

PRIMERAS JORNADAS REGIONALES DE ACÚSTICA AdAA 2009

19 y 20 de noviembre de 2009, Rosario, Argentina



AdAA2009-A050R

Relevamiento y valoración de parámetros acústicos sobre dos auditorios argentinos modernos

Alan Javier Chorubczyk^(a),
Florent Masson^(a).

(a) Ingeniería de Sonido, Universidad Nacional de Tres de Febrero. Valentín Gómez 4828/38, Caseros, Buenos Aires, Argentina. E-mail: caseros@untref.edu.ar

Abstract

In this research parameters derived from the reverberation time (RT), that define various aspects of room acoustics, are analyzed. In-situ measurements have been made in two modern Argentine auditoriums: a class and lecture room, and an auditorium for chamber music and prayer ceremonies. Signals were acquired and processed by specific software. Then, the values obtained for each parameter, have been analyzed and compared with the recommendations proposed by acousticians. Several conclusions about the relationship between the constructive characteristics of the enclosure and the measured values are discussed.

Resumen

A lo largo de esta investigación se analizan parámetros derivados del tiempo de reverberación (RT) que definen varios aspectos de la acústica de salas. Para ello se realizan mediciones *in situ* en dos auditorios argentinos modernos: una sala de conferencias y clases, y un auditorio para interpretación de música de cámara y ceremonias religiosas. Las señales tomadas son procesadas mediante software. Luego, los valores obtenidos de cada parámetro son analizados y comparados con las recomendaciones propuestas por profesionales de la acústica. De esta forma se deducen conclusiones sobre la relación entre las características constructivas del recinto y los valores obtenidos.

1 Introducción

Es sabido que el estudio de la acústica de auditorios es muy importante en el diseño y la calificación de los mismos, puesto que estos deben ser hechos para responder y ayudar a la percepción sonora de las personas que acuden. Esto mismo es lo que incentivó a *Wallace Clement Sabine*¹ a realizar estudios sobre acústica arquitectónica y a definir uno de los parámetros más relevantes de la acústica moderna, el *RT* (Tiempo de Reverberación). Además de definir este importante parámetro, *Sabine* desarrolló las fórmulas para la predicción del mismo, las cuales aún hoy en día se utilizan para realizar una aproximación rápida del *RT*.

La relevancia del *RT* en el estudio de acústica de salas se debe a que este parámetro dependerá de la densidad e intensidad de las reflexiones que se producen en el recinto, a lo largo del tiempo y luego del cese de la emisión sonora. Por supuesto las reflexiones serán básicamente definidas de acuerdo a las características geométricas de la sala y la absorción de los materiales presentes. Por lo tanto la densidad de reflexiones que posea el *RT* resultante, o el predominio en él de las bajas o altas frecuencias, dependerá de las características físicas de la sala. Además, es posible afirmar que el *RT* es una de las variables que establece la inteligibilidad de la palabra, el realce instrumental, y también la “coloración” que el recinto impone.

Por otro lado, existen diferentes métodos de relevación del *RT* de una sala. Cada método conlleva ventajas y desventajas. Pero además, de acuerdo al método utilizado podría variar el valor del *RT* obtenido.

Debido a lo anteriormente mencionado esta investigación se motiva en el análisis de las características que intervienen en el *RT* y en algunos parámetros que derivan del mismo. Para luego comprender cómo, el efecto de estas variables en cada parámetro, expone y define aspectos de la calidad acústica de cada auditorio analizado. Además, es objetivo de este trabajo analizar, las ventajas y desventajas, y los errores del método de relevación utilizado.

2 Definición del *RT* y parámetros derivados [5]

2.1 *RT*, *T*₁₀, *T*₂₀, *T*₃₀ y *EDT*

El tiempo de reverberación fue definido por *Wallace Clement Sabine* como el tiempo desde que cesa la emisión sonora hasta que el nivel de presión sonora (NPS) decae 60 dB con respecto a su valor inicial. El *RT* se utiliza para tener noción del campo reverberante, la prolongación del sonido y la modificación que este recibe por efecto de la sala, a través del tiempo y luego de emitido. Se obtienen los valores del *RT* mediante el cálculo de la pendiente de la linealización de la curva de decaimiento energético obtenida desde el cese de la emisión. Una forma de estimar, en forma teórica, el *RT* de una sala es mediante la fórmula de *Sabine* presentada en la ecuación (1). Donde *V* es el volumen del recinto [m³], $\bar{\alpha}$ es el coeficiente de absorción promedio y *S*_{tot} [m²] es la superficie total de la sala, a la que está expuesta la fuente sonora. Este cálculo es sólo aplicable a salas con campo de reflexiones lo suficientemente homogéneo, geometría regular, $\bar{\alpha}$ menor a 0,4 y distribución uniforme de revestimientos.

¹ *Wallace Clement Sabine* (1868-1919) – Físico nacido en Estados Unidos. Realizó grandes aportes al desarrollo de la acústica arquitectónica. Fue profesor en la Universidad Harvard y consultor acústico del Boston's Symphony Hall.

$$RT = \frac{0,161.V}{\bar{\alpha}.S_{tot}} \quad (1)$$

Debido a que ciertas veces se presentan dificultades para conseguir una curva de decaimiento energético adecuada para el cálculo del RT , se suele trabajar con los valores de T_{10} , T_{20} y T_{30} . El T_{10} se calcula sobre la curva de decaimiento energético, a partir de su valor en -5 dB respecto del máximo, con su respectiva linealización en -15 dB, extrapolando el cálculo hasta alcanzar un decaimiento de 60 dB. El T_{20} y el T_{30} son calculados de forma similar pero el tramo de curva de decaimiento tomado es de -5 a -25 dB y de -5 a -35 dB respectivamente. Mediante el análisis del conjunto T_{10} , T_{20} y T_{30} se puede identificar el progreso y el grado de percepción subjetiva del decaimiento energético.

Otro parámetro que determina el campo reverberante es el *Early decay time (EDT)*. Este parámetro otorga información únicamente sobre el campo de reverberaciones tempranas. Su cálculo se basa, al igual que el T_{10} , T_{20} y T_{30} , pero en la extensión de la curva de decaimiento energético a partir de 0dB hasta -10 dB, extrapolando el cálculo hasta alcanzar un decaimiento de -60 dB.

