

Comparación del valor teórico y la medición del TR60 mediante el método de la detonación

C.E. Boschi & A.F. González

cboschi@frm.utn.edu.ar & adofgon@lanet.com.ar

Laboratorio de Acústica y Sonido “Mario Guillermo Camín”, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza.

RESUMEN: El objetivo del presente estudio es exponer los resultados de la comparación entre el valor teórico del Tiempo de Reverberación (TR60) calculado según distintos modelos que fueron desarrollados para predecir dicho Tiempo de Reverberación en recintos cerrados y los valores obtenidos a través de la medición utilizando un método experimental adaptado en el Laboratorio de Acústica y Sonido “Mario Guillermo Camín”. Se analizan tres casos, se presenta la relación entre los dos procedimientos y se obtienen conclusiones sobre los valores obtenidos.

Palabras clave: Acústica - Arquitectura - Sonido - Reverberación – Materiales

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 three 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.

Key words: Acoustics - Architectural - Sound - Reverberation – Materials

1 INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista de la Física el sonido, es una vibración mecánica capaz de producir una sensación auditiva; en cambio desde el punto de vista de la Fisiología, es una sensación auditiva producida por una vibración de carácter mecánico.

Cuando un objeto vibra, en su entorno inmediato se producen variaciones de presión y estas variaciones se propagan a través de un medio que puede ser sólido, líquido o gaseoso. Las partículas materiales que transmiten tales ondas oscilan en la dirección de la propagación de las mismas ondas.

El sonido llega a nuestros oídos gracias a que las partículas que componen el aire vibran y transmiten su oscilación.

La máxima amplitud que alcanzan las ondas se llama amplitud y determina el volumen o nivel sonoro.

Al número de ondas que caben en un tiempo determinado se lo llama frecuencia, y se lo mide en Hertz.

La medida del espacio que existe entre una onda y la siguiente se llama longitud de onda, entonces cuanto más alta es la frecuencia menor es la longitud entre las ondas en un mismo tiempo.

1.1 Nivel de Presión Sonora

La presión atmosférica, es decir la presión del aire ambiental en ausencia de sonido, se mide en Pascal, Pa. Esta presión es de alrededor de 100 KPa.

La presión sonora es la diferencia entre la presión instantánea debida a un sonido y la presión atmosférica.

La presión sonora tiene en general valores muchísimo menores que el correspondiente a la presión atmosférica.

Por ejemplo, los sonidos más intensos que pueden soportarse sin experimentar un dolor auditivo agudo corresponden a unos 20 Pa, mientras que los apenas audibles están cerca de 20 μ Pa.

El hecho de que la relación entre la presión sonora del sonido más intenso y la del sonido más débil sea del orden de un millón de veces ha llevado a adoptar una escala comprimida denominada escala logarítmica.

Llamando Pref, presión de referencia a la presión de un tono apenas audible (es decir 20 μ Pa) y P a la presión sonora, podemos definir el nivel de presión sonora (NPS) Lp como

$$L_p = 20 \log (P / P_{ref}) \quad (1)$$

Cuando las ondas sonoras se propagan en el interior de un recinto cerrado y 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 aun 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 1 se muestran los valores de los tiempos de reverberación e función del volumen en recintos considerados con buena acústica, a frecuencias medias:

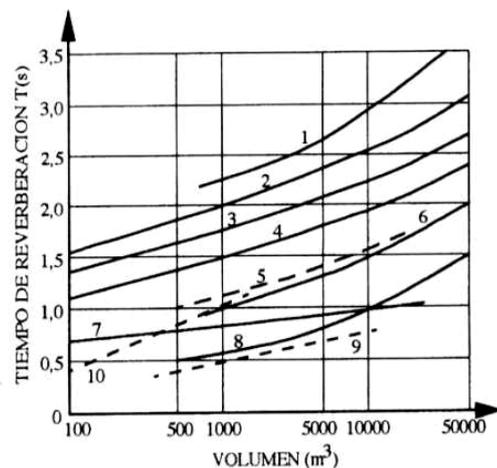


Figura 1. Variación del tiempo de reverberación con el volumen en recintos considerados con buena acústica, a frecuencias medias para: 1. Salas para música religiosa; 2. Salas de concierto para música orquestal; 3. Salas de concierto para música ligera; 4. Estudios de concierto; 5. Salas de baile; 6.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

2 CALCULO DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN (TR60)

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, a saber:

2.1 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 [2]. Teniendo en cuenta estos supuestos el tiempo de reverberación puede calcularse mediante la fórmula:

$$T = 0,161 [V/A] \quad (2)$$

Donde: T es el tiempo de reverberación [s], V el volumen de la sala [m³] y A la absorción total [m²]; obtenida a partir de

$$A = a \cdot S \quad (3)$$

Siendo: a el coeficiente de absorción sonora y S el área de la superficie de la sala [m²].

2.2 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 [3].

$$T = 0,161 [V/(-S \ln(1 - a_m))] \quad (4)$$

Donde: a_m es el coeficiente de absorción medio.

