

“Deleite”: acústica arquitectónica, forma y sonido

La arquitectura es música congelada.

Friedrich von Schelling, *Philosophy of Art*, 1805

...pero la música no es arquitectura fundida.

Susanne K. Langer, *Problems of Art*, 1957

La arquitectura conforma el comportamiento humano de muy diversas maneras. Como dijera Winston Churchill, “Damos forma a nuestros edificios y después nuestros edificios nos dan forma a nosotros”. De manera similar, podría decirse que primero damos forma a nuestros edificios y después nuestros edificios dan forma a nuestra música, ya que la arquitectura configura espacios acústicos con características propias e irrepetibles.

También podemos hablar de *oir* la arquitectura, aunque para la gente dotada del sentido de la vista, la percepción acústica de la arquitectura ocupe un lugar muy secundario frente al de la percepción visual. No obstante, cuando una persona pierde el sentido de la vista, el sentido del oído se va volviendo cada vez más sensible, hasta el punto de llegar a ser posible desplazarse con sólo oír el eco de los pasos rebotado en los edificios. Así, los murciélagos localizan a sus presas emitiendo unos sonidos muy agudos que se reflejan sobre los objetos; análogamente, los ciegos se orientan por el sonido de su bastón o por las reflexiones de sus propios pasos. Un buen ejercicio para los que gozamos del sentido de la vista consiste en pasearse con los ojos cerrados a lo largo de unos soportales o de una columnata que tenga unos pilares muy macizos y escuchar cómo *pasan* los pilares; de esta manera podremos *oir* la arquitectura [5.1].

El sonido es aire en movimiento; es una sucesión de ondas de presión a través del aire. El movimiento real de los átomos en el aire es bastante pequeño; para un sonido cuya

frecuencia es de 256 hertzios (Hz), un do mayor en el piano, los átomos en el aire vibran sobre una distancia de sólo una décima de milímetro, aproximadamente. Pero, por ser tan grande el número de átomos, podemos decir que en el sonido existe una energía cinética. Si se quiere detener el sonido, será preciso absorber esa energía, bien sea mediante una masa grande y densa, capaz de absorber el movimiento sin vibrar demasiado a su vez, o bien mediante un material elástico, un absorbente fónico, como un *colchón* de fibra de vidrio suelta.

Desde el punto de vista acústico, llamaremos local reverberante a aquel que tenga superficies muy reflectantes del sonido, como mármol denso pulimentado, baldosa cerámica, mosaico sobre paredes macizas u otras superficies duras y rígidas. Las baldosas vidriadas adheridas a un muro macizo reflejan casi todo el sonido que reciben, aproximadamente el 98 %. Con el tiempo, el sonido va perdiendo energía, a medida que se va reflejando en las superficies, hasta que, gradualmente, acaba por desvanecerse. El tiempo necesario para que esto se produzca se llama tiempo de reverberación. En espacios grandes con superficies duras, este tiempo puede ser de 6 segundos o más.

A la inversa, llamaremos local sordo al que tenga superficies absorbentes del sonido, como pesados cortinajes, gruesas alfombras, muebles tapizados u otras superficies elásticas blandas. Una sala de estar enmoquetada, con muebles tapizados, cortinajes, librerías llenas y otros materiales absorbentes puede llegar a tener un tiempo casi nulo y, por lo general, inferior a medio segundo.

Para estudiar los sonidos de nivel bajo, se efectúan mediciones fónicas científicas en habitaciones especiales, aisladas del ambiente exterior mediante paredes, suelos y techos

macizos convenientemente revestidos. Las superficies interiores de tales **cámaras sordas** o **cámaras anecoicas** se revisten con pequeñas pirámides de goma alveolar o fibra de vidrio. El suelo operativo de una sala de esas características es una red de cables de acero suspendida sobre más pirámides absorbentes. Cualquier sonido que se produzca en tales cámaras es inmediatamente absorbido; el tiempo de reverberación es cero. Si uno permanece durante un cierto tiempo en una cámara sorda, la ausencia absoluta de sonido puede llegar a ser casi alarmante; muy pronto se empiezan a oír los latidos del propio corazón y el pulso nos martillea en la cabeza. En una habitación como esa, un ciego es incapaz de orientarse. Esta experiencia nos sugiere que, incluso los que disponemos del sentido de la vista, podemos usar nuestro oído para percibir el espacio arquitectónico.

Excepción hecha de tales cámaras sordas, todos los espacios reflejan el sonido en una u otra medida. Al aire libre, los troncos de los árboles y las superficies de las rocas reflejan el sonido. El problema con que se enfrentan el arquitecto y el ingeniero acústico es el de proyectar un espacio de características tales que el sonido se refleje de la forma deseada. Hasta cierto punto, el sonido reflejado se comporta de forma parecida a la luz reflejada, de tal manera que el ángulo de incidencia sobre una superficie dura es igual al ángulo de reflexión [5.2]. Pero esto sólo es aplicable a los tonos más altos, con frecuencias superiores a 1.000 Hz.

Además, la superficie que refleja un sonido debe ser, aproximadamente, tres veces mayor que la longitud de la onda a reflejar. La longitud de onda de un sonido dado, λ (*lambda*), es directamente proporcional a la velocidad del sonido en el medio transmisor, v (en el aire, a 0 °C y al nivel del mar, es de, aproximadamente, 343 m/s; o 1.125 pies/s, a 68 °F), e inversamente proporcional a la frecuencia, f . El valor de la longitud de onda se determina fácilmente por la fórmula:

$$\lambda = v/f$$

Para el do mayor, a 256 Hz, la longitud de onda es de 1,3 metros (4 pies y 5 pulgadas), aproximadamente, y la superficie reflectante debe estar alejada 4 metros (13 pies), como

mínimo. Para el do una octava más bajo, la superficie reflectante debe estar, como mínimo, a 7,9 metros (26 pies), y para el do de la octava más baja del piano, a 32 Hz, se precisan 32,0 metros (105 pies) de distancia. Un tono dos octavas más alto que el do mayor, a 1.024 Hz, tiene una longitud de onda de unos 0,34 metros (1 pie y 3/4 de pulgada) y para que una superficie refleje esta frecuencia bastará con que esté situada a 1,0 m (3 pies y 6 pulgadas) de distancia.

En consecuencia, los modelos ópticos empleados para estudiar cómo se refleja el sonido sólo funcionan para tonos dos octavas más altos que el do mayor, una franja muy alta sólo ocupada por las flautas, los violines y los flautines. Para construir tales modelos pueden emplearse pequeños segmentos de muro realizado con espejos, con haces de luz muy estrechos que simulen la fuente de sonido. Para estudiar las reflexiones de sonidos de frecuencias inferiores a 1.000 Hz pueden hacerse rebotar señales radioeléctricas en los modelos o bien tocar sonidos electrónicamente, elevando la velocidad proporcionalmente al tamaño del modelo. Como se ve, se trata de experimentos caros, aunque nunca tanto como reconstruir completamente una sala de conciertos, tal y como ocurrió en el caso del Avery Fisher de Nueva York [4.31].

