

# “NUEVO PARAMETRO ACUSTICO-ARQUITECTONICO PARA SALAS DE AUDICIONES”.

FRANCESC DAUMAL DOMENECH

## Resumen

Un único valor del nuevo parámetro, permite, de acuerdo con la finalidad de la sala: Auditorium o Sala de Opera, relacionar el tiempo de reverberación óptimo, con las características arquitectónicas del local.

## Introducción

Desde 1922, año en el que se publica el estudio de Sabine sobre el comportamiento de la reverberación en las salas (1), se ha dedicado un gran esfuerzo al estudio del “Tiempo de reverberación,  $T_{60}$ ”, como parámetro definidor de la cualidad acústica de los recintos. Estos estudios, desarrollados principalmente sobre bases físicas, en las diferentes ópticas estadísticas, ondulatorias y geométricas, permiten llegar a calcular el valor del tiempo de reverberación que, presumiblemente, se conseguirá alcanzar con los materiales elegidos para los acabados de las diversas superficies del local.

Pero evidentemente, para el diseñador específico de una sala en la que la función a desarrollar está perfectamente establecida, y antes de empezar cualquier cálculo por los métodos antes comentados, es preciso definir con gran exactitud el valor más óptimo que deberá alcanzar su tiempo de reverberación. Este dato, conocido como “Tiempo de reverberación óptimo”, ( $T_0$ ), debe suministrarse correctamente para la función en cuestión, en bandas de octava, o mejor aún, en la de tercios de octava.

Precisamente resulta, que este valor del tiempo de reverberación óptimo, es el primer punto en el que el diseñador de la sala o de sus acabados, se encuentra sumido en un mar de confusiones. Ello se debe a los diferentes métodos usuales para fijarlo, ya que, si bien se acepta de forma gene-

ralizada la ley de crecimiento del tiempo de reverberación, proporcionalmente al del volumen del local, resulta que esta proporcionalidad, como se verá en este artículo, queda fijada de distinta forma por cada autor.

## Métodos clásicos

A continuación vamos a ver si los métodos usuales de acotación del  $T_0$  están de acuerdo con los valores del tiempo de reverberación real, medidos “in situ”, de diferentes salas de acústica reconocida, y asimismo definir las ecuaciones correspondientes de la relación entre  $T$  (tiempo de reverberación) con  $V$  (volumen del local).

Para ello, se aprovecha el estudio desarrollado por Beranek (2) en cuarenta y ocho auditorios y dieciocho salas de ópera distribuidas en todo el mundo, que constituyen una muestra suficientemente representativa para este análisis.

Es preciso señalar que algunas de estas salas, presentaron defectos acústicos iniciales, que se han ido corrigiendo, con mayor o menor fortuna, hasta llegar el momento en que se realizaron las mediciones reales, y en sala llena, de su tiempo de reverberación.

Ello hace suponer que la muestra es aceptable, no sólo por la cantidad de salas contenidas, sino también bajo la hipótesis de que la reverberación de cada sala, se ha intentado optimizar al máximo en las sucesivas reformas llevadas a cabo.

Todos los resultados que siguen, son únicamente válidos en el campo de frecuencias usualmente utilizado para predimensionados, entre 500 y 1.000 Hz.

En el caso de auditorios, la gran dispersión de los resultados de la muestra, incluidos en la tabla 1, queda patente en la figura 1, en la que los ejes de coordenadas corresponden al tiempo de

