

# Salas para música. Arquitectura y comportamiento acústico



**María Andrea Farina**

Cátedra de Acústica Musical. Instituto de Investigación en Producción y Enseñanza del Arte Argentino y Latinoamericano - IPEAL. Facultad de Artes, Universidad Nacional de La Plata. Argentina

mandreafarina@gmail.com

PACS: 43.55.-n. 43.55.Gx.

## Resumen

La calidad acústica de una sala para música se puede inferir a partir de su forma arquitectónica básica –caja de zapatos, abanico, arena y herradura– si se cumplen determinadas condiciones. Se puede establecer un conjunto de valores para los parámetros acústicos más relevantes en función de cada tipología, siempre que se mantengan dentro de ciertos límites otros factores. En este artículo se reúnen y enumeran las características acústicas esperables en un espacio según su tipología arquitectónica de base. Sin embargo, cabe señalar que algunas salas no responden acústicamente de acuerdo a su tipo. En estos casos, es posible comprender su funcionamiento considerando un apartamiento del modelo estándar correspondiente.

**Palabras clave:** acústica, arquitectura, salas para música, análisis y diseño acústico.

## Abstract

The acoustic quality of a hall in which music is performed can be inferred from its basic architectural shape –shoebox, fan-shaped, vineyard or horseshoe–, if certain general conditions are met. A set of values can be established for each architectural type for the most relevant acoustic parameters, if other factors remain within standard limits. This work lists the expected acoustic characteristics related to each basic architectural design. However, it should be noted that some spaces do not perform acoustically in accordance with what would normally be expected of their architectural style. In these cases, it is possible to understand the actual behaviour based on the deviation from the corresponding standard model.

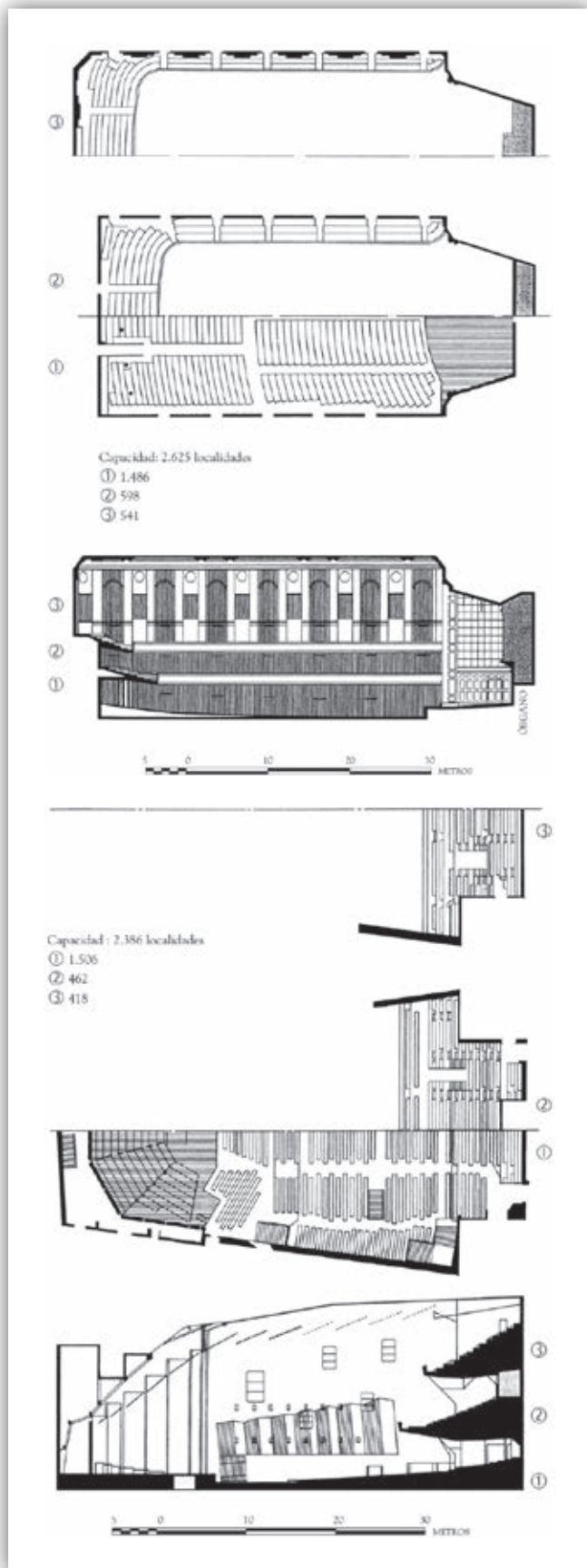
## 0. Introducción

Una sala para música queda definida por su calidad acústica, que se obtiene sobre la base de los juicios de valor estético emitidos por los espectadores a partir de lo que oyen, sus expectativas musicales, sus gustos individuales y lo que han aprendido que es correcto para su época. Como toda evaluación perceptual, depende y está definida en gran parte por la cultura musical del grupo de sujetos consultados, que varía con el tiempo y el lugar que se tome en consideración. También puede variar de individuo a individuo. Es más, el mismo individuo puede modificar su evaluación sobre la calidad de un mismo espacio en diferentes momentos.

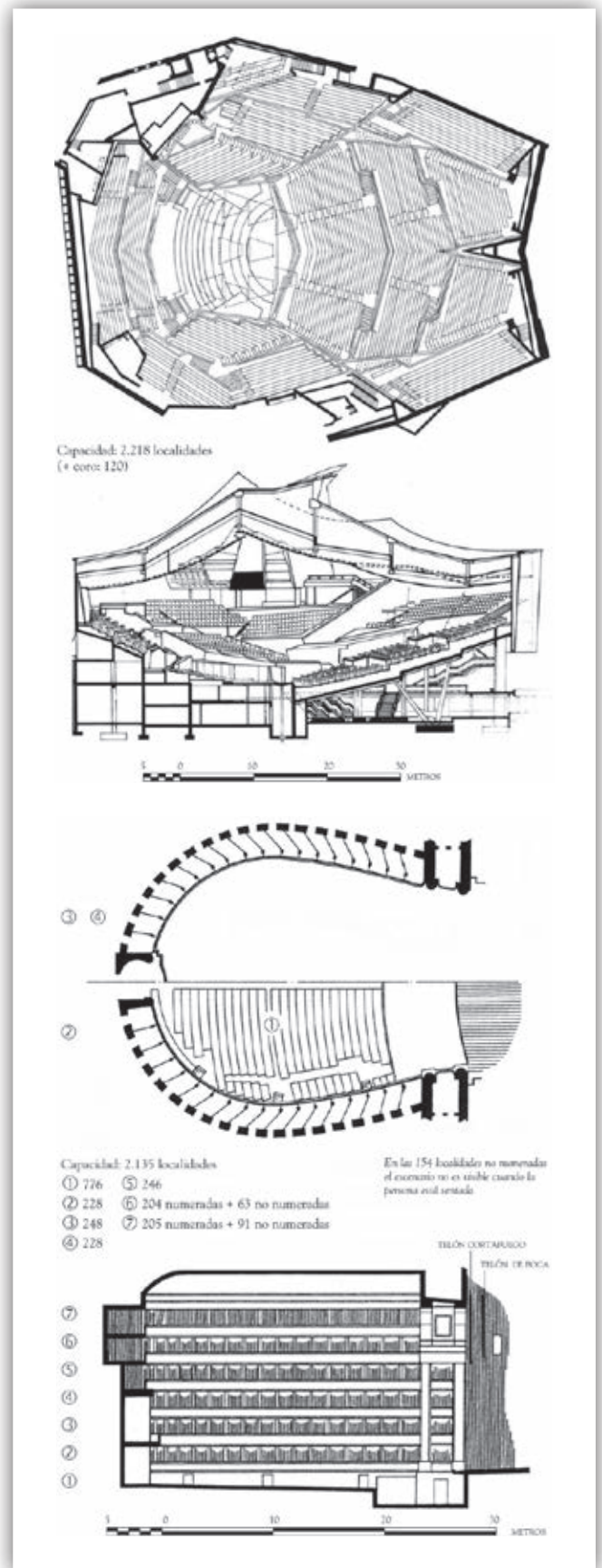
Por supuesto, la calidad acústica además depende del comportamiento físico de las ondas sonoras en el recinto. El gran tema del estudio científico de la acústica de salas es precisamente el vínculo –complejo, multidimensional y cambiante– entre los campos físicos y la percepción de esos mismos campos.