El oído humano no es tan sensible como el del perro o el murciélago a los sonidos de la franja de frecuencias altas del espectro, pero aún así puede llegar a distinguir diferencias mínimas en la llegada de distintos sonidos. Un observador que emita un sonido breve ante un obstáculo rígido percibirá el sonido por segunda vez al cabo de un tiempo igual al que invierte el sonido en recorrer dos veces la distancia entre el observador y el obstáculo. Este segundo sonido, percibido después del primero, constituye el **eco**. El eco es una forma concreta de reflexión. Para que el segundo sonido sea percibido distin-



5.2. Diagrama en el que se muestra la reflexión de las ondas de sonido y cómo las superficies curvas dispersan o concentran el sonido reflejado.

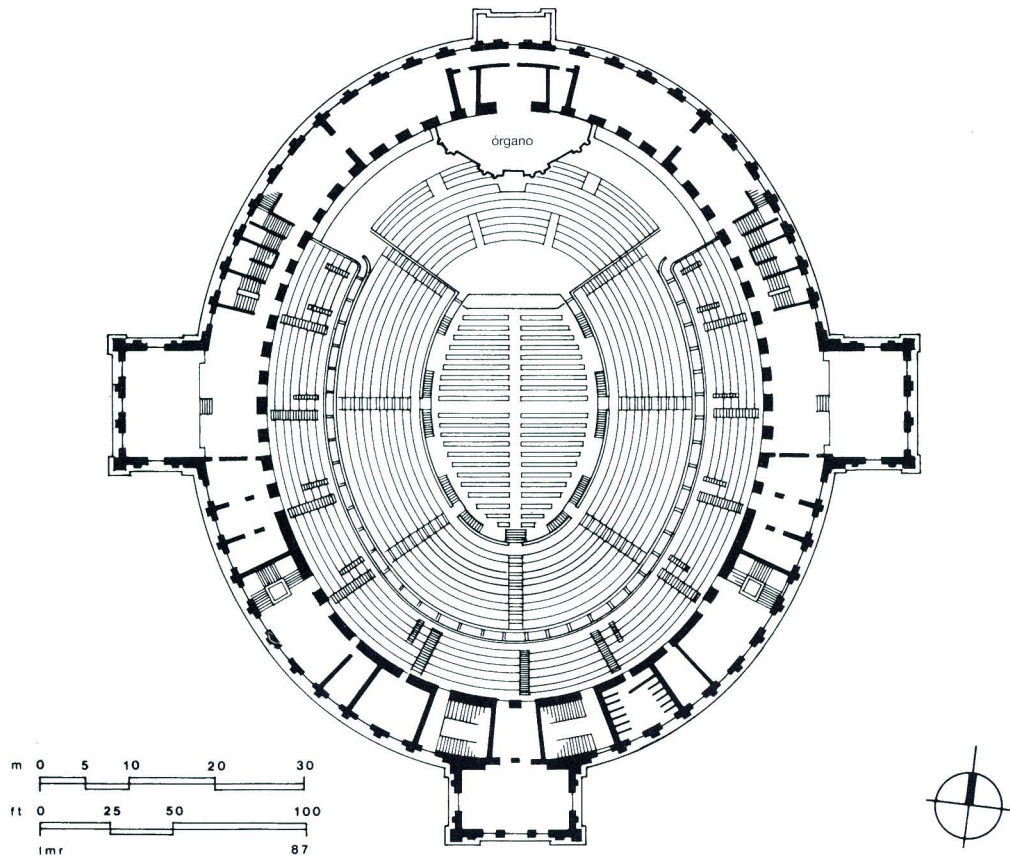
tamente, es preciso que entre ambos medie un intervalo de tiempo de una décima de segundo; dado que el sonido recorre 34 metros (111 pies) en ese tiempo, el observador sólo podrá distinguir el eco del sonido directo, o *eco simple*, si se halla, por lo menos, a 17 metros (55 pies) del obstáculo. A distancias menores, el eco, llamado en este caso **eco flotante**, no se distinguirá del sonido directo. Es lo que sucede en una habitación pequeña con paredes paralelas de superficie dura, en la que la conversación va rebotando de un lado a otro provocando un sonido semejante a un zumbido. Tratándose de distancias mayores, el eco consistirá en la repetición de varios sonidos sucesivos y si existieran varios obstáculos a diferentes distancias se originaría un eco doble, triple, etc. Para evitar este fenómeno, además de revestir la pared con un material absorbente, existe la solución de evitar las paredes paralelas. En el pequeño auditorio de la biblioteca del colegio benedictino de Mount Angel, en Oregón [21.36], Alvar Aalto empleó esta solución, con la adición de un material fonoabsorbente en la parte trasera de la sala para evitar que el sonido reflejado volviera al escenario.

Desde el renacimiento, con el progresivo aumento del número de teatros y auditorios cerrados, los arquitectos han proyectado, cada vez más, auditorios con techos abovedados. Las formas curvas son aceptables *siempre y cuando estén situadas a una altura suficiente sobre la fuente de sonido*, aunque con demasiada frecuencia el foco de la curva de la cúpula está demasiado cerca de dicha fuente de sonido y se crean excesivas concentraciones de sonido en los llamados, acústicamente “puntos críticos”. Las cúpulas son particularmente problemáticas, ya que concentran el sonido en un único foco y, por tanto, no lo distribuyen uniformemente. Surge un problema similar cuando la pared trasera es curva, pues el sonido procedente del escenario se concentra hacia la parte frontal de la audiencia. Un ejemplo clásico de edificio en el que acústicamente se hizo todo al revés es el espacioso Royal Albert Hall de Londres (1867-1871), proyectado por el capitán Francis Fowke y el arquitecto George Gilbert Scott [5.3, 5.4]. El edificio, de planta ovalada, está cubierto por una cúpula elipsoidal de 56,4 por 66,8 metros (185 por 219 pies), de manera que hay superficies cur-

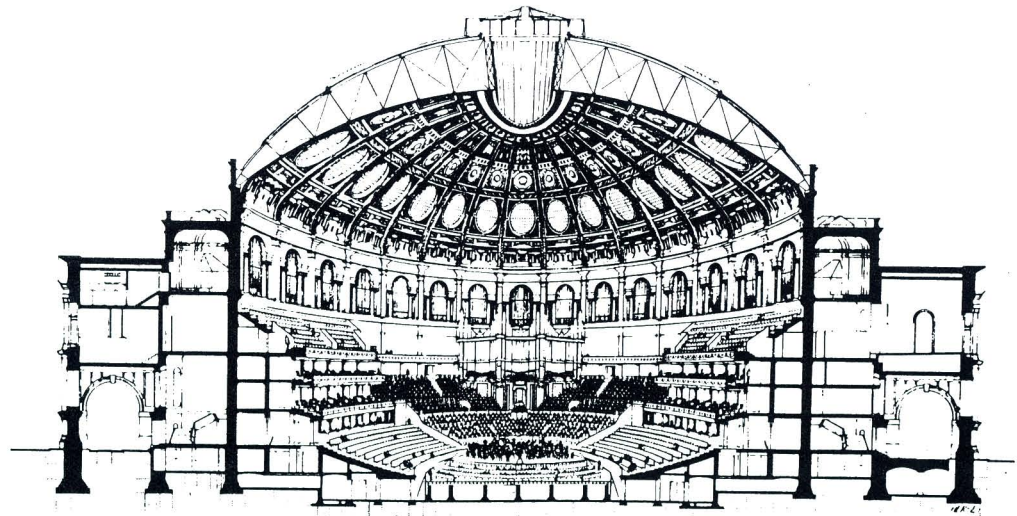
vas tanto en la planta como en el techo cubierto. Como resultado de la infausta combinación de curvas y tamaño, en muchas zonas del auditorio la audiencia recibía con claridad los sonidos reflejados un quinto de segundo después de ser emitidos; como puede verse, muy por encima del límite de los ecos. La solución adoptada fue la de colgar unos pesados cortinajes para absorber la mayor parte del sonido que anteriormente reflejaba la cúpula.¹