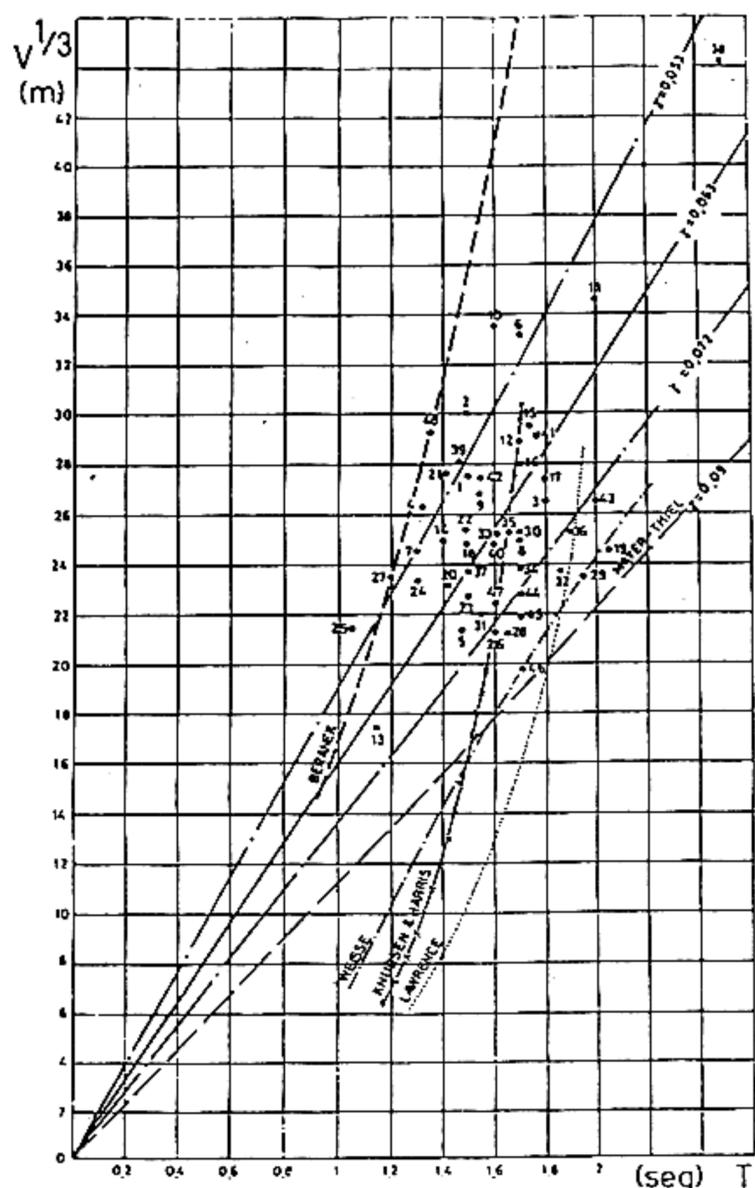


Figura 1. Determinación del tiempo de reverberación óptimo para auditorios según los métodos clásicos.

reverberación y a una función que depende exclusivamente del volumen del local. Las salas, quedan representadas por un punto al que se acompaña el número de referencia indicado en la tabla.

En la misma figura se incluyen asimismo los métodos de determinación del tiempo óptimo para esta función, que se clasifican en analíticos y gráficos.

El sistema analítico más generalizado viene definido por la ecuación

$$T_0 = \gamma V^{1/3},$$

donde  $T_0$  viene expresado en segundos,

$\gamma$  = constante en seg/m que depende de la actividad a la que se destina la sala, y  
 $V$  = volumen del local en m<sup>3</sup>.

Los valores de  $\gamma$  que se han calculado para las salas muestreadas, a partir de su volumen y tiempo de reverberación real, oscilan entre 0,046 y 0,085, con un valor medio de 0,063. Acotando un entorno del  $\pm 15\%$  respecto este valor medio, resulta  $0,053 < \gamma < 0,072$ , con lo que quedarían excluidas veinte salas, es decir, el 42% del total.

Algunos autores, como Perez Miñana (3) y Thiel-Mayer (4), han fijado los diferentes valores

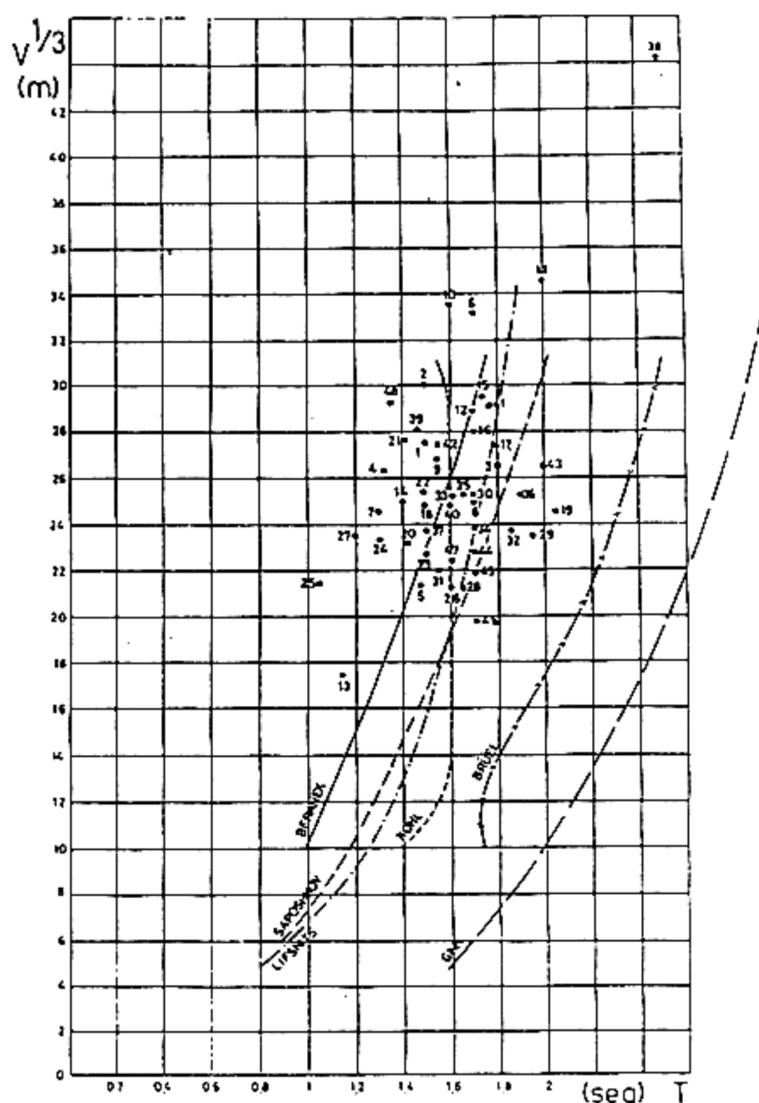


Figura 2. Continuación de la figura 1

de  $\gamma$  que se incluyen en la tabla 2. De acuerdo con estos valores, solamente tres de los auditorios analizados, el nº 19, 29 y 46, serían aptos.

En cuanto a los sistemas gráficos, también adaptados al diagrama  $T, V^{1/3}$  a efectos de comparación con los demás, se han dibujado en la misma figura los propuestos por Beranek (5), Weisse (6), Knudsen & Harris (7) y Lawrence (8). Exceptuando la curva de Weisse, el resto de autores limitan el tiempo de reverberación recomendado en los dos segundos como máximo, incluso en el caso de salas de gran volumen. La curva de Beranek limita con la zona de salas sordas, pudiéndose asimilar a la ecuación

$$T_B^a = \frac{2.69}{1 + 28.93 / (3 \sqrt{V})}$$

válida para el sector  $1.000 < V < 70.000$  m<sup>3</sup>.

