

Evaluación Objetiva y Subjetiva de la Aislación Acústica de Fachadas

Ordoñez, Rodrigo; Visentin, Chiara; Markovic, Milos; Fausti, Patrizio

Published in:

FIA2014 IX Congreso Iberoamericano de Acústica, Valdivia, Chile 1-3, Diciembre

Publication date:

2014

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Ordoñez, R., Visentin, C., Markovic, M., & Fausti, P. (2014). Evaluación Objetiva y Subjetiva de la Aislación Acústica de Fachadas. In J. P. Arenas (Ed.), *FIA2014 IX Congreso Iberoamericano de Acústica, Valdivia, Chile 1-3, Diciembre: Actas del Congreso* (pp. 819-829). Article 0406 Instituto de Acústica, Universidad Austral de Chile . <http://fia2014.cl>

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Evaluación Objetiva y Subjetiva de la Aislación Acústica de Fachadas

R. Ordoñez^a, C. Visentin^b, M. Marković^a & P. Fausti^b

^a Laboratorio de Acústica, Instituto de Sistemas Electrónicos Universidad de Aalborg, Aalborg, Dinamarca

^b Departamento de Ingeniería, Universidad de Ferrara, Ferrara, Italia

RESUMEN: La aislación acústica de fachadas de distintos tipos de construcciones fue evaluada subjetivamente utilizando tres métodos psicoacústicos: comparaciones en pares utilizando el paradigma de dos alternativas con escoja obligatoria (2-AFC two-alternative forced choice) y dos versiones de evaluación directa utilizando escalas de analogía visual VAS (Visual Analogue Scale). Los estímulos sonoros utilizados para evaluación fueron obtenidos filtrando grabaciones de ruido de tráfico utilizando las características espectrales de aislación acústica de fachadas de edificios. Las mediciones se llevaron a cabo de acuerdo a la normativa ISO 140-5, en diversos tipos de construcciones italianas típicas en la ciudad de Ferrara, Italia. El objetivo de este estudio es comparar evaluaciones subjetivas obtenidas con distintos métodos psicoacústicos e investigar la correlación entre las evaluaciones subjetivas y los índices objetivos de aislación acústica de los distintos tipos de fachadas.

KEYWORDS: evaluación subjetiva, aislación acústica .

1. INTRODUCCIÓN

La aislación acústica de fachadas de edificios es estimada a través de mediciones objetivas descritas en estándares internacionales basadas en diferencias de niveles equivalentes de presión sonora medidos a ambos lados de la fachada. De estas mediciones estandarizadas índices de aislación acústica son obtenidos comparando mediciones objetivas con curvas de referencia y agregando ajustes de adaptación espectral que dependen de la fuente sonora utilizada en las mediciones. Aun cuando los mismos métodos de medición son utilizados en casi todo el mundo, existen muchos tipos diferentes de índices de aislación acústica derivados de las mediciones que son utilizados para caracterizar la aislación acústica de construcciones. En Europa existen grandes diferencias en exigencias y regulaciones para edificios basadas en una gran variedad de índices de aislación acústica [1].

Con el propósito de armonizar los índices de aislación acústica en Europa, la iniciativa de la COST Action TU0901 fue creada [2]. Uno de los objetivos de esta acción es investigar la correlación entre descriptores objetivos de aislación acústica y la percepción subjetiva del sonido transmitido. La idea es que un buen índice de aislación acústica debe ser capaz de reflejar la percepción subjetiva del ambiente acústico generado por el sonido transmitido.

Esfuerzos previos principalmente se han enfocado en la determinación de molestias (en inglés annoyance) para la determinación de relaciones entre dosis y respuesta, como las presentadas en un estudio de Miedieva y Vos [3]. El mayor problema con la determinación de molestia es su dependencia en un gran número de factores que no necesariamente dependen de las características físicas de la exposición sonora, y por lo tanto su evaluación puede que no refleje las medidas objetivas de aislación acústica. En general, molestias producto de exposición sonora, pueden ser influenciadas por características personales del individuo (sensibilidad al ruido, pérdida auditiva, etc.), factores o elementos de la situación específica (ubicación, actividad, etc.), y características no físicas del sonido (relación con la fuente sonora, contenido de información de la señal sonora, etc.) [4]. Estas características de la molestia causada por el sonido, hacen que su evaluación en un laboratorio sean extremadamente difíciles.

Este estudio investiga el uso del concepto “calidad de aislación SONORA” para la evaluación subjetiva de aislación acústica de fachadas utilizando tres métodos psicoacústicos distintos. Los principales objetivos de esta investigación son, identificar un método psicoacústico intuitivo y confiable para la evaluación subjetiva de propiedades acústicas en edificios y evaluar el concepto de “calidad de aislación acústica” como descriptor subjetivo de la calidad acústica de fachadas.

