

EJE 1. CONSTRUCCIÓN PARA UN HÁBITAT SUSTENTABLE
2.4.CONSTRUCCION HOY, EVALUACIONES CRÍTICAS EN EL MARCO DEL
HABITAT SUSTENTABLE

CONTROL DEL RUIDO EN FACHADAS COMO APORTE A LA
SUSTENTABILIDAD ACÚSTICA

Arturo Maristany,Leandra Abadía,Miriam Agosto,Lorena Carrizo Miranda

Centro de Investigaciones Acústicas y Luminotécnicas (CIAL), Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina, TE +543514333037 – amaristany@unc.edu.ar

Palabras clave: RUIDO URBANO, AISLAMIENTO, FACHADAS

RESUMEN

Los problemas ambientales de las grandes áreas metropolitanas, aquejan a miles de personas, deteriorando las condiciones de salud de las mismas y la habitabilidad de los edificios. En las últimas décadas, las ciudades han sufrido de manera intensiva serios problemas, entre ellos el de la contaminación por ruido. La concentración de actividades en algunos sectores de la ciudad, y en consecuencia la densificación poblacional, así como la falta de políticas adecuadas en los sistemas de transporte implementados y su uso indiscriminado, son las causas fundamentales de la problemática del ruido en las ciudades. La ciudad de Córdoba, como segundo conglomerado urbano del país, no escapa a esta problemática planteada. Se agregan a los factores anteriormente descritos, la falta de políticas inmobiliarias que prevean un crecimiento edilicio adecuado y limitado para cada una de las áreas y las nuevas formas de apropiación del espacio urbano, así como la falta de una legislación adecuada que contemple las soluciones tecnológico-constructivas que deben darse en cada caso a la resolución de las envolventes.

Todo esto se traduce en falta de confort acústico interior en los espacios destinados al desarrollo de las actividades humanas. Este concepto de confort en la arquitectura está directamente relacionado con la envolvente, la que puede controlar los distintos agentes ambientales vinculando y aislando el exterior con los espacios interiores. Surge así la necesidad de relevar y analizar forma y conformación de estas fachadas desde un estudio tipológico-constructivo para comparar estas soluciones empleadas con lo que la normativa nacional e internacional recomienda o sugiere.

La resolución acústica de las envolventes adolece muchas veces de la evaluación y del estudio previo necesario en función del destino para el cual están construidas y para la situación específica de ruido. En esta ponencia se presenta un diagnóstico de la situación en el área central de la Ciudad de Córdoba, buscando interrelacionar, la situación de ruido relevada en la ciudad, las tipologías usuales constructivas de fachadas desde su forma y/o conformación, las recomendaciones normativas y los estándares de confort acústico interior.

1. INTRODUCCION

El arquitecto como diseñador de espacios destinados a la vida del hombre, debe asegurar que el edificio ofrezca condiciones de vida confortables para sus ocupantes permitiendo el desarrollo normal y pleno de las actividades que alberga. Es fundamental estudiar al máximo el diseño del edificio, a fin de llegar al más alto nivel de confort que se pueda conseguir por medio del diseño de soluciones sustentables.

Es necesario comprender que se debe pensar en una nueva arquitectura en donde todas las variables energéticas sean evaluadas y consideradas al momento de diseñar un edificio en una interacción total y así obtener desde la tecnología la mejor respuesta en relación con su medio construido y habitado.

Investigaciones anteriores hacen referencia al estudio de la envolvente urbana, la calidad ambiental, y como impactan los límites urbanos en el confort acústico y térmico de la ciudad de Córdoba. En las mismas se analizaron aspectos Normativos, se obtuvieron resultados según la conformación y geometría de balcones y su incidencia en el aislamiento acústico global. Las primeras conclusiones obtenidas, en etapas anteriores del proyecto de investigación (Maristany et al., 2012), (Maristany et al., 2014), comparadas con las Normativa EN-12543-3, permitieron verificar la importancia de la conformación de la fachada y la terminación superficial de los planos límites. También se detectaron áreas problemáticas, vías características productoras de ruido, tipo de tránsito de las mismas según usos y conformación tipológica de los canales y sus jerarquías. Las primeras conclusiones obtenidas, comparadas con las Normativa EN-12543-3, permiten verificar la importancia de la conformación de la fachada y la terminación superficial de los planos límite ya que modifican sustancialmente el campo sonoro que llega a la fachada y por lo tanto se logra una atenuación entre 1 y 5 dBA valores previstos dentro de la norma antes mencionada

