

MÉTODO PARA MEDIR EL TIEMPO DE REVERBERACIÓN EN RECINTOS

César Eduardo Boschi

Laboratorio de Acústica y Sonido “Mario Guillermo Camín”
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza.
Coronel Rodríguez 273. 5500 Mendoza.

www.frm.utn.edu.ar/investigacion/acustica/index.html

Tel. (0261) 4239119 Int. 194. cboschi@frm.utn.edu.ar

RESUMEN

El objetivo del presente estudio es exponer un método experimental adaptado en el Laboratorio de Acústica y Sonido “Mario Guillermo Camín” para medir el Tiempo de Reverberación (TR60) y corroborar su correspondencia con dos modelos que fueron desarrollados para predecir dicho Tiempo de Reverberación en recintos cerrados. Luego, se discuten tres casos en los que se aplicó el método experimental adaptado y finalmente se analiza su utilidad para emplearlo en tareas de acondicionamiento acústico de recintos.

ABSTRACT

The purpose of present report is to expose an experimental method adapted in Acoustics and Sound Laboratory “Mario Guillermo Camín” to measure the Reverberation Time (RT60) and corroborate its correspondence with two models that were developed to predict the Reverberation Time in enclosed rooms. Then, three cases are discussed in which the experimental method adapted was applied. Finally utility of adapted experimental method is analyzed to use it to improve room acoustic.

PALABRAS CLAVE

Acústica - Arquitectura - Sonido - Reverberación - Materiales

INTRODUCCIÓN

Cuando una fuente sonora vibra produce ondas que se propagan en el aire a una velocidad aproximada de 340 m/s. Cuando estas ondas se encuentran con un obstáculo una parte es absorbida por él, otra es transmitida a través del mismo y otra parte es reflejada. La proporción entre ellas depende de la naturaleza del material. En un recinto cerrado la vibración del aire contenido por aquel se debe a la acción resultante de la onda progresiva y las ondas regresivas originadas a las múltiples reflexiones en las superficies límites. Las reflexiones se van produciendo entre paredes, techo, suelo y así sucesivamente, de manera que se superponen al sonido original. Si las reflexiones son en gran número y se suceden erráticamente en el tiempo, el campo sonoro resultante se llama reverberante o difuso. A los fines de poder cuantificar este fenómeno se ha definido un parámetro que se denomina el tiempo de reverberación (TR60), y se define como el tiempo necesario para que el nivel de una señal acústica, cuya emisión se interrumpe, caiga 60 dB con respecto al nivel primitivo. Desde el punto de vista del diseño de recintos destinados a la audición, el control de la reverberación de los sonidos constituye una premisa fundamental. Si una sala tiene paredes altamente reflectantes del sonido, la inteligibilidad disminuye porque los sonidos que se van emitiendo, se confunden con los anteriores que aún no se han extinguido. Lo contrario sucede si las paredes son muy absorbentes, en cuyo caso se observa una sensación de molestia causada por el hecho de que los sonidos “mueren” inmediatamente después de ser emitidos y se percibe un estado de sofocación que dista mucho de ser agradable.

Dependiendo del uso que se le dé a una determinada sala será el tiempo de reverberación que se considere como correcto para la misma. En la Figura N° 1 se muestran los valores de los tiempos de reverberación en función del volumen en recintos considerados con buena acústica, a frecuencias medias:

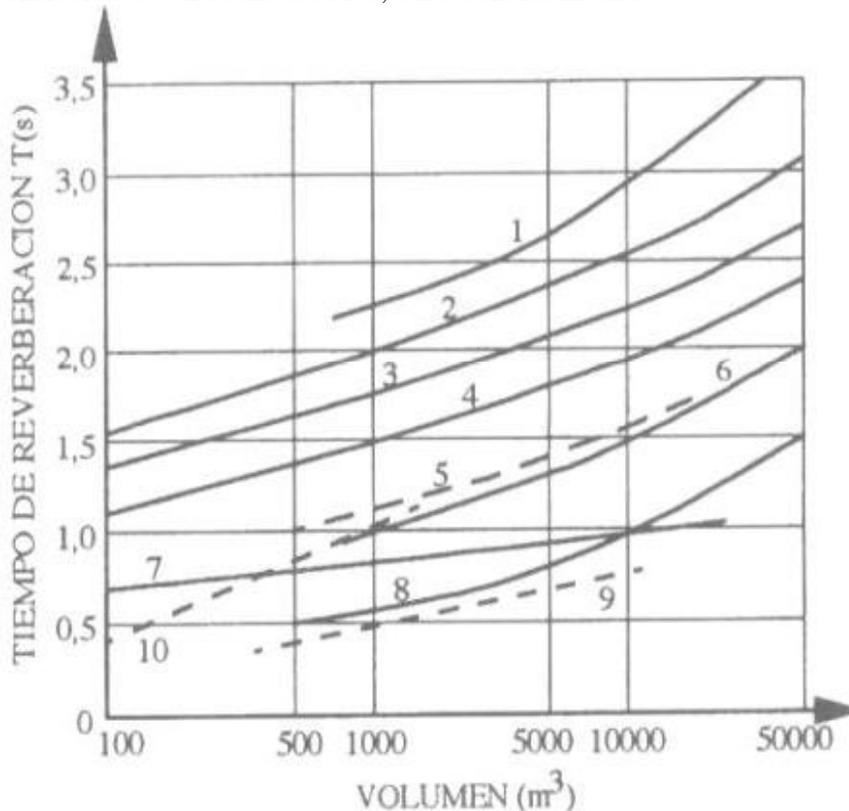


Figura N° 1. Variación del tiempo de reverberación con el volumen en recintos considerados con buena acústica, a frecuencias medias para: 1. Salas para música religiosa; 2. Salas de concierto para música orquestal; 3. Salas de concierto para música ligera; 4. Estudios de concierto; 5. Salas de baile; 6. Teatros de ópera; 7. Auditorios para palabra; 8. Cines y salas de conferencias; 9. Estudios de T.V. y 10. Estudios de Radio. Recuero (1999).

CALCULO 0.DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN

En principio el tiempo de reverberación es función del volumen de la sala y del coeficiente de absorción de las superficies de ésta. Distintas fórmulas se han desarrollado para predecir dicho Tiempo de Reverberación:

Fórmula de Sabine

Esta fórmula fue postulada por Sabine partiendo del supuesto de que existe un reparto homogéneo de absorbentes con un coeficiente de absorción bajo. Recuero (2000). Teniendo en cuenta estos supuestos el tiempo de reverberación puede calcularse mediante la fórmula:

$$T = 0,161 [V/A] \quad (1)$$

En donde:

T	Tiempo de reverberación	[s]
V	Volumen de la sala	[m ³]
A	Absorción total	[m ²]

Obtenida a partir de:

$$A = S \quad (2)$$

Siendo:

α	Coefficiente de absorción sonora	
S	Área de la superficie de la sala	[m ²]

Fórmula de Norris - Eyring

Esta fórmula sólo es aplicable cuando los coeficientes de absorción sonora son de valores numéricos parecidos para todas las superficies límite. Davis y Davis (1987).

$$T = 0,161 [V/(-S \ln (1 - \alpha_m))] \quad (3)$$

Donde:

α_m	Coefficiente de absorción medio
------------------------------	---------------------------------

Fórmula de Millington - Sette

Si los coeficientes de absorción que entran en juego difieren grandemente unos de otros, es conveniente utilizar la siguiente fórmula de Millington - Sette:

$$T = 0,161 [V/(-\sum S_i \ln (1 - \alpha_i))] \quad (4)$$

Donde:

S_j Área del material iésimo $[m^2]$
 α_j Coeficiente de absorción de dicho material

En todos los casos no se ha tenido en cuenta el factor de absorción del aire, el cual sólo resulta significativo para las cortas longitudes de onda, sobre todo en salas de gran volumen, mayor a $5000 m^3$.

PROCEDIMIENTO PARA MEDIR EL TIEMPO DE REVERBERACIÓN

Existen diversos métodos para medir el tiempo de reverberación, las diferencias fundamentales en los distintos métodos están basadas en la información que se desee obtener, es decir, si se trata de obtener valores globales de discernimiento de una banda de frecuencias en un espectro amplio, o se busca mayor resolución en determinadas frecuencias. Mompín Poblet (1982). El método de medición adaptado emplea un detonador y un sonómetro con registrador. Se emplea preferentemente una detonación como fuente de sonido porque se obtienen niveles sonoros altos y con un espectro de frecuencias generalmente muy amplio.