A continuación se definen los parámetros derivados del RT y que definen la acústica específica de una sala. Éstos se pueden diferenciar en dos tipos, los dedicados a otorgar información sobre la inteligibilidad de la palabra (D_{50} y STI) y los dedicados a la calidad de interpretación musical (BR , Br y C_{80}).

2.2 Inteligibilidad de la palabra (D_{50} y STI)

La *Definición*, D_{50} , es la relación entre la energía de los primeros 50 ms y la energía total desde la recepción del sonido directo, calculado esto sobre la respuesta al impulso del recinto, expresado analíticamente en la ecuación (2). Los primeros 50 ms del decaimiento energético serían integrados en una única información incrementando la definición del sonido emitido. A partir de estos 50 ms se empieza a percibir el decaimiento energético como reverberación. Por ello es que esta relación denota la definición de la palabra en una sala.

$$D_{50} = \frac{\int_0^{0,05} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (2)$$

El *Speech Transmission Index*, STI , indicará la pérdida de percepción de las consonantes debido a la pérdida de la profundidad de la modulación de los mensajes en los puntos de escucha, fundamentalmente debido al tiempo de reverberación y al ruido de fondo. Este parámetro corresponderá a un cero cuando la inteligibilidad en la sala sea nula y a un uno cuando la inteligibilidad sea óptima. Debido a su largo proceso de cálculo y falta de relevancia en el análisis éste no será explicado en este trabajo pero se podrá encontrar esta información en la bibliografía de referencia [5].

2.3 Calidad de la interpretación musical (BR , Br y C_{80})

La *Calidez acústica*, BR , (Bass Ratio) es la relación entre los tiempos de reverberación de las bandas de bajas frecuencias y los de las bandas medias, presentada analíticamente en la ecuación (3). En valores apropiados, esta relación denota la suavidad de la respuesta de la sala a la interpretación musical.

$$BR = \frac{RT(125 \text{ Hz}) + RT(250 \text{ Hz})}{RT(500 \text{ Hz}) + RT(1 \text{ kHz})} \quad (3)$$

El *Brillo*, Br , es el parámetro equivalente al BR pero dedicado al análisis del comportamiento de los tiempos de reverberación de las frecuencias altas en el recinto. Se define mediante la ecuación (4) como la relación entre los tiempos de reverberación de las bandas de frecuencias altas y los de las bandas medias. Denota el predominio temporal de los agudos.

$$Br = \frac{RT(2 \text{ kHz}) + RT(4 \text{ kHz})}{RT(500 \text{ Hz}) + RT(1 \text{ kHz})} \quad (4)$$

La *Claridad musical*, C_{80} , se define como la relación energética, expresada en dB, entre los primeros 80 ms del decaimiento sonoro y el decaimiento restante, siempre evaluado sobre la respuesta al impulso del recinto. Esta relación se expresa analíticamente mediante la ecuación (5). El C_{80} presenta una noción sobre la definición de cada sonido que participa en la interpretación musical [5]. Se suele utilizar el C_{80} (“music average”) o $C_{80}(3)$ siendo estos el promedio entre el C_{80} de las bandas de 500 Hz, 1 kHz y 2 kHz.

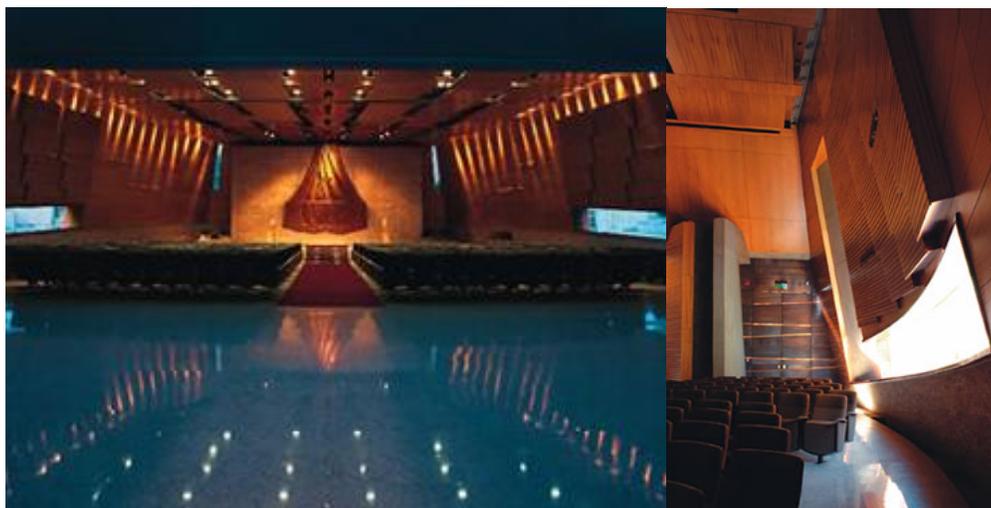
$$C_{80} = 10 \log \frac{\int_0^{0,08} p^2(t) dt}{\int_{0,08}^{\infty} p^2(t) dt} \quad (5)$$

3 Información sobre los auditorios analizados

3.1 Auditorio del templo de la Comunidad Amijai

El auditorio es parte de un templo religioso. Fue construido en el 2003 con el propósito de otorgar conciertos de música de cámara y realizar ceremonias de rezo, en las cuales ocasionalmente participan cantantes e instrumentistas. La totalidad de la estructura es de hormigón armado. Los pisos están cubiertos de granito. En la sección del escenario se ha agregado una plataforma de madera, en el fondo del escenario se presenta una pared de ladrillos de piedra cubierta con una pesada cortina. Sobre los lados se encuentra una pared a media altura recubierta con ladrillos de piedra. El resto de la pared presenta la aplicación de material absorbente, el cual es recubierto por paneles de madera con ángulos varios y que funcionarían como difusores y reflectores. En las dos paredes laterales se encuentra una ventana de vidrio doble a media altura. Las sillas son principalmente de hierro y madera con una gruesa capa de espuma y tela absorbentes. Los techos están recubiertos de material absorbente y paneles de madera reflejante ubicados con diferentes ángulos, que probablemente también funcionarían como absorbentes reactivos. La entrada es completamente de paneles de madera colgantes, apilables hacia los lados, y ocupan toda la sección posicionada detrás de las sillas. La sección de estos paneles conecta la sala principal con otra utilizada como ampliación. La cantidad de espectadores que admite la sala sin ampliar es de aproximadamente 450 personas. El volumen es de 2880 m^3 . Estas características son observables en las figuras 1, 2, 3 y 4.

