

LA ACUSTICA EN LAS SALAS DE ESPECTACULOS

J. Bossut
Ing. E.C.P.

Se ha concedido, hasta ahora, poca atención a las condiciones acústicas que deben reunir los locales destinados a espectáculos.

En efecto, podemos comprobar, por el elevado número de salas existentes en la actualidad, que la mira principal en el diseño de las mismas está enfocada a conseguir fines como: la elegancia de líneas, la armonía en la decoración—que tiene en ciertos casos a la suntuosidad, sobre todo tratándose de salas destinadas a un público escogido—ver así mismo la comodidad del espectador mediante buenas butacas, refrigeración en verano y calefacción en invierno, etc. Es decir, todo un panorama de arte y bienestar que, no dudamos, ha de influir en la mayor o menor concurrencia de dichos locales por parte de ese público animado del deseo de distraer por unas horas el atribulado vivir de nuestra época.

Pero el factor principal que mueve al público es el programa. Programa que se encuentra interesado en seguir, y del cual desea no perder un ápice, ya se trate de una parte dialogada, musical, etc.

¿Consigue el público su fin? ¿Queda satisfecho en su propósito? ¿Puede dar por bien empleado su dinero?...

En la mayoría de los casos, ¡no! Sólo se ha enterado a medias o mal; algunos no se enteran de nada; otros, los más afortunados, por ocupar localidades privilegiadas—que no son siempre las de precio más elevado—, consiguen devanar el hilo del argumento merced a no despegar los ojos del escenario o pantalla, y a una tensión constante y molestísima del aparato auditivo.

¿Cuáles son las causas principales de este resultado? La principal entre todas, ésta: las malas condiciones acústicas del local.

Tratemos de definir a continuación los motivos que dan lugar a este hecho:

CONDICIONES ACUSTICAS DE UNA SALA

Dependen de la distribución racional en el interior de la sala del sonido emitido en el escenario por el altavoz, instrumentos o actores.

Todos hemos podido apreciar que cuando un actor está en escena, si habla mirándonos de frente, percibimos con bastante intensidad las palabras pronunciadas por el mismo. No así si el actor en cuestión se orienta en otra dirección. Entonces el sonido de su voz nos llega bastante apagado y, en ocasiones, hasta no lo oímos en absoluto.

Esto quiere decir que las voces emitidas por el mismo se han perdido parcial o totalmente en la dirección en que fueron dirigidas, lo que significa asimismo que si en su recorrido tropezaron, como es lógico pensar, con alguna superficie de pared de la sala, nosotros no nos encontramos en el ángulo de reflexión que nos hubiera permitido oír la voz devuelta con la suficiente intensidad todavía para interpretar su significado—más adelante hallaremos más amplia explicación a estas líneas.

La solución a este problema consiste en un detenido estudio geométrico-acústico de la sala al proyectar su construcción, y estriba en la forma que se ha de dar a las paredes que constituyen la embocadura del escenario, y las paredes laterales y de fondo y techo de la sala, para conseguir la mejor distribución del sonido en su interior. (Figs. 1 y 2).

En algunas de las partes citadas es preciso introducir formas convexas que difundan convenientemente por toda o parte de la sala el sonido emitido. Sin embargo, es necesario evitar, en la generalidad de los casos, toda superficie cóncava, que invariablemente produce una concentración de sonido, a veces molestísima, en determinadas localidades. Estos hechos quedan fácilmente explicados si tenemos en cuenta la particularidad de los rayos sonoros que chocan con una pared, que se comportan en un todo exactamente igual que los rayos luminosos reflejados en un espejo o superficie bruñida. (Figs. 3 y 4).