La curva de Lawrence, límite superior que separa de la zona de salas reverberantes, puede asimismo asimilarse a

$$T_{La}^a = \frac{1.78}{1 + 14.24 / (3 \sqrt{V})} + 0.76$$

que presenta el límite asintótico para  $T = 2,54$  seg.

La curva de Knudsen & Harris es la más próxima al centro de gravedad de las salas reales. Su trazado se aproxima a

$$T_K^a = \frac{1,40}{1 + 15,48} + 0,76 \cdot \frac{1}{3 \sqrt{V}}$$

con el límite asintótico para  $T = 2,16$  seg.

En la figura 2 se han incluido otros métodos gráficos correspondientes a Lifshits (4), Saposkov (9), Brüel (4), Ginn (10), Kuhl (4), y otra de Beranek (4).

Las dos primeras, muy coincidentes entre sí, pueden asimilarse a

$$T_{Li}^a = 0,41 \log V$$

y

$$T_S^a = (0,5 \log V) - 0,3,$$

observándose la preferencia en ambos hacia los locales más bien vivos.

De las restantes curvas, cabe indicar que las de Brüel y Ginn producen salas excesivamente reverberantes, la de Kuhl se estabiliza en cambio en el valor 1,6 seg., independientemente del volumen, aunque cabe indicar que este valor es muy parecido al valor medio de los cuarenta y dos auditorios de la muestra. Por último, esta última curva de Beranek, según parece basada en encuestas y en la propia experiencia del autor (ver también 11), se aproxima más a la realidad de la muestra, y su trazado es casi coincidente con el de la curva de centros de masas calculada para la muestra, de ecuación

$$T_C^a = \frac{2,558}{1 + \frac{15}{3 \sqrt{V}}}$$

En resumen, pueden en todo caso considerarse como más válidas, a efectos de predimensionado, las propuestas de Knudsen y esta última de Beranek.

Respecto a las salas de ópera, se ha partido de una muestra de dieciocho salas, incluidas en la tabla 3, realizándose también el análisis por los métodos clásicos. Todo ello se ha incluido en la figura 3.

También en estas salas se observa la escasa alineación en estos ejes coordenados.

El valor medio de  $\gamma$  es ahora de 0,052, y en el entorno del  $\pm 15\%$  de este valor, es decir entre 0,044 y 0,060, se halla el 89% de la muestra. Destaca el diferente comportamiento de la ópera de Bayreuth, de  $\gamma = 0,071$ , a todas luces inferior al indicado para música Wagneriana en la tabla 2. De nuevo aparecen los valores de esta tabla como excesivos.

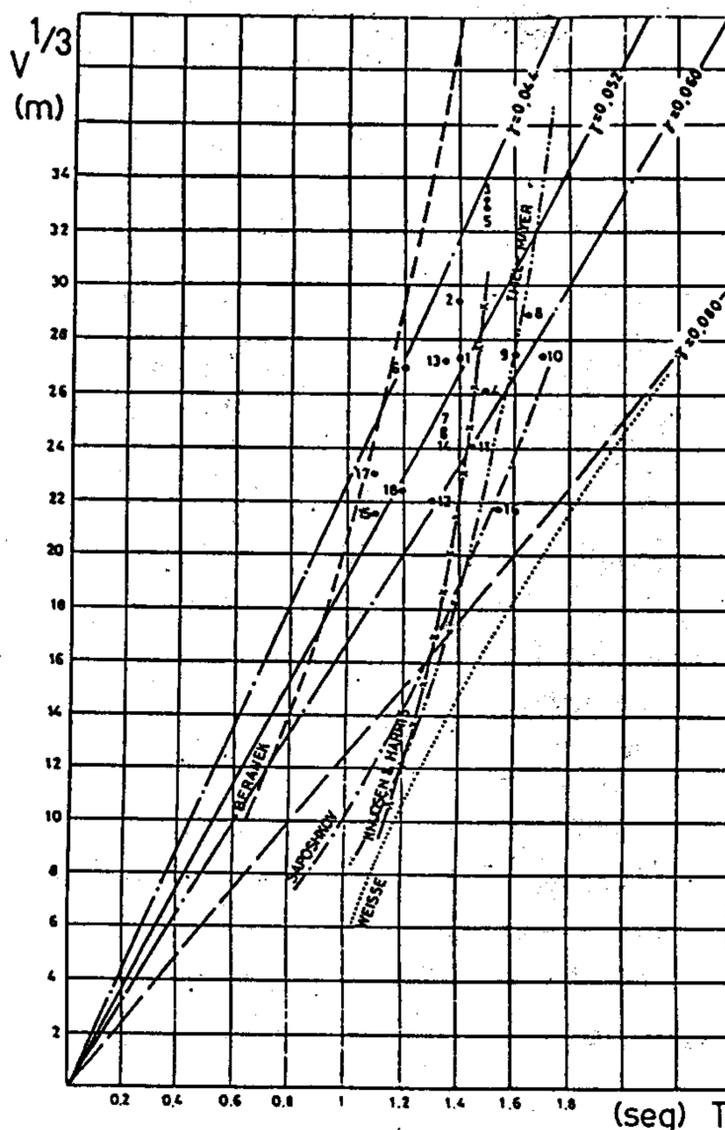


Figura 3. Determinación del tiempo de reverberación óptimo para salas de ópera, según los métodos clásicos.