Ubicación: Arribeños 2355, Capital Federal, Buenos Aires, Argentina.
<http://www.amijai.org/>



Figuras 1 y 2. Interior y detalle lateral del auditorio del templo de la Comunidad Amijai.

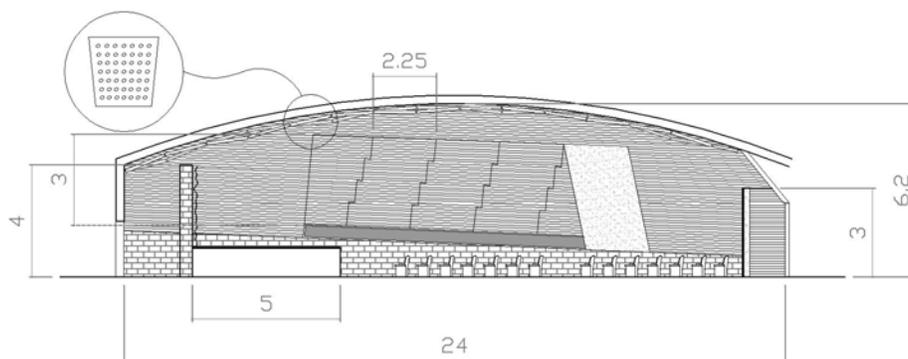


Figura 3. Corte con detalles constructivos del auditorio del templo de la Comunidad Amijai.

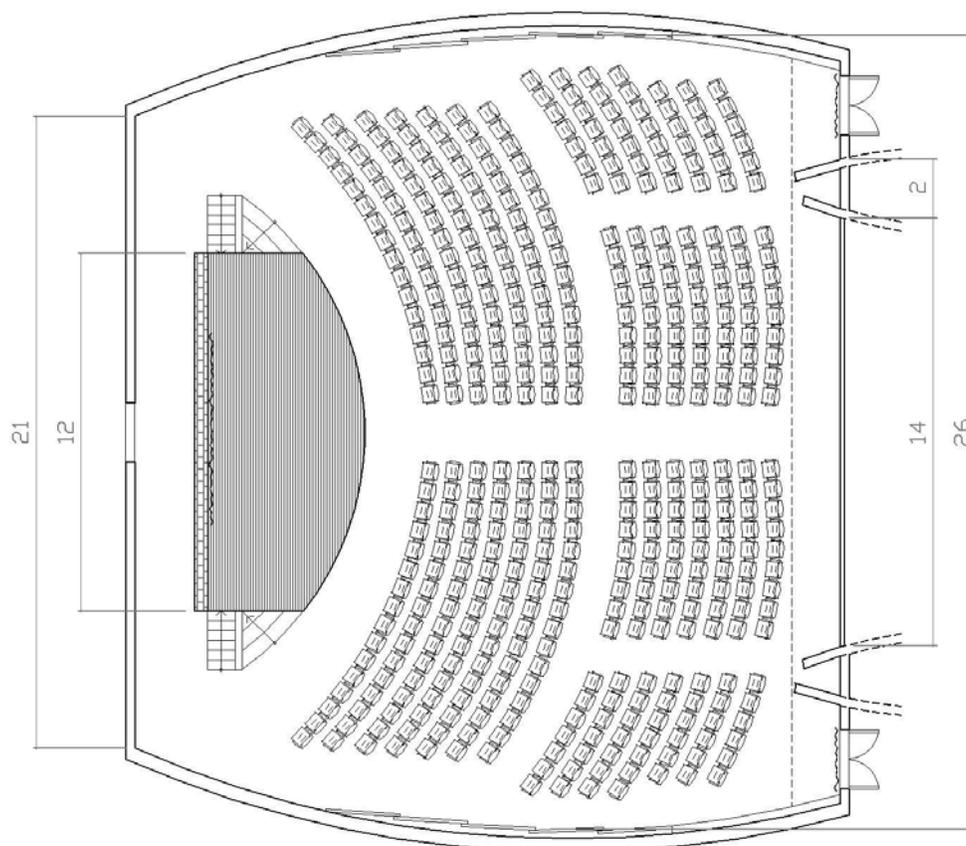


Figura 4. Planta con detalles constructivos del auditorio del templo de la Comunidad Amijai.

3.2 Auditorio Noel Werthein de la Escuela Técnica ORT

El propósito de este auditorio radica en la presentación de conferencias, muestras varias y clases audiovisuales. Su acondicionamiento se llevó a cabo en el año 2004. La sala admite 108 espectadores. El volumen de la misma es de 385 m^3 . Sus pisos están cubiertos de madera y las sillas son de madera, hierro y espuma gruesa recubierta de tela porosa. Las paredes y los techos están recubiertos de una capa de lana de vidrio sobre la cual se aplicó una tela contenedora. Sobre esta capa de lana de vidrio se ubicaron placas de madera con orificios, estas placas quizás podrían funcionar como resonadores reactivos. Las puertas de este auditorio son de madera y cierran herméticamente. Además este auditorio presenta una pendiente escalonada en la sección del público. Detrás del público se encuentra una ventana de vidrio y una puerta que se conectan con una cabina de control de audio y luces. Las características descriptas se pueden observar en las figuras 5, 6 y 7.

Ubicación: Yatay 240, Capital Federal, Buenos Aires, Argentina. <http://www.ort.edu.ar/>



Figura 5. Interior del auditorio Noel Werthein de la Escuela Técnica ORT (corte y planta respectivamente).