Ahora bien, no es fácil, y en la mayoría de los casos resulta hasta imposible, el conseguir dar a un local la forma correcta para que el mismo posea buenas condiciones acústicas, ya que, por causas como la del terreno disponible, por ejemplo, resultaría éste unas veces insuficiente y otras el local demasiado exiguo para tener una entrada remuneradora. Mas no por ello resulta ser el problema insoluble, pues el punto

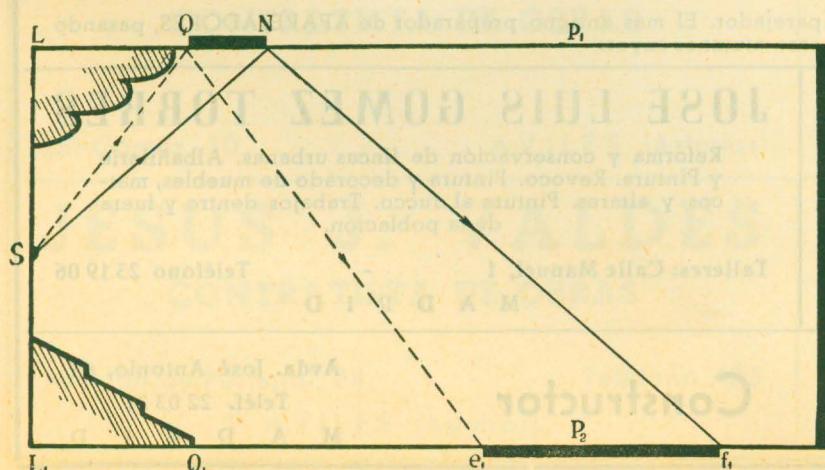
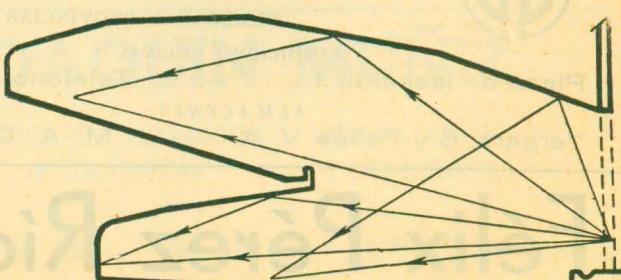


Fig. 1. Superficies difusoras en los ángulos de la sala próximos al manantial sonoro.

Fig. 2. Forma de sala que permite lograr una excelente distribución del sonido.



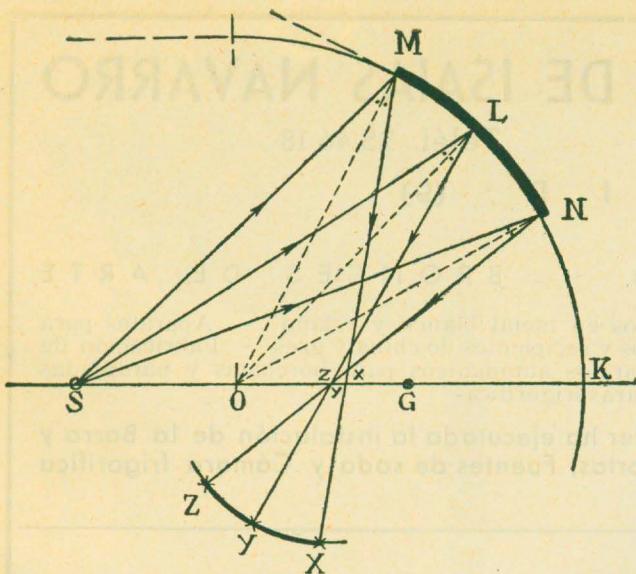


Fig. 3. Reflexión de ondas sonoras en una superficie cóncava.

esencial para lograr la buena distribución del sonido en el interior de la sala está en la forma dada a la embocadura del escenario y paredes laterales y techo adyacentes a este lugar, sean cuales sean las formas o dimensiones del resto de la sala, y este punto se puede lograr satisfactoriamente en la generalidad de los casos sin grandes sacrificios de espacio.

Disponiendo, pues, de superficies difusoras próximas al manantial sonoro, tenemos conseguido este primer paso capital para los fines que perseguimos.

A continuación vamos a ocuparnos detenidamente de esos rayos sonoros ya convenientemente dirigidos al interior de la sala, pues sería erróneo pensar que el problema quede con esto resuelto en su totalidad.