2. MEDICIONES DE AISLACIÓN ACÚSTICA DE FACHADAS

Las características acústicas de fachadas fueron obtenidas y evaluadas según la norma internacional ISO 140-5 [5]. Un altavoz direccional fue ubicado delante de fachadas a una distancia conveniente para tener un ángulo de incidencia igual a $45^{\circ} \pm 5^{\circ}$.

El nivel de presión sonora fue medido a dos metros del frente de la fachada y un promedio espacial de por lo menos cinco posiciones fueron utilizados para determinar el nivel de presión sonora dentro de los edificios. Los datos fueron analizados con un analizador de frecuencias en tiempo real en 1/3-de octavas desde 100 hasta 5000 Hz.

Las mediciones se llevaron a cabo en edificios completamente contruidos, dentro de apartamentos no amoblados. Varios tipos diferentes de edificios fueron seleccionados para las mediciones de forma de representar dentro de lo posible una gran variedad de técnicas de construcción italianas.

Algunos datos representan la misma fachada antes y después de efectuar ajustes a los marcos de las ventanas. Vale la pena mencionar que para edificios residenciales, la legislación Italiana establece un valor límite de aislación acústica de fachadas con el índice $D_{2m,nT,W} = 40$ dB (standardized level difference) [5].

2.1 Diferencia de nivel estandarizada $D_{2m,nT,W}$

Las diferencias de nivel estandarizadas de las 10 fachadas incluidas en este estudio se muestran en la figura 1. Filtros FIR con fase lineal fueron contruidos utilizando las características de aislación de las fachadas y el método de muestro en frecuencia (frequency sampling method) para cada fachada entre 0.1 y 5 kHz. Bajo 100 Hz todos los filtros se modelaron con una característica de pasa-bajo arbitraria y sobre 5 kHz los filtros mantienen la misma atenuación medida a 5 kHz.

2.2 Estímulos

Los sonidos utilizados para la evaluación auditiva, fueron obtenidos de tres grabaciones de ruido de tránsito medido a 2 metros de la fachada de un edificio. Para este estudio, dos grupos de estímulos fueron utilizados: segmentos de 4 y 20 segundos de cada una de las grabaciones. La duración de los estímulos se debe a las restricciones impuestas por los métodos psico-acústicos utilizados, ver Sección 3. Cada segmento de 20 segundos incluye las porciones más características de cada grabación. S1 incluye el sonido del paso de un tren, S2 el motor de un camión y S3 flujo constante de tráfico pesado. Los segmentos de 4 segundos corresponden a los momentos de mayor intensidad de los segmentos de 20 segundos.

Las grabaciones fueron procesadas con los filtros descritos en la Sección 2.1 para generar 30 estímulos de 20 segundos y 30 de 4 segundos. La Tabla 1 muestra los $L_{eq,T}$ de todos los estímulos utilizados en el experimento.

Tabla 1: Nivel de presión sonora equivalente [dB re. 20 μ Pa] de los estímulos del experimento auditivo. $L_{eq,T}$ fue medido en la posición de escucha, 1.3 m al frente en el eje acústico de los altavoces. La columna **Orig.** corresponde a segmentos de 20 s y 4 s de las grabaciones originales y son utilizados como referencia para las evaluaciones subjetivas. Las columnas **F1** a **F10** corresponden a los niveles de presión sonora equivalentes de cada estímulo después de ser filtrado con las características de cada fachada. Las tres primeras líneas de la tabla corresponden a los estímulos de 20 s, y las tres últimas a los estímulos de 4 s.

		Orig.	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
20s	S1	76.3	46.9	50.8	46.5	47.8	47.1	47.8	48.8	51.1	51.2	50.1
	S2	73.7	46.7	50.9	46.7	48.7	47.9	49.2	48.5	50.3	48.9	49.1
	S3	65.1	36.8	41.2	36.8	38.8	38.0	39.4	38.7	40.5	39.4	39.4
4s	S1	78.7	48.8	52.8	48.5	49.7	49.0	49.7	50.8	53.0	53.2	52.1
	S2	77.1	50.6	54.7	50.7	52.6	51.8	53.1	52.4	54.1	52.6	52.9
	S3	67.3	38.2	42.6	38.2	40.2	39.4	40.7	40.1	42.1	40.8	40.7