Sobre la misma figura, se han representado conjuntamente las curvas definidas por Beranek (5), Weisse (6), Theil-Mayer (4), específicas para esta función, así como la de Knudsen & Harris (7), propuesta para función similar. De nuevo, la curva de Beranek constituye el límite con la zona de salas sordas, pudiéndose asimilar a

$$T_B^o = \frac{2,52}{1 + 31,91} \cdot \frac{1}{3 \sqrt{V}}$$

Nuevamente la de Knudsen & Harris vuelve a ser la que atraviesa más cerca el centro de gravedad de la nube de salas. Con suficiente aproximación, corresponde a

$$T_K^o = \frac{1,39}{1 + 28} + 0,78 \cdot \frac{1}{3 \sqrt{V}}$$

que puede utilizarse para salas no excesivamente grandes.

La curva de Thiel-Mayer, próxima a la anterior, tiende en cambio a producir salas un poco más reverberantes para los volúmenes usuales.

La curva de Weisse, también representa el límite que separa la nube con la zona de salas reverberantes, y además, se acerca mucho, para vo-

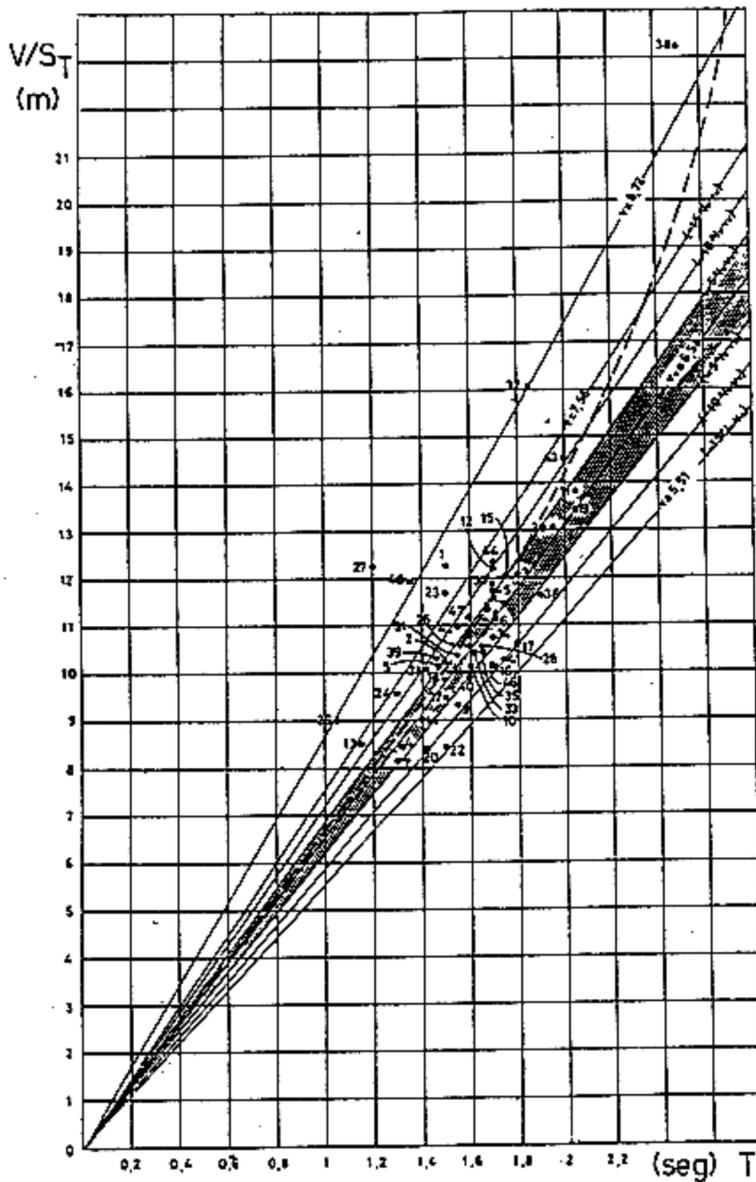


Figura 4. Velocidad de amortiguamiento óptimo en auditorios, y curva de centros de masas.

