

## Optimización del Diseño Formal de Envolventes para el Control del Ruido de Tránsito

A.R. Maristany, L. Abadía, M. Agosto, L. Carrizo & M. Chitarrini

*Centro de Investigaciones Acústicas y Luminotécnicas - CIAL, Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional de Córdoba, CP5000, Argentina, arturo.maristany@gmail.com*

**RESUMEN:** El control de ruido en los edificios, proveniente principalmente del tránsito vehicular, representa un constante tema de estudio. Está demostrado que existe una complementariedad importante entre el aislamiento acústico de la envolvente y el aporte que significan al control de ruido la forma, y los materiales superficiales con que están compuestas las fachadas. De este modo, el aislamiento acústico global de una fachada también depende de la forma y de la materialización del cerramiento y necesariamente debe relacionarse con el tipo, frecuencia y nivel de ruido exterior. En esta ponencia se presentan los resultados de análisis realizado a una muestra de edificios característicos del área central de la Ciudad de Córdoba. Se analizaron los elementos constructivos componentes de las fachadas de los edificios que limitan arterias de alto tránsito, los cuales están compuestos por muros, ventanas, puertas y celosías, balcones, barandas con diferentes condiciones de aislamiento. La evaluación se realizó mediante la aplicación de un software de simulación basado en la teoría modificada del trazado de rayos. Para la simulación se refirió la fuente de ruido al espectro de ruido normalizado de tránsito de la EN 1793-3, y en función de los niveles reales en las avenidas principales de la ciudad. El análisis se realizó discriminando en frecuencias, a los efectos de definir las variables constructivas y formales mas adecuadas al tipo de ruido incidente.

**KEYWORDS:** balcones, ruido urbano, control de ruido

## 1. INTRODUCCIÓN

El bienestar general de las personas que ocupan los edificios está directamente relacionado con el diseño eficiente de las envolventes, el cual aporta ventajas tanto económicas como ambientales, permitiendo que las personas que hacen uso de esos espacios tengan mejores condiciones de habitabilidad. El diseño de la envolvente deberá ser integral, considerando aspectos ambientales relacionados con el sonido, la radiación solar y la iluminación natural, a los efectos de lograr el confort ambiental desde el punto de vista térmico, acústico y lumínico [1].

Para el análisis desde el punto de vista acústico, se considera que el ruido que se genera en una zona urbana de alto tránsito se propaga incidiendo sobre las envolventes de los edificios y en cada uno de los elementos que las conforman, hasta penetrar en el interior principalmente a través de los cerramientos. Los niveles de ruido que afectan la envolvente de un edificio están relacionados con el tipo de fuente generadora de ruido, las características de las avenidas, la distancia de los edificios a las mismas, la altura e implantación de los edificios dentro de la trama urbana, la exposición directa o indirecta de las envolventes a la fuente productora de ruido, la forma de la fachadas, las características superficiales de las envolventes que conforman los edificios, entre otros factores [2] [3].

En las arterias de tránsito rápido los vehículos se desplazan a velocidad constante o casi constante. De este modo el ruido de tráfico generado por una vía de circulación se constituye en la suma simultánea de los niveles sonoros variables generados por los distintos vehículos que conforman dicho flujo. El ruido particular de cada vehículo es una suma de fuentes sonoras diversas, tales como el ruido propio del motor, del escape y del rozamiento con la calzada. Se identifica que las bajas frecuencias están relacionadas con el ruido generado por el motor y escape. Este tipo de ruido es muy difícil de amortiguar y se extiende fácilmente en todas direcciones siendo percibido a grandes distancias. En el componente energético del ruido de tránsito también están presentes las frecuencias medias y altas relacionadas con el motor y rozamiento del rodado sobre la calzada.

Está demostrado que el diseño de la envolvente influye significativamente en el aislamiento acústico, y en avenidas de alto tránsito en el control del ruido producido por los vehículos [4] [5]. Los balcones, que forman parte del diseño, son elementos constructivos que ofrecen protección acústica, actuando como barreras o pantallas, generando reducción de niveles de ruido debido a las diversas formas que adquieren, la profundidad de los mismos, las características superficiales y constructivas de los elementos que los conforman, las diferentes alturas de cada balcón.