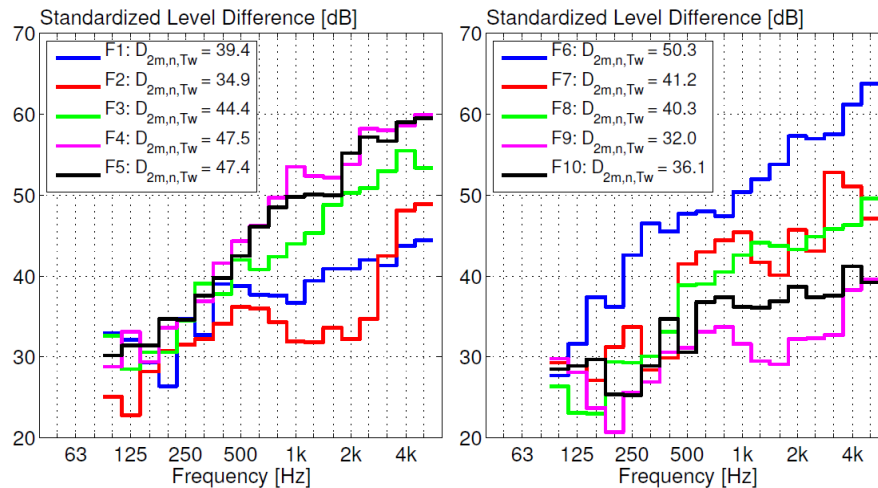


Figura 1: Aislación acústica de las fachadas medias en tercios de octavas.

3. EXPERIMENTO PSICOACÚSTICO

3.1 Métodos

Los métodos utilizados fueron: evaluación directa, utilizando una escala de analogía visual (VAS visual analogue scale), implementada para evaluar un estímulo a la vez (Método A) o cinco estímulos simultáneamente (Método B), y comparaciones pareadas (Método C) usando el paradigma de dos alternativas con selección obligatoria (2-AFC, two alternative forced choice). Estos métodos fueron implementados en un programa de MATLAB [6] que controlaba una tarjeta de audio externa, la presentación de los estímulos, registraba las respuestas y tiempo de reacción de los sujetos.

1. Evaluación directa individual (Método A). Esta parte estaba dividida en tres sesiones, una para cada uno de los estímulos grabados (S1-S3), utilizando los segmentos de 20 segundos. El sonido de referencia, la grabación original sin filtrar, era reproducido solamente una vez al principio de cada sesión. Después de escuchar la referencia los participantes tenían que escuchar uno de los estímulos de la sesión oprimiendo el botón "Play" para luego evaluar su calidad de aislación acústica en la VAS. Una vez el estímulo terminaba y el participante registraba su respuesta, tenía la posibilidad de seguir con el próximo estímulo. Los participantes podían escuchar los estímulos cuantas veces quisieran, pero no podían parar la reproducción del estímulo una vez que comenzada. Una vez que el siguiente estímulo era accesible, participantes no podían ver las evaluaciones anteriores. El orden de presentación de los estímulos fue balanceada a través de los participantes y cada participante evaluaba cada estímulo solamente una vez. El interfaz gráfico para el Método A se muestra en la parte superior izquierda de la figura 2.
2. Evaluación directa simultánea (Método B). Esta parte utilizaba los mismos estímulos que en el Método A y también estaba dividida en tres sesiones, una para cada grabación. Cada sesión estaba dividida en dos partes con cinco estímulos cada una. Participantes tenían que evaluar la calidad de aislación acústica representada por uno de los cinco estímulos en comparación con la referencia, que estaba disponible durante toda la sesión. Los participantes podían escuchar cualquiera de los 6 estímulos disponibles (referencia y cinco estímulos filtrados) todas las veces que fuera necesario y en cualquier orden. La reproducción de los estímulos era controlada de igual forma que en el Método A, una vez que el estímulo iniciaba no se podía parar. Cuando todos los estímulos a ser evaluados

habían sido escuchados y evaluados, los participantes tenían la opción de continuar al próximo set de cinco estímulos. La referencia no era evaluada y una vez que se avanzaba a los últimos 5 estímulos, los participantes no podían ver sus evaluaciones anteriores. El orden de presentación de los estímulos y su orden en la interfaz gráfica aleatorias para cada participante y cada participante evaluaba cada estímulo solamente una vez. El interfaz gráfico para el Método B se muestra en la parte superior derecha de la Figura 2.

3. Comparaciones Pareadas (Método C). Como con los otros dos métodos esta parte incluía tres sesiones, una para cada grabación. Cada uno de los 10 segmentos de 4 s fueron utilizados para crear 45 comparaciones únicas para cada sesión. Al igual que en el Método A la referencia era solamente reproducida una vez al principio de cada sesión. Después de escuchar la referencia, cada uno de los pares de estímulos eran presentados a los participantes, para que eligieran cuál de los dos representaba la fachada con mejor calidad de aislación acústica. Para cada comparación, estímulos eran presentados una vez, en sucesión con una pausa de 0.2 s entre los estímulos. Después que ambos estímulos terminaban, los participantes podían indicar su preferencia oprimiendo el botón correspondiente. Una vez que la respuesta era registrada el siguiente par de estímulos era presentado. La parte inferior de la Figura 2 muestra la interfaz gráfica utilizada para este método.