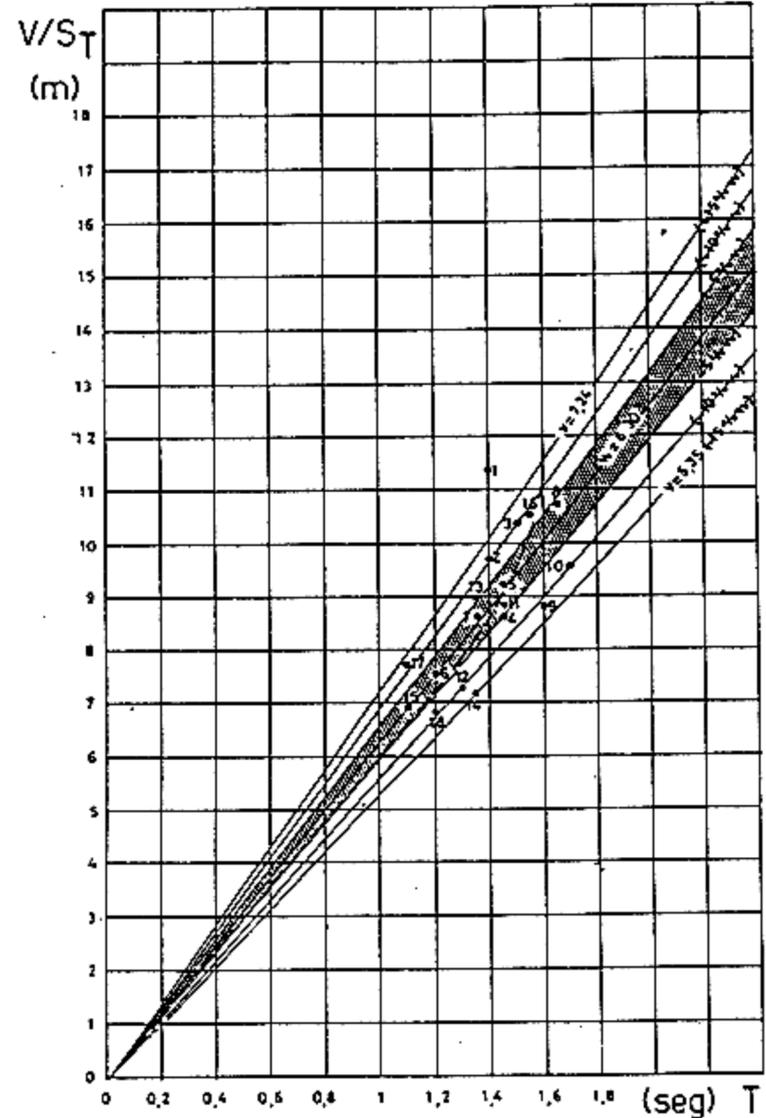


Figura 5. Velocidad de amortiguamiento óptimo en las salas de óperas, y curva de centros de masas.

lúmenes mayores de  $8.000 \text{ m}^3$ , al valor de  $\gamma = 0,08$  del método analítico.

También se ha representado la curva de Saposhkov (9), que puede constituir nuevamente el límite de las salas reverberantes. Este autor ofrece como expresión

$$T_S^0 = (0,4 \log V) - 0,15$$

En resumen, los métodos de aproximación al tiempo de reverberación óptimo, en cuanto a función exclusiva del volumen, podrían servir como primera aproximación siempre que se adoptaran las siguientes limitaciones:

Método analítico.-  $\gamma = 0,063$  para auditorios, y  $\gamma = 0,052$  para óperas. Los volúmenes de aplicación en ambos casos están comprendidos entre  $8.000$  y  $30.000 \text{ m}^3$ .

Métodos gráficos.- El aconsejable, sin restricción en el volumen de los locales, es el definido por las curvas de Knudsen & Harris, para ambas funciones. (En auditorios también puede usarse

la segunda curva propuesta por Beranek).

#### Nuevo método propuesto.-

A continuación se define el nuevo método de acotación de esta reverberación óptima, que se basa en el nuevo parámetro denominado "velocidad de amortiguamiento", desarrollado por este autor (11).

Esta velocidad de amortiguamiento no sólo depende del tiempo de reverberación y volumen de la sala, sino también de otra constante geométrica del recinto, consistente en el área ocupada por el público, coros y orquesta. Se han escogido estas dos constantes geométricas (volumen  $V$  y superficie de ocupación  $S_T$ ), por dos razones.

En primer lugar, porque ambas juegan un papel preponderante en las decisiones del diseño: por un lado el volumen queda en muchos casos acotado en función del aforo, como en las legislaciones en que se establecen los  $\text{m}^3$  por ocupante, y por otro lado debido a que este aforo depende del área de ocupación y de como se disponen en ella los auditores. La segunda razón, y fundamental, consiste en aceptar el postulado de Beranek (2), que establece que la absorción en las

