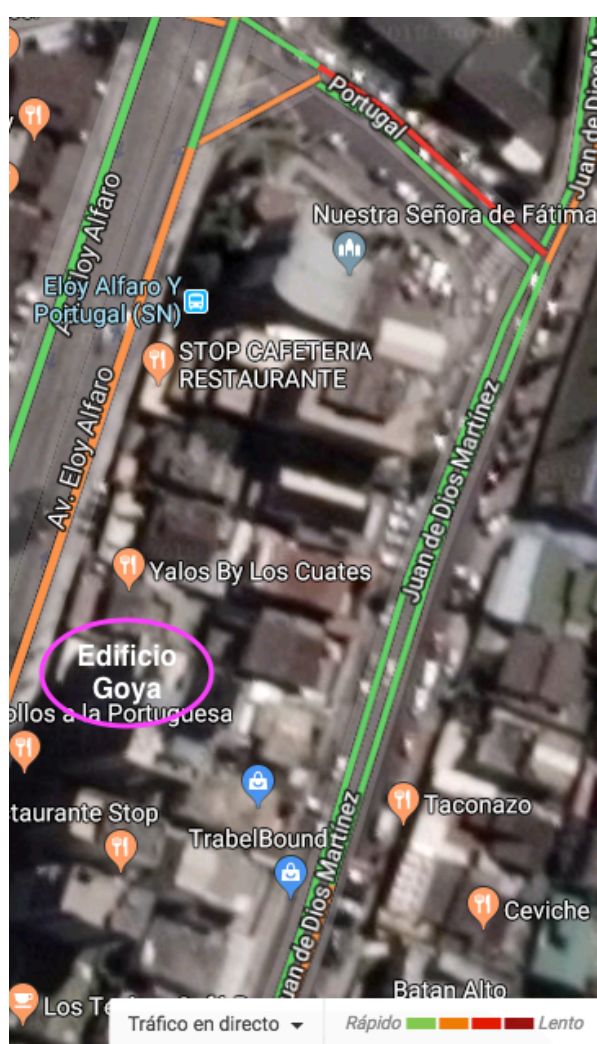


Figura 48. Mapa de flujo vehicular alrededor del Edificio Goya. Tomado de Google Maps, 2018.

3.3.1 Mapa de ruido

La emisión de ruido de tráfico de tráfico depende de algunos factores como el flujo vehicular promedio por hora, el porcentaje de vehículos pesados y livianos, la velocidad de circulación, el tipo de calzada, la pendiente de la vía, etc. Mientras que la propagación sonora depende de la distancia entre la fuente y el receptor, la absorción del aire y los obstáculos de propagación como las barreras acústicas, edificaciones y topografía del lugar.

Un mapa de ruido se realiza a través de un modelo predictivo de emisión y propagación de ruido de tráfico usando un sistema de información geográfica (SIG) con la información oficial y actualizada de la cartografía del terreno y de sus vías urbanas.

La información relacionada con el flujo y porcentaje vehicular pesada es obtenida a partir de conteos automáticos realizados por la Secretaría de Movilidad del Municipio de Quito entre 2010 y 2016 en 523 calles durante una semana. Luego se procedió a clasificar las vías de la ciudad y a asignar un valor medio correspondiente al tipo de vía que se obtuvo en los conteos automáticos (Bravo, 2017).

Para las vías en las que no se pudo obtener la información de forma automática, se realizó un conteo manual durante 20 minutos en períodos de mayor circulación vehicular.

La siguiente tabla muestra la clasificación y características de las vías de Quito:

Tabla 3.

Clasificación de las vías de la ciudad de Quito

Vía	Líneas	Circulación diurna (veh/h)	% pesados (diurno)	Circulación nocturna (veh/h)	% pesados (nocturno)

Expresa	3	1300	15	350	8
Semi-expresa	3	1150	8	300	5
Arterial	2-3	1000	5	275	1,5
Colectora	2	900	5	200	1
Secundaria	2	600	5	130	1
Local (alta demanda)	1-2	300	3	70	1
Local (media demanda)	1-2	150	1	35	0
Local (baja demanda)	1-2	50	1	20	0
Servicio*	1-2	20	1	10	0

Tomado de Municipio de Quito, 2018.

El tipo de calzada usado en el modelo fue concreto, asfalto de baja absorción sonora, y adoquines en función del tipo de vía y de las observaciones in situ o por medio de la herramienta Google Street View.

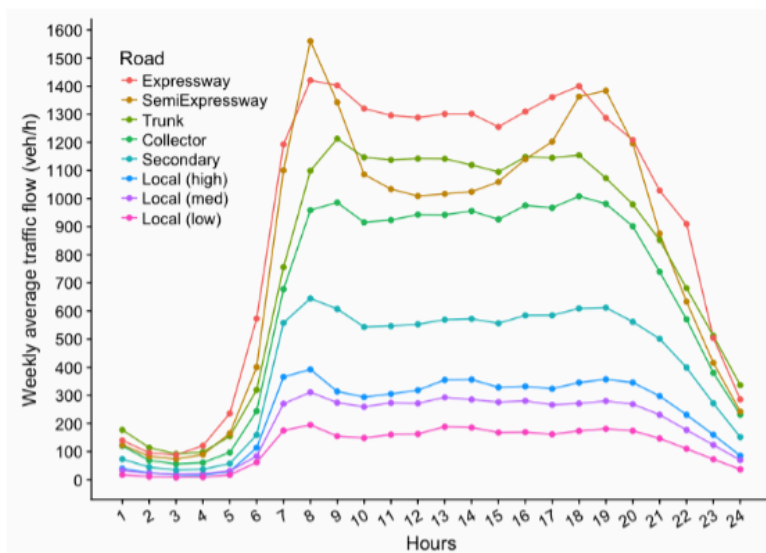


Figura 49. Variación de flujo vehicular por hora.

Tomado de Municipio de Quito, 2017.

La figura 49 muestra la variación diaria del flujo vehicular para cada tipo de vía según los conteos automáticos realizados.

El mapa de ruido se obtiene calculando los niveles sonoros en puntos específicos de recepción por medio de un proceso de interpolación espacial. Los descriptores obtenidos son el nivel sonoro diurno L_d (6am – 9pm) y el nivel sonoro nocturno L_n (9pm – 6 am).

De esta forma se puede obtener la representación cartográfica de los niveles de presión sonora en zonas concretas a una hora determinada.

Como se puede observar en la figura 50, el edificio Goya, se encuentra ubicado en una zona de alta afluencia vehicular, ya que se encuentra en la Avenida Eloy Alfaro, siendo una de las avenidas arteriales principales de la ciudad de Quito.

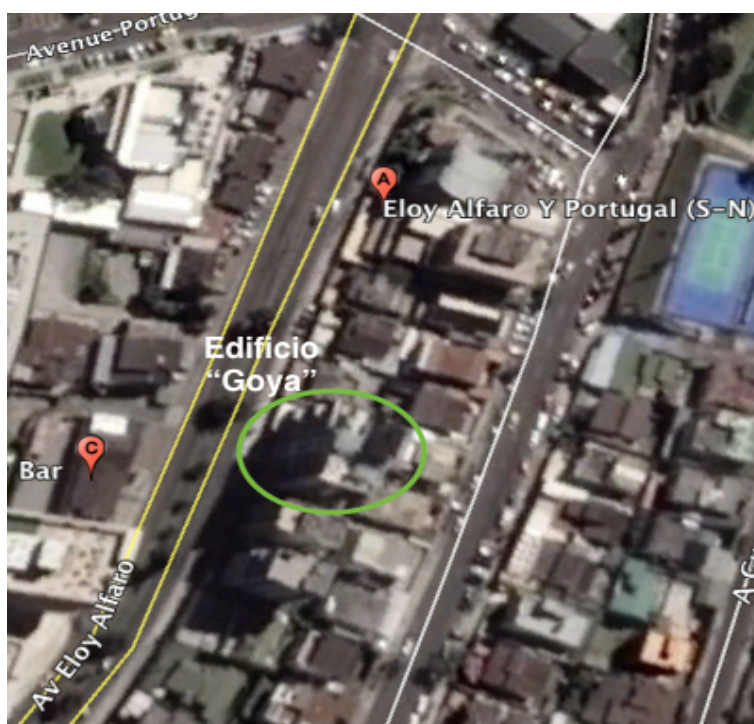


Figura 50. Vista aérea del edificio Goya.

Tomado de Google Earth Pro, 2018

La siguiente figura muestra el mapa de ruido del sector del edificio Goya en horario diurno.



Figura 51. Mapa de ruido del sector del Edificio Goya en horario diurno.

Donde:

Nivel Sonoro Diurno dB(A)

	> -99.0 dB
	> 35.0 dB
	> 40.0 dB
	> 45.0 dB
	> 50.0 dB
	> 55.0 dB
	> 60.0 dB
	> 65.0 dB
	> 70.0 dB
	> 75.0 dB
	> 80.0 dB
	> 85.0 dB

La figura 52 muestra el mapa de ruido del sector del edificio Goya en horario nocturno.



Figura 52. Mapa de ruido del sector del Edificio Goya en horario nocturno.

4. Capítulo IV: Metodología

El método a utilizar en el proyecto propuesto es exploratorio, ya que se va a medir los parámetros de aislamiento de los materiales con los que ya que está construido el edificio y en base a los resultados obtenidos se procederá analizarlos y a plantear conclusiones.

La metodología exploratoria se aplicará en un edificio de la ciudad de Quito, el cual servirá para llevar a cabo el estudio donde se llevarán a cabo procesos de mediciones de aislamiento acústico de ruido aéreo conforme a la normativa 16283 parte 1, UNE EN ISO 16283 parte 2 y la UNE EN ISO 16283 parte 3.

4.1 Descripción de muestras

4.1.1 Ruido Aéreo

La siguiente tabla muestra los recintos entre los cuales se realizaron las mediciones para cada ensayo.

Tabla 4.

Muestras de ruido aéreo.

	Recinto Emisor	Recinto receptor
Ensayo1	Departamento 204	Departamento 205
Ensayo2	Gimnasio	Sala comunal
Ensayo3	Sala de ventas	Gimnasio
Ensayo4	Área recreativa	Sala de administración

Ensayo 1

El siguiente ensayo se llevó a cabo entre 2 recintos colindantes del primer piso, siendo estos el departamento 103 y el departamento 104, separados por una pared de concreto de aproximadamente 20 cm de espesor y con un área de 8 m^2 .

Recinto emisor: Departamento 204, tiene un volumen de 31,5 m^3 , su piso es laminado, sus paredes de mampostería de bloque enlucido y su techo de gypsum.

Recinto receptor: Departamento 205, tiene un volumen de 25 m^3 , su piso es laminado, sus paredes de mampostería y su techo es de gypsum, una de sus paredes posee un ventanal que da a la avenida Eloy Alfaro.

Ensayo 2

Este ensayo se llevó a cabo entre dos recintos colindantes: la sala comunal y el gimnasio del edificio, los cuales están separados por una pared de 20 cm y un área de $10,76 m^2$.

Recinto emisor: Gimnasio, con un volumen de $116,12 m^3$, limitado por un piso de piso laminado, 3 paredes de las cuales 1 está cubierta de espejo, 1 posee una puerta de vidrio y otra posee 2 puertas de madera, su techo es de gypsum.

Recinto receptor: Sala comunal, posee un piso de porcelanato y está limitado por 4 paredes, una de las cuales es un ventanal que da a la entrada del parqueadero, y otra posee una puerta de vidrio, una de estas paredes posee 2 puertas de madera correspondientes a los baños del local.

Ensayo 3

Dicho ensayo se llevó a cabo entre 2 recintos colindantes del edificio: la sala de ventas o local comercial y el gimnasio. Los cuales tienen en común una pared divisoria de 20 cm de espesor y un área de $15,24 m^2$.

Recinto emisor: sala de ventas, posee un volumen de $167,64 m^3$, una de sus paredes posee 4 puertas correspondientes a baños y cuartos de limpieza, otra de sus paredes posee una puerta de vidrio y otra de sus paredes es un ventanal que da a la Avenida Eloy Alfaro. Su piso laminado y su techo es de gypsum.

Recinto receptor: Gimnasio, con un volumen de $116,12 m^3$, limitado por un piso laminado, 3 paredes de las cuales 1 está cubierta de espejo, 1 posee una puerta de vidrio y otra posee 2 puertas de madera, su techo es de gypsum.

Ensayo 4.