Investigaciones internacionales abordan el tema del aislamiento acústico de las fachadas o la envolvente edilicia en general estudiando el problema específicamente desde dos puntos de vista complementarios: el aislamiento acústico propiamente dicho del elemento constructivo de cierre y la conformación de los edificios que afectan la propagación del ruido (Simon et al, 1999), (Hossam et al, 2004). Asimismo se analizaron aspectos constructivos según la legislación española de las prestaciones que deben cumplir las ventanas como elemento fundamental en las envolventes, analizando las protecciones que ofrecen dichos aventanamientos contra el ruido de tráfico (Díaz Sanchidrian et al., 2008).

De esta manera, el aporte de aislamiento por forma favorece el comportamiento de particiones cuyas características de conformación a nivel constructivo también serán evaluadas en esta investigación considerando las tipologías constructivas características de la ciudad de Córdoba. Finalmente el estudio de la Normativa existente posibilitará definir cuáles son los requerimientos o exigencias y compararlos con los criterios de confort que las mismas normas establecen con el fin de formular recomendaciones y aportar a la optimización y mejor respuesta frente al ruido externo de la envolvente en su globalidad.

2. OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objetivo analizar las características y el comportamiento acústico de las tipologías usuales constructivas de fachadas en relación a su conformación; verificar el aporte de aislamiento debido a la forma de la envolvente; considerar las características del aislamiento discontinuo de las fachadas evaluando su comportamiento según relaciones de superficies puestas en juego. Elaborar un diagnóstico de la situación de ruido en la ciudad de Córdoba. Profundizar el estudio de la Normativa tanto local como internacional y elaborar conclusiones orientadas a futuras recomendaciones para el caso Córdoba.

3. AISLAMIENTO ACUSTICO Y CONFORT INTERIOR

3.1. Ruido ambiente en el Área Central de la Ciudad de Córdoba

En los principales corredores viales de alto tránsito del área central de la ciudad de Córdoba se analizó el comportamiento acústico en función del flujo de tránsito vehicular y de la mixtura de fuentes sonoras existentes. Las arterias, seleccionadas para el análisis, han sido estudiadas previamente y son detectadas como aquellas vías con importantes niveles de ruido debido a la sumatoria de actividades y usos que se asocian a las mismas, donde prevalecen principalmente los ruidos provenientes de fuentes vehiculares y las derivadas de la actividad comercial, recreativa y de la construcción. Estas vías son, según se referencia en la figura 1: (1) Av. Leopoldo Lugones; (2) Av. Hipólito Irigoyen; (3) Av. Chacabuco; (4) Corredor Av. Illia y Bv. San Juan, (5) Corredor Arturo M. Bas-Figueroa Alcorta (La Cañada) y (6) Calle 27 de Abril. Se incorporan imágenes que ilustran la características urbano –ambientales de cada corredor.



Figura 1 - Principales arterias de la ciudad de Córdoba

Se realizaron mediciones de niveles de ruido en diferentes ubicaciones y horarios a los efectos de caracterizar el ruido existente en las principales vías de circulación. Sobre los

valores medidos en cada una de las arterias se obtuvo un valor promedio que varía de los 70,6 dBA a 70,8dBA con picos de 74,8 dBA. Los resultados de las mediciones se muestran en la Figura 2.

