LA ACÚSTICA EN LAS SALAS DE AUDICIÓN

(CONTINUACIÓN Y FINAL)

Tanteando una fórmula que dé con suficiente exactitud el mismo resultado, se encuentra la siguiente:

$$(a + x)\, t = \mathrm{K}$$

en que x es la longitud de almohada, t el tiempo de reverberación y a y K parámetros. Esta fórmula es la de una hipérbola equilátera, referida a sus asíntotas y con el origen a una distancia a del centro, o punto de intersección de ambas. Una comprobación de la forma hiperbólica de la curva se obtiene tomando como abscisas las longitudes de almohada y como ordenadas, no los tiempos, sino sus inversos: la línea que se obtiene es una recta cuya ordenada en el origen (fig. 2) es 1/5,61 y que, prolongada, corta el eje de las x a una distancia $-a$ del origen. Por consiguiente,

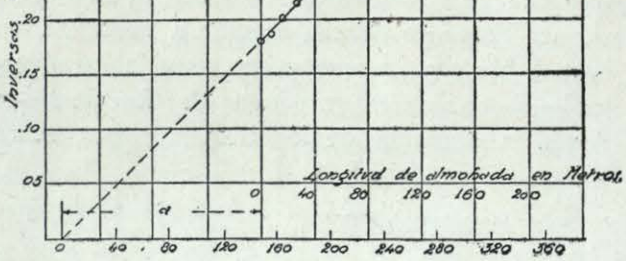

Figura 2.

trasladando el origen a este punto, la ecuación será

$$\frac{1}{t} = (a + x)\, k_1, \text{ o sea } (a + x)\, t = 1/k_1, = k$$

Lo más interesante de estas fórmulas es el parámetro a.

De la estructura de la fórmula resulta que a representa una magnitud análoga a x: interpretando su significación podemos decir que a es *la longitud de almohadillas que hay en la sala antes de llevar ninguna.* Esto parece un disparate, pero es muy claro: a es la longitud de almohadillas a que equivalen, como poder absorbente, las paredes, techo, muebles, etc., que había en el salón al empezar la experiencia. Para que la curva resulte la misma obtenida experimentalmente, el parámetro a ha de tener el valor 146: esto significa, pues, que las paredes, techo, muebles, cristales, etc., de la sala estudiada equivalen, como valor absorbente, a 146 metros lineales de las almohadas empleadas.

Se presentan ahora dos cuestiones igualmente importantes: la primera, expresar el poder absorbente en función de una unidad más constante y universal que el metro lineal de almohadilla de un teatro de Cambridge, y segundo ver cómo se distribuye el total poder absorbente de los materiales que componen la sala.

La primera la resolvió Sabine (después de convencerse de que el poder absorbente de las almohadas variaba proporcionalmente a su área exterior), tomando como unidad el metro cuadrado de ventana abierta. En efecto: las ondas sonoras que, producidas en la sala, llegan a una ventana no encuentran obstáculo, salen por ella y pueden considerarse como desaparecidas sin retornar. En otras palabras: una superficie de ventana abierta absorbe el 100 por 100 de las vibraciones sonoras que a ella llegan. Tomándola por unidad, los valores que representen las capacidades absorbentes de los demás cuerpos serán todos fraccionarios: así al decir que el coeficiente de absorción de un revestimiento de madera es aproximadamente 0,06, quiere decir que un metro cuadrado de ese revestimiento absorbe seis centésimas del sonido que dejaría pasar una ventana abierta de un metro cuadrado, la cual hemos supuesto que deja pasar la totalidad. Más recientemente se ha demostrado que esto último no es absolutamente exacto y que una ventana abierta no deja pasar la totalidad de las vibraciones, siendo la diferencia función de la forma de la ventana, de sus dimensiones absolutas y sobre todo de la longitud de onda del sonido considerado; pero el error es pequeño y para las aplicaciones la unidad resulta suficientemente invariable.