El primer intento histórico de relacionar un aspecto físico de un auditorio con lo que se oye en su interior fue realizado por Wallace Sabine a fines del siglo XIX. Sabine definió el *tiempo de reverberación* (TR) como el tiempo, medido en segundos, que tarda el nivel de presión sonora en caer 60 dB –hasta que deja de oírse– desde el momento en el que cesa la fuente de señal. Su cálculo vincula el tamaño del recinto y la cantidad de material acústico absorbente en su interior con una primera y sencilla concepción de calidad perceptual. Fue durante muchos años, y sigue siendo en parte, la principal variable a considerar en un proyecto acústico.

Otro aspecto físico que define la acústica de una sala es su tipología arquitectónica. La calidad acústica de un espacio se puede inferir a partir de su forma arquitectónica básica si se cumplen ciertas condiciones, como



**Figura 1.** Symphony Hall de Boston, Sala Pleyel de París (documentación de 1994), plantas y cortes.



**Figura 2.** Philharmonie de Berlín, Teatro La Scala de Milán, plantas y cortes.

valores estándar de absorción en las superficies interiores y la inexistencia de defectos notorios como ecos, distorsiones o coloraciones espectrales. Existen regularidades que habilitan la división de las tipologías arquitectónicas más utilizadas en cuatro grandes grupos de características canónicas particulares –caja de zapatos, abanico, arena y herradura (figuras 1 y 2). En la primera parte de este artículo se reúnen y enumeran las características acústicas esperables de una sala para música en función de su tipología. En el apartado siguiente, se muestran algunos ejemplos que no se comportan acústicamente como lo determina su arquitectura de base y se explican las causas de dichas singularidades.

## 1. Características acústicas destacadas de las diferentes tipologías arquitectónicas

### 1.1. Caja de zapatos

La música sinfónica no existió como la conocemos hoy en día hasta fines del siglo XVIII. Los conciertos de música sinfónica temprana se realizaban en grandes salones de palacio y los de cámara, en espacios más pequeños. Es decir, hasta el siglo XIX no existieron lugares especialmente proyectados para interpretar música instrumental. Con la Revolución Francesa se modifica el significado social de la música, cuyo destinatario es ahora el ciudadano. Fue en esta época cuando se empezaron a construir los primeros auditorios de gran capacidad sobre la base de condiciones estrictamente arquitectónicas.

Estas nuevas salas tenían planta rectangular y altura constante. El ancho quedaba determinado por el tamaño de las vigas transversales de madera necesarias para sostener la cubierta que –por la disponibilidad y el costo económico– medían en promedio 22 m. El largo, por una cuestión de visuales, podía alcanzar como máximo los 50 m –de esta manera, el espectador más alejado vería en un tamaño razonable a los músicos en el escenario. La altura debía ser mayor a 12 m para permitir la renovación de aire por convección [1].

Los cielorrasos eran, por lo general, casetonados o artesonados que, junto a la abundancia de la ornamentación propia del estilo neoclásico imperante, difundían las ondas acústicas en un abanico de diferentes direcciones. Años más tarde se descubrió que la difusión es un factor importante en los auditorios de gran calidad acústica [2, 3].

Esta tipología queda normalizada de manera exclusiva por cuestiones arquitectónicas y no de índoles acústicas. Estos auditorios –en los que se consolidó el orgá-

nico de la orquesta sinfónica romántica con maderas a dos– perduraron como tipo estándar hasta la Primera Guerra Mundial y tuvieron una profunda revisión en la década de 1980.

Las características acústicas más relevantes de estas salas son:

- El TR es aproximadamente de 2 s para las frecuencias medias.
- Hay mucha *plenitud de sonido* que proviene de todas las direcciones –el oyente se siente inmerso en sonido reverberante.
- La *claridad* presenta valores altos.
- El espacio posee un gran rango dinámico y responde inmediatamente ante el menor cambio en la articulación de la orquesta.
- En general, presentan gran uniformidad en todas las ubicaciones.
- Entre los instrumentos existe un buen balance espectral y de sonoridad. Es muy bueno el ensamble entre los músicos.

En una caja de zapatos, al oyente le llegan la señal directa proveniente de la fuente acústica –la orquesta– y también muchas señales producto de las reflexiones en las paredes. El público percibe que está envuelto o rodeado de sonido y comparte con la fuente el mismo espacio acústico. La calidad acústica de estas salas mejora si un número significativo de reflexiones laterales tempranas ocurren entre la llegada del sonido directo y los 80 ms.

La *sensación de inmersión* en el ambiente, uno de los factores más apreciados a la hora de evaluar la calidad de un auditorio, es muy alta –el campo acústico posee un valor de *factor de espacialidad* elevado.

De acuerdo a numerosos estudios, la forma de una sala para música sinfónica debería priorizar las reflexiones laterales. Éste es uno de los motivos por el que se prefieren las cajas de zapatos por sobre otras formas posibles en las propuestas arquitectónicas actuales.