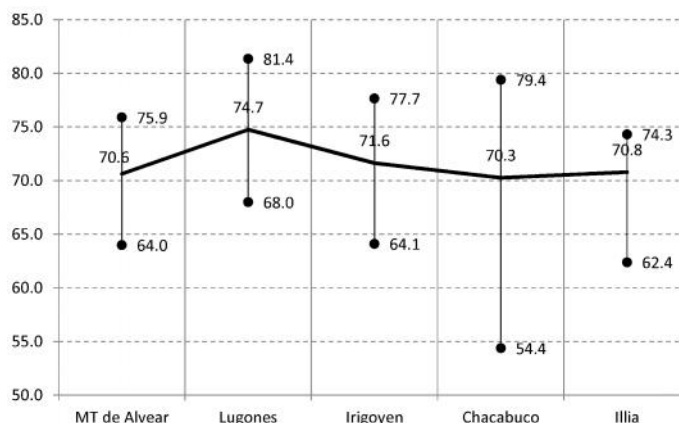


Figura 2 - Niveles de ruido de las principales arterias de la ciudad de Córdoba

3.2. Criterios de calidad acústica interior y aislamiento

Los criterios de calidad acústica interior se basan en disponer de valores límites de ruido de fondo para poder desarrollar las actividades en el interior de los espacios a los efectos de garantizar la existencia de confort acústico. El confort acústico en el interior de un recinto significa básicamente que el campo sonoro existente no generará ninguna molestia a los habitantes. En la tabla 1 se indican niveles sonoros continuos equivalentes que se recomiendan no superar de acuerdo al destino de los locales.

Tabla 1 - Ruido aéreo que se recomienda no superar en los locales. (CTE-HR)

Tipo de edificio	Local	LAeq (dBA)
Residencial (público y privado)	Zonas de estancias	45
	Dormitorios	40
	Servicios	50
	Zonas comunes	50
Administrativo y de oficinas	Despacho profesional	40
	Oficinas	45
	Zonas comunes	50
Sanitario	Zonas de estancia	45
	Dormitorios	30
	Zonas comunes	50
Docente	Aulas	40
	Salas de lectura	35
	Zonas comunes	50

Alcanzar estos niveles de confort, en función del ruido exterior, depende y define el aislamiento necesario de la fachada. El aislamiento acústico de un recinto se determina mediante el aislamiento de cada uno de sus cerramientos dependiendo del nivel de ruido existente en el exterior y del nivel de ruido máximo admisible en función de la actividad a desarrollar en el interior de dicho recinto. La EN 12354-3(UNE-EN, 2000), referida a acústica en la edificación, realiza una estimación de las características acústicas de las

edificaciones a partir de la evaluación de los elementos componentes. La parte tercera, se refiere específicamente a las magnitudes relevantes, índices de reducción acústica aparente y finalmente la metodología de cálculo adecuada para una fachada. Los elementos constructivos son caracterizados mediante el índice de reducción acústica (R) por bandas de frecuencias, a partir de estos valores se puede obtener un índice global (R_w), de acuerdo a la ISO 717-1, y que caracteriza acústicamente el componente con un valor único. Mientras que para el conjunto de la fachada el parámetro que caracteriza su aislamiento es la diferencia de nivel global estandarizada ($D_{2m,nT}$). Este parámetro representa la diferencia de nivel de presión sonora del exterior a 2 metros de la fachada y el nivel de presión sonora en el interior del local receptor, relativa a un valor de referencia del tiempo de reverberación (1).

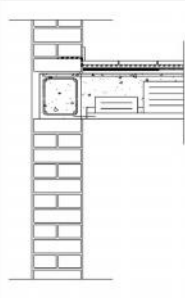
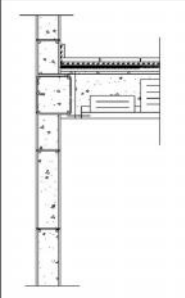
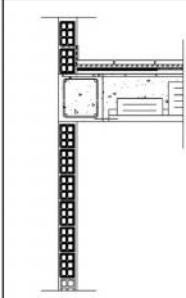
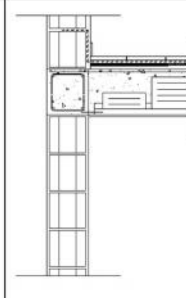
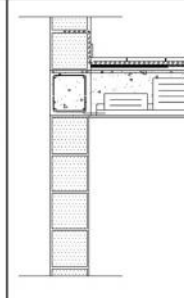
$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} + L_2 + 10 \log \frac{T}{T_o} \quad (1)$$

4. CERRAMIENTOS USUALES DE FACHADAS Y AISLAMIENTO ACUSTICO

4.1. Tipos usuales cerramiento opaco y vidriado

Entre los materiales más utilizados en la construcción de edificios de la Ciudad de Córdoba se encuentran el ladrillo común cocido, el ladrillo cerámico hueco, cuya producción es de tipo industrializada, el bloque de cemento u hormigón que no requiere de cocción, el muro de hormigón y el ladrillo de hormigón celular, tipo Retak®, que consiste en una mezcla de aglomerantes, áridos finamente molidos y agua. En la tabla 2 se muestran los valores de índice de reducción acústica global (R_w) de cada tipo.