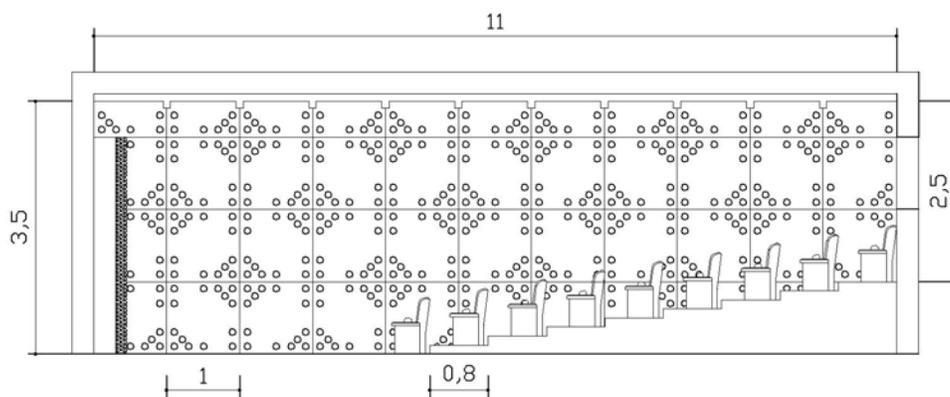


Figura 6. Corte con detalles constructivos del auditorio Noel Werthein de la Escuela Técnica ORT.

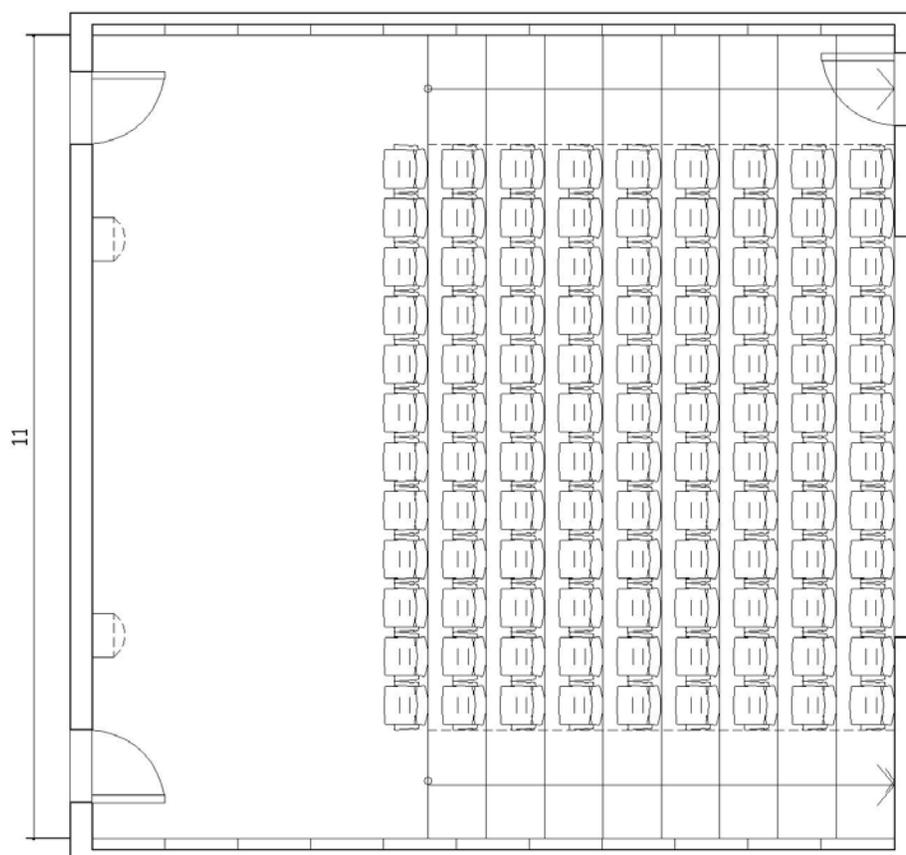


Figura 7. Planta con detalles constructivos del auditorio Noel Werthein de la Escuela Técnica ORT.

4 Relevamiento de los parámetros acústicos

4.1 Metodología de las mediciones

El relevamiento de parámetros acústicos se realizó mediante la grabación de un impulso y su decaimiento en diferentes posiciones de cada auditorio. La norma ISO-3382 [6] indica para la medición el uso de un sonómetro de Clase 1 y la calibración del mismo antes y después de su uso. Sin embargo este trabajo se centra en el análisis de parámetros que no dependen del valor exacto del NPS sino de la dinámica del mismo. Estos parámetros se basan en la relación entre la energía directa y la energía reverberante, y en el tiempo que transcurre al decrecer la energía en determinada proporción (ver definiciones de la sección 2). Por lo tanto no es requerido, para este análisis en particular, el uso de un sonómetro calibrado. Sin embargo es necesaria la utilización de un micrófono de patrón polar omnidireccional y de respuesta en frecuencia plana de modo que garantice la captación óptima, minimizando distorsiones de toda índole. En este trabajo se utilizó un micrófono de condensador AKG C414 LTD, de respuesta en frecuencia aproximadamente plana y seteado en su patrón de respuesta omnidireccional².

² El patrón polar y la respuesta en frecuencia de este micrófono se pueden observar en la página web del fabricante, <http://www.ake.com/>

Para el análisis del RT es necesario obtener un sonido cuya energía supere en 60 dB al ruido de fondo con componentes frecuenciales de todo el espectro de interés; es decir de 250 Hz a 8.000 Hz. Además la fuente utilizada debe ser omnidireccional para lograr irradiar uniformemente todas las caras interiores del recinto. Es por ello que se utilizó un globo para la generación de un impulso. Si bien el sonido que emite un globo al explotar tiene deficiencia en las bajas frecuencias, su patrón de radiación es cuasi omnidireccional y genera un rango dinámico elevado. Sobre la afirmación anterior se profundiza en los artículos [7] y [8] de la bibliografía. Por otro lado el uso de pistolas con balas de salva o explosivos podría generar inconvenientes institucionales.

Para el registro de la señal se utilizó un procesador *iMac G5* con una placa de sonido externa *Presonus Firebox* y un software de grabación tomando muestras a 44.100 Hz y 16 bits. De esta forma se pudo digitalizar la señal en forma apropiada. El análisis de las mediciones se realizó mediante un software de procesamiento de señales para la obtención de parámetros acústicos. Se analizaron mediante este software los parámetros derivados del RT que no dependen del valor exacto del NPS y que sirvieron para el análisis de la calidad acústica de las salas en cuestión.