Aun en una sala que reúna buenas condiciones acústicas por su estructura general, queda todavía otro importante factor por resolver, cuyos efectos influyen tanto como las condiciones acústicas de la sala en la buena audición en el interior de la misma.

EL FENOMENO DE LA REVERBERACION

Corresponden al americano R. Sabine, a principio de siglo, los primeros estudios sobre este fenómeno común a todos los locales cerrados.

Es sabido que si emitimos un sonido al aire libre, dicho sonido será percibido por el oyente durante un lapso de tiempo igual al de su emisión aumentado en una pequeña parte que corresponde a la persistencia en el aparato auditivo de la sensación registrada.

Sin embargo, no ocurre lo propio si para la emisión de este sonido nos situamos frente a una pared y a cierta distancia de la misma. En este caso, volvemos a oír de nuevo el mismo sonido, atenuado, que ha sido reflejado en parte por aquélla.

El hecho se multiplica y acentúa si la emisión se efectúa en un local cerrado, en el que las distintas paredes, el piso y el techo reflejan dicho sonido en su totalidad en todas direcciones. Pero estos reflejos van perdiendo poco a poco su intensidad y terminan por desaparecer, reinando de nuevo el silencio.

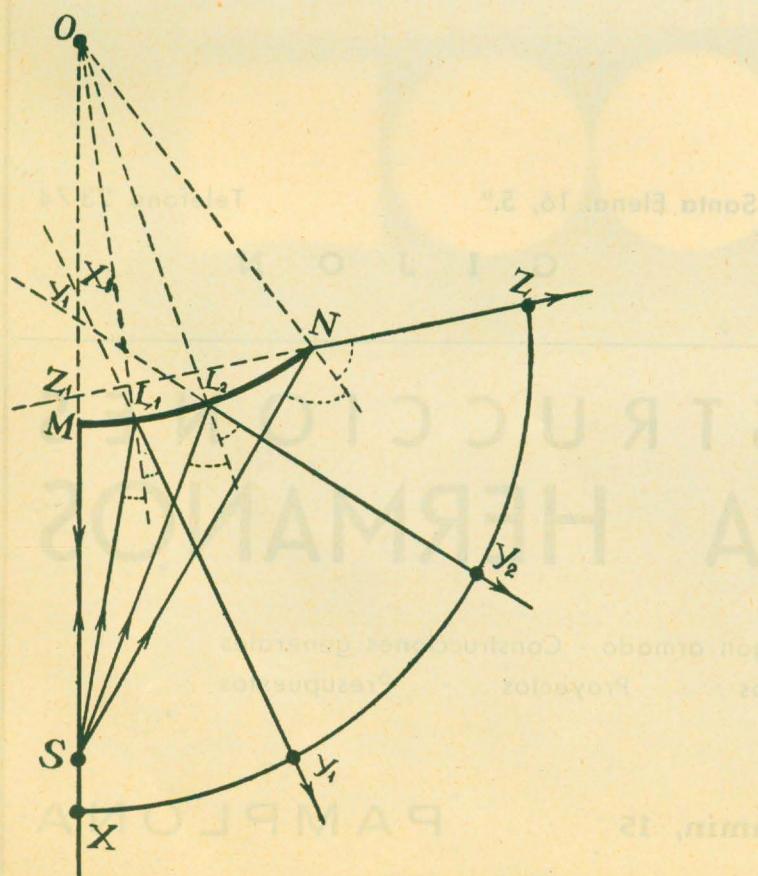
Suponiendo que el sonido emitido haya tenido una duración brevíssima, el tiempo transcurrido desde el final de la emisión del mismo hasta el momento en que deja de oírse por reflexión de las paredes y techo del local, el sonido en cuestión, se denomina «tiempo de reverberación» de la sala.

Este tiempo no es idéntico en todos los casos, ya que es proporcional al volumen de la sala y a las superficies interiores que la determinan, estando éstas constituidas por un tipo de material dado, supongamos yeso.