El procedimiento es el siguiente:

- Colocar el Medidor de Nivel Sonoro en un trípode.
- Encender el Medidor de Nivel Sonoro.
- Calibrar el Medidor de Nivel Sonoro con un calibrador acústico adecuado.
- Fijar la toma de muestra en una cada 0,2 seg.
- Seleccionar el tiempo de respuesta del Medidor de Nivel Sonoro en respuesta rápida (Fast).
- Seleccionar el filtro de ponderación en "A".
- Seleccionar el mayor rango del instrumento.
- Accionar el detonador.
- Pasado un lapso de tiempo suficiente, detener la toma de registros.
- Descargar los datos a una P.C.

INSTRUMENTAL UTILIZADO

- Medidor de Nivel Sonoro portátil "Extech Instruments" Modelo 407762 - N° de Serie 990104198. Este instrumento está diseñado de acuerdo a la norma IEC651 tipo 2, ANSI S1.4 Tipo2, para mediciones de campo, con las siguientes características:
 - Rangos desde 30 dB a 130 dB a frecuencias entre 20 Hz y 8 Khz.
 - Display LCD de cuatro dígitos con una resolución de 0,1 dB.
 - Con dos filtros de ponderación de niveles de presión sonora, A y C.
 - Interfase RS232 para descargar datos a una P.C.
 - Capacidad de almacenamiento no - volátil de hasta 4048 muestras.

Calibrador Acústico "Extech Instruments" para Medidor de Nivel Sonoro Modelo 407769 - N° de Serie 010513264. Este instrumento está diseñado de acuerdo a la norma IEC942 tipo 2, ANSI S1.40 - 1984, con las siguientes características:

- Rangos de calibración para 94 dB y 114 dB con un tono de 1 Khz.
- Computadora portátil tipo Notebook marca “IBM – Thinkpad”

ANÁLISIS DE CASOS

En particular se analizan a continuación tres casos distintos que fueron ensayados por este método, los cuales se han seleccionado ya que sus volúmenes difieren notablemente entre si. En todos los casos sólo se realizó el cálculo con las fórmulas de Sabine y con la de Norris – Eyring, pues tal como está indicado en la bibliografía consultada, ambas fórmulas utilizadas son de aplicación cuando los coeficientes de absorción son parecidos y de valores inferiores a 0,2. Recuero (2001).

Caso N° 1: Teatro Independencia – Sala de Ensayos

Al momento de realizarse el ensayo, la sala bajo estudio se encontraba con las superficies con los siguientes revestimientos:

LUGAR : Teatro Independencia – Sala de Ensayos		
CERRAMIENTO	TIPO	SUP., [m ²]
Norte: Revestimiento 1	Madera Machiembrada con cámara de aire	28.37
Sur: Revestimiento 1	Hormigón pintado/fino	8,88
Sur: Revestimiento 2	Madera Machiembrada con cámara de aire	5.23
Sur: Revestimiento 3	Vidrio, gran cristalería de vidrio grueso	2,80
Este: Revestimiento 1	Madera Machiembrada con cámara de aire	43,35
Este: Revestimiento 2	Puerta placa de madera	7.38
Oeste: Revestimiento 1	Hormigón pintado/fino	18,48
Oeste: Revestimiento 2	Madera Machiembrada con cámara de aire	27.84
Oeste: Revestimiento 3	Vidrio, gran cristalería de vidrio grueso	5,60
Techo: Revestimiento 1	Yeso sobre metal desplegado	108.57
Piso: Revestimiento 1	Parquet plastificado	101.82
Objeto 1	Personas de pie (0,8 m2/persona)	2
Objeto 2	Asiento tapizado grueso (0,8 m2/asiento)	4

Tabla N° 1. Distribución de revestimientos para el caso N° 1.

Tal situación se puede observar en la siguiente Figura N° 2:



Figura N° 2. Aspecto de la Sala de Ensayos del Teatro Independencia.