4.2 Puntos de Medición

Según la norma, el receptor debe estar alejado al menos un cuarto de onda de cualquier superficie reflejante para poder registrar todas las frecuencias requeridas. En el rango usualmente analizado (250 a 8.000 Hz) es aproximadamente equivalente a 1 m. Se deben tener en cuenta el piso y el techo si estos son superficies reflejantes. Para evitar que el sonido directo tenga gran influencia sobre la medición se requiere que la distancia entre la fuente y el micrófono no sea menor a la calculable mediante la ecuación 6. En donde V es el volumen de la sala (m^3), c es la velocidad del sonido (m/s) y T es la estimación esperada del RT (s). Previo a las mediciones se realizaron estimaciones aproximadas de la distancia mínima para cada auditorio analizado. Para el auditorio de la Comunidad amijai la distancia mínima se estimó del orden de los 5 m, y para el auditorio de la Escuela Técnica ORT del orden de los 2,5 m.

$$d_{\min} = 2 \cdot \sqrt{\frac{V}{cT}} \quad (6)$$

En las figuras 8 y 9 se puede observar en detalle las posiciones y distancias del micrófono y la fuente en cada medición. Las posiciones se justifican teniendo en cuenta las dimensiones de cada auditorio, sus superficies reflejantes y su geometría. Otras características a tener en cuenta son, la cobertura de las posiciones más relevantes o significativas y el cubrir las diferentes secciones del auditorio. Es por esto mismo que en los dos auditorios se priorizaron las mediciones con la fuente en el escenario. La cantidad de mediciones realizada en cada auditorio depende del volumen del auditorio y su capacidad, tema explícito en la normativa.

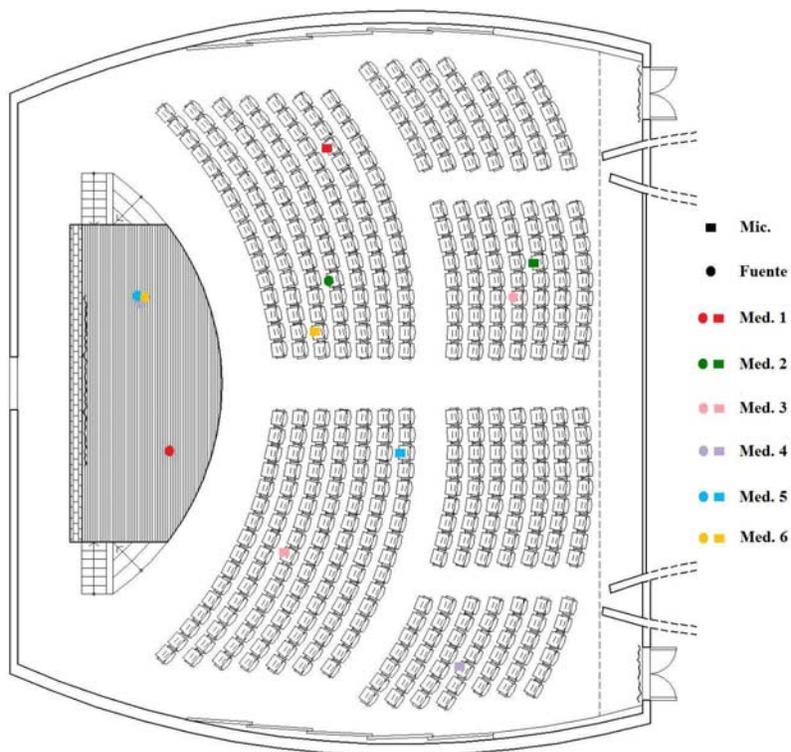


Figura 8. Ubicación de los puntos de medición utilizados en el auditorio del templo de la Comunidad Amijai.

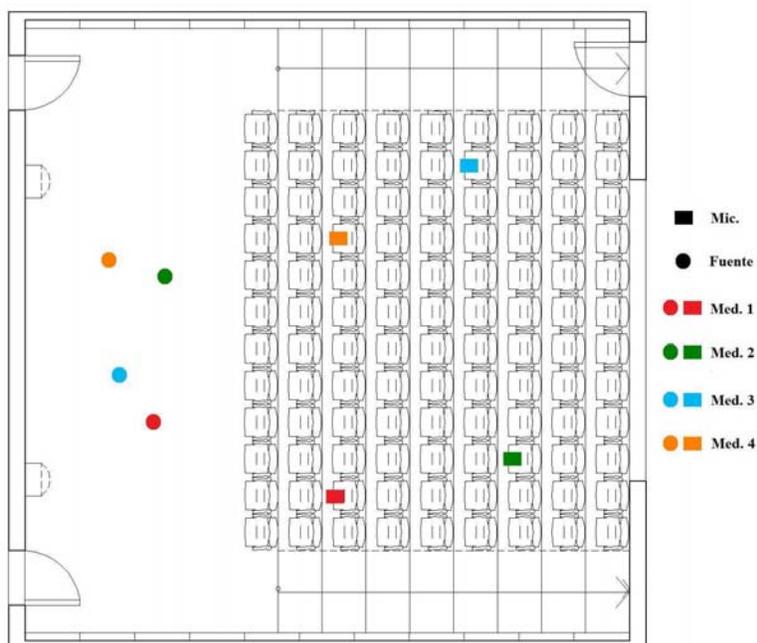


Figura 9. Ubicación de los puntos de medición utilizados en el auditorio del Noel Werthein de la Escuela Técnica ORT.

5 Análisis de los resultados

5.1 Auditorio del templo de la Comunidad Amijai

Como se menciona en la sección 2, la obtención del *EDT* requiere un decaimiento base de 10 dB, el T_{10} de 15 dB, el T_{20} de 25 dB y el T_{30} de 35 dB. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede observar en la tabla 1 que, el promedio de las mediciones en este auditorio, presenta una buena relación ruido-impulso (impulse response to noise ratio – *INR*) para las bandas de frecuencias más relevantes del presente estudio de la calidad acústica (500 – 4.000 Hz). Esto permite la dinámica energética suficiente para la obtención de los parámetros *EDT*, T_{10} , T_{20} y T_{30} . Para las bandas de 63 y 125 Hz no se logró una buena relación. Sin embargo fue suficiente para el cálculo del *EDT* y el T_{10} . La falta de energía de las bajas frecuencias se debe a la deficiencia de estas en la composición frecuencial del impulso emitido por los globos. Por esto mismo el análisis siguiente es solo valido para el resto de las bandas (de 250 a 8 kHz).

