



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE ELEMENTOS DE FACHADA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

CAMILA IGNACIA LICCIARDO MANSILLA

PROFESORA GUÍA:
KARINA ALIANTE CHACÓN

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
ADOLFO OCHOA LLANGATO
ANGEL NAVARRETE TRONCOSO

SANTIAGO DE CHILE

2021

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERA CIVIL
POR: CAMILA LICCIARDO M.
FECHA: ENERO 2021
PROF. GUÍA: Sra KARINA ALIANTE CH.

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE ELEMENTOS DE FACHADA

En esta memoria se presenta un estudio sobre el comportamiento acústico de 12 fachadas de viviendas y edificios, para establecer un diagnóstico de la calidad acústica de los elementos que la conforman.

En una primera etapa, se dan a conocer aspectos generales del sonido, sus formas de transmisión, absorción y aislación. Se definen los descriptores necesarios, luego se analizan las metodologías de medición de los parámetros de aislación acústica y se detalla la que se utiliza en este estudio.

Para llevar a cabo el estudio se comparan los métodos utilizados en la norma estadounidense ASTM E966 y en la ISO 140-5: 1998, estableciendo que el más adecuado corresponde a este último, siendo la única diferencia el descriptor utilizado en cada norma.

La metodología consistió en realizar ensayos en terreno de acuerdo con lo indicado en la norma ISO 140-5:1998. Los datos obtenidos fueron contrastados con parámetros teóricos obtenidos de acuerdo con la ley de masas.

Las mediciones realizadas en terreno se entregan de manera ordenada, en una ficha con los resultados, la que incluye el gráfico y descriptor correspondiente. Con esta información se establece la aislación acústica que otorgan las fachadas y se analiza los factores que afectan los resultados, realizando una comparación con los valores teóricos del conjunto.

Del estudio se concluye que el aislamiento queda condicionado al desempeño del elemento con menor capacidad de aislación acústica, es decir, puertas y ventanas. Se establece que dichos elementos determinan el valor de aislación de la fachada completa, obteniendo como máximo una aislación 10dB mayor a la del elemento débil.

Cabe hacer notar que en Chile, la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, establece requisitos mínimos de aislación acústica en 4 casos bien determinados, en ninguno de los cuales se consideran exigencias acústicas para puertas, ventanas y/o estructuras de techumbre.

Se concluye, además, que el aislamiento acústico se debe proporcionar considerando las condiciones requeridas en cada ubicación, no siendo necesario invertir en exceso en aislación acústica, cuando las características de ruido del lugar no lo ameritan. En este punto cobra importancia mantener actualizado un mapa de ruido de la ciudad, para exigir ciertas condiciones de confort acústico mínimo en aquellos lugares de la ciudad donde el ruido genera problemas a las viviendas aledañas.

DEDICATORIA

A mi familia.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a mi madre y a mi hermano por su amor incondicional. A Ricardo, por apoyarme siempre, y a mis hijos por darme la fuerza para terminar este proceso.

Le agradezco a don Adolfo por aparecer en nuestro camino y proponerse abrir todas las puertas que antes nos fueron cerradas. Por su apoyo y sus palabras siempre llenas de confianza. A Karina y Ángel por ayudarme a concluir este proyecto.

Tabla de contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Introducción General y Motivación.....	1
1.2	Alcance.....	1
1.3	Objetivos	2
1.3.1	Objetivo general.	2
1.3.2	Objetivos Específicos.	2
1.4	Metodología de trabajo	2
2	MARCO TEÓRICO	3
2.1	Conceptos	3
2.1.1	Sonido	3
2.1.2	Frecuencia.....	3
2.1.3	Velocidad de propagación del sonido (c)	5
2.1.4	Longitud de Onda (λ).....	5
2.1.5	Nivel de presión sonora (NPS)	5
2.1.6	Sonoridad	6
2.1.7	Decibel, (dB).....	7
2.1.8	Escala ponderada A de niveles, (dBA)	7
2.1.9	Tiempo de reverberación.....	7
2.1.10	Ruido blanco y ruido rosa	8
2.2	Confort acústico.....	8
2.2.1	Ruido.....	8
2.2.2	Fuentes de Ruido	8
2.2.3	Ruido de Fondo	9
2.2.4	Niveles admisibles	9
2.2.5	Absorción y aislación acústica	10
2.3	Aislación acústica	10

2.3.1	Nivel de presión sonora	11
2.3.2	Nivel sonoro continuo equivalente	11
2.3.3	Índice de reducción sonora.....	11
2.3.4	Índice de reducción sonora aparente.....	11
2.3.5	Área de absorción sonora equivalente.....	12
2.3.6	Índice de reducción sonora aparente con altavoz, 45°	12
2.3.7	Índice de reducción sonora aparente con ruido de tráfico	12
2.3.8	Diferencia de niveles	13
2.3.9	Diferencia de niveles estandarizada	13
2.3.10	Diferencia de niveles normalizada	13
2.3.11	Número único para la evaluación del aislamiento acústico al ruido aéreo.....	13
2.3.12	Corrección por ruido de fondo	14
2.3.13	Términos de adaptación de espectro (C; C _{tr})	14
2.3.14	Descriptores	15
3	METODOLOGÍA DE ENSAYO	16
3.1	Análisis de normativa internacional.....	16
3.2	Consideraciones generales para ambos métodos	16
3.2.1	Instrumentación	16
3.2.2	Bandas de frecuencia.....	16
3.2.3	Corrección por tiempo de reverberación	17
3.3	Metodología de medición con altavoz	17
3.3.1	Método del altavoz para elementos	18
3.3.2	Método global con altavoz	19
3.4	Metodología de medición con ruido de tráfico.....	19
3.4.1	Método con ruido de tráfico para elementos	20
3.4.2	Método global con ruido de tráfico	20
3.5	Mediciones en el local de recepción para ambos métodos	21

3.6	Resumen de descriptores	21
3.7	Equipos utilizados.....	22
4	ENSAYOS	24
4.1	Clasificación de Ensayos	24
4.1.1	Fachadas con ventana	24
4.1.2	Fachadas con puerta.....	24
4.1.3	Ensayos especiales.....	25
4.2	Descripción de fachadas con ventana ensayadas.	26
4.2.1	Vivienda V1, Eduardo Castillo Velasco, Ñuñoa.....	26
4.2.2	Vivienda V2, Martín de Zamora, Las Condes (Living Comedor).....	27
4.2.3	Vivienda V3, Martín de Zamora, Las Condes (Dormitorio)	29
4.2.4	Vivienda V4, Avenida Grecia, Ñuñoa.....	30
4.2.5	Vivienda V5, Pericles, Ñuñoa (fachada trasera).....	32
4.2.6	Vivienda V6, Pericles, Ñuñoa (fachada delantera)	33
4.2.7	Vivienda V7, Fray Montalva, Las Condes	34
4.2.8	Vivienda V8, Fray Montalva, Las Condes (Ventana terminada)	36
4.2.9	Vivienda V9, Vicuña Mackenna, Santiago Centro.....	36
4.3	Fachadas con Puerta.....	39
4.3.1	Vivienda P1, Fray Montalva, Las Condes	39
4.3.2	Vivienda P2, Ladislao Errazuriz, Providencia.....	40
4.3.3	Vivienda P3, Pedro de Valdivia, Ñuñoa	41
4.4	Ensayos Especiales.....	42
4.4.1	Ensayo E1, Puerta de Laboratorio	42
4.4.2	Ensayo E2, Panel de fibrocemento con perforaciones.....	43
4.4.3	Ensayo E3, Panel de fibrocemento con agujeros.....	44
5	FICHA DE RESULTADO DE LOS ENSAYOS	45
5.1	Ensayos a Fachadas con ventana	45

Vivienda V1, Eduardo Castillo Velasco, Ñuñoa.....	45
5.2 Ensayos a Fachadas con puerta.....	54
6 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	57
6.1 Análisis comportamiento de fachadas con vidrio simple	57
6.2 Análisis comportamiento de fachadas con vidrio doble y termopanel	63
6.3 Análisis comportamiento de fachadas puertas.....	66
6.4 Ensayos especiales	68
6.4.1 Ensayo E1, Puerta de Laboratorio	68
6.4.2 Ensayo E2, Panel de fibrocemento con perforaciones.....	69
6.4.3 Ensayo E3, Panel de fibrocemento con agujeros.....	72
6.5 Resumen del análisis.....	74
6.6 Análisis de casos	75
6.6.1 Elemento dominante del conjunto.....	75
6.6.2 Estanqueidad en puertas.....	75
6.6.3 Modificación a un elemento	75
6.6.4 Comportamiento de elementos iguales de distinto tamaño	76
7 CONCLUSIONES	78
8 RECOMENDACIONES.....	81
9 BIBLIOGRAFÍA.....	82

Índice de figuras

Figura 2-1 – Evolución de la presión sonora en función del tiempo (Figura 1.2, Carrión, Antoni. Diseño acústico de espacios arquitectónicos)

Figura 2-2 – Ejemplos de oscilaciones de frecuencias de 1 y 10 Hz (Figura 1.3, Carrión, Antoni. Diseño acústico de espacios arquitectónicos)

Figura 2-3. Frecuencias preferentes para bandas de octava y tercio de octava.

Figura 2-4 – Espectro en bandas de tercio de octava.

Figura 2-5 – Campo Audible. Fuente: Figura 1.1, Referencia [14]

Figura 2-6 – Ejemplo de intensidad de sonido, Dos senoides de frecuencia 200 Hz. La de mayor amplitud se percibe más sonora. Fuente: Figura 2.2, Referencia [4]

Figura 2-7 – Niveles de sonoridad, Curvas de Fletcher y Munson. Fuente: Figura 2.4, Referencia [4]

Figura 2-8 – Curva de ponderación A. Fuente: Figura 1.17, Referencia [1]

Figura 2-9 – Espectro típico de ruido de tráfico. Fuente Norma básica Española NBE-CA-88.

Figura 2-10 : Trayectorias de transmisión en una infraestructura para ensayo.

Figura 2-11 : Curva de referencia descrita en la norma ISO 717-1.

Figura 3-1 – Posición del altavoz frente a la fachada. Fuente: Figura 1, Referencia [10]

Figura 3-2 – Condiciones para el uso de ruido de tráfico. Figura 3, Referencia [10]

Figura 4-1 – Vista exterior e interior de la fachada utilizada para el ensayo.

Figura 4-2 – Vista en planta y elevación del recinto utilizado para el ensayo.

Figura 4-3 – Vista interior de la fachada utilizada para el ensayo.

Figura 4-4 – Detalle cierre perimetral.

Figura 4-5 – Vista en planta y elevación del recinto utilizado para el ensayo.

Figura 4-6 – Vista interior de la fachada utilizada para el ensayo.

Figura 4-7 – Vista en planta y elevación del recinto utilizado para el ensayo.

Figura 4-8 – Vista exterior de la fachada utilizada para el ensayo

Figura 4-9 – Detalle de la terminación de ventana utilizada para el ensayo.

Figura 4-10 – Vista en planta y elevación del recinto utilizado para el ensayo.

Figura 4-11 : Vista interior de la fachada utilizada para el ensayo.

Figura 4-12 – Vista en planta y elevación del recinto utilizado para el ensayo.

Figura 4-13 – Vista interior de la fachada utilizada para el ensayo.

Figura 4-14 – Vista en planta y elevación del recinto utilizado para el ensayo.

Figura 4-15 – Vista exterior e interior de la fachada utilizada para el ensayo.

Figura 4-16 – Vista en planta del recinto utilizado para el ensayo.

Figura 4-17 – Vista interior de la fachada utilizada para el ensayo y detalle de la terminación de la misma.

Figura 4-18 – Vista exterior e interior de la fachada utilizada para el ensayo.

Figura 4-19 – Detalle del cierre de la ventana ensayada

Figura 4-20 – Plano del recinto ensayado.

Figura 4-21 – Vista exterior e interior de la puerta ensayada.

Figura 4-22 – Vista exterior e interior de la fachada utilizada para el ensayo.

Figura 4-23 – Vista exterior e interior de la fachada utilizada para el ensayo.

Figura 4-24 – A la izquierda vista exterior de la puerta de la sala reverberante, a la derecha detalle del sistema de cierre de la misma.

Figura 4-25 – A la izquierda el hueco donde se instala el panel reforzado con bandas acústicas y a la derecha, el panel instalado visto desde el interior de la sala reverberante.

Figura 4-26 – Secuencia de perforaciones.

Figura 4-27 – Secuencia de grandes perforaciones.

Figura 6-1 : Comportamiento esperado de un vidrio monolítico en laboratorio para espesores de 4, 8 y 10 mm

Figura 6-2 : Valores típicos de índice de reducción acústica para elementos constructivos. Fuente: Figura 3.5, Referencia [13]

Figura 6-3 : Tabla para estimar R_w para un muro heterogéneo con diferente índice de reducción acústica. Fuente: Figura 3.8, Referencia [13]

Figura 6-4 : Esquema de una felpa del tipo Poly-Bond.

Figura 6-5 : Curvas de aislación acústica obtenidas en ensayos V1 y V3.

Figura 6-6 : Relación de la disminución de la Frecuencia crítica en función del espesor de los vidrios y del espesor de la cámara de aire.

Figura 6-7 : Comportamiento esperado de un doble acristalamiento con cámara de aire, comparado con acristalamientos simples de 4 y 8 mm.

Figura 6-8 : Tipos de acristalamiento.

Figura 6-9 : A la izquierda gráfico de los resultados para $D_{2m, nT}$ obtenidos para la apertura de puerta y a la derecha las respectivas curvas de referencia.

Figura 6-10 : Resultados para $D_{2m, nT}$ obtenidos para las distintas perforaciones del panel de fibrocemento.

Figura 6-11 : Acercamiento de los resultados para $D_{2m, nT}$ obtenidos para las distintas perforaciones del panel de fibrocemento.

Figura 6-12 : Gráfico del comportamiento de parámetro $D_{2m, nT} + C_{TR}$ con respecto al porcentaje de área perforado.

Figura 6-13 : Resultados para $D_{2m, nT}$ obtenidos para los distintos agujeros del panel de fibrocemento.

Figura 6-14 : Gráfico del comportamiento de parámetro $D_{2m, nT} + C_{TR}$ con respecto al porcentaje de área perforado.

Figura 7-1 : Resultados generales.

Figura 7-2 : Valores indicados por el mapa de ruido.

Figura 8-1 : Recomendaciones DR_HR Diciembre 2019.

Índice de tablas

Tabla 2-1 : Niveles recomendados por la OMS para ruido interior.

Tabla 2-2 – Valores en dBA de los espectros sonoros para el cálculo de los términos de adaptación de espectro, según ISO 717-1.

Tabla 3-1 : Resumen de descriptores para ensayos

Tabla 5-1 : Resultados V1

Tabla 5-2 : Resultados V2

Tabla 5-3 : Resultados V3

Tabla 5-4 : Resultados V4

Tabla 5-5 : Resultados V5

Tabla 5-6 : Resultados V6

Tabla 5-7 : Resultados V7

Tabla 5-8 : Resultados V8

Tabla 5-9 : Resultados V9

Tabla 5-10 : Resultados P1

Tabla 5-11 : Resultados P2

Tabla 5-12 : Resultados P3

Tabla 6-1 : Frecuencias críticas para vidrios simples de espesores comunes.

Tabla 6-2 : Resultados obtenidos en fachadas con vidrio simple.

Tabla 6-3 : Índice de reducción sonora para un vidrio simple de acuerdo a la ley de masas.

Tabla 6-4 : Análisis teórico de los resultados en las viviendas con vidrio simple.

Tabla 6-5 : Comparativa resultados ensayo versus teóricos.

Tabla 6-6 : Frecuencias críticas para acristalamientos dobles ensayados.

Tabla 6-7 : Resultados obtenidos en fachadas con vidrio doble o termopanel.

Tabla 6-8 : Resultados obtenidos en fachadas con vidrio doble o termopanel.

Tabla 6-9 : Comparativa resultados ensayos versus teóricos.

Tabla 6-10 : Comparativa resultados ensayos versus teóricos.

Tabla 6-11 : Comparativa resultados ensayos versus teóricos.

Tabla 6-12 : Comparativa resultados ensayos versus teóricos.

Tabla 6-13 : Resultados de $D_{2m, nT}$ para apertura de puerta

Tabla 6-14 : Resumen del valor único de aislación $D_{2m, nT}$ para apertura de puerta

Tabla 6-15 : Datos de $D_{2m, nT}$ para panel de fibrocemento con perforaciones (Parte 1).

Tabla 6-16 : Datos de $D_{2m, nT}$ para panel de fibrocemento con perforaciones (Parte 2).

Tabla 6-17 : Datos de $D_{2m, nT}$ para panel de fibrocemento con agujeros.

Tabla 6-18 : Resumen resultados vidrio simple

Tabla 6-19 : Resumen resultados vidrio doble termo panel

Tabla 6-20 : Resumen resultados puertas

Tabla 6-21 : Comportamiento de una ventana que ha sido modificada

Tabla 6-22 : Comportamiento de una ventana al variar su tamaño.

Tabla 7-1 : Cumplimiento de las recomendaciones de la OMS.

Tabla 7-2 : Cumplimiento de las recomendaciones de la OMS.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción General y Motivación

En Chile rige una regulación que establece los requisitos mínimos de aislación acústica, para muros que separen o dividan unidades de vivienda que sean parte de un edificio colectivo, o entre unidades de vivienda de edificaciones continuas, o entre unidades de viviendas de edificaciones pareadas, o entre unidades de vivienda que estén contiguas a recintos no habitables. Estos requisitos se establecen en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), en su artículo 4.1.6. Sin embargo, un tema pendiente para el Ministerio de la Vivienda (MINVU) es incluir en la OGUC regulaciones para aquellos muros que no sean utilizados como separación entre viviendas sino que sean la separación entre la unidad de vivienda y el exterior.

En 2011 el Ministerio del Medio Ambiente, en conjunto con la Universidad Austral de Chile, realizaron un importante aporte a este tema con la elaboración de un “Mapa de Ruido del Gran Santiago”. Los mapas de ruidos son representaciones gráficas del ruido existente en una localidad y permiten, a partir de una escala de colores, identificar los sectores donde es necesario intervenir, como también aquellos sectores tranquilos que se deben proteger y evitar un aumento del ruido.

En este caso, las fuentes modeladas correspondieron al tránsito vehicular y ferroviario - en superficie-, no contemplando el ruido generado por otras fuentes, como aviones, industrias y otras fuentes fijas, ni tampoco el ruido existente en el vecindario y que es generado por la actividad de las personas, por lo que dentro del análisis de esta tesis de pregrado, la herramienta será utilizada como referencia, siendo de vital importancia realizar mediciones en terreno.

Conocer la aislación acústica de una vivienda, con respecto al ruido exterior, es el primer paso para regular con respecto a este tema, pudiendo de esta manera conocer los aspectos más débiles en los sistemas constructivos analizados.

En este contexto, este trabajo de título es el primer indicio de la realidad que las viviendas chilenas poseen en aislación acústica.

1.2 Alcance

El presente estudio busca mostrar la realidad en aislación acústica de algunas fachadas de viviendas, cuantificando los valores de aislamiento e identificando los puntos débiles y fuertes de los sistemas constructivos analizados, ya sea que estos estén en el material utilizado, en el montaje o en las malas prácticas.

Se establecen algunas recomendaciones para mejorar de manera simple la efectividad de las soluciones presentes en las viviendas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general.

Estudiar el aislamiento acústico que ofrecen las fachadas de algunas edificaciones habitacionales utilizadas en el país, y analizar la influencia de sus componentes en el confort acústico interior.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- i. Estudiar la metodología de ensayo de aislamiento acústico de elementos de fachada.
- ii. Recopilar antecedentes de aislamiento acústico de fachadas.
- iii. Realizar una evaluación del aislamiento acústico que ofrecen los sistemas constructivos de fachada, más representativos, utilizados en edificaciones habitacionales en Chile.
- iv. Determinar la influencia de los elementos que constituyen la fachada (puertas y ventanas) en la aislación acústica del conjunto.
- v. Comparar los requerimientos nacionales y extranjeros referentes a aislamiento acústico entre unidades de vivienda.
- vi. Establecer una base para iniciar la discusión en Chile con respecto a las exigencias sobre el aislamiento acústico que ofrecen las envolventes de edificaciones habitacionales.

1.4 Metodología de trabajo

Para llevar a cabo este trabajo se desarrolla la siguiente metodología.

Se mide la aislación acústica en la fachada de algunas viviendas escogidas de acuerdo a la disponibilidad y teniendo en cuenta que lo relevante de las mediciones es la variedad de materialidades y/o la comparación entre una condición base y otra de similares características mejorada.

Se estima el ruido exterior de la vivienda utilizando los datos de la medición y los datos disponibles del mapa de ruido en caso de existir para ese sector. Estos valores se comparan y se tienen presente a la hora de analizar el resultado de la aislación de la fachada de dicha vivienda.

Con los datos obtenidos en el párrafo anterior, se establece cual es el aislamiento que necesita cada vivienda para cumplir con los requerimientos de la OMS.

Finalmente se evalúa para cada vivienda ensayada el cumplimiento de estos requerimientos y se realiza un análisis de su comportamiento.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Conceptos

2.1.1 Sonido

Una vibración mecánica capaz de propagarse por medio de un material elástico y denso como el aire, produce la sensación auditiva que interpretamos como sonido. Éste comienza cuando una fuente sonora emite una vibración que se transmite a las partículas de aire adyacentes generando una compresión y una posterior dilatación de las partículas generando así una oscilación. En el aire libre dicha perturbación se propaga en forma de una onda esférica, cuyo radio va aumentando a medida que pasa el tiempo. La manera más habitual de expresar cualitativamente la magnitud de un sonido o campo sonoro es midiendo la presión que este genera sobre las partículas que perturba, es decir, la fuerza por unidad de superficie, lo que corresponde a la diferencia de presión entre la existente en un punto perturbado y la presión atmosférica estática.

Se observa en la Figura 2-1 que la presión sonora aumenta y disminuye de manera periódica alrededor de un punto de equilibrio que es la presión estática P_0 . Dichas variaciones van asociadas a los procesos de compresión y dilatación comentados anteriormente. El valor máximo de la oscilación respecto a P_0 recibe el nombre de amplitud.

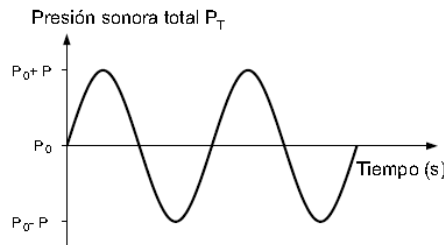


Figura 2-1 – Evolución de la presión sonora en función del tiempo (Figura 1.2, Carrión, Antoni. Diseño acústico de espacios arquitectónicos)

2.1.2 Frecuencia

La cantidad de oscilaciones que un sonido genera en un segundo, se conoce como frecuencia del sonido y se mide en hercios (Hz). La mayoría de los sonidos que percibimos, no cuentan con una única frecuencia, sino que son el resultado de muchas frecuencias superpuestas. En la Figura 2-2 se muestran ejemplos de oscilaciones de frecuencias.

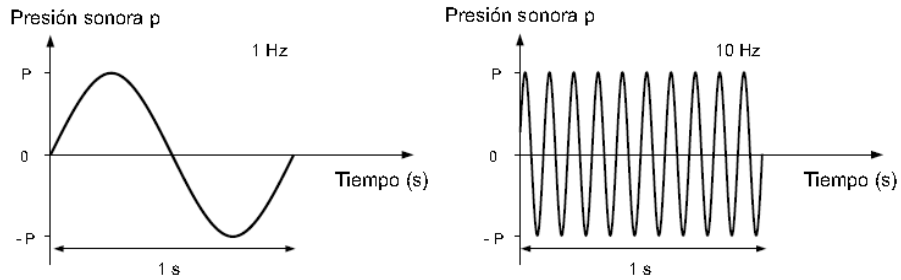


Figura 2-2 – Ejemplos de oscilaciones de frecuencias de 1 y 10 Hz (Figura 1.3, Carrión, Antoni. Diseño acústico de espacios arquitectónicos)

El rango de frecuencia que un ser humano joven y sano puede oír va desde los 20Hz hasta los 20.000Hz aproximadamente, donde un sonido muy grave está caracterizado por bajas frecuencias y uno agudo, por altas. Al ser un rango muy amplio de frecuencias no es posible realizar un análisis individual de cada una de ellas por lo que se estableció crear rangos de frecuencias que se conocen como bandas de octava y bandas de tercios de octava.

Una octava corresponde a un intervalo de frecuencias comprendido entre una frecuencia determinada y otra igual al doble de la anterior. El nombre que recibe la banda, corresponde a la frecuencia central de dicho rango. De la misma manera se definen las bandas de tercio de octava.

Las frecuencias preferentes son indicadas en la Norma UNE 74.002-78, para bandas de octava y de tercio de octava como se muestra en la Figura 2-3 y en la Figura 2-4.

Frecuencias Preferentes (Hz)	
f octava	f 1/3 octava
125	100 / 125 / 160
250	200 / 250 / 315
500	400 / 500 / 630
1000	800 / 1000 / 1250
2000	1600 / 2000 / 2500
4000	3150 / 4000 / 5000

Figura 2-3. Frecuencias preferentes para bandas de octava y tercio de octava.

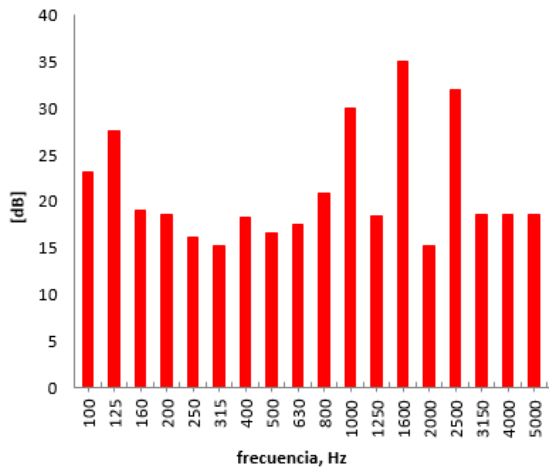


Figura 2-4 – Espectro en bandas de tercio de octava.

2.1.3 Velocidad de propagación del sonido (c)

La velocidad de propagación del sonido es una función de la elasticidad y densidad del medio de propagación. Como es el aire la fuente más frecuente de propagación y aquí estos parámetros dependen de la presión atmosférica estática y la temperatura, al considerar condiciones normales de 1 atmosfera y 25°C la velocidad de propagación del sonido es de aproximadamente 345 m/s.

2.1.4 Longitud de Onda (λ)

Definidos la frecuencia y velocidad de propagación es necesario definir el parámetro que los relaciona, la longitud de onda. Ésta es la distancia entre dos puntos consecutivos en el mismo estado de vibración en cualquier instante de tiempo.

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ [m]}$$

La longitud de onda es importante pues establece “el espacio” que necesita una onda para pasar a través de un material, un objeto grande comparado con la longitud de onda es capaz de alterar significativamente la propagación del sonido cuando se interpone entre la fuente sonora y el oyente. Por ejemplo, los sonidos graves (cuyas longitudes de onda corresponden a varios metros) pueden “doblar en la esquina fácilmente”, sin embargo, los agudos (longitudes de apenas centímetros) se ven considerablemente atenuados.

2.1.5 Nivel de presión sonora (NPS)

El nivel de presión sonora es la caracterización del sonido expresado en decibeles, indica la mayor o menor intensidad de este. El NPS corresponde a diez veces el logaritmo de la relación al cuadrado entre la presión de interés y la mínima presión que podemos percibir.

El oído humano percibe entre 0 y 130 dB existiendo rangos conocidos como los umbrales de audición y del dolor según se muestra en la Figura 2-5.

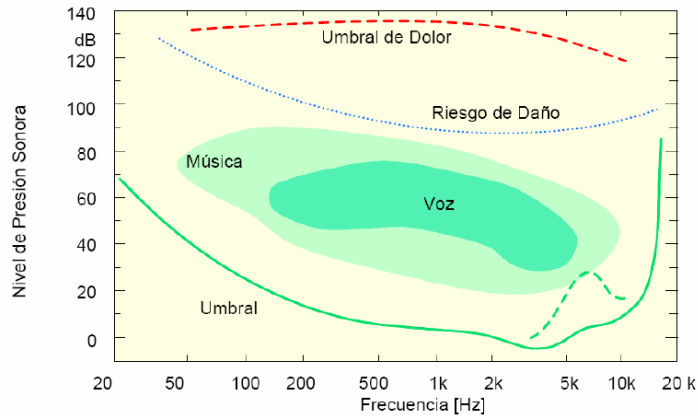


Figura 2-5 – Campo Audible. Fuente: Figura 1.1, Referencia [14]

2.1.6 Sonoridad

El volumen o intensidad de percepción de un sonido está relacionado con la amplitud del mismo, sin embargo, al ser la interpretación que realiza el cerebro de una vibración, la frecuencia de este toma un rol importante en como sentimos ese sonido.