La segunda cuestión, la de ver cómo se distribuye el total poder absorbente entre los distintos materiales de la sala, se plantea del siguiente modo; llamemos s_1 a la superficie de enyesado que hay en ella y a_1 el coeficiente de absorción del enyesado: s_2 y a_2 los respectivos valores para la madera, s_3 y a_3 para el vidrio, etcétera: como el total poder absorbente equivalía a 146 metros de almohadilla y después del cambio de unidad se encontró que estos 146 metros absorbían lo mismo que 75,5 metros ventana abierta se tiene:

$$a_1 s_1 + a_2 s_2 + a_3 s_3 + \ldots = 75{,}5$$

Repitiendo la experiencia en otra sala, el segundo miembro será otro número, y las cantidades de yeso, vidrio, madera, etc., serán también otras; podremos, pues, escribir otra ecuación análoga.—Repitiendo la experiencia en tantas salas distintas como incógnitas a_1, a_2, a_3—haya, tendremos un sistema de ecuaciones que nos permitirá despejarlas. Esta simple operación extendida a la mayoría de materiales de construcción y decoración representa varios años de una labor constante, pero permite formar una tabla de valores de uso inmediato.

Hay objetos que en vez de evaluarlos por área, es más cómodo contar por individuos, por ejemplo, las personas presentes en el local. La concurrencia en una sala resulta ser uno de los factores más importantes en la determinación de la reverberación, pues un hombre aislado en una sala tiene un coeficiente de 0,48, es decir, que equivale 0,48 m.[3] de ventana. Una mujer aislada tiene el coeficiente 0,54: el aumento es debido a la mayor cantidad de ropa del vestido femenino (hay que notar que las experiencias datan de veintiocho años atrás). Cuando las personas están en mayor número y juntas, como el público de un teatro, el coeficiente de absorción por persona es algo menor, 0,44: y por metro cuadrado de superficie ocupada, 0,96.

A continuación, y para que estas notas puedan tener alguna utilidad práctica, presentamos una lista de coeficientes de materiales y objetos usuales: esta lista es la que da el profesor Watson en su obra *Acoustics of Buildings*, New-York, 1923, y por ser de fecha más reciente es más completa que las contenidas en la colección de artículos de Sabine, que hemos citado repetidamente. Hay que observar que los coeficientes por m.[2] de material son independientes del sistema de unidades, porque si se emplean las inglesas, representan de igual manera la relación entre la capacidad de absorción de un pie cuadrado del material dado y un pie cuadrado de ventana abierta. No así los individuales, pues si por persona se cuenta 0,44 m.[2], haciendo los cálculos en unidades inglesas ha de contarse esta superficie puesta en pies, es decir, 4. 7.

He aquí la tabla:

COEFICIENTE POR UNIDAD DE SUPERFICIE

Paredes de ladrillo	0,032
Paredes de ladrillo pintadas	0,017
Paredes de ladrillo duro sentado con cemento Portland	0,025
Hormigón	0,015
Mármol	0,01
Revestimiento de yeso o cal sobre ladrillo	0,025
Revestimiento de yeso sobre enlistonado o encañizado	0,034
Linoleum	0,03
Vidrio corriente	0,027
Revestimiento de madera	0,061
Revestimiento de madera barnizada	0,03
Conglomerados de corcho	0,03
Alfombras (sin forrar)	0,15
Alfombras (forradas)	0,20
Alfombras (con forro muy grueso)	0,25

Estera de coco (con forro)	0,17
Cretona	0,15
Cortinajes de terciopelo delgado	0,23
Cortinajes muy gruesos y plegados ... de	0,5 a 1,00
Cáñamo de 2,5 cms. grueso	0,55
Fieltro de pelo de 2,5 cms. grueso	0,55
Fieltro de pelo de 5 cms	0,70
Boca de escenario (según la decoración) ... de	0,25 a 0,40
Abertura de ventilador	0,50
Ventana abierta	1,00

OBJETOS VARIOS

Concurrencia: por persona	0,44 (1)
Hombre aislado	0,48
Mujer aislada	0,54
Concurrencia: por metro cuadrado	0,96
Asientos tapizados (según material) uno ... de	0,14 a 0,23
Asientos tapizados con borra y piel, asiento y respaldo: uno	0,28
Silla de madera: una	0,0093
Banco de madera: por asiento	0,0186
Plantas decorativas: por metro cúbico aproximadamente	0,11