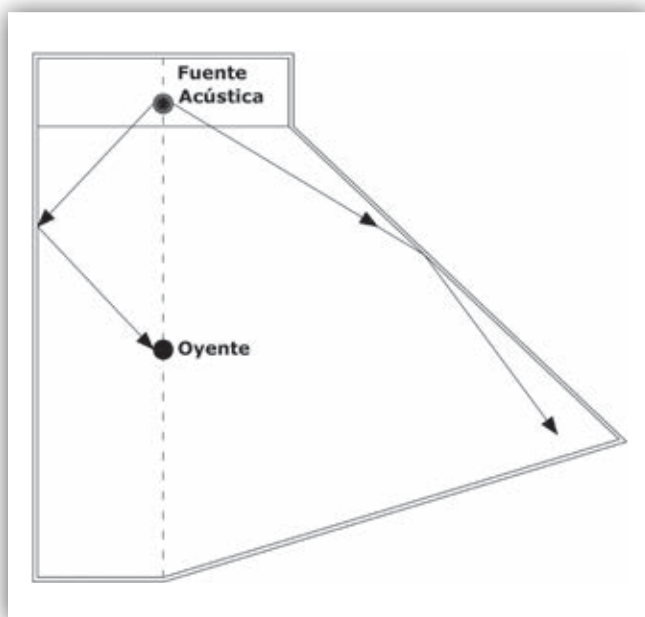
Tres ejemplos paradigmáticos de esta tipología construidos en el siglo XIX son el Konzerthaus de Berlín, el Musikvereinsaal de Viena y el Concertgebouw de Ámsterdam. En el año 2003, Beranek realizó un estudio sobre 58 salas de conciertos para música sinfónica en el que compiló las opiniones de directores de orquesta, críticos musicales y aficionados y un análisis de diversos parámetros acústicos medidos. En un ordenamiento perceptual de acuerdo a la calidad acústica, estos tres auditorios se encuentran entre los cinco mejores del mundo. Por su parte, el Symphony Hall de Boston (figura 1) ocupa el tercer lugar

en esa lista [4]. Esta sala fue la primera cuyo proyecto se realizó aplicando desde el comienzo la teoría acústica cuantitativa desarrollada por Sabine –gran parte de su prestigio se debe al éxito alcanzado en esta obra.

## 1.2. Abanico

Después de la Primera Guerra Mundial, las condiciones que habían definido la arquitectura y la acústica de las salas para música del siglo XIX habían cambiado. Las nuevas tecnologías y materiales de construcción permitieron a los arquitectos modificar las tipologías tradicionales dimensionalmente limitadas. La posibilidad de cubrir mayores luces sin apoyos intermedios permitió cambiar el ancho de los auditorios y la renovación de aire ahora podía hacerse de modo forzado liberando la altura de los recintos –el largo seguía limitado por las visuales. El resultado fue que las paredes laterales modificaron sus ángulos y se abrieron en una planta en forma de espátula o abanico. La pared posterior de esta tipología en muchos casos adopta una forma curva y el cielorraso es más bajo que en las cajas de zapatos tradicionales –sigue un desarrollo equipotencial o isofónico. La calidad acústica de estos nuevos diseños quedaba supuestamente asegurada por la aplicación de la teoría sabiniana.

En una sala con planta en forma de abanico, el sonido directo llega al espectador con facilidad, pero el que proviene de las reflexiones en las paredes laterales se dirige hacia atrás: no hay posibilidad de que lleguen a la platea reflexiones desde los laterales (figura 3). Cuando se tiene únicamente sonido frontal que proviene de la orquesta, la fuente acústica se percibe adelante, lejana y separada



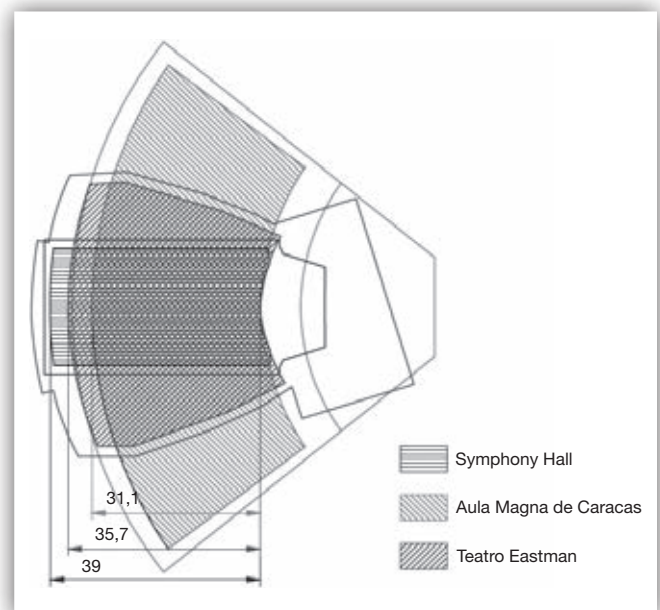
**Figura 3.** Esquema que muestra el comportamiento de las reflexiones en una sala de planta rectangular y en una sala en abanico.

del oyente. Al haber muy poca energía lateral, la audiencia no recibe la información espacial necesaria como para sentirse rodeada de sonido.

En un abanico:

- El TR es por lo general bajo, porque el volumen se reduce al disminuir la altura del cielorraso y aumenta el área de absorción del público. Por el contrario, los mejores ejemplos de esta tipología son los que logran alcanzar un valor alto de TR.
- Presentan muy baja claridad y los detalles de la música –los diferentes modos de acción y las articulaciones de la ejecución instrumental– se pierden.
- El ensamble en el escenario es difícil porque los músicos no se pueden oír entre ellos –el sonido se dirige hacia el fondo del auditorio y no vuelve a las fuentes.
- Pueden aparecer ecos prominentes. Las señales acústicas que llegan a la pared curva del fondo de la sala y a los frentes de las bandejas vuelven al escenario con gran energía.

La planta en abanico fue un modelo que se usó ampliamente a partir del período de entreguerras debido, en gran medida, a que permite albergar una mayor cantidad de público en comparación con una caja de zapatos (figura 4). Dos obras representativas son el Teatro



**Figura 4.** Symphony Hall, Aula Magna de la Universidad de Caracas y Teatro Eastman de Nueva York. Esquema donde se observa el largo de las salas y el área de asientos en platea. El Symphony Hall posee una capacidad para 2.625 personas, el Aula Magna tiene prácticamente el mismo aforo (2.660 personas) y el Teatro Eastman posee 3.347 localidades.

Eastman, inaugurado en 1923 y la Sala Pleyel de París, construida en 1927 (figura 1).<sup>1</sup>

Según Beranek, un auditorio con forma de abanico puede ser efectivo para audiencias menores a 800 personas o, en ciertas circunstancias, superiores a 3.200 espectadores. En un espacio pequeño de esta tipología no hay reflexiones laterales que contribuyan o alteren el sonido directo, lo que le otorga una relativa definición que podría juzgarse acústicamente buena [5].

Aunque desde la década de 1920 se construyeron gran cantidad de salas con planta en forma de abanico, no alcanzaron la calidad de los auditorios del siglo anterior. Recién hacia 1960 se logró una nueva tipología arquitectónica de base con el proyecto del edificio para la Orquesta Filarmónica de Berlín (figura 2).