En la Figura 2-6, se muestran dos sonidos donde el de mayor amplitud se reconoce como el más sonoro, sin embargo, si aumentamos la frecuencia del de menor amplitud podemos lograr que nuestro cerebro lo interprete más sonoro que aquel del de mayor amplitud.

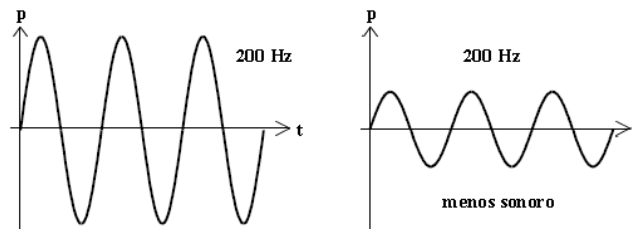


Figura 2-6 – Ejemplo de intensidad de sonido, Dos senoides de frecuencia 200 Hz. La de mayor amplitud se percibe más sonora. Fuente: Figura 2.2, Referencia [4]

El efecto anterior se debe a que el oído es más sensible a las frecuencias centrales, lo que llevó a determinar los niveles de sonoridad como se muestra en la Figura 2-7.

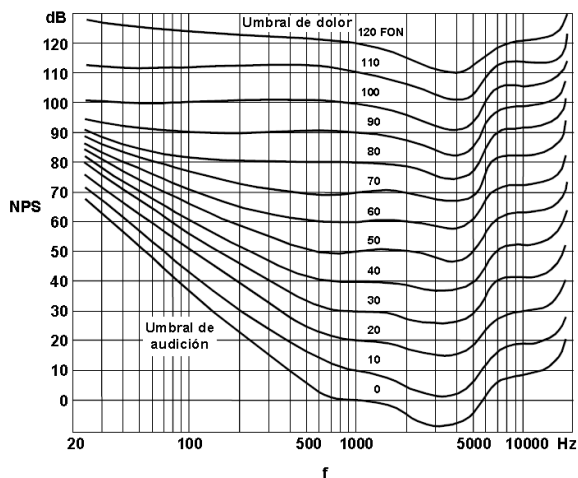


Figura 2-7 – Niveles de sonoridad, Curvas de Fletcher y Munson. Fuente: Figura 2.4, Referencia [4]

2.1.7 Decibel, (dB)

Decibel es una unidad que se utiliza para expresar la relación entre dos valores de presión sonora. Se utiliza esta escala logarítmica porque la sensibilidad que presenta el oído humano a las variaciones de intensidad sonora sigue una escala aproximadamente logarítmica, no lineal.

2.1.8 Escala ponderada A de niveles, (dBA)

Esta es una escala de medida de niveles que se establece mediante el empleo de la curva de ponderación A representada en la Figura 2-8 tomada de la norma UNE 21-314-75 para compensar las diferencias de sensibilidad del oído humano mencionadas en el punto 2.1.6.

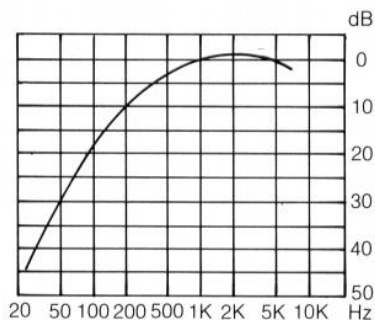


Figura 2-8 – Curva de ponderación A. Fuente: Figura 1.17, Referencia [1]

2.1.9 Tiempo de reverberación

Este es un parámetro que caracteriza a un lugar o recinto y corresponde al tiempo en que un sonido tarda en decaer una cierta cantidad de decibeles a partir del momento en que este se deja de producir. Se puede establecer el tiempo en que demora en decaer 20dB, 30dB y 60dB, sin embargo, finalmente lo que se obtiene se adapta para estimar el tiempo que tarda el sonido en disminuir 60dB y este valor se conoce como T60.

2.1.10 Ruido blanco y ruido rosa

Estos son los ruidos utilizados para efectuar medidas normalizadas. Se denomina ruido blanco al que contiene todas las frecuencias con la misma intensidad. Su espectro en tercios de octava es una recta de pendiente 3 dB/octava. Si el espectro, en tercios de octava es un valor constante, se denomina ruido rosa.

2.2 Confort acústico

Esta es una sensación subjetiva de bienestar, sin embargo se considera un ambiente cómodo aquel donde los ocupantes de un espacio perciben que el ambiente sonoro es adecuado para las actividades que en él se están realizando.

La estrategia para diseñar ambientes con alta calidad acústica se fundamenta en el doble objetivo de limitar el nivel de ruido y garantizar la calidad de la audición.

2.2.1 Ruido

Se entiende como ruido un sonido que produce la sensación de incomodidad y que no permite desarrollar tranquilamente las actividades.

Las formas de transmisión del ruido son principalmente ruido impacto y ruido aéreo. El primero de ellos es causado por acciones como mover muebles, golpear puertas, caídas de objetos o simplemente los pasos de las personas. Este sonido genera una vibración en la estructura del edificio que hace que se convierta en un foco sonoro.

El otro tipo de ruido, que es el que será de interés para este trabajo, es el ruido aéreo. Este es el sonido que se transmite por el aire y se propaga a través de los cerramientos. Los ruidos aéreos pueden propagarse desde el exterior al interior o de una vivienda a otra.

La solución para aislar estos tipos de ruido no es la misma, sin embargo es el mismo problema planteado. ¿Qué cantidad de ruido debe dejar pasar el elemento constructivo?

2.2.2 Fuentes de Ruido

En una vivienda o edificio existen varias fuentes de ruido que se pueden clasificar como fuentes internas y fuentes externas. En el primer grupo se encuentran los ruidos generados por el uso de los recintos, ya sea conversación, uso de artículos eléctricos como radio, aspiradora, etc.

En el segundo grupo se encuentran las fuentes naturales de ruido (viento, mar, animales) y las fuentes artificiales difusas como lo es en particular el tráfico de rodados.

El tráfico suele ser la primera causa de la contaminación acústica en las ciudades, y que es prácticamente imposible de erradicar dada la necesidad de las personas de transportarse. Esta es una actividad permanente y anónima, por lo que no hay manera de manejar el problema desde la fuente como se puede hacer con algunos otros tipos de ruidos.

Existen muchos estudios respecto a cómo se comporta el ruido de tráfico, en particular se tomará lo indicado en la Norma básica Española NBE-CA-88.

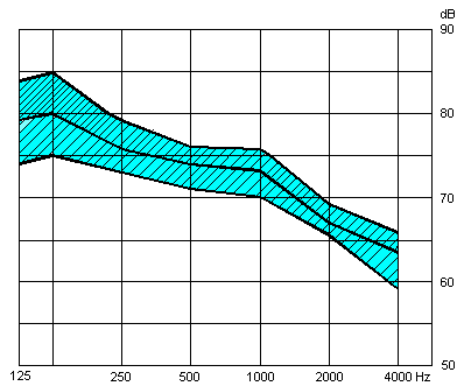


Figura 2-9 – Espectro típico de ruido de tráfico. Fuente Norma básica Española NBE-CA-88.

2.2.3 Ruido de Fondo

El ruido de fondo corresponde a cualquier sonido indeseado que se produce de forma simultánea a la realización de una medida acústica, y que puede afectar al resultado de la misma.

Para determinar su influencia en la medición, es necesario registrar el ruido de fondo y ver si éste cumple ciertos requisitos en relación a la medición. Comúnmente este ruido se desprecia cuando su valor está cierta cantidad de decibelios por debajo del ruido medido. Si el valor medido del ruido de fondo está sobre cierta cantidad, se realiza una corrección a los valores medidos que será descrita más adelante pues los valores dependen del ensayo que se esté efectuando.

2.2.4 Niveles admisibles

Los trastornos del sueño es uno de los efectos más graves de ruido ambiental, causando efectos tanto inmediatos como al día siguiente. Los efectos a largo plazo son principalmente sobre la salud mental y cardiovascular. En los países occidentales, los problemas del sueño son cada vez más comunes.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) proporciona algunas directrices sobre límites deseables para la exposición al ruido de día y de noche. De acuerdo con estas directrices, la exposición media durante la noche no debe superar los 40 dB, que corresponden al sonido de una calle tranquila de una zona residencial. Las personas expuestas a niveles más altos durante todo el año pueden sufrir efectos de salud leves, como alteraciones del sueño e insomnio. Una exposición promedio a largo plazo a niveles superiores a 55 dB, similar al ruido de una calle muy transitada, puede provocar presión arterial elevada y ataques cardíacos.

Los requerimientos de niveles de ruido día no quedan del todo claro, sin embargo, dependiendo de la utilidad del recinto, se consideran los valores descritos en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1 : Niveles recomendados por la OMS para ruido interior.

Destino/Actividad	Nivel máximo de Ruido [dB]
Dormitorio	30 a 40
Biblioteca silenciosa	35 a 40
Salas de estar	40 a 45
Oficinas Privadas	40 a 45
Salas de clases	40 a 45
Oficinas Generales	45 a 50

2.2.5 Absorción y aislación acústica

Absorción es la magnitud que cuantifica la energía extraída del campo acústico cuando la onda sonora atraviesa un medio determinado. La absorción depende del coeficiente de absorción α y es una propiedad del material que relaciona la energía acústica absorbida y con la incidente sobre dicho material.

Este coeficiente es diferente para cada frecuencia de sonido por lo que es necesario establecer las frecuencias principales que perturban la calidad acústica de una vivienda para ser capaces de encontrar el material indicado que es capaz de acondicionar dichas frecuencias.

En cambio la Aislación es la reducción de la intensidad acústica cuando un sonido atraviesa un elemento constructivo y su valor es diferente en cada frecuencia.

2.3 Aislación acústica

El aislamiento acústico es una manera de atenuar la transmisión de energía sonora que pasa de un ambiente a otro. La energía se puede transmitir vía aérea (por el aire) o vía sólida (transmisión por vibraciones de elementos), de acuerdo a esto, la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra las posibles trayectorias de un sonido.

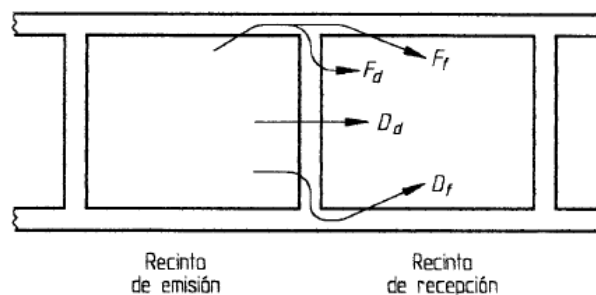


Figura 2-10 : Trayectorias de transmisión en una infraestructura para ensayo.

Sin embargo, esta teoría es válida para ensayos de laboratorio donde es posible despreciar el sonido transmitido por los flancos. Para ensayos in-situ, es necesario considerar que el sonido no llega exclusivamente por el material ensayado.

Para desarrollar las metodologías que miden la aislación acústica de fachadas de viviendas, es necesario describir ciertos parámetros y definiciones.

2.3.1 Nivel de presión sonora

Como se menciona en el punto 2.1.5 el NPS relaciona al cuadrado la presión de interés y la mínima presión que podemos percibir, durante los ensayos este nivel se obtiene mediante el sonómetro y corresponde al promedio de los niveles registrados en un intervalo de tiempo determinado. Este valor tiene asociado un nivel para cada banda de tercio de octava.

En la Ec. (1) se describe la forma de calcular el NPS.

$$L_1 = 10 \log \frac{P^2}{P_0^2} [dB] \quad Ec. (1)$$

2.3.2 Nivel sonoro continuo equivalente

Debido a que el nivel de presión sonora es relativo a la frecuencia, éste se cuantifica mediante un solo valor, el cual corresponde a la suma energética de los promedios energéticos de cada frecuencia en un intervalo de tiempo determinado, este valor es llamado L_{eq} o bien NPS_{eq}

$$Leq = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_1^T 10^{Lp/10} dt \right) \quad Ec. (2)$$

2.3.3 Índice de reducción sonora

También conocido como “pérdida transmisión sonora” este índice es diez veces el logaritmo del cociente entre la potencia sonora W_1 , incidente en la muestra de ensayo y la potencia sonora W_2 transmitida a través de la muestra.

$$R = 10 \log \frac{W_1}{W_2} [dB] \quad Ec. (3)$$

W_1 , potencia sonora incidente en la muestra en ensayo.

W_2 , potencia sonora transmitida a través de la muestra.

2.3.4 Índice de reducción sonora aparente

Es diez veces el logaritmo del cociente entre la potencia sonora W_1 , incidente en la muestra de ensayo y la potencia sonora total transmitida al local de recepción. Se utiliza cuando además de la potencia W_2 radiada por la muestra, existe una significativa potencia W_3 radiada por los elementos laterales o por otros componentes.

$$R' = 10 \log \frac{W_1}{(W_2 + W_3)} [dB] \quad Ec. (4)$$

W_1 , potencia sonora incidente en la muestra en ensayo.

W_2 , potencia sonora transmitida a través de la muestra.

W_3 , potencia sonora transmitida por elementos laterales u otros componentes.

2.3.5 Área de absorción sonora equivalente

$$A = 0,16 \frac{V}{T} \quad Ec. (5)$$

A, Volumen en el local de recepción.

T, Tiempo de reverberación en el local de recepción.

2.3.6 Índice de reducción sonora aparente con altavoz, 45°

Es la medida del aislamiento a ruido aéreo de un elemento de edificación cuando se usa como fuente sonora un altavoz con un ángulo de incidencia de 45°. El ángulo de incidencia sonora es el ángulo entre el eje del altavoz dirigido al centro de la muestra y la normal a la superficie de la fachada.

$$R'_{45^\circ} = L_{1,s} - L_2 + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) - 1,5 [dB] \quad Ec. (6)$$

$L_{1,s}$, nivel medio de presión sonora en la superficie de la muestra de ensayo.

L_2 , nivel medio de presión sonora en la habitación.

S, área del elemento en ensayo.

A, es el área de absorción sonora equivalente del local de recepción

2.3.7 Índice de reducción sonora aparente con ruido de tráfico

Es la medida del aislamiento de ruido aéreo del elemento de un edificio cuando la fuente sonora es el ruido de tráfico y el micrófono exterior está situado en la superficie de ensayo.

$$R'_{tr,s} = L_{eq,1,s} - L_{eq,2} + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) - 3 [dB] \quad Ec. (7)$$

$L_{eq,1,s}$, media del nivel sonoro continuo equivalente en la superficie de ensayo incluyendo los efectos de reflexión en la muestra y fachada.

$L_{eq,2}$, media del nivel sonoro continuo equivalente en el local de recepción.

S, área del elemento en ensayo.

A, es el área de absorción sonora equivalente del local de recepción

2.3.8 Diferencia de niveles

Es la diferencia, en decibeles, entre el nivel de presión sonora medido en el exterior, a 2 m frente a la fachada $L_{1,2m}$ y el valor medio del nivel de presión sonora en el interior del local de recepción.

$$D_{2m} = L_{1,2m} - L_2 \text{ [dB]} \quad \text{Ec. (8)}$$

Cuando la fuente es ruido de tráfico, la notación es $D_{tr,2m}$

Cuando la fuente es un altavoz, la notación es $D_{ls,2m}$

2.3.9 Diferencia de niveles estandarizada

Es la diferencia de niveles, en decibeles, correspondiente a un valor de referencia del tiempo de reverberación en el local de recepción. Es el parámetro que predomina en el análisis del comportamiento de fachadas de viviendas.

$$D_{2m,nT} = D_{2m} + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \text{ [dB]} \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde, $T_0 = 0,5$ s.

Cuando la fuente es ruido de tráfico, la notación es $D_{tr,2m,nT}$

Cuando la fuente es un altavoz, la notación es $D_{ls,2m,nT}$

2.3.10 Diferencia de niveles normalizada

Es la diferencia de niveles, en decibeles, correspondiente a un valor área de absorción de referencia en el local de recepción.

$$D_{2m,n} = D_{2m} + 10 \log \left(\frac{A}{A_0} \right) \text{ [dB]}$$

Donde, $A_0 = 10$ m².

Cuando la fuente es ruido de tráfico, la notación es $D_{tr,2m,n}$

Cuando la fuente es un altavoz, la notación es $D_{ls,2m,n}$

2.3.11 Número único para la evaluación del aislamiento acústico al ruido aéreo

Valor, en decibeles, que toma la curva de referencia en 500Hz después de desplazarla de acuerdo al método descrito en la norma ISO 717-1

Para evaluar los resultados de las mediciones en bandas de 1/3 de octava (o de octava), se traslada la curva de referencia en pasos de 1 dB hacia la curva medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea lo mayor posible sin superar los 32 dB (o 10 dB en bandas de octava)

La curva de referencia queda descrita por la pendiente que toma en cada tramo, como se muestra en la Figura 2-11 , esta aumenta 3 dB en el primer tramo, 1 dB en el segundo, y se mantiene constante.

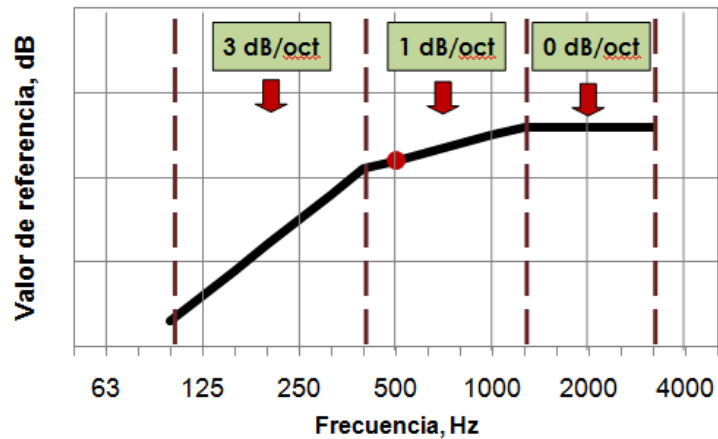


Figura 2-11 : Curva de referencia descrita en la norma ISO 717-1.

2.3.12 Corrección por ruido de fondo

Se deben hacer mediciones de niveles de ruido de fondo para asegurar que las observaciones en el recinto de recepción no sean afectadas por sonidos ajenos a la medición. Si la diferencia en los niveles es menor que 15 o 10 dB pero mayor que 6 dB (dependiendo del ensayo que se realice), se debe calcular las correcciones al nivel de la señal de acuerdo a la ecuación:

$$L = 10 \log \left(10^{L_{sb}/10} - 10^{L_s/10} \right) \text{ dB}$$

Donde:

L: Nivel de la señal ajustada, expresado en decibeles (dB);

L_{sb} : Nivel de la señal y ruido de fondo combinados, expresado en decibeles (dB)

L_s : Nivel de ruido de fondo, expresado en decibeles (dB);

Si la diferencia en niveles es menor o igual que 6 dB en cualquier banda de frecuencia, se debe usar una corrección de 1,3 dB correspondiente a una diferencia de 6 dB.

2.3.13 Términos de adaptación de espectro (C; C_{tr})

Valor, en decibeles, que se añade al valor único de aislamiento para tener en cuenta las características de un espectro sonoro en particular.

El término C adapta el número único de aislamiento acústico al espectro C1, correspondiente a ruido rosa en ponderación A. El término C_{tr} , por su parte, adapta el número único de aislamiento acústico al espectro C2, correspondiente a ruido de tráfico urbano en ponderación A, mediante el término C_{tr} . Los valores de estos espectros se observan en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2 – Valores en dBA de los espectros sonoros para el cálculo de los términos de adaptación de espectro, según ISO 717-1.

Frecuencia (Hz)	Espectro C1	Espectro C2
100	-29	-20
125	-26	-20
160	-23	-18
200	-21	-16
250	-19	-15
315	-17	-14
400	-15	-13
500	-13	-12
630	-12	-11
800	-11	-9
1000	-10	-8
1250	-9	-9
1600	-9	-10
2000	-9	-11
2500	-9	-13
3150	-9	-15

2.3.14 Descriptores

Los descriptores utilizados para ruido aéreo se basan principalmente en el Índice de reducción sonora R y en la Diferencia de nivel de Presión sonora D.

Tomando estos descriptores como base se ponderan las diferentes frecuencias, o bien el tamaño del elemento divisorio, o bien el tiempo de reverberación, todo esto se hace con la finalidad de disminuir la desviación entre un caso general y un caso particular.

Cuando a un descriptor se le agrega el superíndice ' nos encontramos frente a un valor aparente, es decir, incluye otras vías de propagación del ruido adicionales al elemento medido. Es este un valor representativo de la situación real.

Cuando a un descriptor se le agrega el subíndice **w** implica que los valores han sido ponderados de manera de obtener una cifra única de acuerdo a lo señalado en la norma ISO717-1.

Cuando a un descriptor se le agrega el subíndice **n** implica que se ha normalizado la diferencia de reverberación entre el recinto emisor y receptor.

Cuando a un descriptor se le agrega el subíndice **s** implica que se ha estandarizado para un tiempo de reverberación de 0,5 segundos.

3 METODOLOGÍA DE ENSAYO

3.1 Análisis de normativa internacional

Para el desarrollo de este trabajo se revisa la metodología de ensayo descrita en la norma Internacional ISO 140-5: 1998 y en la estadounidense ASTM E966 - 10e1. Ambas contienen la metodología para evaluar la aislación a ruido aéreo de fachadas de vivienda y elementos que componen las fachadas.

Tomando en consideración que los procedimientos son muy similares y la diferencia se encuentra solamente en el descriptor utilizado, se opta por utilizar la norma internacional ISO 140-5: 1998. Un aspecto importante para esta decisión es que en los otros aspectos de la normativa chilena referidos a aislación acústica se ha considerado solo ésta familia de normas, por lo tanto, se presume que cuando se legisle sobre este tema, se seguirá la misma línea de estudio.

La Norma ISO 140-5: 1998 indica que existen 2 maneras de realizar los ensayos, la primera de ellas consiste en utilizar como fuente de ruido el tráfico existente y la otra, un altavoz. En ambos casos se describen ensayos para fachadas completas y para elementos de fachada. Todo esto se detalla en los siguientes puntos.

3.2 Consideraciones generales para ambos métodos

En términos generales para los métodos que describe la norma se deben tener las siguientes consideraciones:

3.2.1 Instrumentación

- El micrófono debe tener un diámetro máximo de 13 mm.
- El equipo de medida del nivel de presión sonora debe cumplir con los requisitos de las clases 0 o 1 que se especifican en las normas CEI60651 y CEI60804.
- Los filtros de tercio de octava, y si fuera el caso, los filtros de octava deben satisfacer los requisitos de la norma CEI61260
- El equipamiento para la medida del tiempo de reverberación debe cumplir las especificaciones de la norma ISO354.

3.2.2 Bandas de frecuencia

Si las mediciones se hacen en bandas de tercio de octava se debe usar como mínimo las bandas de frecuencia centrales desde 100 Hz hasta 3150 Hz y preferiblemente desde 50 Hz hasta 5000 Hz. Si se realizan en bandas de octava se debe usar como mínimo las bandas de frecuencia centrales desde 125 Hz hasta 2000 Hz y preferiblemente desde 63 Hz hasta 4000 Hz.

3.2.3 Corrección por tiempo de reverberación

El tiempo de reverberación se mide de acuerdo a la norma ISO354 y la medición consiste en registrar el tiempo en que un sonido tarda en disminuir en 60 dB su intensidad. Con este valor, se corrige la diferencia de nivel obteniendo una diferencia de niveles estandarizada D_{nT} .

3.3 Metodología de medición con altavoz

El método de altavoz para elementos de fachada puede proporcionar una estimación del índice de reducción sonora aparente que, bajo ciertas circunstancias, puede compararse con los datos obtenidos en laboratorio.

El método global con altavoces puede cuantificar el aislamiento a ruido aéreo de una fachada completa, sin embargo, estos resultados no son comparables con los obtenidos en laboratorio.

Para llevar a cabo este ensayo, el altavoz se instala en una o más posiciones fuera de la fachada, a una distancia d , con un ángulo de incidencia sonora igual a $45^\circ \pm 5$. Con esto, el nivel de presión sonora, en el caso de elementos de fachada, se determina directamente sobre la muestra y en el caso global, a 2 m frente a esta, así como en el local de recepción. Se calculan entonces, el índice de reducción sonora aparente R'_{45} o la diferencia de nivel $D_{Is, 2m}$.

Debe elegirse una posición del altavoz y una distancia d a la fachada de manera que se minimice la variación del nivel de presión sonora sobre la muestra de ensayo. Esto implica que la fuente sonora se coloque preferentemente en el suelo.

La distancia r de la fuente sonora al centro de la muestra debe ser como mínimo 5 m ($d > 3,5$ m) en el caso del método de los elementos y 7 m ($d > 5$ m) para el método global.

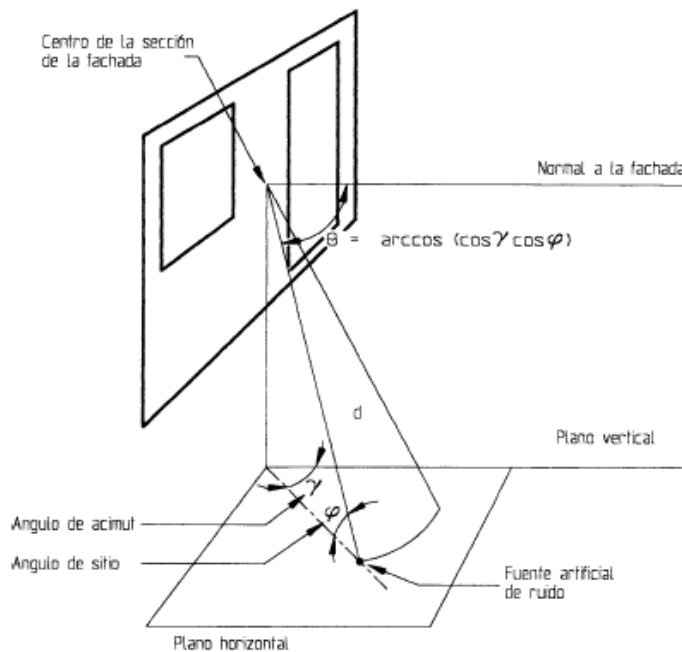


Figura 3-1 – Posición del altavoz frente a la fachada. Fuente: Figura 1, Referencia [10]

El ángulo de sitio corresponde a la inclinación del parlante con respecto a la horizontal. El ángulo de acimut corresponde al ángulo que se forma entre un plano vertical, normal a la fachada y el parlante o fuente de ruido.

3.3.1 Método del altavoz para elementos

Si el objeto de la medición es obtener resultados para comparar con el laboratorio, es necesario:

- Comprobar que el material corresponde a lo especificado y está montado de acuerdo a las instrucciones del fabricante.
- Estimar el índice de reducción sonora de la fachada para asegurarse que la transmisión sonora a través de la pared circundante al elemento no contribuye significativamente al NPS en el local de recepción.
- Comprobar que el hueco de ensayo es representativo del laboratorio y que el nicho y la posición de la ventana responden a la norma ISO140-3.

Para determinar el nivel medio de presión sonora en la superficie del ensayo hay que realizar las mediciones en la superficie del elemento con el micrófono sujeto directamente a la muestra, con el eje paralelo al plano de la fachada, hacia arriba o abajo o con el eje en dirección normal a la fachada.

La distancia desde el centro de la membrana del micrófono debe ser 10mm como máximo si se está en paralelo y 3mm si es perpendicular a la muestra.

Debe pegarse con cinta fuerte y protegerse con una pantalla anti viento.

Si se realizan mediciones simultaneas en el interior y exterior, solo deben usarse micrófonos que no alteren el aislamiento de la muestra al fijarse a esta.

Deben medirse entre 3 y 10 posiciones, dependiendo de la variabilidad de los resultados. Se recomienda comenzar con n=3 posiciones. Si la diferencia en una frecuencia entre 2 posiciones es mayor a n, se incrementa el número de posiciones hasta llegar a 10. Si el elemento está en un retranqueo, las 10 mediciones son necesarias. Si la diferencia entre las mediciones es mayor a 10, debe indicarse en el informe de medición.