En las tablas que da Watson figuran algunos materiales de que aquí carecemos y que se fabrican especialmente para disponer de medios con que disminuir la reverberación de una sala sin tener que acudir a las cortinas, alfombras, fieltro o cáñamo, materiales todos de difícil limpieza y por consiguiente poco recomendables higiénicamente. Así tenemos la "Akoustolith", una especie de piedra artificial muy porosa, cuyo coeficiente de absorción llega a 0,36, superior por lo tanto al de las alfombras y cortinajes, excepto cuando éstos son muy pesados y con muchos pliegues. También se emplea en América el "Celotex", que son unos tableros de pulpa de madera, lo mismo que el "Universal Insulit", con coeficientes de 0,31. Las revistas americanas de arquitectura vienen llenas de anuncios de materiales absorbentes del sonido sin perder las cualidades higiénicas de un revestido corriente.

Con los datos de la tabla anterior puede calcularse fácilmente el poder absorbente total de una sala existente o proyectada: si hay algún material que no figura en la lista, puede asimilarse al más análogo, mientras no dispongamos del resultado de experimentos directos.

(1) Según Petzold, este coeficiente es bajo y debería substituirse por 0,50.

Con esto hemos terminado las observaciones que se refieren al parámetro a de la ecuación, el cual, sumado con x, mide el poder absorbente de la sala y los objetos en ella contenidos. Vamos ahora a ocuparnos del otro parámetro, que hemos llamado k.

Sometiendo a la experimentación con el aparato de Sabine diversas salas, de las más variadas formas y dimensiones, y construyendo luego un diagrama en que las abscisas sean los volúmenes de estas salas, y las ordenadas, los valores que corresponden a k, los puntos encontrados se colocan, salvo pequeñas discrepancias, en línea recta. De donde resulta que el parámetro *k es proporcional al volumen* de la sala. Este resultado se explica por un razonamiento muy sencillo. Supongamos dos salas exactamente semejantes en forma y materiales, de manera que una sea la reproducción de la otra, variando proporcionalmente todas las dimensiones. Haciendo la experiencia para determinar el tiempo de reverberación con las salas vacías, x será cero, y las fórmulas serán:

$$a' \, t' = k' \qquad a'' \, t'' = k''$$

en que a' y a'' son los poderes absorbentes totales de cada sala, y t' y t'' los tiempos de reverberación. Ahora bien: siendo las salas semejantes, a' a'' estarán entre sí como las superficies de muros, techos, etc., es decir, en la relación del cuadrado de las dimensiones lineales. En cuanto a las t o tiempo de reverberación, serán inversamente proporcionales a la *trayectoria media* entre dos reflexiones sucesivas, la cual, dada la semejanza de forma de las salas será proporcional a sus dimensiones lineales: el producto, por consiguiente, de a y t, o sea k, será proporcional a la tercera potencia de las dimensiones lineales, o sea al cubo de las salas respectivas.

Al encontrar Sabine estos resultados operaba siempre con el mismo tubo de órgano, es decir, siempre con sonidos de igual altura y además, con la misma intensidad. Variando después estos factores, resultó que *k variaba,* aunque ligeramente, con ellos; pero siendo necesario tener un valor fijo para que las fórmulas sean aplicables prácticamente lo determinó para una nota media que fué el *do* de 512 vibraciones por segundo y una intensidad media de 1.000.000 de veces la *mínima* *audible,* con lo cual el parámetro k tiene el valor

$$k = 0{,}164 \text{ V. (V = volúmen de la sala).}$$

de manera que las fórmulas definitivas son:

$$a\,t = 0{,}164 \text{ V. ó } t = \frac{0{,}164 \text{ V}}{a}$$

las cuales nos permiten determinar uno de los tres valores (que son poder absorbente, tiempo de reverberación y volumen de la sala) conocidos los otros dos. Según Petzold (Elementare Raumakustik, pág. 71), esta fórmula tiene en la acústica de las salas una importancia análoga a la de la ley de Ohm en la electrodinámica.