El siguiente ensayo tiene como escenario 2 recintos colindantes del edificio, siendo estos el área recreativa y la sala administrativa del mismo. Ambos están

separados por una pared de 20 cm de espesor y posee un área de $6m^2$. Es una pared de cemento.

Recinto emisor: sala de juegos o área recreativa. Es un área cubierta con un volumen de $150 m^3$, sus paredes son de mampostería de bloque enlucido, 3 de ellas poseen ventanales y puertas de vidrio corredizas, su piso es piso laminado y su techo es de gypsum.

Recinto receptor: sala de administración, tiene un volumen de $26 m^3$, 3 de sus 4 paredes son únicamente cemento y una de ellas posee una puerta de vidrio. Su piso es de porcelanato y su techo es de gypsum.

4.1.2 Ruido de Impacto

Tabla 5.

Muestras de ruido de impactos.

	Recinto emisor	Recinto receptor
Ensayo1	Departamento 901	Departamento 801
Ensayo2	Departamento 701	Departamento 801
Ensayo3	Departamento 204	Departamento 205
Ensayo4	Departamento 303	Departamento 304
Ensayo5	Pasillo piso 6	Pasillo piso 5

La tabla 5 muestra los recintos entre los cuales se llevaron a cabo las mediciones de ruido de impacto.

Ensayo 1

El siguiente ensayo tiene como escenario 2 recintos superpuestos del edificio, el departamento 901 y el departamento 801, el sector de los departamentos que se eligió fue el dormitorio máster de cada uno de ellos respectivamente, separados por una losa.

Recinto emisor: dormitorio máster del departamento 901, recinto de 28 m^3 , limitado por 3 paredes de mampostería de bloque enlucido y una cuarta pared tipo ventanal, tiene techo de gypsum y piso laminado.

Recinto receptor: dormitorio máster del departamento 801, recinto de 28 m^3 , limitado por 3 paredes y una cuarta pared tipo ventanal, tiene techo de gypsum y piso laminado.

Ensayo 2

El siguiente ensayo tiene como escenario 2 recintos superpuestos del edificio, el departamento 801 y el departamento 701, el sector de los departamentos que se eligió fue el dormitorio máster de cada uno de ellos respectivamente, separados por un piso laminado. La diferencia de este ensayo es que fue realizado de forma inversa al ensayo anterior, es decir, el recinto emisor fue el que se encuentra abajo (701) y el receptor fue el de arriba (801).

Recinto emisor: dormitorio máster del departamento 701, recinto de 28 m^3 , limitado por 3 paredes y una cuarta pared tipo ventanal, tiene techo de gypsum y piso laminado.

Recinto receptor: dormitorio máster del departamento 801, recinto de 28 m^3 , limitado por 3 paredes y una cuarta pared tipo ventanal, tiene techo de gypsum y piso laminado.

Ensayo 3

El siguiente ensayo tiene como escenario el departamento 204 y el departamento 205, ambos ubicados en el mismo piso, de forma colindante para un ensayo tipo junto-junto. Ambas están separadas por una pared de 10 m^2 y 20 cm de espesor. Estos recintos colindan de forma sala-dormitorio.

Recinto emisor: departamento 205, sala, con un volumen de 30 m^3 y limitado por una pared con ventanal, 2 paredes de mampostería de bloque enlucido y la cocina, limitada por un techo de gypsum y un piso laminado.

Recinto receptor: departamento 204, dormitorio máster, con un volumen de 25 m^3 y limitado por 3 paredes de mampostería de bloque enlucido, una pared con ventanal, un techo de gypsum y un piso laminado.

Ensayo 4

El siguiente ensayo tiene como escenario los departamentos 303 y 304, ubicados en el tercer piso del edificio, colindantes, separados por una pared de concreto de 30 cm de espesor que posee un área de 11 m^2 . El escenario de cada uno de los departamentos serán las salas, las cuales se encuentran junto-junto una con otra y ambas da a la avenida Eloy Alfaro, ambas poseen balcón y ventanal.

Recinto emisor: departamento 303, sala, 33 m^3 de volumen, limitado por 2 paredes de mampostería de bloque enlucido, una pared que posee un ventanal y una puerta corrediza de vidrio que da a la Avenida principal, un techo de gypsum y piso laminado.

Recinto receptor: departamento 304, sala, 33 m^3 de volumen, limitado por 2 paredes de mampostería, una pared que posee un ventanal y una puerta corrediza de vidrio que da a la Avenida principal, un techo de gypsum y piso laminado.

Ensayo 5

El siguiente y último ensayo correspondiente a ruido de impacto, posee como escenario los pasillos principales del piso 5 y 6, ambos exactamente iguales, separados por un piso de porcelanato y limitados por 4 paredes con 4 puertas de hdf aglomerado, y una pared con una puerta de ascensor y una puerta de metal que da a las gradas. El techo es raso, no de gypsum y las paredes son de mampostería.

Recinto emisor: pasillo piso 6

Recinto receptor: pasillo piso 5

4.2.3 Ruido de fachada

La siguiente tabla muestra los recintos entre los cuales se llevaron acabo los ensayos de ruido de fachada.

Tabla 6.

Muestras de ruido de fachada.

	Recinto Emisor	Recinto Receptor
Ensayo2	Balcón	Departamento 101
Ensayo3	Área BBQ	Departamento 101
Ensayo4	Área social	Sala de juegos

Ensayo 1

El siguiente ensayo correspondiente a ruido de fachada, tiene como escenario el departamento 101, su sala, y el balcón de este que da a la avenida Eloy Alfaro, donde se ubicó el altavoz emisor.

Recinto emisor: balcón del departamento 101, su piso es de porcelanato y colinda con la fachada de vidrio del recinto receptor.

Recinto receptor: departamento 101, sala. Volumen del $40 m^3$. Dicha sala está limitada por un ventanal de vidrio y puerta de vidrio y 2 paredes. Su suelo es piso flotante y su techo es de gypsum. La fachada de este escenario, como se mencionó previamente, es de vidrio.

Ensayo 2

El siguiente ensayo tiene como escenario el dormitorio máster del departamento 101, el cual posee 3 paredes de concreto y una fachada de vidrio que colinda con el área bbq del área de juegos.

Recinto emisor: área bbq, perteneciente al área de juegos, posee un piso de cerámica, no tiene techo, tiene 2 paredes de concreto y una fachada de vidrio en común con el recinto receptor.

Recinto receptor: dormitorio máster del departamento 101, la habitación tiene un volumen de $26 m^3$, piso flotante, techo de gypsum, paredes de concreto y un ventanal en común con el área bbq.

Ensayo 3

El siguiente ensayo tiene como escenario el área de juegos y su fachada de vidrio que colinda con un área social de césped.

Recinto emisor: área social de césped, área descubierta.

Recinto receptor: sala de juegos, volumen de $150 m^3$, piso, paredes y techo de cemento.

4.2 Descripción del procedimiento

4.2.1 Procedimiento de medición: Ruido Aéreo

A continuación, se describen los pasos que se llevaron a cabo para realizar la medición in-situ de ruido aéreo.

1. Se procedió a hacer un reconocimiento de campo y se escogió 2 recintos (colindantes) de un piso. Se realizó el boceto de este y se realizó la caracterización de cada uno de los recintos, tomando en cuenta las puertas y ventanas y las dimensiones de estos.

2. Luego, se hizo el montaje de los equipos (los cuales fueron colocados respetando las distancias y posiciones mencionadas anteriormente en la descripción de la ISO 16283-1) en el recinto emisor, es decir, se colocó la fuente omnidireccional a 1m del piso en su trípode y se la conectó al generador de ruido. Acto seguido, se ubicó en la primera posición de fuente.

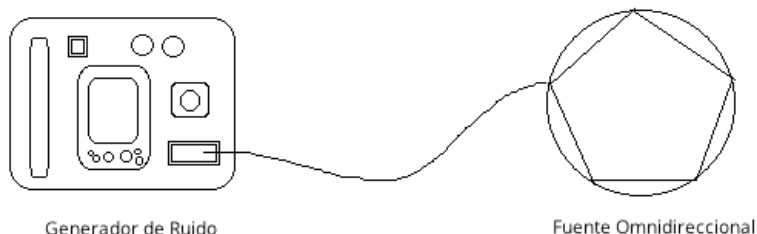


Figura 53. Conexión de amplificador a fuente omnidireccional

3. Después se procedió a marcar las 5 posiciones de micrófono para la primera posición de la fuente en el recinto emisor, respetando las distancias estipuladas en la normativa. Luego se marcaron las 5 posiciones de micrófono para la primera posición en el recinto receptor como se muestra a continuación:

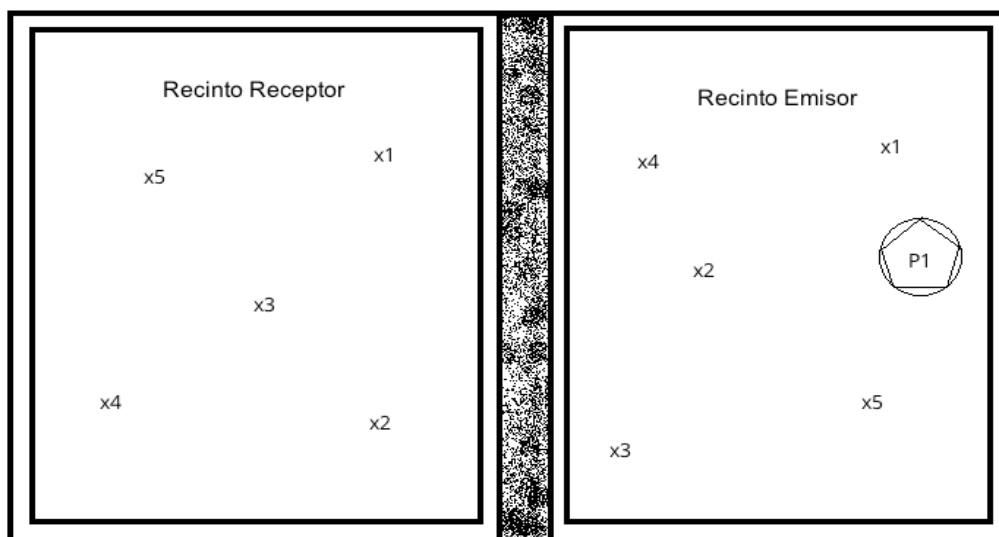


Figura 54. Posicionamiento de marcas de micrófonos en recinto receptor con fuente en posición 1.

5. Se procedió a verificar el sonómetro antes de proceder a la toma de niveles, verificando su valor cercano a 94 [dB] en 1k [Hz] con el calibrador clase 1 Cesva, procedimiento que deberá repetirse al terminar la medición del presente ensayo.

6. Después se montó el sonómetro a 1 metro del suelo en su trípode correspondiente con una inclinación mayor a 10 grados.

7. Se ubicó al sonómetro en la posición 1 del recinto emisor con la fuente en la posición 1 y se procedió a tomar niveles de presión sonora en cada punto de medición previamente marcado en orden, durante 15 segundos cada uno como se estipula en la normativa.

8. Una vez terminado el punto anterior, se procede al recinto receptor, en donde se tomaron los niveles de ruido de fondo en cada una de las 5 posiciones marcadas, se prosiguió con la toma de niveles de presión sonora para cada punto con la fuente omnidireccional encendida (en la posición 1 de fuente) por aproximadamente 10 segundos.

9. Luego de esto, se ubica a la fuente en una segunda posición y se procede a repetir el procedimiento anterior (el mismo llevado a cabo con la fuente en la

posición 1 tomado en cuenta las mismas consideraciones de posicionamiento de fuente, de micrófonos, y distancias entre los mismos.

Por último, se procedió a tomar el tiempo de reverberación aplicando el método de ruido interrumpido, realizando la medición de 2 caídas en cada uno de los 3 distintos puntos de medición.