Tabla 2 - Índice de reducción acústica de diferentes tipos de cerramientos

Tipo de cerramiento	Ladrillo común (30 cm)	Hormigón (12 cm)	Ladrillo cerámico (8 x 20 x 40)	Bloque de hormigón (20 cm)	Ladrillo Hº celular (15 cm)
RW (dB)	55	51	44	50	42
					

La parte vidriada de los cerramientos se resuelve básicamente mediante vidrios simples, laminados o DVH. La tabla 3, tomada de la UNE-EN 12354-3, indica índices de reducción acústica (R_w) para vidriados tomados como referencia.

Tabla 3 – Índice de reducción acústica (R_w) de vidrio

vidrios simples (mm)								
3	4	5	6	8	10	12		
28 dB	29 dB	30 dB	31 dB	32 dB	33 dB	34 dB		
vidrios laminados + laminado plástico (mm)								
20	20	40						
32 dB	33 dB	34 dB						
Vidrios dobles con vidrios simples o laminados con cavidad de aire								
4-(6/16)-4	6-(6/16)-4	6-(6/16)-6	8-(6/16)-4	8-(6/16)-6	10-(6/16)-4	10-(6/16)-6	6-(6/16)-6	6-(6/16)-10
29 dB	32 dB	31 dB	33 dB	35 dB	35 dB	35 dB	33 dB	37 dB

4.2. Valores de aislamiento de fachadas recomendados según normativa

La Norma Argentina IRAM 4044 (IRAM, 2015) se refiere a la protección contra el ruido en edificios. Su objetivo es dar valores mínimos de aislamiento acústico de cerramientos verticales, horizontales y aberturas, tanto para los sonidos transmitidos por vía aérea como por vía sólida. La misma se aplica a envolventes de exteriores e interiores de edificios habitables.

En cualquier caso los valores obtenidos se deben contrastar con los valores establecidos en el anexo A. Se establecen valores de referencia de aislamiento global recomendado R_w para componentes y $D_{2m,nT}$ para fachadas (tabla 4), con dos escalas de exigencia.

Tabla 4 - Aislamiento acústico al ruido aéreo mínimo recomendado para fachadas (IRAM 4044)

	ESCALA I	ESCALA II
FACHADAS	$D_{2m,nT,w}$ (dB)	$D_{2m,nT,w}$ (dB)
Cerramiento opaco	53	59
Cerramiento vidriado (hasta 20% del cerramiento opaco)	36	42

Se analizan los valores recomendados en la normativa argentina en comparación con los establecidos en otras reglamentaciones internacionales, tomado solo los apartados donde se hace referencia al nivel de aislamiento recomendado por las mismas.

El documento básico español CTE DB-HR (2008) de protección frente al ruido, establece valores de aislamiento acústico al ruido aéreo para recintos protegidos y con el exterior. Dichos valores se establecen en función del uso o actividad y de los niveles de ruido exterior L_d (índice de ruido día), tabla 5. El documento indica que de no disponer de los datos del índice L_d , se pueden considerar los valores correspondientes a 60 dBA para tipologías de uso residencial.

Tabla 5 - Aislamiento acústico a ruido aéreo en función del ruido exterior (CTE DB-HR)

Ld (dBA)	Uso del edificio	
	Residencial y sanitario	
	Dormitorios	Estancias
Ld 60	30	30
60 Ld 65	32	30
65 Ld 70	37	32
70 Ld 75	42	37
Ld 75	47	42

La Norma Brasileira NBR 15575-4(ABNT, 2013), determina métodos de valoración de aislamiento acústico al ruido aéreo y valores mínimos de aislamiento para viviendas de acuerdo a la localización, indicando valores de aislamiento acústico en función de la lejanía o cercanía a fuentes productoras de ruido, tabla 6.