Pero falta un dato esencial: ¿cuánto ha de durar el sonido residual para que la sala tenga buena acústica?, es decir, para que no sea ni sorda ni resonante. Este problema no lo han de resolver ni el físico ni el matemático, sino el oído educado del músico. A los que les parezca que esto es quitar precisión al asunto, bastará saber que haciendo pruebas en un gran número de aposentos, de gran variedad de decoración y mueblaje, en los que se tocaba el piano ante un grupo de músicos y críticos musicales, empezando en cada caso con la sala desnuda e introduciendo y quitando progresivamente material absorbente hasta que los peritos declaraban que la sala resultaba perfecta, el profesor Sabine, hechos luego los cálculos con su fórmula, encontró que los tiempos de reverberación obtenidos diferían en cantidades tan insignificantes que admirado declara ser el oído humano educado musicalmente uno de los aparatos de mayor precisión que pueden imaginarse.

El profesor Watson, en su obra *Acoustics of Buildings* reune en unos gráficos los tiempos de reverberación correspondientes a un gran número de salas que han sido declaradas como perfectas acústicamente por todos los inteligentes. Divide las salas en dos grupos: unas, las destinadas a la lectura, enseñanza o declamación, y las otras a la música. Resulta que en las primeras los tiempos de reverberación son algo menores, y tanto en unas como en otras, crecen con el volumen, de manera que en grandes salas se deben admitir reverberaciones de mayor duración.

Las tablas adjuntas (figs. 3 y 4) son reproducción de las curvas encontradas por el profesor Watson, poniendo los datos en unidades métricas. Sobre el eje horizontal se encuentran las raíces cúbicas de los volúmenes, y sobre el vertical los tiempos de reverberación correspondientes. Para cada sala de las que han servido de base al cálculo se ha determinado el tiempo de reverberación con la sala vacía, con 1/3 de la concurrencia total y con la sala llena. Esto es importante, porque la concurrencia es uno de los factores de mayor significación para el poder absorbente total. Hay gran número de salas que, estando llenas, tienen buena acústica, y con escaso público resultan completamente inaceptables. Este inconveniente no puede hacerse desaparecer por completo, pero sí puede aminorarse mucho empleando asientos tapizados que tienen un gran poder absorbente cuando están desocupados (0,28, ó sea casi dos tercios de una persona, 0,44) y en cambio, cuando están ocupados quedan recubiertos en su mayor parte. Una influencia análoga tiene el alfombrar o recubrir de una materia absorbente el suelo de la sala.

Es evidente que en la mayor o menor exactitud de los datos que estas curvas proporcionan, está todo el grado de utilidad que la teoría de Sabine puede reportar a un arquitecto que se encuentra ante el problema de proyectar o reformar una sala de audiciones. Según se deduce de las palabras de Watson (Acoustics of Buildings, pág. 32), las curvas dichas representan únicamente el resultado de marcar sobre un sistema de ejes los puntos que representan los tiempos de reverberación correspondientes a salas de acústica reconocidas como buenas, de tal manera que, según el autor, estas curvas pueden variar como resultado de la determinación de dichos tiempos en mayor número de salas. Por otra parte, en la página siguiente dice que la forma de dichas líneas ha sido deducida, matemáticamente, sin entrar en más detalles. La cuestión, como hemos dicho, es de importancia capital y sería de desear un estudio más detallado de la misma. Este estudio tendría que partir, en primer lugar, de una base experimental más amplia, verificando los cálculos para hallar los tiempos de reverberación de las grandes salas europeas, tanto de ópera como de concierto. Es de notar, en efecto, que entre las salas utilizadas por el profesor Watson para la determinación de sus curvas figura una sola europea, que es el Gewandhaus, de Leipzig, una sala de concierto, y aun ésta se tiene en cuenta porque sus cualidades sirvieron de base de estudio para el proyecto del New Boston Simphony Hall, sala proyectada por los célebres arquitectos Mc.

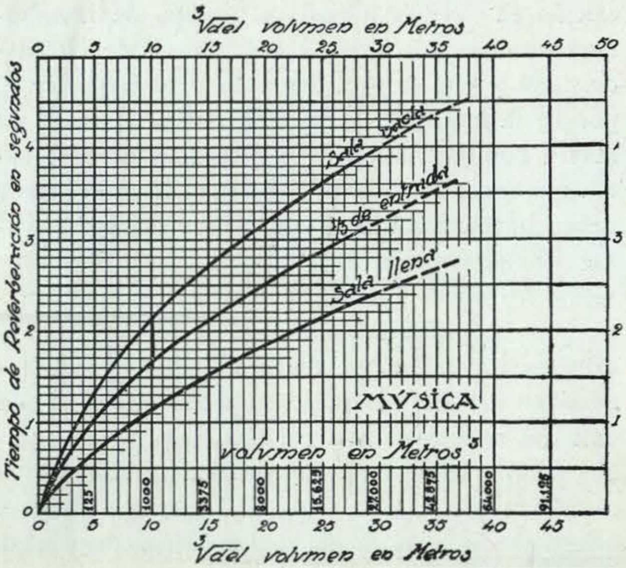

Figura 3.