### 1.3. Arena

Instaurado el modelo de Sabine en el siglo XX, el diseño de las salas de concierto supuso la posibilidad de independizarse de los modelos formales tipológicos del pasado y de su arquitectura interior. Sin embargo, la mayoría de las obras construidas mostraban una realidad diferente con una gran cantidad de ejemplos con un funcionamiento acústico deficiente. Entre ellos se encuentra, hacia 1960, el célebre caso del Philharmonic Hall del Lincoln Center de Nueva York. En este estado de situación, los mejores espacios para música seguían siendo las cajas de zapatos del siglo XIX.

Entre las excepciones podemos citar la Philharmonie de Berlín. Se trata de una sala que debía responder a la configuración y el orgánico de la orquesta sinfónica moderna que ya estaba estandarizada y cuyo esquema, tipo viñedo o arena, plantea una propuesta sumamente original para la tipología de auditorio.<sup>2</sup>

“Música en el centro” fue el postulado predominante del arquitecto Hans Scharoun que sentía que la posición normal de la orquesta –en un extremo del recinto– impedía a la audiencia y los músicos comunicarse fluidamente [6]. Por eso propone un partido muy diferente que deshace la oposición escenario-platea y músico-oyente ubicando a la orquesta en un lugar no convencional. Además, los músicos, para llegar al escenario, debían pasar entre el público.

La arena o viñedo ofrece, para música sinfónica, una variante a la geometría de caja de zapatos clásica. El rasgo que las caracteriza es la ubicación del escenario cerca del centro de la sala y en un nivel más bajo

que el público, que se ubica en bloques o terrazas elevadas.

En una arena es difícil producir gran número de reflexiones laterales porque la audiencia se ubica rodeando el escenario y los cierres verticales quedan lejos de los instrumentos. Se pierde, por lo tanto, la secuencia de reflexiones tempranas presentes en los auditorios rectangulares. Una técnica para compensar esta deficiencia consiste en ubicar a la audiencia en bloques cuyos frentes reflejen energía lateral hacia el público cercano al escenario y hacia otros bloques.

Las características acústicas más relevantes de las arenas son:

- Pueden albergar una gran cantidad de público.
- El TR puede alcanzar valores similares a los óptimos para música sinfónica.
- No son salas homogéneas y permiten muchas condiciones de audición diferentes.
- En las áreas de audiencia frente a los músicos el sonido es claro, balanceado, y con una definición tímbrica que envuelve completamente al oyente – hay sectores de la audiencia frente a la orquesta donde la calidad de la música puede ser tan alta como en una caja de zapatos.
- Por el contrario, en los asientos de la parte posterior del escenario se oye un sonido completamente diferente, con un balance instrumental casi invertido.
- Determinadas localidades, en las que el público puede observar la gestualidad del director de orquesta, son preferidas por motivos visuales, no acústicos.

En sentido contrario a lo afirmado en gran parte de la literatura especializada, la falta de homogeneidad del campo acústico no es necesariamente una desventaja. En una arena se pueden dar respuestas a las preferencias individuales mediante la elección de las ubicaciones que mejor se acomoden a cada clase de oyente [7].

### 1.4. Herradura

En 1637 se inaugura el Teatro San Cassiano en Venecia, que es considerado el primero de ópera construido con este fin específico. La tipología inicial fue modificada por el arquitecto Carlo Fontana que introdujo el diseño de

<sup>1</sup> La planta en forma de abanico aparece anteriormente en el siglo XIX en una sala de ópera: en el Teatro del Festival de Bayreuth.

<sup>2</sup> Su concepción fue posible gracias a los recursos tecnológicos de la época.

herradura y hacia mediados del siglo XVII queda estandarizada a partir de los siguientes elementos: la planta en forma de herradura, la ubicación del foso por debajo del nivel de la platea, la caja escénica separada del espacio para el público y un TR acotado.

Los grandes teatros de ópera del siglo XVIII, que tienen un aforo promedio entre 1.500 y 2.000 personas, mantienen un TR de alrededor de 1,5 s (por ejemplo, el Teatro Argentina de Roma, el Teatro San Carlo de Nápoles y el Teatro Regio de Torino). Estas salas de gran capacidad dieron lugar a los teatros del siglo XIX que conservaron todos los elementos de la tipología e incorporaron la decoración interior característica de la época manteniendo prácticamente invariante la acústica.

En la figura 5 se observan las variaciones en las formas de herradura del Teatro La Scala de Milán –inaugurado en 1778–, del Royal Opera House de Londres –reconstruido en 1858–, de la Staatsoper de Viena –que conserva la forma arquitectónica original de 1869–, de la Ópera Garnier de París –inaugurada en 1875– y del Teatro Colón de Buenos Aires –de 1908.

Sus principales características son:

- El TR alcanza un valor cercano a 1,5 s independientemente del tamaño y del aforo. Este valor de TR resulta adecuado para que una sala de ópera cumpla con sus dos objetivos acústicos principales: la continuidad de la música y la inteligibilidad del habla.
- Incluyen dos grandes volúmenes acústicos acoplados: el escenario, que contiene toda la estructura de la caja escénica, y la sala propiamente dicha.
- La platea debe cumplir con la exigencia de que cada espectador posea un ángulo visual máximo en función del fondo del escenario y la boca de escena. La distancia máxima de la audiencia al escenario –en general treinta metros– queda limitada tanto por las visuales como por la acústica.

- Es muy bueno el balance acústico entre los músicos de la orquesta en el foso y los cantantes en el escenario –en los buenos teatros en herradura las fuentes ubicadas en el foso generan niveles entre 3 dB y 5 dB menores que las ubicadas en el escenario.
- La claridad presenta valores altos.
- En general, la calidad sonora es mejor en los niveles superiores que en la platea.

La acústica de los teatros donde estrenaron sus óperas Monteverdi, Mozart, Glöck, Verdi, Britten o Ligeti (con excepción de Wagner que creó un teatro *ad hoc*) es similar. Una sala moderna de ópera puede albergar en forma perfecta una ópera barroca sin problemas porque conserva las mismas características acústicas desde hace 400 años. Estos espacios, armados de acuerdo a ensayo y error, se convirtieron en un modelo eficiente para el género y constituyen el caso de estabilidad acústica más destacado de la historia de Occidente. Los nuevos teatros de ópera se continúan construyendo con la acústica de esas salas originarias. Por supuesto, no mantienen la arquitectura, los materiales ni la decoración interior de esa época pero, en esencia, siguen siendo teatros italianos de herradura. Las estéticas musicales tan diferentes que se sucedieron durante cuatro siglos de historia conservan un mismo espacio estandarizado de manera internacional.

## 2. Salas que no responden acústicamente según su tipología arquitectónica

Pese a la anterior enumeración de características canónicas para cada tipo de sala, existen espacios en los que el comportamiento acústico no responde de acuerdo con estos estándares. Muchas veces degradando la calidad acústica esperable y otras, menos frecuentes, aumentándola. A continuación, se muestran algunos de estos casos especiales.