Tabla 1. Promedio de los resultados obtenidos para los parámetros *INR*, *EDT*, T_{10} , T_{20} , T_{30} , C_{80} y D_{50} en el auditorio del templo de la Comunidad Amijai.

<i>f</i> [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<i>INR</i> [dB]	29	38	46	49	47	47	49	54
<i>EDT</i> [s]	0,921	1,143	0,964	0,856	0,9	0,86	0,796	0,595
T_{10} [s]	0,96	1,218	0,961	0,862	0,919	0,917	0,783	0,596
T_{20} [s]	1,202	1,175	0,963	0,917	0,947	0,958	0,855	0,684
T_{30} [s]	1,242	1,146	0,921	0,916	0,946	0,958	0,858	0,687
C_{80} [dB]	2,28	2,81	4,74	5,85	5,44	5,26	5,72	7,38
D_{50} [-]	0,48	0,48	0,59	0,65	0,64	0,63	0,66	0,69

Al comparar los resultados que presentan la figura 10 se observa que, para el T_{20} y el T_{30} , a partir de las frecuencias medias, se remarcan valores muy coincidentes entre cada medición. Por el contrario, se observan grandes discrepancias en los tiempos del *EDT* y el T_{10} de cada medición. Lo que podría indicar un campo reverberante poco homogéneo para las primeras reflexiones de la sala.

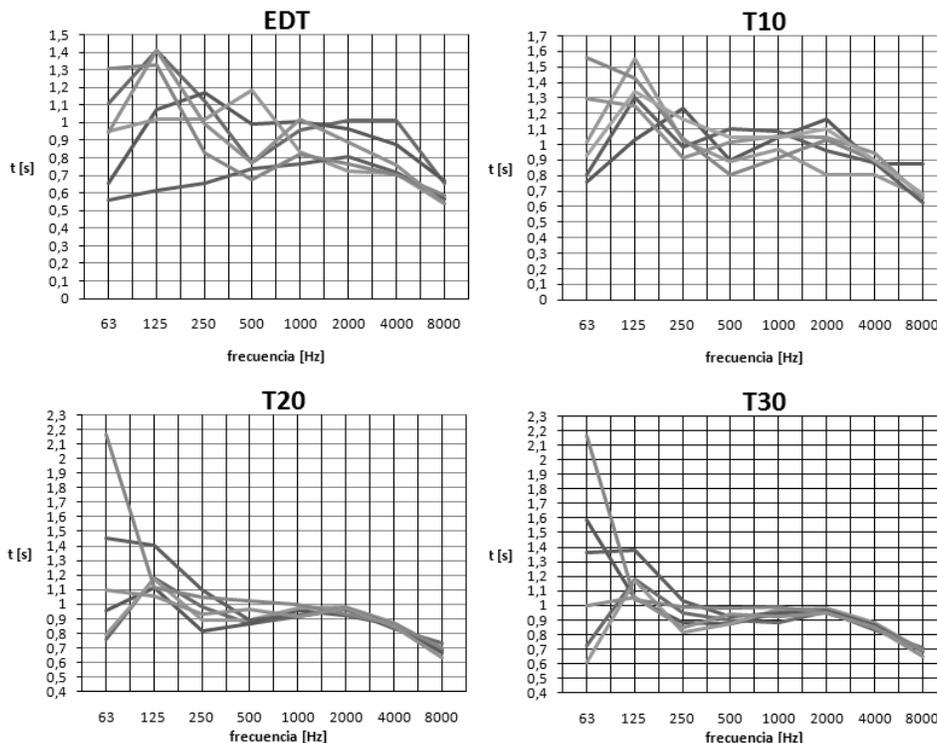


Figura 10. Comparación de los valores obtenidos de EDT , T_{10} , T_{20} y T_{30} en cada punto de medición sobre el auditorio del templo de la Comunidad Amijai. Obsérvese la discrepancia entre los valores obtenidos para cada medición de los parámetros EDT y T_{10} , y la posterior semejanza entre los valores de las frecuencias medias para cada medición de T_{20} y T_{30} .

En su libro [3], Beranek, recomienda un RT_{mid} en sala ocupada entre 1,3 y 1,7 s para salas de conciertos, entre 1,2 y 1,5 s para salas polivalentes y entre 0,7 y 1 s para salas de conferencias. Los valores obtenidos para las bandas de 500 y 1000 Hz se encuentran por debajo de un segundo, fuera de lo recomendado para la interpretación musical. Ya que, según Leo Beranek [3], una sala con un RT menor a 1,1 s no otorgará la profundidad tonal adecuada y la sala caería en una clasificación baja. Además se debe aclarar que, debido a que las mediciones se realizaron en sala vacía, se puede suponer aún un valor menor de RT al medirlo con sala ocupada. Sin embargo, si se tiene en cuenta que este auditorio también se utiliza para rezos en los cuales hay mucha participación del habla, los tiempos obtenidos pueden ser aceptables para los propósitos de la sala.

Por otro lado, si se comparan el EDT , el T_{10} , el T_{20} y el T_{30} entre sí en cada banda, se observan valores similares. Lo que implica que el decaimiento energético sería suficientemente lineal y, por lo tanto, la sala aportaría cierto grado de “viveza”, una baja profundidad tonal pero una alta claridad musical y buena inteligibilidad de la palabra.

Esto último es también notable en la tabla 1 al observar los valores del C_{80} y del índice STI . Lo recomendado por Carrión para sala vacía es un C_{80} (3) entre -4 y 0 dB. Dado que el C_{80} (3) obtenido se encuentra por arriba de los 5 dB la sala otorga una alta precisión de los sonidos que la puede clasificar como “seca”.