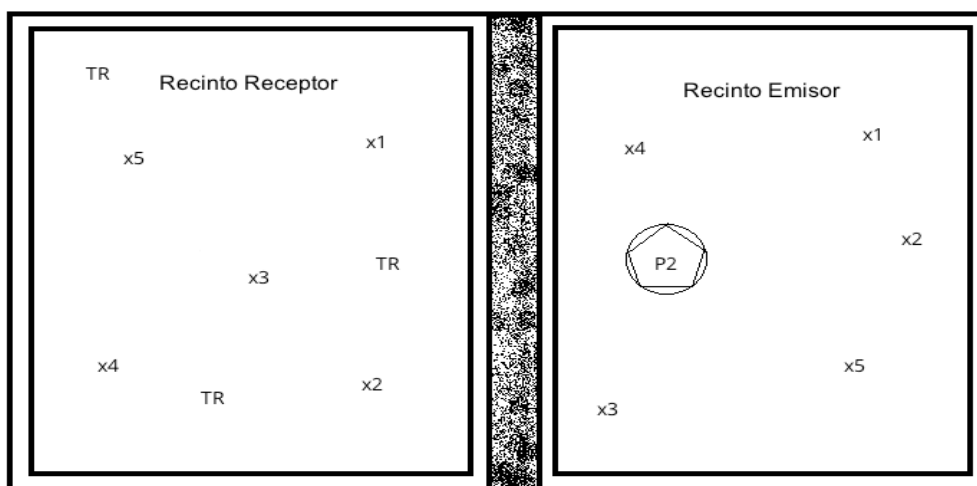


Figura 55. Posicionamiento de marcas para medición de tiempo de reverberación en recinto receptor

4.2.2 Procedimiento de medición: Ruido de Impacto

A continuación, se describirán los pasos que se llevaron a cabo para realizar las mediciones in-situ de ruido de impacto.

Se procedió a identificar los recintos ideales para la medición, para lo que se escogió 2 departamentos ubicados uno sobre el otro, siendo emisor el recinto superior y receptor el departamento inferior como se muestra en la gráfica a continuación.

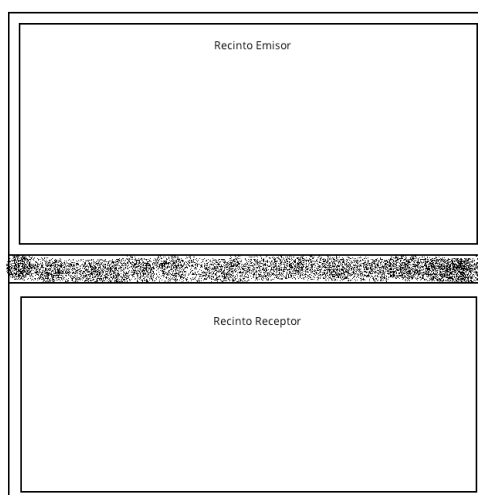


Figura 56. Departamentos en superposición.

2. Se procedió a conectar la máquina de impactos y luego a marcar 4 puntos de ubicación de la máquina en el recinto emisor de forma aleatoria y respetando la distancia mencionada anteriormente en la normativa ISO 16283-2.

3. Luego, se bajó al piso inferior para colocar las posiciones del micrófono de medición en el recinto receptor, las cuales van a ser correspondientes con las posiciones de la fuente ubicada en el recinto emisor.

4. Se procedió a verificar la calibración del sonómetro, la cual debe ser aproximada a 94 [dB] en 1k [Hz] y acto siguiente se posicionó el micrófono de medición en la posición 1 para realizar la medición de ruido de fondo, repitiendo este paso para cada una de las 4 posiciones incluyendo las 2 posiciones combinadas.

5. Después, se procedió a ubicar al micrófono de medición en la primera posición del recinto receptor, la cual va a coincidir con la posición de la fuente, de esta forma se realizaron 4 tomas de niveles correspondientes a cada posición y 2 tomas con una posición de fuente y distinta posición de micrófono. De esta forma se obtuvo 6 muestras con la fuente encendida durante aproximadamente 15 segundos en cada posición.

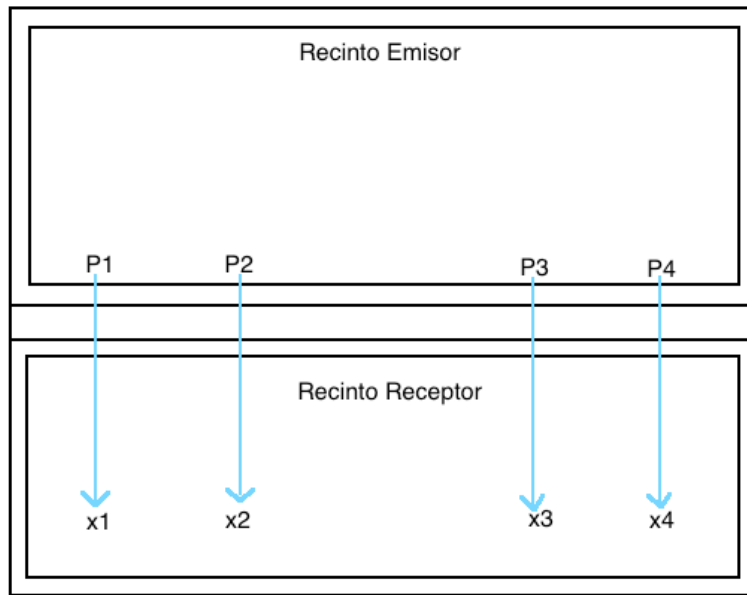


Figura 57. Toma de niveles con posiciones correspondientes (vista de corte)

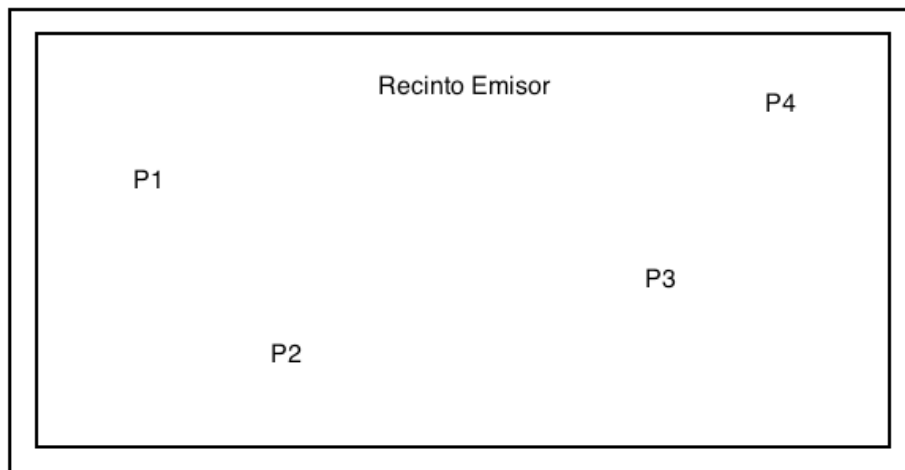


Figura 58. Recinto emisor (vista de planta)

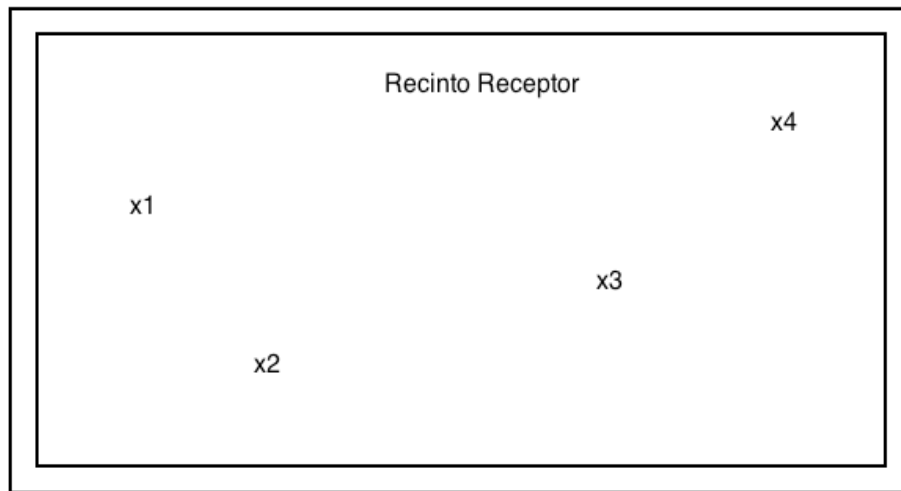


Figura 59. Recinto receptor (vista de planta)

6. Se procedió a marcar 3 posiciones para la toma de tiempo de reverberación y a tomar 2 muestras por posición.

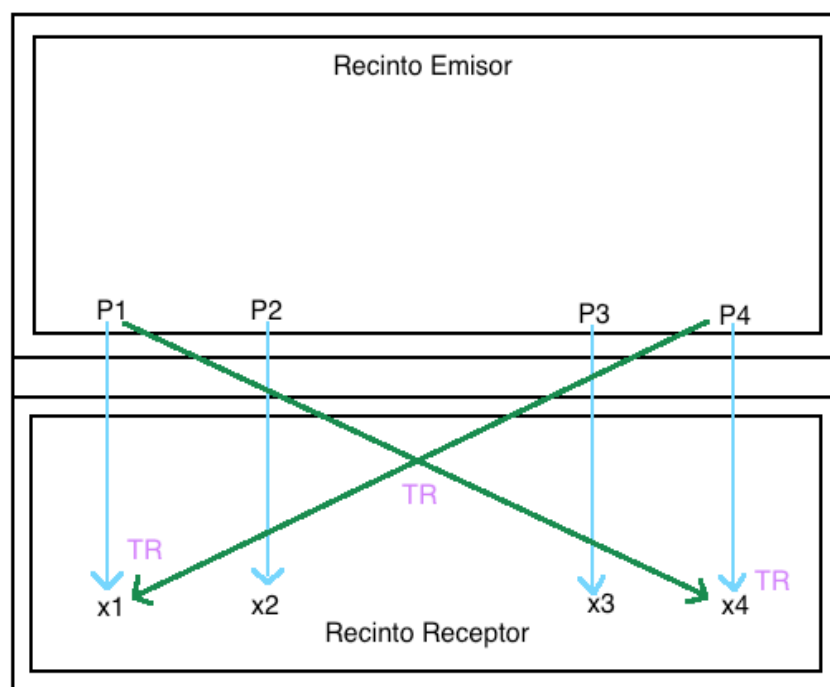


Figura 60. Esquema de medición in situ de ruido de impacto.

4.2.3 Procedimiento de medición: Ruido de Fachada

A continuación, se describen los pasos que se usaron para llevar a cabo los ensayos de medición de ruido de fachada, en el cual se explicará el procedimiento que se usó con la fuente de ruido direccional y ruido de tráfico.

1. Como primer paso se procedió a escoger el recinto apropiado para el ensayo y se tomó en cuenta el tipo de fachada que tenía.
2. Se ubicó la fuente direccional situada hacia la fachada como se especifica en la normativa y se procedió a marcar las 5 posiciones de medición en el recinto receptor.
3. Se verificó el sonómetro con el calibrador clase 1 de Cesva y se procedió a tomar los niveles de ruido de fondo en cada una de las posiciones, luego, se procedió a excitar la fachada con el ruido proveniente de la fuente direccional y se realizó la toma de niveles en cada una de las posiciones del recinto receptor con la fuente prendida por aproximadamente 15 segundos en cada una de las posiciones.
4. Por último se procedió a marcar las posiciones de medición de tiempo de reverberación y se tomó 2 muestras por posición.

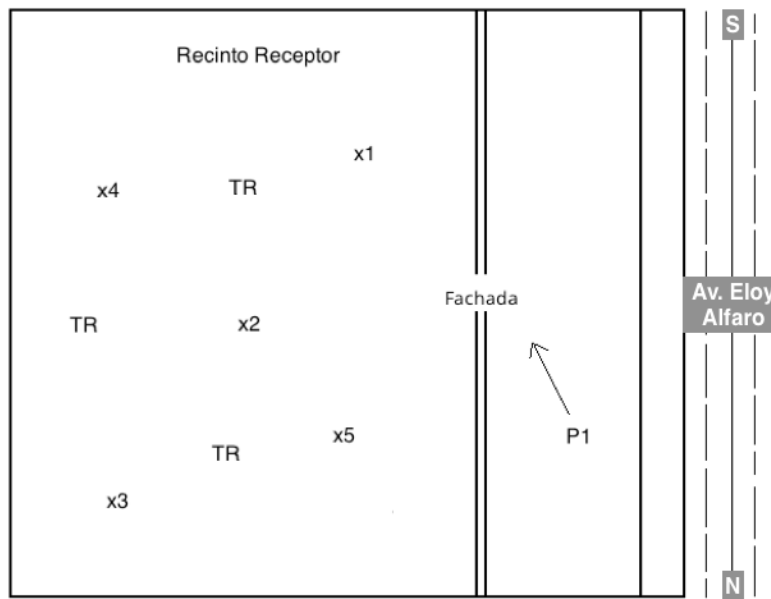


Figura 61. Esquema de medición in situ de ruido de fachada

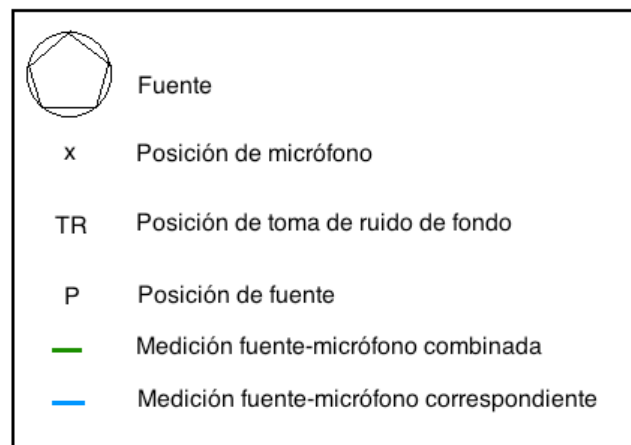


Figura 62. Simbología.