| Nº | Sala  | V*                | S <sub>T</sub> *  | T*    | v     | δ       |
|----|---|-------------------|-------------------|-------|-------|---------|
|    |   | (m <sup>3</sup> ) | (m <sup>2</sup> ) | (seg) | m/s   | (%v)    |
|    | Estados Unidos                                      |                   |                   |       |       |         |
| 1  | Lyric Theatre, Baltimore                            | 21.000            | 1.710             | 1.50  | 8.19  | + 24.46 |
| 2  | Indiana University Auditorium, Blomington           | 26.880            | 2.625             | 1.50  | 6.82  | + 3.64  |
| 3  | Symphony Hall, Boston                               | 18.740            | 1.550             | 1.80  | 6.71  | + 1.97  |
| 4  | Kleinhans Music Hall, Bufalo                        | 18.220            | 2.160             | 1.32  | 6.39  | - 2.88  |
| 5  | Kresge Auditorium, Cambridge                        | 10.020            | .980              | 1.47  | 6.95  | + 5.62  |
| 6  | Arie Crown Theatre McCormick Place, Chicago         | 36.500            | 3.265             | 1.70  | 6.57  | - 0.15  |
| 7  | Orchestra Hall, Chicago                             | 15.170            | 1.855             | 1.30  | 6.29  | - 4.40  |
| 8  | Severance Hall, Cleveland                           | 15.700            | 1.395             | 1.70  | 6.62  | + 0.60  |
| 9  | Henry and Edsel Ford Auditorium, Detroit            | 19.130            | 2.055             | 1.55  | 6.01  | - 8.66  |
| 10 | Purdeu University Hall of Music, Lafayette, Indiana | 37.350            | 3.675             | 1.60  | 6.35  | - 3.49  |
| 11 | Tanglewood Music Shed, Lenox, Massachusetts         | 42.450            | 3.065             | 2.05  | 6.75  | + 2.58  |
| 12 | Carnegie Hall, New York                             | 24.250            | 1.985             | 1.70  | 7.18  | + 9.12  |
| 13 | Grace Rainey Rogers Auditoriu, New York             | 5.480             | .640              | 1.15  | 7.44  | +13.07  |
| 14 | Academy of Music, Philadelphia                      | 15.700            | 1.735             | 1.40  | 6.46  | - 1.82  |
| 15 | Eastman Theatre, Rochester, New York                | 25.470            | 2.115             | 1.75  | 6.88  | + 4.56  |
| 16 | War Memorial Opera House, San Francisco             | 21.800            | 2.165             | 1.70  | 5.92  | -10.03  |
|    | Argentina   |                   |                   |       |       |         |
| 17 | Teatro Colón, Buenos Aires                          | 20.870            | 1.970             | 1.80  | 5.88  | -10.63  |
|    | Austria   |                   |                   |       |       |         |
| 18 | Neues Festspielhaus, Salzburg                       | 15.500            | 1.570             | 1.50  | 6.58  | 0.00    |
| 19 | Grosser Musikvereinssaal, Vienna                    | 15.000            | 1.115             | 2.05  | 6.56  | - 0.30  |
|    | Belgica   |                   |                   |       |       |         |
| 20 | Palais des Beaux-Arts, Bruseels                     | 12.500            | 1.485             | 1.42  | 5.92  | -10.03  |
|    | Canada  |                   |                   |       |       |         |
| 21 | Alberta Jubilee Auditoriums, Edmonton and Calgary   | 21.480            | 2.135             | 1.42  | 7.08  | + 7.60  |
| 22 | Queen Elizabeth Theatre, Vancouver                  | 16.750            | 1.975             | 1.50  | 5.65  | -14.13  |
|    | Dinamarca   |                   |                   |       |       |         |
| 23 | Radiohuset, Studio 1, Copenhagen                    | 11.890            | 1.015             | 1.50  | 7.81  | +18.69  |
| 24 | Tivoli Koncertsal, Copenhagen                       | 12.740            | 1.330             | 1.30  | 7.36  | +11.85  |
|    | Finlandia   |                   |                   |       |       |         |
| 25 | Kulttuuritalo, Helsinki                             | 10.000            | 1.110             | 1.05  | 8.58  | +30.39  |
| 26 | Konsertisali, Turku                                 | 9.600             | .910              | 1.60  | 6.59  | = 0.15  |
|    | Alemania  |                   |                   |       |       |         |
| 27 | Benjamin Franklin Kongresshalle, Berlin             | 12.950            | 1.055             | 1.20  | 10.23 | +55.47  |
| 28 | Musikhochschule Konzertsaal, Berlin                 | 9.600             | .910              | 1.65  | 6.39  | - 2.89  |
| 29 | Sender Freies Berlin Grosser Sendesaal, Berlin      | 12.900            | .985              | 1.95  | 6.71  | + 1.97  |
| 30 | Beethovenhalle, Bonn                                | 15.700            | 1.320             | 1.70  | 6.99  | + 6.23  |
| 31 | Neues Gewandhaus, Leipzig                           | 10.600            | 1.020             | 1.55  | 6.70  | + 1.82  |
| 32 | Herkulesaal, Munich                                 | 13.600            | .845              | 1.85  | 8.70  | +32.22  |
| 33 | Liederhalle, Grosser Saal, Stuttgart                | 16.000            | 1.535             | 1.62  | 6.43  | - 2.28  |
|    | Inglaterra  |                   |                   |       |       |         |
| 34 | Colston Hall, Bristol                               | 13.450            | 1.250             | 1.70  | 6.33  | - 3.80  |
| 35 | Usher Hall, Edinburgh                               | 16.000            | 1.530             | 1.65  | 6.34  | - 3.65  |
| 36 | St. Andrew's Hall, Glasgow                          | 16.100            | 1.385             | 1.90  | 6.11  | - 7.14  |
| 37 | Philharmonic Hall, Liverpool                        | 13.500            | 1.420             | 1.50  | 6.33  | - 3.80  |
| 38 | Royal Albert Hall, London                           | 86.600            | 3.715             | 2.50  | 9.32  | +41.64  |
| 39 | Royal Festival Hall, London                         | 22.000            | 2.145             | 1.47  | 6.97  | + 5.92  |
| 40 | Free Trade Hall, Manchester                         | 15.400            | 1.555             | 1.60  | 6.18  | - 6.08  |
|    | Israel  |                   |                   |       |       |         |
| 41 | Binyanei Ha'Oomah, Jerusalem                        | 24.700            | 2.400             | 1.75  | 5.88  | -10.64  |
| 42 | Fredric R.Mann Auditorium, Tel Aviv                 | 21.200            | 1.930             | 1.55  | 7.08  | + 7.60  |
|    | Holanda   |                   |                   |       |       |         |
| 43 | Concertgebouw, Amsterdam                            | 18.700            | 1.285             | 2.00  | 7.27  | +10.48  |
|    | Suecia  |                   |                   |       |       |         |
| 44 | Konserthus, Gothemburg                              | 11.900            | .965              | 1.70  | 7.25  | +10.18  |
|    | Suiza   |                   |                   |       |       |         |
| 45 | Stadt-Casino, Basel                                 | 10.500            | .895              | 1.70  | 6.90  | + 4.86  |
| 46 | Salle Musica, La Chaux-de-Fonds                     | 7.870             | .775              | 1.70  | 5.97  | - 9.27  |
| 47 | Grosser Tonhalle, Zurich                            | 11.400            | 1.020             | 1.60  | 6.98  | + 6.08  |
|    | Venezuela   |                   |                   |       |       |         |
| 48 | Aula Magna, Caracas                                 | 24.900            | 2.090             | 1.35  | 8.82  | +34.04  |

Tabla 1. Auditorios. Característicos dimensionales y acústicos.

salas de conciertos puede separarse en dos categorías: la de la audiencia, coros y orquesta, es decir la de las áreas que ocupan las personas, y la de los revestimientos y acabados, de coeficiente muy reducido en comparación con la primera.