Tabla 6 - Aislamiento acústico de viviendas en función de la localización (ABNT NBR 15575-4)

Clase de ruido	Localización de la vivienda	D _{2m,nT,w} [dB]
I	Vivienda ubicada lejos de fuentes de ruido intenso	20
II	Vivienda ubicada en zonas sometidas a situaciones de ruido que no están cubiertas por la clase I Y II	25
III	Viviendas ubicadas en cercanías a las fuentes productoras de ruido	30

4.3. Aportes de la forma al aislamiento global

La transmisión del sonido de cada elemento de la fachada es independiente de los otros, por lo tanto es posible analizar de forma separada el aporte que puede producir la forma del plano de fachada en la atenuación global de la envolvente. De acuerdo a la EN 12354-3 la diferencia de nivel normalizada $D_{2m,nT}(1)$, depende no solo del índice de reducción sonoro del cerramiento (R') sino también del volumen y TR del local receptor y de la forma de la fachada ΔL_{fs} , donde R' es el índice de reducción sonoro de la fachada (dB) V es el volumen del local receptor (m^3), T_o es el tiempo de reverberación de referencia (0,5 s), S es el área total de la fachada desde el interior en m^2 y ΔL_{fs} es la diferencia de nivel debida a la forma de la fachada (dB).

$$D_{2m,nT} = R' + \Delta L_{fs} + 10 \log \frac{V}{6T_o S} \quad (2)$$

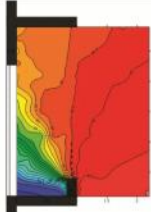


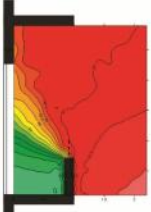

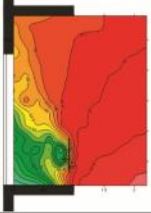

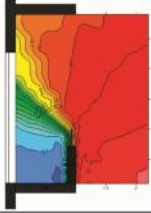
La diferencia de nivel debida a la forma de la fachada ΔL_{fs} (dB) se puede calcular de acuerdo a la expresión (3), donde $L_{1,in}$ es el nivel de presión acústica medio en el plano de la fachada sin estar presente la fachada y $L_{1,s}$ es el nivel de presión acústica medio sobre la superficie exterior del plano de fachada real.

$$\Delta L_{fs} = L_{1,in} - L_{1,s} + 6 \quad (dB) \quad (3)$$

En una primera etapa del trabajo (Maristany et al., 2014) se realizaron simulaciones de propagación de ruido en un canal urbano tipo, calculando los niveles $L_{1,in}$ y $L_{1,s}$. Se realizó un relevamiento sistemático de balcones de edificios ubicados en las principales avenidas del área central de la ciudad de Córdoba, a partir del cual se definieron conformaciones de balcones usuales en los edificios relevados. Para este conjunto de alternativas de balcones se realizaron simulaciones destinadas a evaluar el nivel de atenuación en dB que el balcón podía producir sobre el plano de fachada. Para la evaluación del incremento del aislamiento se simuló diversas conformaciones de balcón características con anchos de 1 y 2 m, y con cuatro características superficiales de cielorraso (revoque, madera con cámara de aire, placa de roca-yeso y placa de madera perforada). El cálculo del nivel de ruido incidente sobre el plano de fachada se realizó por medio de la aplicación del software de simulación DISIAPYR® (Farina y Brero, 1996) basado en la técnica del trazado de rayos, programa de simulación acústica

que se utiliza para modelar el entorno de propagación del sonido. En la tabla 7 se muestran los niveles de atenuación para cuatro tipos básicos de forma de balcones, en los dos anchos característicos y 4 tipos de cielorrasos.