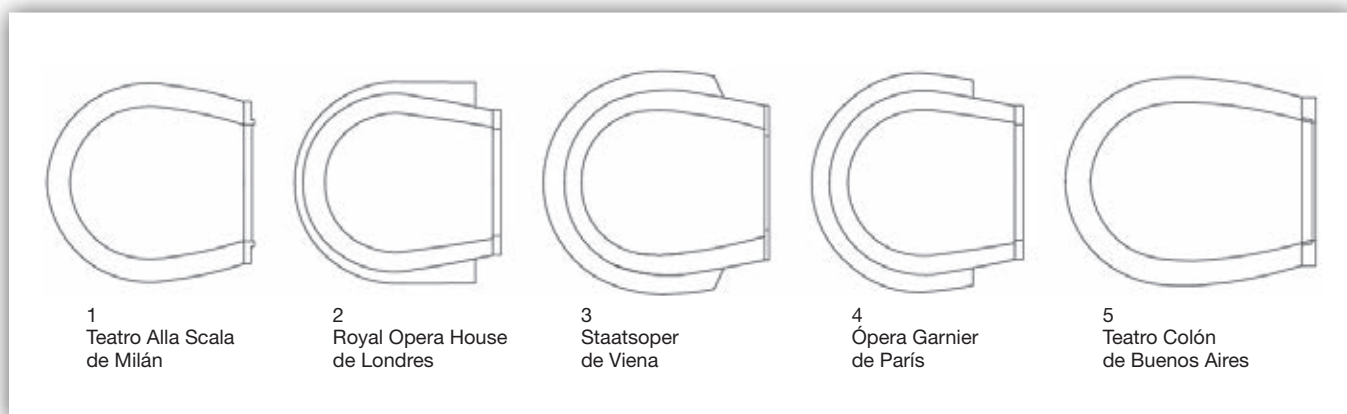


Figura 5. Plantas en forma de herradura de algunos teatros de ópera.

## 2.1. Ejemplos de caja de zapatos

### *Philharmonic Hall del Lincoln Center de Manhattan en Nueva York*

En el año 1962, Beranek decide llevar al límite la teoría de Sabine y diseña, basado en su idea de minimizar el retardo de la primera reflexión significativa que llega al oyente (ITDG), una caja de zapatos de planta algo modificada con dos niveles superiores y una nube de paneles suspendidos ajustables (figura 6).

El resultado acústico del Philharmonic Hall fue una gran decepción. El sonido resultó plano, demasiado brillante, sin sensación espacial alguna, sin buena respuesta en bajas frecuencias. Los músicos no podían oírse entre sí y aparecieron ecos en el escenario y en algunos asientos delanteros. Nada más alejado de las excelentes salas del siglo XIX que, en teoría, habían sido la base de su diseño.

Las causas de este comportamiento fueron múltiples [8]. Entre ellas:

- Un valor bajo para la *razón de bajas frecuencias* – falta de bajos tanto en el sonido directo que llegaba a la platea desde el escenario como en el que podía ser reflejado por los paneles suspendidos del cielorraso. En el rango de 125 Hz a 250 Hz, el cielorraso devolvía la energía que reflejaban los paneles 11 dB por debajo de la que llegaba en las bandas de 500 Hz y 1.000 Hz. La dimensión de los paneles, de un tamaño insuficiente, no permitía que se reflejaran de manera apropiada los sonidos por debajo de los 300 Hz ya que las ondas los atravesaban por difracción. A nivel perceptual se manifestó dificultad para oír los instrumentos de la parte

baja del espectro de la orquesta –violoncelos, contrabajos, tuba, trombones.

- Las ondas sonoras de baja frecuencia difractaban en las hileras sucesivas de los respaldos de las butacas en la platea, aumentando la pérdida en la zona grave del espectro.
- El espacio entre las filas de asientos funcionaba como una especie de resonador sintonizado: a bajas frecuencias, las ondas sonoras se alejaban del plano del público.
- Las superficies interiores no proveían una difusión acústica adecuada.
- La pared posterior del escenario, absorbente, aumentaba la dificultad de ejecución instrumental en el escenario. El *factor de soporte* y *nivel de ensamble temprano* eran muy bajos.

Desde el año 1962 y hasta 1976 hubo numerosas propuestas para mejorar la obra. Los primeros cambios para corregirla los realizó el mismo Beranek. Se modificó el escenario para solucionar la audición de los músicos entre sí y consigo mismos. Los paneles del cielorraso se aproximaron para formar un cierre horizontal continuo. Se agregaron elementos difusores en las paredes laterales. Se reemplazaron las butacas por otras menos absorbentes y se colocó material absorbente en la pared posterior de la sala para evitar ecos. Estas modificaciones, si bien mejoraron la situación, disminuyeron el TR y el auditorio seguía sin funcionar adecuadamente.

El tiempo de reverberación en la platea de la sala original tenía como valores 1,9 s y 2,1 s en las bandas de frecuencia de 500 Hz y 1.000 Hz. Los cambios realizados hacia 1966 hicieron que el TR descendiera a 1,8 s, con una pendiente de decaimiento más exponencial. La energía temprana en el nivel principal, que antes de las modificaciones exponía una falta en bajas frecuencias, mostraba ahora un espectro con una distribución homogénea. La distribución de la energía temprana quedó menos dependiente de la posición del oyente y se obtuvo una mayor cantidad de reflexiones laterales en el rango de frecuencias medio –entre 250 Hz y 1.000 Hz– [6].

En 1976 se decide rediseñar completamente el espacio. Se convoca para el proyecto acústico a Cyril Harris que reubica los niveles de bandejas, modifica el cielorraso, agrega irregularidades a las superficies, reforma el escenario y reemplaza nuevamente las butacas. La imagen interior cambió por completo y reemplaza su nombre por el de Avery Fisher Hall –en la actualidad David Geffen Hall. Entre el primer diseño y este existen diferencias de



**Figura 6.** Philharmonic Hall (fotografía de Bob Serating).

carácter acústico en la reverberación, la claridad y la textura del sonido. Sin embargo, pese a estos cambios, la sala no se consideraba satisfactoria.

En su esquema original, el auditorio presentaba una planta aproximadamente rectangular, un cielorraso de altura casi constante y satisfacía las condiciones de la teoría de Sabine. Sin embargo, el resultado acústico final no cumplió las expectativas que prometía su tipología arquitectónica.

### *Sala de conciertos de la Orquesta de Minnesota en Mineápolis*

Esta sala, construida en 1974, sigue el esquema usual del siglo XIX de planta rectangular y altura constante. Es una caja de zapatos con tres bandejas donde todo el interior sigue los cánones de líneas simples de la arquitectura del siglo XX. Esta modificación al modelo tradicional –el aumento de dos a tres del número de bandejas y la falta de la ornamentación clásica del siglo anterior– afectó de manera sensible su acústica.