En efecto, si analizamos lo sucedido con el breve sonido emitido anteriormente en la sala, observamos que, por momentos, su potencia energética fué disminuyendo hasta dejar de ser audible, lo que nos demuestra que el sonido perdió parte de esta potencia en cada uno de sus contactos con las paredes, piso y techo, pues, de lo contrario, no hay motivo para que el fenómeno no continúe reproduciéndose largo tiempo.

Esta potencia restada por las superficies citadas se llama «coeficiente de absorción» de las mismas, y depende de los materiales de que están constituidas. Dicho coeficiente no es casi nunca inferior a 1,3 por 100 y difícilmente superior a 98 por 100 para determinadas frecuencias. Prácticamente, se calcula siempre a la frecuencia de 512 c/s., que corresponde al término medio entre los sonidos graves y agudos.

Fig. 4. Reflexión de ondas sonoras en una superficie convexa.



MATERIAL	ABSORCIÓN SEGÚN LA FRECUENCIA (C/S)							AUTORIDAD
	64	128	256	512	1.024	2.048	4.096	
Ventana abierta...	1	1	1	1	1	1	1	
Mármol...	—	0,010	—	0,010	—	0,015	—	Mitchel
Vidrio...	—	0,035	—	0,027	—	0,020	—	Idem
Ladrillo sin pintar...	0,021	0,024	0,025	0,032	0,042	0,05	0,07	W. C. Sabine
» pintado...	0,011	0,012	0,014	0,017	0,02	0,023	0,025	Idem
Muro o tabique de ladrillo con enlucido de yeso...	0,012	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05	Idem
Madera de 15 m/m (pino barnizado) sobre listones distanciados de 50 cm.	0,064	0,098	0,112	0,104	0,081	0,082	0,113	Idem
Parquet (pitch-pine)...	—	0,05	0,03	0,06	0,09	0,1	0,22	B. R. S.
Madera barnizada...	—	0,05	—	0,03	—	0,03	—	Watson

Existen otros factores, tales como el grado de humedad del ambiente, que influyen asimismo en la pérdida de potencia del sonido, y de cuyo escaso valor se prescinde en la práctica por su pequeña influencia en el resultado del cálculo.

Hecha esta aclaración, es fácil imaginar que en un local pequeño—siendo única la velocidad de transmisión del sonido—el sonido emitido entrará en contacto, en un tiempo dado, muchas más veces con las superficies que lo limitan, que en las de un local mayor, de donde se explica que el tiempo de reverberación sea más elevado en este último.

De lo anteriormente expuesto se deduce que, aun cuando una sala posea condiciones acústicas, hay un punto que queda pendiente de solución: su reverberación propia, ya que, como hemos visto anteriormente, el sonido no muere en la primera superficie con que choca y experimenta los múltiples reflejos de las demás superficies con que tropieza en su recorrido dentro de la sala. (Fig. 5.)

EFFECTOS DE LA REVERBERACION

Según hemos visto, las leyes de la reflexión del sonido son idénticas a las de la reflexión luminosa. Si S es un manantial sonoro y P una superficie plana, el ángulo de incidencia y el de reflexión son iguales.

Consideremos un observador, E (fig. 6); éste percibe directamente el sonido, según el trayecto SE , y también por reflexión sobre la pared P , según el trayecto SAE , como si en realidad existiesen dos manantiales sonoros, S y S_1 , imagen de S con relación a la superficie P .

Una persona hablando directamente o mediante aparatos de registro y amplificadores electroacústicos, pronuncia apro-

ximadamente 300 sílabas por minuto, o sea que la duración de cada una de éstas es $1/5$ de segundo. Prácticamente, cada sílaba está separada de la siguiente por un intervalo de $1/20$ de segundo. La oración consta entonces de una serie de sílabas de duración de $1/5$ de segundo, separadas por intervalos de $1/20$ de segundo.

Como es sabido, en el aire el sonido recorre aproximadamente 340 m. por segundo, o sea 17 m. en $1/20$ de segundo. Por consiguiente, si la diferencia entre los trayectos SE y SAE es superior a 17 m., el observador no podrá percibir distintamente las palabras debido a que, en lo que a él respecta, cada una de las sílabas le llegará repetida por reflexión y vendrá a sobreponerse a la sílaba siguiente, originándose entonces una confusión que provocará a su vez pésimas condiciones de audición, con el correspondiente esfuerzo de atención aguda, fatiga y tensión nerviosa para el oyente.