Tabla 7 - ΔL_{fs} - Atenuación global en dB de diferentes conformaciones de balcón

Balcón tipo		Ancho del balcón	ΔL_{fs} - Atenuación global en dB			
			Material del cielorraso			
			revoque	madera	Roca- veso	Placa perforada
 Tipo 1 Baranda de mampostería 0,30 m con pasamano de rejilla		1 metro	2,4	2,5	2,5	2,7
		2 metros	5,0	5,2	5,1	6,0
 Tipo 2 Baranda de mampostería 0,70 m con pasamano de rejilla		1 metro	2,7	2,9	2,8	3,3
		2 metros	5,8	6,3	6,0	7,8
 Tipo 3 Baranda de vidrio o chapa separada de la losa y con pasamanos de acero		1 metro	1,5	1,6	1,5	1,8
		2 metros	4,2	4,5	4,3	5,3
 Tipo 4 Baranda de mampostería y/o vidrio		1 metro	5,0	5,3	5,1	6,0
		2 metros	6,4	7,1	6,6	9,0

5. ANALISIS Y CONCLUSIONES

De la comparación de los niveles de ruido medidos en el área central de la ciudad (en el rango de los 70 a 75 dB) con los valores de referencia para confort acústico podemos deducir que una diferencia de nivel global estandarizada ($D_{2m,nT}$) de 35 a 40 dBA será suficiente para que el interior de los locales se cumpla las condiciones de confort.

Según la IRAM 4044 una fachada vidriada, como es el caso de la totalidad de las fachadas, y considerando la Escala 1, el componente opaco deberá tener un $D_{2m,nT} = 53$ dB y el componente vidriado hasta el 20% un $D_{2m,nT} = 36$ dB. Ponderando estos valores se puede deducir que el aislamiento global de una fachada con 20% de su superficie vidriada

debería tener un $D_{2m,nT} = 43$ dB, valor muy superior al que las condiciones de confort mínimo indican. En este sentido es importante destacar que la norma de Brasil toma un $D_{2m,nT} = 30$ dB para la peor condición de ruido y que el documento básico de protección frente al ruido español indica, en caso de considerar un $L_d = 60$ dB valores de $D_{2m,nT}$ en el rango de los 30 a 35 dB. El valor mínimo deducido de la IRAM 4044 solo sería equiparable en las recomendaciones españolas para un nivel L_d superior a los 75 dBA. Integralmente es importante analizar también la influencia del porcentaje de superficie vidriada en el aislamiento global, y la forma de la fachada como complemento de la atenuación del ruido.

La relación superficie opaca / superficie vidriada se analiza mediante los mecanismos clásicos de ponderación en función del porcentaje de superficie afectada con el menor aislamiento, en este caso vidrio. En las gráficas de la figura 3 se presentan diferentes curvas de caída del aislamiento en función del porcentaje que ocupa el vidriado. Se consideraron los rangos de aislamiento de la parte opaca de 40 a 45 dB y de 50 a 55 dB, que cubren todas las posibilidades de muros relevados. Las curvas de línea llena representan la pérdida de aislamiento para dos tipos de vidriado usuales (6 mm y DVH). Se observa que con el vidrio de 6 mm para cualquiera de los casos se cumple el mínimo de $D_{2m,nT} = 35$ dB en un máximo de 10%, mientras que si se utiliza DVH este porcentaje sube a un 60%. Se observa también que para el rango de aislamiento de componente opaca entre 40 y 55 dB el aislamiento del vidriado es el determinante del aislamiento del conjunto.