5. Capítulo V: Resultados

5.1 Análisis de resultado

A continuación, se procederá a realizar el análisis de los resultados obtenidos de las mediciones in situ de los ensayos de ruido aéreo, impacto y fachada.

5.1.1 Ruido Aéreo

En el presente apartado, se muestran las curvas de resultados de la diferencia de niveles estandarizada (Dnt) obtenido en las mediciones de ruido aéreo.

Ensayo 1

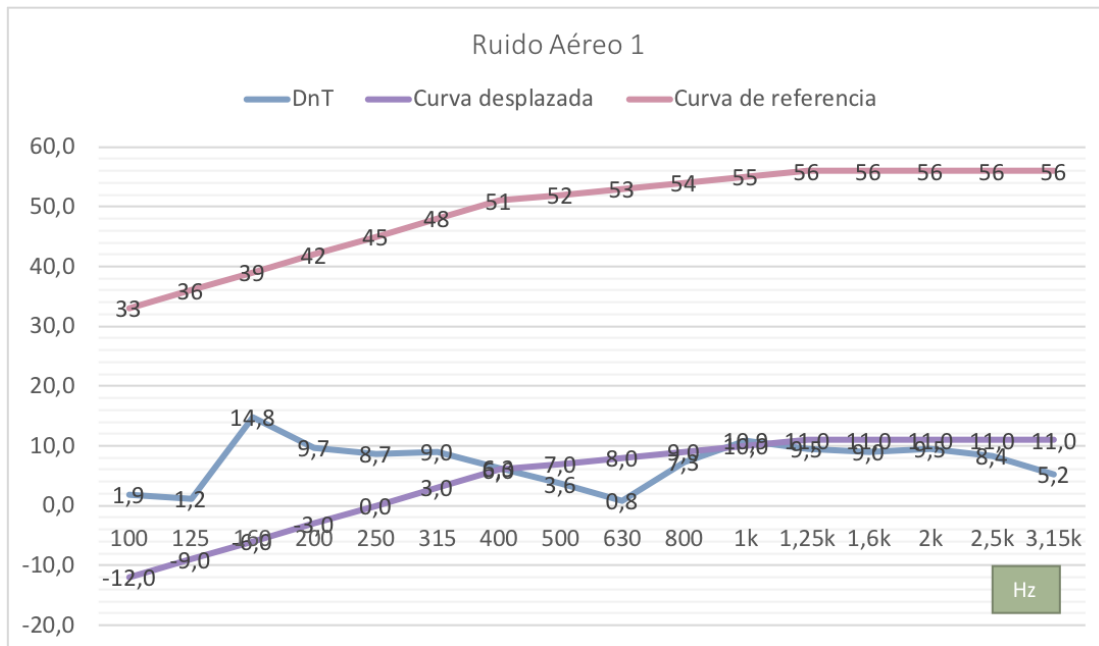


Figura 63. Diferencia de niveles estandarizada, DnT, correspondiente al ensayo #1 de ruido aéreo según ISO 16283-1.

Tabla 6.

Resultados del ensayo #1 de ruido aéreo.

Desplazamiento de curva	Suma de desviaciones	Dnt	C	Ctr	Ponderación dB (A)
45	25,6	7	0	0	6,7

Ensayo 2

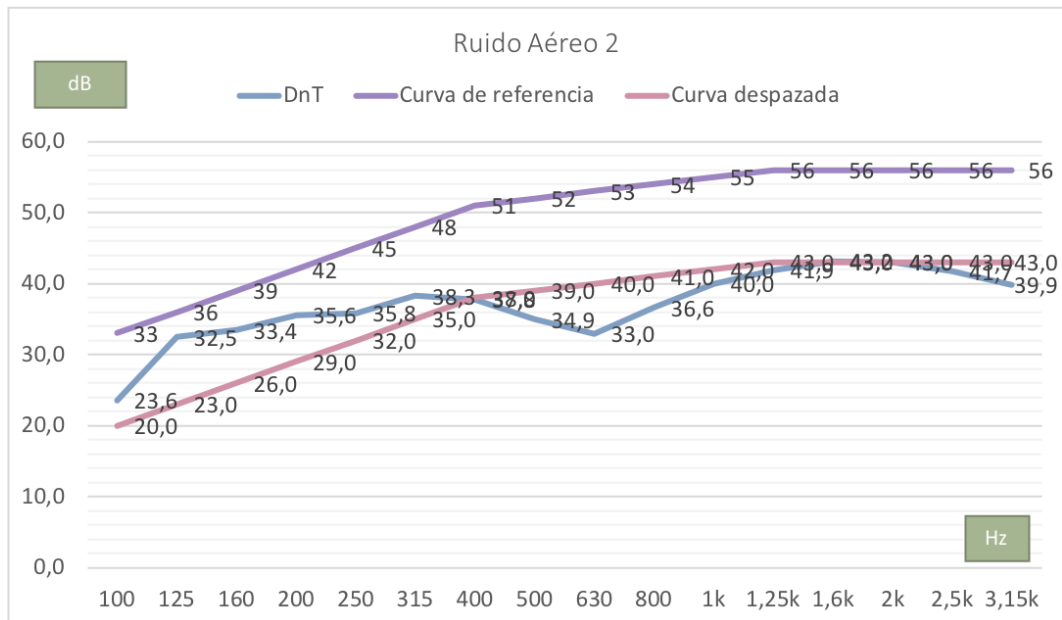


Figura 64. Diferencia de niveles estandarizada, DnT, correspondiente al ensayo #2 de ruido aéreo según ISO 16283-1.

Tabla 7.

Resultados del ensayo #2 de ruido aéreo.

Desplazamiento de curva	Suma de desviaciones	Dnt	C	Ctr	Ponderación dB (A)
13	23,3	39	0	-2	38,5

Ensayo 3

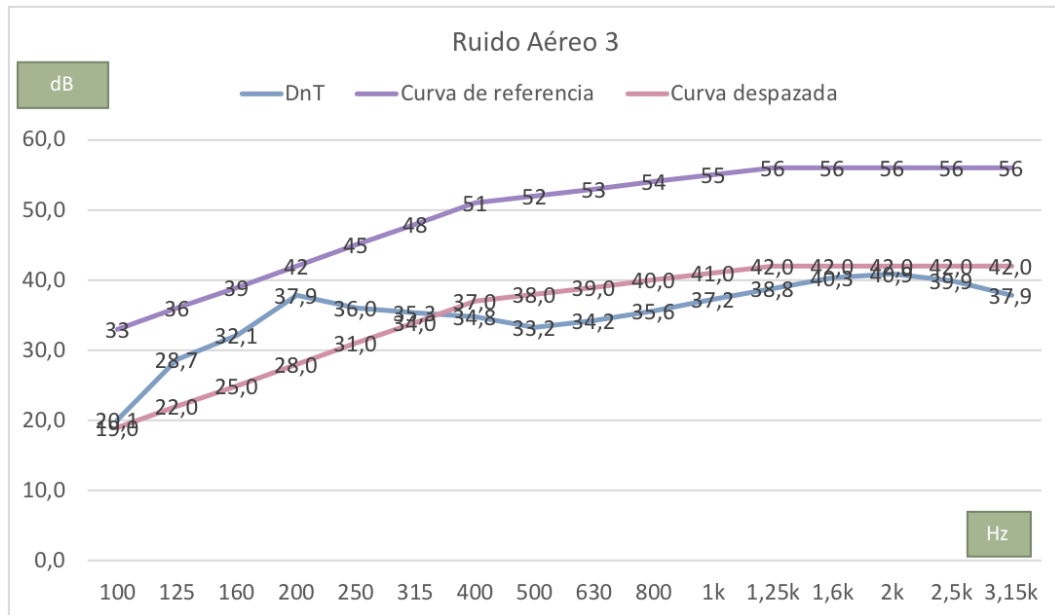


Figura 65. Diferencia de niveles estandarizada, DnT, correspondiente al ensayo #3 de ruido aéreo según ISO 16283-1.

Tabla 8.

Resultados del ensayo #3 de ruido aéreo.

Desplazamiento de curva	Suma de desviaciones	Dnt	C	Ctr	Ponderación dB (A)
14	32	38	-1	-3	37

Ensayo 4

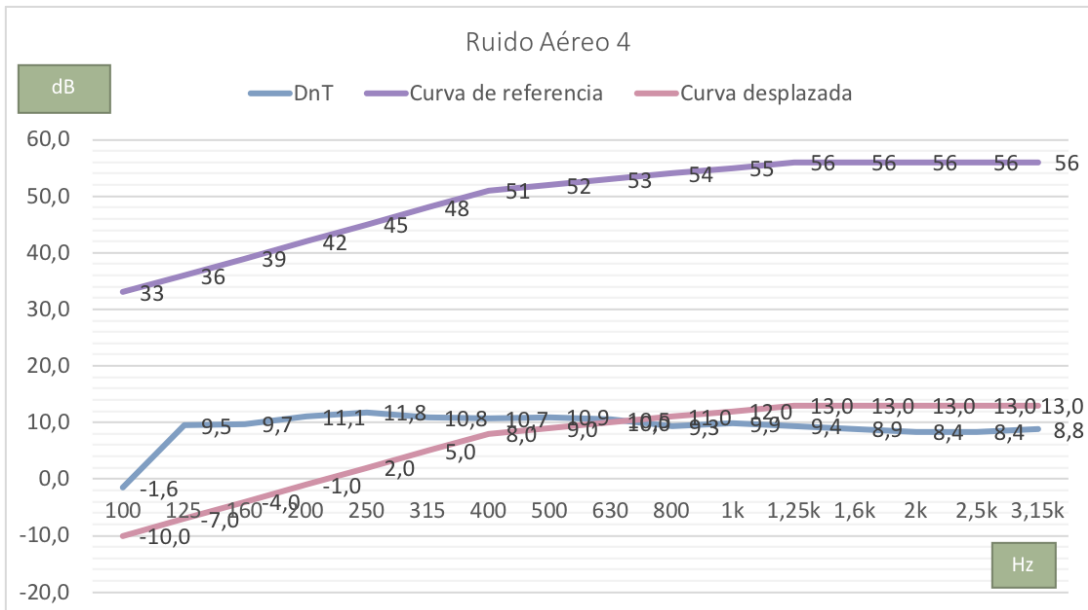


Figura 66. Diferencia de niveles estandarizada, DnT, correspondiente al ensayo #4 de ruido aéreo según ISO 16283-1.

Tabla 9.

Resultados del ensayo #4 de ruido aéreo.

Desplazamiento de curva	Suma de desviaciones	Dnt	C	Ctr	Ponderación dB (A)
43	25	9	0	0	8,8

Por lo tanto, ninguno de los 4 ensayos de ruido aéreo cumple con la normativa. (Valores mayores a 50 [dBA]).

5.1.2 Ruido de Impacto

En el presente apartado, se muestran los resultados de la diferencia de niveles estandarizada (Lnt) obtenido en las mediciones de ruido aéreo.