La principal causa de su calidad acústica deficiente era la escasez de difusión, especialmente en la zona de frecuencias medias y bajas. Las únicas superficies que podían intervenir para incorporar difusión eran el cielorraso de la sala y las del escenario. Por este motivo, hacia el final de la obra Cyril Harris decide colocar grandes volúmenes salientes. Se incorporaron cubos revocados dispuestos de manera aleatoria en el cielorraso y en el plafón y en la pared del fondo del escenario, que actúan como difusores de banda ancha (figura 7). El cielorraso conserva el concepto de

difusión del casetonado tradicional pero con una materialización diferente.

Los cubos resultaron adecuados para aumentar el factor espacial. Aportan una enorme difusión de banda ancha que permite difundir las ondas que llegan al cielorraso hacia los laterales de la sala y eliminar las reflexiones especulares propias de un cielorraso plano.

En el Auditorio de Minnesota se aplicaron los desarrollos teóricos de la década de 1970 planteados por Schroeder y su equipo. Suponían que un cielorraso muy difusor con grandes volúmenes que difundieran las ondas sonoras y las redirigieran en muchas direcciones iba a equilibrar la ausencia de reflexiones laterales provenientes de las paredes [3, 9]. Sin embargo, los resultados no fueron consistentes y los proyectos intervenidos únicamente en el cielorraso no llegaron a alcanzar una calidad acústica de primer orden.

## 2.2. Ejemplo de abanico

### *Sala de Tanglewood en Massachusetts*

La sala abierta de Tanglewood, pese a tener una planta en forma de abanico, es un espacio acústicamente exitoso [5]. Con una original disposición de paneles reflectantes superiores, Beranek logró resolver de manera óptima las desventajas acústicas propias de la tipología (figuras 8 y 9).

Aunque es un auditorio de enorme capacidad –5.121 oyentes– y su planta no es, a priori, de las más adecuadas para música, el diseño acústico escogido la ubica entre las mejores de los Estados Unidos, según la crítica especializada.



**Figura 7.** Sala de Conciertos de la Orquesta de Minnesota (fotografías de George Heinrich, izquierda, y Dave Kenney, derecha, tomada el 26 de septiembre de 1979).





Figura 8. Sala de Tanglewood (fotografía de Matt H. Wade).

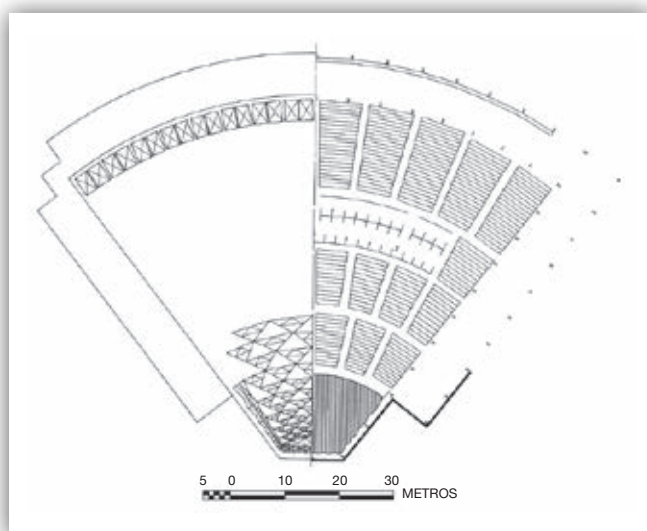


Figura 9. Sala de Tanglewood, planta.

### 2.3. Ejemplos de herradura

#### Ópera de París

Este teatro, diseñado por el arquitecto Charles Garnier e inaugurado en 1875,<sup>3</sup> se aparta del modelo de herradura tradicional: su geometría se aproxima a un círculo

(figura 10). Las consecuencias acústicas de este desvío respecto a la herradura clásica son notables y la calidad del sonido, sobre todo en la platea, es apenas aceptable.

En su interior, posee decorados y ornamentaciones de gran calidad. La cantidad de textiles y el pequeño volumen, de 10.000 m<sup>3</sup> para una capacidad para 2.231 personas, determinan un TR muy bajo, de 1,1 s para frecuencias medias en la condición de sala ocupada. El balance en platea no es adecuado y la orquesta domina y enmascara a los cantantes. Las mejores ubicaciones son las de la primera fila de los niveles superiores [6].

La Ópera de París no es considerada un espacio de primer orden para el género lírico y su uso principal está destinado, desde la inauguración de la Ópera de la Bastilla, a espectáculos de ballet.

#### Teatro Municipal Coliseo Podestá de La Plata en la Pcia. de Buenos Aires

El Teatro Municipal Coliseo Podestá, inaugurado en 1886, corresponde aparentemente a la tipología de herradura italiana tradicional. Como en sus orígenes el espacio debía adaptarse para funciones de circo, las graderías dispuestas en forma de herradura rodeaban

<sup>3</sup> Garnier concluyó en el libro *Le Nouvel Opéra de Paris* que siguió en su diseño los vagos principios de la buena acústica -que era una ciencia extraña-. "No es mi culpa que la acústica y yo nunca hayamos llegado a entendernos. Me produce gran dolor no dominar esta ciencia bizarra, pero después de quince años de trabajo, apenas he progresado en relación con el primer día... He leído libros y hablado con especialistas; en ninguna parte he encontrado reglas que me guíen; al contrario, únicamente afirmaciones contrapuestas" (Beranek, 1996, p.221).

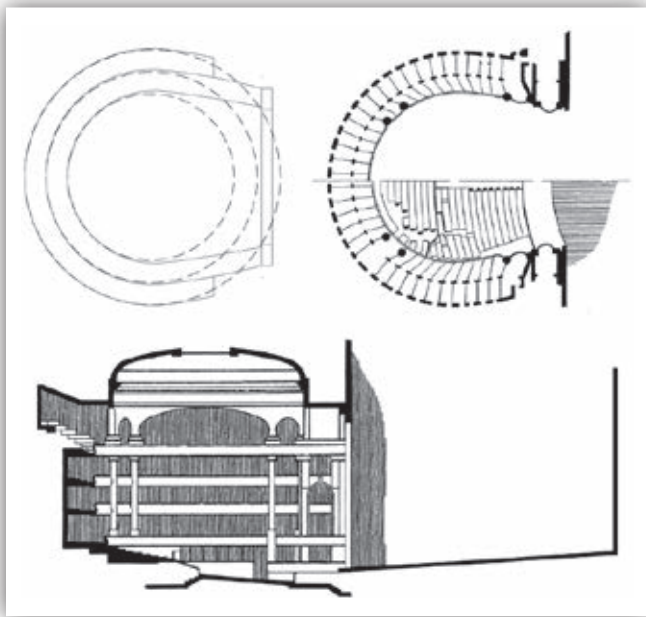


Figura 10. Ópera de París. Arriba: geometría de la sala donde se inscribe el círculo y planta. Abajo: corte.

un picadero circular de 21,60 m de diámetro (figura 11). En 1913, el edificio es remodelado y abandona su condición de teatro-circo convirtiéndose en una sala de prosa.