Kim Mead and White, y cuyas características acústicas fueron determinadas previamente por el mismo profesor Sabine. Ahora bien: en Europa existe un gran número de salas de acústica célebres que sería conveniente comparar con los resultados de Watson. Más adelante expondremos los resultados de este estudio aplicados a dos salas de Barcelona, el Gran Teatro del Liceo y el Salón del Palacio de Bellas Artes y a una de gran celebridad en todo el mundo: el Teatro della Scala, de Milán.

Suponiendo que los resultados de un gran número de salas estuviesen a nuestra disposición, sería interesante ver si en efecto, las curvas toman la forma marcadamente ascendente al crecer la raíz cúbica del volumen de la sala o sea su dimensión lineal media. En efecto: no deja de sorprender un poco que al crecer la cala puedan admitirse duraciones mucho mayores de reverberación sin que resulte perdida la claridad en los sonidos sucesivos. Esto es debido sin duda a que, suponiendo que en dos salas de distinto volumen se emitan sonidos de la misma intensidad, como serían el canto de un mismo artista o las ejecuciones de orquesta de la misma potencia, en caso de tener las dos salas la misma duración de reverberación, la de mayor volumen sería *muerta* o *sorda*, pues el grado de intensidad a que se eleva un mismo sonido en ambas salas sería, según Jäger, inversamente proporcional a su volumen. Para contrarrestar esta pérdida de sonoridad se ha de aceptar una reverberación algo mayor que venga a reforzar el sonido directo. Pero esto produce pérdida de claridad, de manera que el ideal sería que las salas destinadas a audiciones ordinarias no sobrepasasen de ciertas dimensiones, no empleándose grandes salas más que para potentes masas de ejecutantes, de tal manera que la gran potencia de emisión haga innecesaria la mayor duración del sonido residual. Un ejemplo de aplicación de estas consideraciones lo tendremos al estudiar el Salón del Palacio de Bellas Artes.

De hecho, la falta de suficiente material experimental en esta cuestión se nota en la falta de acuerdo entre los mismos físicos americanos que han desarrollado la teoría. El profesor Wallace C. Sabine, muerto relativamente joven, no llegó a aplicar a este punto su maravillosa claridad de razonamiento y de exposición. Watson ha dado como guía las curvas que más arriba hemos reproducido; pero Paúl E. Sabine, primo y sucesor del anterior director del Laboratorio de Investigaciones Acústicas (llamado en recuerdo suyo "Sabine Laboratory") dice que en toda sala la duración del tiempo de reverberación ha de estar comprendido entre uno y dos segundos.

El físico ruso Lifschitz da las siguientes fórmulas (1):

$$\left(7{,}686 - \lg.\frac{V_2}{V_1}\right) t_2 - \left(2{,}148 + \lg.\frac{V_2}{V_1}\right) - 6{,}36 = 0$$

$$t_1 = \frac{t_2}{1{,}06}$$

en que $V_1 = 350$ m.³, $V_2 =$ volumen de la sala en m.³, $t_2 =$ duración de la reverberación de un sonido seco, $t_1 =$ tiempo de reverberación conveniente para la sala.

Como estas fórmulas son de uso engorroso, Beljajew las ha condensado en un gráfico análogo a los de Watson (2) y que da resultados poco di-

(1) LIEFSCHITZ: *Vorträge über Architekturakustik*, Moskau, 1923.

(2) BELJAJEW: Akustik grosser Räume. *Deutsch. Bauztg.*, núm. 7, 1926.

ferentes, aunque siempre ligeramente menores. Es de desear que la reunión de una mayor masa de resultados experimentales permita aclarar este punto y quizá fundarlo teóricamente.