En esta ponencia se presentan resultados de un trabajo destinado a analizar el nivel de amortiguamiento de los balcones de los edificios de construcciones habituales en la ciudad de Córdoba con diferentes conformaciones. Se utiliza como herramienta para la determinación cuantitativa del nivel de ruido un software de simulación basado en la técnica de trazado de rayos, que permite obtener los niveles de ruido en distintos puntos no solo de manera global sino discriminando en frecuencias. Técnica utilizada por otros autores en trabajos similares publicados anteriormente [6] [7]. Este análisis posibilita estudiar la interacción entre las fuentes productoras de ruido, la forma edilicia y su relación con el aislamiento, a los efectos de obtener conclusiones sobre la influencia que ocasiona la geometría de los edificios sobre el ruido de tránsito.

## 2. DESARROLLO

### 2.1 Elección de los casos de estudio

Los balcones poseen diferentes conformaciones y la incidencia y transmisión del sonido dependerá de las características constructivas y superficiales de cada uno de los componentes. Se realizó un relevamiento sistemático de balcones de edificios ubicados en el área central de la ciudad de Córdoba. Este relevamiento permitió sintetizar conformaciones de balcones comunes a la mayoría de los edificios relevados. Se determinaron siete tipos de barandas y dos anchos de balcones y cuatro tratamientos superficiales de cielorraso. Cada uno de los casos analizados se muestran esquemáticamente en las figuras 1 a 7. Se consideraron para cada caso dos anchos de balcones de 1 m y de 2 m. Los edificios analizados se encuentran ubicados sobre arterias con alto tránsito vehicular el cual es tomado como fuente de ruido externo para la evaluación.