Luego de procesar los datos en una P.C. con una planilla de cálculos, los resultados de la medición para la sala ensayada se muestran en la siguiente figura, en ella se observa una subida brusca de nivel de presión sonora hasta 126 dB y a continuación un descenso más o menos lento hasta llegar al nivel del ruido de fondo, de 52 dB. El tiempo de reverberación viene dado por la escala de tiempos y se considera desde el nivel máximo hasta una atenuación de 60 dB por debajo del mismo.



Figura N° 3. Tiempo de Reverberación actual medido para la sala del caso N° 1.

Como se puede observar en la figura anterior el TR60 es de 2,7 seg.

En la siguiente tabla se comparan los resultados de la medición con los valores calculados con las fórmulas de Sabine y Norris – Eyring.

Lugar	Teatro Independencia – Sala de Ensayos							
Volumen, [m ³]	379,80			TR60 medido, [s]			2,7	
Frecuencia, [Hz]	128	256	512	1024	2048	4096	TR60 m	e%
TR60 CALC. Sabine, [s]	3,88	2,07	2,58	2,45	2,31	3,16	2,74	1%
TR60 CALC. Norris, [s]	3,79	1,98	2,49	2,36	2,22	3,07	2,65	2%

Tabla N° 2. Comparación de resultados para el caso N° 1.

Caso N° 2: Club "Los Tilos" - Salón principal

Al momento de realizarse el ensayo, la sala bajo estudio se encontraba con las superficies con los siguientes revestimientos:

LUGAR : Club "Los Tilos" - Salón principal		
CERRAMIENTO	TIPO	SUP., [m ²]
Norte: Revestimiento 1	Ladrillo visto pintado	40,86
Norte: Revestimiento 2	Vidrio, gran cristalería de vidrio grueso	45,20
Sur: Revestimiento 1	Ladrillo visto pintado	53,28
Sur: Revestimiento 2	Vidrio, gran cristalería de vidrio grueso	32,78
Este: Revestimiento 1	Ladrillo visto pintado	30,38
Este: Revestimiento 2	Vidrio, gran cristalería de vidrio grueso	9,00
Oeste: Revestimiento 1	Ladrillo visto pintado	30,38
Oeste: Revestimiento 2	Vidrio, gran cristalería de vidrio grueso	9,00
Techo: Revestimiento 1	Revoque de cal y arena	186,42
Piso: Revestimiento 1	Calcáreo	240,98
Objeto 1	Personas de pie (0,8 m ² /persona)	6
Objeto 2	Asiento tapizado grueso (0,8 m ² /asiento)	20

Tabla N° 3. Distribución de revestimientos para el caso N° 2.

Tal situación se puede observar en la Figura N° 4:



Figura N° 4. Aspecto de la Sala del Club “Los Tilos”

Luego de procesar los datos en una P.C. con una planilla de cálculos, los resultados de la medición para la sala ensayada se muestran en la siguiente figura, en ella se observa una subida brusca de nivel de presión sonora hasta casi 119 dB y a continuación un descenso mas o menos lento hasta llegar al nivel del ruido de fondo, de 49,5 dB. El tiempo de reverberación viene dado por la escala de tiempos y se considera desde el nivel máximo hasta una atenuación de 60 dB por debajo del mismo.

TR60 - Salon Ppal. - Club "Los Tilos"

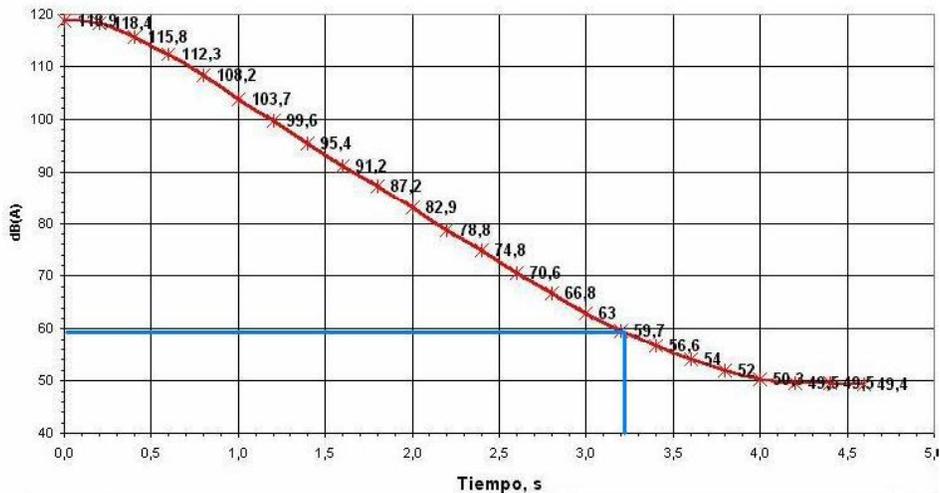


Figura N° 2: Tiempo de Reverberación actual medido para la Sala del Club “Los Tilos”