Se recomienda que el *brillo* Br se mantenga menor o igual a 0,87 para sala ocupada y que la *calidez acústica* BR se mantenga por arriba de 1,10 para un RT_{mid} menor a 1,8 s. Se

obtuvo un BR de 1,11 y un Br de 0,975. Debido a que las mediciones se realizaron con sala desocupada, se puede suponer que el BR sería mayor aún, y que el Br menor, debido a la mayor absorción del público para las medias y altas frecuencias. Teniendo en cuenta lo anterior, estos valores presentan un buen balance entre los sonidos graves, los medios y los agudos. La sala tiene una buena respuesta a las frecuencias altas y una “suavidad” otorgada por las frecuencias bajas.

El índice STI se presenta en buenos términos, ya que lo recomendado es que sea mayor a 0,5 y el obtenido es de 0,65. El enmascaramiento de las consonantes por las vocales resultante es leve. El parámetro de definición $D50$ se mantiene también dentro de lo recomendado (mayor a 0,5). Por lo tanto la sala tendrá buena definición de la palabra.

5.2 Auditorio Noel Werthein de la Escuela Técnica ORT

Al igual que en el auditorio anterior, la relación ruido-impulso (INR) para el promedio de las mediciones del auditorio Noel Werthein ha dado en buenos términos y nos permite calcular eficazmente los parámetros derivados de RT , exceptuando solamente la banda de 63 Hz para el cálculo del T_{30} . Esto se deduce de los valores presentados en la tabla 2.

Tabla 1. Promedio de los resultados obtenidos para los parámetros INR , EDT , T_{10} , T_{20} , T_{30} , C_{80} y D_{50} en el auditorio Noel Werthein de la Escuela Técnica ORT.

f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
INR [dB]	35	52	62	63	65	70	72	73
EDT [s]	0,437	0,388	0,342	0,377	0,504	0,555	0,544	0,445
T_{10} [s]	0,553	0,411	0,354	0,444	0,544	0,566	0,544	0,448
T_{20} [s]	0,647	0,443	0,348	0,439	0,565	0,569	0,545	0,457
T_{30} [s]	0,592	0,497	0,343	0,462	0,59	0,599	0,56	0,47
C_{80} [dB]	8,72	10,75	13,73	11,6	8,69	7,91	7,73	10,34
D_{50} [-]	0,76	0,81	0,84	0,84	0,74	0,7	0,69	0,78

Como se observa en la figura 11 el campo parecería ser poco homogéneo en las primeras reflexiones de las bajas frecuencias, no de igual forma para las altas. Pasado un intervalo de tiempo se iría homogeneizando el campo sonoro hasta lograr una remarcable similitud en los tiempos de reverberación tardíos entre los diferentes puntos de medición.

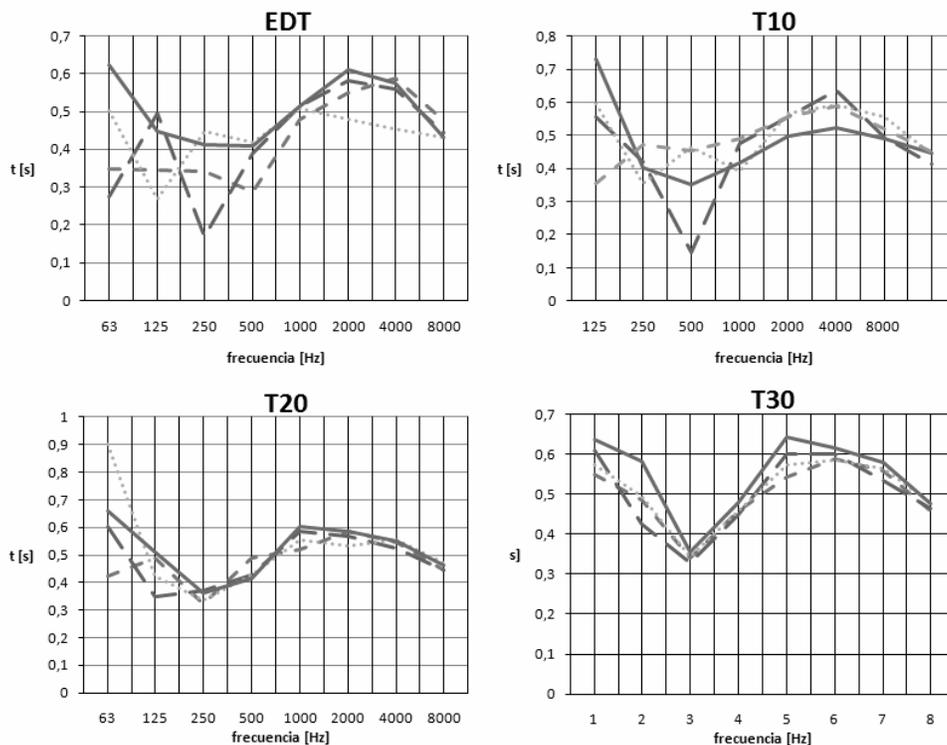


Figura 11. Comparación de los valores obtenidos de EDT , T_{10} , T_{20} y T_{30} en cada punto de medición sobre el auditorio Noel Werthein de la Escuela Técnica ORT. Obsérvese la discrepancia entre los valores obtenidos para cada medición de los parámetros EDT y T_{10} , y la posterior semejanza entre los valores para cada medición de T_{20} y T_{30} .

Los tiempos de RT obtenidos para este auditorio se hallarían completamente por debajo del valor óptimo para recintos destinados al habla y salas de conferencia según Beranek. Esto implica que la sala es “seca” o “apagada”. Sin embargo para los propósitos de la palabra esta característica no es muy perjudicial.

De la comparación de los valores promedio del EDT , T_{10} , T_{20} y T_{30} se deduce, al igual que en el auditorio anterior, que el decaimiento energético en esta sala sería semejante a un decaimiento lineal y por lo tanto la sala aportaría una baja profundidad tonal pero una alta claridad musical y buena inteligibilidad de la palabra. Siendo esto último importantísimo para una sala de conferencias y dictado de clases. Por otro lado se observa claramente un decaimiento energético completamente lineal para la banda de los 250 Hz, con un muy corto tiempo de reverberación. Por otro lado, si bien el impulso emitido por el estallido del globo no otorga gran cantidad de energía en las bajas frecuencias, el BR de 0,798 presentado por esta sala se encuentra muy por debajo de lo recomendado. Ello probablemente se deba a la gran caída del valor del RT en la banda de 250 Hz.