La VAS utilizada en los métodos A y B fue construida como una escala vertical con terminaciones abiertas. Marcas horizontales fueron colocadas en 8.3% y 91.6% de largo total de la escala, lo que corresponde a 1 y 11 en una escala numérica de 0 a 12. A un costado de la escala se colocaron anclas verbales cubriendo el rango entre las marcas horizontales. De abajo hacia arriba: “Bad” (malo), “Poor” (pobre), “Fair” (aceptable), “Good” (bueno), “Excellent” (excelente). La escala no fue explicada en detalle a los sujetos y era esperado que cada individuo interpretara la escala de acuerdo a su interpretación de calidad de aislación sonora.

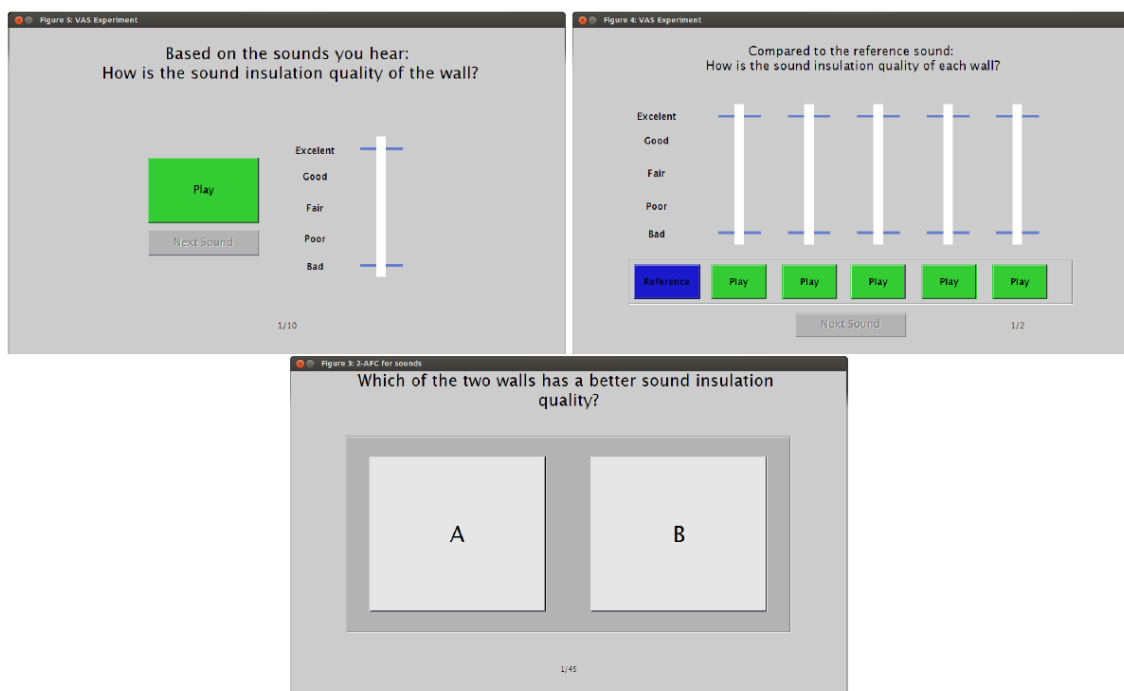


Figura 2: Interfaz gráfica: Evaluación directa individual (arriba izquierda); Evaluación directa simultánea (arriba derecha); Comparaciones pareadas (abajo).

3.2 Sistema Electroacústico

Para la reproducción de los estímulos, se utilizó un sistema electroacústico compuesto por partes digitales y analógicas. El computador ejecutando el programa de MATLAB para el experimento auditivo era utilizado para almacenar y reproducir los estímulos. Los segmentos de audio digital fueron almacenados con una frecuencia de muestreo de 44.1 kHz con 16 bits de resolución por muestra. Estímulos eran reproducidos a través de una tarjeta de audio externa con conexión de USB (UA-25EX, Rolland) conectada a un sistema de control de altavoces (Behringer DCX2496) utilizado para separar la señal en frecuencias bajas (30 a 80 Hz) y frecuencias altas (80 Hz a 16 kHz). Ambas señales fueron amplificadas con un amplificador de potencia analógico (Pioneer A-616). Los altavoces utilizados fueron un HIFI woofer (33F-WKA) montado en una caja cerrada para la reproducción de las frecuencias bajas y un altavoz HIFI (DALI 2a) utilizado para las frecuencias altas.