* * *

Como hemos dicho antes, y con objeto de aplicar la teoría de Sabine a casos prácticos, hemos comprobado el resultado que se obtiene en las salas citadas. Las expondremos sucesivamente.

Teatro del Liceo.—El volumen total de la sala es de 14.095 m.³. La raíz cúbica de este número está comprendida entre 24 y 25 y por consiguiente, tomando esta abscisa en el eje horizontal de la fig. 3 y subiendo hasta encontrar sucesivamente las tres curvas, encontraremos como duraciones de reverberación convenientes: para la sala llena, 2'15 segundos; para 1/3 de la concurrencia completa, 2'85 segundos, y para la sala vacía, 3'60 segundos. Ahora bien: calculando aproximadamente las superficies de cada material y aplicando los coeficientes de la tabla, resulta:

Material u objeto	Cantidad — M²		Coeficiente		Unidades de absorción (m² de ventana abierta)....
Madera sin pintar..........	885,25	×	0,061	=	54,00
Madera pintada..............	1.741,20	×	0,03	=	52,24
Yeso sobre muros............	1.520,00	×	0,225	=	38,00
Yeso sobre armazón.......	884,62	×	0,034	=	30,18
Boca de escenario (real, descontando drapería)....	149,83	×	0,3	=	44,95
Boca de los palcos proscenios	60,00	×	0,03	=	18,00
Cortinas, draperías terciopelo	247,72	×	0,04	=	99,09
Alfombras	117,50	×	0,15	=	17,62
Aberturas ventilador.......	22,17	×	0,50	=	11,08
Asientos tapizados..........	2.081,00	×	0,12	=	249,72
Asientos de madera........	862,00	×	0,0186	=	16,03
TOTAL..................					630,91

De manera que para la sala completamente vacía, la fórmula de Sabine nos da como tiempo de reverberación

$$t = \frac{0'164 \times 14.095}{630'91} = 3'66 \text{ segundos.}$$

Supongamos ahora que están ocupados 1/3 de los asientos tapizados e igual proporción de los simples. A la suma 630,91 hay que añadir la absorción correspondiente a 981 espectadores, o sea 981 × 0,44 = 431,64 descontando la de los asientos, o sea 630,91 + 431,64 — 88,58 = 973,97. Y la fórmula da

$$t = \frac{0'164 \times 14.095}{973'97} = 2'37 \text{ segundos.}$$

Para la sala llena, a la cifra 630,91 hay que añadir la absorción debida al número total de espectadores

$$2.943 \times 0{,}44 = 1.294{,}92$$

y restar la de todos los asientos, o sea 265,75, con lo que se obtiene

$$t = \frac{0'164 \times 14.095}{1.660'08} = 1'39 \text{ segundos.}$$

Estas tres cifras 3,66, 2,37 y 1,39 son menores que las 3,60, 2,85 y 2,15 que daba la tabla para una sala destinada a música sola, exceptuando la primera, que, por corresponder a la sala completamente vacía no tiene interés práctico.

Si buscamos los tiempos en la tabla correspondiente a salas destinadas a música y declamación, encontraremos 3,40, 2,65 y 1,75 segundos respectivamente, es decir, que, excepto en el caso de la sala vacía, los tiempos tolerados para una sala en que se pueda representar comedia, son todavía ligeramente mayores que los que corresponden a nuestro primer teatro. Esto explica la maravillosa claridad y pureza de los sonidos en él producidos, así como el que algunas veces se

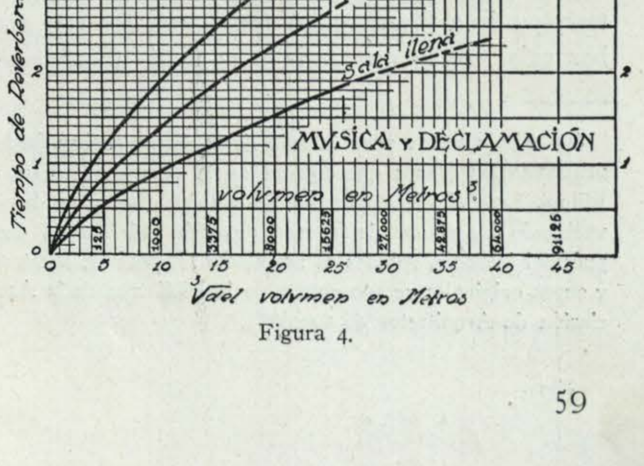

Figura 4.