Como se puede observar en la figura anterior el TR60 es de 3,2 seg.

En la siguiente tabla se comparan los resultados de la medición con los valores calculados con las fórmulas de Sabine y Norris – Eyring.

Lugar	Club "Los Tilos" - Salón principal							
Volumen, [m ³]	710,88			TR60 medido, [s]			3,2	
Frecuencia, [Hz]	128	256	512	1024	2048	4096	TR60 m	e%
TR60 CALC. Sabine, [s]	4.21	3.83	3.11	2.81	3.53	3.11	3.43	7%
TR60 CALC. Norris, [s]	4.12	3.74	3.02	2.72	3.44	3.02	3.34	4%

Tabla N° 4. Comparación de resultados para el caso N° 2.

Caso N° 3: Templo Evangélico

Al momento de realizarse el ensayo, la sala bajo estudio se encontraba con las superficies con los siguientes revestimientos:

LUGAR : Templo Evangélico		
CERRAMIENTO	TIPO	SUP., [m ²]
Norte: Revestimiento 1	Enlucido Yeso o cal, terminación fina, barnizado	99,18
Sur: Revestimiento 1	Enlucido Yeso o cal, terminación fina, barnizado	99,18
Este: Revestimiento 1	Placa de yeso de 12 mm, con cámara de aire	146,16
Oeste: Revestimiento 1	Enlucido Yeso o cal, terminación gruesa	146,16
Techo: Revestimiento 1	Placa de yeso, con cámara de aire	497,29
Piso: Revestimiento 1	Cerámico	423,82
Objeto 1	Personas de pie (0,8 m ² /persona)	2
Objeto 2	Escenario revestido en moqueta	73,46

Tabla N° 5. Distribución de revestimientos para el caso N° 3.

Tal situación se puede observar en la Figura N° 5:



Figura N° 5. Aspecto del salón del Templo Evangélico.

Luego de procesar los datos en una P.C. con una planilla de cálculos, el tiempo de reverberación obtenido fue de 4,5 segundos.

En la siguiente tabla se comparan los resultados de la medición con los valores calculados con las fórmulas de Sabine y Norris – Eyring.

Lugar	Templo Evangélico							
Volumen, [m ³]	2523,94			TR60 medido, [s]			4,5	
Frecuencia, [Hz]	128	256	512	1024	2048	4096	TR60 m	e%
TR60 CALC. Sabine, [s]	1,98	4,69	5,52	5,42	4,70	4,19	4,42	2%
TR60 CALC. Norris, [s]	1,84	4,55	5,38	5,28	4,56	4,05	4,28	5%

Tabla N° 6. Comparación de resultados para el caso N° 3.

CONCLUSIONES

El método de medición empleado permite obtener resultados rápidos y con un buen grado de aproximación. Tiene la ventaja de ser un método sencillo de implementar. La desventaja radica en el hecho de que no aporta información discriminada sobre las distintas bandas de octava. Por lo tanto, este método es útil en una etapa inicial de acondicionamiento acústico de una sala.

BIBLIOGRAFÍA

- Recuero López, M. (1999), “*Acústica Arquitectónica*”, Ed. Paraninfo, Madrid.
 Recuero López, M. (2000), “*Ingeniería Acústica*”, Ed. Paraninfo, Madrid.
 Davis, D. y Davis, C. (1987), “*Sound System Engineering*”, Ed. Sams, Indianápolis.
 Mompín Poblet, J. et al. (1982), “*Manual de Alta Fidelidad y Sonido Profesional*”. Ed. Marcombo Boixareu, Barcelona.
 Recuero López, M. (2001), “*Acondicionamiento Acústico*”, Ed. Paraninfo, Madrid.