El sistema electro-acústico fue calibrado utilizando el segmento de 20 s de la señal 1 (ver la sección 2.2) que contenía los niveles de máximos de presión sonora (peak levels) de todas las señales utilizadas en el experimento. La amplitud de la señal digital fue ajustada para ocupar la totalidad del rango dinámico del sistema, evitando saturaciones. Luego, el nivel de reproducción analógico fue amplificado para llegar al nivel equivalente de la señal original (76.9 dB re. 20 μ Pa) medido en la posición de escucha (posición de la cabeza de los sujetos durante el experimento). El mismo factor de ajuste de la señal digital y nivel de amplificación fue aplicado a todos los estímulos utilizados en el experimento.

El experimento se llevó a cabo en la sala anecoica del laboratorio de acústica de la Universidad de Aalborg. Durante el experimento los sujetos estaban sentados en una cabina acústicamente transparente, proporcionando aislamiento visual del resto de la sala, incluyendo los altavoces.

3.3 Sujetos

Un total de 16 estudiantes participaron de forma voluntaria en el experimento. El grupo estaba constituido de 11 hombres y 5 mujeres con una edad promedio de 24.8 años. El estado de la audición de los sujetos no fue investigado con audiometrías, solo se les consultó a cada sujeto si tenían problemas auditivos. Ninguno reportó tener problemas.

Los sujetos fueron asignados de forma aleatoria a dos grupos. El primer grupo (5 hombres, 3 mujeres) utilizó los dos métodos de evaluación directa (Métodos A y B), y el segundo grupo (6 hombres y 2 mujeres) utilizó el método de comparaciones pareadas (Método C). Antes del empezar con el experimento, los sujetos leyeron instrucciones de cómo responder durante el experimento y presentaba el contexto de las evaluaciones con una breve explicación de “calidad de aislamiento sonora”. El objetivo de las instrucciones era presentar los sujetos la idea de evaluar sonidos que han “pasado a través” de las murallas exteriores de un edificio, y que cada sonido en las evaluaciones representa un tipo de fachada diferente. Después de leer las instrucciones los sujetos podían hacer preguntas para clarificar cualquier duda acerca de la tarea del experimento.

Los sujetos no recibieron familiarización con los métodos del experimento y todos los datos recopilados en el experimento fueron utilizados en el análisis.

4. RESULTADOS

Los resultados de los métodos A y B están presentados como el promedio, a través de sujetos, de las evaluaciones en las escalas. La escala tenía un valor mínimo de 0 y un máximo 12 con una resolución de 0.01. Los resultados del método C están presentados como número de preferencias (número de veces que un estímulo es elegido en cualquier comparación) y como escala de proporción utilizando un árbol de preferencias derivado de un modelo probabilístico de opciones, de acuerdo al procedimiento descrito en [6].

4.1 Evaluaciones Directas

La figura 3 muestra el promedio de evaluaciones para la calidad de aislación sonora de cada fachada, para las tres señales grabadas obtenidas con los métodos A y B. Un ANOVA de medidas repetidas fue calculado con señales, métodos y fachadas como factores. Resultados del análisis muestran efectos significativos entre las evaluaciones debido a las fachadas ($F(9) = 38.71$, $p < 2 \times 10^{-16}$, como se esperaba dada las diferencias en $D_{2m,mT,W}$) y señales ($F(2) = 10.61$, $p = 0.00157$), pero con una interacción significativa entre fachadas y señales ($F(18) = 3.147$, $p = 8.59 \times 10^{-5}$). Esta interacción significa que las diferencias entre las evaluaciones de las fachadas fueron afectadas por las características de cada señal. En particular, se puede observar que evaluaciones más altas se obtienen con la señal 3 (panel de la derecha en la figura 3), que tiene el nivel de presión sonora más bajo de las tres señales.

4.2 Comparaciones pareadas

Los números de preferencias para cada sesión y para la suma de las tres sesiones se muestran en el panel izquierdo de la figura 4. Las preferencias obtenidas con las tres señales fueron combinadas en una matriz de preferencias para obtener una escala de proporciones para calidad de aislación acústica a través de un árbol de preferencias. Los resultados de una estimación de máxima probabilidad (maximum likelihood estimation) de los valores de la escala se muestran en el panel derecho de la figura 4.