El promedio de las n posiciones se obtiene según la siguiente ecuación.

$$L_{1,s} = 10 \log(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10}) - 10 \log(n) \text{ dB}$$

3.3.2 Método global con altavoz

Hay que situar el micrófono en la parte central del exterior de la fachada a distancias que deben ser $2 \pm 0,2$ m de la fachada o 1 m desde la balaustrada u otro saliente. El micrófono debe quedar a la misma altura del que se sitúa en el local de recepción

El micrófono debe situarse a 1,5 m sobre el suelo del local de recepción.

Si la mayor parte de la fachada es una construcción inclinada, se pide que la distancia al tejado sea como mínimo igual a la distancia de su proyección a la parte vertical.

Si se han usado varias posiciones de micrófono sobre la fuente, se calculan las diferencias de nivel de cada posición promediándolas según:

$$D_{ts,2m} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum 10^{-D_i/10} \right) \text{ dB}$$

3.4 Metodología de medición con ruido de tráfico

De acuerdo a lo analizado en la Norma ISO140-Parte V, se establece que el método de medición con ruido de tráfico para elementos de edificación puede dar una estimación del índice de reducción sonora aparente que bajo ciertas condiciones, puede compararse con los valores obtenidos en laboratorio.

El método global, cuantifica el aislamiento a ruido aéreo de toda la fachada. Este valor no es comparable con el índice de reducción sonora de los elementos obtenidos en el laboratorio.

El principio que rige esta metodología de medición corresponde a que si el ruido incide en una muestra en múltiples direcciones y con intensidad variable, el índice de reducción sonora o diferencia de nivel se obtiene a partir de los niveles sonoros continuos equivalentes medidos a ambos lados de la muestra, en función de su frecuencia.

Durante las mediciones, el ruido de fondo en el local receptor debe ser, como mínimo, 10 dB inferior al nivel sonoro continuo equivalente. Se usa el ruido de tráfico existente incidente como fuente de ruido. La duración de la medición debe incluir al menos 50 pasadas de vehículos, los cuales deben ser vehículos a motor, ya sea automóviles, motocicletas, camiones, etc.

Para tener en cuenta todas las fluctuaciones del ruido de tráfico se mide simultáneamente a ambos lados de la muestra. Se debe evitar períodos de calma, es decir, los períodos en el que el ruido de tráfico no supera en 10 dB al ruido de fondo.

Para que se pueda utilizar el ruido de tráfico como fuente de ruido en este ensayo el tráfico debe fluir aproximadamente a lo largo de una línea recta con un ángulo de visión de $\pm 60^\circ$ desde la fachada; dentro de este ángulo la recta se puede desviar $\pm 15^\circ$ con la tangente de la línea de tráfico trazada en la intersección de la línea de tráfico y la normal a la fachada.

El ángulo de elevación, visto desde el punto de mínima distancia entre la fachada la línea de tráfico, debe ser menor que 40° . Debe verse toda la fachada desde todo el ancho de la línea de flujo. La distancia mínima horizontal entre la línea de tráfico y la fachada debe ser, como mínimo, de tres veces el ancho de la fachada o 25 m (la alternativa mayor)

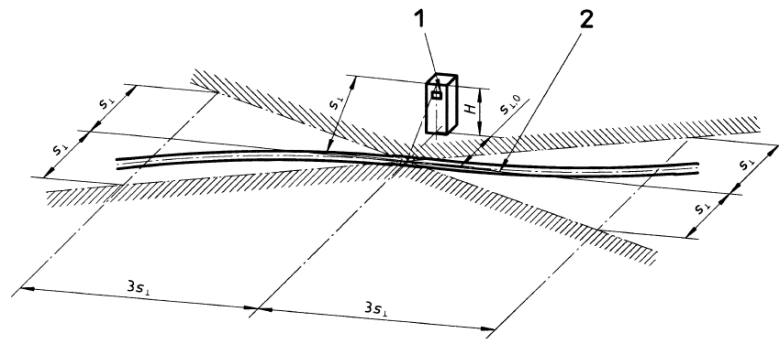


Figura 3-2 – Condiciones para el uso de ruido de tráfico. Figura 3, Referencia [10]

Donde:

1. Punto de recepción
2. Línea de tráfico.

3.4.1 Método con ruido de tráfico para elementos

Para las mediciones sobre el elemento se coloca el micrófono en el exterior de la muestra, igual que si la fuente fuera un altavoz. La única consideración especial de este tipo de fuente es la simultaneidad de las mediciones.

3.4.2 Método global con ruido de tráfico

Se procede de igual manera que en el caso donde la fuente de ruido es un altavoz, la diferencia es que cuando la fuente de ruido es el ruido de tráfico, las mediciones se deben realizar de manera simultánea en el interior y exterior.

Si se han usado varias posiciones de micrófono sobre la fuente, se calculan las diferencias de nivel de cada posición promediándolas según:

$$D_{tr,2m} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum 10^{-D_i/10} \right) dB$$

3.5 Mediciones en el local de recepción para ambos métodos

Los niveles de presión sonora deben promediarse energéticamente para todas las posiciones de la fuente.

Deben usarse al menos 5 posiciones de micrófono para cada campo sonoro. Deben distribuirse ocupando el máximo espacio permitido.

- > 0,5 m con paredes o superficies
- > 0,7 m entre posiciones
- > 1 m entre micrófono y fuente

Hay que determinar el ruido de fondo, para asegurarse que no hay **diafonía** ni interferencia exterior. La diafonía corresponde a una perturbación electromagnética producida en un canal de comunicación por el acoplamiento de este con otro u otros vecinos. Es un sonido indeseado producido en el elemento receptor como consecuencia del acoplamiento de este canal con otros que den paso a señales del mismo origen acústico.

El ruido de fondo debe ser al menos 6dB y preferentemente 10dB, mayor que el de la fuente (fondo + fuente combinados).

- 1) Si la diferencia está entre 6 y 10, hay que realizar la “*corrección por ruido de fondo*”.

$$L = 10 \log(10^{L_{sb}/10} - 10^{L_s/10}) \text{ dB}$$

L : Nivel de la señal corregido.

L_{sb} : Nivel combinado de la señal y el ruido de fondo.

L_s : Nivel de ruido de fondo.

- 2) Si la diferencia es menos a 6dB en cualquiera de las bandas de frecuencia, hay que usar 1,3dB para corregir.
- 3) En los valores D_n , D_{nT} y R' hay que indicar esta corrección, pues lo que representarán los resultados corresponde a los límites de la medición.

3.6 Resumen de descriptores

Se resumen en la Tabla 3-1 los descriptores utilizados por la norma ISO140-5 para el estudio de aislamiento acústico de fachadas de viviendas.

Tabla 3-1 : Resumen de descriptores para ensayos

	Método	Resultado	Campo de aplicación
Para Elementos			
1	Altavoz	R'_{45°	Método preferido para valorar el índice de reducción sonora de elementos de fachada.
2	Ruido de tráfico	$R'_{tr,s}$	Método alternativo al N° 1 cuando hay ruido de tráfico de nivel suficiente.
Global			
1	Global con altavoz	$D_{ls,2m,nT}$ $D_{ls,2m,n}$	Método alternativo al global con ruido de tráfico.
2	Global con ruido de tráfico	$D_{tr,2m,nT}$ $D_{tr,2m,n}$	Método preferido para valorar el índice de reducción sonora de una fachada expuesta al ruido de tráfico.

De acuerdo a lo mencionado en la norma en estudio NCh3307/3, las mediciones con ruido de tráfico o con un altavoz como fuente acústica tienden a dar resultados que son iguales sin una diferencia sistemática, por lo tanto es válido decir que:

$$D_{tr,2m,nT} \approx D_{ls,2m,nT} \text{ dB}$$

3.7 Equipos utilizados

Los equipos e instrumentos utilizados para la realización de los ensayos son los siguientes:

Larson Davis

- Sonómetro Larson Davis 824
- Calibrador de nivel sonoro Larson Davis CAL 200
- Generador de ruido Larson Davis SRC20
- Caja activa JBL EON 15 800W
- Ecuilizador DOD SR231QXLR
- Termohigrómetro

Brüel & Kjær

- Sonómetro Bruel & Kjaer 2270
- Calibrador de nivel sonoro Bruel & Kjaer 4231
- Generador de ruido Larson Davis SRC20
- Caja activa JBL EON 15 800W
- Ecuilizador DOD SR231QXLR
- Termo higrómetro Veto

La elección del equipo para cada ensayo depende principalmente de la disponibilidad de IDIEM, sin embargo, al realizar ensayos de fachada cuando la fuente de ruido es el ruido de tráfico, se utiliza exclusivamente el Sonómetro Brüel & Kjær, por su capacidad de medir simultáneamente en 2 canales. Se indicará en cada ensayo el sonómetro utilizado.

Como fuente de ruido se utiliza en algunos casos el ruido de tráfico existente en el lugar considerando al menos 50 pasadas de vehículos. En caso de no ser posible, se utiliza un parlante que emite un ruido rosa a 106 dB.

4 ENSAYOS

4.1 Clasificación de Ensayos

4.1.1 Fachadas con ventana

Para estudiar el comportamiento de las ventanas en una fachada se realiza la medición de la aislación acústica en fachadas que solamente se componen por muro y ventana, evitando aquellas que se componen de 3 elementos diferentes (muro, puerta y ventana).

Se ensayan 9 fachadas con ventanas, que corresponden a 6 viviendas diferentes. Los ensayos solo son posibles de realizar en el sector centro/oriente de la región Metropolitana.

Los tipos de fachadas con ventana ensayados son:

- Fachada con ventana de aluminio corredera de vidrio simple.
- Fachada con ventana de aluminio corredera de vidrio doble.
- Fachada con ventana de madera tipo de abatir de vidrio simple.
- Fachada con ventana de madera y aluminio corredera con vidrio termo panel.
- Fachada con ventana de PVC corredera con termo panel.

La elección del método de ensayo tiene relación con la disponibilidad de ruido de tráfico presente en el lugar de ensayo. En caso de no existir este, se utiliza fuente de ruido por altavoz. En todos los casos se utiliza ensayo por método global pues este entrega el descriptor requerido para valorar el índice de reducción sonora de la fachada.

4.1.2 Fachadas con puerta

Para estudiar el comportamiento de las puertas en la fachada de una vivienda se realiza la medición de la aislación acústica en fachadas que solamente se componen de una puerta que da al exterior, sin embargo uno de los ensayos se compone de 3 elementos (muro, ventana y puerta). Para el caso de departamentos, se mide la puerta de salida al pasillo del edificio.

Se ensayan 3 fachadas que corresponden a 3 viviendas.

Los tipos de puerta a medir son los siguientes,

- Fachada con puerta de pino sólida.
- Fachada con puerta de terciado.

La elección del método de ensayo tiene relación con la disponibilidad de ruido de tráfico presente en el lugar de ensayo. En caso de no existir este, se utiliza fuente de ruido por altavoz. En todos los casos se utiliza ensayo por método global pues este entrega el descriptor requerido para valorar el índice de reducción sonora de la fachada.

4.1.3 Ensayos especiales

Para determinar la importancia de ciertos parámetros relacionados con la aislación acústica de elementos de fachada, se efectúan ensayos especiales

Las mediciones especiales corresponden a:

- Apertura de puerta del laboratorio.
- Perforaciones panel de fibrocemento.
- Agujeros panel de fibrocemento.

4.2 Descripción de fachadas con ventana ensayadas.

4.2.1 Vivienda V1, Eduardo Castillo Velasco, Ñuñoa

Descripción

El ensayo se realiza en la casa E del condominio ubicado en Eduardo Castillo Velasco N°1820, en la comuna de Ñuñoa. Para el ensayo se utiliza la cocina pues corresponde a la habitación con ventana al exterior que posee las condiciones necesarias para desarrollar el ensayo.

El volumen del recinto de ensayo es de 21 m³. En la Figura 4-1 se observan imágenes del lugar. La Figura 4-2 corresponde a un esquema de planta y elevación del recinto utilizado. La superficie de la fachada es de 6,3 m² y posee una abertura de 1,3 m² en la cual existe una ventana de aluminio con dos hojas de corredera de vidrio simple de 3 mm de espesor. Este elemento se encuentra descuadrado, presentando un cierre incorrecto, además presenta felpa adhesiva en malas condiciones.

El ensayo se lleva a cabo con un altavoz como fuente de ruido, y no se realizan correcciones por ruido de fondo.

La fachada se compone en mayor parte de un muro de albañilería 14 cm de espesor recubierto con estuco hacia el exterior y con cerámica en el interior, de acuerdo a lo indicado en la referencia [15], este material posee un índice de reducción acústica de 46 dB, medido en laboratorio.

El resultado obtenido del ensayo arroja que la fachada posee un índice de reducción acústica de 17 dB.



Figura 4-1 – Vista exterior e interior de la fachada utilizada para el ensayo.

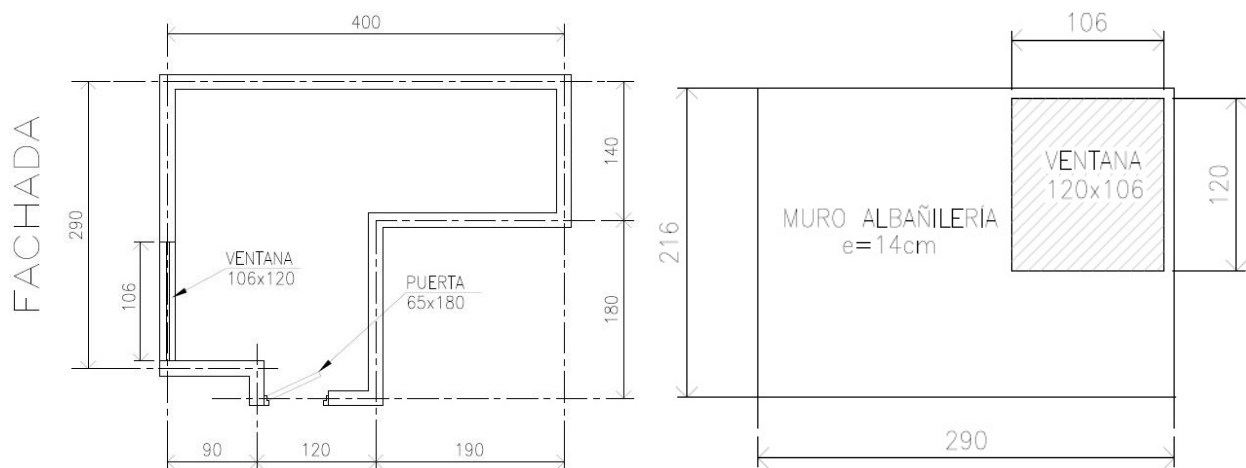


Figura 4-2 – Vista en planta y elevación del recinto utilizado para el ensayo.

4.2.2 Vivienda V2, Martín de Zamora, Las Condes (Living Comedor)

Descripción

El ensayo se realiza en Martín de Zamora N°5701, departamento 501, en la comuna de Las Condes. Para el ensayo se utiliza el living comedor.

El volumen del recinto de ensayo es de 96,3 m³. En la Figura 4-3 se observan imágenes del lugar y en la Figura 4-4 un detalle del cierre perimetral de la ventana. La Figura 4-5 corresponde a un esquema de planta y elevación del recinto utilizado. La fachada de la habitación se compone exclusivamente de un ventanal. La superficie de la fachada es de 9,6 m² y posee una abertura para la ventana del mismo tamaño. La ventana es de aluminio del tipo corredera con dos hojas móviles, con un vidrio simple de 5 mm de espesor. El cierre se presenta de manera correcta, el sello perimetral de la ventana corresponde a una felpa poly-bond de 5x5 mm en buenas condiciones.

El ensayo se lleva a cabo con ruido de tráfico como fuente de ruido, y no se realizan correcciones por ruido de fondo. El resultado obtenido del ensayo arroja que la fachada posee un índice de reducción acústica de 26 dB.

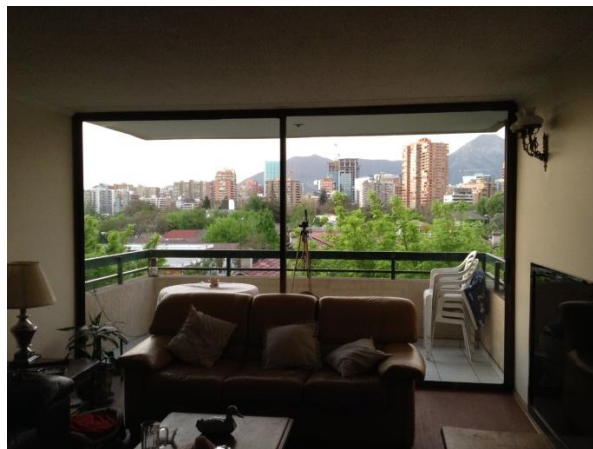


Figura 4-3 – Vista interior de la fachada utilizada para el ensayo.



Figura 4-4 – Detalle cierre perimetral.

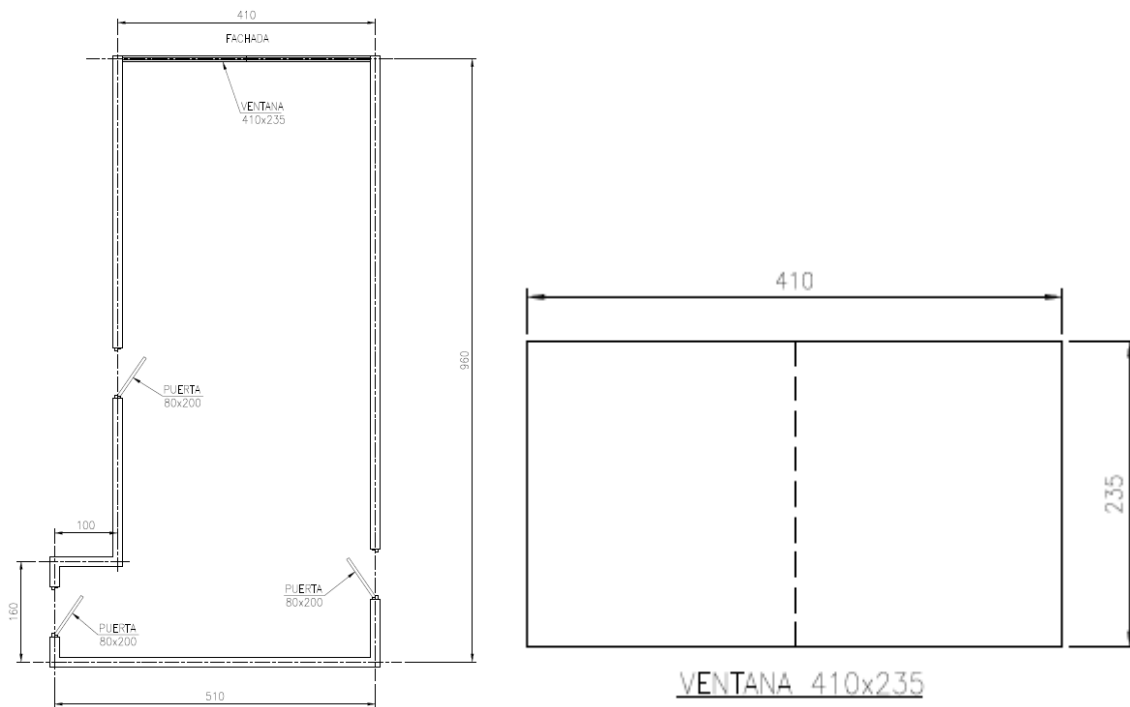


Figura 4-5 – Vista en planta y elevación del recinto utilizado para el ensayo.

4.2.3 Vivienda V3, Martín de Zamora, Las Condes (Dormitorio)

Descripción

El ensayo se realiza en Martín de Zamora N°5701, departamento 501, en la comuna de Las Condes. Para el ensayo se utiliza uno de los dormitorios.

El volumen del recinto de ensayo es de 22,5 m³. En la Figura 4-6 se observan imágenes del lugar. La Figura 4-7 corresponde a un esquema de planta y elevación del recinto utilizado. La fachada de la habitación se compone exclusivamente del ventanal. La superficie de la fachada es de 7,5 m² y posee una abertura para la ventana del mismo tamaño. La ventana es de aluminio del tipo corredera con dos hojas móviles, con un vidrio simple de 5 mm de espesor. El cierre se presenta de manera correcta, el sello perimetral de la ventana corresponde a una felpa poly-bond de 5x5 mm en buenas condiciones. Adicionalmente la ventana posee una cortina.

El ensayo se lleva a cabo con ruido de tráfico como fuente de ruido, y no se realizan correcciones por ruido de fondo. El resultado obtenido del ensayo arroja que la fachada posee un índice de reducción acústica de 24 dB.



Figura 4-6 – Vista interior de la fachada utilizada para el ensayo.

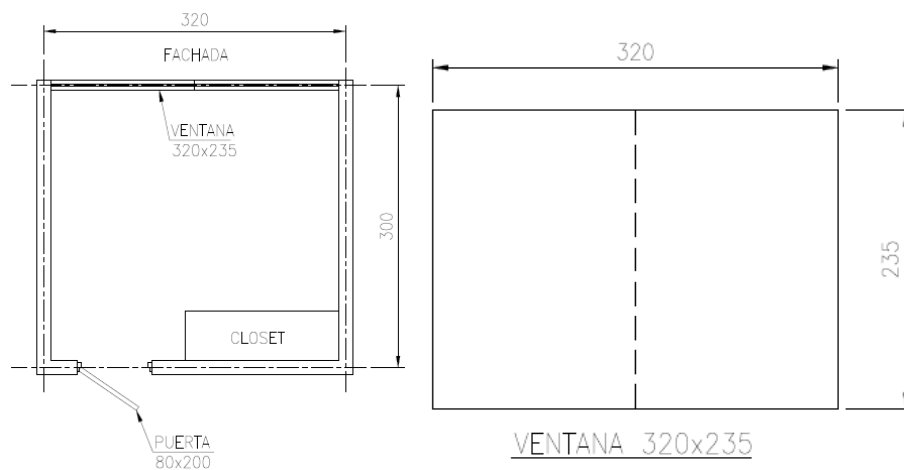


Figura 4-7 – Vista en planta y elevación del recinto utilizado para el ensayo.

4.2.4 Vivienda V4, Avenida Grecia, Ñuñoa

Descripción

El ensayo se realiza en Avenida Grecia N°793, departamento 11, primer piso, en la comuna de Ñuñoa. Para el ensayo se utiliza el living comedor.

El volumen del recinto de ensayo es de 46,1 m³. En la Figura 4-8 se observan imágenes del lugar del ensayo y en la Figura 4-9 se muestra el detalle de la terminación de la ventana. La Figura 4-10 corresponde a un esquema de planta y elevación del recinto utilizado.

La superficie de la fachada expuesta es de 10,5 m² y posee una abertura para la ventana de 1,8 m² en la cual existe una ventana de madera de 3 cuerpos donde dos corresponden al tipo abatir y la central es fija, todas de vidrio simple de 4 mm de espesor. Las ventanas no poseen ningún tipo de cierre adicional a la madera.

El ensayo se lleva a cabo con ruido de tráfico como fuente de ruido, y no se realizan correcciones por ruido de fondo.

La fachada se compone en mayor parte de un muro de albañilería 14 cm de espesor recubierto con estuco en ambas caras. De acuerdo a lo indicado en la referencia [15], este material posee un índice de reducción acústica de 46 dB, medido en laboratorio.

El resultado obtenido del ensayo arroja que la fachada posee un índice de reducción acústica de 24 dB.



Figura 4-8 – Vista exterior de la fachada utilizada para el ensayo



Figura 4-9 – Detalle de la terminación de ventana utilizada para el ensayo.

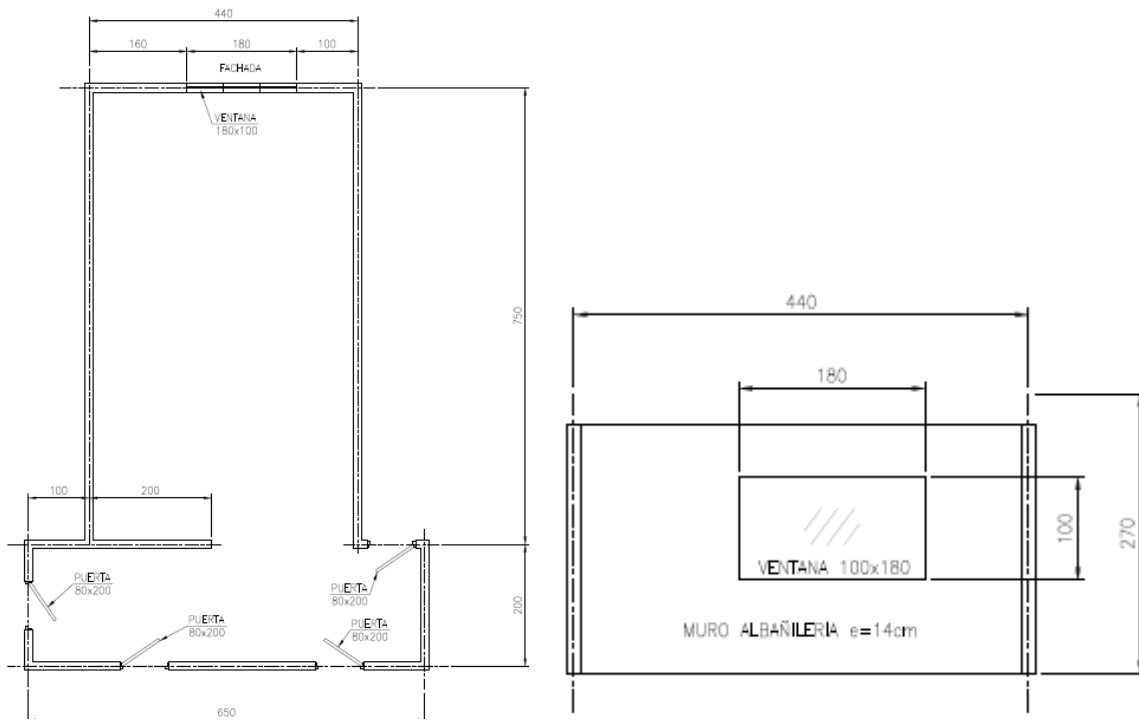


Figura 4-10 – Vista en planta y elevación del recinto utilizado para el ensayo.

4.2.5 Vivienda V5, Pericles, Ñuñoa (fachada trasera)

Descripción

El ensayo se realiza en Pericles N°1343, departamento 106, primer piso, en la comuna de Ñuñoa. Para el ensayo se utiliza el living comedor.

El volumen del recinto de ensayo es de 61,2 m³. En la Figura 4-11 se observan imágenes del lugar y en la Figura 4-12 se muestra un esquema de planta y elevación del recinto.

La superficie de la fachada es de 9,6 m² y posee dos aberturas para ventana, la primera de suelo a techo con una superficie de 4,7 m² y la segunda de 0,8 m de altura con una superficie de 1,4 m². Las ventanas son de aluminio del tipo corredera con dos hojas móviles formadas por un doble acristalamiento de 3 mm de espesor cada uno, separados por una cámara de aire. El cierre se presenta de manera correcta, el sello perimetral de la ventana corresponde a una felpa poly-bond de 5x5 mm en buenas condiciones.

El ensayo se lleva a cabo con un altavoz como fuente de ruido, y se realizan correcciones por ruido de fondo.

La fachada se compone en mayor parte de un muro de albañilería 14 cm de espesor recubierto con estuco en el lado exterior. La cara expuesta a la sala receptora está revestida con una plancha de yeso cartón de 15 mm de espesor pintada. De acuerdo a lo indicado en la referencia [15], este material posee un índice de reducción acústica de 46 dB, medido en laboratorio.

El resultado obtenido del ensayo arroja que la fachada posee un índice de reducción acústica de 24 dB.

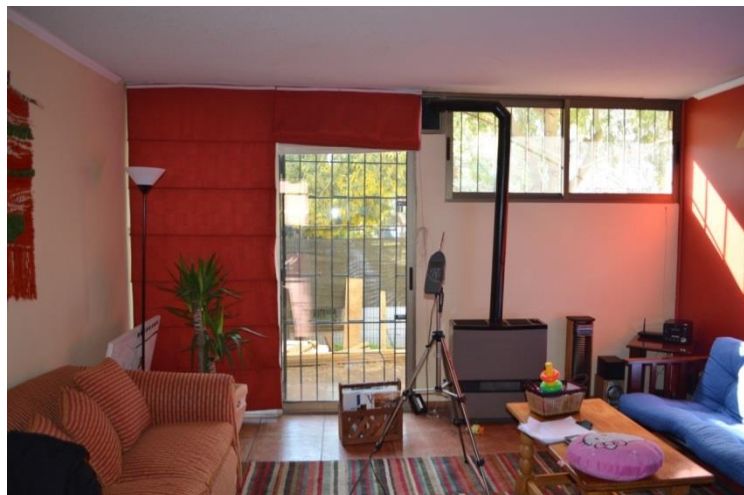


Figura 4-11 : Vista interior de la fachada utilizada para el ensayo.

