

la semana del SONIDO



ROSARIO 2015

Rosario, Argentina, 22 al 26 de junio de 2015

Ingeniería Acústica y en Control de Ruidos. El aporte de la ingeniería en una temática interdisciplinar

Ernesto Accolti
Instituto de Automática
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan
E-mail: eaccolti@inaut.unsj.edu.ar

Laboratorio de Acústica y Electroacústica
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agr., Universidad Nacional de Rosario

Instituto Superior de Música
Facultad de Humanidades y Ciencias, Universidad Nacional del Litoral

Resumen: La acústica y el control de ruidos son dos temas fuertemente interdisciplinarios. La acústica se relaciona con una buena calidad de las experiencias sonoras y el control de ruidos con evitar las interferencias negativas que pueden generar ciertos sonidos. Se describen los aportes que puede hacer la ingeniería en este tema, teniendo en cuenta otras disciplinas, y profundizando en las áreas que el autor ha tenido mayor experiencia cómo son la del control de ruido industrial y medioambiental, la protección acústica de edificios, la acústica arquitectónica y la electroacústica.

1 Ramas de la acústica

La acústica y el control de ruidos son dos temas que se relacionan entre sí y además se relacionan con otro gran número de disciplinas. Incluso sus subramas están relacionadas entre sí.

La figura 1 muestra las relaciones, propuestas por Lindsay, de la acústica con las cuatro grandes áreas que representan la ingeniería, las ciencias de la tierra, las ciencias de la salud y el arte. En el centro está la acústica cómo una rama de la física que estudia el fenómeno sonoro, en particular la propagación sonora. Esta figura no muestra las relaciones de las subramas entre sí.

En relación a las ciencias de la tierra, según el medio en el que se propaga la onda sonora, se encuentra la subrama de acústica subacuática (medios acuáticos), la subrama de ondas sísmicas (medios terrestres) y sonido en la atmósfera (medio aire). La primera

tiene aplicaciones en la oceanografía y las dos siguientes en la física de la tierra y la atmósfera.

En cuanto a las ciencias de la salud la acústica tiene interesantes aplicaciones en medicina, mediante la subrama denominada bioacústica, por ejemplo mediante terapias e imágenes por ultrasonido. La bioacústica es un poco más amplia y también tiene una fuerte relación (que no se ve en la figura) con la acústica subacuática e interesantes aplicaciones en oceanografía cómo la estimación de biomasa. La subrama de la audición, y también la bioacústica, están relacionadas con la fisiología. La fisiología por sí sola no explica la totalidad de los fenómenos relacionados con la audición sino que una parte está relacionada con la psicología y las neurociencias que no están incluidas en la rueda original de la acústica. A su vez el habla está muy relacionada con la psicoacústica, una subrama de la psicofísica. Un ejemplo de esa relación, que es interesante comentar, es que la percepción de ciertas características¹ de los sonidos se hace más notoria cuando el ritmo es similar al de las sílabas de las palabras habladas, por más que sea el ritmo de un ruido u otro tipo de sonido.



Figura 1. Rueda de Lindsay de la Acústica (Adaptado de Lindsay, 1964)

¹ Un parámetro psicoacústico denominado Fuerza de fluctuación (Fastl y Zwicker, 2007)

Dentro de las artes Lindsay ubica parte del habla, la música y las artes visuales. Respecto al habla, además de la ya mencionada relación, se podría incluir la subrama de la comunicación, relacionada también con la psicoacústica. La música se nutre también de esta subrama y de la subrama de la organología que estudia los instrumentos musicales desde diversas disciplinas. Luego en las artes visuales, relacionada con la música y la arquitectura, ubicó la acústica de salas y teatros que bien puede incluir cines, radios y otros tipos de salas.

Dentro de la ingeniería, que es el tema que nos convoca en esta oportunidad, se puede incluir la arquitectura pensando en el papel de las ingenierías en la construcción. La sección 3 se refiere a la acústica arquitectónica. También el ruido y las vibraciones, cómo una subrama de la acústica, pueden ser y deben ser tenidos en cuenta desde el momento de diseñar la construcción del hábitat humano. Sobre este tema se amplía en la sección 2. Podríamos incluso mencionar el urbanismo en esta área y agregar en esa zona la subrama de paisaje sonoro que es bastante cercana a la del ruido y las vibraciones (Accolti, 2014). Esta subrama de las vibraciones y el ruido, también cómo fenómeno ondulatorio incluyendo la vibroacústica, tiene una importante relación con la mecánica. Dentro de la electrónica también hay una parte mecánica relacionada con la vibroacústica y la radiación sonora y si se debe a transductores acústicos se tiene la subrama de la electroacústica. La electroacústica incluye también la transducción inversa, es decir, la señal acústica transformada en una señal eléctrica mediante un micrófono. A su vez si esta transducción, en ambos sentidos, se da en frecuencias superiores a las que el ser humano puede escuchar se trata de aplicaciones de la subrama del ultrasonido. El ultrasonido es más amplio y también está presente en estudios de bioacústica por ejemplo en cuanto a las señales ultrasónicas que emiten y son capaces de oír algunos animales.