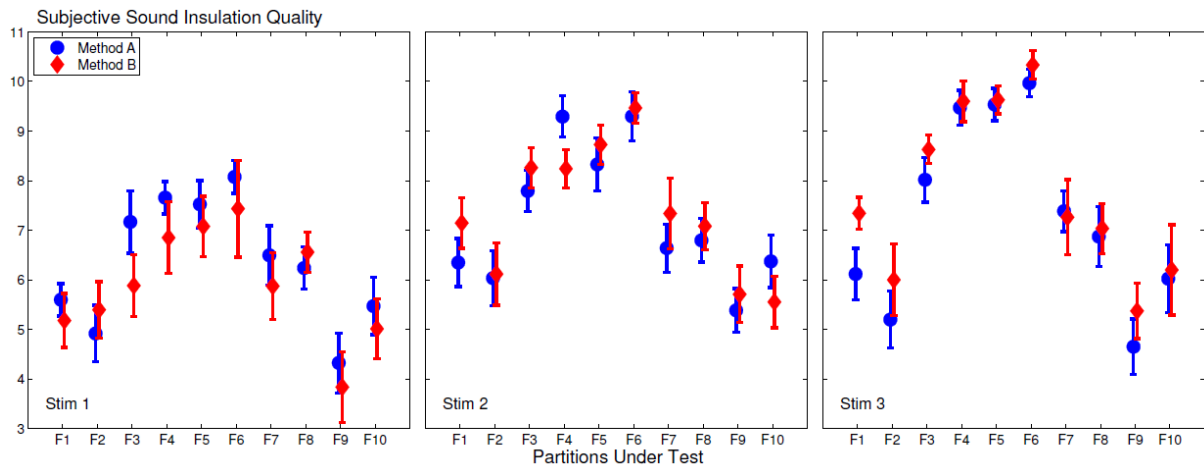


Figura 3: Promedio de resultados para sujetos y error estándar (barras de error) de la calidad de aislación sonora subjetiva obtenida con métodos A y B. Cada panel muestra los resultados de ambos métodos para cada señal (sesiones del experimento). El eje horizontal representa las fachadas y el eje vertical la respuesta de los sujetos. El parámetro en la figura son los métodos. Los símbolos han sido desplazados en el eje horizontal para claridad.

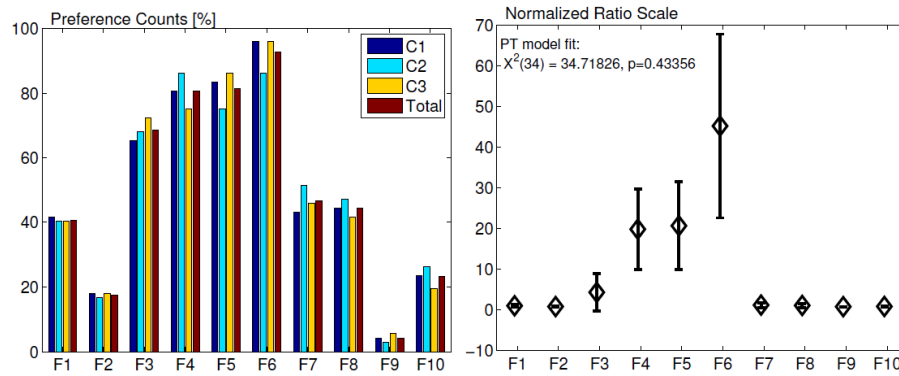


Figura 4: Panel izquierdo: número de preferencias de las comparaciones pareadas. Panel derecho: escala proporcional normalizada obtenida utilizando la matriz de preferencias agregada (respuestas de todos los sujetos y señales) y un árbol de preferencias.

Para el árbol de preferencias los estímulos tienen que ser agrupados según características comunes. El modelo estima el valor final de cada estímulo como la suma del aporte de las características comunes e individuales. En este caso los estímulos se agruparon de acuerdo a $D_{2m,nT,W}$. Las Fachadas con $D_{2m,nT,W} < 45$ dB (F1,F2,F3,F7,F8 y F10) y las con $D_{2m,nT,W} > 45$ dB (F4,F5, y F6)

5. DISCUSIÓN

5.1 Comparación de métodos psicoacústicos

Los tres métodos utilizados son evaluados comparando el nivel de correlación que existe entre los resultados de cada método. Los resultados de ambos métodos de evaluación directa (A y B) son presentados como el promedio de las evaluaciones a través de los sujetos y señales. Los resultados de las comparaciones pareadas (método C), son presentados como el número total de preferencias y como una escala de proporciones normalizada utilizando todos los datos recopilados (todos los sujetos y las tres señales). Los resultados del análisis muestran una buena correlación entre los métodos A y B con el número de preferencias del método C (A vs. C $r=0.9871$ y B vs. C $r=0.9920$). La misma comparación utilizando la escala proporcional normalizada resulta en una correlación menor (A vs. C $r=0.8162$ y B vs. C $r=0.8231$). Finalmente existe una buena correlación entre ambos métodos de evaluación directa (A vs. B $r=0.9767$), lo que confirma el resultado del ANOVA que no muestra un efecto significativo debido a los métodos (ver sección 4.1).