Se define como velocidad de amortiguamiento  $v$  al resultado de dividir el volumen del local por el tiempo de reverberación en sala llena y por la superficie de ocupación, es decir

$$v = V / T \cdot S_T$$

Como se deduce de la ecuación dimensional, el resultado se trata de una velocidad en m/seg, y representa la relación entre el espacio  $V/S_T$ , que es función del libre recorrido medio entre dos reflexiones, y el tiempo de reverberación.

En las tablas 1 y 3, figuran los valores de esta velocidad, calculados a partir de los datos de cada sala.

Se ha limitado la dispersión de  $v$  dentro de unos márgenes, lo cual ha supuesto descontar las salas que los superaban por defecto o exceso. Ello hace disminuir el tamaño de la muestra, pero permite obtener un valor medio más representativo. Se ha aceptado como más conveniente el entorno de  $\pm 15\%$  respecto el valor medio de  $v_{41} = 6,58$  m/seg., para auditorios y  $v_{16} = 6,30$  m/seg., para óperas, puesto que estas acotaciones son suficientemente representativas, y no reducen excesivamente la muestra.

Como resultado de esta acotación, en el caso de auditorios, existen veintiuna salas (52% sobre las 41 incluidas en el entorno), con la velocidad acotada dentro del intervalo  $\pm 5\%$  respecto  $v_{41}$ , trece salas que se hallan comprendidas entre el 5 y el 10%, tanto por defecto como por exceso, y siete salas incluidas entre el 10 y el 15%, con la misma indicación. En las óperas, se han obtenido seis salas dentro del  $\pm 5\%$  de  $v_{16}$ , cinco salas entre el 5 y el 10%, y cinco más en el último intervalo.

En las tablas 1 y 3, se indican también los porcentajes específicos de dispersión, respecto estas velocidades medias, de cada sala. Las velocidades excluidas en el cálculo de  $v_{41}$  y  $v_{16}$ , se hallan recuadradas.

La figura 4 resume la dispersión de los cuarenta y ocho auditorios, incluyendo los márgenes de acotación antes descritos. Obsérvese que al representar los puntos correspondientes a las salas en este nuevo diagrama, en el que sólo se ha variado el eje de ordenadas, sustituyendo la anterior función volumen por la razón volumen-superficie de ocupación, existe ya una cierta alineación que permite trazar una recta de baja regresión. Esta recta, tiene por pendiente el valor medio de la velocidad de amortiguamiento.

Es evidente que ha de existir un cierto límite

para el tiempo de reverberación óptimo en los locales de gran volumen, o escasa área de ocupación. Por ello, se ha indicado a trazos una curva, que de algún modo contempla las salas anteriormente excluidas, y que se va volviendo asintótica al aproximarse a los dos segundos y medio, tiempo que en ningún caso, incluso en las mayores salas, debe sobrepasarse. De todas formas, en las relaciones  $V/S_T$  usuales en las salas, puede aceptarse que la velocidad óptima se mantiene constante, y que su valor se estabiliza en  $v_o^a = 6,58$  m/seg.

La misma explicación es válida para las salas de ópera, cuya representación conjunta se muestra en la figura 5, observándose en este caso la menor dispersión para los valores  $V/S_T$ , que se mueven entre 6,87 y 11,32 m. Aunque la muestra es menos significativa por su pequeño tamaño, también se aprecia la tendencia a producir salas ligeramente más reverberantes que el valor medio, en aquellas en las que la relación volumen-superficie de ocupación es pequeña y más absorbentes en las que esta relación es alta.

En resumen, parece que los diseñadores acústicos, prefieren trabajar hasta cierto límite del tiempo de reverberación, convirtiendo la recta de pendiente definida por la velocidad media de amortiguamiento, que en las óperas se ha establecido en  $v_o^o = 6,30$  m/seg., en una curva rápidamente asintótica al acercarse de dicho límite.

Aceptando pues, para relaciones  $V/S_T$  usuales, que las velocidades de amortiguamiento óptimas para ambas funciones, se estabilizan en los valores anteriormente indicados, es fácil deducir que el tiempo de reverberación óptimo vendrá dado por

$$T_o^a = 0,152 V/S_T, \text{ para auditorios.}$$

Con un intervalo de aceptación aconsejable del  $\pm 5\%$  resulta que

| Actividad                        | $\gamma$ |
|----------------------------------|----------|
| Palabra                          | 0.075    |
| Música ligera y ópera            | 0.080    |
| Música de cámara                 | 0.085    |
| Música sinfónica                 | 0.090+   |
| Música Wagneriana                | 0.095    |
| Música litúrgica, coros y órgano | 0.100    |