En realidad, existe cierta persistencia de las sensaciones auditivas, debido a lo cual el oído, después de interrumpirse la emisión de un sonido cualquiera, sigue percibiendo durante una fracción de segundo.

No entraremos en el detalle de las diversas teorías que existen sobre el particular, y nos limitaremos aquí a indicar que, a consecuencia de dicha persistencia de la sensación auditiva, conviene reducir a 12 m. la diferencia máxima entre el trayecto de cualquier rayo sonoro directo y el del reflejado correspondiente.

De lo que antecede se deduce la ley geométrica acústica más importante relativa a las salas destinadas a la audición de la palabra emitida directamente o reproducida: la diferencia entre los trayectos de los rayos sonoros, según los cuales un oyente cualquiera percibe el sonido directo, y el reflejado no debe ser superior a 12 m.

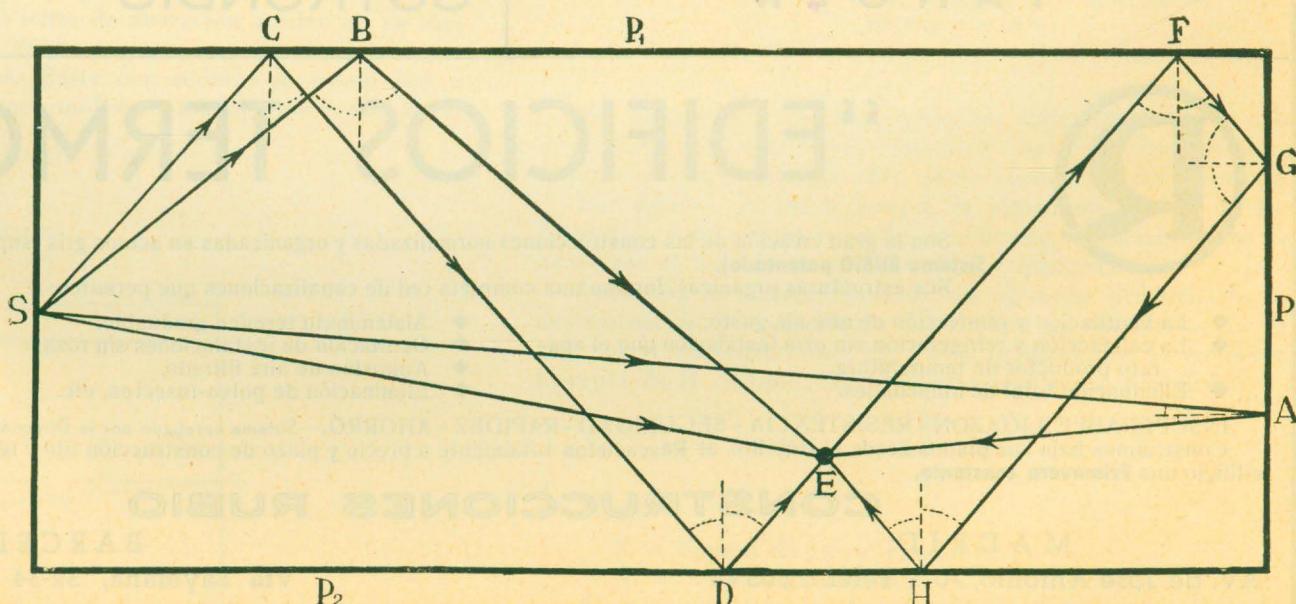


Fig. 5. Reflexiones sonoras múltiples en una sala.