Las consecuencias acústicas de la forma de la envolvente eran significativas. Entre ellas:

- El teatro presentaba dos pendientes de reverberación claramente diferenciadas y audibles. La primera pendiente correspondía al volumen central –la sala– con un valor de TR a frecuencias medias cercano a 1 s. La segunda pendiente, que partía de niveles acústicos mucho menores –6 dB por debajo de los niveles de la primera–, determinaba un TR cercano a los 2 s. Esta segunda pendiente se originaba en los volúmenes acoplados de los pasillos de circulación que rodeaban al espacio principal en sus tres niveles.
- El espectro de frecuencia de la segunda pendiente presentaba una severa distorsión, semejante a la

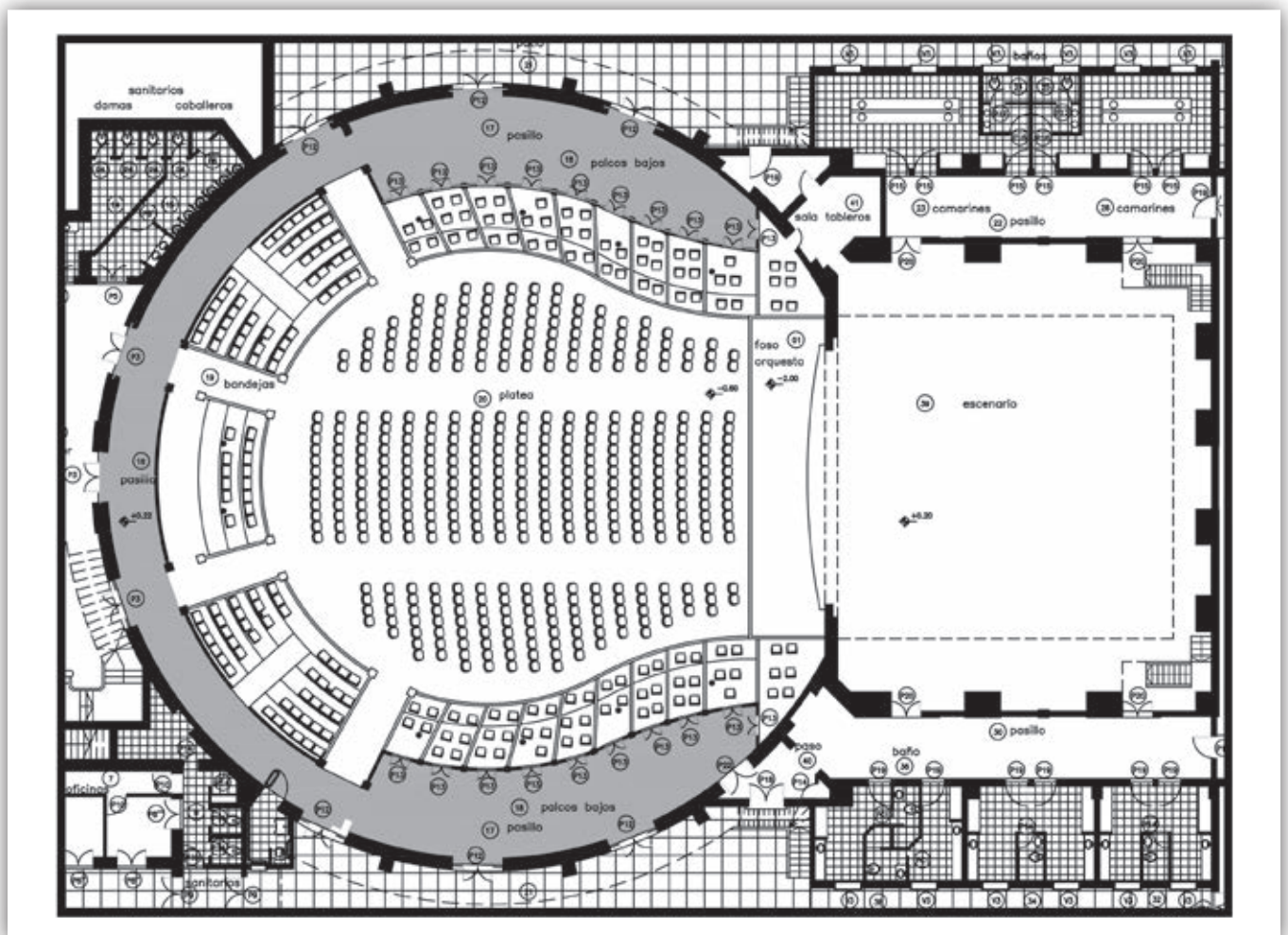


Figura 11. Teatro Municipal Coliseo Podestá. Planta de platea y palcos bajos en la que se aprecian las dos envolventes perimetrales y el pasillo de circulación que delimitan.

producida por un filtro pasa bajos en serie con un filtro en peine.

- Existía una gran dispersión espacial de valores de TR en la platea.
- Las dos envolventes perimetrales provocaban focalizaciones acústicas y ecos sobre la zona de escenario. Las focalizaciones se producían fundamentalmente en la envolvente exterior circular, mientras que los ecos eran consecuencia de la geometría de ambas, la exterior circular y la interior con planta en forma de herradura.
- La relación entre la *reverberación temprana* y el TR no seguía la curva estándar propia de una sala en herradura en función de la distancia a la fuente.

En la década de 1980 se realiza una puesta en valor del edificio. La intervención acústica clave fue cerrar las vías de comunicación entre la sala y los pasillos de circulación perimetrales. Estos cierres permitieron desconectar los volúmenes acoplados al espacio principal y quitar la segunda pendiente de reverberación, eliminar los ecos y focalizaciones provenientes del cierre perimetral exterior. Los cierres laterales se construyeron con materiales acústicamente reflectantes con imitación de columnas en altorrelieve para aumentar la energía lateral temprana en platea. Se colocaron cortinados para absorber la energía causante de los ecos en la parte posterior del cierre perimetral interior. Para elevar la reverberación en 0,3 s a

frecuencias medias, se decidió quitar todo material acústico absorbente innecesario.

Las mediciones realizadas luego de finalizada la obra demostraron lo efectivas que fueron las modificaciones. Tanto en las prospecciones auditivas como en los registros realizados no se detectaron las focalizaciones, ecos y coloraciones existentes antes de la primera intervención en la década de 1980 cuando la sala presentaba un carácter particular de acuerdo con su origen híbrido.

### 3. Conclusiones

La posibilidad de determinar la calidad acústica de una sala para música, considerando su forma arquitectónica básica, se cumple en la gran mayoría de los casos. Existe un conjunto de valores óptimos para los parámetros acústicos en función de la tipología elegida, siempre que se mantengan dentro de límites estándar otros factores relevantes como la absorción acústica de las superficies interiores y que no existan defectos notorios como ecos, distorsiones o coloraciones espectrales.