El arquitecto que proyecta un auditorio se enfrenta al problema de encontrar la óptima satisfacción de numerosos requerimientos. Debe disponer buenos ángulos visuales sobre el escenario y unas condiciones acústicas que propicien una adecuada y uniforme dispersión de las reflexiones iniciales para todas las frecuencias del espectro acústico, así como un desvanecimiento uniforme del sonido durante el tiempo de reverberación. El tiempo de reverberación es el más delicado, pues el tiempo óptimo dependerá de la actividad que se desarrolle en la sala. Para una sala de conferencias o un teatro es de vital importancia que no se superpongan las sílabas y que las palabras puedan distinguirse claramente unas de otras; por lo tanto, las reflexiones de las palabras deben desvanecerse rápidamente, por lo cual, se considera el tiempo de reverberación de un segundo como el máximo admisible. Para escuchar la música de pequeños conjuntos, como grupos de jazz u orquestas de cámara, es deseable un tiempo de reverberación algo mayor, tal vez de uno y medio segundos, para que se pueda oír claramente cada nota emitida por cada uno de los instrumentos. Para la música coral de iglesia, la música sinfónica del siglo XIX o la música romántica para gran orquesta, es deseable un tiempo de reverberación de dos a dos y medio segundos. Por lo tanto, la ópera, un género en que se entremezclan la música y la palabra, requerirá un tiempo de reverberación de alrededor de uno y tres cuartos segundos.

Antiguamente, o mejor dicho, hasta principios de este siglo, el problema residía en que no había forma de anticipar qué tiempo de reverberación iba a tener una sala concreta; como mucho, se sabía que las salas pequeñas tenían tiempos de reverberación más cortos que las de mayor tamaño.



5.3. Capitán Francis Fowke en colaboración con el arquitecto George Gilbert Scott, Royal Albert Hall, Londres, 1867-1871. Planta. Debido a su tamaño y a sus paredes y techo curvos, este edificio resultó un auténtico desastre acústico.

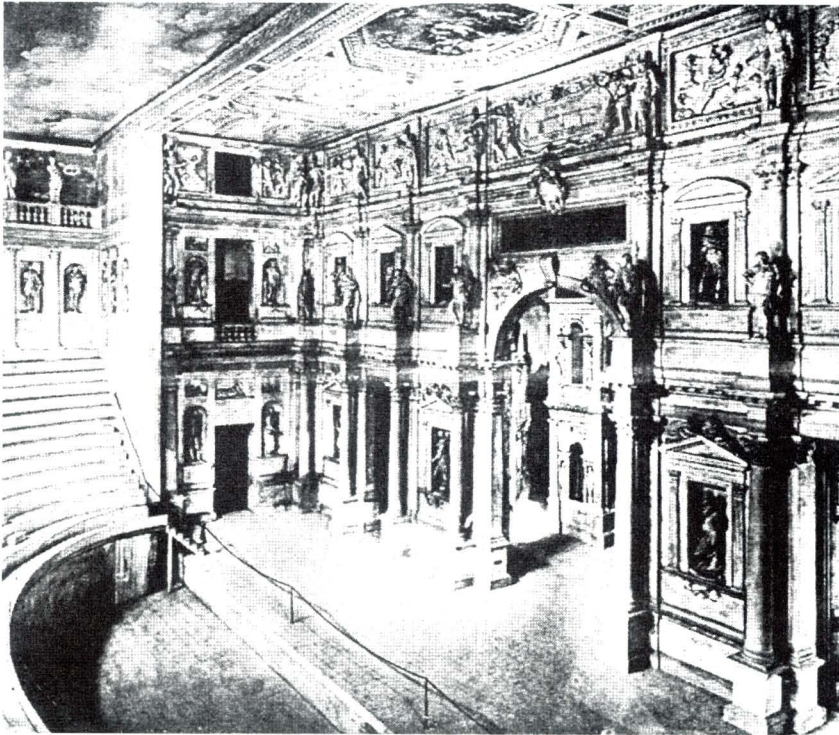


5.4. Royal Albert Hall, Londres. Sección.

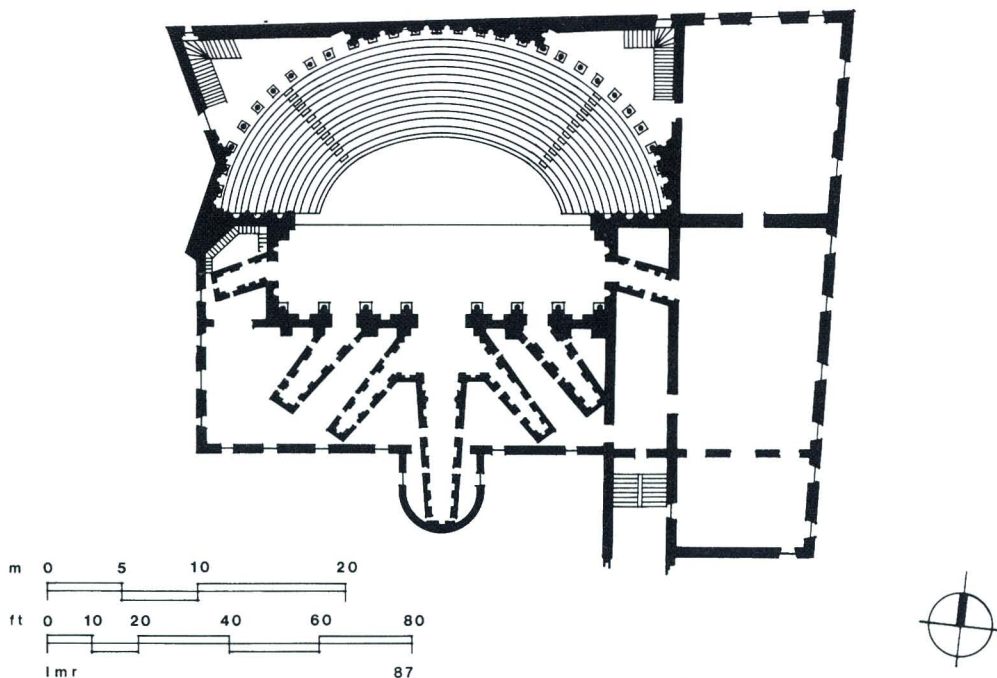
Por supuesto, el tiempo de reverberación no empezó a constituir problema hasta el renacimiento, ya que los teatros de la antigüedad eran al aire libre. Los anillos semicirculares de asientos concéntricos de tales teatros, como el teatro griego de Epidauro, erigido hacia el 340-300 a. de C., posiblemente por el escultor Policleto el Joven, reflejaba el sonido hacia el centro del círculo de la orquesta, pero, debido a la inclinación de las gradas de asientos, las reflexiones se perdían hacia arriba en el aire. De cualquier forma, las treinta y cuatro mil piernas envueltas en túnicas (el teatro tenía una cabida de diecisiete mil personas) debían de suministrar una absorción del sonido suficientemente buena. Los romanos modificaron algo la forma del teatro griego, utilizando un semicírculo estricto (el teatro griego abarcaba un arco de unos 200°) y construyendo un gran telón de fondo (*scenae frons*) permanente detrás de la escena, con una decoración fija [12.20]. A diferencia de los griegos, que aprovecharon la topografía del lugar para construir sus teatros, los romanos so-