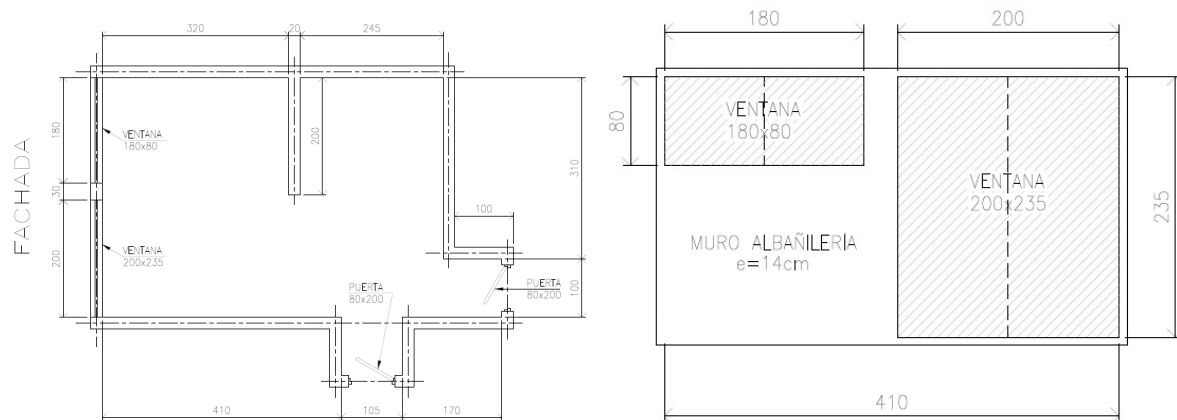


Figura 4-12 – Vista en planta y elevación del recinto utilizado para el ensayo.

4.2.6 Vivienda V6, Pericles, Ñuñoa (fachada delantera)

Descripción

El ensayo se realiza en Pericles N°1343, departamento 106, primer piso, en la comuna de Ñuñoa. Para el ensayo se utiliza el dormitorio principal.

El volumen del recinto de ensayo es de 32,9 m³. En la Figura 4-13 se observan imágenes del lugar y en la Figura 4-14 se muestra un esquema de planta y elevación del recinto.

La superficie de la fachada es de 9,4 m² y posee una abertura para la ventana que tiene una superficie de 1,1 m². La ventana es de aluminio del tipo corredera con dos hojas móviles formadas por un doble acristalamiento de 3 mm de espesor cada uno, separados por una cámara de aire. Este elemento se encuentra descuadrado, presentando un cierre incorrecto, el sello perimetral de la ventana corresponde a una felpa poly-bond de 5x5 mm en buenas condiciones.

El ensayo se lleva a cabo con un altavoz como fuente de ruido, y se realizan correcciones por ruido de fondo.

La fachada se compone en mayor parte de un muro de albañilería 14 cm de espesor recubierto con estuco en el lado exterior. La cara expuesta a la sala receptora está revestida con una plancha de yeso cartón de 15 mm de espesor pintada. De acuerdo a lo indicado en la referencia [15], este material posee un índice de reducción acústica de 46 dB, medido en laboratorio.

El resultado obtenido del ensayo arroja que la fachada posee un índice de reducción acústica de 25 dB.



Figura 4-13 – Vista interior de la fachada utilizada para el ensayo.

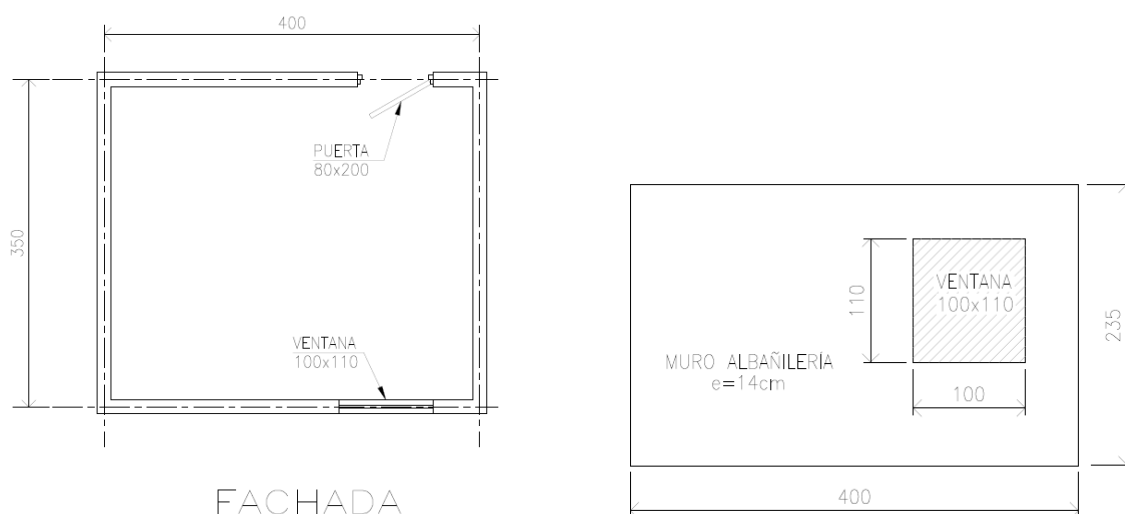


Figura 4-14 – Vista en planta y elevación del recinto utilizado para el ensayo.

4.2.7 Vivienda V7, Fray Montalva, Las Condes

Descripción

El ensayo se realiza en Fray Montalva 776, casa 5, en la comuna de Las Condes. Para el ensayo se utiliza el dormitorio principal.

El volumen del recinto de ensayo es de $48,51 \text{ m}^3$. En la Figura 4-15 se observan imágenes del lugar y en la Figura 4-16 se muestra un esquema de planta y elevación del recinto.

La superficie de la fachada es de $10,8 \text{ m}^2$. Posee una abertura de $7,7 \text{ m}^2$ con una ventana de pvc con apariencia de madera del tipo termopanel con una hoja fija y dos del tipo correderas, compuesta por dos vidrios de 4 mm de espesor separados por una cámara

de aire de 10 mm. El cierre se presenta correctamente, el sello perimetral de la ventana no está colocado, existen ranuras que permiten el paso del ruido.

El ensayo se lleva a cabo con un altavoz como fuente de ruido, y se realizan correcciones por ruido de fondo.

La fachada se compone de un muro de hormigón armado de 15 cm sin recubrimiento hacia el exterior ni interior en esta etapa de la obra. De acuerdo a lo indicado en la referencia [15], este material posee un índice de reducción acústica de 52 dB, medido en laboratorio.

El resultado obtenido del ensayo arroja que la fachada posee un índice de reducción acústica de 22 dB.



Figura 4-15 – Vista exterior e interior de la fachada utilizada para el ensayo.

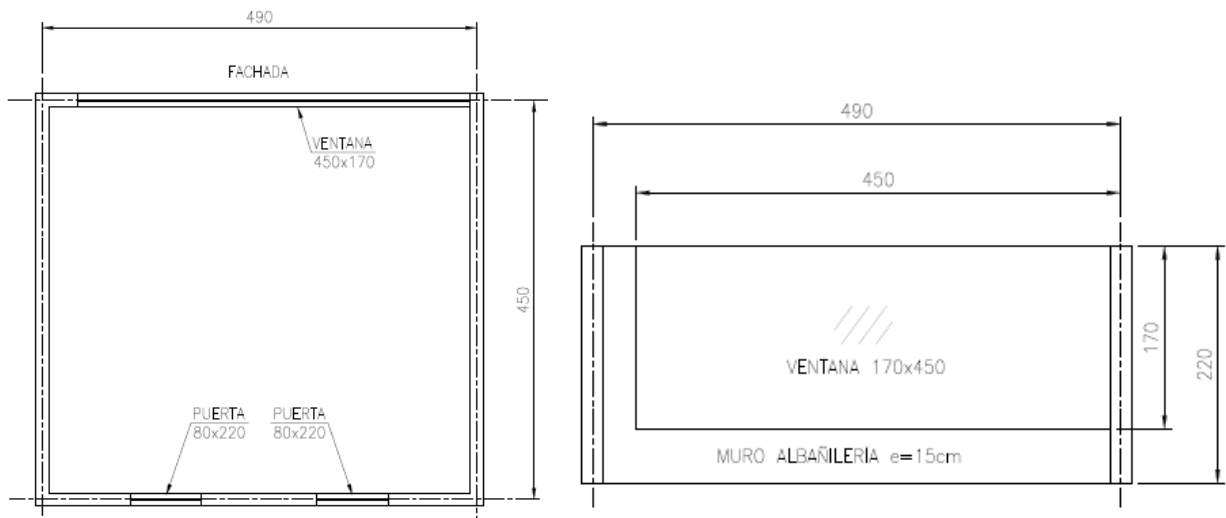


Figura 4-16 – Vista en planta del recinto utilizado para el ensayo.

4.2.8 Vivienda V8, Fray Montalva, Las Condes (Ventana terminada)

Descripción

El ensayo se realiza en el mismo recinto y habitación descrita en el punto 4.2.7, sin embargo, en este ensayo la obra se encuentra finalizada. En la Figura 4-17 se observan imágenes del lugar.

El cambio con respecto al ensayo V7 es que la ventana posee sello perimetral que corresponde a una felpa fin seal de 7x8 mm, en perfectas condiciones.

El resultado obtenido del ensayo arroja que la fachada posee un índice de reducción acústica de 28 dB.

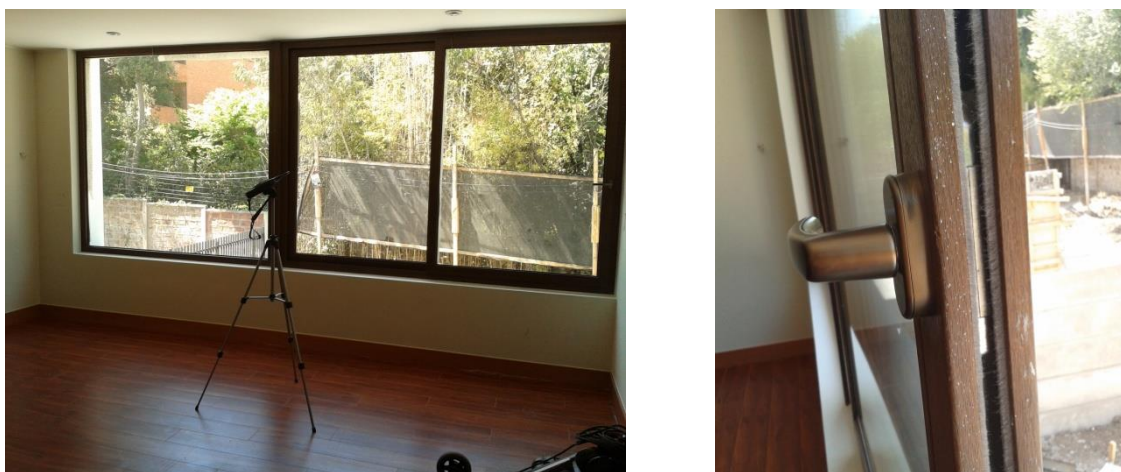


Figura 4-17 – Vista interior de la fachada utilizada para el ensayo y detalle de la terminación de la misma.

4.2.9 Vivienda V9, Vicuña Mackenna, Santiago Centro

Descripción

El ensayo se realiza en Avenida Vicuña Mackenna N°1231, departamento 508-A, en la comuna de Santiago Centro. Para el ensayo se utiliza el living comedor.

El volumen del recinto de ensayo es de 44 m³. En la Figura 4-19a 4-18 se observan imágenes del lugar, en la Figura 4-19 se muestra el detalle del cierre de la ventana y en la Figura 4 20 Figura 4-22el plano de planta del recinto.

La superficie de la fachada expuesta es de 4,4 m² y posee una abertura del mismo tamaño. La ventana es termopanel de PVC del tipo corredera de dos hojas móviles formada por dos vidrios de 3 mm de espesor separados por una cámara de aire de 10 mm. El cierre se presenta correctamente, el sello perimetral es una felpa poly-bond de 5x5 mm en excelentes condiciones.

El ensayo se lleva a cabo con ruido de tráfico como fuente de ruido, y no se realizan correcciones por ruido de fondo.

La fachada de la habitación a estudiar se compone exclusivamente del ventanal.

El resultado obtenido del ensayo arroja que la fachada posee un índice de reducción acústica de 28 dB.

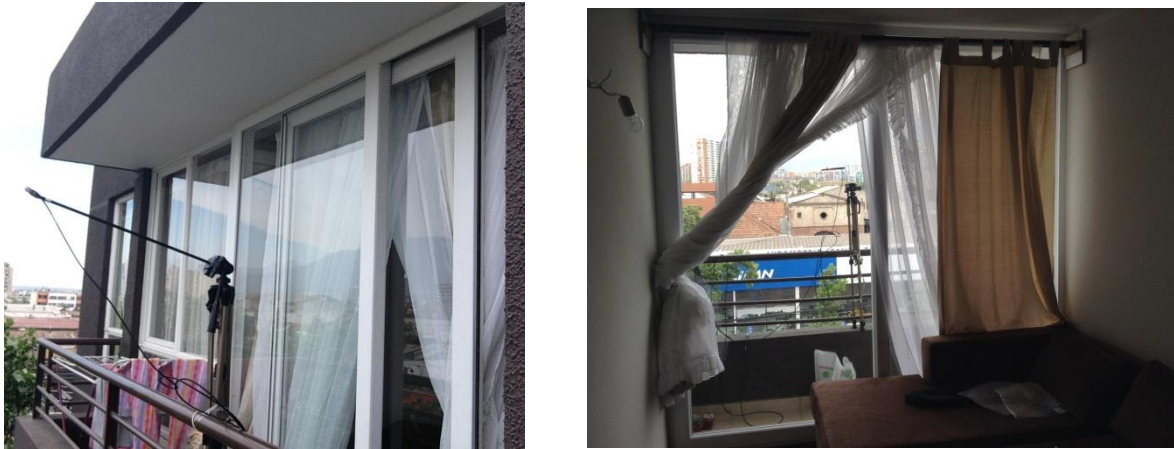


Figura 4-18 – Vista exterior e interior de la fachada utilizada para el ensayo.



Figura 4-19 – Detalle del cierre de la ventana ensayada



Figura 4-20 – Plano del recinto ensayado.

4.3 Fachadas con Puerta

4.3.1 Vivienda P1, Fray Montalva, Las Condes

Descripción.

El ensayo se realiza en Fray Montalva 776, casa 5, en la comuna de Las Condes. Para el ensayo se utiliza el dormitorio principal. El volumen del recinto de ensayo es de 48,51 m³. En la Figura 4-21 se observan imágenes del lugar del ensayo.

La puerta se encuentra al interior de la vivienda, por lo que la fuente de ruido se sitúa fuera de la habitación. La superficie del elemento medido es de 1,8 m². La puerta es de pino radiata de 4,5 cm de espesor.

Este ensayo en estricto rigor no corresponde a fachada de vivienda, sin embargo, los resultados entregan un valor aproximado del comportamiento del elemento.

El resultado obtenido del ensayo arroja que la fachada posee un índice de reducción acústica de 28 dB.



Figura 4-21 – Vista exterior e interior de la puerta ensayada.

4.3.2 Vivienda P2, Ladislao Errazuriz, Providencia

Descripción.

El ensayo se realiza en Ladislao Errazuriz 2158, departamento 703, en la comuna de Providencia. Para el ensayo se utiliza el living comedor. El volumen del recinto de ensayo es de 72,5 m³. En la Figura 4-22 se observan imágenes del lugar.

La puerta se encuentra al interior de la vivienda y la fuente de ruido se sitúa al interior del living comedor, registrando el ruido que pasa al pasillo del edificio. La superficie del elemento medido es de 1,8 m², situado en un muro de hormigón de 15 cm de espesor. La puerta es de dos planchas terciado de 5 mm de espesor por lado y una estructura de pino al interior.

Este ensayo en estricto rigor no corresponde a fachada de vivienda, sin embargo, los resultados entregan un valor aproximado del comportamiento del elemento.

El resultado obtenido del ensayo arroja que la fachada posee un índice de reducción acústica de 28 dB.



Figura 4-22 – Vista exterior e interior de la fachada utilizada para el ensayo.

4.3.3 Vivienda P3, Pedro de Valdivia, Ñuñoa

Descripción.

El ensayo se realiza en Avenida Pedro de Valdivia 4530, en la comuna de Ñuñoa. Para el ensayo se utiliza el living comedor. El volumen del recinto de ensayo es de 34,3 m³. En la Figura 4-23 se observan imágenes del lugar.

La fachada a estudiar se compone de un tabique corriente de madera forrado con planchas de OSB pintadas en el interior y exterior con aberturas para la puerta y dos ventanas pequeñas fijas con marco de madera. La puerta es de terciado de 3 mm de espesor y una superficie de 2 m². El espesor total de la puerta es de 4,5 cm.

El resultado obtenido del ensayo arroja que la fachada posee un índice de reducción acústica de 23 dB.



Figura 4-23 – Vista exterior e interior de la fachada utilizada para el ensayo.

4.4 Ensayos Especiales

4.4.1 Ensayo E1, Puerta de Laboratorio

Descripción.

Se ensaya la puerta del laboratorio de la sala reverberante variando la cantidad de vueltas que se le dan al sistema de cierre de dicha puerta. La fuente de ruido se pone al interior de la sala y se mide el ruido que pasa a la sala contigua. En la Figura 4-24 se muestra la puerta y su sistema de cierre.

El objetivo del ensayo es determinar que tanto afecta la hermeticidad a los resultados, sin embargo es imposible dimensionar la cantidad de aire que pasa a través de la puerta en cada giro.



Figura 4-24 – A la izquierda vista exterior de la puerta de la sala reverberante, a la derecha detalle del sistema de cierre de la misma.

4.4.2 Ensayo E2, Panel de fibrocemento con perforaciones

Descripción.

Se ensaya un panel de fibrocemento puesto en el espacio que ocupa la puerta del laboratorio de la sala reverberante, se mide la aislación que entrega el panel y luego se le realizan perforaciones para medir cuanto va variando su comportamiento. La fuente de ruido se pone al interior de la sala y se mide el ruido que pasa a la sala contigua.

Para generar mayor hermeticidad al instalar el panel, se utilizan bandas acústicas tal como se ve en la Figura 4-25. La soportación del panel se realiza mediante pernos de anclaje de 3/4".



Figura 4-25 – A la izquierda el hueco donde se instala el panel reforzado con bandas acústicas y a la derecha, el panel instalado visto desde el interior de la sala reverberante.

Las perforaciones al panel se realizan con una broca de 1 cm de diámetro y se mide la aislación acústica que producen desde 0 a 25 perforaciones.

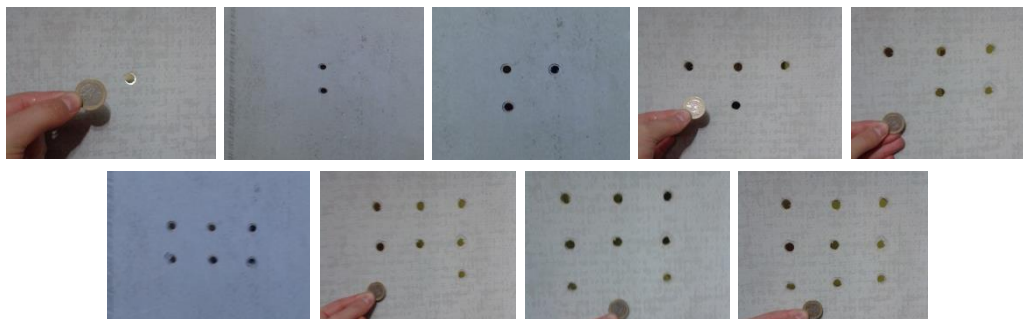




Figura 4-26 – Secuencia de perforaciones.

4.4.3 Ensayo E3, Panel de fibrocemento con agujeros

Descripción.

Se ensaya la un panel de fibrocemento puesto en el espacio que ocupa la puerta del laboratorio de la sala reverberante, se mide la aislación que entrega el panel y luego se le realizan los agujeros para medir cuanto va variando su comportamiento. La fuente de ruido se pone al interior de la sala y se mide el ruido que pasa a la sala contigua.

Los agujeros del panel se realizan con una cierra y van desde el 2 al 50% del área del panel. Se mide la aislación acústica se produce en cada etapa.


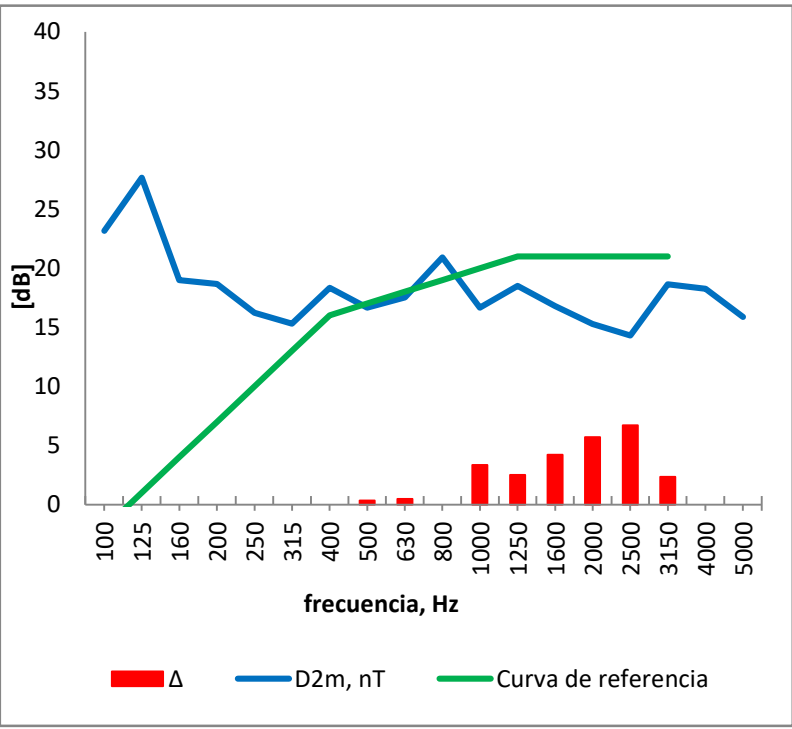


Figura 4-27 – Secuencia de grandes perforaciones.

5 FICHA DE RESULTADO DE LOS ENSAYOS

5.1 Ensayos a Fachadas con ventana

Tabla 5-1 : Resultados V1

Vivienda V1, Eduardo Castillo Velasco, Ñuñoa.																																										
MURO: Ladrillo de 14 cm con estuco exterior y cerámica interior.																																										
VENTANA: De aluminio con 2 hojas correderas, vidrio simple de 3 mm.																																										
JUNTAS: Felpa adhesiva en malas condiciones.		Superficie elementos		Porcentaje %																																						
		Muro	5 m ²	80																																						
OTROS: Ventana descuadrada. Cierre incorrecto.		Ventana	1,3 m ²	20																																						
		Total	6,3 m ²	100																																						
Fuente: Altavoz <input checked="" type="checkbox"/> Ruido tráfico <input type="checkbox"/>		Corrección por ruido de fondo: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>		Instrumento: Larson Davis <input type="checkbox"/> Bruel & Kjaer <input checked="" type="checkbox"/>																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frecuencia Hz</th> <th>D_{2m, nT} [dB]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>23,1</td></tr> <tr><td>125</td><td>27,7</td></tr> <tr><td>160</td><td>19,0</td></tr> <tr><td>200</td><td>18,7</td></tr> <tr><td>250</td><td>16,2</td></tr> <tr><td>315</td><td>15,3</td></tr> <tr><td>400</td><td>18,3</td></tr> <tr><td>500</td><td>16,7</td></tr> <tr><td>630</td><td>17,5</td></tr> <tr><td>800</td><td>20,9</td></tr> <tr><td>1000</td><td>16,7</td></tr> <tr><td>1250</td><td>18,5</td></tr> <tr><td>1600</td><td>16,8</td></tr> <tr><td>2000</td><td>15,3</td></tr> <tr><td>2500</td><td>14,3</td></tr> <tr><td>3150</td><td>18,6</td></tr> <tr><td>4000</td><td>18,3</td></tr> <tr><td>5000</td><td>15,9</td></tr> </tbody> </table>		Frecuencia Hz	D _{2m, nT} [dB]	100	23,1	125	27,7	160	19,0	200	18,7	250	16,2	315	15,3	400	18,3	500	16,7	630	17,5	800	20,9	1000	16,7	1250	18,5	1600	16,8	2000	15,3	2500	14,3	3150	18,6	4000	18,3	5000	15,9			
Frecuencia Hz	D _{2m, nT} [dB]																																									
100	23,1																																									
125	27,7																																									
160	19,0																																									
200	18,7																																									
250	16,2																																									
315	15,3																																									
400	18,3																																									
500	16,7																																									
630	17,5																																									
800	20,9																																									
1000	16,7																																									
1250	18,5																																									
1600	16,8																																									
2000	15,3																																									
2500	14,3																																									
3150	18,6																																									
4000	18,3																																									
5000	15,9																																									

RESULTADOS:	$D_{2m, nT} = (C; C_{tr}) = 17 (0, 0) \text{ dB}$
--------------------	---

Tabla 5-2 : Resultados V2


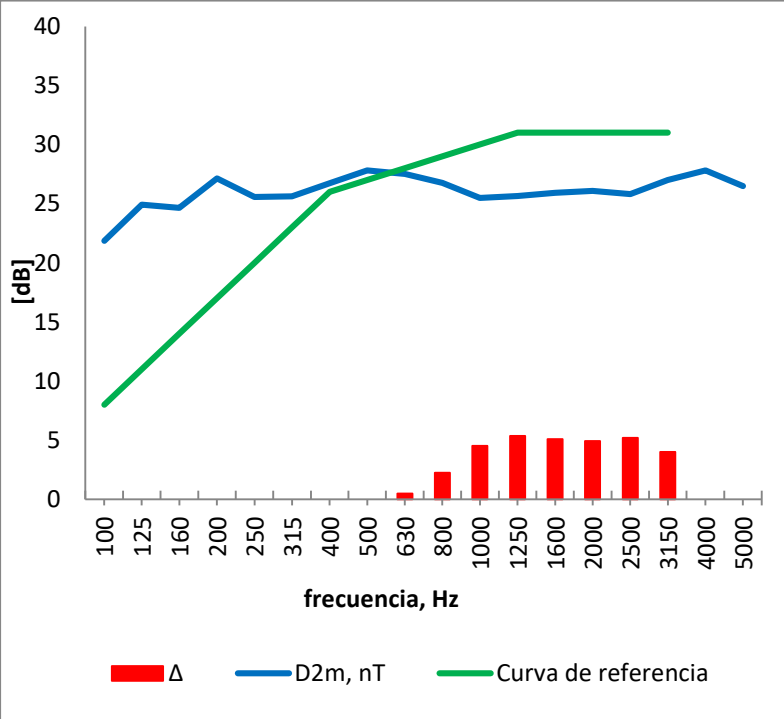
Vivienda V2, Martin de Zamora, Las Condes (Living Comedor).																																									
MURO: No aplica																																									
VENTANA: De aluminio con 2 hojas correderas, vidrio simple de 5 mm.																																									
JUNTAS: Felpa del tipo Poly-bond de 5x5 mm.		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Superficie elementos</th> <th colspan="2">Porcentaje %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muro</td> <td>0</td> <td>m²</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Ventana</td> <td>9,6</td> <td>m²</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>9,6</td> <td>m²</td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table>		Superficie elementos		Porcentaje %		Muro	0	m ²	0	Ventana	9,6	m ²	100	Total	9,6	m ²	100																						
Superficie elementos		Porcentaje %																																							
Muro	0	m ²	0																																						
Ventana	9,6	m ²	100																																						
Total	9,6	m ²	100																																						
OTROS: Correcto cierre perimetral.																																									
Fuente: Altavoz <input type="checkbox"/> Ruido tráfico <input checked="" type="checkbox"/>		Corrección por ruido de fondo: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>																																							
Instrumento: Larson Davis <input type="checkbox"/> Brüel & Kjaer <input checked="" type="checkbox"/>																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frecuencia Hz</th> <th>D2m, nT [dB]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>21,9</td></tr> <tr><td>125</td><td>24,9</td></tr> <tr><td>160</td><td>24,7</td></tr> <tr><td>200</td><td>27,1</td></tr> <tr><td>250</td><td>25,6</td></tr> <tr><td>315</td><td>25,6</td></tr> <tr><td>400</td><td>26,7</td></tr> <tr><td>500</td><td>27,8</td></tr> <tr><td>630</td><td>27,5</td></tr> <tr><td>800</td><td>26,8</td></tr> <tr><td>1000</td><td>25,5</td></tr> <tr><td>1250</td><td>25,7</td></tr> <tr><td>1600</td><td>25,9</td></tr> <tr><td>2000</td><td>26,1</td></tr> <tr><td>2500</td><td>25,8</td></tr> <tr><td>3150</td><td>27,0</td></tr> <tr><td>4000</td><td>27,8</td></tr> <tr><td>5000</td><td>26,5</td></tr> </tbody> </table>		Frecuencia Hz	D2m, nT [dB]	100	21,9	125	24,9	160	24,7	200	27,1	250	25,6	315	25,6	400	26,7	500	27,8	630	27,5	800	26,8	1000	25,5	1250	25,7	1600	25,9	2000	26,1	2500	25,8	3150	27,0	4000	27,8	5000	26,5	 <p>The graph plots noise level in dB against frequency in Hz. The x-axis ranges from 100 to 5000 Hz, and the y-axis ranges from 0 to 40 dB. A blue line represents the measured noise level (D2m, nT), a green line represents the reference curve, and red bars represent the difference (Δ) between the measured level and the reference curve. The measured level is generally higher than the reference curve at lower frequencies and lower than it at higher frequencies.</p>	
Frecuencia Hz	D2m, nT [dB]																																								
100	21,9																																								
125	24,9																																								
160	24,7																																								
200	27,1																																								
250	25,6																																								
315	25,6																																								
400	26,7																																								
500	27,8																																								
630	27,5																																								
800	26,8																																								
1000	25,5																																								
1250	25,7																																								
1600	25,9																																								
2000	26,1																																								
2500	25,8																																								
3150	27,0																																								
4000	27,8																																								
5000	26,5																																								
RESULTADOS:		$D_{2m, nT} = (C; C_{tr}) = 27 (-1, -1) \text{ dB}$																																							