Ensayo 1

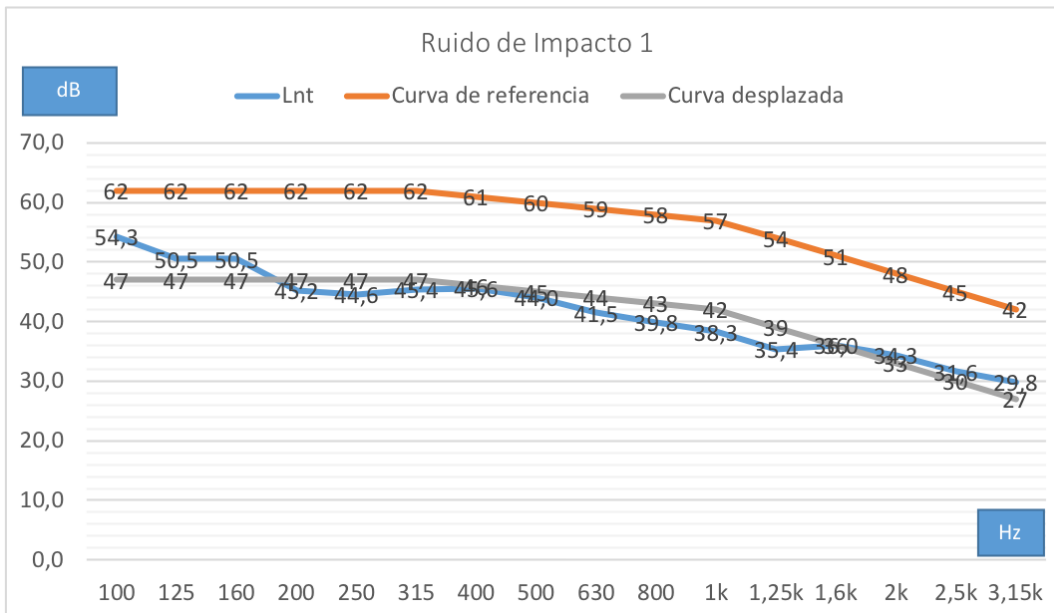


Figura 67. Diferencia de niveles estandarizada, LnT, correspondiente al ensayo #1 de ruido de impacto según ISO 16283-2.

Tabla 10.

Resultados del ensayo #1 de ruido de impacto.

Desplazamiento de curva	Suma de desviaciones	Lnt	Lnt,sum	Cl	Ponderación dB (A)
15	30,3	45	58,4	-2	43

Ensayo 2

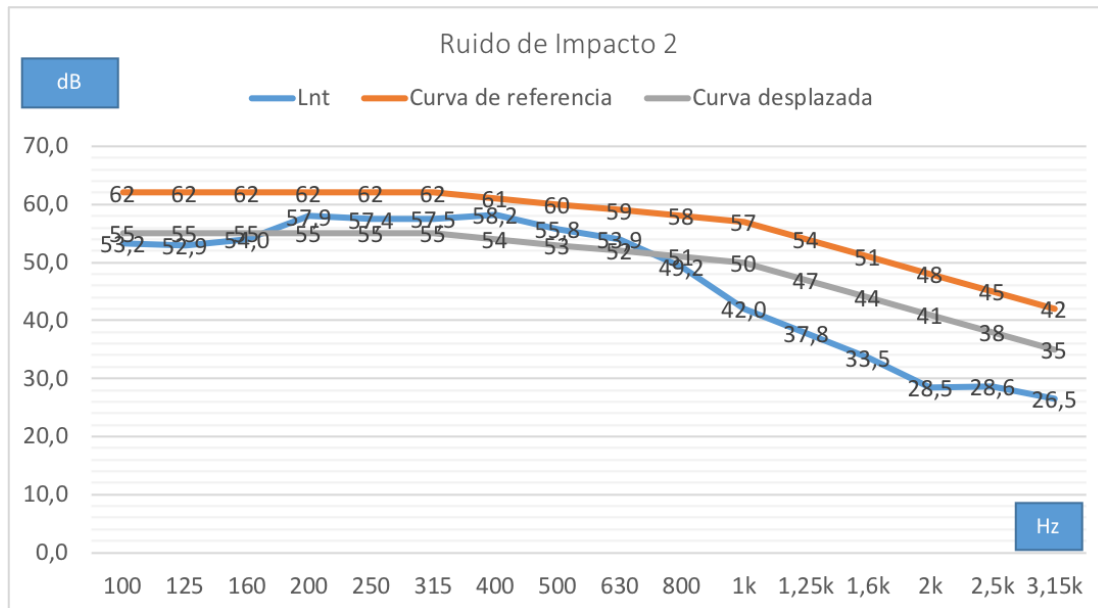


Figura 68. Diferencia de niveles estandarizada, LnT, correspondiente al ensayo #2 de ruido de impacto según ISO 16283-2.

Tabla 11.

Resultados del ensayo #2 de ruido de impacto.

Desplazamiento de curva	Suma de desviaciones	Lnt	Lnt,sum	CI	Ponderación dB (A)
7	26,7	53	65,8	-2,2	51

Ensayo 3

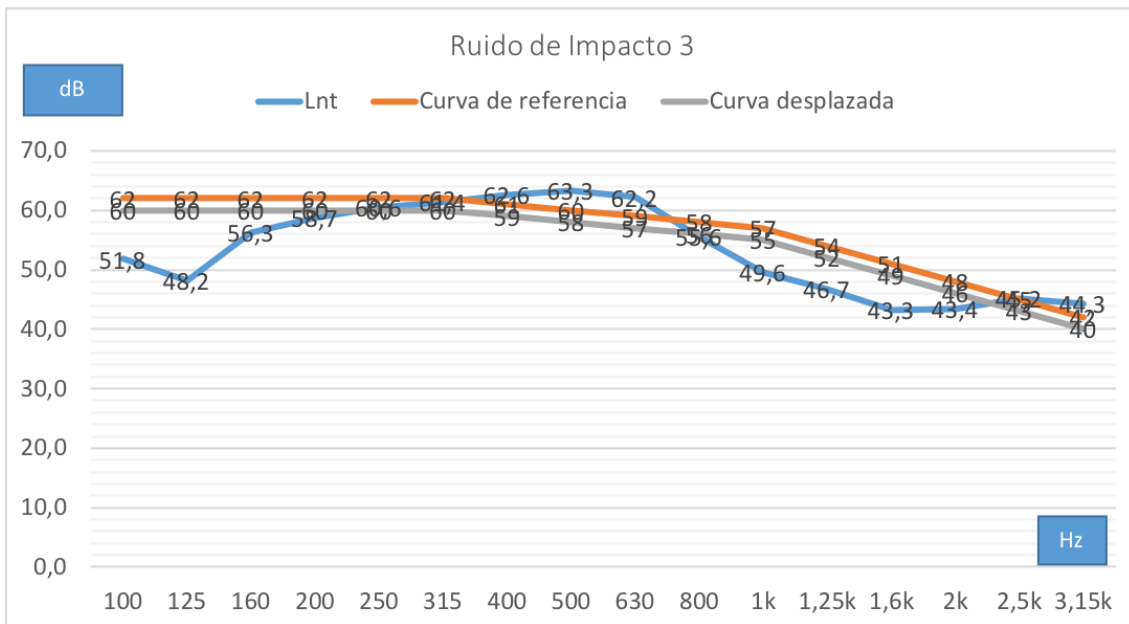


Figura 69. Diferencia de niveles estandarizada, LnT, correspondiente al ensayo #3 de ruido de impacto según ISO 16283-2.

Tabla 12.

Resultados del ensayo #3 de ruido de impacto.

Desplazamiento de curva	Suma de desviaciones	Lnt	Lnt,sum	CI	Ponderación dB (A)
2	31	58	70	-3	55

Ensayo 4

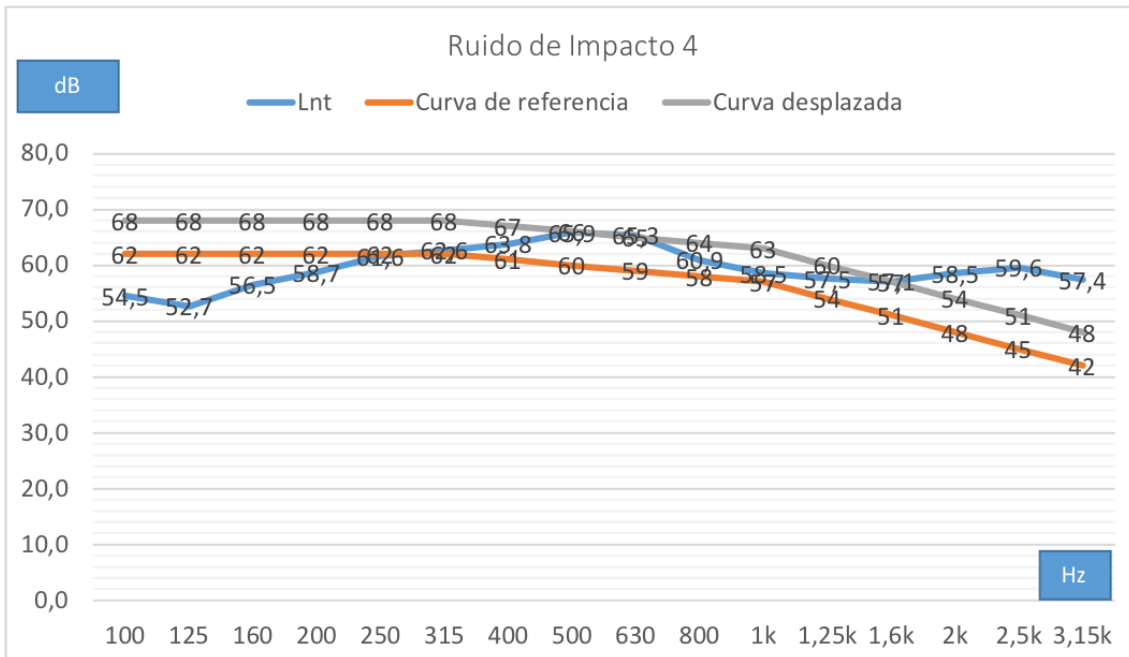


Figura 70. Diferencia de niveles estandarizada, LnT, correspondiente al ensayo #4 de ruido de impacto según ISO 16283-2.

Tabla 13.

Resultados del ensayo #4 de ruido de impacto.

Desplazamiento de curva	Suma de desviaciones	LnT	LnT,sum	CI	Ponderación dB (A)
6	27,5	6	73	-8	58

Ensayo 5

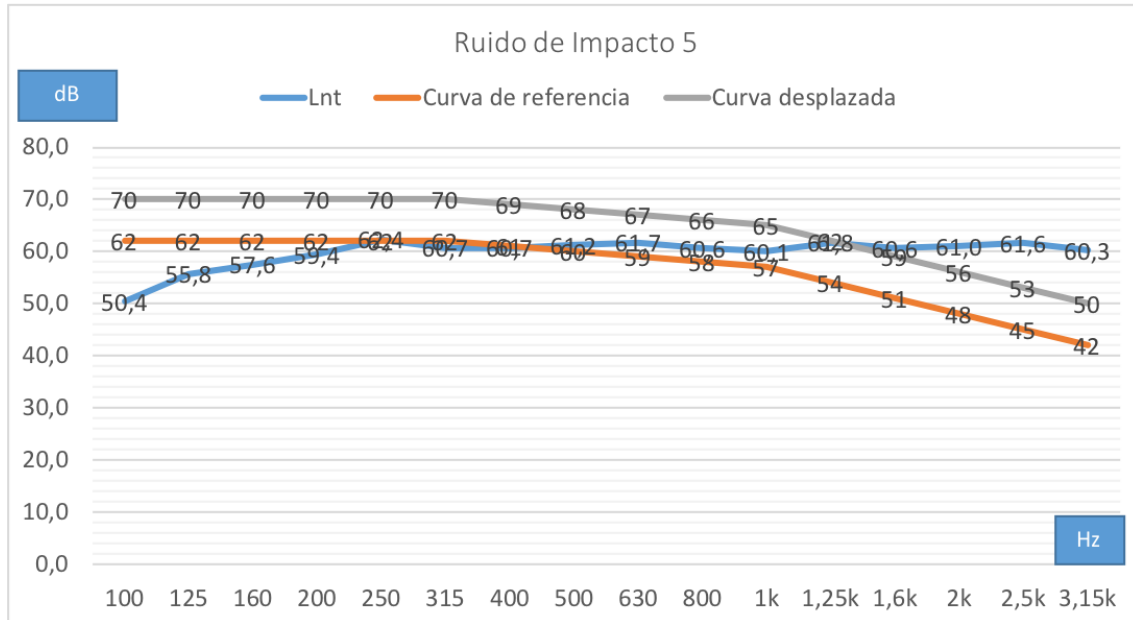


Figura 71. Diferencia de niveles estandarizada, LnT, correspondiente al ensayo #5 de ruido de impacto según ISO 16283-2.