La comparación de los métodos A y B, muestra que el hecho de poder ver evaluaciones anteriores a otros estímulos en el momento de evaluar un estímulo nuevo, no ayuda al sujeto en la nueva evaluación. Otro aspecto interesante es el que los sujetos solo escucharon la referencia una vez, al inicio de la sesión con el método A, mientras que durante la sesión con el método B la referencia estaba siempre disponible. En el transcurso del método B, se pudo observar que los sujetos rara vez escuchaban la referencia más de una vez, y que la mayoría de las evaluaciones eran relativas a las otras evaluaciones disponibles. En el caso del método A, esto no debería ser posible, debido a que es difícil acordarse de los estímulos presentados anteriormente. Esto significa que aunque las evaluaciones efectuadas con el método A tienen un mayor grado de independencia que las efectuadas con el método B, la dependencia debido a los ajustes relativos entre estímulos presentados simultáneamente es pequeña comparada con la percepción que genera cada estímulo.

Comparando los resultados de evaluaciones directas (A y B) con los resultados de comparaciones pareadas (C), es importante tener en cuenta la diferencia en la duración de los estímulos (20 s para los métodos A y B, y 4 s para el método C). Estímulos de corta duración generan respuestas más intuitivas, debido a que el sujeto no puede pensar en el estímulo por mucho tiempo. Además, el método de 2-AFC implementado para este experimento, presenta los estímulos para la comparación en rápida sucesión, sin la posibilidad de repetirlos. Esto hace que los sujetos dependan de su primera impresión para emitir sus juicios, y una vez que han respondido el experimento continuaba con la siguiente comparación, evitando que los sujetos pudieran cambiar su respuesta. Este no es el caso para los métodos A y B, donde los sujetos tenían la posibilidad de escuchar cada estímulo y ajustar sus evaluaciones todas las veces que querían y ellos decidían cuando continuar con el/los siguientes estímulos. A pesar de todas las diferencias entre los métodos, comparando los resultados de los métodos A y B con el número de preferencias del método C se puede observar resultados muy similares. Si las comparaciones pareadas se expresan como una escala proporcional, los resultados no son tan similares. La gran diferencia entre el número de preferencias y la escala proporcional, es que la escala proporcional toma en cuenta los efectos de respuestas aleatorias. En el paradigma de 2-AFC, cuando los sujetos no están seguros de que estímulo escoger, tiene una probabilidad del 50% de adivinar la respuesta “correcta”. Esto se traduce en que todos los estímulos que tienen una probabilidad de ocurrencia cercana al azar (son escogidos más o menos la mitad de las veces que son presentados) tienen un valor muy bajo en la escala proporcional. Esto podría significar que fachadas con valores bajos de aislación acústica, requieren señales más largas para que las diferencias entre los estímulos se puedan detectar. Esto también apunta al hecho que solo es posible distinguir con seguridad la calidad de aislación sonora de fachadas con un $D_{2m,nT,W} > 45$ dB.

5.2 Comparación de medidas subjetivas y objetivas.

La figura 5 muestra las distintas evaluaciones subjetivas en función de la diferencia de nivel estandarizada de las fachadas.

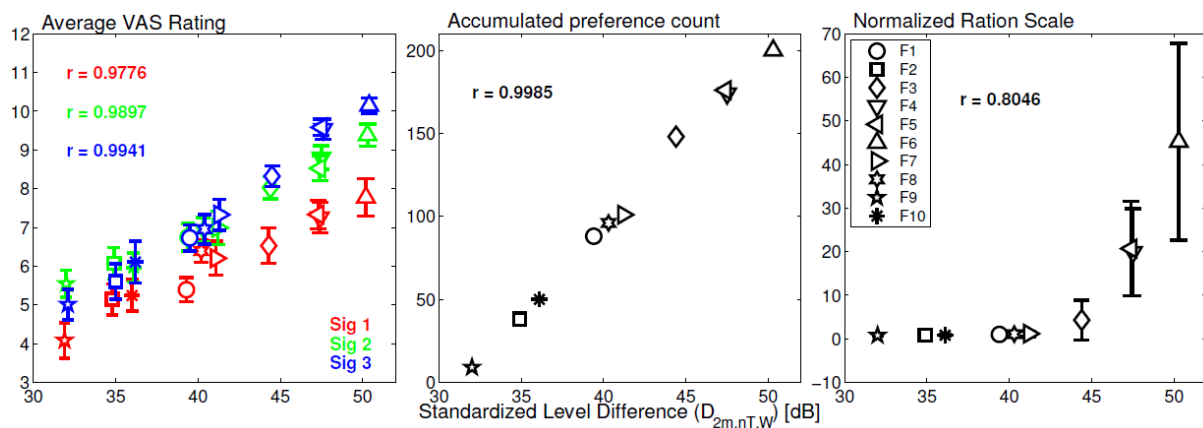


Figura 5: Evaluaciones subjetivas en función de la diferencia de nivel estandarizada $D_{2m,nT,W}$. Izquierda: evaluación VAS promedio, a través de sujetos y métodos (A y B); Centro: número de preferencias acumulado (todas las señales); Derecha: escala proporcional normalizada. Coeficientes de correlación (r) para cada comparación se muestran en las figuras.