Tabla 5-3 : Resultados V3


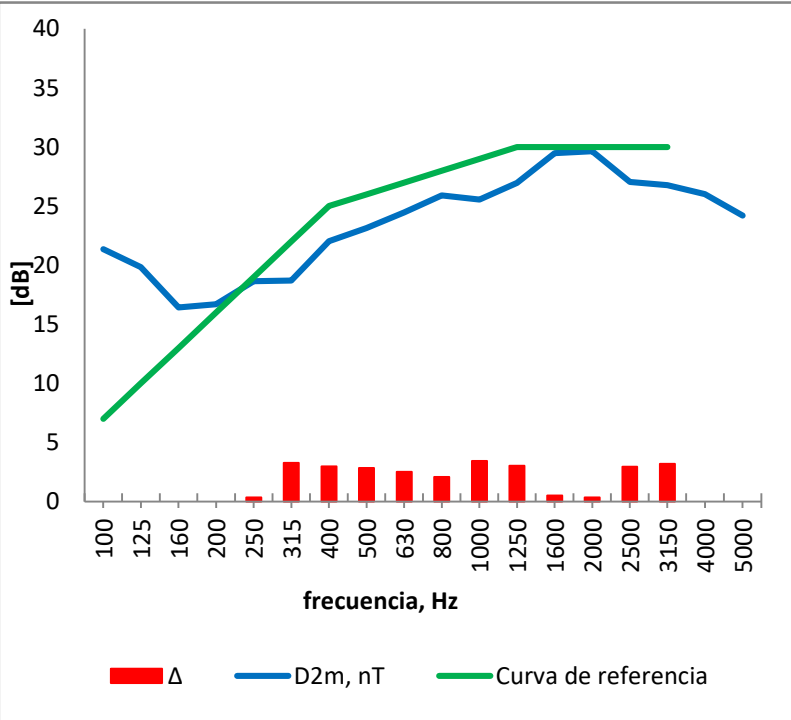
Vivienda V3, Martin de Zamora, Las Condes (Dormitorio).																																										
MURO: No aplica.																																										
VENTANA: De aluminio con 2 hojas correderas, vidrio simple de 5 mm.																																										
JUNTAS: Felpa del tipo Poly-bond de 5x5 mm.		Superficie elementos		Porcentaje %																																						
		Muro	0	m ²	0																																					
OTROS: Mismo tipo de ventana que V2, volumen del recinto y área del elemento más pequeños.		Ventana	7,5	m ²	100																																					
		Total	7,5	m ²	100																																					
Fuente: Altavoz <input type="checkbox"/> Ruido tráfico <input checked="" type="checkbox"/>		Corrección por ruido de fondo: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>		Instrumento: Larson Davis <input type="checkbox"/> Bruel & Kjaer <input checked="" type="checkbox"/>																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frecuencia Hz</th> <th>D2m, nT [dB]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>21,4</td></tr> <tr><td>125</td><td>19,9</td></tr> <tr><td>160</td><td>16,4</td></tr> <tr><td>200</td><td>16,7</td></tr> <tr><td>250</td><td>18,7</td></tr> <tr><td>315</td><td>18,7</td></tr> <tr><td>400</td><td>22,0</td></tr> <tr><td>500</td><td>23,2</td></tr> <tr><td>630</td><td>24,5</td></tr> <tr><td>800</td><td>25,9</td></tr> <tr><td>1000</td><td>25,6</td></tr> <tr><td>1250</td><td>27,0</td></tr> <tr><td>1600</td><td>29,5</td></tr> <tr><td>2000</td><td>29,7</td></tr> <tr><td>2500</td><td>27,0</td></tr> <tr><td>3150</td><td>26,8</td></tr> <tr><td>4000</td><td>26,0</td></tr> <tr><td>5000</td><td>24,2</td></tr> </tbody> </table>		Frecuencia Hz	D2m, nT [dB]	100	21,4	125	19,9	160	16,4	200	16,7	250	18,7	315	18,7	400	22,0	500	23,2	630	24,5	800	25,9	1000	25,6	1250	27,0	1600	29,5	2000	29,7	2500	27,0	3150	26,8	4000	26,0	5000	24,2			
Frecuencia Hz	D2m, nT [dB]																																									
100	21,4																																									
125	19,9																																									
160	16,4																																									
200	16,7																																									
250	18,7																																									
315	18,7																																									
400	22,0																																									
500	23,2																																									
630	24,5																																									
800	25,9																																									
1000	25,6																																									
1250	27,0																																									
1600	29,5																																									
2000	29,7																																									
2500	27,0																																									
3150	26,8																																									
4000	26,0																																									
5000	24,2																																									
RESULTADOS:		D_{2m, nT} = (C ; C_{tr}) = 26 (-1, -2) dB																																								

Tabla 5-4 : Resultados V4


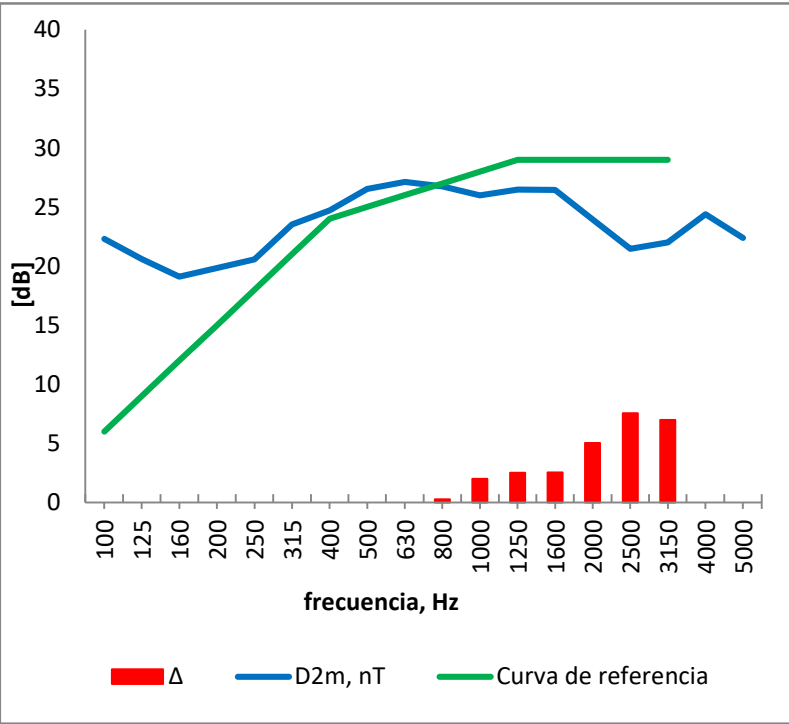
Vivienda V4, Avenida Grecia, Ñuñoa.																																										
MURO: Ladrillo de 14 cm con estuco y pintura hacia el exterior e interior.																																										
VENTANA: Madera, de 3 hojas, una fija y 2 del tipo abatir, vidrio simple de 4 mm.																																										
JUNTAS: No posee ningún tipo de estanqueidad.		Superficie elementos		Porcentaje %																																						
		Muro	8,7 m ²	83																																						
OTROS:		Ventana	1,8 m ²	17																																						
		Total	10,5 m ²	100																																						
Fuente: Altavoz <input type="checkbox"/> Ruido tráfico <input checked="" type="checkbox"/>		Corrección por Si <input type="checkbox"/> ruido de fondo: No <input checked="" type="checkbox"/>		Instrumento: Larson Davis <input type="checkbox"/> Bruel & Kjaer <input checked="" type="checkbox"/>																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frecuencia Hz</th> <th>D2m, nT [dB]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>22,3</td></tr> <tr><td>125</td><td>20,6</td></tr> <tr><td>160</td><td>19,1</td></tr> <tr><td>200</td><td>19,8</td></tr> <tr><td>250</td><td>20,6</td></tr> <tr><td>315</td><td>23,5</td></tr> <tr><td>400</td><td>24,7</td></tr> <tr><td>500</td><td>26,5</td></tr> <tr><td>630</td><td>27,1</td></tr> <tr><td>800</td><td>26,7</td></tr> <tr><td>1000</td><td>26,0</td></tr> <tr><td>1250</td><td>26,5</td></tr> <tr><td>1600</td><td>26,5</td></tr> <tr><td>2000</td><td>24,0</td></tr> <tr><td>2500</td><td>21,4</td></tr> <tr><td>3150</td><td>22,0</td></tr> <tr><td>4000</td><td>24,4</td></tr> <tr><td>5000</td><td>22,4</td></tr> </tbody> </table>		Frecuencia Hz	D2m, nT [dB]	100	22,3	125	20,6	160	19,1	200	19,8	250	20,6	315	23,5	400	24,7	500	26,5	630	27,1	800	26,7	1000	26,0	1250	26,5	1600	26,5	2000	24,0	2500	21,4	3150	22,0	4000	24,4	5000	22,4			
Frecuencia Hz	D2m, nT [dB]																																									
100	22,3																																									
125	20,6																																									
160	19,1																																									
200	19,8																																									
250	20,6																																									
315	23,5																																									
400	24,7																																									
500	26,5																																									
630	27,1																																									
800	26,7																																									
1000	26,0																																									
1250	26,5																																									
1600	26,5																																									
2000	24,0																																									
2500	21,4																																									
3150	22,0																																									
4000	24,4																																									
5000	22,4																																									
RESULTADOS:		D_{2m, nT} = (C ; C_{tr}) = 25 (-1, -1) dB																																								

Tabla 5-5 : Resultados V5

Vivienda V5, Pericles, Ñuñoa (Fachada trasera).																																									
MURO: Ladrillo de 14 cm con estuco y pintura hacia el exterior. Revestimiento interior de yeso-carton de 15 mm.																																									
VENTANA: De aluminio, de 2 hojas correderas con vidrio doble de 3 mm y cámara de aire.																																									
JUNTAS: Felpa del tipo Poly-bond en todo el perímetro.		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Superficie elementos</th> <th colspan="2">Porcentaje %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muro</td> <td>3,5 m²</td> <td colspan="2">36</td> </tr> <tr> <td>Ventana</td> <td>6,1 m²</td> <td colspan="2">64</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>9,6 m²</td> <td colspan="2">100</td> </tr> </tbody> </table>		Superficie elementos		Porcentaje %		Muro	3,5 m ²	36		Ventana	6,1 m ²	64		Total	9,6 m ²	100																							
Superficie elementos		Porcentaje %																																							
Muro	3,5 m ²	36																																							
Ventana	6,1 m ²	64																																							
Total	9,6 m ²	100																																							
OTROS: Correcto cierre.		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Fuente:</td> <td>Altavoz <input checked="" type="checkbox"/></td> <td>Corrección por ruido de fondo:</td> <td>Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></td> <td>Instrumento:</td> <td>Larson Davis <input checked="" type="checkbox"/></td> <td>Bruel & Kjaer <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Ruido tráfico <input type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Fuente:	Altavoz <input checked="" type="checkbox"/>	Corrección por ruido de fondo:	Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Instrumento:	Larson Davis <input checked="" type="checkbox"/>	Bruel & Kjaer <input type="checkbox"/>		Ruido tráfico <input type="checkbox"/>																													
Fuente:	Altavoz <input checked="" type="checkbox"/>	Corrección por ruido de fondo:	Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Instrumento:	Larson Davis <input checked="" type="checkbox"/>	Bruel & Kjaer <input type="checkbox"/>																																			
	Ruido tráfico <input type="checkbox"/>																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frecuencia Hz</th> <th>D2m, nT [dB]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>19,8</td></tr> <tr><td>125</td><td>22,5</td></tr> <tr><td>160</td><td>17,7</td></tr> <tr><td>200</td><td>22,9</td></tr> <tr><td>250</td><td>20,2</td></tr> <tr><td>315</td><td>21,7</td></tr> <tr><td>400</td><td>25,0</td></tr> <tr><td>500</td><td>24,9</td></tr> <tr><td>630</td><td>23,9</td></tr> <tr><td>800</td><td>25,2</td></tr> <tr><td>1000</td><td>26,2</td></tr> <tr><td>1250</td><td>28,1</td></tr> <tr><td>1600</td><td>22,8</td></tr> <tr><td>2000</td><td>25,6</td></tr> <tr><td>2500</td><td>31,3</td></tr> <tr><td>3150</td><td>29,7</td></tr> <tr><td>4000</td><td>30,4</td></tr> <tr><td>5000</td><td>29,8</td></tr> </tbody> </table>		Frecuencia Hz	D2m, nT [dB]	100	19,8	125	22,5	160	17,7	200	22,9	250	20,2	315	21,7	400	25,0	500	24,9	630	23,9	800	25,2	1000	26,2	1250	28,1	1600	22,8	2000	25,6	2500	31,3	3150	29,7	4000	30,4	5000	29,8		
Frecuencia Hz	D2m, nT [dB]																																								
100	19,8																																								
125	22,5																																								
160	17,7																																								
200	22,9																																								
250	20,2																																								
315	21,7																																								
400	25,0																																								
500	24,9																																								
630	23,9																																								
800	25,2																																								
1000	26,2																																								
1250	28,1																																								
1600	22,8																																								
2000	25,6																																								
2500	31,3																																								
3150	29,7																																								
4000	30,4																																								
5000	29,8																																								
RESULTADOS:		$D_{2m, nT} = (C ; C_{tr}) = 26 (-1, -2) \text{ dB}$																																							

Tabla 5-6 : Resultados V6

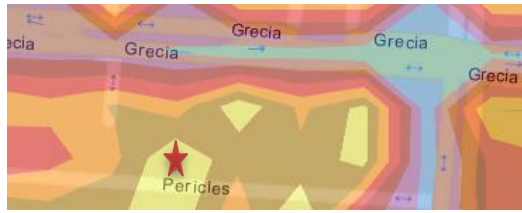
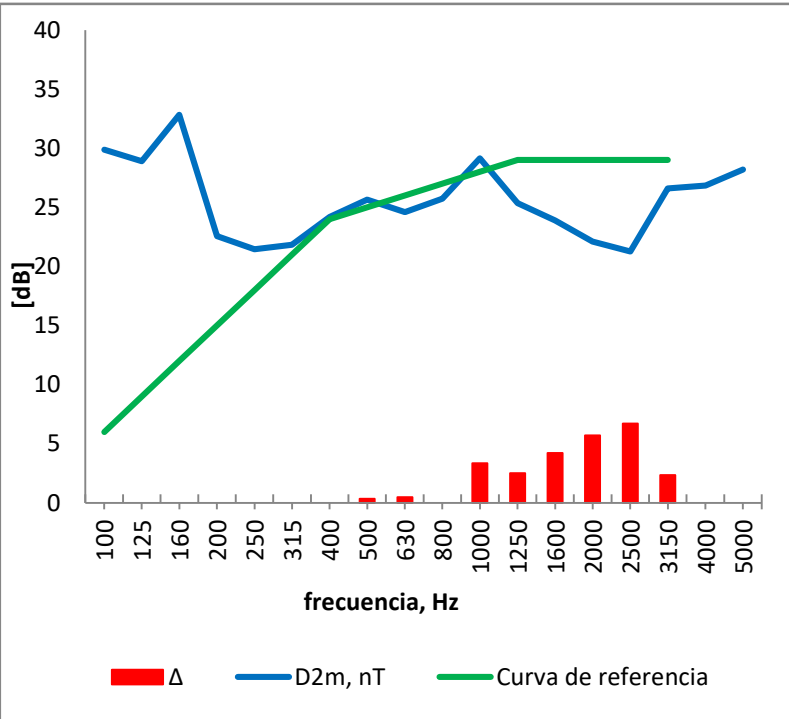
Vivienda V6, Pericles, Ñuñoa (Fachada delantera).																																									
MURO: Ladrillo de 14 cm con estuco y pintura hacia el exterior. Revestimiento interior de yeso-carton de 15 mm.																																									
VENTANA: De aluminio, de 2 hojas correderas con vidrio doble de 3 mm y cámara de aire.																																									
JUNTAS: Felpa del tipo Poly-bond en todo el perímetro.		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Superficie elementos</th> <th colspan="2">Porcentaje %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muro</td> <td>8,3</td> <td>m²</td> <td>88</td> </tr> <tr> <td>Ventana</td> <td>1,1</td> <td>m²</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>9,4</td> <td>m²</td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table>		Superficie elementos		Porcentaje %		Muro	8,3	m ²	88	Ventana	1,1	m ²	12	Total	9,4	m ²	100																						
Superficie elementos		Porcentaje %																																							
Muro	8,3	m ²	88																																						
Ventana	1,1	m ²	12																																						
Total	9,4	m ²	100																																						
OTROS: Ventana descuadrada.																																									
Fuente: Altavoz <input checked="" type="checkbox"/> Ruido tráfico <input type="checkbox"/>		Corrección por Si <input checked="" type="checkbox"/> ruido de fondo: No <input type="checkbox"/>																																							
		Instrumento: Larson Davis <input checked="" type="checkbox"/> Bruel & Kjaer <input type="checkbox"/>																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frecuencia Hz</th> <th>D2m, nT [dB]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>29,9</td></tr> <tr><td>125</td><td>28,9</td></tr> <tr><td>160</td><td>32,8</td></tr> <tr><td>200</td><td>22,6</td></tr> <tr><td>250</td><td>21,5</td></tr> <tr><td>315</td><td>21,8</td></tr> <tr><td>400</td><td>24,2</td></tr> <tr><td>500</td><td>25,7</td></tr> <tr><td>630</td><td>24,6</td></tr> <tr><td>800</td><td>25,7</td></tr> <tr><td>1000</td><td>29,1</td></tr> <tr><td>1250</td><td>25,4</td></tr> <tr><td>1600</td><td>23,9</td></tr> <tr><td>2000</td><td>22,1</td></tr> <tr><td>2500</td><td>21,3</td></tr> <tr><td>3150</td><td>26,6</td></tr> <tr><td>4000</td><td>26,8</td></tr> <tr><td>5000</td><td>28,2</td></tr> </tbody> </table>		Frecuencia Hz	D2m, nT [dB]	100	29,9	125	28,9	160	32,8	200	22,6	250	21,5	315	21,8	400	24,2	500	25,7	630	24,6	800	25,7	1000	29,1	1250	25,4	1600	23,9	2000	22,1	2500	21,3	3150	26,6	4000	26,8	5000	28,2		
Frecuencia Hz	D2m, nT [dB]																																								
100	29,9																																								
125	28,9																																								
160	32,8																																								
200	22,6																																								
250	21,5																																								
315	21,8																																								
400	24,2																																								
500	25,7																																								
630	24,6																																								
800	25,7																																								
1000	29,1																																								
1250	25,4																																								
1600	23,9																																								
2000	22,1																																								
2500	21,3																																								
3150	26,6																																								
4000	26,8																																								
5000	28,2																																								
RESULTADOS:		D_{2m, nT} = (C ; C_{tr}) = 25 (-1, 0) dB																																							

Tabla 5-7 : Resultados V7


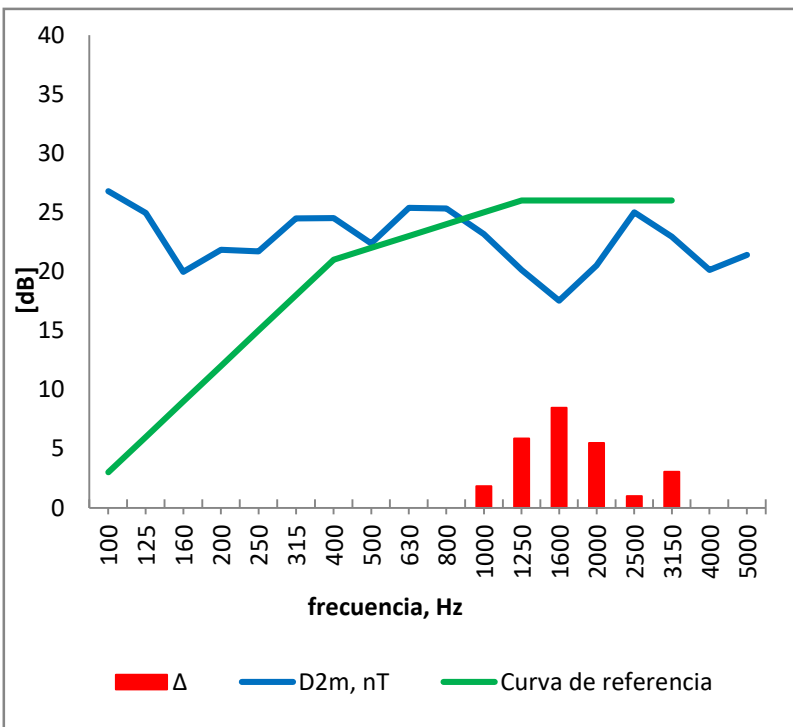
Vivienda V7, Fray Montalva, Las Condes.																																										
MURO: Hormigón armado de 15 cm. Sin terminación.																																										
VENTANA: De aluminio con madera, 3 hojas una fija y dos móviles, termopanel de 4 mm con cámara de aire de 10 mm.																																										
JUNTAS: No instalada		Superficie elementos		Porcentaje %																																						
		Muro	2,9 m ²	28																																						
		Ventana	7,7 m ²	72																																						
OTROS:		Total	10,6 m ²	100																																						
Fuente: Altavoz <input checked="" type="checkbox"/> Ruido tráfico <input type="checkbox"/>		Corrección por Si <input type="checkbox"/> ruido de fondo: No <input checked="" type="checkbox"/>		Instrumento: Larson Davis <input type="checkbox"/> Bruel & Kjaer <input checked="" type="checkbox"/>																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frecuencia Hz</th> <th>D2m, nT [dB]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>26,8</td></tr> <tr><td>125</td><td>25,0</td></tr> <tr><td>160</td><td>20,0</td></tr> <tr><td>200</td><td>21,8</td></tr> <tr><td>250</td><td>21,7</td></tr> <tr><td>315</td><td>24,5</td></tr> <tr><td>400</td><td>24,5</td></tr> <tr><td>500</td><td>22,4</td></tr> <tr><td>630</td><td>25,4</td></tr> <tr><td>800</td><td>25,3</td></tr> <tr><td>1000</td><td>23,2</td></tr> <tr><td>1250</td><td>20,1</td></tr> <tr><td>1600</td><td>17,5</td></tr> <tr><td>2000</td><td>20,5</td></tr> <tr><td>2500</td><td>25,0</td></tr> <tr><td>3150</td><td>23,0</td></tr> <tr><td>4000</td><td>20,1</td></tr> <tr><td>5000</td><td>21,4</td></tr> </tbody> </table>		Frecuencia Hz	D2m, nT [dB]	100	26,8	125	25,0	160	20,0	200	21,8	250	21,7	315	24,5	400	24,5	500	22,4	630	25,4	800	25,3	1000	23,2	1250	20,1	1600	17,5	2000	20,5	2500	25,0	3150	23,0	4000	20,1	5000	21,4	 <p style="text-align: center;"> ■ Δ — D2m, nT — Curva de referencia </p>		
Frecuencia Hz	D2m, nT [dB]																																									
100	26,8																																									
125	25,0																																									
160	20,0																																									
200	21,8																																									
250	21,7																																									
315	24,5																																									
400	24,5																																									
500	22,4																																									
630	25,4																																									
800	25,3																																									
1000	23,2																																									
1250	20,1																																									
1600	17,5																																									
2000	20,5																																									
2500	25,0																																									
3150	23,0																																									
4000	20,1																																									
5000	21,4																																									
RESULTADOS:		D_{2m, nT} = (C ; C_{tr}) = 22 (-1, 0) dB																																								

Tabla 5-8 : Resultados V8


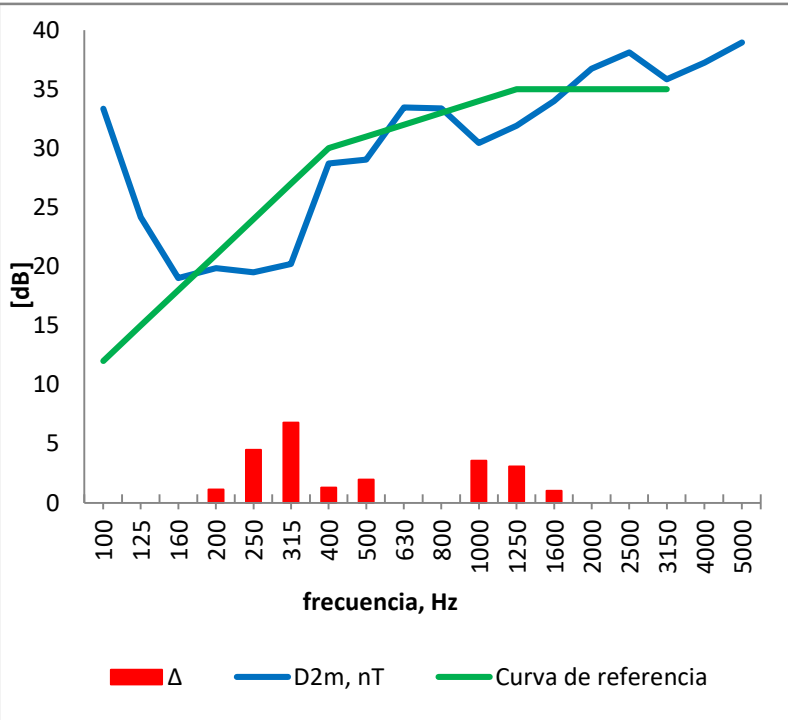

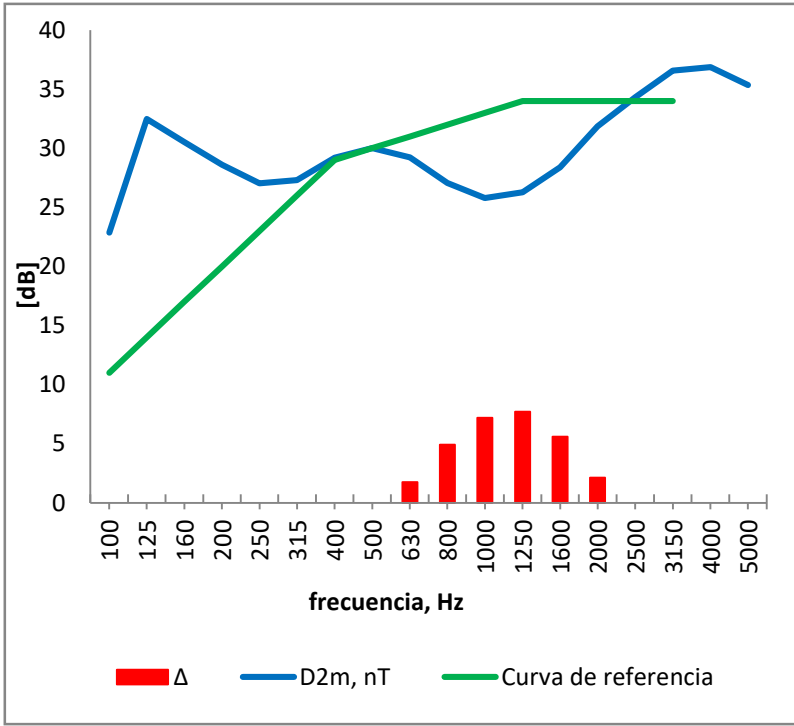
Vivienda V8, Fray Montalva, Las Condes (Terminada).																																										
MURO: Hormigón armado de 15 cm.																																										
VENTANA: De aluminio con madera, 3 hojas una fija y dos móviles, termopanel de 4 mm con cámara de aire de 10 mm.																																										
JUNTAS: Felpa del tipo Fin-Seal de 7x8 mm.		Superficie elementos		Porcentaje %																																						
		Muro	2,9 m ²	28																																						
		Ventana	7,7 m ²	72																																						
OTROS:		Total	10,6 m ²	100																																						
Fuente: Altavoz <input checked="" type="checkbox"/> Ruido tráfico <input type="checkbox"/>		Corrección por Si <input type="checkbox"/> ruido de fondo: No <input checked="" type="checkbox"/>		Instrumento: Larson Davis <input type="checkbox"/> Bruel & Kjaer <input checked="" type="checkbox"/>																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frecuencia Hz</th> <th>D2m, nT [dB]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>33,3</td></tr> <tr><td>125</td><td>24,2</td></tr> <tr><td>160</td><td>19,0</td></tr> <tr><td>200</td><td>19,9</td></tr> <tr><td>250</td><td>19,5</td></tr> <tr><td>315</td><td>20,2</td></tr> <tr><td>400</td><td>28,7</td></tr> <tr><td>500</td><td>29,0</td></tr> <tr><td>630</td><td>33,5</td></tr> <tr><td>800</td><td>33,4</td></tr> <tr><td>1000</td><td>30,4</td></tr> <tr><td>1250</td><td>31,9</td></tr> <tr><td>1600</td><td>34,0</td></tr> <tr><td>2000</td><td>36,7</td></tr> <tr><td>2500</td><td>38,1</td></tr> <tr><td>3150</td><td>35,8</td></tr> <tr><td>4000</td><td>37,2</td></tr> <tr><td>5000</td><td>38,9</td></tr> </tbody> </table>		Frecuencia Hz	D2m, nT [dB]	100	33,3	125	24,2	160	19,0	200	19,9	250	19,5	315	20,2	400	28,7	500	29,0	630	33,5	800	33,4	1000	30,4	1250	31,9	1600	34,0	2000	36,7	2500	38,1	3150	35,8	4000	37,2	5000	38,9			
Frecuencia Hz	D2m, nT [dB]																																									
100	33,3																																									
125	24,2																																									
160	19,0																																									
200	19,9																																									
250	19,5																																									
315	20,2																																									
400	28,7																																									
500	29,0																																									
630	33,5																																									
800	33,4																																									
1000	30,4																																									
1250	31,9																																									
1600	34,0																																									
2000	36,7																																									
2500	38,1																																									
3150	35,8																																									
4000	37,2																																									
5000	38,9																																									
RESULTADOS:		D_{2m, nT} = (C ; C_{tr}) = 31 (-1, -3) dB																																								