2 Control de ruidos

El control de ruidos es un conjunto de técnicas para la reducción del ruido hasta niveles aceptables según algún **criterio**. Si bien las técnicas y los materiales de aislación de ruidos son importantes, el tema fundamental para el control de ruidos es el criterio. Es decir, la mejor solución de control de ruidos no necesariamente es la que más reduce el nivel sonoro sino la que mejor escoge el criterio y se adapta al mismo con la técnica adecuada.

En la tabla 1 se muestran algunos criterios que permiten fijar el objetivo de nivel sonoro. El criterio puede ser más amplio e incluir otros temas cómo ser temas de funcionalidad, de ventilación, de acceso y de estética entre otros. En la tabla 1 se ha separado en 3 grandes temas generales que son (1) la salud en el trabajo, (2) bienestar social y (3) la calidad acústica. Existen otros temas cómo el ruido en lugares de esparcimiento y tiempo libre o la productividad en determinado tipo de trabajo que tienen también sus criterios.

Tabla 1. Algunos criterios sobre control de ruidos

<i>Tema general</i>	<i>Criterio</i>
Salud en el trabajo	Ley de higiene y seguridad en el trabajo Políticas internas de higiene y seguridad
Bienestar social (ruidos molestos)	Normativa Nacional Normativa Provincial Normativa Municipal
Calidad acústica	Criterios estandarizados según tipo de sala

2.1 Criterios de nivel sonoro

Dentro de los temas de salud en el trabajo, el criterio principal en Argentina viene dado por la ley de higiene y seguridad en el trabajo y sus decretos reglamentarios (Ley 19587, Dec. 351/79, Res. MTSS 295/03, Res. SRT 85/12). Esta normativa fija un límite para 8 horas de 85 dBA de nivel sonoro continuo equivalente. Es decir, cómo el ruido normalmente varía durante la jornada laboral, se fija el límite para un ruido continuo que sea equivalente energéticamente al ruido variable que se mide. Este valor límite supone un riesgo mínimo, pero un riesgo al fin, para los trabajadores. Algunas empresas buscan ir más allá de lo establecido por la ley y sus decretos fijando límites más restrictivos, respondiendo a diversos criterios internos que pueden estar relacionados con disminuir el riesgo y mejorar la productividad.

Dentro del área del bienestar social no hay actualmente un criterio común y con fuerza de ley nacional. Existe un proyecto de ley nacional, de protección de la calidad acústica, que espera ser tratado en ambas cámaras e incluso obtuvo media sanción en diputados en el año 2010 (Cámara de Diputados, 2010). También existe una norma nacional, la norma IRAM 4062, que es adoptada de manera parcial (Dec. 5837, 1991) o total (Res MTESS 201, 2004) como instrumento de regulación en algunas provincias. En otros casos existen regulaciones provinciales o municipales (por ejemplo en Rosario el D.O 46542, 1972 o en la ciudad de Buenos Aires el decreto 740, 2007).

Dentro del área de la calidad acústica pueden ubicarse algunos casos particulares referidos al bienestar social, pero la división en temas de la tabla 1 es para tener una idea general, más allá de que algunas áreas se puedan solapar. Existen diversos criterios, dos de los cuales están normalizados (IRAM 4070, 2008). Estos criterios recomiendan valores límite para salas según su uso, por ejemplo para salas de concierto, teatros, residencias, oficinas, iglesias, bibliotecas y restaurants, entre otras.

A continuación se revisa un ejemplo en cada una de estas áreas aprovechando para introducir algunos conceptos básicos sobre cada tópico.

2.1.1 Ejemplo sobre criterio de salud en el trabajo

El siguiente ejemplo es un esquema muy similar a casos reales que suceden en plantas industriales. En la figura 2 se muestra un esquema de la línea de producción de un producto determinado. Por ejemplo podría darse que la línea se encuentra dentro de una gran nave industrial y se requiere hacer un cerramiento más pequeño para controlar otros temas distintos del ruido.

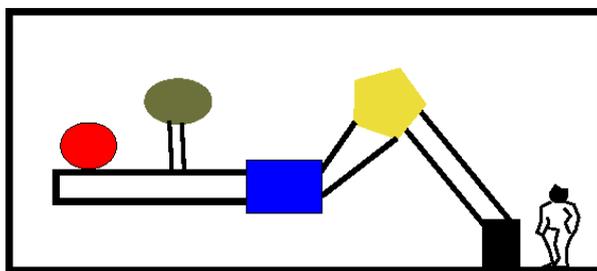


Figura 2. Esquema de una línea de producción con un operario y 5 fuentes de ruido (figuras geométricas rellenas)

Los operarios reciben, antes de proyectar el cerramiento, una dosis de ruido relativamente menor al límite estipulado por la reglamentación vigente (Ley 19587). La línea contiene múltiples fuentes de ruido y hay que tener en cuenta que no será el mismo ruido si se encienden de a una por una, lo cual dificulta saber cuánto emite cada fuente.

No será lo mismo porque para que el producto llegue a la fuente azul es necesario que la amarilla esté encendida y en general las fuentes de ruido se comportan distinto con el producto en la línea que si el mismo.