haya intentado con éxito representar obras habladas, si bien este caso, la claridad se obtiene a costa del poco volumen de los sonidos, demasiado débiles para llenar una sala de 14.000 m.^{3}

Si aplicamos un cálculo análogo a la sala del Teatro de la Scala, de Milán, encontraremos en primer lugar un volumen de 11.748 m.^{3}, menor que el de la sala del Liceo, pues por la típica construcción de las salas netamente italianas, los palcos no pueden englobarse en el volumen general sino que se han de considerar exteriores a la sala, aplicando el correspondiente coeficiente a las *ventanas,* que así deben llamarse, que las comunican con ella. Siendo la raíz cúbica del volumen 22,7, encontramos en el cuadro primero,

$t = 3'50$ segundos, $t = 2'75$ segundos y $y = 2'05$ segundos

para la sala vacía, para 1/3 de la entrada y para la sala llena respectivamente.

Ahora bien: efectuando los cálculos de las superficies y objetos absorbentes para los tres casos, análogamente al caso anterior (1), se encuentra por la aplicación de la fórmula de Sabine

$$t = 4'95 \qquad t = 3'49 \qquad t = 1'99$$

es decir, que si bien con la sala completamente ocupada el tiempo es ligeramente inferior al deducido de las curvas de Watson, en los otros es superior.

Comparando ambas salas, podríamos decir que se apartan de la medida dada por Watson en opuestos sentidos, la Scala por exceso, el Liceo por defecto de reverberación. Las discrepancias no son suficientes para perjudicar la acústica de dichas salas, pero indican que en caso de ponérseles algún defecto, sería de una excesiva *brillantez* en la de la Scala y cierta *sordera* en la del Liceo. Teniendo en cuenta la maravillosa precisión que Sabine atribuye al oído humano educado sería interesante comprobar este resultado interrogando a filarmónicos familiarizados con ambas salas, o, lo que sería más fácil, a cantantes y directores de orquesta que hubiesen actuado en ambas. Sin embargo, habría que tener en cuenta que un cantante puede formar de una sala un concepto distinto del que forma un espectador, pues un ligero exceso de reverberación, que puede molestar al segundo, *ayuda* a aquél, aumentando el volumen real de su voz. Es probable, por consiguiente, que los cantantes, en caso de notar la diferencia, diesen su preferencia a la Scala. El parecer de los directores de orquesta sería más imparcial.

Así como las dos salas tomadas como ejemplo confirman la teoría por su acuerdo suficiente con los resultados del cálculo, vamos a ver un ejemplo, que lo confirma por otro camino haciendo palpable la causa de unas condiciones acústicas unánimemente reconocidas como muy defectuosas. Nos referimos al Salón Central del Palacio de Bellas Artes de Barcelona.

El volumen de dicho salón es de 53.371 m.^{3}, es decir, casi cuatro veces el de la sala del Liceo. Como las salas estudiadas por Watson no llegan a este volumen (las mayores, el Eastman Theater y el Municipal Pier Auditorium no pasan de unos 20.000 y 30.000 m.^{3} respectivamente) hay que suponer prolongadas sus curvas por un proceso de extrapolación, lo que nos da, como duraciones admisibles para música,

$$t = 4'4 \qquad t = 3'4 \qquad \text{y} \qquad t = 2'3 \text{ segundos.}$$

Ahora bien: admitiendo una cabida total de unas 4.000 personas, y efectuando los cálculos, se encuentra para la sala

$$t = 11'56 \qquad t = 6'83 \qquad \text{y} \qquad t = 3'52$$

La discrepancia, que con la sala llena ya es bastante notable, se hace enorme con poca concurrencia. Todo el que ha asistido a conciertos de orquesta o banda dados ante concurrencia mediana asentirá a este resultado. El que ha tenido ocasión de oír a los alumnos de la Escuela Municipal de Música cuando estudian el órgano ante la sala vacía, confirmará la posibilidad de que el sonido residual llegue a durar 11 segundos, y, al mismo tiempo, se dará cuenta de que en estas condiciones se oyen tantas notas a la vez, que es imposible casi darse cuenta de lo que están tocando.