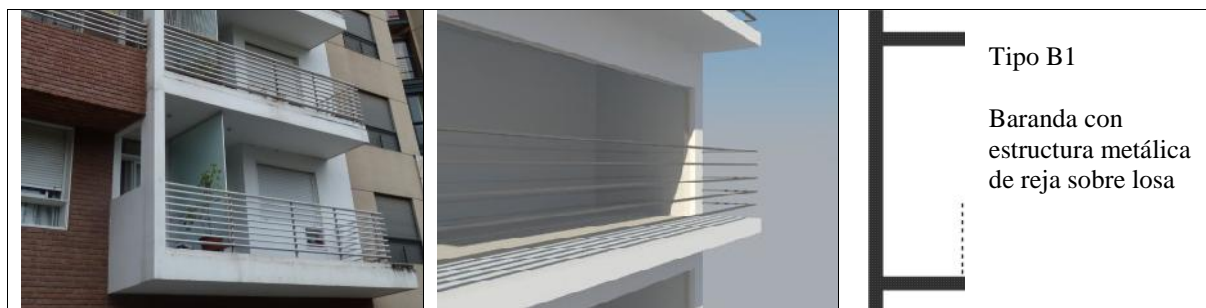


Figura 1: *Balcón tipo B1 – baranda de reja*

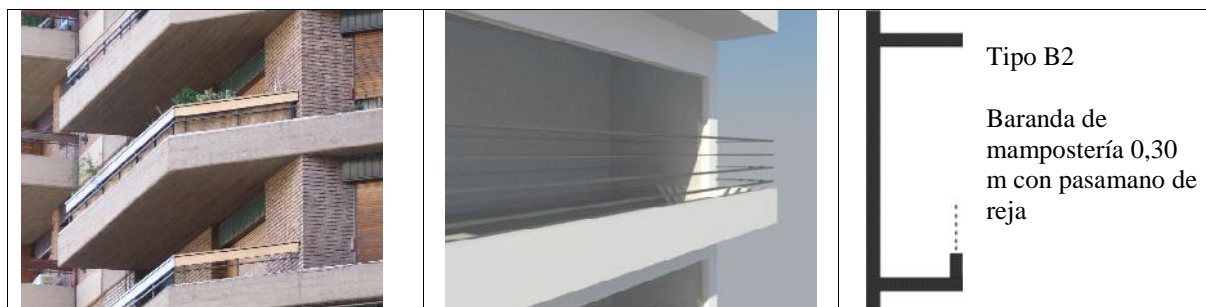


Figura 2: *Balcón tipo B2 – baranda de Mampostería y reja*



Figura 3: *Balcón tipo B3 – baranda de Mampostería y reja*



Figura 4: Balcón tipo B4 – baranda de vidrio



Figura 5: Balcón tipo B5 – baranda de Mampostería y vidrio



Figura 6: Balcón tipo B6 – baranda de vidrio

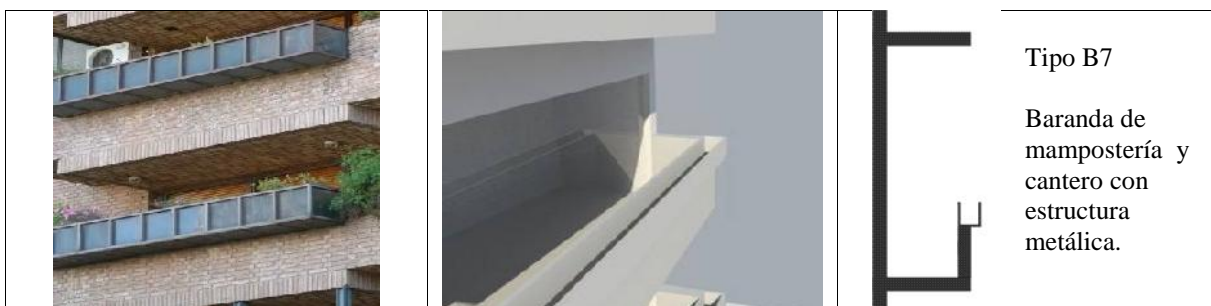


Figura 7: Balcón tipo B7 – baranda de Mampostería y cantero

## 2.2 Materiales usuales para la superficie de cielorraso

Se prestó especial interés en analizar diferentes situaciones relacionadas con las características superficiales de las envolventes de cielorraso que conforman los balcones, a fin de distinguir la influencia de los materiales en relación al ruido de tráfico y su incidencia sobre el plano límite de la fachada. Se consideraron distintos tipos de superficies de cielorraso: revoque sobre mampostería, madera con cámara de aire de 5 cm, rellena de lana de vidrio, placas de roca yeso con cámara de aire de 5 cm rellena en su interior con lana de vidrio, placas de

madera perforada con cámara de aire de 5 cm rellena de lana de vidrio. Los coeficientes de absorción utilizados de cada material y su respuesta en frecuencia se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: *Coefficientes de absorción utilizados para cielorrasos*

Material de cielorraso	Coeficientes de absorción de materiales según frecuencias							
	Frecuencias (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Revoque	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04
Madera con cámara de aire	0.30	0.30	0.25	0.20	0.17	0.15	0.10	0.10
Roca yeso con cámara de aire	0.30	0.30	0.20	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02
Madera perforada con CA	0.20	0.25	0.63	0.87	0.50	0.42	0.60	0.70

### 2.3 Característica de la fuente productora de ruido

El ruido proveniente de automóviles, transporte público y motos se constituye en el ruido ambiente dominante en el área central de la ciudad. Para la simulación es necesario determinar el nivel de presión sonora por bandas de octava del ruido generado por el tránsito. Se realizaron simulaciones basadas en el espectro normalizado de ruido de tránsito dado por la ISO 1793-3:1998 y simultáneamente en base a los valores obtenidos en mediciones realizadas in situ, en las cuales se determinó el espectro típico de las avenidas principales, siendo este último el valor finalmente adoptado por adecuarse a la situación real del tránsito en las avenidas. En la tabla 2 se muestra el espectro de ruido de tránsito medido.

Tabla 2: *Espectro de ruido de tránsito*

Frecuencias (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Nivel de ruido medido(dB)	88	90	87	83	78	72	66	59

### 2.4 Metodología

Los cálculos de los niveles de ruido que inciden en las superficies de fachadas se han obtenido por medio del uso de un programa de simulación basado en la técnica de trazado de rayos modificada (3D numerical model of pyramid tracing). La simulación se realizó con el software DISIAPYR® [8] y para los datos de partida se tuvieron en cuenta la geometría de los balcones, la zona de implantación de los edificios analizados y los coeficientes de absorción que conforman las envolventes de cada uno de los balcones. En el programa se puede representar cualquier tipo de geometría de fachada independientemente de su complejidad.

La conformación del canal típico o característico de la trama urbana de la ciudad de Córdoba posee edificios enfrentados. Se seleccionó un canal típico o característico de la ciudad, con importante circulación de tránsito, con un ancho total de 10 m, una distancia entre edificios de 16 m y considerando una altura de edificación máxima, alcanzando un total de 22 m. En la figura 8 se muestra el esquema del canal y un perfil de valores de simulación.