Los ingenieros de proyecto rápidamente suelen advertir que al reducir el volumen del recinto el nivel sonoro se incrementará y solicitan asistencia de especialistas en control de ruidos, idealmente, antes de implementar el cerramiento. Teniendo en cuenta el criterio, que es proteger al operario según la legislación vigente, se dividieron las tareas en las siguientes dos etapas

- 1- evaluar si el aumento de nivel sonoro, debido a la reducción del volumen del recinto, supera el criterio
- 2- en caso que 1 suceda, proponer una medida de mitigación adecuada

Por un lado es una regla básica en control de ruido no alterar el orden en el cuál se deben estudiar las medidas de mitigación. El orden es el siguiente,

- 1- en las fuentes
- 2- en el medio, es decir, entre la fuente y el receptor (sólo si 1 no es factible)
- 3- en el receptor (sólo si 1 y 2 no son factibles se protegerá al operario, o como medida transitoria entre tanto se implementa una solución del tipo 1 o 2)

Por otro lado la única forma de evaluar si el nuevo cerramiento haría que el nivel sonoro supere el criterio es conociendo las características de cada una de las fuentes de ruido y realizando un modelo que incluya al recinto proyectado y sus materiales.

Es decir, tanto para la primera etapa cómo para una eventual segunda etapa es necesario caracterizar las fuentes sonoras como primer paso. Estas fuentes se caracterizan por su potencia sonora y para poder determinar esa potencia son necesarias herramientas de ingeniería básicas cómo técnicas de metrología y herramientas de modelado y optimización matemática que permitan determinar la potencia de cada fuente a partir de mediciones con todas las fuentes encendidas.

En caso que las posibles medidas de mitigación en la fuente no fuesen suficientes, se pueden evaluar algunas medidas en el medio cómo cerramientos pequeños ajustados a las fuentes, cerramientos parciales, barreras o incluso revestimientos fonoabsorbentes del recinto. Cada una de estas medidas depende de múltiples factores cómo la cercanía de los operarios a las fuentes, las necesidades higiénicas, las necesidades de entrada y salida de productos y subproductos. Si ya se encuentran caracterizadas las fuentes, y se cuenta con el modelo matemático, solo es necesario modificar levemente el modelo para obtener una versión del modelo que incluya las medidas de mitigación y permita evaluar el rendimiento de esas alternativas desde el punto de vista acústico, es decir, si son suficientes para alcanzar el criterio.

Vale aclarar que el criterio vigente de la legislación de higiene y seguridad en el trabajo (Ley 19587) es solo un criterio y, si bien el límite es 5 dB más restrictivo desde el año 2003, supone aún un pequeño riesgo de sufrir hipoacusia de origen laboral. Es por esta razón que algunas empresas buscan alcanzar criterios más restrictivos que los exigidos por la legislación.

En este ejemplo se supuso un cambio de volumen del recinto industrial pero de la misma manera se podría trabajar el control de ruidos si se agrega una máquina que representa una nueva fuente de ruido, si se varía la posición de algunas máquinas o de los operarios. Además se pueden proyectar situaciones aún no existentes partiendo de la potencia sonora de las máquinas que se emplearán (varios fabricantes de diversos tipos de máquinas ofrecen el dato de potencia sonora o el de nivel sonoro en campo libre a una distancia conocida, este último sirve para estimar la potencia).

2.1.2 Ejemplo sobre criterio de ruidos molestos al vecindario

El siguiente ejemplo es similar a casos bastante comunes en la industria, en este caso en la del transporte y la distribución de energía eléctrica. Se tienen 6 transformadores de gran capacidad, según se muestra en la planta de la figura 3, dentro de cerramientos con sus respectivos silenciadores marcados con borde rojo. A continuación de los silenciadores sigue un pasillo, una medianera y luego un vecindario con vecinos en planta baja y primer piso según se observa en el corte de la figura 4.