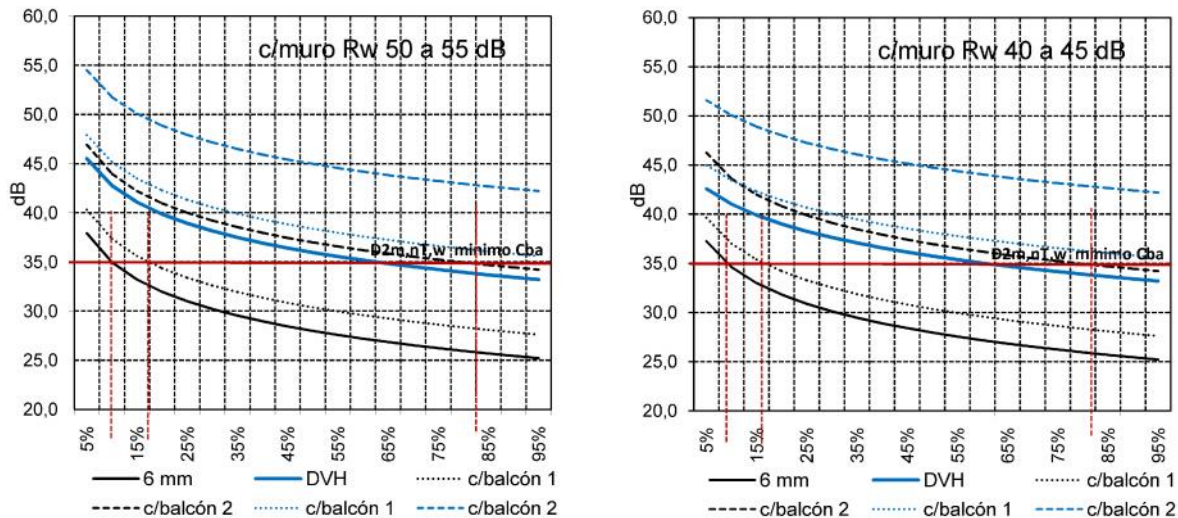


Figura 3—Análisis comparado de $D_{2m,nT}$, L_{fs} y % vidriado

Las líneas de trazo representan el incremento de aislamiento potencial producido por los balcones. Se han tomado dos casos característicos: balcón 1 –con ancho de 1 metro y cielorraso revocado y balcón 2 – con ancho de 2 metros y cielorraso absorbente. En el primer caso se observa que al menos con la mínima atenuación del balcón se logra entre un 5% y un 10% adicional de superficie vidriada. Mientras que con el balcón tipo 2 se puede superar el 70% de superficie vidriada y aun así se cumple con los 35 dB tomados como referencia de aislamiento mínimo.

Si bien la IRAM 4044 fija valores de referencia de aislamiento mínimo de fachadas, se observa que los mismos establecen un estándar alto de aislamiento, independiente de la condición de ruido exterior. Es necesario por lo tanto definir criterios específicos para las condiciones de ruido ambiental correspondientes a un sector, área o ciudad, similar a los utilizados en las otras legislaciones analizadas. También será necesario considerar la forma de la fachada como un elemento complementario en la atenuación global de ruido. Este aspecto reviste especial importancia cuando se debe considerar la necesidad de ventilación natural y la forma de la fachada cumple el rol de apantallamiento acústico.

A modo de conclusión y como recomendación general, surge como evidencia de este análisis la importancia que adquiere el diseño integral de la fachada, verificando que tanto la materialidad en términos de componentes constructivos como el diseño formal, la incorporación de balcones y su adecuada terminación superficial colaboran para controlar el ruido en los espacios interiores garantizando condiciones adecuadas de confort y habitabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnica, (2013) NBR 15575-4 Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE

AENOR, (2000). 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.

Diaz Sanchidrián, C., Pedrero González, A., Navacerrada Saturio, M.A. (2008). Los huecos de las fachadas de los recintos y su protección frente al ruido exterior. VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008. Buenos Aires.

Farina, A., Brero, G. (1996). Computer code based on experimental results for acoustical mapping of urban areas. Proceedings of Noise & Planning, Pisa.

Hossam El-Dien, H.; Woloszyn, P. (2004). Prediction of the sound field into high-rise building facades due to its balcony ceiling form, Applied Acoustics, 65, 431-440.

Instituto Argentino de Normalización y Certificación IRAM. (2015). Acústica. Protección contra el ruido en edificios. Requisitos de aislamiento acústico mínimo. Método de medición y clasificación. Cerramientos y aberturas, verticales y horizontales.

Maristany A.R., Abadía L., Agosto M., Carrizo L., Chitarrini M. (2014) Optimización del Diseño Formal de Envoltentes para el Control del Ruido de Tránsito. IX Congreso Iberoamericano de Acústica, FIA2014. Valdivia, Chile.

Maristany, A.; Abadía, L.; Agosto, M.; Carrizo, L. (2012). Influencia de la conformación de la fachada en la atenuación del ruido. VIII Congreso Iberoamericano de Acústica. Evora-Portugal.

Ministerio de Vivienda de España. (2008). CTE DB-HR. Documento Básico HR de protección frente al ruido. <https://www.boe.es/boe/dias/2007/10/23/pdfs/A42992-43045.pdf>

Simón, F.; Rodríguez, R.M.; Pfretzschner, J. (1999). Difracción acústica por fachadas escalonadas y su aplicación a la arquitectura modernista: una aproximación de su protección acústica. *TecniAcústica*.