Las fórmulas de Sabine y de Norris – Eyring, son de aplicación cuando los coeficientes de absorción son parecidos y de valores inferiores a 0,2 [5].

2.3 Fórmula de Millington - Sette

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

$$T = 0,161 [V/(-\sum S_i \ln(1 - a_i))] \quad (5)$$

Donde: S_i es el área del material iésimo [m²] y a_i el coeficiente de absorción de dicho material.

En todos los casos no se ha tenido en cuenta el factor de absorción del aire, el cuál solo resulta significativo para las cortas longitudes de onda, sobre todo en salas de gran volumen, mayor a 5000 m³.

3 MÉTODO EXPERIMENTAL 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 [4]. 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 muestras 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.
- Iniciar la toma de registros.
- Accionar el detonador.
- Pasado un lapso de tiempo suficiente, detener la toma de registros.
- Descargar los datos a una P.C. y procesarlos.

Como detonador se puede emplear un revolver con munición de fogeo o en su defecto un petardo cuya explosión permita obtener niveles sonoros de aproximadamente 110 dB. En los casos bajo estudio se emplearon petardos.

4 CORRESPONDENCIA CÁLCULO TEÓRICO Y LA MEDICIÓN MEDIANTE EL MÉTODO EXPERIMENTAL - ANÁLISIS DE CASOS

En particular se analizan a continuación tres casos que fueron ensayados por este método, los cuales se han seleccionado ya que sus volúmenes difieren notablemente entre sí.

4.1 Caso N° 1: Recinto de volumen pequeño

El estudio se realizó en el salón auxiliar del Club "Los Tilos", cuyo volumen es de 190,58 m³.

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

CERRAMIENTO/ELEMENTO - TIPO	SUP.
-----------------------------	------

		[m ²]
Norte	Ladrillo visto pintado	21,38
Norte	Cortina 475 g/m ² , colgando recto, fruncida al 50%	3,38
Sur	Ladrillo visto pintado	21,38
Sur	Cortina 475 g/m ² , colgando recto, fruncida al 50%	3,38
Este	Ladrillo visto pintado	14,63
Este	Cortina 475 g/m ² , colgando recto, fruncida al 50%	2,31
Oeste	Ladrillo visto pintado	14,63
Oeste	Cortina 475 g/m ² , colgando recto, fruncida al 50%	2,31
Techo	Revoque de cal y arena	86,63
Piso	Calcáreo	86,63

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

Tal situación se puede observar en la Figura 2:



Figura 2. Aspecto de la Salón auxiliar 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 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.

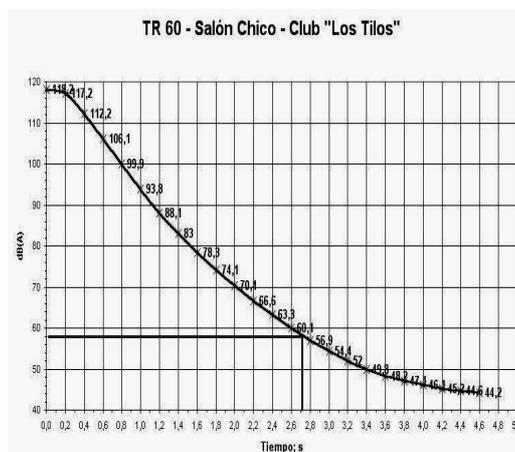


Figura 3. Tiempo de Reverberación medido para el Salón auxiliar del Club "Los Tilos"

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

A continuación se comparan los resultados de la medición con los valores calculados con las fórmulas.

Datos Iniciales

$$V = 190,58 \text{ m}^3$$

$$\text{TR60 medido} = 2,7 \text{ s}$$

TR60 CALCULADO SEGÚN	TR60 _{medio} [s]	e %
Fórmula de Sabine	2,78	3
Fórmula de Norris - Eyring	2,72	0,81
Fórmula de Millington - Sette	2,41	11

Tabla 2. Cálculo de los errores relativos porcentuales para cada fórmula para el Caso N° 1.

4.2 Caso N° 2: Recinto de volumen medio

El estudio se realizó en el salón principal del Club "Los Tilos", cuyo volumen es de 710,88 m³.

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

CERRAMIENTO/ELEMENTO - TIPO	SUP.
-----------------------------	------

		[m ²]
Norte	Ladrillo visto pintado	40,86
Norte	Vidrio, gran cristalería de vidrio grueso	45,20
Sur	Ladrillo visto pintado	53,28
Sur	Vidrio, gran cristalería de vidrio grueso	32,78
Este	Ladrillo visto pintado	30,38
Este	Vidrio, gran cristalería de vidrio grueso	9,00
Oeste	Ladrillo visto pintado	30,38
Oeste	Vidrio, gran cristalería de vidrio grueso	9,00
Techo	Revoque de cal y arena	251,92
Piso	Calcáreo	240,98
Obj. 1	Personas de pie (0,8 m ² /persona)	6
Obj. 2	Asiento tapizado grueso (0,8 m ² /asiento)	20

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

Tal situación se puede observar en la Figura 4:



Figura 4. Aspecto de la Salón principal del Club "Los Tilos".