Tabla 2. Valores de  $\gamma$  para diferentes actividades. (según Thiel-Mayer +)

| Nº | Sala  | V*<br>(m3) | ST*<br>(m2) | T*<br>(seg) | v<br>(m/s) | δ<br>(%v) |
|----|---|------------|-------------|-------------|------------|-----------|
| 1  | Estados Unidos<br>Baltimore,<br>Lyric Theatre                 | 20.380     | 1.800       | 1.40        | 8.09       | +28.41    |
| 2  | Bloomington,<br>Indiana University Auditorium                 | 25.500     | 2.625       | 1.40        | 6.94       | +10.16    |
| 3  | Chicago,<br>Arie Crown Theatre-Mc Cormick Place               | 36.300     | 3.490       | 1.50        | 6.93       | +10.00    |
| 4  | Detroit<br>Henry and Edsel Ford Auditorium                    | 17.800     | 2.060       | 1.45        | 5.96       | -5.87     |
| 5  | Lafayette, Indiana,<br>Purdue University Hall of Music        | 35.900     | 3.875       | 1.45        | 6.39       | +1.43     |
| 6  | New York,<br>Metropolitan Opera House                         | 19.500     | 2.575       | 1.20        | 6.31       | +0.16     |
| 7  | Philadelphia,<br>Academy of Music                             | 15.080     | 1.740       | 1.35        | 6.42       | +1.90     |
| 8  | Rochester, New York,<br>Eastman Theatre                       | 23.950     | 2.230       | 1.65        | 6.51       | +3.33     |
| 9  | San Francisco,<br>War Memorial Opera House                    | 20.900     | 2.360       | 1.60        | 5.53       | -12.22    |
| 10 | Argentina<br>Buenos Aires,<br>Teatro Colón                    | 20.550     | 2.145       | 1.70        | 5.63       | -10.63    |
| 11 | Austria<br>Salzburg<br>Neues Festspielhaus                    | 14.000     | 1.580       | 1.45        | 6.11       | -3.01     |
| 12 | Vienna,<br>Saatsoper  | 10.660     | 1.460       | 1.30        | 5.61       | -10.95    |
| 13 | Canadá<br>Edmonton and Calgary<br>Alberta Jubilee Auditoriums | 20.460     | 2.280       | 1.35        | 6.64       | +5.39     |
| 14 | Vancouver,<br>Queen Elizabeth Theatre                         | 14.870     | 2.060       | 1.35        | 5.34       | -15.24    |
| 15 | Francia<br>París,<br>Theatre National de l'Operà              | 9.960      | 1.445       | 1.10        | 6.26       | -0.63     |
| 16 | Alemania<br>Bayreuth,<br>Festspielhaus                        | 10.300     | .975        | 1.55        | 6.81       | +8.09     |
| 17 | Inglaterra<br>Londres,<br>Royal Opera House                   | 12.240     | 1.580       | 1.10        | 7.04       | +11.74    |
| 18 | Italia<br>Milà,<br>Teatro alla Scala                          | 11.245     | 1.635       | 1.20        | 5.73       | -9.05     |

Tabla 3. Operas. Características dimensionales y acústicas.

$$0,144 V/S_T \leq T_o^a \leq 0,160 V/S_T$$

Análogamente, para las óperas será

$$T_o^o = 0,159 V/S_T$$

Siendo el intervalo recomendado

$$0,151 V/S_T \leq T_o^o \leq 0,167 V/S_T$$

Ello permite observar la posibilidad de cumplir a la vez ambas actividades en las salas que se adopte.

$$0,151 V/S_T \leq T_o \leq 0,160 V/S_T$$

En efecto, una sala con velocidad de amortiguamiento  $v = 6,44$  m/seg., justo entre 6,30 y 6,58 m/seg., excede solamente en un 2,22% la media de la velocidad óptima de ópera, y su defecto respecto de los auditorios es de 2,12%. Estos excesos y defectos, son tan poco significativos, que puede finalmente admitirse como más idónea para ambos casos, la velocidad de 6,44 m/seg.

Con ello, una sala que cumpla

$$T = 0,155 V/S_T$$

será polivalente para estas dos funciones.

En resumen, hemos visto como mediante un único parámetro acústico-arquitectónico, pueden clasificarse las diferentes actividades que se desarrollan en las salas, y como en el caso de auditorios y óperas, puede aceptarse un único valor suficientemente válido para ambos casos.

Cabe recordar que todo lo antedicho hace referencia a la sala llena y al margen de frecuencias entre 500 y 1.000 Hz, aunque un estudio similar puede también realizarse en otras frecuencias, para ver el comportamiento en las partes bajas y altas del espectro.

### Bibliografía

- (1) Sabine, W. C. "Collected papers on acoustics", Harvard University Press, Cambridge, 1922.
- (2) Beranek, L. L. "Music, Acoustics & Architecture", John Wiley & Sons, New York, 1962.
- (3) Pérez, J. "Compendio práctico de acústica aplicada", Ed. Labor, Barcelona, 1969.
- (4) Jurado, F. J. "Acondicionamiento acústico de locales y control de ruido", E. U. E. T. de Telecomunicaciones La Salle, Barcelona, s/f.
- (5) Beranek, L. L. "Acústica", H. A. S. A., Buenos Aires, 1961.
- (6) Weisse, K. "Acústica de locales", Gustavo Gili, Barcelona, 1956.
- (7) Burris Meyer, H. "Acoustics for the Architect", Reinhold, New York, 1957.
- (8) Lawrence, A. "Architectural Acoustics", Elsevier, New York, 1970.
- (9) Saposhkov, M. A. "Electroacústica", Reverté, Barcelona, 1983.
- (10) Ginn, K. B. "Application of B & K Equipment to Architectural Acoustics, Brüel & Kjaer, Naerum, 1978.
- (11) Daumal, F. "L'ambient Acústic i el Disseny Arquitectònic", Tesis Doctoral ETSAB-UPC, Barcelona, 1985.