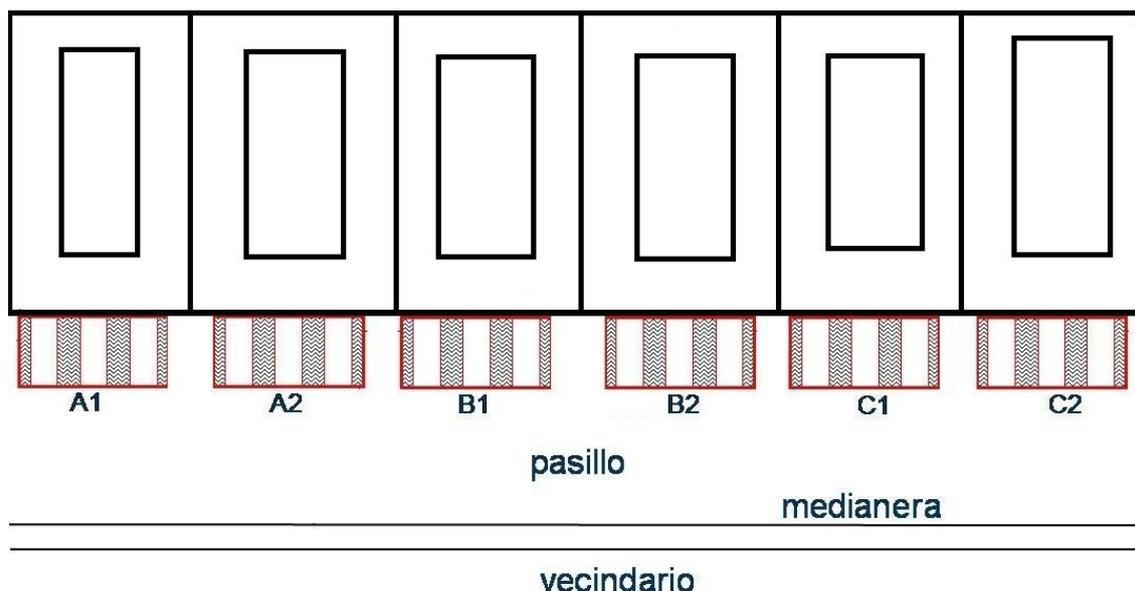


Figura 3. Esquema de planta de una situación de ruidos molestos al vecindario. Seis boxes con sus respectivos silenciadores, medianera y espacio del vecindario cercano.

Un ejemplo podría ser que ante la queja de algunos vecinos, se constata mediante mediciones que el ruido es elevado para la reglamentación vigente que, en ese caso particular, podría ser la norma IRAM 4062. Estas mediciones se toman en los puntos marcados como receptor en la figura 4.

En este caso en particular la solución al problema podría ser rediseñar los silenciadores a modo de que en los receptores de la planta baja y del primer piso no se supere el criterio, es decir, lo estipulado por la norma IRAM 4062. Otro ejemplo podría ser que inicialmente eran tres transformadores y se quiere saber si al duplicar la capacidad, agregando tres transformadores más, se superará el criterio. Es decir, son condiciones que no existen por lo tanto no se pueden medir y se hace necesario desarrollar un modelo.

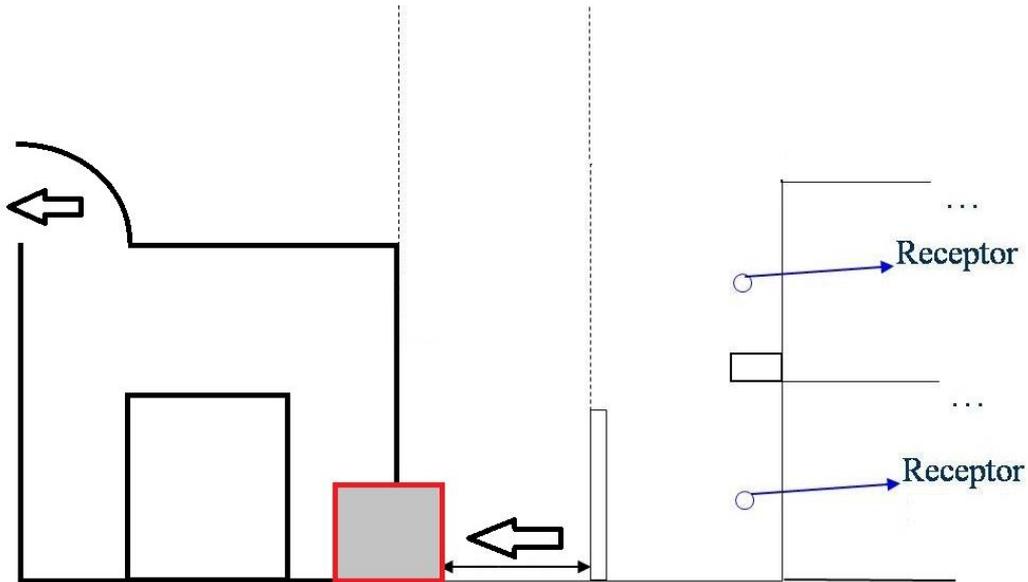


Figura 4. Esquema de corte de una situación de ruidos molestos al vecindario. Corte de uno de los boxes, medianera y receptores objetivo en el edificio vecino.

La figura 5 muestra un modelo de rayos que permite visualizar el sonido directo de cuáles de los seis transformadores (en este caso de los seis) y las reflexiones en cuáles superficies arriban al receptor del primer piso. Dado que el ruido es tonal habrá que modelar también las interferencias destructivas y constructivas que suceden para cada frecuencia de interés.

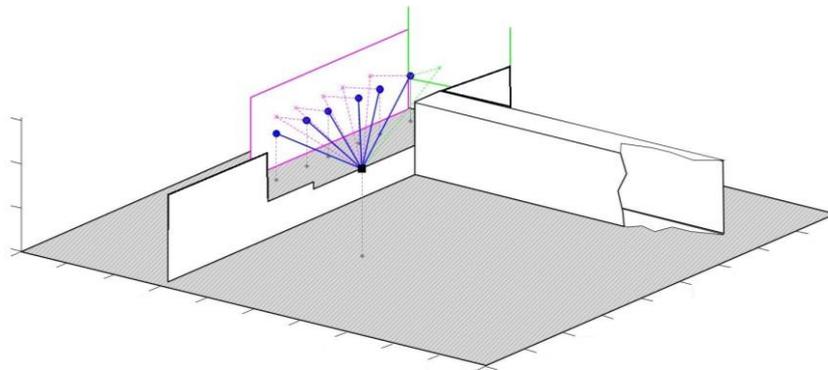


Figura 5. Esquema tridimensional de los datos cargados en el modelo computacional.