lían construirlos en terreno llano, escalonando las gradas sobre bóvedas de cañón sostenidas por robustas arcadas. Sin embargo, el bien conservado teatro de Aspendos, en la actual Turquía, erigido hacia el 155 d. de C. por Zenón de Teodoro, está construido en la falda de una colina, con una capacidad para siete mil personas. El teatro romano –y también el *anfiteatro*, cuya forma era como dos teatros unidos frente a frente (excepto la escena)– se cubría a menudo con un *velarium*, o velario, que era una gran tela que se extendía por encima de los espectadores para ponerlos al abrigo del sol y la lluvia.

Con la supresión de las representaciones teatrales por parte de la iglesia medieval se detuvo consiguientemente la construcción de teatros. Durante el renacimiento, con el auge del interés por la literatura clásica, surgió nuevamente la necesidad de este tipo de edificio. Los humanistas de los círculos venecianos gustaban de montar representaciones de obras del teatro griego y necesitaban un edificio adecuado para ese fin. En

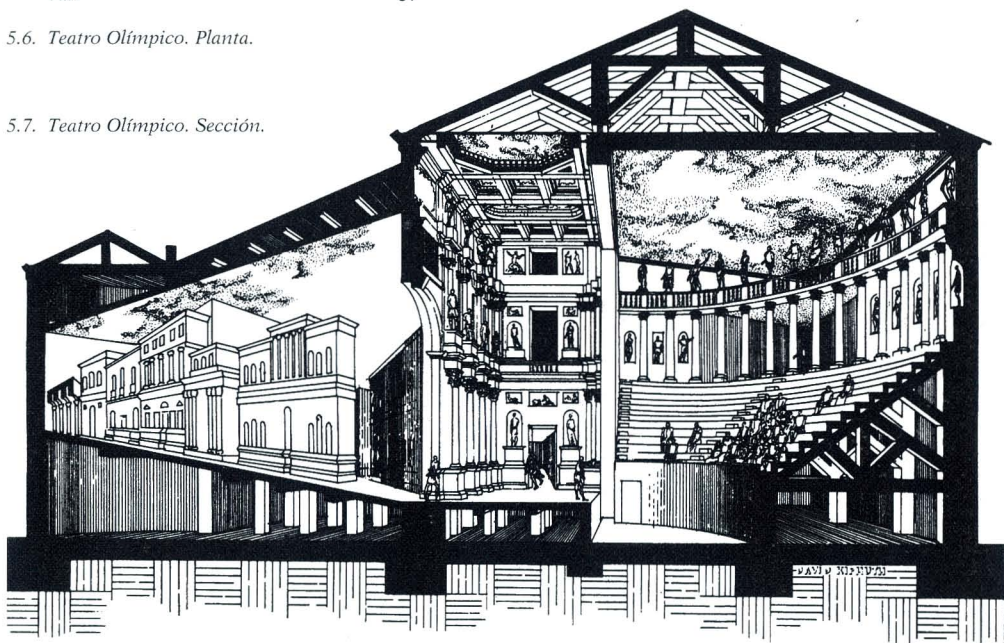


5.5. Andrea Palladio, Teatro Olímpico, Vicenza (Italia), 1580-1584. Interior. El teatro de Palladio fue construido para representar obras del teatro clásico griego y, por tanto, fue proyectado según los modelos clásicos. Es como un pequeño teatro romano, pero cubierto.



5.6. Teatro Olímpico. Planta.

5.7. Teatro Olímpico. Sección.



1580, en Vicenza, una ciudad próxima a Venecia, un grupo de entusiastas encargó a Palladio los planos para un Teatro Olímpico, a modo de reproducción de un teatro clásico [5.5, 5.6, 5.7]. De hecho, se trataba de un edificio mucho más pequeño que un teatro griego, de sólo 750 localidades, y de carácter más romano que griego, pero proporciona

ba el ambiente idóneo. Gracias a su reducida dimensión, Palladio pudo cubrir el teatro con una sencilla estructura de armaduras de cubierta, consiguiendo así un volumen cerrado. De este modo fue como, de repente, el tiempo de reverberación pasó a ocupar un lugar destacado entre los condicionamientos de proyecto.

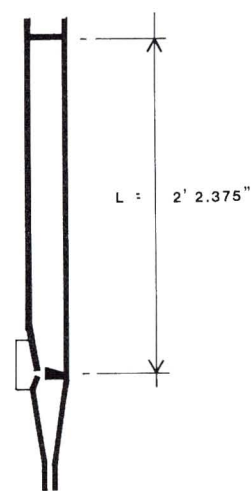
A partir de la caída del Imperio Romano, el tiempo de reverberación pasó literalmente a conformar el desarrollo de la música sacra occidental. Cuando las primeras iglesias cristianas adoptaron la forma de la basílica romana tuvieron que acoplarse a unos edificios de gran volumen interior, con paramentos duros de piedra y tiempos de reverberación muy largos. En ellos resultaba sencillamente imposible predicar la palabra de Dios, pues las palabras resonaban seis y hasta ocho segundos después de haberlas pronunciado, y las superposiciones de unas con otras convertían el sermón en un ruido casi ininteligible.

La solución adoptada fue la de cantar la liturgia y, poco a poco, por tanteo, se fueron descubriendo algunas claves rudimentarias de la acústica. Virtualmente, cada volumen cerrado tiene una frecuencia de resonancia propia. En el caso del tubo largo y cerrado de un órgano, la frecuencia de resonancia es el doble de la longitud del tubo; en la figura 5.8, para un tono de do mayor con una longitud de onda de 1,3 metros (4 pies y 5 pulgadas), la longitud del tubo es aproximadamente de 0,7 metros (2 pies y 2,4 pulgadas). Las basílicas alargadas y estrechas funcionaban, en cierto modo, como tubos de órgano.² Así, la iglesia de San Apollinare in Classe, en Rávena (Italia), construida entre 530 y 549, con una longitud de 112,8 metros (370 pies), tiene una