Tabla 14.

Resultados del ensayo #5 de ruido de impacto.

Desplazamiento de curva	Suma de desviaciones	LnT	LnT,sum	CI	Ponderación dB (A)
15	30,3	45	58,4	-2	43

5.1.3 Ruido de Fachada

En el presente apartado, se muestran las curvas de resultados de la diferencia de niveles estandarizada (D2nmt) obtenido en las mediciones de ruido aéreo a fachada.

Ensayo 1

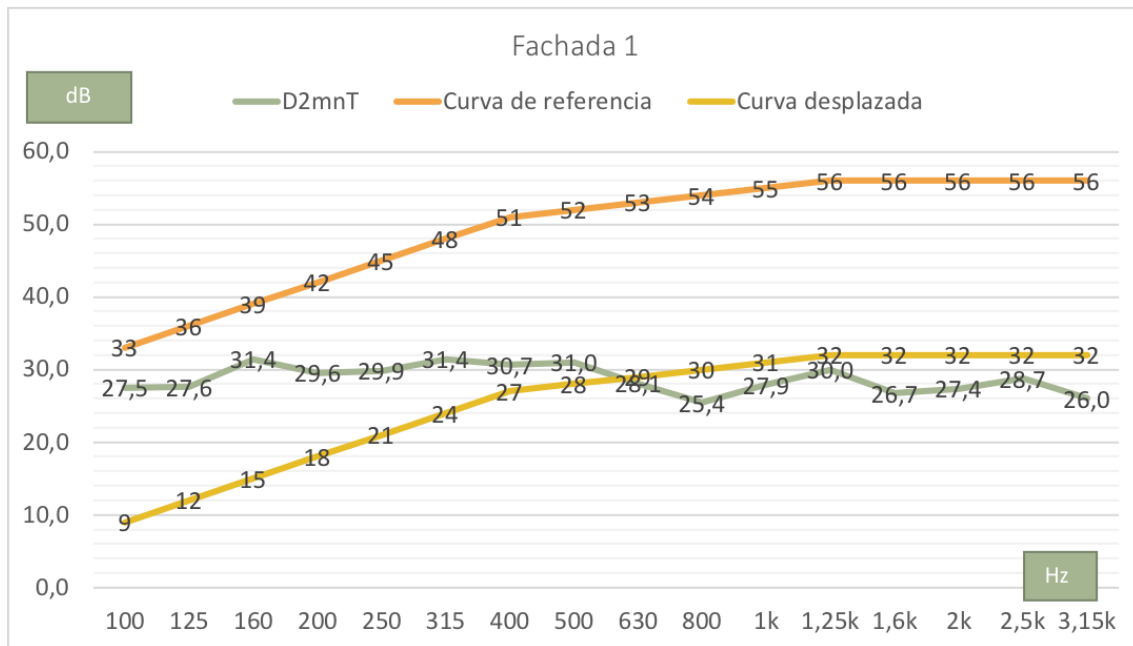


Figura 72. Diferencia de niveles estandarizada, D2nmt, correspondiente al ensayo #1 de ruido de fachada según ISO 16283-3.

Tabla 15.

Resultados del ensayo #1 de ruido de fachada.

Desplazamiento de curva	Suma de desviaciones	D2nmt	C	Ctr	Ponderación dB (A)
24	29,7	28	0	0	28

Ensayo 2

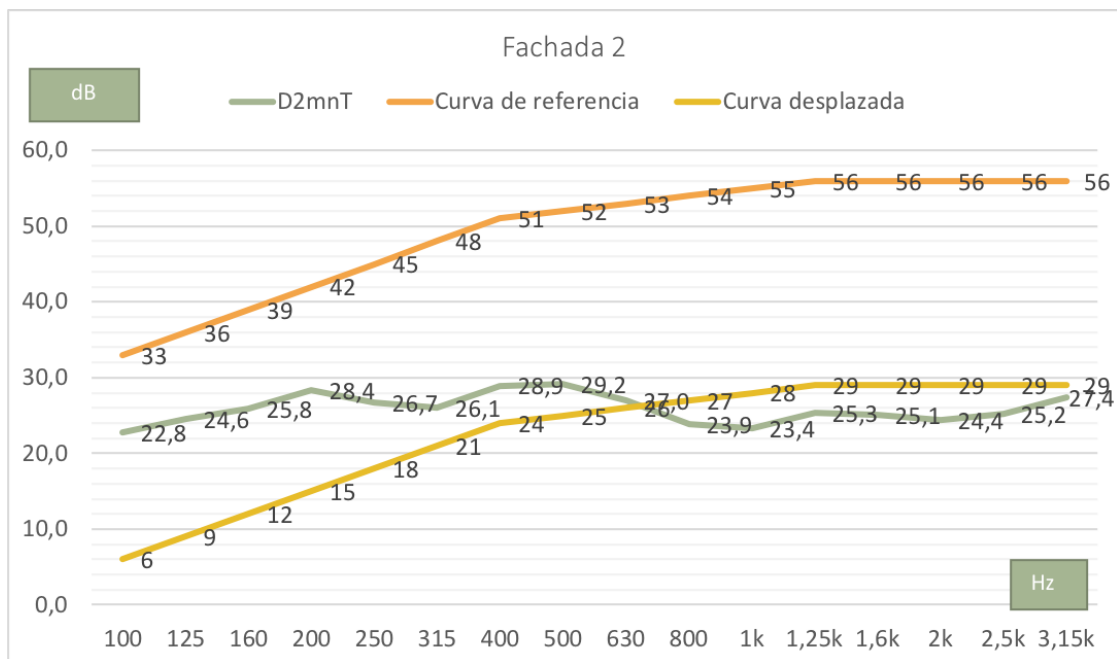


Figura 73. Diferencia de niveles estandarizada, D2nmt, correspondiente al ensayo #2 de ruido de fachada según ISO 16283-3.

Tabla 16.

Resultados del ensayo #2 de ruido de fachada.

Desplazamiento de curva	Suma de desviaciones	D2nmt	C	Ctr	Ponderación dB (A)
27	25,3	25	0	0	25

Ensayo 3

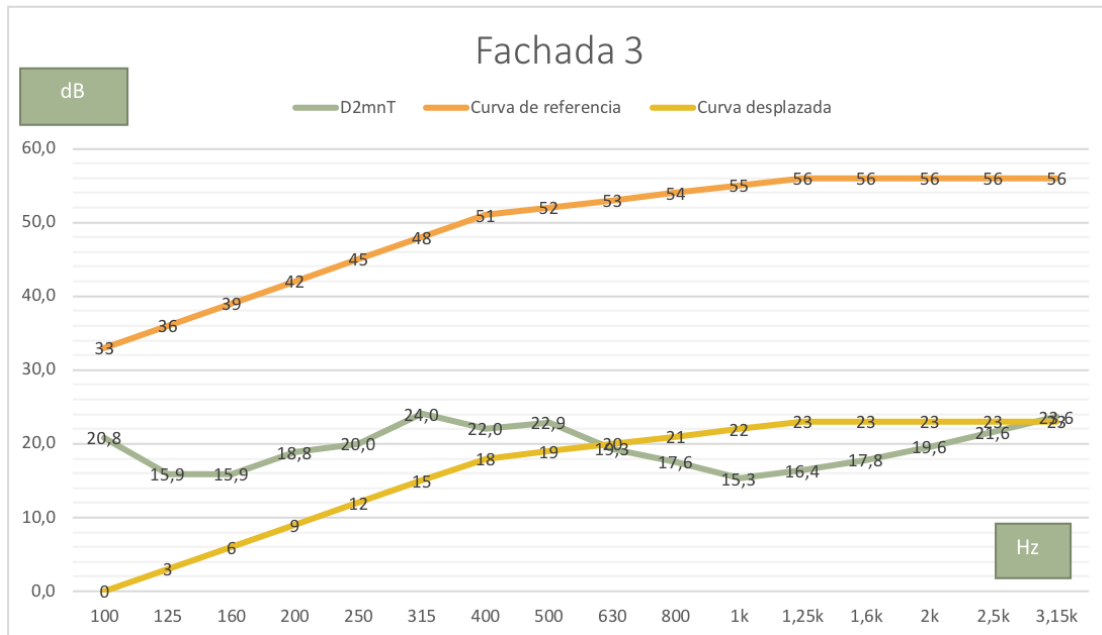


Figura 74. Diferencia de niveles estandarizada, D2nmt, correspondiente al ensayo #3 de ruido de fachada según ISO 16283-3.

Tabla 17.

Resultados del ensayo #3 de ruido de fachada.

Desplazamiento de curva	Suma de desviaciones	D2nmt	C	Ctr	Ponderación dB (A)
24	29,7	28	0	0	28

5.2 Comparación de normativas de construcción

5.2.1 Tulsma

La presente normativa ecuatoriana establece límites permisibles de niveles de ruido de ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles, y vibraciones, esta normativa no establece niveles de ruido máximos permitidos en construcción.

Esta norma establece:

- Los niveles permisibles de ruido en el ambiente, provenientes de fuentes fijas.
- Los límites permisibles de emisiones de ruido desde vehículos automotores.
- Los valores permisibles de niveles de vibración en edificaciones. Los métodos y procedimientos destinados a la determinación de los niveles de ruido.
- Los métodos y procedimientos destinados a la determinación de los niveles de ruido.

Se establecen niveles máximos permitidos por el uso de suelo para distintas zonas según su horario, mas no especifica un límite para el tipo de ruido (aéreo, impacto o fachada.) pero no se establece ningún valor máximo para vibraciones en edificaciones.

Tabla 18.

Niveles máximos permisibles según el uso del suelo

Niveles máximos de emisión de ruido para FFR		
Uso del suelo	Lkeq (dB)	
	Diurno	Nocturno
	7 am – 9 pm	9pm – 7 am
Residencial (R1)	55	45
Equipamiento de servicios sociales (EQ 1)	55	45
Equipamientos de servicio públicos (EQ2)	60	50
Comercial (CM)	60	50
Agrícola residencial (AR)	65	45
Industrial (ID1/ID2)	65	55
Industrial (ID3/ID4)	70	65

Uso múltiple	Cuando existen usos de suelo múltiples o combinados se utilizará el Lkeq mas bajo de cualquiera de los usos del suelo que comparten la combinación.
Protección ecológica (PE) Recursos naturales (RN)	La determinación del Lkeq para estos casos se lo llevará a cabo de acuerdo al anexo 4.

Tomado de TULSMA, s.f.

5.2.2 NEC

La NEC o normativa ecuatoriana de construcción es una normativa que especifica el diseño sismo resistente de construcción por lo que carece de características acústicas de construcción de cualquier tipo y no se establecen niveles máximos de exposición de ruido ni se establecen valores máximos de transmisibilidad de ruido aéreo, de impacto o de fachada por lo que es imposible comparar los resultados obtenidos en dicha normativa a pesar de ser la única normativa de ecuatoriana de construcción en la que se deberían estipular los valores máximos de transmisibilidad de ruido para un confort auditivo aceptable.

Existe un apartado de esta normativa en el que menciona el confort acústico en el que se limita el nivel de ruido en el interior de los recintos como se muestra en la tabla 19.

Tabla 19.

Niveles máximos de ruido según la actividad

Lugar / Actividad	Nivel sonoro
Locales y recintos comerciales	70
Oficinas	60
Actividades de vivienda, estudio, dormitorios, hoteles.	50
Lugares de estar	50
Aulas de estudio	55
Hospitales y centros de salud	45
Otros lugares no estipulados anteriormente diferentes de sitios de vivienda o estar.	75

Tomado de NEC, 2017.

5.2.3 DB HR

Es el documento básico de protección contra el ruido, en el que establecen valores máximos de transmisión de ruido. En este documento se establecen valores máximos para ruido de aéreo, de impacto y de fachada, teniendo como valor específico un máximo de 50 [dBA], por lo cual los valores de los resultados obtenidos están en base a este documento.