Finalmente el modelo se puede ajustar para tener en cuenta diversas soluciones. Por ejemplo soluciones que pueden involucrar el rediseño del silenciador, el cambio de algunos de los transformadores, de algunas de las superficies reflectantes, de algún muro o barrera y otras medidas de mitigación de ruido. Pero nuevamente para poder determinar el rendimiento de las soluciones es fundamental haber definido adecuadamente el criterio.

2.1.3 Ejemplo sobre criterio de calidad acústica

En el siguiente ejemplo vemos un criterio que aplica a la calidad acústica de salas, se trata de las curvas NC (por siglas de criterio de ruido en inglés: “noise criteria”). Este criterio ofrece un juego de curvas que establecen el nivel sonoro máximo por banda de frecuencia para distintos tipos de salas. Por ejemplo para salas de concierto una curva NC 15 es un excelente criterio de diseño (IRAM 4070:2008). Luego en obra puede tolerarse un criterio NC 20. Estos criterios dan un valor límite para cada banda de octava, siendo más permisivos en bajas frecuencias según se observa en la figura 6.

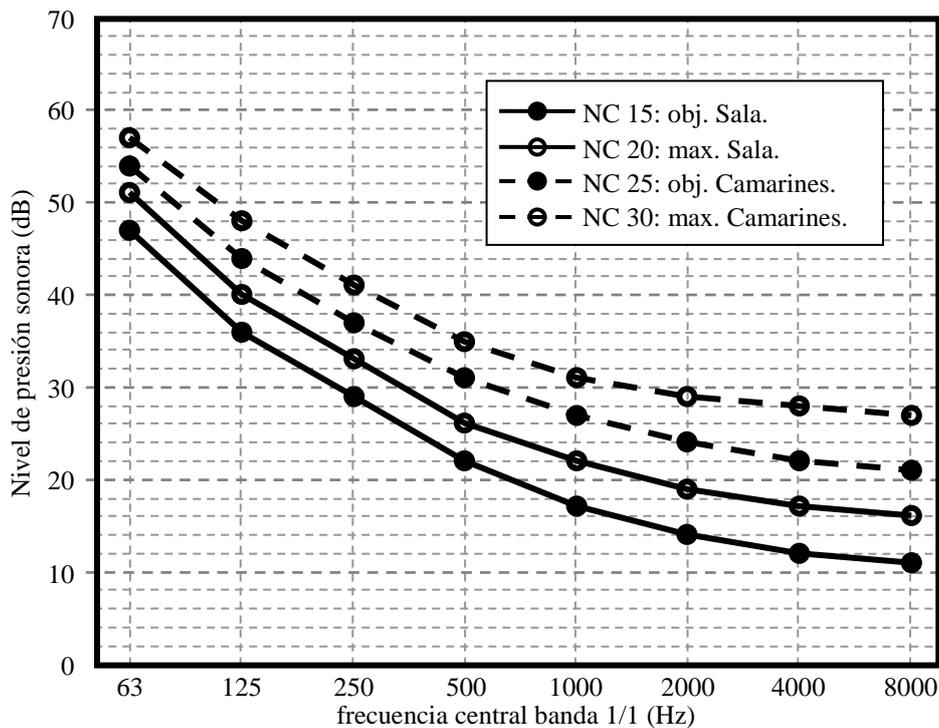


Figura 6. Niveles sonoros máximos por bandas de frecuencia de 1/1 octava según criterios NC 15 a NC 30.

Muchas salas de concierto y teatros de muy buen nivel fueron construidos sin ascensores o montacargas automáticos, quizás debido al gran costo o a los elevados niveles de ruido que representaban en su época. Algunas de esas salas además cuentan con una privilegiada acústica como por ejemplo el Auditorio Juan Victoria en la provincia de San Juan o el teatro el Círculo en Rosario, provincia de Santa Fe.

La figura 7 muestra un ejemplo de cómo realizar una evaluación de la factibilidad de instalar un montacargas sin que esto perjudique la calidad acústica de salas de concierto o teatro. Para poder estudiar si se cumple con el criterio, es necesario calcular el aporte por todos los caminos de propagación posible desde las fuentes de ruido, que en este caso corresponden a una sala de máquinas (en rojo) y la cabina del montacargas (en azul), hacia los receptores, que en este caso son la sala y un camarín.

En el camarín se puede utilizar otro criterio distinto al de la sala. Por ejemplo un NC 25 para el diseño y una tolerancia de NC 30 para la constatación in situ mediante mediciones. Los cálculos del aporte de cada camino de propagación corresponden a modelos de ingeniería que tienen en cuenta las características de cada fuente sonora y cómo es influida por los distintos caminos de propagación, no solo por las vías aéreas directas sino también por las laterales y estructurales (series UNE EN 12354, UNE EN 12354-1:2000).