En el caso de las evaluaciones directas hay una clara relación lineal entre las evaluaciones y $D_{2m,nT,W}$ (panel izquierdo de la figura 5). La figura 5 también muestra que para cada señal las evaluaciones crecen de forma diferente. Esto se puede deber a las características físicas de las

señales, los contenidos en frecuencia, características temporales o el nivel. En el caso de las comparaciones pareadas, el número de preferencias acumulado muestra una correlación casi perfecta con $D_{2m,nT,W}$ (panel central de la figura 5). Al tomar en cuenta efectos aleatorios e inconsistencias de las preferencias en la construcción de la escala proporcional, la evaluación subjetiva sólo comienza a crecer para $D_{2m,nT,W} > 40$ dB. Como se menciona anteriormente, esto refleja que los sujetos no pudieron juzgar de forma sistemática las diferencias entre fachadas con poca aislación acústica

6 CONCLUSIONES

El presente artículo presenta y compara los resultados de tres métodos psicoacústicos utilizados en la evaluación subjetiva de la aislación acústica de fachadas. Las conclusiones principales de este trabajo se pueden resumir de la siguiente manera:

1. Los sujetos fueron capaces de utilizar el concepto de “calidad de aislación sonora” para la evaluación subjetiva de la aislación acústica de fachadas. Los sujetos recibieron una breve descripción del concepto y para la mayoría, el concepto fue fácil de entender.
2. No se observaron diferencias entre los dos métodos de evaluación directa (A y B) utilizados. Esto puede ser debido al uso del concepto “calidad de aislación sonora” que al parecer es una dimensión subjetiva suficientemente robusta y fácil de entender para sujetos sin conocimientos detallados de aislación acústica.
3. Número de preferencias y evaluaciones directas utilizando una VAS entregan resultados muy similares al ser comparados con la diferencia de nivel estandarizada de fachadas: una alta correlación entre las evaluaciones subjetivas y objetivas. Por otra parte, al tomar en cuenta las probabilidades de responder al azar en el paradigma 2-AFC, la escala proporcional resultante solo aumenta para valores altos de aislación acústica.

Los resultados presentados en este artículo son el punto de partida para futuros experimentos más detallados y extensos. Los resultados de este estudio están basados en un número limitado de sujetos que no necesariamente son representativos de una mayor población. Una mayor cantidad de estímulos podría ser investigada en futuros estudios (música, habla, etc.) y los resultados deberían ser comparados con una mayor cantidad de medidas objetivas. Actualmente se trabaja en la revisión del estándar ISO 717, en la cual se proponen nuevas formas para obtener las magnitudes globales para la descripción de la aislación acústica de elementos de construcción y edificios, por ejemplo ampliar el rango de frecuencias considerados en las mediciones hacia bajas frecuencias [7]. La metodología presentada en este artículo sirve como base para la elección de métodos psicoacústicos que puedan ser utilizados para la comparación de nuevas magnitudes globales de aislación acústica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] B. Rasmussen & J. H. Rindel, "Sound insulation between dwellings - Descriptors applied in building regulations in Europe", *Appl. Acoust.*, 71, 171-180 (2010).
- [2] COST Action TU0901, "Integrating and Harmonizing Sound Insulation Aspects in Sustainable Urban Housing Constructions", (2009-2013), <http://www.costtu0901.eu/>, http://w3.cost.esf.org/index.php?id=240&action_number=TU0901.
- [3] H. M. E. Miedema & H. Vos, "Exposure-response relationships for transportation noise", *J. Acoust. Soc. Am.*, 104(6), 3432-3445 (1998).

- [4] A. Kjellberg; U. Landström; M. Tesarz; L. Söderberg & E. Åkerlund, "The effects of nonphysical noise characteristics, ongoing task and noise sensitivity on annoyance and distraction due to noise at work", *J. Environ. Psychol.* , 16, 123-136 (1996).
- [5] ISO 140-5, "Acoustics: Measurements of sound insulation in buildings and building elements - Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades", International Organization for Standardization, Geneva (1998)
- [6] F. Wickelmaier & C. Schmid, "A Matlab function to estimate choice model parameters from paired comparison data", *Behav Res Meth Instrum Comput*, 36(1), 29-40 (2004).
- [7] W. Scholl; J. Lang & V. Wittstock, "Rating of sound insulation at present and in future. The revision of ISO 717", *Acta Acust United Ac*, 97, 686-698 (2011).