Los valores límite de aislamiento que se especifican en este documento son los siguientes:

a) Para ruido aéreo

- Protección frente al ruido generado en recintos pertenecientes a la misma unidad de uso, en edificios de uso residencial privado: el índice global de reducción acústica será mayor a 33 [dBA].
- Protección frente al ruido generado en recintos no pertenecientes a la misma unidad de uso: el aislamiento acústico será mayor a 45 [dBA] siempre que no compartan puertas o ventanas. Cuando sí las compartan será mayor a 20 [dBA].
- Protección frente al ruido generado en recintos de instalaciones y en recintos de actividad: siempre y cuando no compartan puertas será mayor a 45 [dBA], en caso de sí compartirlas será mayor a 30 [dBA], y del cerramiento mayor a 50 [dBA].
- En los recintos habitables y recintos protegidos colindantes con otros edificios: El aislamiento a ruido aéreo D_{2mnT} de cada uno de los cerramientos y medianeras será mayor a 40 [dBA] y de D_{nt} será mayor a 50 [dBA].

b) para ruido de impactos

- Protección frente al ruido generado de recintos de instalaciones o en recintos de actividad: el nivel global de presión de ruido de impactos L_{ntw} en un recinto habitable colindante vertical, horizontalmente o que tenga arista horizontal

común con un recinto de actividad o con un recinto de instalaciones será menor a 60 [dBA].

Tabla 20.

Comparativa de resultados vs. normativa DB HR

Tipo de ensayo	# de ensayo	Resultado [dBA]	DB HR [dBA]	Cumplimiento
Aéreo	1	6,7	DntW > 50	NO
Aéreo	2	38,5	DntW > 50	NO
Aéreo	3	37	DntW > 50	NO
Aéreo	4	8,8	DntW > 50	NO
Impacto	1	43	LntW < 60	SI
Impacto	2	51	LntW < 60	SI
Impacto	3	55	LntW < 60	SI
Impacto	4	58	LntW < 60	SI
Impacto	5	57	LntW < 60	SI
Fachada	2	18	D2mnTw >40	NO
Fachada	3	25	D2mnTw >40	NO
Fachada	4	19	D2mnTw >40	NO

La tabla 20 muestra los resultados de cumplimiento de los ensayos de ruido aéreo entre locales, fachada y ruido de impacto. Se observa el nivel de aislamiento de ruido resultante y si se cumple o no con la normativa DB HR.

En total, se llevaron a cabo 12 ensayos de medición de ruido, de los cuales 5 cumplieron con la normativa y 7 no cumplieron con la normativa. El porcentaje de este cumplimiento se muestra a continuación en la figura 75.

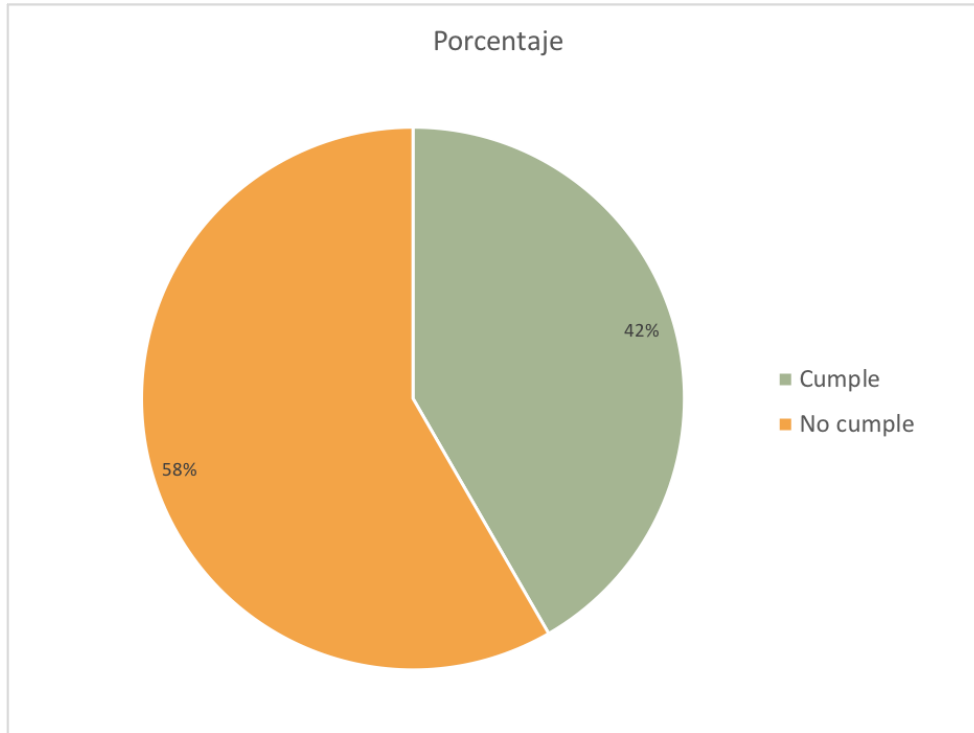


Figura 75. Porcentaje de cumplimiento de ensayos realizados.

6: Conclusiones

Se pudo llevar a cabo exitosamente 12 ensayos de medición de aislamiento acústico a ruido aéreo, de impacto y de fachada aplicando las normativas españolas de aislamiento acústico en edificaciones ISO 16283-1, ISO 16283-2 y ISO 16283-3 para cada una de ellas en el edificio Goya de la ciudad de Quito.

Se realizaron los análisis de resultados de las mediciones llevadas a cabo en las cuales se evidenció el cumplimiento de 0 de 4 ensayos de medición de ruido aéreo, 5 de 5 ensayos en ruido de impactos y 0 de 3 ensayos en ruido de fachada. Esto significa que 5 de 12 ensayos cumplieron con los límites de ruido en edificaciones estipulados en la normativa DB HR, lo cual representa el cumplimiento del 41,66% de ensayos de la totalidad propuesta en este trabajo realizado.

En los resultados de medición de ruido aéreo se verificó un comportamiento similar en todas sus curvas, mientras las otras 2 fueron distintas y con un nivel de D_{nt} menor. Ninguna de ellas cumplió con la normativa.

En cuanto a los resultados de ruido de impactos, a pesar de que todos los ensayos cumplieron con la normativa, cuatro de ellos tuvieron valores muy cercanos en frecuencias bajas y medias. La curva del ensayo 5 fue la única que tuvo valores de L_{nt} mucho menores que el resto mientras que todas coincidieron el patrón de comportamiento en bajas frecuencias con valores muy aproximados entre 50 [dB] y 54 [dB].

Para los resultados de ruido de fachada, se pudo evidenciar una tendencia de comportamiento similar en los tres ensayos, aunque la curva del D_{2nmt} 1 y 2 tuvieron mas secciones de coincidencia de patrón y similitud de niveles. El comportamiento de las curvas en frecuencias medias fue el mismo en todos los ensayos.

En cuanto a la comparación de resultados con normativas nacionales, fue la parte más complicada, ya que, en Ecuador, no existen normativas que estipulen valores máximos de transmisión de ruido o de aislamiento acústico en edificaciones. La Normativa Ecuatoriana de Construcción (NEC), está enfocada en la parte antisísmica de

construcción, mas no en valores de transmisibilidad de ruido en dichos estándares de construcción y muchos menos de confort auditivo.

Frente a la normativa TULSMA, el anexo de ruido establece niveles máximos de emisión de ruido de fuentes móviles y fijas, mas no niveles de transmisibilidad en viviendas urbanas o edificaciones, lo cual una vez más ha dejado sin la posibilidad de realizar una comparación de resultados.

Se compararon los resultados obtenidos con una normativa internacional perteneciente al Código Técnico de Edificación (CTE), normativa española que contiene el Documento Básico HR de protección frente al ruido en áreas protegidas, viviendas y edificaciones urbanas. Se escogió este documento porque los niveles máximos de transmisión de ruido estaban claramente estipulados por tipo de ruido y por tipo de edificación, con el que se pudo obtener los resultados y conclusiones de este trabajo de titulación, permitiendo comparar los valores puntuales de los resultados con los valores máximos permitidos por tipo de edificación y por tipo de ruido al que se expuso la edificación.

Por lo tanto, se puede concluir que los resultados de aislamiento a ruido aéreo, ruido de impacto y ruido de fachada obtenidos en los ensayos del edificio Goya no son satisfactorios al tener un 41% de ensayos que cumplen con los requisitos acústicos de construcción y con niveles máximos de transmisión de ruido en edificaciones, lo cual representa un incumplimiento de más de la mitad de ensayos realizados.

En el Ecuador no existen normativas acústicas de edificación, por lo que se ha referido a normativas internacionales, en este caso, las normativas españolas de acústica, las cuales demostraron que es necesario el cumplimiento de estas en caso de ser referencia o más claro aun, la creación de propias normativas acústicas ecuatorianas, las cuales deberían regir de forma obligatoria para todo tipo de constructora en el país.

Se pudo evidenciar que las grandes constructoras aplican sus criterios propios en cuanto a confort, mas no se evidencia un énfasis en el confort acústico o en el cumplimiento de normativas acústicas.

Referencias

- Acoustics.com. (2004). Transmission of airborne noise. Recuperado el 15 de julio de 2018 de <https://www.stcratings.com/flanking.html>
- Beranek, L. (1969). Acústica. Editorial J.A.S.A. (2da edición). San Diego: USA. Recuperado el 15 de julio del 2018.
- Cavanaugh, W. J., Tocci, G. C., & Wilkes, J. A. (2009). Architectural Acoustics: Principles and Practice (2nd Edition). Blue Tree. San Francisco: USA. Recuperado el 15 de julio del 2018.
- Cesva Instruments S.L.U. (2018a). Manual de usuario: Fuente sonora omnidireccional BP012. Recuperado el 15 de julio del 2018 de www.cesva.com
- Cesva Instruments S.L.U. (2018b). Manual de usuario: Máquina de impactos. Recuperado el 15 de julio del 2018 de www.cesva.com
- Connolly, S. (2015). Sound isolation design options for mixed-use buildings. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 138(3), 1759–1759. <https://doi.org/10.1121/1.4933558>. Recuperado el 15 de julio del 2018.
- Daumal, F. y de Gortari, J. (2006). La influencia del ruido en el precio de la vivienda. TecniAcústica. Cadiz: España.
- Delgado, A. (2009). La normativa acústica española de edificación en la actualidad. TecniAcústica. Madrid: España.
- Delgado, A. (2010). Consideraciones sobre la nueva reglamentación referente a la protección contra el ruido en los edificios. TecniAcústica. Madrid: España.
- Estellés, R. (2005). Pérdida por transmisión. Recuperado el 15 de julio del 2018 de <http://www.fadu.edu.uy/acondicionamiento-acustico/wp-content/blogs.dir/27/files/2012/02/07-aislacion-acustica.pdf>
- Everest, F. A., & Pohlmann, K. C. (2015). *Master Handbook of Acoustics*. Aging (5th Edition, Vol. 7). McGrawHill. San Diego: USA. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>. Recuperado el 15 de julio del 2018.
- Gobierno de España: Ministerio de Fomento. (2009). CTE-HR-Protección frente al ruido, Boletín Oficial del Estado. Recuperado el 16 de julio del 2018 de <https://www.codigotecnico.org/>
- Gerges, S. (1998). Ruido: Fundamentos y Control. Editorial Fabio Nunez. Río de Janeiro: Brasil.

- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2017). Tras las cifras de Quito. Recuperado el 15 de julio del 2018 de: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/>.
- Linares, G. (1991). Acústica arquitectónica y urbanística. Editorial Universitat Politècnica de Valencia. Valencia: España.
- Long, M. (2006). Architectural Acoustics. Elsevier. Burlington: USA.
- Marino, C., Monteiro, C., Machimbarrena, M., y Smith, S. (2012). Análisis de la variabilidad e incertidumbre de medidas "in situ" del aislamiento acústico a ruido aéreo de paredes pesadas. *VIII Congreso Ibero-americano de Acústica*. 1-3 octubre. Évora: Portugal.
- Ministerio de Urbanidad y Vivienda. (2014). Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC-SE-DS Cargas Sísmicas Diseño Sismo Resistente. Recuperado el 15 de julio del 2018 de: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Ministerio del Ambiente. (2015). Anexo 5: Límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas, fuentes móviles, y para vibraciones. En Libro VI. Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (pp. 1–4).
- Miyara, F. (2006). Acústica y sistemas de sonido. Editorial UNR. Buenos Aires: Argentina.
- Patricio, J. (2005). Acústica de edificios: Índices de isolamento a sons de percussão utilizados no espaço europeu. *Revista de Acústica*. Vol. 36. Recuperado el 15 de julio del 2018.
- Recuero, M. (1988). Sistemas para aislamiento acústico. Recuperado el 15 de julio del 2018 de <http://www.eumus.edu.uy/eme/ensenanza//acustica/apuntes/acuarq/acuarq.html>.
- Recuero, M. (1992). Acústica arquitectónica: Soluciones prácticas. Thompson Paraninfo, S.A. Madrid: España.
- Recuero, M., y Gil, C. (1993). Acústica arquitectónica. Recuperado el 15 de julio del 2018 de <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Ac?stica+Arquitect?nica#1%5Cnhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Ac?stica+arquitect?nica#1>
- Rougeron, C. (1977). Aislamiento Acústico y Térmico en la construcción. Editores térs asociados S.A. Valencia: España.