Se realizó el cálculo del nivel sonoro en un balcón del tercer piso de un edificio tipo, ya que se considera que a esa altura actúan de manera combinada tanto la absorción de los materiales como así también el apantallamiento generado por las distintas conformaciones de barandas. Se simuló las combinaciones correspondientes a los siete tipos de barandas, dos anchos de balcones y las cuatro características superficiales de cielorraso enunciadas anteriormente.

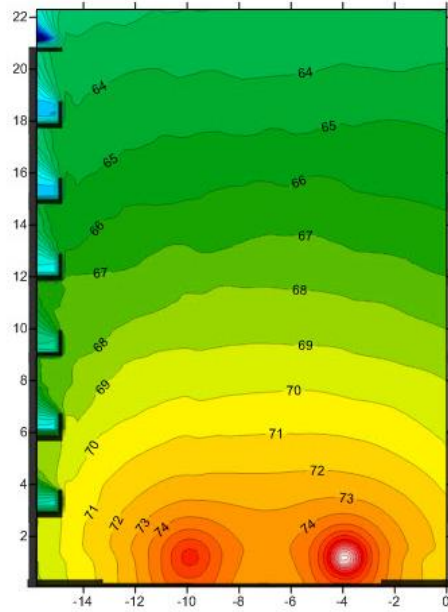


Figura 8: Configuración típica de canal urbano y simulación

Para cada alternativa de tratamiento, se calculó el nivel sonoro promedio sobre el plano de la fachada y a 2 m de distancia del mismo ( $L_{0,20}$ ,  $L_{2\text{ m}}$ ), respondiendo al criterio fijado en el anexo C de la Norma Europea EN 12354-3 [9]. En los esquemas de la Figura 9 y 10 se detallan, a modo de ejemplo las simulaciones correspondientes a las siete alternativas de balcones con un ancho de 1 m y 2 m y cielorraso revocado. En la Figura 11 las curvas de nivel resultantes de las simulaciones del B5 (balcón 5) con las cuatro alternativas de cielorraso.

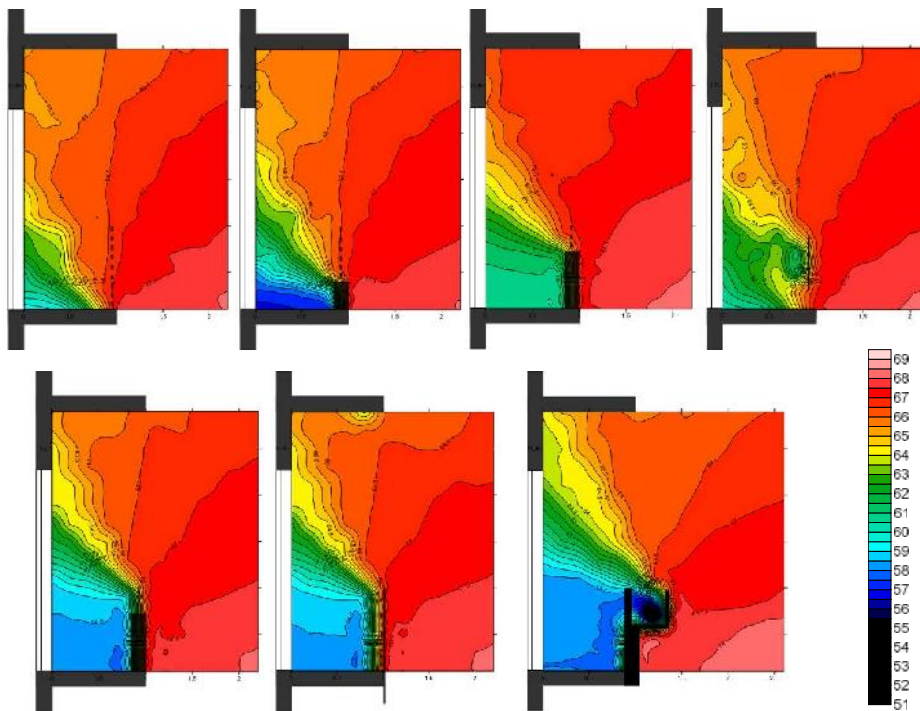


Figura 9: Simulaciones correspondientes a las siete alternativas de balcones, con un ancho de balcón de 1m