Siguiendo el procedimiento antes descrito, se obtuvieron los siguientes resultados:

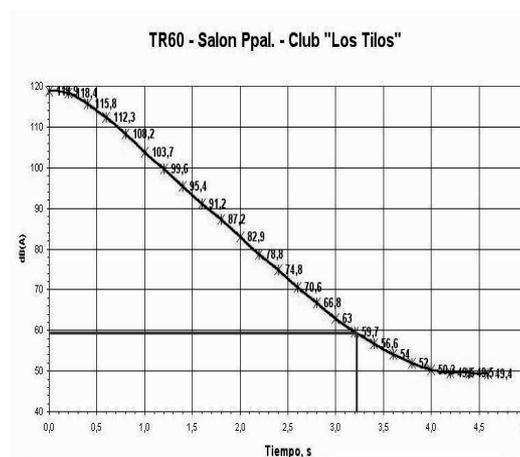


Figura 5. Tiempo de Reverberación medido para el Salón principal del Club "Los Tilos"

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

A continuación se comparan los resultados de la medición con los valores calculados con las fórmulas.

Datos Iniciales

$$V = 710,88 \text{ m}^3$$

$$\text{TR60 medido} = 3,2 \text{ s}$$

TR60 CALCULADO SEGÚN	TR60 _{medio} [s]	e %
Fórmula de Sabine	3,39	5,91
Fórmula de Norris - Eyring	3,30	3,12
Fórmula de Millington - Sette	5,73	79

Tabla 4. Cálculo de los errores relativos porcentuales para cada fórmula para el Caso N° 2.

4.3 Caso N° 3: Recinto de volumen grande

El estudio se realizó en el salón principal del templo evangelista, cuyo volumen es de 2523,94 m³.

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

CERRAMIENTO/ELEMENTO - TIPO	SUP.

			[m ³]
Norte	Enlucido Yeso o cal, terminación fina, barnizado		99,18
Sur	Enlucido Yeso o cal, terminación fina, barnizado		99,18
Este	Placa de yeso de 12 mm, con cámara de aire		146,16
Oeste	Enlucido Yeso o cal, terminación fina, barnizado		146,16
Techo	Placa de yeso, con cámara de aire		497,29
Piso	Cerámico		423,82
Obj. 1	Personas de pie (0,8 m ² /persona)		2
Obj. 2	Escenario revestido en moqueta		73,46

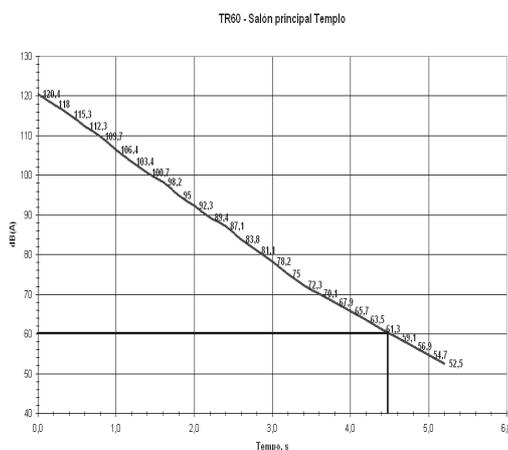
Tabla 5. Distribución de revestimientos para el Caso N° 3.

Tal situación se puede observar en la Figura 6:



Figura 6. Aspecto del salón del Templo Evangélico.

Del mismo modo se obtuvo:



A continuación se comparan los resultados de la medición con los valores calculados con las fórmulas.

Datos Iniciales

$$V = 2523,94 \text{ m}^3$$

$$\text{TR60 medido} = 4,5 \text{ s}$$

TR60 CALCULADO SEGÚN	TR60 _{medio} [s]	e %
Fórmula de Sabine	4,42	1,8
Fórmula de Norris - Eyring	4,28	4,9
Fórmula de Millington - Sette	4,04	10,3

Tabla 6. Cálculo de los errores relativos porcentuales para cada fórmula para el Caso N° 3.

5 CONCLUSIONES

Se cotejaron los resultados obtenidos por medio de las fórmulas teóricas con los obtenidos con el método experimental para tres salas de volúmenes distintos. Para las Fórmulas de Sabine y de Norris - Eyring el error relativo porcentual se mantuvo dentro de un dígito. En cambio para la Fórmula de Millington - Sette el error fue muy significativo para salas de volúmenes pequeños y se redujo casi al 10 % para la sala de volumen grande. Se concluye que 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.

REFERENCIAS

- [1] M. Recuero López, Acústica Arquitectónica, Ed. Paraninfo, Madrid, 1999.
- [2] M. Recuero López, Ingeniería Acústica, Ed. Paraninfo, Madrid, 2000.
- [3] D. Davis y C. Davis, Sound System Engineering, Ed. Sams, Indianápolis, 1987.
- [4] J. Mompín Poblet et al, Manual de Alta Fidelidad y Sonido Profesional, Ed. Marcombo Boixareu, Barcelona, 1982.
- [5] M. Recuero López, Acondicionamiento Acústico, Ed. Paraninfo, Madrid, 2001.