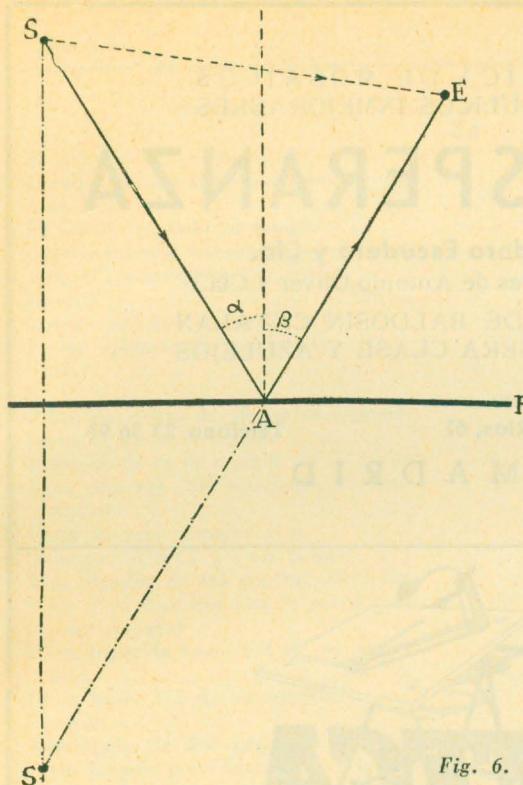


Fig. 6. Reflexión del sonido.

Es evidente que en la práctica resulta imposible cumplir totalmente esta condición. Si en una sala que tiene una longitud de 10 m. (fig. 7) un oyente, *E*, está situado a dos metros del manantial sonoro, *S*, la diferencia entre los trayectos del sonido directo y del reflejado percibidos por *E* será 16 metros, es decir, superior al valor aceptable.

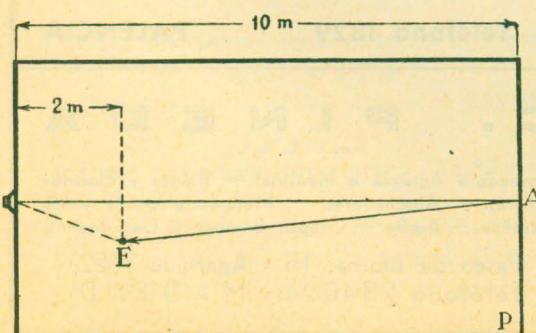
A fin de eliminar los inconvenientes que pudieran derivarse de la superposición de sílabas consecutivas, es imprescindible que la pared *P* no refleje el sonido, sino que lo absorba.

De idéntica forma se tratarán todas aquellas partes del local que el estudio geométrico-acústico nos revele perniciosas para la buena audición, evitando de esta forma la superposición de sílabas de intensidad casi idénticas, que originan el confusionismo más completo para el espectador.

TIEMPO DE REVERBERACION CORRECTO

No significa lo anteriormente dicho que aquellas partes que el estudio geométrico-acústico de la sala ha revelado perjudiciales a la buena audición hayan de ser revestidas de materiales cuyo elevado coeficiente de absorción anulen en su casi totalidad la intensidad de los rayos sonoros que entren en contacto con las mismas. Basta con reducir su intensidad a un valor tal que ya no sea molesto para el espectador *E*, lo

Fig. 7. Diferencia entre el sonido directo y el sonido reflejado.



que será posible si dicha intensidad es muy inferior a la de *SE*, por ejemplo.

Hacemos la precedente observación porque los numerosos ensayos y estudios realizados han llevado a la conclusión de que cada sala debe tener un tiempo medio de reverberación según los fines a que esté dedicada la misma. Para teatro y cine, el siguiente diagrama nos indica cuáles son los tiempos límites, en función del volumen, que no se deben rebasar en más ni en menos so pena de incurrir en una audición confusa o la desagradable sensación de «vacío».

De todo lo expuesto se desprende la absoluta necesidad de proceder al «acondicionamiento del sonido» en toda sala destinada a espectáculos, cualquiera que sea su forma.

Señalaremos de paso que el acondicionamiento en cuestión puede armonizar perfectamente con la decoración de la sala si se le tiene siempre en cuenta en el proyecto, y en muchos casos puede facilitar grandemente la labor del decorador en el sentido económico y artístico.