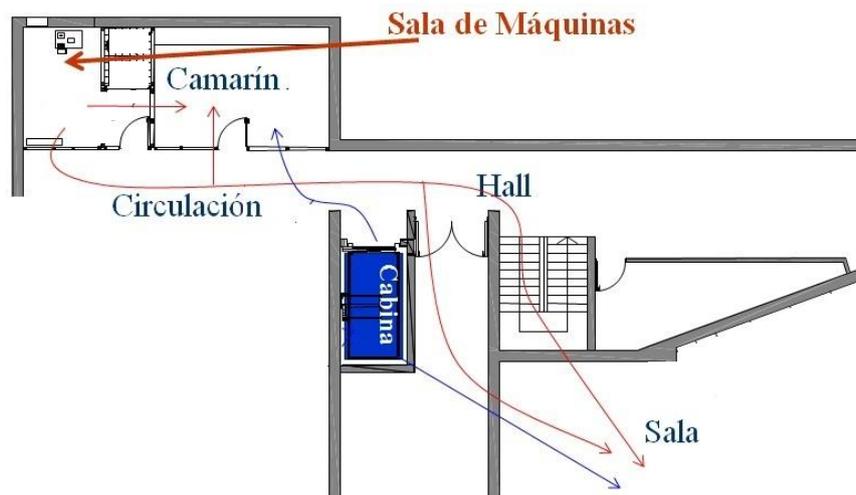


Figura 7. Esquema del detalle de sala de máquina, cabina de montacargas y sala de teatro mostrando caminos de propagación sonora.

2.2 Origen de los criterios

Los criterios se elaboran a partir de una buena cantidad de estudios sobre algún aspecto en particular del ruido. Por ejemplo en cuanto a la higiene y seguridad en el trabajo se utiliza la norma IRAM 4079:2006 para definir un criterio de riesgo y de esta manera poder las probabilidades de sufrir ese riesgo al recibir una determinada dosis de ruido. La norma IRAM 4079:2006 es una adaptación de la norma ISO 1999 que a su vez representa una síntesis de un gran número de estudios epidemiológicos.

Otros criterios, cómo los referidos a la molestia generada por ruido se pueden encontrar en de las normas IRAM de la serie 4113 y sus referencias. Por ejemplo se pueden citar los estudios de Miedema (Miedema y Vos, 1998) respecto a la molestia causada por ruidos de transporte en función del tipo de transporte y el nivel sonoro ponderado A estimado en el exterior. Actualmente se sigue investigando sobre efectos como la molestia causada por ruido, la interferencia del ruido en la memoria de trabajo y el rendimiento en actividades intelectuales, interferencia con las etapas del sueño y otros. Estos criterios dependen de múltiples factores que suelen ser aislados o tratados en grupos de factores ya sea en pruebas en laboratorio cómo pruebas in situ.

Muchas de las pruebas de laboratorio buscan representar situaciones cada vez más realistas y similares a la realidad. Un ejemplo de este tipo de estudios se puede ver en Accolti, 2015. En ese estudio se componen ruidos realistas y son presentados mediante altavoces a los participantes del experimento. En la figura 8 se puede ver el parlante que luego será tapado por una persiana evitando que los participantes lo vean.



Figura 8. Fotografía de parlante y configuración del ambiente usado para experimento sobre criterios de molestia del ruido en actividades de tiempo libre.

En la figura 9 la persiana está abajo y se puede observar que el parlante no puede ser visto por los participantes. Los participantes realizan tareas de tiempo libre tipo lectura y cada un tiempo determinado deben indicar de forma escrita cuanto les molestó el ruido.



Figura 9. Fotografía de participantes del experimento sobre criterios de molestia del ruido en actividades de tiempo libre.

Este trabajo en particular busca evaluar el efecto de las formas en que se distribuyen por un lado la energía sonora en función de la frecuencia y, por otro lado, la cantidad de eventos sonoros en función de su duración. Otros estudios utilizan configuraciones similares pero estudian la influencia de otros factores.

3 Acústica de salas

La acústica de salas también se puede definir cómo un conjunto de técnicas, pero en este caso para apoyar el diseño arquitectónico de modo que se optimice la calidad

acústica de la sala. La calidad acústica depende de la percepción y la única forma de evaluar con precisión la calidad es encuestando a los usuarios. Sin embargo no es posible encuestar a los usuarios cuando las salas no han sido construidas o cuando una modificación no ha sido implementada aún. Para poder proyectar las salas y las modificaciones es de gran utilidad contar con algunos estudios acumulados sobre calidad acústica y su relación con algunos parámetros acústicos de las salas. Se puede dividir este campo usando varios esquemas, que en ocasiones se solapan. Por ejemplo se puede dividir en las salas que involucran la música y las que involucran la palabra, las que involucran amplificación o refuerzo sonoro electroacústico y las que no incluyen amplificación electroacústica, salas de acústica fija y de acústica variable, etc.

3.1 Ejemplo para música sin amplificación

Por ejemplo, dentro de las salas para música sinfónica, o no amplificada, se realizó una evaluación de la acústica del Auditorio Juan Victoria de la Provincia de San Juan (Accolti, 2006). El techo de la sala está conformado por casetones en madera y las paredes laterales presentan inclinaciones por tramos sobre ejes verticales y sus superficies presentan relieves rectangulares.