Tabla 5-9 : Resultados V9

Vivienda V9, Vicuña Mackena, Santiago (Living Comedor).																																										
MURO: No aplica.																																										
VENTANA: De PVC, con dos hojas móviles. Termo panel de 3 mm con cámara de 10 mm.																																										
JUNTAS: Felpa del tipo Poly-bond de 5x5 mm.		Superficie elementos		Porcentaje %																																						
		Muro	0	m ²	0																																					
OTROS:		Ventana	4,4	m ²	100																																					
		Total	4,4	m ²	100																																					
Fuente: Altavoz <input type="checkbox"/> Ruido tráfico <input checked="" type="checkbox"/>		Corrección por ruido de fondo: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>		Instrumento: Larson Davis <input type="checkbox"/> Bruel & Kjaer <input checked="" type="checkbox"/>																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frecuencia Hz</th> <th>D2m, nT [dB]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>22,9</td></tr> <tr><td>125</td><td>32,5</td></tr> <tr><td>160</td><td>30,5</td></tr> <tr><td>200</td><td>28,6</td></tr> <tr><td>250</td><td>27,0</td></tr> <tr><td>315</td><td>27,3</td></tr> <tr><td>400</td><td>29,2</td></tr> <tr><td>500</td><td>30,0</td></tr> <tr><td>630</td><td>29,2</td></tr> <tr><td>800</td><td>27,1</td></tr> <tr><td>1000</td><td>25,8</td></tr> <tr><td>1250</td><td>26,3</td></tr> <tr><td>1600</td><td>28,4</td></tr> <tr><td>2000</td><td>31,9</td></tr> <tr><td>2500</td><td>34,3</td></tr> <tr><td>3150</td><td>36,6</td></tr> <tr><td>4000</td><td>36,9</td></tr> <tr><td>5000</td><td>35,3</td></tr> </tbody> </table>		Frecuencia Hz	D2m, nT [dB]	100	22,9	125	32,5	160	30,5	200	28,6	250	27,0	315	27,3	400	29,2	500	30,0	630	29,2	800	27,1	1000	25,8	1250	26,3	1600	28,4	2000	31,9	2500	34,3	3150	36,6	4000	36,9	5000	35,3			
Frecuencia Hz	D2m, nT [dB]																																									
100	22,9																																									
125	32,5																																									
160	30,5																																									
200	28,6																																									
250	27,0																																									
315	27,3																																									
400	29,2																																									
500	30,0																																									
630	29,2																																									
800	27,1																																									
1000	25,8																																									
1250	26,3																																									
1600	28,4																																									
2000	31,9																																									
2500	34,3																																									
3150	36,6																																									
4000	36,9																																									
5000	35,3																																									
RESULTADOS:		D_{2m, nT} = (C ; C_{tr}) = 30 (-1, -2) dB																																								

5.2 Ensayos a Fachadas con puerta

Tabla 5-10 : Resultados P1

Vivienda P1, Fray Montalva, Las Condes.																																										
PUERTA:		Superficie elementos		Porcentaje %																																						
De pino radiata de 4,5 cm de espesor.		Muro	1,8 m ²	72																																						
OTROS:		Puerta	0,7 m ²	28																																						
La puerta da al interior de la vivienda.		Total	2,5 m ²	100																																						
Fuente:	Altavoz <input checked="" type="checkbox"/> Ruido tráfico <input type="checkbox"/>	Corrección por ruido de fondo:	Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	Instrumento: Larson Davis <input type="checkbox"/> Bruel & Kjaer <input checked="" type="checkbox"/>																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frecuencia Hz</th> <th>D2m, nT [dB]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>26,0</td></tr> <tr><td>125</td><td>27,4</td></tr> <tr><td>160</td><td>23,8</td></tr> <tr><td>200</td><td>28,0</td></tr> <tr><td>250</td><td>25,2</td></tr> <tr><td>315</td><td>30,9</td></tr> <tr><td>400</td><td>30,2</td></tr> <tr><td>500</td><td>30,9</td></tr> <tr><td>630</td><td>29,7</td></tr> <tr><td>800</td><td>29,6</td></tr> <tr><td>1000</td><td>30,7</td></tr> <tr><td>1250</td><td>29,0</td></tr> <tr><td>1600</td><td>29,1</td></tr> <tr><td>2000</td><td>26,0</td></tr> <tr><td>2500</td><td>25,5</td></tr> <tr><td>3150</td><td>25,5</td></tr> <tr><td>4000</td><td>26,4</td></tr> <tr><td>5000</td><td>25,2</td></tr> </tbody> </table>		Frecuencia Hz	D2m, nT [dB]	100	26,0	125	27,4	160	23,8	200	28,0	250	25,2	315	30,9	400	30,2	500	30,9	630	29,7	800	29,6	1000	30,7	1250	29,0	1600	29,1	2000	26,0	2500	25,5	3150	25,5	4000	26,4	5000	25,2	<p>El gráfico muestra el nivel de sonido en dB frente a la frecuencia en Hz. La línea azul (D2m, nT) fluctúa entre 23,8 dB y 30,9 dB. La línea verde (Curva de referencia) aumenta de 9 dB a 32 dB. Las barras rojas (Δ) representan el ruido de fondo, con picos de hasta 6,5 dB entre 1250 y 3150 Hz.</p>		
Frecuencia Hz	D2m, nT [dB]																																									
100	26,0																																									
125	27,4																																									
160	23,8																																									
200	28,0																																									
250	25,2																																									
315	30,9																																									
400	30,2																																									
500	30,9																																									
630	29,7																																									
800	29,6																																									
1000	30,7																																									
1250	29,0																																									
1600	29,1																																									
2000	26,0																																									
2500	25,5																																									
3150	25,5																																									
4000	26,4																																									
5000	25,2																																									
RESULTADOS:		D_{2m, nT} = (C ; C_{tr}) = 28 (0, 0) dB																																								

Tabla 5-11 : Resultados P2

Vivienda P2, Ladislao Errazuriz, Providencia.																																										
PUERTA: Terciado de 5mm de espesor y estructura de pino interior.	Superficie elementos			Porcentaje %																																						
	Muro	0,8	m ²	31																																						
OTROS: La puerta da hacia el pasillo del edificio.	Puerta	1,8	m ²	69																																						
	Total	2,6	m ²	100																																						
Fuente: Altavoz <input checked="" type="checkbox"/> Ruido tráfico <input type="checkbox"/>	Corrección por ruido de fondo: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	Instrumento: Larson Davis <input type="checkbox"/> Bruel & Kjaer <input checked="" type="checkbox"/>																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frecuencia Hz</th> <th>D2m, nT [dB]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>29,5</td></tr> <tr><td>125</td><td>30,6</td></tr> <tr><td>160</td><td>20,4</td></tr> <tr><td>200</td><td>22,7</td></tr> <tr><td>250</td><td>31,1</td></tr> <tr><td>315</td><td>29,9</td></tr> <tr><td>400</td><td>27,8</td></tr> <tr><td>500</td><td>27,6</td></tr> <tr><td>630</td><td>29,2</td></tr> <tr><td>800</td><td>28,1</td></tr> <tr><td>1000</td><td>30,1</td></tr> <tr><td>1250</td><td>29,2</td></tr> <tr><td>1600</td><td>29,0</td></tr> <tr><td>2000</td><td>27,9</td></tr> <tr><td>2500</td><td>25,1</td></tr> <tr><td>3150</td><td>24,8</td></tr> <tr><td>4000</td><td>27,6</td></tr> <tr><td>5000</td><td>29,2</td></tr> </tbody> </table>	Frecuencia Hz	D2m, nT [dB]	100	29,5	125	30,6	160	20,4	200	22,7	250	31,1	315	29,9	400	27,8	500	27,6	630	29,2	800	28,1	1000	30,1	1250	29,2	1600	29,0	2000	27,9	2500	25,1	3150	24,8	4000	27,6	5000	29,2	<p>El gráfico muestra el nivel de ruido en dB en función de la frecuencia en Hz. La línea azul (D2m, nT) fluctúa entre 20,4 dB y 31,1 dB. La línea verde (Curva de referencia) aumenta de 9 dB a 32 dB. Las barras rojas (Δ) muestran diferencias positivas de hasta 7 dB en las frecuencias de 2500 y 3150 Hz.</p>			
Frecuencia Hz	D2m, nT [dB]																																									
100	29,5																																									
125	30,6																																									
160	20,4																																									
200	22,7																																									
250	31,1																																									
315	29,9																																									
400	27,8																																									
500	27,6																																									
630	29,2																																									
800	28,1																																									
1000	30,1																																									
1250	29,2																																									
1600	29,0																																									
2000	27,9																																									
2500	25,1																																									
3150	24,8																																									
4000	27,6																																									
5000	29,2																																									
RESULTADOS:		D_{2m, nT} = (C ; C_{tr}) = 28 (-1, 0) dB																																								

Tabla 5-12 : Resultados P3

Vivienda P3, Pedro de Valdivia, Ñuñoa.																																										
PUERTA: Terciado de 4mm de espesor y estructura de pino interior.	Superficie elementos			Porcentaje %																																						
	Muro	5,5	m ²	73																																						
OTROS: El muro estudiado presenta además 2 pequeñas ventanas fijas con marco de madera	Puerta	2,0	m ²	20																																						
	Ventana	0,5	m ²	7																																						
	Total	7,5	m ²	100																																						
Fuente: Altavoz <input type="checkbox"/> Ruido tráfico <input checked="" type="checkbox"/>	Corrección por ruido de fondo: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	Instrumento: Larson Davis <input type="checkbox"/> Bruel & Kjaer <input checked="" type="checkbox"/>																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frecuencia Hz</th> <th>D2m, nT [dB]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>19,0</td></tr> <tr><td>125</td><td>21,3</td></tr> <tr><td>160</td><td>24,5</td></tr> <tr><td>200</td><td>22,1</td></tr> <tr><td>250</td><td>22,1</td></tr> <tr><td>315</td><td>21,7</td></tr> <tr><td>400</td><td>21,9</td></tr> <tr><td>500</td><td>22,5</td></tr> <tr><td>630</td><td>23,6</td></tr> <tr><td>800</td><td>24,9</td></tr> <tr><td>1000</td><td>24,5</td></tr> <tr><td>1250</td><td>23,2</td></tr> <tr><td>1600</td><td>22,5</td></tr> <tr><td>2000</td><td>21,1</td></tr> <tr><td>2500</td><td>20,1</td></tr> <tr><td>3150</td><td>19,7</td></tr> <tr><td>4000</td><td>19,1</td></tr> <tr><td>5000</td><td>16,9</td></tr> </tbody> </table>	Frecuencia Hz	D2m, nT [dB]	100	19,0	125	21,3	160	24,5	200	22,1	250	22,1	315	21,7	400	21,9	500	22,5	630	23,6	800	24,9	1000	24,5	1250	23,2	1600	22,5	2000	21,1	2500	20,1	3150	19,7	4000	19,1	5000	16,9	<p>El gráfico muestra el nivel de ruido en dB (eje Y) frente a la frecuencia en Hz (eje X). Se incluyen tres series de datos: un espectro de ruido representado por barras rojas, los datos medidos representados por una línea azul, y una curva de referencia representada por una línea verde. El eje X está etiquetado como 'frecuencia, Hz' y el eje Y como '[dB]'. La leyenda indica: Δ (rojo), D2m, nT (azul) y Curva de referencia (verde).</p>			
Frecuencia Hz	D2m, nT [dB]																																									
100	19,0																																									
125	21,3																																									
160	24,5																																									
200	22,1																																									
250	22,1																																									
315	21,7																																									
400	21,9																																									
500	22,5																																									
630	23,6																																									
800	24,9																																									
1000	24,5																																									
1250	23,2																																									
1600	22,5																																									
2000	21,1																																									
2500	20,1																																									
3150	19,7																																									
4000	19,1																																									
5000	16,9																																									
RESULTADOS:		D_{2m, nT} = (C ; C_{tr}) = 23 (-1, 0) dB																																								

6 ANALISIS DE RESULTADOS

6.1 Análisis comportamiento de fachadas con vidrio simple

De acuerdo a lo obtenido de la literatura, el comportamiento de un vidrio simple, dependiendo de su espesor, está caracterizado por las curvas de la Figura 6-1. Se aprecia que en la primera zona el aislamiento acústico tiene una pendiente regular incrementando la aislación en 4-5 dB cuando la frecuencia se duplica. Sin embargo existe cierta frecuencia donde la aislación comienza a disminuir bruscamente.

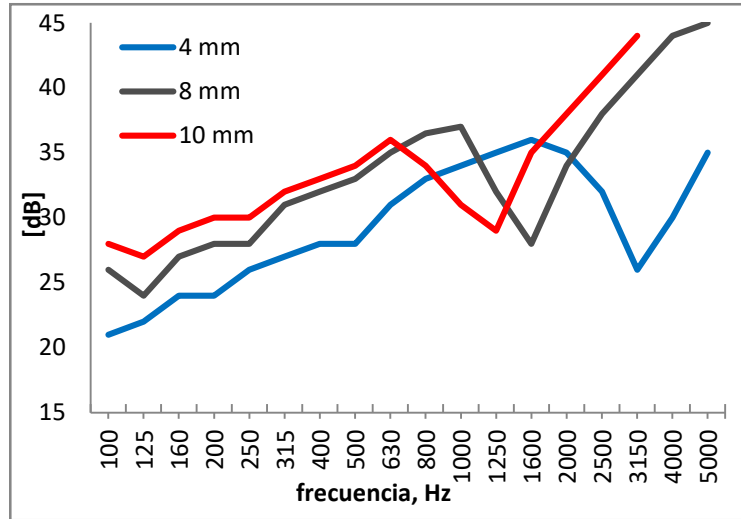


Figura 6-1 : Comportamiento esperado de un vidrio monolítico en laboratorio para espesores de 4, 8 y 10 mm

La disminución de la aislación se produce hasta una frecuencia particular llamada “frecuencia crítica”. Lo que se produce en este punto es que el vidrio comienza espontáneamente a vibrar permitiendo que el ruido lo traspase de manera más fácil. Este frecuencia depende del espesor del vidrio y está dada por la siguiente relación:

$$F_{CR} = \frac{12800}{\text{espesor (mm)}}$$

Para los espesores más comunes utilizados en construcción se tiene entonces las frecuencias críticas indicadas en la Tabla 6-1. Cuando se aumenta el espesor del vidrio, la frecuencia crítica disminuye hacia frecuencias inferiores.

Tabla 6-1 : Frecuencias críticas para vidrios simples de espesores comunes.

Espesor [mm]	F _{CR} [Hz]
3	4267
4	3200
5	2560
8	1600
10	1280

En los ensayos realizados se tienen 4 fachadas con vidrio simple. Los resultados medidos se indican en la Tabla 6-2.

Tabla 6-2 : Resultados obtenidos en fachadas con vidrio simple.

Vivienda	$D_{2m, nT} + C_{TR}$ [dB]	Espesor [mm]	Área ventana [m ²]	Elemento del marco	Junta	Elemento Principal
V1	17	3	1,3	Aluminio	Felpa adhesiva	Ladrillo
V2	26	5	9,6	Aluminio	Poly-Bond	N/A
V3	24	5	7,5	Aluminio	Poly-Bond	N/A
V4	24	4	1,8	Madera	Ninguna	Ladrillo

El método convencional de cálculo de aislamiento acústico para elementos se denomina “*ley de masas*”, ésta solo depende de la masa por unidad de superficie del elemento a considerar. Para masas menor a los 150 kg/m² el índice de reducción sonora (R) se calcula según:

$$m \leq 150 \frac{kg}{m^2} \quad R_A = 16.6 \cdot \log m + 5 [dB]$$

$$m \geq 150 \frac{kg}{m^2} \quad R_A = 36.5 \cdot \log m - 38.5 [dB]$$

Para un vidrio, la densidad es de 2.500 kg/m³, lo que entrega una masa por unidad de superficie 2.5 kg/m² para cada mm de espesor. Con esto, para los espesores medidos en los ensayos mostrados en la Tabla 6-2 se tienen los siguientes índices de reducción sonora teóricos.

Tabla 6-3 : Índice de reducción sonora para un vidrio simple de acuerdo a la ley de masas.

Espesor [mm]	R [dB]
3	20
4	22
5	23

Lo que muestra la Tabla 6-3 corresponde a los valores teóricos de un elemento considerando únicamente su densidad y espesor. En la Figura 6-2 se realiza este mismo ejercicio con diferentes materiales y espesores, graficando de acuerdo a su índice de reducción acústica en función de la densidad de cada material o conjunto de ellos.

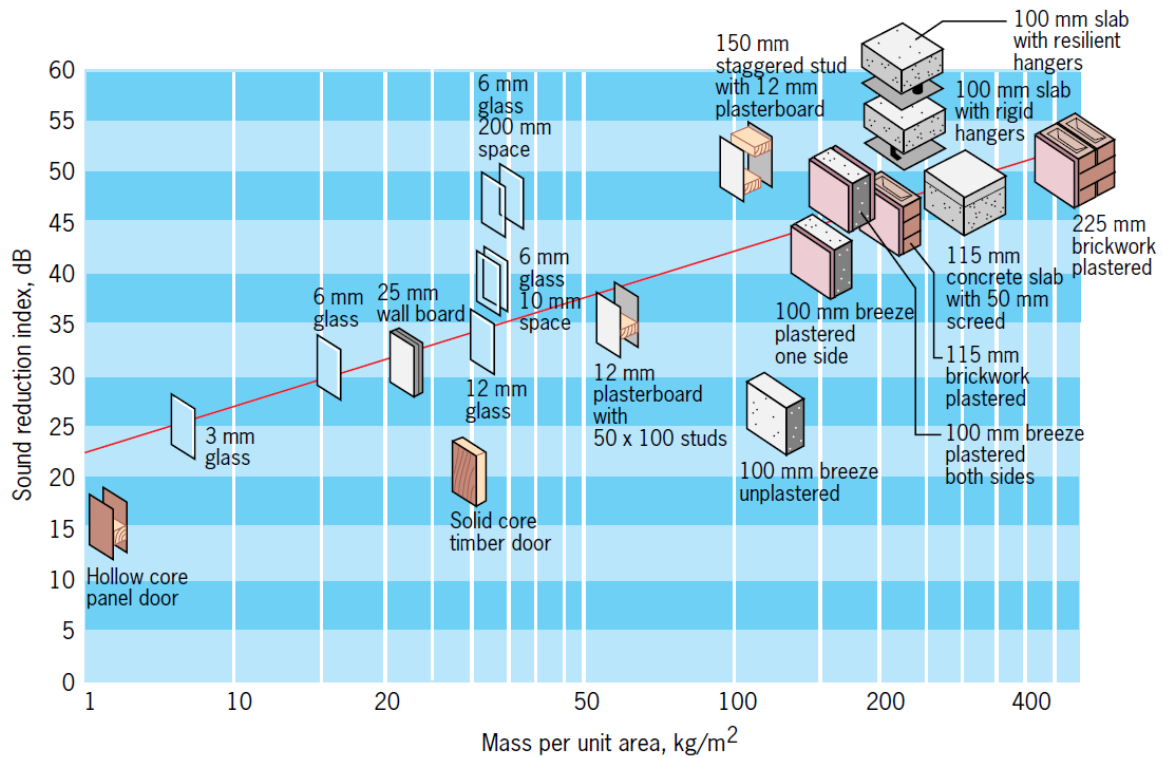


Figura 6-2 : Valores típicos de índice de reducción acústica para elementos constructivos. Fuente: Figura 3.5, Referencia [13]

Para estimar la aislación de un conjunto formado por dos elementos de los cuales se conoce su índice de reducción acústica (R_w), es necesario saber el porcentaje del área total de la pared que ocupa el elemento con menor R_w , por ejemplo una puerta, y la diferencia entre los valores R_w de ambos elementos. Ambos valores se llevan a la Figura 6-3 y se obtiene el valor de corrección.

S2/(S1+S2) × 100%	STC (1) rating minus STC (2) rating, dB									
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
	Correction to subtract from STC (1) to obtain the STC rating of the composite assembly, dB									
0 to 0.2	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3
>0.2 to 0.5	0	0	0	0	0	1	1	3	4	6
>0.5 to 1	0	0	0	0	1	2	3	4	7	9
>1 to 2	0	0	0	1	2	3	4	7	9	12
>2 to 5	0	0	1	2	3	5	7	10	12	15
>5 to 10	0	1	2	3	5	7	10	13	16	19
>10 to 20	1	2	3	5	7	10	13	16	19	20
>20 to 30	1	2	4	7	9	12	15	18	21	24
>30 to 40	1	3	5	8	11	14	17	20	23	26
>40 to 60	2	4	7	9	12	15	18	21	24	27
>60 to 80	2	5	8	10	13	16	19	22	25	28
>80 to 100	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30

Figura 6-3 : Tabla para estimar R_w para un muro heterogéneo con diferente índice de reducción acústica. Fuente: Figura 3.8, Referencia [13]

Reuniendo esta información se puede hacer un análisis para comparar los valores medidos en los ensayos mostrados en la Tabla 6-2.

Para obtener el valor de aislamiento del elemento heterogéneo, se resta el factor obtenido en la tabla anterior, al R_w del elemento de mayor aislamiento del conjunto

Tabla 6-4 : Análisis teórico de los resultados en las viviendas con vidrio simple.

Vivienda	Área fachada [m ²]	Área ventana [m ²]	Área ventana [%]	R teórico muro [dB]	R teórico ventana* [dB]	Diferencia [dB]	Factor de acuerdo a Figura 6-3	R teórico total [dB]
V1	6.3	1.3	21%	46	20	26	20	26
V2	9.6	9.6	100%	0	23	0	0	23
V3	7.5	7.5	100%	0	23	0	0	23
V4	10.5	1.8	17%	46	22	24	16	30

*Por ley de masas

El valor utilizado para el muro, se obtiene del Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Aislamiento Acústico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (ref [15]).

Tabla 6-5 : Comparativa resultados ensayo versus teóricos.

Vivienda	$D_{2m, nT} + C_{TR}$ [dB]	R teórico [dB]
V1	17	26
V2	26	23
V3	24	23
V4	24	30

En el caso V2 y V3 no existe muro en la fachada estudiada, por lo que el análisis se realiza considerando 100% de acristalamiento. En estas fachadas el cierre se concreta con las felpas del tipo Poly-bond que corresponden a una banda de pelos de polipropileno de 5x5 mm como se muestra en la Figura 6-4. Las fibras de polipropileno entrecruzadas forman una barrera elástica que limita el paso de agentes ambientales, entre ellos el ruido.

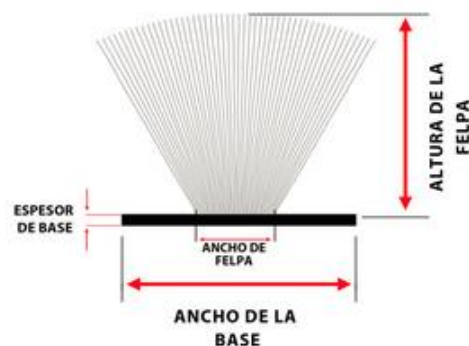


Figura 6-4 : Esquema de una felpa del tipo Poly-Bond.

Para V2, que corresponde a una ventana de 9,6 m², se tiene un Índice de reducción sonora de 26 dB. Entre los factores que determinan el comportamiento favorable de esta fachada se encuentra que la ventana posee un sello perimetral del tipo Poly-Bond en buen estado, lo que da al conjunto un correcto cierre perimetral y maximiza su capacidad.

Sin embargo, el elemento presenta un comportamiento plano, es decir, al analizarlo en cada banda de tercio de octava se puede apreciar que el comportamiento en medias y altas frecuencias está algunos decibeles por debajo de la curva de referencia y demasiado alta en las bajas frecuencias, lo que no aporta al aislamiento global.

En V3, se tiene un Índice de reducción sonora de 24 dB. El elemento analizado es de un menor tamaño (7,5 m²) y su desempeño está 2 dB por debajo del elemento de las mismas características y mayor tamaño, contrario a lo esperado. La curva resultante es más parecida a la curva de referencia, generando aportando positivamente al valor de aislamiento obtenido.

Cabe mencionar que la habitación analizada presenta cortinas, lo que genera algún tipo de absorción del sonido. Se desconoce el aporte de la absorción acústica al resultado final del análisis, por estar el tema fuera del alcance de este trabajo.

El desempeño en estos dos casos supera lo estimado teóricamente, se infiere que esto se debe a un correcto cierre perimetral.

En el caso de V1, los resultados teóricos son 9 dB mayor a lo obtenido en terreno, si bien por definición de la norma estos resultados no son comparables, se esperaría que existiera algún tipo de relación entre ellos.

Al analizar el cierre de la ventana, se observa que posee una felpa adhesiva con desgaste. La función que cumple este elemento es el mismo que el de las felpas Poly-Bond, pero contiene celdas de menor altura (2 mm) lo que permite un cierre menos hermético y un mayor paso del sonido. Por otro lado, al observar detenidamente la ventana, se aprecia que existen deformaciones en el encuadre ventana marco, dejando una separación de alrededor de 5mm en la parte superior, por donde pasa el aire.

Para V4, se tiene un Índice de reducción sonora de 24 dB. El elemento presenta un débil desempeño ante fuentes de ruido con predominancia en bajas frecuencias, como lo es el ruido de tráfico (ver Figura 2-9), factor que queda corregido al incorporarle el valor C_{TR} al descriptor $D_{2m, nT}$.