COMO CONSEGUIR UN BUEN ACONDICIONAMIENTO DEL SONIDO

Para ello es preciso tener en cuenta los siguientes puntos esenciales :

La pared o paredes de fondo han de ser siempre fuertemente absorbentes, por ser los rayos sonoros reflejados por las mismas los que más perjudican la buena audición. Lo dicho se aplica igualmente a la generalidad de superficies cóncavas que posea la sala.

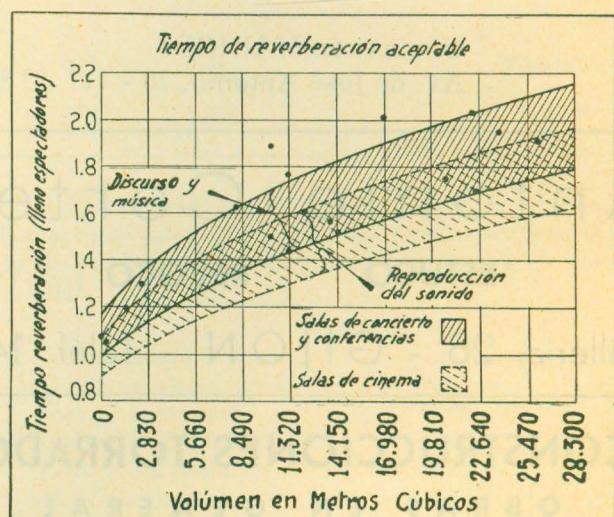


Fig. 8. Gráfico de reverberación en cine y teatro.

En las paredes laterales, según las dimensiones de la sala y su forma, el estudio determinará las partes de las mismas a las que es imprescindible dar cierto coeficiente de absorción.

Por último, en los techos, si la altura no excede de los 13 metros y no tienen superficies cóncavas apreciables, no es necesario el acondicionamiento de los mismos.

Antes de terminar, daremos un ejemplo práctico de la determinación por el cálculo del tiempo de reverberación de una sala y su corrección. Para ello utilizaremos la conocida fórmula de R. Sabine, de excelentes resultados prácticos :

$$T = \frac{0,161 \times V}{S \cdot \alpha}$$

en la que :

T = tiempo de reverberación.

V = volumen de la sala.

S . *α* = unidades de absorción de la sala.

CUADRO DE MATERIALES ABSORBENTES

Estudio de una sala para cine-teatro

MATERIAL	ABSORCIÓN SEGÚN LA FRECUENCIA (C/S)							AUTORIDAD
	64	128	256	512	1.024	2.048	4.096	
Corcho aglomerado expansionado puro de 1" ...	—	—	0,08	0,30	0,31	0,28	—	Watson
El mismo pintado al temple ...	—	—	0,07	0,30	0,28	0,29	—	Idem
Corcho aglomerado expansionado puro de 1", esmerilado ...	—	—	0,08	0,30	0,31	0,28	—	Idem
Idem 2" ...	—	—	0,17	0,35	0,27	0,34	—	Watson y Laborat.
Corcho aglomerado de 2" ...	—	—	—	0,28	—	0,36	—	Sabine Mitchel
Placas aglomeradas perforadas (Pax-tile) ...	—	—	0,55	0,75	0,85	0,80	—	HHI, NPL, etc., con variaciones inferiores al 5 %
Fibra de vidrio de 100 m/m espesor.	—	0,75	0,95	0,96	0,90	0,84	0,74	Idem
Idem de 50 m/m espesor ...	—	0,38	0,63	0,78	0,87	0,83	0,77	Idem
Idem de 60 m/m espesor ...	—	—	—	0,85	—	—	—	H. Bagenal
Lana mineral (200 Kgs./m³), 25 mm. espesor ...	—	0,26	0,45	0,61	0,72	0,75	—	Knudsen
Idem 50 mm. espesor ...	—	0,38	0,54	0,65	0,76	0,78	—	Idem
Asbestos SPRAY 1" sin pintar ...	—	0,60	0,65	0,6	0,6	—	—	N. P. L.
Tela algodón de 465 grs./m², sin fruncir y en contacto con la pared (sin estar pegada) ...	—	0,04	0,07	0,13	0,22	0,32	0,35	P. E. Sabine
Idem fruncida hasta 3/4 de su superficie ...	—	0,04	0,23	0,40	0,57	0,53	0,40	Idem
Idem hasta 1/2 de su superficie ...	—	0,07	0,31	0,49	0,81	0,66	0,54	Idem
Cretona ...	—	—	—	0,15	—	—	—	W. C. Sabine
Terciopelo de 600 grs./m², colgado, sin fruncir y en contacto con la pared (sin estar pegado) ...	—	0,05	0,12	0,35	0,45	0,38	0,36	P. E. Sabine
Idem colgado a 10 cm. de la pared ...	—	0,06	0,27	0,44	0,50	0,40	0,35	Idem
Idem fruncido a 1/2 de su superficie (2 m²/m²) ...	—	0,07	0,31	0,49	0,81	0,66	0,54	Knudsen
Alfombra espesa (de nudo) ...	—	0,09	0,08	0,21	0,26	0,27	0,37	B. R. S.
Estera de fibra vegetal ...	—	0,08	—	0,17	—	0,30	—	W. C. Sabine
<i>Asientos y personas</i>								
Espectador sala de espectáculo (promedio) ...	—	0,15	0,23	0,40	0,56	0,64	—	Promedio
Asiento sencillo de madera y contrachapeado ...	—	—	0,021	0,026	0,043	0,042	—	Watson
Butaca completamente forrada ...	—	—	0,37	0,33	0,36	0,40	—	Bureau of Standars