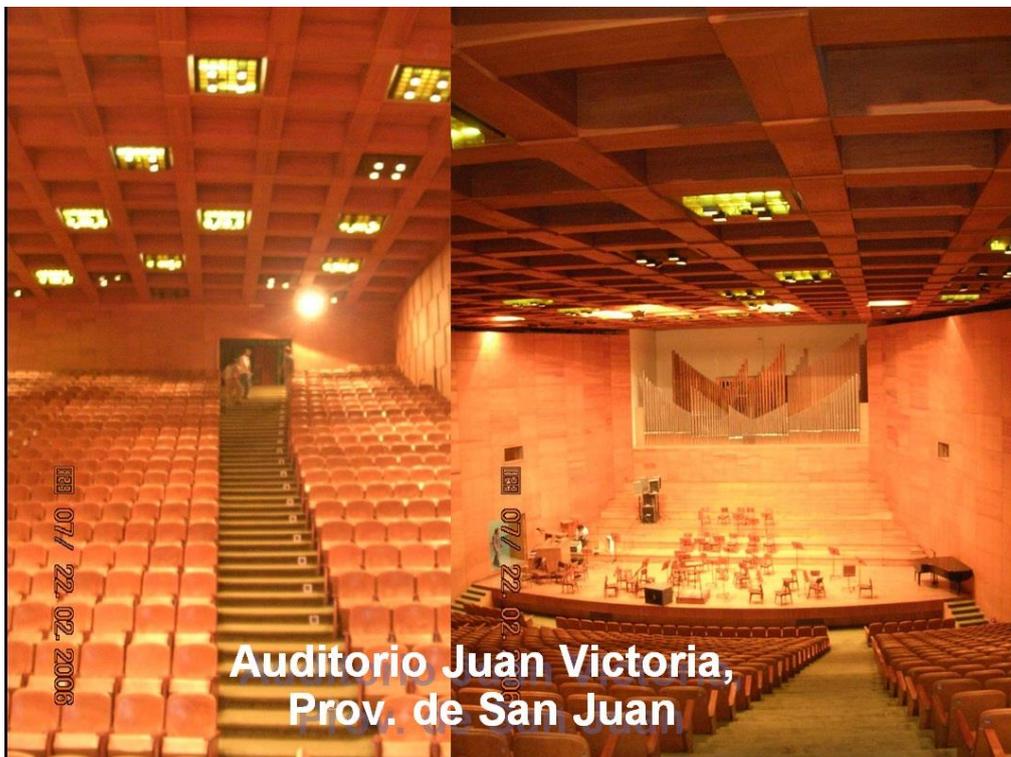


Figura 10. Fotografías del Auditorio Juan Victoria de la Provincia de San Juan.

Se utilizaron tres técnicas para la evaluación. La técnica principal fue mediante encuestas distribuidas entre los asistentes habituales y asistentes considerados expertos, por ser músicos y directores de orquesta, durante conciertos de la programación habitual de la sala. Las otras dos técnicas consisten en estimar parámetros acústicos, en la primera mediante mediciones y en la segunda mediante simulación de rayos acústicos, para estimar el índice de calidad acústica con el modelo propuesto por Ando y modificado por Beranek (Beranek, 2004). Los tres métodos fueron congruentes en clasificar la sala con una excelente calidad acústica, esto sirvió para validar el modelo de rayos y estimar propuestas de mejoras acústicas en búsqueda de una calidad superior.

3.2 Ejemplo para palabra amplificada

Otro ejemplo distinto, dentro de la calidad acústica de salas, es el uso de sistemas de audio distribuido para obtener una buena inteligibilidad de la palabra en ambientes muy reverberantes como una iglesia. Al entrar a una iglesia se espera que la reverberación sea alta y muy posiblemente bajar esa reverberación, si bien mejoraría la inteligibilidad de la palabra, iría en desmedro de la calidad acústica para ese tipo de espacios. Es decir, el objetivo en este caso no es solo la inteligibilidad de la palabra sino también el de mantener la sensación acústica que se espera experimentar en una iglesia.

Una solución habitual y conocida en estos casos es utilizar varios altavoces distribuidos para cubrir la audiencia por sectores. Los altavoces no son de potencia muy elevada y mejora la distancia para la cuales son efectivos si son más directivos (si radian con mayor potencia en determinadas direcciones y no en todas).

En la figura 11 se muestra el esquema de una planta de una iglesia y los altavoces de un diseño que se está evaluando. La cobertura, el ángulo de los esquemas de cobertura en color azul, es una característica de los altavoces. Para los altavoces de este diseño en particular la cobertura es de 90° . El radio de esas porciones circulares que representan los esquemas de cobertura se calcula en función de las características de la sala, las características de los altavoces y un objetivo determinado en cuanto a inteligibilidad, por ejemplo una inteligibilidad buena.

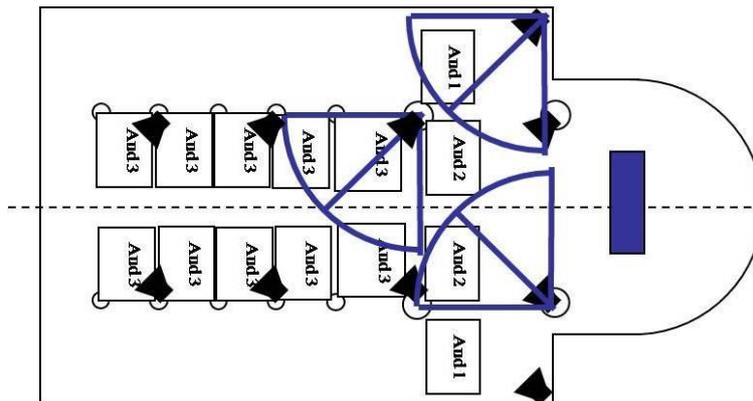


Figura 11. Esquema de planta y diseño de cobertura de audio para una iglesia

Además de la cobertura es recomendable un diseño electrónico para aprovechar la potencia de audio o, en su defecto, se puede utilizar parlantes activos poniendo mucha atención a la aislación electromagnética en los conductores de la señal de audio, especialmente para largas distancias.