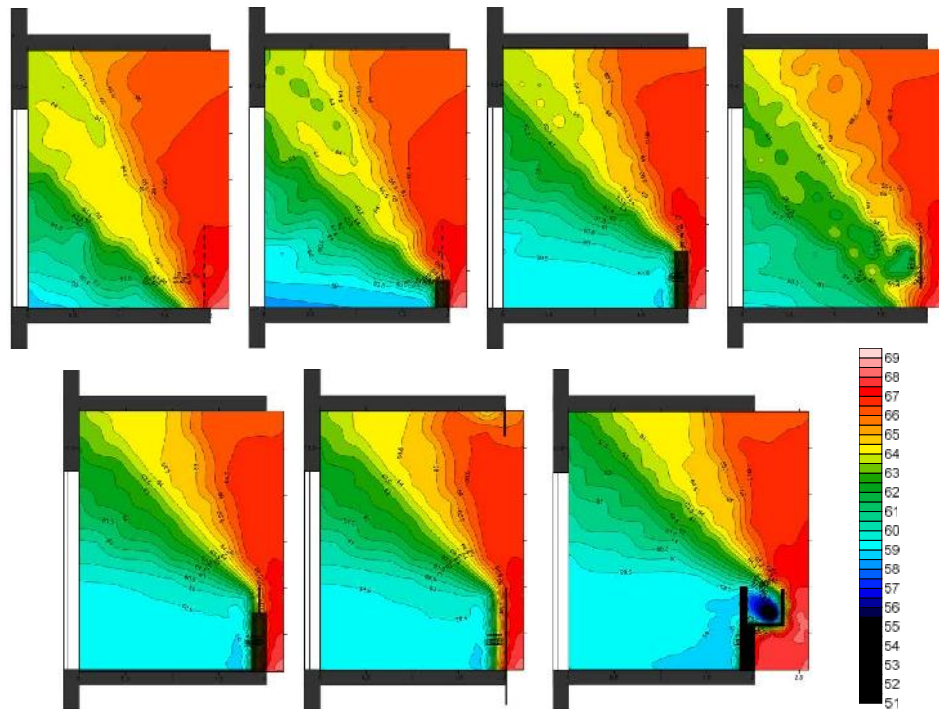


Figura 12: Simulaciones correspondientes a las siete alternativas de balcones, con un ancho de balcón de 2 m

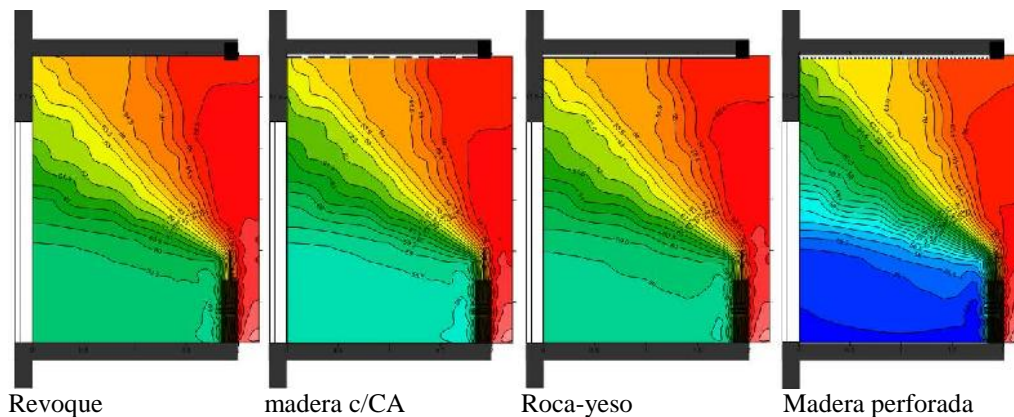


Figura 11: Simulación tipo B5 con las cuatro alternativas de cielorraso

## 2.5 Análisis de resultados

En la gráfica de la figura 12 se muestra el comportamiento acústico para el balcón B5 con cada material utilizado como alternativa de cielorraso. Se indica la diferencia  $L$  promedio del nivel de ruido por bandas de octava calculado mediante la diferencia  $(L_{2m} - L_{0,20m})$ , nivel en el exterior, a 2 m del plano de la ventana menos el nivel de ruido promedio sobre el plano de la ventana. Se observa que nivel de atenuación por octavas sigue la misma tendencia del coeficiente de absorción del material de cielorraso. Para el caso del revoque el aumento progresivo de la atenuación con la frecuencia depende exclusivamente del apantallamiento. Con respecto al comportamiento de la madera y del yeso con cámara de aire se observa una importante contribución en bajas frecuencias y que, específicamente en la madera la

atenuación se mantiene constante en todo el espectro. En el caso de la madera perforada con cámara de aire, la diferencia aumenta de manera muy notable en la zona correspondiente a la banda de las frecuencias medias (500 Hz) y altas frecuencias coincidiendo con los altos valores de absorción en esa frecuencia.