El material del marco del elemento acristalado corresponde a madera. No existe ningún elemento adicional que ayude a mantener la hermeticidad del sistema. El encuadre ventana marco es adecuado, sin embargo, por la naturaleza del material, deben quedar 1 o 2 milímetros de separación para que este se pueda abrir o cerrar con facilidad, lo que permite el paso del aire.

En estos dos últimos casos (V1 y V4) el comportamiento de la fachada está lejos del teórico y la explicación radica en las condiciones de cierre apreciadas en terreno: la hermeticidad del cierre.

Otro análisis que se debe realizar en los ensayos, es la forma de la curva de aislación. La semejanza entre la curva de aislación obtenida y la curva de referencia determinará la eficiencia del comportamiento, pues se requiere idealmente aislar poca cantidad de decibeles en bajas frecuencias y mayor aislación en altas frecuencias, esto al ser estas últimas las predominantes en ruidos típicos como el ruido de tráfico.

Bajo este análisis, una curva con alta aislación en bajas frecuencias podría representar índice de aislación acústica R_w peor que una curva plana (con igual aislación en todas las frecuencias)

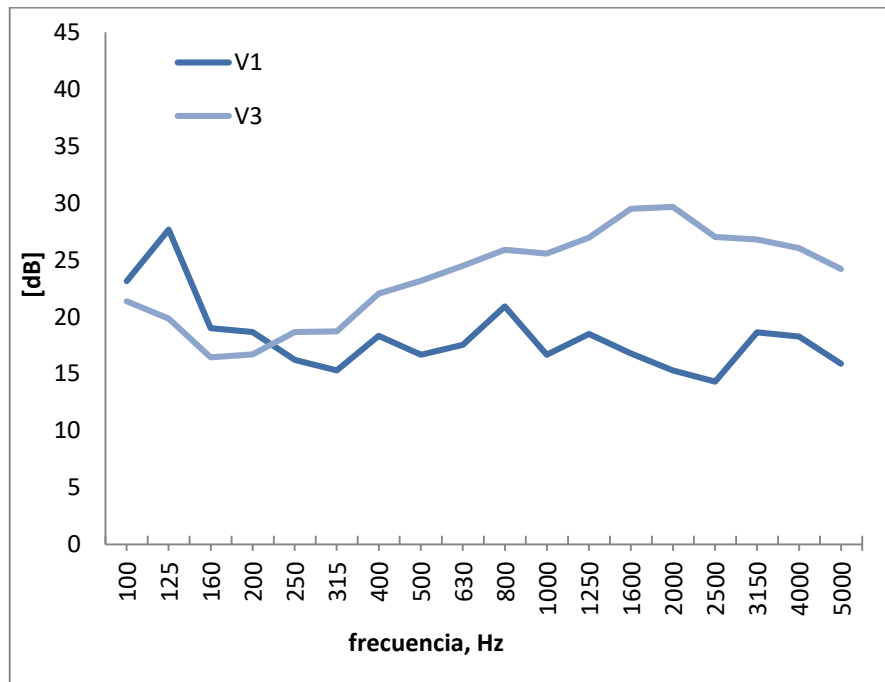


Figura 6-5 : Curvas de aislación acústica obtenidas en ensayos V1 y V3.

En el caso de V1 y V3, se tiene que la aislación de V1 es mayor en bajas frecuencias, sin embargo, como en ese sector la curva de referencia requiere poca aislación, el comportamiento de esa parte de la curva no aporta a mejorar el índice de reducción acústica.

Lo contrario ocurre con la curva de V3, que tiene un comportamiento muy similar a la curva de referencia, concentrando los esfuerzos en aislar la cantidad necesaria que se requiere para cada banda de frecuencia en estudio.

Dado esto, si debemos ordenar cuan útil es la aislación dependiendo de la frecuencia, se puede decir que son más favorables, para el índice R_w , los elementos que tienen un comportamiento parejo en aislación, por sobre aquellos que tienen mejor aislación en bajas frecuencias. Y por sobre estos, son más favorables los elementos que tienen mejor aislación a altas frecuencias.

Este razonamiento viene dado por la capacidad del hombre de oír cierto rango de frecuencias y por la interpretación que hace nuestro cerebro de los sonidos, en resumen por la sonoridad explicada en el punto 2.1.6.

6.2 Análisis comportamiento de fachadas con vidrio doble y termopanel

La composición de dos vidrios más una cámara de aire puede asimilarse a un sistema de masa-amortiguador-masa. La frecuencia de resonancia de este sistema disminuye con el espesor de los vidrios y con el tamaño de la cámara de aire entre ellos. Para determinar dicha frecuencia de resonancia se utiliza la siguiente ecuación.

$$\text{Frecuencia de Resonancia} = 60 \cdot \sqrt{\frac{1}{d} \cdot \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)}$$

Donde:

d = espesor de la cámara (m)

m_1, m_2 = masa de los vidrios (kg/m^2)

Con esto se obtienen las siguientes frecuencias de resonancia para las composiciones de doble acristalamiento ensayadas.

Tabla 6-6 : Frecuencias críticas para acristalamientos dobles ensayados.

Espesor [mm]	f_{CR} [Hz]
3/10/3	310
4/10/4	268
3/12/3	283
4/12/4	245

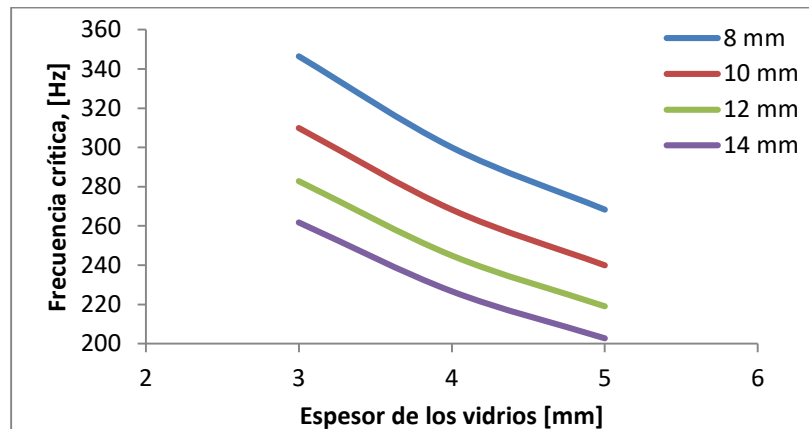


Figura 6-6 : Relación de la disminución de la Frecuencia crítica en función del espesor de los vidrios y del espesor de la cámara de aire.

A medida que el espesor del vidrio aumenta, disminuye la frecuencia crítica. De igual manera, disminuye la frecuencia crítica al aumentar el espesor de la cámara de aire interior como se indica en la Figura 6-6.

La forma que toma la curva de un doble acristalamiento con cámara de aire no favorece la aislación a menos que la frecuencia crítica esté por debajo de los 100 Hz. Por este motivo los resultados de un doble acristalamiento con cámara de aire suelen ser inferiores a los de un vidrio monolítico de igual espesor total.

Cuando se hace el reemplazo de un vidrio monolítico por un doble acristalamiento es necesario tener en cuenta estas consideraciones. En algunos casos la aislación de bajas frecuencias no es lo relevante y es suficiente aislar altas frecuencias para obtener una mejora. Todo dependerá del ruido al que la fachada esté expuesta.

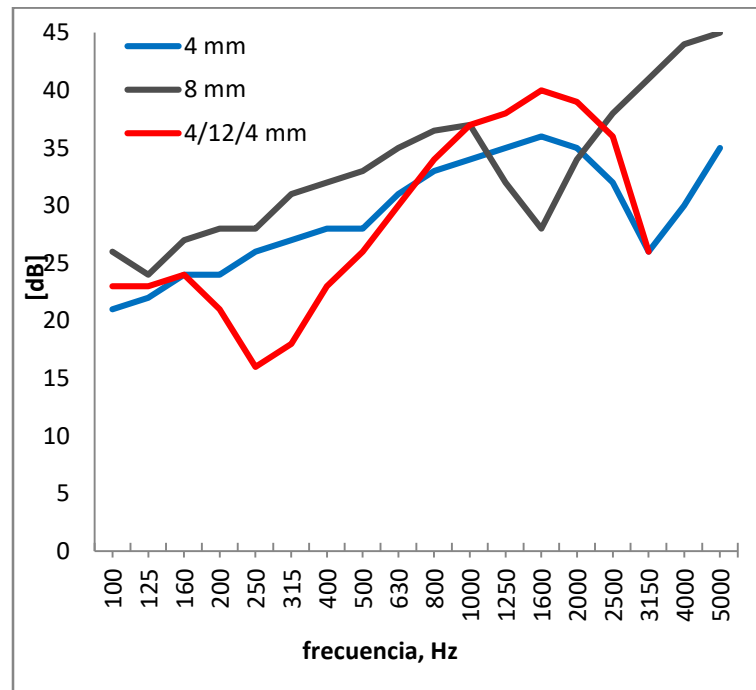


Figura 6-7 : Comportamiento esperado de un doble acristalamiento con cámara de aire, comparado con acristalamientos simples de 4 y 8 mm.

En la literatura se encuentra otro tipo de acristalamiento doble, uno que posee una lámina de plástico intercalario normalmente PVB (Butiral de Polivinilo). Este acristalamiento llamado vidrio laminar ofrece un mejor aislamiento acústico que un vidrio simple del mismo espesor total, sin embargo no fue posible ensayar alguna vivienda con este tipo de elementos.

El comportamiento del vidrio laminar prácticamente elimina la disminución del aislamiento acústico en torno a la frecuencia crítica gracias al amortiguamiento óptimo de la capa intermedia elástica de PVB.

En la Figura 7-8, se muestran los tipos de acristalamientos comúnmente utilizados, de los cuales en este trabajo solo se estudiaron los dos primeros.

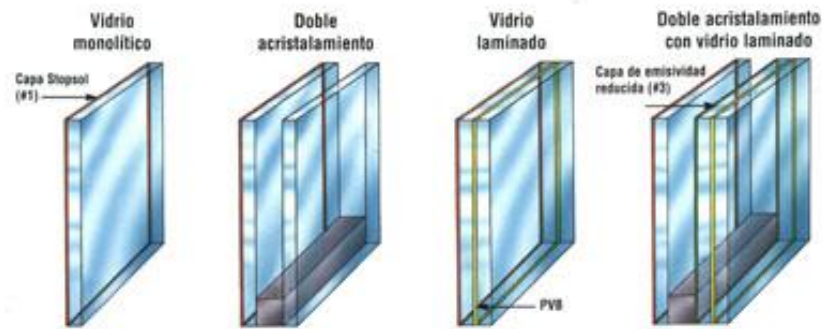


Figura 6-8 : Tipos de acristalamiento.

Para analizar lo obtenido en los ensayos se muestra en la Tabla 6-7 los resultados de fachadas con ventanas de doble acristalamiento.

Tabla 6-7 : Resultados obtenidos en fachadas con vidrio doble o termopanel.

Vivienda	$D_{2m, nT} + C_{TR}$ [dB]	Espesor [mm]	Área ventana [m ²]	Elemento del marco	Junta	Elemento Principal
V5	24	3/10/3	6,1	Aluminio	Poly-Bond	Ladrillo+Yeso Carton
V6	25	3/10/3	1,1	Aluminio	Poly-Bond	Ladrillo+Yeso Carton
V7	22	4/10/4	7,7	PVC	No instalada	Hormigón
V8	28	4/10/4	7,7	PVC	Fin-Seal	Hormigón
V9	28	3/10/3	4,4	PVC	Poly-Bond	N/A

De acuerdo a la teoría existen maneras de calcular el aislamiento que producirá un conjunto de vidrios, sumando su cámara de aire, y la existencia o ausencia de lámina de PVB, sin embargo, estos valores teóricos solo sirven como una aproximación de los resultados y no son comparables directamente con lo medido. Para simplificar la estimación y tener una aproximación de los resultados esperados en el comportamiento de los acristalamientos dobles, se utilizará la ley de masas.

Tabla 6-8 : Resultados obtenidos en fachadas con vidrio doble o termopanel.

Vivienda	Área fachada [m ²]	Área ventana [m ²]	Área ventana [%]	R teórico muro [dB]	R teórico ventana [dB]	Diferencia [dB]	Factor de acuerdo a Figura 7-3	R teórico [dB]
V5	9.6	6.1	64%	46	25	21	19	27
V6	9.4	1.1	12%	46	25	21	13	33
V7	10.6	7.7	73%	52	27	25	22	30
V8	10.6	7.7	73%	52	27	25	22	30
V9	4.4	4.4	100%	0	25	0	0	25

Tabla 6-9 : Comparativa resultados ensayos versus teóricos.

Vivienda	$D_{2m, nT} + C_{TR}$ [dB]	R teórico [dB]
V5	24	27
V6	25	33
V7	22	30
V8	28	30
V9	28	25

En V5 y V6 se tienen ventanas del mismo tipo, pues pertenecen al mismo domicilio, el resultado obtenido es prácticamente igual. Para V5 se obtiene índice de reducción acústica igual a 24 dB y para V6, 25dB. La diferencia radica en el porcentaje de la fachada que representan, siendo el primero de un 64% y el segundo un 12%, además que la ventana del ensayo V6 presenta una cierre incorrecto, lo que se traduce en inferiores resultados.

En el caso de V7 y V8, ambos ensayos corresponden a la misma fachada en diferentes momentos. V7 se realizó cuando la obra aún no estaba completamente terminada, las características de la habitación eran como las descritas en los capítulos 5.2.7 y 5.2.8 del presente documento. En V7 el valor obtenido para el descriptor $D_{2m, nT} + C_{TR}$ igual a 22 dB, lo que representa un valor muy bajo considerando que se trata de una ventana termopanel, sin embargo se justifica por el hecho de no tener colocado el elemento de cierre perimetral.

En el segundo ensayo a la misma fachada (V8) se obtiene para $D_{2m, nT} + C_{TR}$ un valor de 28 dB. Lo que constituye una mejora sustancial en los resultados de la fachada. La mejora se le atribuye a la instalación de la terminación correspondiente a la ventana. El elemento utilizado en el cierre corresponde a una felpa del tipo Fin Seal de 7x8 mm que es similar a Poly-Bond que cuenta adicionalmente con una banda de polietileno en la mitad para mejorar la hermeticidad.

En el ensayo V9 el resultado del ensayo es mayor al teórico, el motivo puede estar en la información entregada por el propietario de la vivienda ensayada que no tenía claridad de las especificaciones de la ventana utilizada.

6.3 Análisis comportamiento de fachadas puertas

De acuerdo a la literatura, el comportamiento acústico esperado en una puerta se debe casi completamente al desempeño del material que la compone.

Según el “Building bulletin 93. Acoustic design of schools”, una puerta de Madera de 44 mm medida en laboratorio posee un R_w de 30 dB. Adicionalmente se menciona que dicha puerta posee una resistencia al fuego de 30 minutos, relación que no es estudiada en este trabajo de título.

Teniendo este valor de aislación acústica como único antecedente sobre el comportamiento de puertas de madera, se muestra en la Tabla 6-10 los resultados obtenidos de las mediciones realizadas en terreno.

Tabla 6-10 : Comparativa resultados ensayos versus teóricos.

Vivienda	$D_{2m, nT} + C$ [dB]	Espesor [mm]	Área Puerta [m ²]	Elemento del marco	Elemento Principal
P1	28	45	1.8	Pino Radiata	Hormigón
P2	28	45	1.8	Terciado-Pino	Hormigón
P3	23	45	2	Terciado-Pino	Madera-OSB

Para P1 el descriptor que se utiliza corresponde a $D_{2m, nT} + C$, pues el ensayo se realiza al interior de la vivienda y la fuente de ruido predominante en ese ambiente no es el ruido de tráfico. El valor obtenido para el conjunto es de 28 dB.

En P2, el resultado obtenido de este ensayo es exactamente el mismo. Con esto se entiende que el factor predominante en el comportamiento de puertas, es la holgura que se necesita para que estas puedan abrir y cerrar con facilidad. No siendo determinante el material que la constituye.

Para P3 se tiene que si bien este resultado corresponde al ensayo realizado en una puerta, los valores obtenidos representan el comportamiento de las pequeñas ventanas que la rodean, estos elementos corresponden al componente más débil de la fachada.

Si se compara el resultado con lo obtenido en ensayos de fachada con ventana, se obtiene que el comportamiento de P3 es lo que se espera de un vidrio simple en una ventana fija.

Se realiza el análisis comparativo de lo medido in situ v/s lo teórico y se obtiene lo siguiente:

Tabla 6-11 : Comparativa resultados ensayos versus teóricos.

Vivienda	Área fachada [m ²]	Área Puerta [m ²]	R teórico muro [dB]	R teórico puerta [dB]	Diferencia [dB]	Factor de acuerdo a Figura 6-3	R teórico [dB]
P1	9.6	1.8	52	30	22	18	34
P2	9.4	1.8	52	30	22	18	34
P3	10.6	2	45	30	15	12	33

Tabla 6-12 : Comparativa resultados ensayos versus teóricos.

$D_{2m, nT} + C$ [dB]	R teórico [dB]
28	34
28	34
23	33

6.4 Ensayos especiales

Estos ensayo no se rigen por ninguna norma específica, más bien surgen de la necesidad de entender cómo influye la estanqueidad en un cierre de los elementos de fachada. No es posible cuantificar, por ejemplo, la cantidad de aire que pasa a través de la puerta cada vez que se gira la manilla, sin embargo sirve para visualizar el efecto.

6.4.1 Ensayo E1, Puerta de Laboratorio

Se evalúan 4 diferentes cierres de la puerta del laboratorio, comenzando con tenerla completamente cerrada, en ese caso, como se aprecia en la Tabla 6-14, el valor obtenido para Índice de aislamiento acústico es de 53 dB, casi idéntico al entregado por la Referencia [15] para muros de hormigón de 15 cm de espesor, es decir, no existe pérdida.

Iniciada la apertura, comienzan a atravesar las frecuencias más altas, esto se explica por la amplitud que estas poseen, que logran atravesar con mayor facilidad espacios más pequeños que aquellas de bajas frecuencias.

La disminución es sustancial, de alrededor de 10 dB por cada cambio en la apertura, lo que nos muestra por qué es tan importante un correcta estanqueidad en los elementos de fachada.

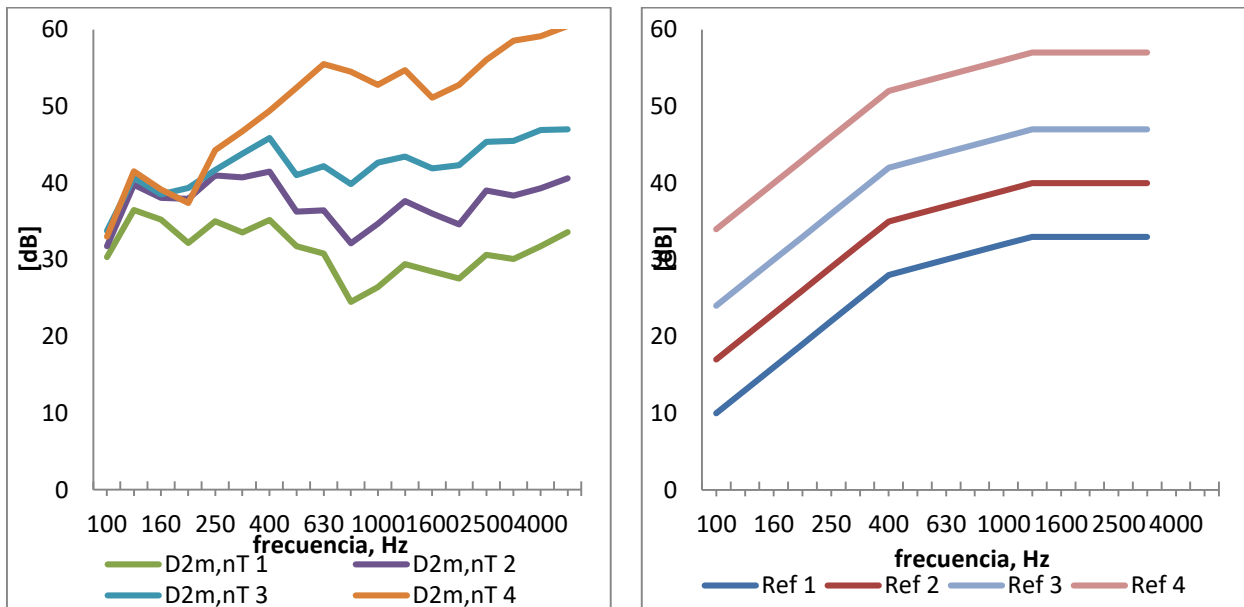


Figura 6-9 : A la izquierda gráfico de los resultados para $D_{2m,nT}$ obtenidos para la apertura de puerta y a la derecha las respectivas curvas de referencia.

Tabla 6-13 : Resultados de $D_{2m, nT}$ para apertura de puerta

Frecuencia	$D_{2m, nT} 1$	$D_{2m, nT} 2$	$D_{2m, nT} 3$	$D_{2m, nT} 4$
[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
100	30,3	31,8	33,8	33,0
125	36,5	39,8	40,7	41,5
160	35,2	38,1	38,5	39,1
200	32,2	38,0	39,4	37,4
250	35,0	41,0	41,7	44,3
315	33,5	40,7	43,8	46,7
400	35,2	41,5	45,9	49,4
500	31,7	36,3	41,0	52,4
630	30,8	36,4	42,2	55,5
800	24,5	32,2	39,9	54,5
1000	26,4	34,7	42,6	52,8
1250	29,4	37,7	43,4	54,7
1600	28,5	36,0	41,9	51,1
2000	27,6	34,6	42,3	52,8
2500	30,6	39,0	45,4	56,1
3150	30,1	38,4	45,5	58,6
4000	31,7	39,3	46,9	59,1
5000	33,6	40,6	47,0	60,5

Tabla 6-14 : Resumen del valor único de aislación $D_{2m, nT}$ para apertura de puerta

Valor único de aislación acústica	
Apertura	$D_{2m, nT}$ [dB]
3 vueltas	29
2 vueltas	36
1 vuelta	43
Cerrado	53

6.4.2 Ensayo E2, Panel de fibrocemento con perforaciones

En este ensayo se evalúan 25 condiciones diferentes, aumentando la cantidad de agujeros en un panel de fibrocemento. Se aprecia que los resultados de todas las pruebas tienen una forma similar, aislando en las mismas proporciones en cada frecuencia estudiada, esto se debe a que al ser todos los agujeros de las mismas características, 1cm de diámetro, las frecuencias que logran atravesar son siempre las mismas en la misma proporción. La Figura 6-12, muestra como decae la aislación con el aumento de la cantidad de agujeros. Al llegar a un 0,3% del porcentaje total de la plancha, ya se tiene un decaimiento de 5dB de aislación en el conjunto.

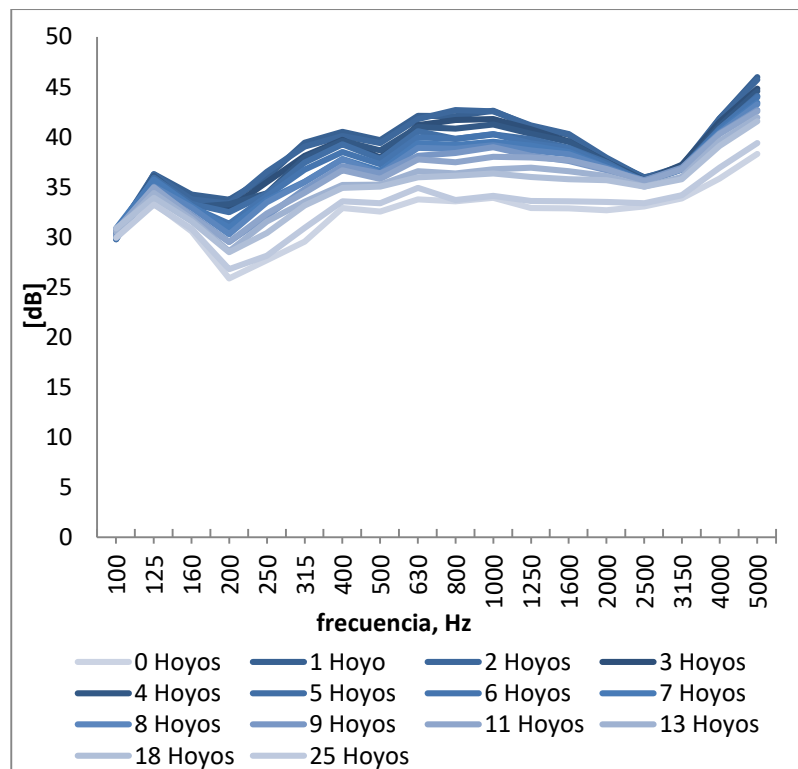


Figura 6-10 : Resultados para $D_{2m,nT}$ obtenidos para las distintas perforaciones del panel de fibrocemento.

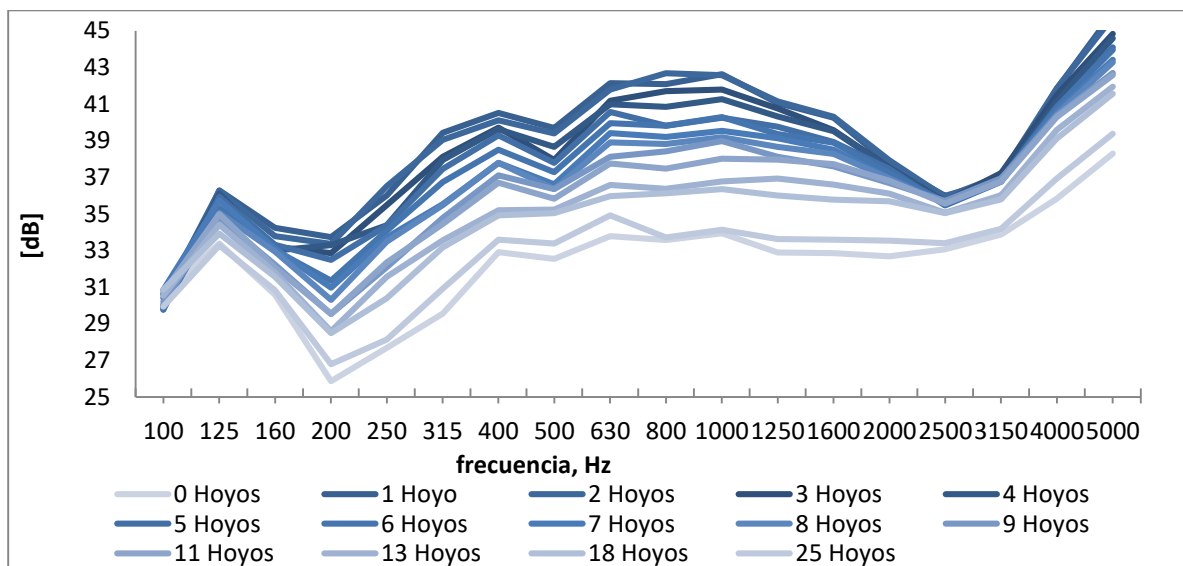


Figura 6-11 : Acercamiento de los resultados para $D_{2m,nT}$ obtenidos para las distintas perforaciones del panel de fibrocemento.

Tabla 6-15 : Datos de $D_{2m, nT}$ para panel de fibrocemento con perforaciones (Parte 1).