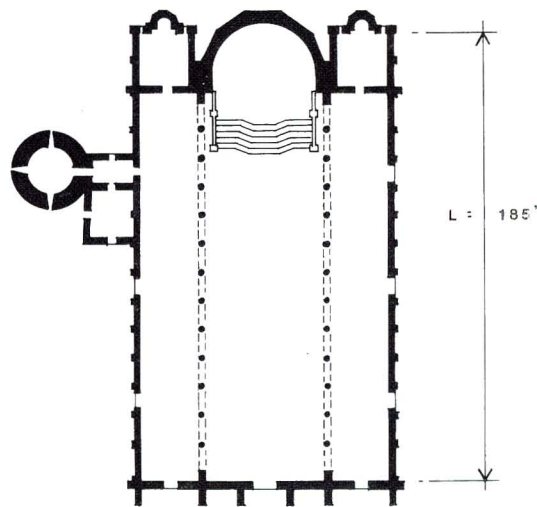
frecuencia de resonancia de 3,0405 Hz. Los tonos musicales no sólo consisten en la nota básica, sino también en una serie de armónicos ascendentes, y el armónico superior de esta frecuencia extremadamente baja está cerca del fa y debajo del do mayor. El acorde siguiente a do es la, lo que significaba que si el sacerdote cantaba la liturgia usando intervalos armónicos en torno a la, el aire contenido en el gran volumen de tales basílicas se ponía a vibrar muy pronto según sus frecuencias de resonancia más altas, y el propio edificio hacía de transmisor del mensaje a los fieles. Así fue como nació el canto gregoriano.

A finales del periodo renacentista se produjo un desarrollo musical particular que merece una atención especial, porque representa un caso claro de cómo un edificio puede configurar una música. La planta de la iglesia de los duques de Venecia, conocida como San Marcos de Venecia, no tenía la forma tradicional de cruz latina (en T), sino la bizantina de cruz griega, con cuatro brazos iguales y cinco cúpulas, una sobre cada brazo y otra central. Además, sus superficies interiores estaban revestidas de mosaico dorado, una superficie dura y de características altamente reflectantes [13.24]. Como en cada uno de los brazos de la iglesia hay unas galerías superiores apoyadas sobre columnas, durante el siglo xvi, los directores

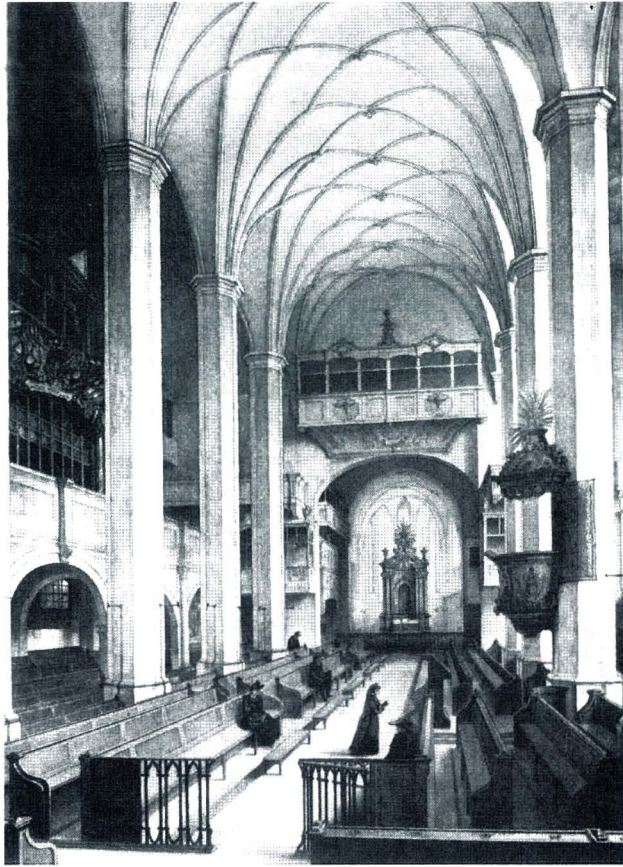
5.8. Diagrama comparativo entre la forma de un tubo cerrado de órgano y la larga planta de la basílica de San Apollinare in Classe, en Rávena (Italia), construida entre 530 y 549.



$\lambda = 4' 4.75''$
 $f = 256 \text{ Hz}$



$\lambda = 370'$
 $f = 3.0405 \text{ Hz}$



5.9. Iglesia de Santo Tomás (Thomaskirche), Leipzig (Alemania). Interior. Este grabado de O. Kutschera muestra la iglesia tal como debió ser en la época en que Johann Sebastian Bach actuaba como organista y director del coro de la misma.

del coro de San Marcos, y especialmente Giovanni Gabrieli, desarrollaron una práctica típicamente veneciana llamada de los *cori bantenti*, consistente en utilizar varios coros y varios conjuntos instrumentales en las distintas galerías, tocando antifonalmente y estableciendo un diálogo musical que iba saltando de una a otra parte de la iglesia. Con esta técnica, llegaron a tocar simultáneamente hasta cuatro grupos. Esta práctica también fue adoptada por algunos compositores alemanes, como Heinrich Schütz, en Múnich, y Johann Sebastian Bach, en Leipzig. El volumen de San Marcos es considerable y el tiempo de reverberación actual es de unos 6 o 7 segundos, aunque las tapicerías que hay colgadas probablemente hayan acortado el tiempo de reverberación que tenía en la época de Gabrieli. Aún así, la música de Gabrieli se desarrolla a ritmo pausado, evitando los pasajes de notas rápidas que, de otra manera, se *amontonarían* unas sobre otras.

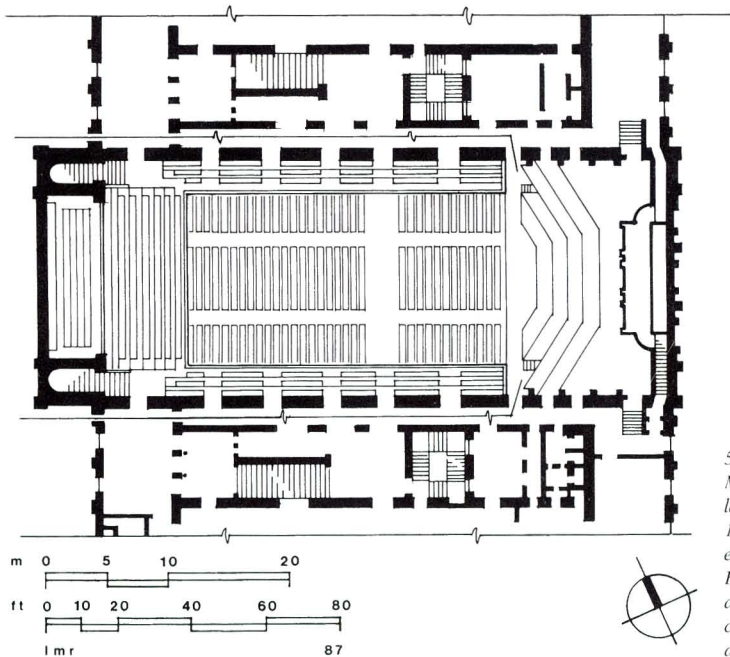
Por la misma época, las nobles familias de las ciudades-estado italianas reunían grupos de cámara privados para que tocaran música profana en sus casas. Dado que la interpretación de esas músicas y danzas profanas se realizaba en salas de tamaño mucho más reducido, o incluso al aire libre, los ritmos y pasajes podían ser también mucho más rápidos, sin peligro de atropellamiento de unas notas sobre otras. Tal fue el ambiente en que se desarrolló la música de la corte francesa de Versalles, escrita por el subintendente de música de Luis XIV, Jean-Baptiste Lully.