Sin embargo, ese salón podría mejorarse no-

(1) Los cálculos para la sala de la Scala se han hecho utilizando los planos que figuran en la obra de Contant y Filippi. Los del Liceo, además de la toma directa de datos, utilizando los planos de la reconstrucción del Teatro, después del incendio, debidos al arquitecto D. José O. Mestres, y cuyos originales se encuentran en la Biblioteca de la Asociación de Arquitectos de Cataluña.

tablemente, de manera que pudiese prestar buenos servicios para conciertos de gran orquesta o banda o mejor todavía, para grandes ejecuciones corales. Prescindiendo de la sala vacía, bastaría que el tiempo residual para 1/3 de la concurrencia y para la sala llena o próxima a ello fuese poco distinto del que dan las curvas. Así, para 1/3 de concurrencia se tendría que dirminuir la reverberación de 6,83 segundos a 3,40.

Dividiendo 0,164 V, o sea, 8.752,84 por 3,40, el cociente 2.574 nos da el número de unidades de absorción que ha de contener la sala, comprendido el 1/3 de 4.000 espectadores. Ahora bien: en su estado actual, el número de unidades en ese caso no es más que 1.281; por consiguiente, la diferencia, 1.293, representa el material absorbente que se ha de introducir. Es evidente, que en ese salón no es práctico pensar en asientos tapizados, alfombras ni cortinajes; pero, en cambio, se dispone de inmensas superficies lisas de pared, más de 3.000 m.² que ahora, simplemenla utilidad de estos estudios de acústica es inmediata para el arquitecto: sería sin duda interesante enyesadas absorben una proporción muy pequeña de las vibraciones sonoras, y que, en cambio, recubiertas de un material apropiado podrían darnos la solución del problema. El más enérgico de los remedios empleados para la *corrección acústica* de las salas, es el simple fieltro de pelo, que se fabrica en grueso de una pulgada y dos, es decir, aproximadamente, 2,6 cms. y 5,2 cms. con los coeficientes respectivos de 0,55 y 0,70.

Empleando el más delgado, se necesitarían unos 2.400 m.² escasamente para reducir la reverberación al punto deseado. Como esta superficie es algo menor que la de los muros disponibles se podría distribuir en recuadros rodeados de una moldura de madera que serviría para su fijación.

El efecto decorativo es agradable, pues se puede dar al fieltro un tono agradable tiñéndolo (no pintándolo, para no obstruir sus poros).

Un remedio parcial análogo al que proponemos, se pudo observar en los conciertos que tuvieron lugar durante la Exposición de Arte francés, cuando el salón se decoró con los magníficos Gobelinos que mandó el Gobierno de la nación vecina.

En la distribución de los recuadros de fieltro se debería tener en cuenta que los paramentos de pared más próximos al lugar donde se suelen colocar los ejecutantes no se tapizan para no *ensordecer* demasiado la emisión de los sonidos.

Hay que tener en cuenta que el Salón de Bellas Artes presenta un ejemplo típico de las dificultades producidas por el volumen excesivo. En la Sala del Liceo el volumen que corresponde por espectador es de 4,78 m.³; en Bellas Artes, de 13,34 m.³. Este gran volumen produce una reverberación muy larga, y para corregir ésta hay que emplear gran cantidad de material absorbente. Pero entonces se corre el peligro de que los sonidos alcancen una intensidad insuficiente: por lo que estas grandes salas una vez rebajada su reverberación al grado deseado, sólo pueden dar buen resultado empleando grandes órganos, orquestas muy numerosas o potentes masas corales. De aquí se deduce una regla que hará bien en tener presente el arquitecto que se encuentre frente al proyecto de una sala de audición: y es el procurar emplear el mínimo volumen posible para el número deseado de espectadores, o a la inversa, acomodar en una sala dada la mayor concurrencia posible. Afortunadamente esta regla coincide con el interés económico de la empresa y no es fácil que se opongan al arquitecto grandes obstáculos para seguirla.

Los ejemplos que hemos citado muestran que te extender la aplicación a otros tipos de sala.

ADOLFO FLORENSA.

Memoria de ingreso en la Real Academia de Ciencias y Artes, de Barcelona.