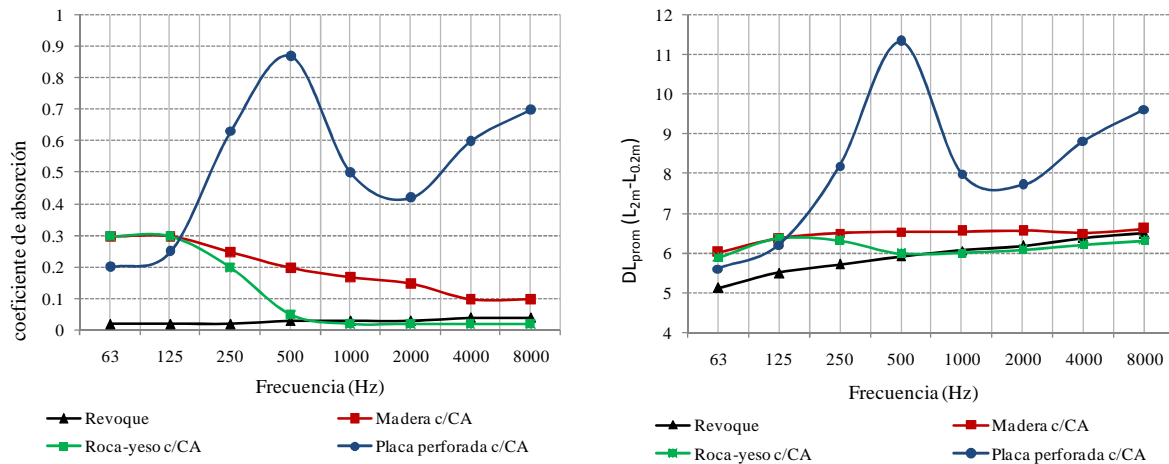


Figura 12: Absorción cielorraso y diferencia  $L$  promedio ( $L_{2m} - L_{0,20m}$ )- tipo B5

En la grafica de la figura 13 se muestran los resultados promedio de atenuación de cada una de las situaciones analizadas con los dos anchos de balcones estudiados (1m y 2m).

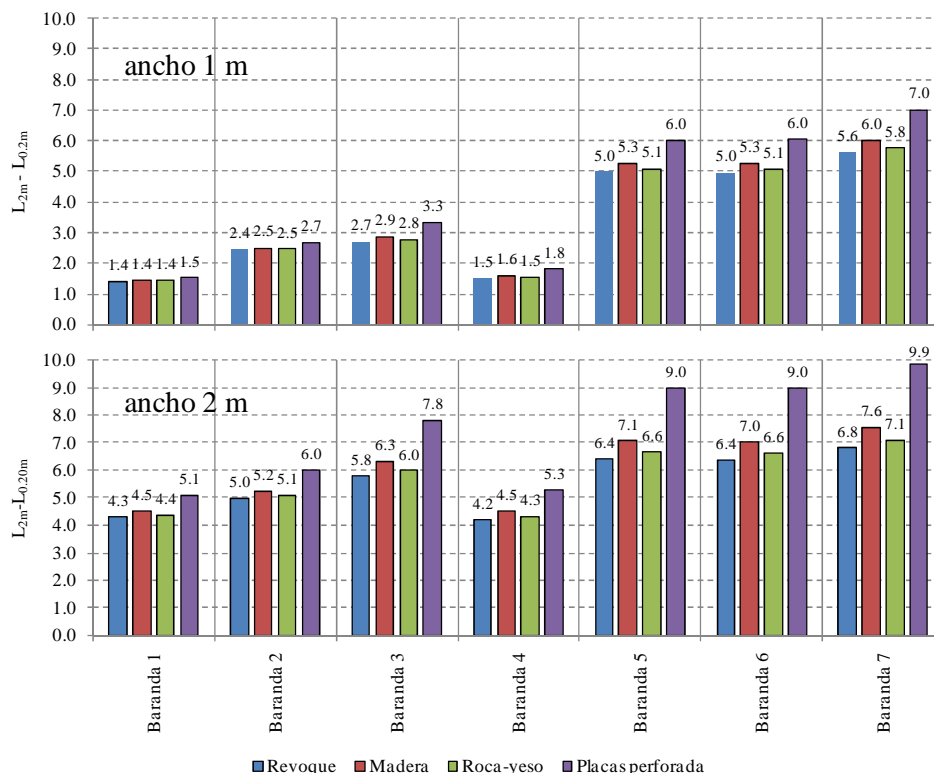


Figura 13: Resultados promedio de cada una de las situaciones analizadas para balcones de 1 y 2m de ancho