Hacia el año 1500 la música sacra del norte de Europa empezó a experimentar un cambio, en parte como resultado de su adaptación a iglesias de menor tamaño, en parte por los cambios introducidos por Martín Lutero en la reforma de la Iglesia, con la consiguiente Reforma Protestante, y en parte también por el perfeccionamiento en el desarrollo del órgano. El resultado fue un cuer-

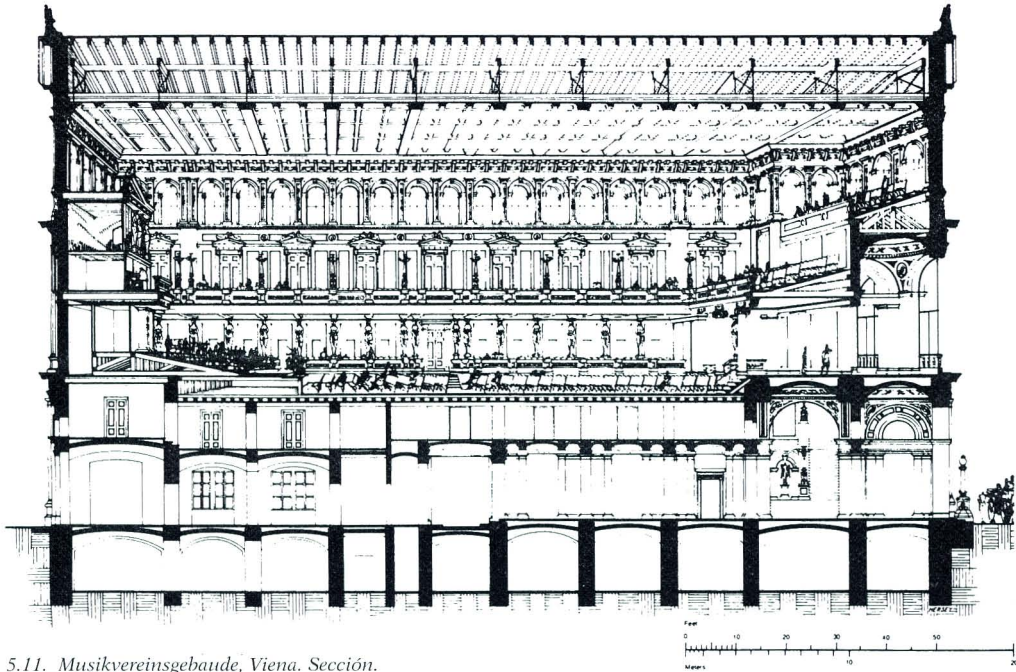
po unitario de música sacra y música de órgano que, en muchos aspectos, todavía no ha sido superado, especialmente la música de Bach de los albores del siglo XVIII. El propio Bach adaptó su música a las condiciones acústicas de los lugares en que trabajó. Su conocidísima *Toccat y fuga en re menor* fue escrita hacia 1708 para la pequeña capilla del castillo del duque Wilhelm Ernst de Sajonia-Weimar. Cuando fue llamado a Köthen para dirigir la orquesta del príncipe Leopoldo de Anhalt, escribió los arpeggios de los *Conciertos de Brandenburgo*, que debían interpretarse en la pequeña sala de música que allí había. Cuando se desplazó a Leipzig para ocupar el cargo de cantor de la iglesia de Santo Tomás, de tamaño mucho mayor, inició su programa de cantatas para el calendario del año religioso de la iglesia [5.9].³ Cuando, entre 1730 y 1731, el Collegium Musicum cerró sus puertas durante un año con motivo de su restauración, Bach centró su atención en obras instrumentales profanas, destinadas a ser tocadas públicamente en el café de Zimmermann. Hacia la época en que murió Bach, en 1750, se había establecido en Leipzig un conjunto orquestal para tocar conciertos públicos en una gran sala, en el Gewandhaus (Mercado de Paños). Para 1835, bajo la dirección de Felix Mendelssohn, ese conjunto se convirtió en

una orquesta sinfónica importante. Pero en Viena, donde Ludwig van Beethoven estaba escribiendo sus memorables sinfonías, no existía ni una orquesta para interpretarlas adecuadamente, ni tan siquiera una sala de conciertos donde tocarlas. Cuando en la Viena de la época había que tocar piezas orquestales importantes, se habilitaban los teatros u otros locales que no estaban concebidos para uso específicamente sinfónico, como la gran sala de baile rectangular de la Redoutensaal, en la residencia imperial austriaca. Hasta bien avanzado el siglo XIX, cuando se organizó oficialmente la orquesta filarmónica de la ciudad, Viena no pudo contar con un edificio erigido para ese uso concreto, el cual acabó finalmente construyéndose en 1867-1870 [5.10, 5.11]. Esta sala de conciertos, la Musikvereinsgebaude, fue proyectada por Theophil von Hansen según el modelo de la Redoutensaal. La Musikvereinsgebaude funcionó tan bien que sirvió, a su vez, como modelo para el nuevo edificio de la orquesta del Gewandhaus en Leipzig, construido entre 1882 y 1884 por Martin Gropius y Heinrich Schmeiden.

Entretanto, el tamaño de los teatros de la ópera construidos durante el siglo XIX iba aumentando, basándose en modelos extraídos de los teatros del siglo XVIII. A menudo, los



5.10. Theophil von Hansen, Musikvereinsgebaude (edificio de la Sociedad Filarmónica), Viena, 1867-1870. Planta. Proyectada especialmente para la Orquesta Filarmónica de la ciudad, esta sala de conciertos rectangular sirvió como modelo para muchos otros auditorios.