- Soundproofing Company. (2006). Flanking, Indirect Sound Leaks: Soundproofing Walls, Ceilings, Floors. Recuperado el 15 de julio del 2018 de <https://www.soundproofingcompany.com/soundproofing101/flanking-and-indirect-sound-leaks/>
- Truper Ecuador. (2012). Herramientas Quito. Recuperado el 15 de julio del 2018 de <https://www.truper.com/>
- 3M España. (2014). Productos de protección auditiva. Recuperado el 15 de julio del 2018 de http://solutions.productos3m.es/3MContentRetrievalAPI/BlobServlet?lmd=1395760942000&locale=es_ES&assetType=MMM_Image&assetId=1361792224831&blobAttribute=ImageFile
- UNE-EN ISO 140-4. (1998). Medición del aislamiento en los edificios y de los sistemas constructivos. Parte 4: Medición “in situ” del aislamiento acústico a ruido aéreo entre locales.
- UNE-EN ISO 140-7. (1998). Medición del aislamiento en los edificios y de los sistemas constructivos. Parte 7: Medición “in-situ” del aislamiento acústico a ruido de impactos entre locales.
- UNE EN ISO 16283-1. (1997). Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo.
- UNE EN ISO 16283-2. (1997). Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 2: Aislamiento a ruido de impacto.
- UNE EN ISO 16283-3. (1997) Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 3: Aislamiento a ruido de fachada.
- UNE EN ISO 717-1. (1998) Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo.
- UNE EN ISO 717-2. (1998) Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 2: Aislamiento a ruido de impacto.
- Vera, J., Yebra, M., Estepa, E., Brocal, F., Miralles, A. (2014). Reflexiones sobre reflexiones, eco y reverberación. *TecniAcústica* 29 – 31 octubre. Murcia: España. Recuperado el 15 de julio del 2018.
- Vér, I., y Beranek, L. (2005). Noise and Vibration Control Engineering. John Wiley & Sons, INC. New Jersey: USA. <https://doi.org/10.1002/9780470172568>.
- Watson, R. (2013). The little red book of acoustics: a practical guide. Blue Tree Acoustics. San Diego: USA.

ANEXOS

Normativas

UNE EN ISO 16283-1: Aislamiento a ruido aéreo

Nivel de presión acústica promediado energéticamente en un recinto, L : es 10 veces el logaritmo decimal del cociente del promedio espacial y temporal de la presión acústica cuadrática y el cuadrado de la presión acústica de referencia, tomando el promedio espacial sobre la zona central del recinto donde la radiación directa desde cualquier altavoz o del campo cercano desde los límites del recinto tienen una influencia despreciable. L se expresa en decibeles.

Nivel de presión acústica de esquina en un recinto, $L_{esquina}$: es diez veces el logaritmo decimal del cociente entre el promedio de los valores de presión sonora cuadrática mas elevados de entre los obtenidos en las esquinas, y el cuadrado de la presión sonora de referencia para cada una de las bandas de tercio de octava. $L_{esquina}$: se expresa en decibeles.

Nivel de presión acústica de baja frecuencia promediado energéticamente en un recinto, L_{Lf} : diez veces el logaritmo decimal del cociente de la presión acústica cuadrática promediada espacial y temporalmente y el cuadrado de la presión de la presión acústica de referencia en el rango de baja frecuencia. Aplica para bandas de tercio de octava de 50, 63 y 80 [Hz]. Donde el promedio espacial es un promedio ponderado que se calcula utilizando las esquinas del recinto donde los niveles de presión acústica son mas altos y la zona central del recinto donde la radiación directa desde cualquier altavoz o la radiación del campo cercano de los límites del recinto tienen una influencia despreciable. L_{Lf} es una estimación de nivel de presión acústica promediado energéticamente para la totalidad del recinto y se expresa en decibeles.

Tiempo de reverberación: es el tiempo que se requiere para que la presión acústica decaiga 60 decibeles después de que la fuente ha sido apagada. Este se expresa en segundos.

Nivel de ruido de fondo: es el nivel de presión acústica medido en el recinto receptor debido a todas las fuentes, excepto al altavoz en el recinto emisor.

Micrófono fijo: micrófono que se fija en el recinto utilizando un trípode

Micrófono de movimiento continuo mecanizado: micrófono que se mueve de forma mecánica con una velocidad angular casi constante en un círculo o a lo largo de una trayectoria circular donde el ángulo de rotación en un eje fijo se sitúa entre 270° y 360°.

Micrófono de barrido manual: micrófono acoplado a un sonómetro de mano o a una varilla de prolongación, movido por un operador humano a lo largo de la trayectoria.

Micrófono de mano: micrófono acoplado a un sonómetro de mano o a una varilla sujetada manualmente en una posición fija por un operador humano a una distancia de al menos un brazo desde el tronco al cuerpo del operador.

Separación: superficie total del elemento de separación entre el recinto emisor y el recinto receptor.

Separación común: parte del elemento de separación que es común tanto en el recinto emisor como en el recinto receptor.

Diferencia de niveles, D : diferencia en los niveles de presión acústica promediados energéticamente entre los recintos emisor y receptor.

$$D = L_1 - L_2 \quad (1)$$

donde L_1 y L_2 son el nivel de presión acústica promediado energéticamente del recinto emisor y receptor respectivamente.

Diferencia de niveles estandarizada, D_{nT} : diferencia de niveles que se normaliza a un valor de referencia del tiempo de reverberación en el recinto receptor y se calcula haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$D_{nT} = D + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (2)$$

donde T es el tiempo de reverberación del recinto receptor y T_0 es el tiempo de reverberación de referencia para viviendas.

Índice de reducción acústica aparente, R' : es diez veces el logaritmo decimal del cociente de la potencia acústica, W_1 que es incidente en un elemento de ensayo, a la potencia acústica total radiada al recinto receptor si, además de la potencia acústica W_2 , radiada por el elemento de ensayo, es significativa la potencia acústica W_3 , radiada por elementos de flanco o por otros componentes el cual está dado por:

$$R' = 10 \log \frac{W_1}{W_2 + W_3} \quad (3)$$

este índice de reducción acústica aparente se evalúa usando la siguiente fórmula:

$$R' = D + \log \frac{S}{A} \quad (4)$$

donde S es el área de la separación común en metros cuadrados y A es el área de absorción equivalente del recinto receptor en metros cuadrados.

Corrección del nivel de ruido de fondo: corrección que se realiza cuando el nivel de ruido de fondo se encuentra entre 6 y 10 decibeles.

$$L = 10 \log (10^{Lsb/10} - 10^{Lb/10}) \quad (5)$$

donde L es el nivel de señal corregido en decibeles, Lsb es el nivel de la señal y el ruido combinadas y Lb es el nivel de ruido de fondo.

UNE EN ISO 16283-2: Aislamiento a ruido de impactos

Nivel de presión acústica de ruido de impactos promediado energéticamente en un recinto, L_i : es diez veces el logaritmo decimal del cociente del promedio espacial y temporal de la presión acústica cuadrática y el cuadrado de la presión acústica de referencia, donde la fuente de impactos es la máquina de impactos y el promedio espacial se toma en la zona central del recinto donde la radiación del campo cercano desde los límites del recinto tiene un influencia despreciable.

Nivel de presión acústica normalizado de ruido de impactos, L'_n : es el nivel de presión acústica de ruido de impactos, L_i , aumentado por un término de corrección expresado en decibelios, igual a diez veces el logaritmo decimal del cociente entre el área de absorción equivalente medida, A, del recinto receptor y el área de absorción equivalente de referencia A_0 que se calcula usando la siguiente fórmula:

$$L'_n = L_i + 10 \log \frac{A}{A_0} \quad (6)$$

donde A es el área de absorción equivalente en el recinto receptor y A_0 es el área de absorción equivalente de referencia para viviendas.

Área de absorción equivalente, A : Área hipotética de una superficie totalmente absorbente sin efectos de difracción que se calcula usando la fórmula de Sabine:

$$A = \frac{0,16V}{T} \quad (7)$$

donde v es el volumen del recinto receptor en metros cúbicos y T es el tiempo de reverberación del recinto receptor.

UNE EN ISO 16283-3: Aislamiento a ruido de fachadas

Nivel de presión acústica medio exterior sobre la superficie de ensayo, $L_{1,s}$: es diez veces el logaritmo decimal del cociente del promedio superficial y temporal de la presión acústica cuadrática y el cuadrado de la presión acústica de referencia, tomando el promedio de la superficie sobre toda la superficie del ensayo, incluyendo los efectos de reflexión procedentes de la muestra de ensayo y de la fachada.

Nivel de presión acústica medio exterior a una distancia de 2 metros frente a la fachada, $L_{1,2m}$: es diez veces el logaritmo decimal del cociente del promedio temporal de la presión acústica cuadrática y el cuadrado de la presión acústica de referencia en una posición situada a 2 metros de la fachada.

Nivel de presión acústica promediado energéticamente en un recinto, L_2 : es diez veces el logaritmo decimal del cociente del promedio espacial sobre la zona central del recinto donde la radiación del campo cercano desde los límites del recinto tienen una influencia insignificante.

Índice de reducción acústica aparente $R'_{tr,s}$: es una cuantía del aislamiento acústico al ruido aéreo de un elemento de construcción cuando la fuente sonora es el tráfico rodado y la posición del micrófono exterior está sobre la superficie de ensayo para el que el índice de reducción acústica aparente se evalúa usando:

$$R'_{tr,s} = L_{1,s} - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} - 3dB \quad (8)$$

Diferencia de nivel, D_{2m} : diferencia de nivel entre $L_{1,2m}$ y L_2 , que se evalúa usando la siguiente fórmula:

$$D_{2m} = L_{1,2m} - L_2 \quad (9)$$

Diferencia de niveles estandarizada, $D_{2m,nt}$: es la diferencia de nivel que se normaliza a un valor de referencia del tiempo de reverberación en el recinto receptor y se calcula usando la ecuación (10):

$$D_{2m,nt} = D_{2m} + 10 \log \frac{T}{T_0} \quad (10)$$

Diferencia de niveles normalizada, $D_{2m,n}$: diferencia de nivel que se normaliza a un valor de referencia del área de absorción en el recinto receptor y se calcula usando la ecuación (11):

$$D_{2m,nt} = D_{2m} + 10 \log \frac{A}{A_0} \quad (11)$$

Figura7. Terraza

La figura 7 muestra el escenario de la terraza del edificio Goya, la cual se encuentra en el último piso de la edificación, es descubierta, su piso es de cerámica y sus paredes son de concreto.

Posee un jacuzzi de mármol y fachada de vidrio que dan a la Avenida Eloy Alfaro y posee también pequeñas áreas verdes.

Posee también un área de parrilla que en su mayoría es de concreto, pero posee un acabado tipo ladrillo y piso de cerámica.

Fotos



1. Máquina de impactos



2. Posicionamiento de puntos de medición



3. Posicionamiento de la fuente



4. Segunda posición de la fuente



5. Tercera posición de fuente



6. Escenario 1 – dormitorio master



7. Fuente omnidireccional



8. Cocina



9. Sala con punto de medición



10. Comedor



11. Escenario 3



12. Posicionamiento de puntos de medición - dormitorio



13. Medición emisión con máquina de ruido omnidireccional



14. Recinto receptor - dormitorio



15. Departamento 205 – recinto emisor



16. Medición de fachada



17. Posicionamiento de puntos de recepción – dormitorio



18. Medición de fachada



19. Fuente omnidireccional



20. Medición a ruido de fachada



21. Generador de ruido



22. Ensayo medición a ruido de fachada



22. Sala de ventas – recinto emisor



24. Medición a ruido de fachada con ruido de tráfico



25. Escenario de medición a ruido de fachada



26. Ensayo de ruido aéreo



26. Mediciones in situ – Melany Zaldumbide