En los casos en los que se detectaron diferencias entre las tipologías canónicas y el comportamiento previsto del campo acústico interior, se pudieron interpretar dichas discrepancias a partir de un apartamiento respecto del



Figura 12. Teatro Municipal Coliseo Podestá.

modelo correspondiente. Muchas veces, una diferencia formal apenas perceptible a la vista puede provocar consecuencias acústicas de importancia, casi siempre degradando la calidad esperable y otras, menos frecuentes, aumentándola. Tales son los casos, entre otros, del Philharmonic Hall de Nueva York, del Auditorio de Tanglewood en Boston, de la Ópera de París y del Teatro Municipal Coliseo Podestá de La Plata.

#### 4. Referencias

- [1] Basso, G. *et al.* (2009a), *Música y Espacio: ciencia, tecnología y estética*. Editorial de la UNQ, Bernal.
- [2] Schroeder, M. (1975), "New results and ideas for architectural acoustics", en Mackenzie, R. (ed.), *Auditorium Acoustics*, Londres, Applied Science Publishers.
- [3] Schroeder, M. (1979), "Binaural dissimilarity and optimum ceilings for concert halls: More lateral sound diffusion", *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 65, pp. 958-963.
- [4] Beranek, L. (2003), "Subjective Rank-orderings and Acoustical Measurements for Fifty-Eight Concert Halls", *Acta Acustica*, vol. 89, pp. 494-508.
- [5] Beranek, L. (2014), "Concert hall design: new findings", *Proceedings of the Institute of Acoustics*, vol. 36, pt.3.
- [6] Beranek, L. (1996), *Concert Halls and Opera Houses. How They Sound*, Acoustical Society of America.
- [7] Wilkens, H. y G. Plenge (1975), "The correlation between subjective and objective data of concert halls", en Mackenzie, R. (ed.), *Auditorium Acoustics*, Londres, Applied Science Publishers.
- [8] Schroeder, M., B. Atal, G. Sessler y J. West (1966), "Acoustical Measurements in Philharmonic Hall, New York", *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 40, p. 434.
- [9] Schroeder, M., D. Gottlob y F. Siebrasse (1974), "Comparative study of European concert halls: correlation of subjective preference with geometric and acoustic parameters", *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 56, pp. 1195-1201.



Envíese a: **Revista Española de Acústica - SEA**  
 e-mail: [secretaria@sea-acustica.es](mailto:secretaria@sea-acustica.es)  
<http://www.sea-acustica.es>

Estoy interesado en:

- **ASOCIARME A LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ACÚSTICA**
- **SUSCRIBIRME A LA REVISTA DE ACÚSTICA**

Apellidos: \_\_\_\_\_ Nombre: \_\_\_\_\_

Dirección para correspondencia: \_\_\_\_\_

C.P.: \_\_\_\_\_ Ciudad: \_\_\_\_\_ Provincia: \_\_\_\_\_

Tel.: \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_ e-mail: \_\_\_\_\_

Centro de trabajo: \_\_\_\_\_

Puesto de trabajo: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

C.P.: \_\_\_\_\_ Ciudad: \_\_\_\_\_ Provincia: \_\_\_\_\_

Tel.: \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_ e-mail: \_\_\_\_\_



SOLUCIONES EN  
INGENIERÍA ACÚSTICA  
Y CONTROL DEL RUIDO



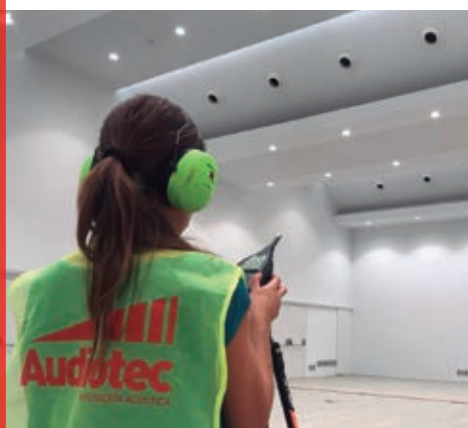
PROYECTOS MEDICIONES E  
INSTALACIONES ACÚSTICAS

PROVEEDORES DE ENSAYOS  
DE INTERCOMPARACIÓN  
"in situ" Y CÁMARAS  
NORMALIZADAS (UNE-EN17043)

MAPAS DE RUIDO  
Y PLANES DE ACCIÓN  
PROYECTOS DE I+D+I

CERTIFICACIÓN  
ACÚSTICA DE SOLUCIONES  
Y TRATAMIENTOS ACÚSTICOS

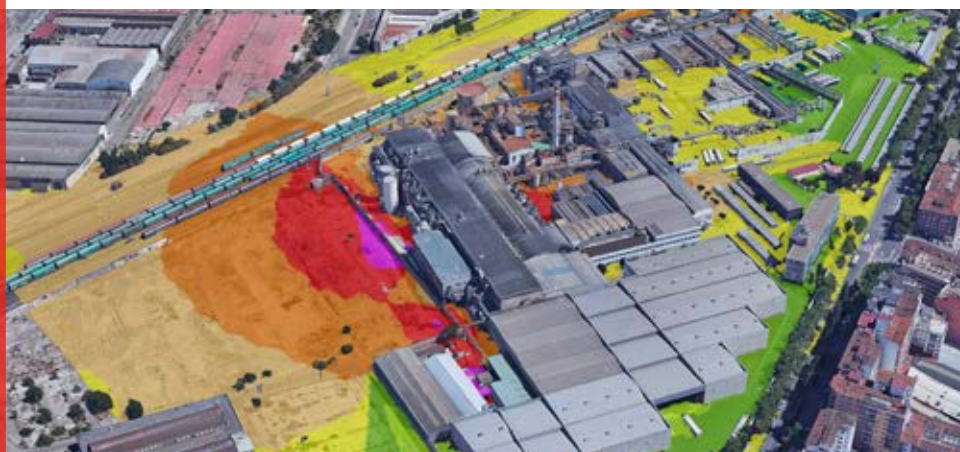
CONSULTORÍA  
Y FORMACIÓN



LABORATORIO acreditado para  
caracterización de sistemas  
constructivos y materiales.

902 37 37 99

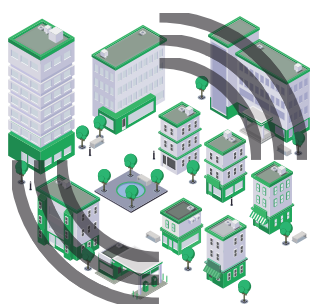
info@audiotec.es  
www.audiotec.es



Descarga nuestra app:



ADTCdBMeter



GESTIÓN Y  
CONTROL DEL  
RUIDO EN LAS  
CIUDADES



EDUCACIÓN

OCIO Y TURISMO

MÚSICA EN DIRECTO

CENTROS COMERCIALES

INDUSTRIA



902 702 365  
info@dbelectronics.es  
www.dbelectronics.es