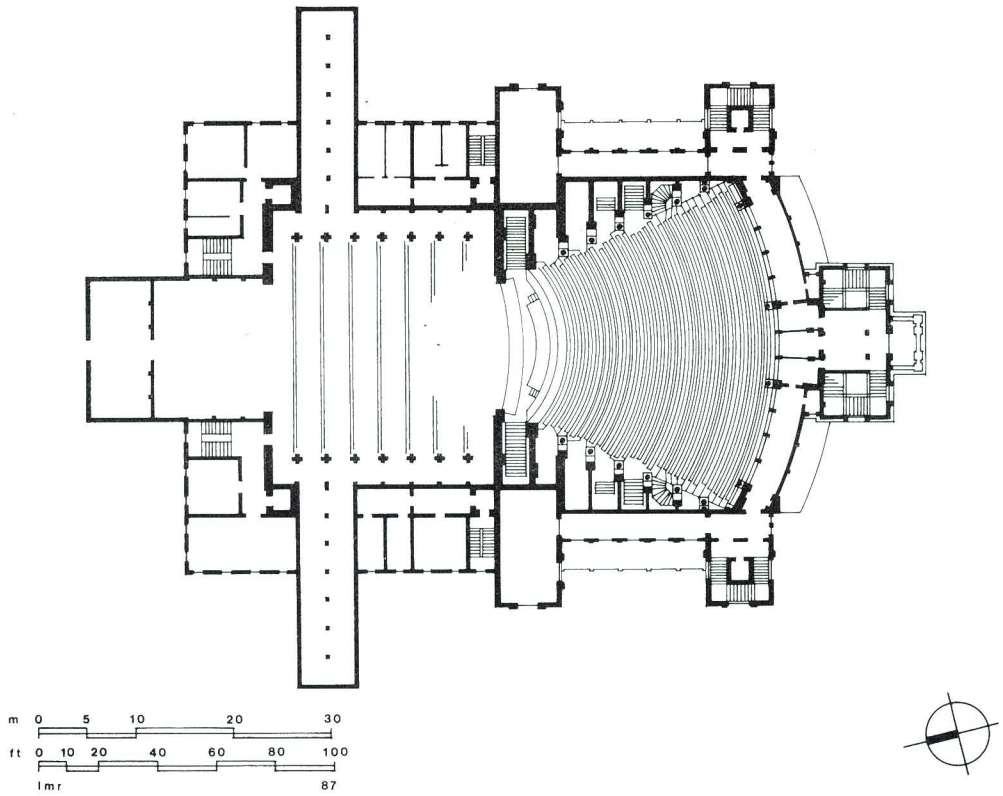


5.11. Musikvereinsgebäude, Viena. Sección.

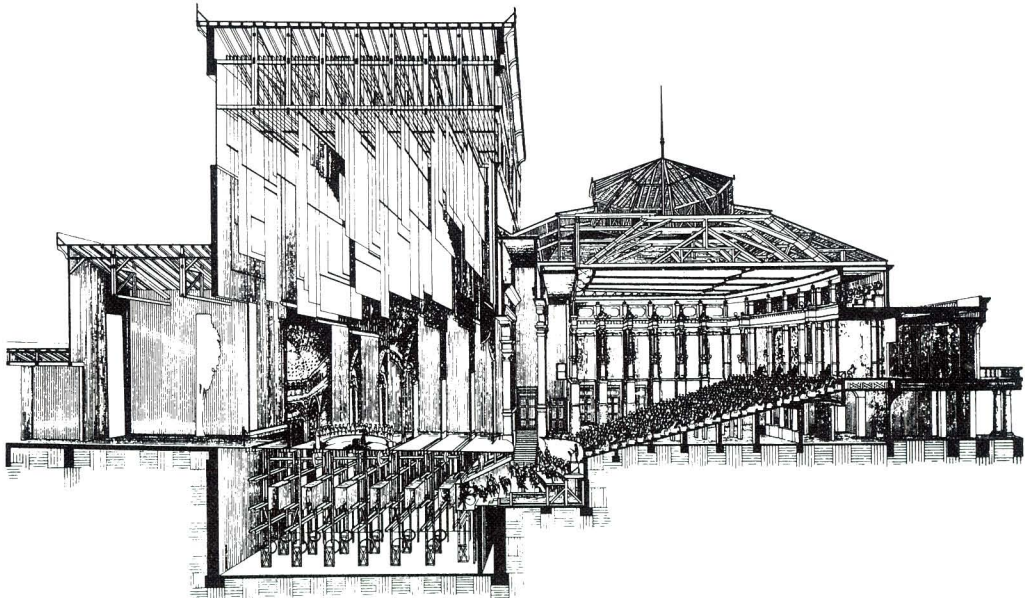
ángulos visuales no eran buenos, la acústica sólo regular y las instalaciones del escenario estaban demasiado apretujadas. Hacia la década de 1840, con ocasión de dirigir sus primeras óperas en diversos teatros de la ópera de toda Europa, Richard Wagner pudo constatar que ninguno de ellos podía proporcionarle los medios e instalaciones que requería el ciclo de ópera que estaba componiendo: la cuarta parte de *El anillo de los nibelungos*. Su única alternativa era crear un tipo nuevo de teatro de la ópera que se acomodase a la música que estaba componiendo. Obtuvo el mecenazgo de Luis II de Baviera, quien le proporcionó el emplazamiento y los fondos necesarios para erigir su nuevo teatro de la ópera en Bayreuth, entre 1872 y 1876 se construyó el Festspielhaus (Teatro del Festival), a partir de bocetos del propio Wagner y del proyecto de los arquitectos Otto Brückwald y Carl Brandt [5.12, 5.13]. El teatro de Bayreuth sirvió como modelo de inspiración para otro aún mayor, el Auditorium de Chicago (1887-1889), de Adler & Sullivan, cuya magnífica acústica hay que atribuirla al excelente trabajo desarrollado por el ingeniero y arquitecto Dankmar Adler.

El éxito de Wagner y el logrado por Adler en el Auditorium fueron el resultado de una

cuidadosa observación y una informada intuición. El primer edificio cuyo rendimiento acústico se calculó de antemano fue el Boston Symphony Hall. Los primeros pasos para la construcción del Boston Symphony Hall los dieron, entre 1892 y 1894, Henry Lee Higginson, el mecenas principal de la orquesta, y el gabinete de arquitectura de McKim, Mead & White, pero una depresión económica frenó temporalmente el proyecto. Este hecho resultó ser providencial, ya que, en 1898, Wallace Sabine, un joven físico que trabajaba en Harvard, recibió el encargo de investigar los diversos problemas acústicos que sufrían varias salas de actos de la universidad. Sabine desarrolló varias fórmulas matemáticas para definir el rendimiento acústico y realizó diversos experimentos para comprobar las salas problemáticas. Lo más difícil era conseguir una fórmula para computar el tiempo de reverberación. Hasta que a Sabine se le ocurrió que si bien el tiempo de reverberación era claramente proporcional al volumen de la sala, también tenía que ser inversamente proporcional a la capacidad de la sala para absorber el sonido. Entonces, se determinó esta capacidad de absorción para todos los materiales presentes en las superficies de la sala y se realizaron más experimentos para hallar las capacidades de ab-



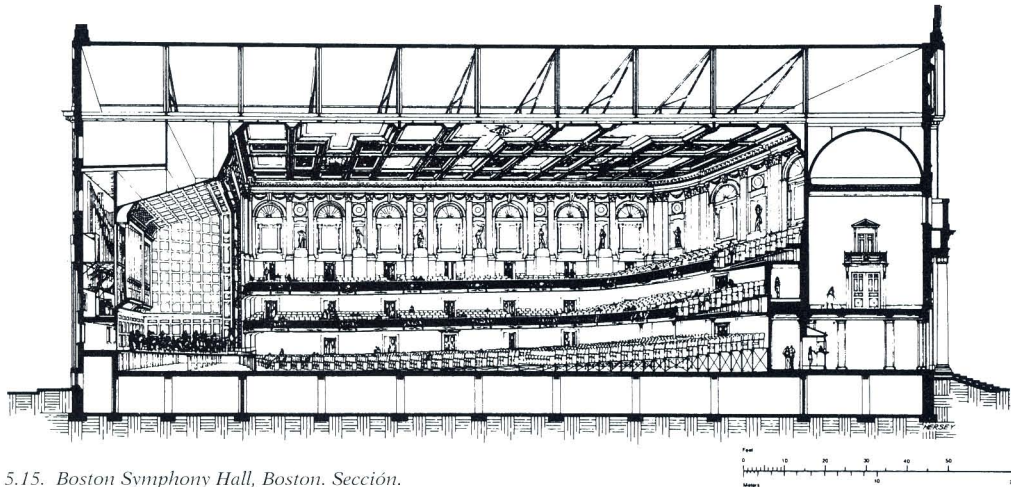
5.12. Otto Brückwald y Carl Brandt, *Festspielhaus (Teatro del Festival)*, Bayreuth (Alemania), 1872-1876. Planta. Este teatro de la ópera, diseñado siguiendo las instrucciones del compositor Richard Wagner, estaba pensado específicamente para intensificar la experiencia vital de la ópera.