4 Conclusiones

El control de ruidos y la acústica son tópicos interdisciplinarios que involucran, entre otros temas, la protección de la salud, el cuidado del bienestar social, la percepción del sonido y la psicoacústica, la ingeniería, la arquitectura y el urbanismo, y en un sentido más amplio también la comunicación, la música y el arte.

La ingeniería aporta desde diversos tópicos como el procesamiento de señales, el modelado físico, el diagnóstico, el diseño de soluciones y el pronóstico ya sea de cómo funcionarán las soluciones o de cómo se adaptará un sistema a una modificación determinada, por ejemplo la instalación de una nueva máquina en una nave industrial o

la implementación de una modificación en búsqueda de mejorar la calidad acústica de un teatro.

Referencias

- Accolti, Ernesto (2006) "Propuesta de reacondicionamiento acústico del Auditorio Juan Victoria de la Provincia de San Juan, Argentina" Tesis Ingeniería Civil en Sonido y Acústica, Universidad Tecnológica de Chile, Santiago.
- Accolti, Ernesto (2014) "Paisaje Sonoro y Música: El paradigma Paisaje Sonoro, ecos desde las ciencias ambientales a las llamadas de la música" Las Semanas del Sonido Montevideo Rosario 2014, ISBN: 978-9974-01142-7
- Accolti, Ernesto (2015) "Generación automática de paisajes sonoros realistas con espectro, distribución de duraciones y categorías semánticas especificados" Tesis Doctorado en Ingeniería, Laboratorio de Acústica y Electroacústica, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario.
- Beranek, Leo L. (2004) "Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture", Springer, Nueva York.
- Cámara de Diputados (2010) "Orden del Día N° 1808." (Consultado el 16/06/2015)
www4.hcdn.gov.ar/dependencias/dcomisiones/periodo-128/128-1808.pdf
- Decreto Ordenanza 46542:1972 sobre Ruidos Innecesarios y Excesivos. Municipalidad de Rosario, Argentina.
- Decreto N° 351/79 sobre Higiene y Seguridad en el Trabajo. Boletín Oficial 22/5/79.
- Decreto 5837:1991 del Ministerio de Bienestar Social, Cultura y Educación, reglamentario de la Ley Provincial 6260/1978, provincia de Entre Ríos. Boletín Oficial 26/12/1991.
- Decreto 740:2007, Reglamentación de la ley n° 1.540, de control de la contaminación acústica. Boletín Oficial de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires N° 2694, 2007.
- Fastl H. y Zwicker E. (2007), "Psychoacoustics: Facts and Models". Springer, Berlin.
- IRAM 4062:2001 - Acústica - Ruidos molestos al vecindario. Método de medición y clasificación
- IRAM 4070:2008 - Ruidos - Procedimiento para su evaluación utilizando las curvas NC y RC
- IRAM 4079:2006 - Ruidos - Niveles máximos admisibles en ámbitos laborales para evitar deterioro auditivo. Relación entre la exposición al ruido y el desplazamiento permanente del umbral de audición.
- IRAM 4113-1:2009 - Acústica - Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: Magnitudes básicas y métodos de evaluación.
- IRAM 4113-2:2010 - Acústica - Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de niveles de ruido ambiental.
- Ley 19.587/1972 de Higiene y Seguridad en el Trabajo. (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social). Boletín Oficial 28/04/1972.
- Ley 6260:1978, de Prevención y Control de la Contaminación por parte de las Industrias, provincia de Entre Ríos. Boletín Oficial 9/11/1978.
- Lindsay, R. B. (1964) "Conference on Education on Acoustics" J. Acoust. Soc. Am. Vol 36, pg 2242
- Miedema, H., Vos, H., (1998) "Exposure-response relationships for transportation noise" J. Acoust. Soc. Am. Vol. 104 (6) pgs. 3432-3445.
- Resolución 201:2004 de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Provincia de Santa Fe "Preservación, protección y recuperación de la calidad del aire en el ámbito de la Provincia de Santa Fe".
- Resolución 295/2003 del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. "Especificaciones técnicas sobre ergonomía y levantamiento manual de cargas, y sobre radiaciones. Modificación del Decreto 351/79". Boletín Oficial 21/11/2003.
- Resolución 85/2012 de la Superintendencia de Riesgos del Trabajo. Higiene y seguridad en el trabajo. "Protocolo para la medición del nivel de ruido en el ambiente laboral" Boletín Oficial del 30/01/2012.
- UNE-EN 12354-1:2000 - Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 1: Aislamiento acústico del ruido aéreo entre recintos