Una de las causas del bajo valor del RT en los 250 Hz y del BR podría ser la gran presencia de resonadores reactivos en las paredes y techos de la sala. Pero además, Beranek observa que este fenómeno de “pérdida de graves” en las salas modernas suele ser producido por utilizar paneles delgados de madera o yeso, entre otras cosas. Esta afirmación se obtiene de las clasificaciones de salas tipo A+ de Beranek, las que presentan un valor óptimo (y supuestamente “preferido”) de BR entre 1.10 y 1.45 para salas con RT menor o igual a 1.8

segundos. Por ello un BR menor al mencionado sugiere valores no preferidos y una construcción mayoritaria con paneles que conforman trampas de graves sintonizadas en 250Hz. Entonces, la sala no se percibiría ni cálida ni suave.

El Br de 1,1 se encuentra sobre el límite inferior recomendado. La sala favorecería los sonidos agudos. La precisión de las notas musicales, denotada por los valores del C_{80} en la tabla 2, es demasiado elevada según las recomendaciones. Esto se ve claramente agravado en la banda de los 250Hz. Los valores de C_{80} , Br y BR eran predecibles de acuerdo a los bajos valores de RT en la banda de 250 Hz y el predominio del RT perteneciente a las bandas de 1 a 4 kHz sobre el resto.

El análisis de la inteligibilidad de la palabra en la sala presenta un STI de 0,74 cuya valoración subjetiva es buena. De igual manera el coeficiente de definición D_{50} , cuyo valor se mantiene suficientemente parejo en todas las bandas y muy por encima del valor mínimo recomendado. En consecuencia, se puede decir que la sala posee una muy buena inteligibilidad de la palabra, característica más que relevante para los propósitos de uso de la misma.

6 Conclusiones

Según lo analizado, se puede decir que el uso de un globo no normalizado para realizar la impulsión no ofrece precisión ni repetitividad de las mediciones. El globo no presentaría una radiación polar completamente omnidireccional. Según [7] y [8] las componentes frecuenciales del impulso otorgado por un globo dependerán de la presión del aire contenido por el globo y las imperfecciones en la superficie del mismo. Esto claramente implica que la explosión del globo y por lo tanto su excitación sonora variará en cada medición. Las variaciones se ven reflejadas en la falta de homogeneidad del EDT y el T_{10} entre los diferentes puntos de medición en ambos auditorios.

Además, tampoco garantiza el alcance de niveles sonoros adecuados para el análisis en las bajas frecuencias. Por lo tanto, y los escasos valores de INR pueden bien ser resultado de esta imprecisión e insuficiencia en las bandas de 63 y 125 Hz.

Sin embargo, la utilización del globo sí permite el relevamiento de parámetros acústicos en los casos donde se necesita dar una idea “básica” de la calidad acústica de una sala. En especial en los casos donde no se posee una fuente omnidireccional adecuada y se podrían presentar inconvenientes institucionales al utilizar disparos o explosivos.

La sala Noel Werthein posee gran inteligibilidad de la palabra que se ha logrado aplicando una reducción en las bajas frecuencias. Sin embargo se observan bajos valores de BR y de RT en los 250 Hz, que podrían ser consecuencia de la conjunción entre: la falta de graves producida por la utilización de un globo como fuente excitadora, la gran presencia de resonadores reactivos en las paredes y techos de la sala y la utilización de paneles delgados de madera o yeso que podrían funcionar como trampas de graves sintonizadas en 250Hz.

Las dos salas presentan un acondicionamiento acústico que se distingue a primera vista. Esto definitivamente se ve reflejado en las mediciones, los tiempos del EDT , del T_{10} , del T_{20} y T_{30} , que presentan gran homogeneidad del campo reverberante en ambas salas y un decaimiento del mismo semejante a lineal; que generan cierto grado de “viveza”, una alta claridad musical y una buena inteligibilidad de la palabra. De ello se deduce que ambas salas han logrado cumplir con los requerimientos necesarios para los propósitos de utilización de cada una.

Agradecimientos

A Ezequiel Kinigsberg por su colaboración con los trámites burocráticos, por el préstamo de los equipos, su disposición y predisposición y su ayuda en general.

A Maia Chorubczyk por la asistencia para la realización de los planos y su apoyo.

A la Escuela técnica ORT y la Comunidad Amijai por el préstamo de los espacios para la realización del trabajo y su cooperación.

Al Ing. Alejandro Bidondo, quien hizo posible la asistencia de alumnos de la UnTreF a este congreso y nos guió en la realización de los trabajos.

Andrés Piegari, Leonel Quinteros Salinas, Francisco Tricarico, Leandro Berón, Alejo Di Risio, Damián Maturana por la alegría transmitida y compañerismo a lo largo del cuatrimestre, características que acondicionan el ambiente de trabajo y lo alimentan.

Referencias

- [1] Alton Everest F. (2001). "Master Handbook of Acoustics". McGraw-Hill Companies, United States of America.
- [2] Beranek L. (1954). "Acoustics". Acoustical Society of America, New York, United States of America.
- [3] Beranek L. (1996). "Concert and opera halls: how they sound", Acoustica Society of America, New York, United States of America.
- [4] Beranek L. (2004). "Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics and Architecture". Springer, New York, United States of America.
- [5] Carrión Isbert A. (1998) "Diseño de Espacios Arquitectónicos". Ediciones UPC, Barcelona, España.
- [6] Norma ISO 3382:1997 (E), Acoustics – "Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters", International Organization for Standardization.
- [7] Jambrosic K., Horvat M. and Domitrovic H. (2008) "Reverberation time measuring methods", proceedings of the 5th European Acoustics Association congress, Paris, Francia.
- [8] Jambrosic K., Horvat M. and Domitrovic H. (2008) "A comparison of impulse-like sources to be used in reverberation time measurments", proceedings of the 5th European Acoustics Association congress, Paris, Francia.