Del análisis se observa que, en aquellas conformaciones de balcones cuyas características de cierre son más permeables y menos materializadas (B1 Y B4) la atenuación



del ruido sobre el plano de la fachada es menor que para aquellos balcones cuyas barandas poseen un cierre más homogéneo.

Se observa que, en todas las situaciones analizadas, el ancho de balcón de 2 m produce una atenuación mayor que para balcón de 1 m. En todos los casos donde el material superficial utilizado como absorción en el cielorraso es la madera perforada con cámara de aire, se evidencia una atenuación más importante cuando el apantallamiento es mayor, alcanzando los valores más altos, alrededor de 10 dB, correspondiente al apantallamiento de la baranda tipo B7 con 2 m de ancho. La situación permite suponer que el mayor rendimiento del cielorraso absorbente se logra cuando se complementa con el apantallamiento. Asimismo se evidencia que la absorción del cielorraso con madera con cámara de aire proporciona también un incremento importante en la atenuación para todas las situaciones analizadas.

### 3. CONCLUSIONES

En este estudio se realizó un análisis comparativo, de diferentes conformaciones y tipos de cierre de balcones, a los efectos de verificar la atenuación del ruido producido por el tránsito sobre el plano de las fachadas de los edificios. Se confirmó, siguiendo la línea de otros trabajos anteriores, que la absorción de los materiales superficiales de cielorraso, el ancho del balcón y el apantallamiento de la baranda tienen una influencia importante en el nivel de ruido incidente sobre el plano de fachada.

Las características constructivas y los diferentes diseños de las barandas como sistema de protección pueden relacionarse con su comportamiento como barrera acústica, contribuyendo a disminuir el ruido producido por el tránsito, actuando de este modo como control de ruido.

Se verifica que el desarrollo de fachadas que incorporan balcones, diseñados a partir de la elección conveniente de la forma y los materiales, serán un elemento que aporte a la calidad y confort acústico de los edificios en nuestras ciudades.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Monteiro da Silva S. & Guedes de Almeida M. Thermal and acoustic comfort in buildings. *Internoise 2010*. Lisboa, junio (2010).
- [2] Simón F., Rodríguez R.M. & Pfretzschner J. Difracción acústica por fachadas escalonadas y su aplicación a la arquitectura modernista: una aproximación de su protección acústica. *TecniAcústica* (1999).
- [3] Maristany A., Abadía L., Agosto M. & Carrizo L. Influencia de la conformación de la fachada en la atenuación del ruido. VIII Congreso Iberoamericano de Acústica. Evora- Portugal (2012).
- [4] Hothersall D.C., Horoshenkov K.V. & Mercy S.E. Numerical modelling of the sound field near a tall building with balconies near a road, *Journal of Sound and Vibration* 198(4),507–15 (1996).
- [5] Li K.M., Lui W.K., Lau K.K. & Chan K.S. A simple formula for evaluating the acoustic effect of balconies in protecting dwellings against road traffic noise. *Applied Acoustics* 64, 633–653 (2003).
- [6] Hossam El-Dien H. & Woloszyn P. Prediction of the sound field into high-rise building facades due to its balcony ceiling form, *Applied Acoustics*, 65, 431-440 (2004).
- [7] Busa L. & Secchi S. Effect of Facade Shape for the Acoustic Protection of Buildings. *International Congress on Acoustics*. Madrid, 2-7 September (2007)
- [8] Farina A. & Brero G. Computer code based on experimental results for acoustical mapping of urban areas. *Proceedings of Noise & Planning*, Pisa (1996).
- [9] UNE-EN 12354-3 2000. Acústica de la Edificación. Estimación de las Características Acústicas de las Edificaciones a partir de las Características de sus Elementos. Parte 3 – Aislamiento Acústico a Ruido Aéreo contra Ruido del Exterior.