Sea una sala de 4.100 m³ de volumen útil, cuyo aforo es de 934 plazas.

Según el diagrama, tenemos como tiempos de reverberación límites aceptables:

1,19 ÷ 1,33, sea un tiempo medio de 1,26 s/.

Tomaremos para el estudio una media prudencial de asistencia de público en las distintas sesiones del 60 por 100 del aforo total.

Partes componentes	Superficie en m²	Naturaleza	α	u. a.
Techo ...	480	Yeso y escayola	0,02	9,60
Puertas ...	36	Cortinas de algodón fruncidas a 3/4	0,40	14,40
Paredes ...	604	Yeso y escayola	0,02	12,08
Pasillo central ...	18	Alfombra delgada	0,15	2,70
Suelo ...	462	Cemento	0,02	9,24
<i>934 localidades</i>				
60 por 100 ocupadas ...	560	Espectadores	0,40	224,00
40 por 100 vacías ...	374	Butacas forradas	0,33	123,42
$0,161 \times V$				TOTAL U. A.
$\frac{0,161 \times 4.100}{u. a.} = \frac{0,161 \times 4.100}{395,44} = 1,66 s/.$				395,44

Tiempo de reverberación resultante:

$$\frac{0,161 \times V}{u. a.} = \frac{0,161 \times 4.100}{395,44}$$

ferencias de espesores a aplicar en las distintas partes de la sala.

La distribución de estas unidades de absorción se hará de acuerdo con el resultado del estudio geométrico-acústico del local.

En fin, queremos señalar la conveniencia de escoger materiales que reúnan, entre otras, por lo menos estas dos condiciones: ser antiparasitarios e incombustibles, por razones de higiene y para prevenir riesgos, que, por desgracia, abundan. También deben poseer constantes sus cualidades en función del tiempo, hecho éste importantísimo que obliga a una adecuada selección entre los materiales acústicos.

u. a. necesarias para obtener el tiempo medio 1,26 s/.:
 $0,161 \times 4.100 = 523,88$ u. a.

1,26

u. a. que es preciso introducir: $523,88 - 395,44 = 128,44$ u. a. equivalentes a :

1.168 m² de cortinas de algodón (0,13 — 0,02).

389 m² de corcho 2" espesor (0,35 — 0,02).

169 m² de «Vitrofib» 50 m/m espesor (0,78 — 0,02).

En estas equivalencias no hemos tenido en cuenta las di-