	0 Hoyos	1 Hoyos	2 Hoyos	3 Hoyos	4 Hoyos	5 Hoyos	6 Hoyos
Frecuencia	$D_{2m, nT}$	$D_{2m, nT}$	$D_{2m, nT}$	$D_{2m, nT}$	$D_{2m, nT}$	$D_{2m, nT}$	$D_{2m, nT}$
[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
100	29,8	30,4	30,6	30,0	29,9	29,8	30,8
125	36,3	36,3	36,0	36,1	35,9	35,3	35,7
160	34,2	33,8	33,2	33,0	33,3	33,0	33,1
200	33,7	33,4	32,9	33,3	32,5	31,4	31,0
250	36,0	36,5	35,5	34,4	34,4	34,1	33,7
315	39,4	39,0	38,1	37,9	37,5	36,7	35,5
400	40,5	40,1	39,7	39,6	39,3	38,5	37,8
500	39,7	39,4	37,9	38,7	37,8	37,3	36,6
630	42,1	41,8	41,2	41,0	40,6	40,0	39,4
800	42,1	42,7	41,7	40,8	39,8	39,8	39,2
1000	42,6	42,6	41,8	41,3	40,2	40,3	39,5
1250	41,0	41,1	40,8	40,3	39,8	39,3	39,1
1600	40,2	40,3	39,6	39,5	38,9	38,9	38,5
2000	37,7	37,9	37,5	37,5	37,5	37,2	37,0
2500	36,0	35,9	35,7	35,7	35,5	35,6	35,6
3150	36,9	37,1	37,2	36,9	36,7	36,9	36,8
4000	41,8	41,9	41,5	41,1	40,8	40,8	40,6
5000	46,0	45,7	44,8	44,6	44,1	44,0	43,4
$D_{2m, nT} + C_{TR}$	39	39	38	38	38	37	37
Porcentaje	0,00%	0,01%	0,02%	0,03%	0,04%	0,06%	0,07%

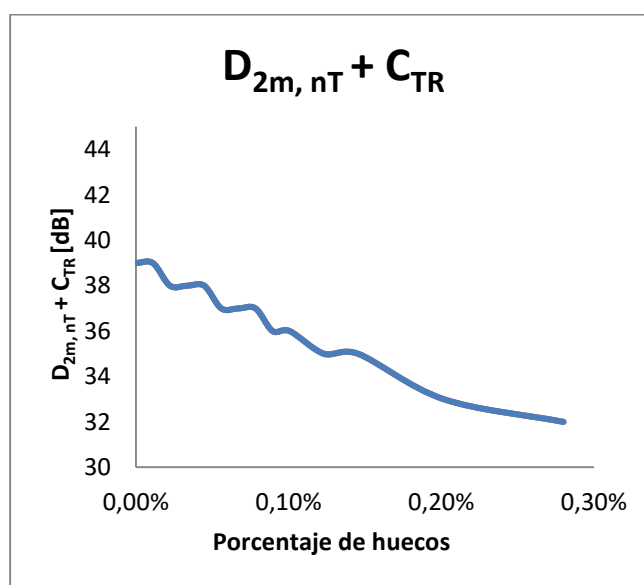


Figura 6-12 : Gráfico del comportamiento de parámetro $D_{2m, nT} + C_{TR}$ con respecto al porcentaje de área perforado.

Tabla 6-16 : Datos de $D_{2m, nT}$ para panel de fibrocemento con perforaciones (Parte 2).

	7 Hoyos	8 Hoyos	9 Hoyos	11 Hoyos	13 Hoyos	18 Hoyos	25 Hoyos
Frecuencia	$D_{2m, nT}$	$D_{2m, nT}$	$D_{2m, nT}$	$D_{2m, nT}$	$D_{2m, nT}$	$D_{2m, nT}$	$D_{2m, nT}$
[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
100	30,1	30,2	30,7	30,5	30,9	29,9	30,6
125	35,1	34,8	35,0	34,4	33,9	33,3	33,4
160	32,9	32,2	32,1	31,8	31,6	30,8	30,6
200	30,3	29,5	29,5	28,6	28,5	26,8	25,9
250	33,5	32,1	32,3	31,6	30,4	28,1	27,7
315	35,5	34,8	34,4	33,6	33,2	30,9	29,5
400	37,8	37,1	36,7	35,2	34,9	33,6	32,9
500	36,4	36,4	35,8	35,2	35,0	33,4	32,5
630	38,9	38,1	37,7	36,6	36,0	34,9	33,8
800	38,8	38,4	37,5	36,4	36,1	33,7	33,6
1000	39,2	39,0	38,0	36,8	36,4	34,1	33,9
1250	38,7	38,1	38,0	36,9	36,0	33,6	32,9
1600	38,3	37,6	37,7	36,6	35,8	33,6	32,9
2000	36,9	36,7	36,8	36,1	35,7	33,5	32,7
2500	35,5	35,7	35,6	35,1	35,0	33,4	33,1
3150	36,8	36,9	36,8	36,0	35,8	34,2	33,9
4000	40,4	40,3	40,3	39,6	39,1	36,9	35,8
5000	43,3	42,7	42,6	41,9	41,6	39,4	38,3
$D_{2m, nT} + C_{TR}$	37	36	36	35	35	33	32
Porcentaje	0,08%	0,09%	0,10%	0,12%	0,15%	0,20%	0,28%

De este ensayo también se obtiene que el elemento con menor aislación del conjunto condiciona el aislamiento global. En este caso, se obtiene de la ficha técnica de Romeral, plancha de fibrocemento de 10mm de espesor, que la aislación acústica medida en laboratorio es igual a 28 dB. En el ensayo se obtiene una R_w , antes de las perforaciones, igual a 39 dB. También se conoce el aislamiento del muro, igual a 52dB.

6.4.3 Ensayo E3, Panel de fibrocemento con agujeros

Al igual que en el ensayo anterior se realizan agujeros al panel, solo que esta vez son mayores porcentajes con respecto al total. Los índices de aislamiento acústicos son bastante bajos y disminuyen a medida que aumenta el agujero, en la Figura 6-14 se muestra como decae el índice de aislación hasta llegar a una meseta donde la aislación es mínima.

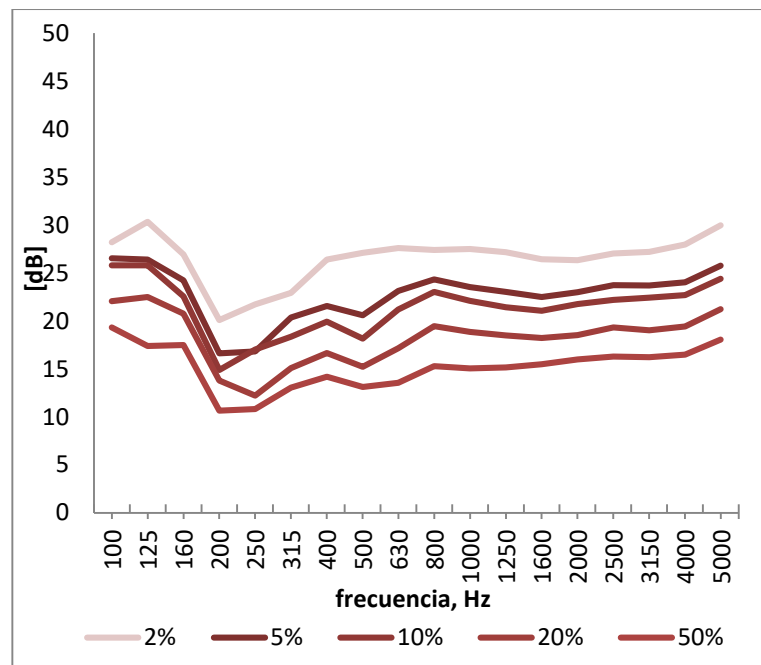


Figura 6-13 : Resultados para $D_{2m, nT}$ obtenidos para los distintos agujeros del panel de fibrocemento.

Tabla 6-17 : Datos de $D_{2m, nT}$ para panel de fibrocemento con agujeros.

Frecuencia	$D_{2m, nT}$	$D_{2m, nT}$	$D_{2m, nT}$	$D_{2m, nT}$	$D_{2m, nT}$
[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
100	28,2	26,5	25,8	22,1	19,3
125	30,3	26,4	25,8	22,5	17,4
160	26,9	24,2	22,6	20,8	17,5
200	20,1	16,6	14,9	13,8	10,6
250	21,7	16,8	17,0	12,2	10,8
315	22,9	20,4	18,3	15,1	13,1
400	26,4	21,5	19,9	16,6	14,2
500	27,1	20,6	18,2	15,2	13,1
630	27,6	23,1	21,2	17,1	13,5
800	27,4	24,3	23,0	19,5	15,3
1000	27,5	23,5	22,1	18,9	15,1
1250	27,2	23,0	21,4	18,5	15,2
1600	26,4	22,5	21,1	18,2	15,5
2000	26,3	23,0	21,8	18,5	16,0
2500	27,0	23,7	22,2	19,3	16,3
3150	27,2	23,7	22,4	19,0	16,2
4000	28,0	24,0	22,7	19,4	16,5
5000	30,0	25,8	24,4	21,2	18,1
$D_{2m, nT}$ (500 Hz)	27	23	22	18	15
Porcentaje	2%	5%	10%	20%	50%

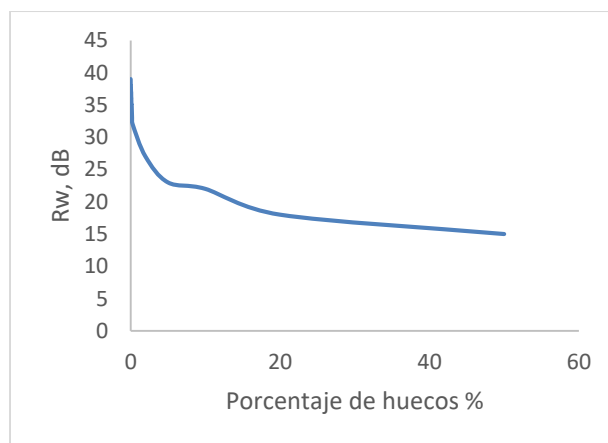


Figura 6-14 : Gráfico del comportamiento de parámetro $D_{2m, nT} + C_{TR}$ con respecto al porcentaje de área perforado.

6.5 Resumen del análisis

Acá se entrega un breve resumen de los resultados obtenidos en el análisis anterior.

Tabla 6-18 : Resumen resultados vidrio simple

Vivienda	$D_{2m, nT} + C_{TR}$ [dB]	Área ventana [%]	R teórico [dB]
V1	17	21%	34
V2	26	100%	26
V3	24	100%	26
V4	24	17%	33

Tabla 6-19 : Resumen resultados vidrio doble termo panel

Vivienda	$D_{2m, nT} + C_{TR}$ [dB]	Área ventana [%]	R teórico [dB]
V5	24	64%	27
V6	25	12%	35
V7	22	73%	23
V8	28	73%	23
V9	28	100%	24

Tabla 6-20 : Resumen resultados puertas

Vivienda	$D_{2m, nT} + C$ [dB]	R teórico [dB]
P1	28	34
P2	28	34
P3	23	33

6.6 Análisis de casos

6.6.1 Elemento dominante del conjunto

De los ensayos realizados a viviendas cuyas fachadas expuestas al exterior tienen una o más ventanas se puede indicar que tal como se ha descrito en el punto 6.1, el comportamiento de la fachada completa queda condicionado por la parte con menor aislación presente en el conjunto.

En estos casos, el aislamiento acústico máximo es aproximadamente 10 dB superior al aislamiento ensayado en laboratorio del elemento con menor aislación acústica.

Lo mismo ocurre en el caso de E2, donde los valores de laboratorio de la plancha de fibrocemento condicionan el aislamiento global a un máximo de 10dB sobre el valor del elemento.

6.6.2 Estanqueidad en puertas

Los ensayos realizados revelaron que al existir un cierre perimetral carente de hermeticidad el comportamiento de los elementos en las aperturas es muy inferior al que se puede medir en el caso de uso de la estanqueidad apropiada. Sin embargo, hay casos, como las puertas, que dada su condición de uso, no se permite mejorar la estanqueidad, por lo que se debe evaluar la manera de mejorar su comportamiento, con otro tipo de sellos perimetrales que permitan su correcto funcionamiento.

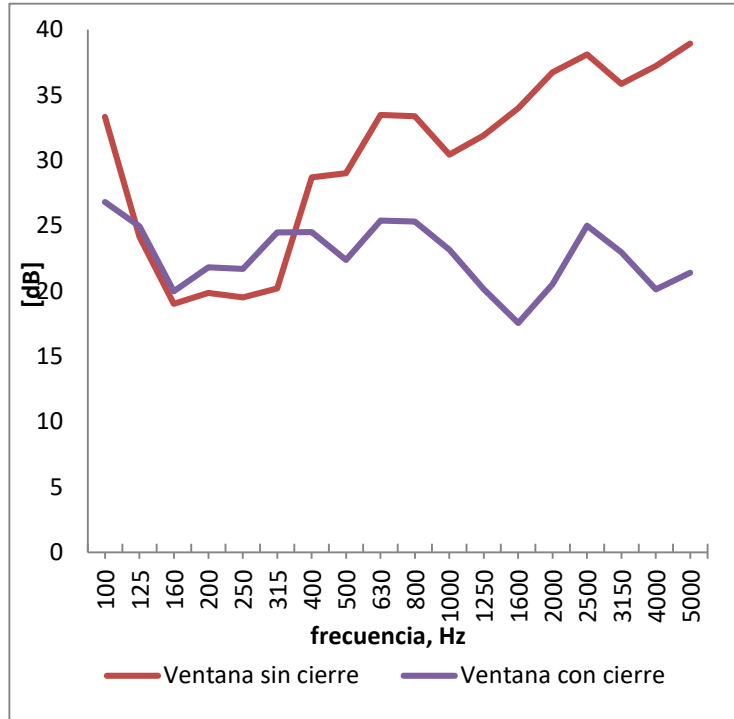
6.6.3 Modificación a un elemento

Como se puede ver en la Tabla 6-21 el comportamiento de una ventana que ha mejorado su estanqueidad o cierre perimetral con los elementos adecuados, mejora sustancialmente. Al agregar al elemento una cinta Fin Seal de 7x8 mm, se obtiene una mejora de 6 dB en el índice de reducción acústica, lo que podía marcar la diferencia entre cumplir o no con los requerimientos por ejemplo de la OMS.

Se debe destacar que la mejora que se produce, además de ser beneficiosa en la cantidad de decibeles, lo es porque produce que la curva de aislación mejore en medias y altas frecuencias, lo que hace que sea más parecida a la curva de referencia optimizando así la aislación en aquellos puntos que son más molestos para las personas.

Tabla 6-21 : Comportamiento de una ventana que ha sido modificada

Frecuencia	D2m, nT	D2m, nT
[Hz]	[dB]	[dB]
100	33,3	26,8
125	24,2	25,0
160	19,0	20,0
200	19,9	21,8
250	19,5	21,7
315	20,2	24,5
400	28,7	24,5
500	29,0	22,4
630	33,5	25,4
800	33,4	25,3
1000	30,4	23,2
1250	31,9	20,1
1600	34,0	17,5
2000	36,7	20,5
2500	38,1	25,0
3150	35,8	23,0
4000	37,2	20,1
5000	38,9	21,4



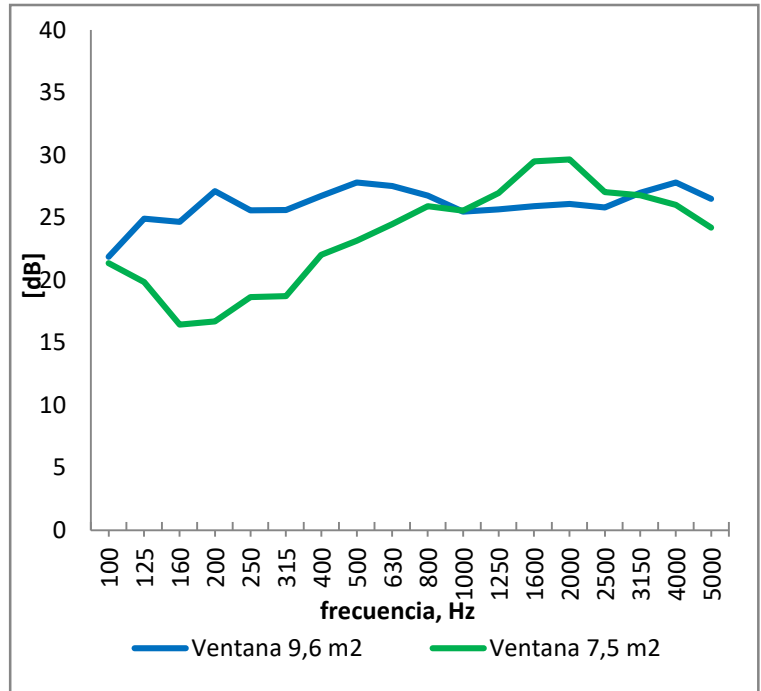
Valor único de aislación acústica	
Ventana	D2m, nT (500 Hz) [dB]
Sin cierre	22
Con cierre	31

6.6.4 Comportamiento de elementos iguales de distinto tamaño

Para este análisis se tiene que la misma ventana al ser más pequeña se comporta de una manera más parecida a la curva de referencia, empeorando su aislación en bajas frecuencias y mejorándola en altas. La mejora global del descriptor no es cualitativamente significativa, sin embargo, al ser más parecida a la curva de referencia se optimiza la aislación en aquellos puntos que son más molestos para las personas.

Tabla 6-22 : Comportamiento de una ventana al variar su tamaño.

Frecuencia	D _{2m, nT}	D _{2m, nT}
[Hz]	[dB]	[dB]
100	21,9	21,4
125	24,9	19,9
160	24,7	16,4
200	27,1	16,7
250	25,6	18,7
315	25,6	18,7
400	26,7	22,0
500	27,8	23,2
630	27,5	24,5
800	26,8	25,9
1000	25,5	25,6
1250	25,7	27,0
1600	25,9	29,5
2000	26,1	29,7
2500	25,8	27,0
3150	27,0	26,8
4000	27,8	26,0
5000	26,5	24,2



Valor único de aislación acústica	
Ventana [m ²]	D _{2m, nT} (500 Hz) [dB]
9,6	27
7,5	26

7 CONCLUSIONES

Estudiar el aislamiento acústico de fachadas representa un gran reto por la extensa variedad de materialidades existentes, además de la poca información que tienen los residentes sobre las características de su vivienda.

En el presente trabajo se estudió un total de 12 fachadas de viviendas, y de ello es posible concluir que el aislamiento queda condicionado al desempeño del elemento con menor capacidad de aislación acústica, es decir, puertas y ventanas.

Independiente de la materialidad de estos elementos, y de su calidad, su naturaleza genera valores inferiores a lo otorgado por materiales de construcción generalmente más robustos o con mayor densidad por m³, como lo son el ladrillo, hormigón, etc. Un vidrio, o dos o tres, no lograrán superar las características del elemento de construcción principal.

Respecto de la metodología de ensayo, se determinó que la diferencia entre las normas ASTM E966 e ISO 140-5:1998, radica sólo en el descriptor utilizado por lo que se optó por utilizar la Norma Internacional ISO 140-5:1998, por ser de la familia de normas utilizadas anteriormente en Chile para ensayos acústicos.

Es posible concluir también, que el aislamiento acústico se debe proporcionar considerando las condiciones requeridas en cada ubicación, no siendo necesario invertir en exceso en aislación acústica, cuando las características de ruido del lugar no lo ameritan. En este punto cobra importancia mantener actualizado un mapa de ruido de la ciudad, para exigir ciertas condiciones de confort acústico mínimo en aquellos lugares de la ciudad donde el ruido genera problemas a las viviendas aledañas.

Entre los elementos estudiados en este trabajo existen ventanas simples y dobles. De estas se puede concluir que el comportamiento es similar, siendo relevante la materialidad del marco que las compone.

Un acristalamiento doble es ligeramente mejor a uno simple con el mismo tipo de marco (aluminio); sin embargo, si se evalúan ventanas con doble acristalamiento y marco de PVC los valores obtenidos son más altos (Rw alrededor de 28 dB), esto radica principalmente en el tipo de cierre que estos marcos poseen. El marco de PVC tiene más de 1 punto de contacto con el bastidor y son elementos más gruesos, por lo que es posible aplicar un sello perimetral de mayor altura.

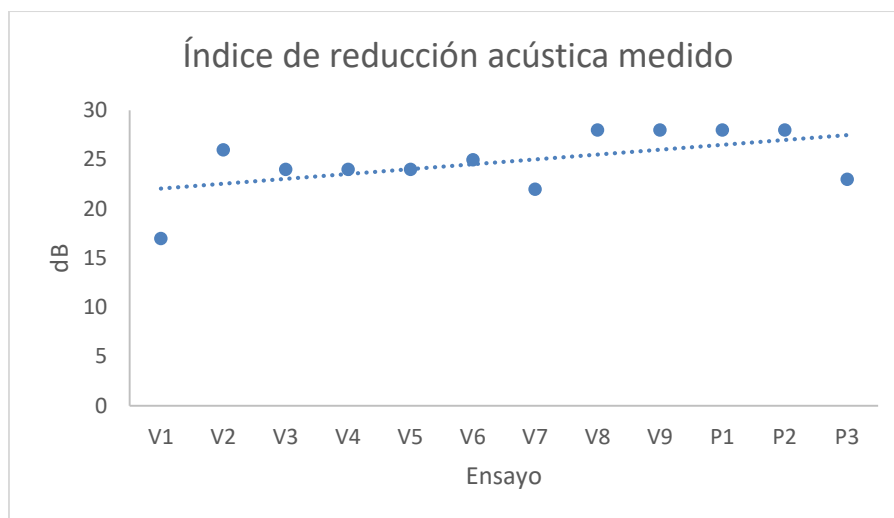


Figura 7-1 : Resultados generales.

El resumen de los resultados obtenidos se muestran en la Figura 7-1. El rango va desde los 17 a los 28 dB, siendo los valores inferiores causados por la estanqueidad del conjunto. La estanqueidad al aire debe ser buena en todos los puntos. Pequeñas rendijas pueden provocar pérdidas entre 5 y 10dB. Las pequeñas rendijas pueden taparse con masilla de larga duración preferentemente silicona. Si el ancho de la rendija es superior a 5 mm, se debe aplicar previamente material de relleno.

Otro aspecto importante de señalar es que el tipo de cierre también influye en el desempeño, siendo una ventana fija, lo más eficiente, luego las ventanas del tipo abatir, y por último la opción de ventana corredera que es la que posee menor índice de aislación entre las tres.

Es necesario indicar además que existen tipos de soluciones que no fueron ensayadas en este trabajo, que de acuerdo a la literatura entregan mejores resultados. Acristalamientos dobles con lámina de PVB (Butiral de Polivinilo) intermedia tienen mejor desempeño que aquellos con cámara de aire. Y se destaca como la mejor de las soluciones poner 2 ventanas comunes, una junto a la otra, separadas con un mínimo de mm entre ellas, por supuesto, mientras mejor sean los elementos individuales, mejor el desempeño del conjunto.

Los niveles de ruido interior de las viviendas, con las soluciones existentes varía en un rango de entre 20 a 50 dB, existiendo viviendas que superan las recomendaciones de OMS, como se aprecia en la tabla 7.1 de más abajo. Los resultados coinciden con lo entregado por el mapa de ruido del Gran Santiago de la Figura 7-3.



Figura 7-2 : Valores indicados por el mapa de ruido.

Tabla 7-1 : Cumplimiento de las recomendaciones de la OMS.

Vivienda	Requerimiento ruido interior por OMS [dB]	Ruido exterior según Mapa de ruido [dB]	$D_{2m, nT} + C_{TR \text{ min}}$ para cumplir requerimiento [dB]	$D_{2m, nT} + C_{TR}$ medido [dB]	Cumple Requerimiento OMS
V1	40 a 45	50 a 55	15	17	Si Cumple
V2	40 a 45	40 a 45	5	26	Si Cumple
V3	30 a 40	40 a 45	15	24	Si Cumple
V4	40 a 45	65 a 70	30	24	No Cumple
V5	40 a 45	45 a 50	10	24	Si Cumple
V6	30 a 40	45 a 50	20	25	Si Cumple
V7	30 a 40	50 a 55	25	22	No Cumple
V8	30 a 40	50 a 55	25	28	Si Cumple
V9	40 a 45	70 a 75	35	28	No Cumple

Tabla 7-2 : Cumplimiento de las recomendaciones de la OMS.

Vivienda	Requerimiento ruido interior por OMS [dB]	Ruido exterior según Mapa de ruido [dB]	$D_{2m, nT} + C_{TR \text{ min}}$ para cumplir requerimiento [dB]	$D_{2m, nT} + C_{TR}$ medido [dB]	Cumple Requerimiento OMS
P1	40 a 45	30 a 40	15	28	Si Cumple
P2	40 a 45	45 a 50	10	28	Si Cumple
P3	40 a 45	60 a 65	25	23	No Cumple

Es preciso dejar establecido que no existen requerimientos nacionales con respecto a aislación acústica de fachadas de viviendas. Entre unidades de viviendas los requisitos internacionales son similares. Lo que se busca es cumplir con las recomendaciones de la OMS para obtener un grado de confort interior que se determina con un nivel de ruido entre 30 y 40 dB, dependiendo del tipo de habitación.

Finalmente señalar que no fue posible conseguir ensayos internacionales para comparar sus resultados con lo existente en Chile, por la naturaleza de confidencialidad de los mismos.

8 RECOMENDACIONES

Como último tema de este trabajo de título se plantean algunas recomendaciones para tener en cuenta acerca de los requisitos que debería tener la normativa de aislación acústica de viviendas. Actualmente la regulación establece requisitos mínimos de aislación acústica en 4 casos:

- 1) Muros que separen o dividan viviendas que sean parte de un edificio colectivo
- 2) Entre viviendas de edificaciones continuas,
- 3) Entre viviendas de edificaciones pareadas
- 4) Entre viviendas que estén contiguas a recintos no habitables

Lo que está pendiente es quitar el punto que indica que la reglamentación deja exenta de exigencias acústicas a las puertas, ventanas y estructuras de techumbre.

Como primera indicación se debería referir a una evaluación del ruido existente en el lugar, ya sea haciendo uso del mapa de ruido o bien tomando mediciones que se rijan por alguna normativa internacional, como por ejemplo la ISO140-5

Con ese antecedente establecer los requisitos dependiendo de la cantidad de ruido que afecta la zona. La normativa también debería considerar el mejoramiento de aquellas viviendas construidas con anterioridad. Esto con cierta holgura, considerando que las opciones de mejora involucran inversión.

Los valores exigidos en la normativa deben tener relación con los valores recomendados por la OMS y establecer ciertos rangos de aislación dependiendo del ruido exterior en el lugar.

Un ejemplo es la siguiente tabla del Documento Básico de Protección frente al ruido (DR_HR Diciembre 2019)

Tabla 2.1 Valores de aislamiento acústico a ruido aéreo, $D_{2m,nT,Atr}$, en dBA, entre un recinto protegido y el exterior, en función del índice de ruido día, L_d .

L_d dBA	Uso del edificio			
	Residencial y hospitalario		Cultural, sanitario ⁽¹⁾ , docente y administrativo	
	Dormitorios	Estancias	Estancias	Aulas
$L_d \leq 60$	30	30	30	30
$60 < L_d \leq 65$	32	30	32	30
$65 < L_d \leq 70$	37	32	37	32
$70 < L_d \leq 75$	42	37	42	37
$L_d > 75$	47	42	47	42

⁽¹⁾ En edificios de uso no hospitalario, es decir, edificios de asistencia sanitaria de carácter ambulatorio, como despachos médicos, consultas, áreas destinadas al diagnóstico y tratamiento, etc.

Figura 8-1 : Recomendaciones DR_HR Diciembre 2019.

9 BIBLIOGRAFÍA

- [1] CARRIÓN, 2000. Carrión, Antoni. Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Barcelona: Ediciones UPC etc., 2000.
- [2] ESCUDER, 2007. E. Escuder. Aislamiento acústico a ruido aéreo en acristalamientos de vidrio. Escuela politécnica Superior de Gandia, Universidad Politécnica de Valencia. 2007.
- [3] MÉNDEZ, 1994. Méndez, Antonio. Acústica Arquitectónica. Primera Edición. Buenos Aires: Universidad del Museo social Argentino ect., 1994.
- [4] MIRAYA, 1999. Miraya, Federico. Acústica y sistemas de sonido. Rosario Argentina. 1999.
- [5] NCh 352/1. Of2000. Instituto nacional de normalización, Chile. Aislación Acústica – Parte 1: Construcciones de uso habitacional – Requisitos mínimos y ensayos, NCh 352/1. Of2000, Primera Edición.
- [6] NCh 3307/3. Instituto nacional de normalización, Chile. Acústica de la construcción – Estimación del comportamiento acústico de construcciones a partir del desempeño de elementos. Parte 3: Aislación acústica aérea contra el sonido exterior. Norma en Estudio. Enero 2013.
- [7] OGUC 2012. Ministerio de vivienda y urbanismo, Chile. Resumen de modificaciones y rectificaciones de la Ordenanza general de urbanismo y construcciones.
- [8] ICARO 2006. Manual de diseño Icaro de calidad ambiental en la edificación, Manual del Ruido. 2006
- [9] ISO 10140-2 2010. “Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements - Part 2: Measurement of airborne sound insulation”.
- [10] ISO 140-5 1998 “Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades”.
- [11] ISO 717-1, 1996. “Acoustics — rating of sound insulation in buildings and of building elements — Part 1: Airborne sound insulation”.

[12] ISO 10140-2, 2010. "Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements - Part 2: Measurement of airborne sound insulation".

[13] Building bulletin 93. "Acoustic design of schools", Editor: Bridget Shield, London South Bank University.

[14] ADIMAT. "Soluciones de aislamiento acústico", www.adimat.es, Madrid, España. Junio 2009.

[15] Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Acústico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Edición 12, Marzo 2014.