5.13. *Festspielhaus (Teatro del Festival)*, Bayreuth. Sección.



5.14. McKim, Mead & White, Boston Symphony Hall, Boston, 1892-1900. Exterior. Aunque basado en el Musikvereinsgebäude de Viena y en el Gewandhaus de Leipzig, este proyecto fue reajustado de acuerdo con los cálculos acústicos realizados por el ingeniero Wallace Sabine, convirtiéndose así en el primer edificio proyectado basándose en criterios de la nueva disciplina acústica.



5.15. Boston Symphony Hall, Boston. Sección.

sorción de otros materiales. La casualidad quiso que, justo cuando Sabine acababa de concluir sus investigaciones, en 1899, se pidiera a McKim, Mead & White que prepararan el proyecto de ejecución para el Boston Symphony Hall. Siguiendo las instrucciones de Higginson, los arquitectos habían usado como modelo el nuevo Gewandhaus de Leipzig, aunque ampliado en un 50 % [5.14, 5.15]. Entonces, McKim, Mead & White entregaron el proyecto a Sabine para que lo examinara. Sabine calculó que, introduciendo ciertas modificaciones

en el tratamiento de las superficies, el tiempo de reverberación sería de 2,51 segundos, sólo una centésima de segundo más largo que el de la antigua sala de conciertos de Boston. Cuando se celebró el concierto inaugural en 1900, se pudo comprobar que Sabine había acertado; se había establecido una nueva base científica para el diseño acústico.⁴

Pese a ello, la ingeniería acústica, en especial en el proyecto de teatros de la ópera y de salones sinfónicos, dista mucho de ser una ciencia exacta, como queda patente en los

costosos errores de proyecto cometidos en el edificio de la Metropolitan Opera de Nueva York (1960-1962) por W. K. Harrison y M. Abramovitz, con la colaboración de la firma de ingeniería acústica Bolt, Beranek & Newman (este asunto ya se estudió en el capítulo 4, al tratar el tema del ornamento). Afortunadamente, y gozando de los fondos suficientes, Philip Johnson y Cyril M. Harris pudieron enmendar tales errores y crear un espacio acústicamente soberbio. Hay que destacar que el Avery Fisher Hall (como fue rebautizado el edificio de la Metropolitan Opera) guarda un estrecho parecido en volumen y forma con el Boston Symphony Hall.

Las salas de conciertos que más éxito han tenido durante los últimos años son precisamente aquellas que han sido concebidas por sus arquitectos como los mayores instrumentos del conjunto orquestal. Al describir su propuesta de auditorio para el Teatro de Arte Dramático en Fort Wayne (Indiana), proyectado en 1965, Louis Kahn dijo: “Estar en la sala de conciertos es como vivir en el violín. La propia sala es un instrumento”.⁵ Hans Scharoun también concibió así su nue-

va sala de conciertos para la Orquesta Filarmónica de Berlín, la Philharmonie, (1956-1963) [21.15, 21.16, 21.17, 21.18]. En ella, el auditorio rodea a los músicos; forman parte de un cuerpo unificado en una experiencia musical, porque, como escribió el propio Scharoun, “La música en el centro, esta es la sencilla idea que determinó la sala de conciertos”.⁶ Y, como resultado de esto, los angulosos palcos, al igual que las convexas curvas del techo, reflejan y dispersan el sonido, creando en el auditorio la sensación íntima de estar participando con la orquesta.

La arquitectura afecta a todos nuestros sentidos, y no sólo a la vista. La percepción de la arquitectura, pues, es una actividad que implica a todo el cuerpo: sentir en la piel el calor del sol al amparo de un patio soleado, o las refrescantes sombras de la arcada que lo rodea, escudriñar el ritmo y la escala de una fachada, escuchar el volumen de una habitación, sentir la dureza de la piedra, la suavidad de los azulejos, oler el aroma del seto de boj que bordea un jardín, probar el frescor del agua de una fuente. Todo eso es arquitectura.

NOTAS

1. La renovación acústica realizada en 1971 por los arquitectos Ronald Ward and Partners y el asesor acústico Kenneth Shearer, mejoró significativamente el rendimiento acústico del Royal Albert Hall.

2. Existen opiniones disidentes sobre si unos espacios tan complicados, con naves laterales, pueden ser comparados con tubos de órgano.

3. Hope Bagenal sostiene que, en la época de Bach, la iglesia de Santo Tomás estaba revestida con un empanelado de madera que reducía considerablemente su tiempo de reverberación, de tal manera que las primeras piezas de órgano del maestro sonaban igualmente bien en este último ambiente. Véase Bagenal, Hope, “Bach’s Music and Church Acoustics”, en *Journal, Royal Institute of British Architects* 37, n° 5, 11 de enero de 1930, pp. 154-163. Véase también Bagenal, Hope, *Planning for Good Acoustics*, Londres, 1931.

4. Véase el estudio sobre el Boston Symphony Hall en Roth, Leland M., *McKim, Mead & White, Architects*, Nueva York, 1983, pp. 223-227.

5. Kahn, Louis I., “Remarks”, en *Perspecta*, n° 9-10, 1965, p. 318.

6. Scharoun, Hans, *Akademie der Kunst*, Berlín, 1967, p. 95.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

Bagenal, Hope, y Alexander Wood, *Planning for Good Acoustics*, Londres, 1931.

Beranek, Leo L., *Acoustics*, Nueva York, 1954.

Doelle, Leslie L., *Environmental Acoustics*, Nueva York, 1972.

Egan, M. David, *Architectural Acoustics*, 2ª ed., Nueva York, 1988.

Forsyth, Michael, *Buildings for Music: The Architect, the Musician, and the Listener from the Seventeenth Century to the Present Day*, Cambridge, Massachusetts, 1985.

Izenour, George C., *Theater Design*, Nueva York, 1977.

Lord, Peter, y Templeton, Duncan, *The Architecture of Sound: Designing Places of Assembly*, Londres, 1986.

Sabine, Wallace C., *Collected Papers on Acoustics*, Cambridge, Massachusetts, 1922; Nueva York, 1964.



6.8. Lápida de Hugh Libergier, catedral de Notre-Dame de Reims, Reims (Francia), siglo XIII. La inscripción que festonea los bordes dice lo siguiente: "Aquí yace el maestro Hugh Libergier, quien empezó esta iglesia en el año 1229 y murió en el año 1267". El arquitecto está rodeado de los instrumentos del oficio; con su mano izquierda empuña una vara de medir y con su mano derecha sostiene la maqueta de un edificio.