

PRUEBAS DE AURALIZACIÓN COMO APOYO EN EL DISEÑO ACÚSTICO

PACS: 43.55.Fw

San Martin, R.; Aramendia, E.; Galech, S.; Arana, M.
Laboratorio de Acústica. Departamento de Física
Universidad Pública de Navarra.
Campus de Arrosadia, 31006. Pamplona. SPAIN.
Tel: 948 169 568
Fax: 948 169 565
E-mail: marana@unavarra.es

ABSTRACT

This paper shows the usefulness of today's room acoustics computer modelling software during the phase of design of a concert hall. An auralizations-based test has been used in order to know the musicians' preferences on materials and shapes of orchestra shells. The results are found to correlate remarkably well with the historically proposed objective acoustic criteria both for the parameters related to acoustic quality perceived by audience (T_{30} , C_{80}) and those representatives of the acoustic conditions experimented by performers on the stage (ST1).

RESUMEN

Este trabajo muestra la potencialidad de las actuales herramientas de simulación de acústica de salas durante la fase de diseño de una sala de conciertos. La elaboración de un test basado en auralizaciones permite conocer las preferencias de los músicos que van a utilizarla en cuanto a revestimientos interiores y formas de la concha acústica. Los resultados muestran una clara concordancia con los objetivos acústicos establecidos históricamente tanto para los parámetros relacionados con la calidad acústica percibida por la audiencia (T_{30} , C_{80}) como aquellos representativos de las condiciones acústicas experimentadas por los músicos en el escenario (ST1).

1. INTRODUCCIÓN

La falta de un lenguaje común y universal entre los colectivos involucrados en el diseño de salas destinadas a la interpretación musical es una dificultad añadida a la ya de por sí compleja tarea de garantizar la calidad acústica de un recinto. La diferente formación profesional de arquitectos, consultores acústicos y músicos, puede ocasionalmente convertirse en punto de desencuentro a la hora de lograr el objetivo final: contar con el beneplácito del público. Durante décadas, el esfuerzo encaminado a relacionar valoraciones subjetivas sobre la calidad acústica de una sala con objetivos físicamente medibles [1-4] ha puesto a disposición del acústico un conjunto de parámetros cuantificables que permiten describir las características del campo sonoro en un recinto. Mantener sus valores dentro de unos márgenes recomendados en todos los puntos de una sala es prácticamente garantía de éxito en el diseño. Además, la mayoría de estos parámetros pueden ser calculados en la fase inicial mediante programas informáticos de simulación acústica. Comparaciones entre los valores simulados por programas comerciales y

los obtenidos experimentalmente tras la construcción de la sala han demostrado la gran potencialidad de este tipo de herramientas [5] a la hora de predecir el comportamiento acústico de un recinto. Algunos de estos programas ofrecen además la posibilidad de realizar escuchas “virtuales” de pasajes musicales con anterioridad a la construcción del local. Estas simulaciones acústicas, llamadas auralizaciones, se convierten en un medio de demostración del efecto auditivo que tendrían diferentes configuraciones acústicas, ahorrando consideraciones técnicas a las personas no habituadas al lenguaje propio de la disciplina acústica.

Este trabajo muestra la utilidad de estas herramientas de creación de sonido virtual durante la fase de diseño de un auditorio. Mediante un sencillo test, la toma de decisiones sobre la configuración final de la sala en cuanto a formas y revestimientos interiores se comparte tanto con los arquitectos encargados de su diseño como con los usuarios finales de la misma - músicos profesionales y estudiantes de los últimos cursos de conservatorio. La determinación de hacer partícipes de la decisión final a los intérpretes fue muy bien acogida por un colectivo no muy habituado a ser consultado para este tipo de cuestiones.

2. ANÁLISIS DE LA PROPUESTA INICIAL

La sala proyectada es el auditorio del nuevo Conservatorio Superior de Música “Pablo Sarasate” de Navarra. Con forma rectangular, tendrá capacidad para unas 400 butacas divididas en dos zonas de audiencia inclinadas 24° y 29° respectivamente (Figura 1). El volumen del recinto será de 5.500 m^3 . La configuración del techo dirige las primeras reflexiones a estas dos zonas. Entre los usos a los que se destinará la sala destacan los ensayos y actuaciones de la orquesta formada por los alumnos de últimos cursos del centro, por lo que se requería prestar una especial atención a la zona destinada al escenario, para el que se reservaron 150 m^2 . La propuesta inicial de los arquitectos encargados de diseñar el proyecto contenía como material principal de techo y paredes laterales una serie de paneles de madera perforados (M1) escogidos principalmente por su valor estético. Sin embargo, sus elevados coeficientes de absorción (Tabla 1) provocaban que la sala resultara demasiado apagada.

En cuanto a la zona de escenario, no se había previsto la creación de una concha acústica. Las paredes laterales, en su origen paralelas, se inclinaron 10° para obtener la forma de abanico clásica que permite generar primeras reflexiones útiles para los músicos y la zona anterior de platea. El techo estaba situado a una altura media de $10,2 \text{ m}$ con una inclinación de 15° (configuración C1).

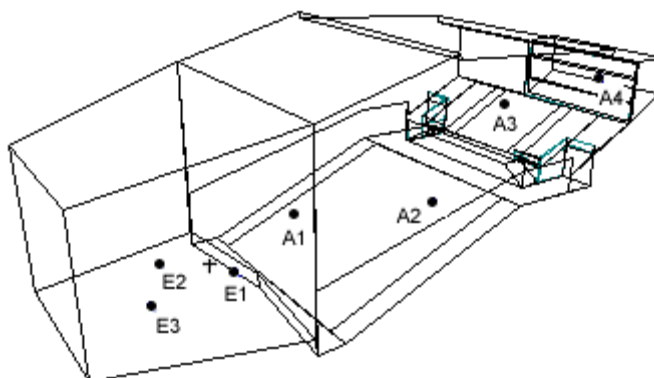


Figura 1. Sala modelizada con concha original (C1). Posición de los receptores analizados

Tras la simulación, algunos de los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1. Los valores de los parámetros relacionados con la calidad acústica percibida por el oyente son promedio de los obtenidos en cuatro puntos distribuidos por la zona de audiencia (Figura 1). Se incluye el parámetro representativo de las condiciones de escucha que experimentan los músicos en el escenario propuesto por Gade [6], Soporte Objetivo ST1, que se define como la relación, expresada en escala logarítmica, entre la energía asociada a las primeras reflexiones (entre 20 y 100 ms) proporcionadas por las paredes y el techo del escenario, y la energía recibida en los

primeros 10 ms, ambos valores obtenidos a 1 m de distancia de una fuente omnidireccional situada en el escenario. En este caso, el valor mostrado es resultado del promediado en tres puntos diferentes del escenario correspondientes a las zonas de violín solista, cellos y metales (Figura 1).

Tabla 1. Coeficientes de absorción de M1 y resultados de la simulación (T_{30} , C_{80} y ST1)

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	8k Hz
Coef. abs. M1	0,25	0,42	0,69	0,80	0,43	0,35	0,40	0,40
T_{30} (s)	1,6	1,5	1,0	0,9	1,3	1,3	1,1	0,8
C_{80} (dB)	1,8	2,5	4,9	5,9	3,2	2,5	3,6	6,5
ST1 (dB)	-14,3	-14,7	-14,3	-14,2	-13,8	-13,6	-14,0	-15,3

Parece claro que los tiempos de reverberación son demasiado bajos. Para una sala destinada a un amplio repertorio de música sinfónica, el T_{30} a frecuencias medias debe estar comprendido entre 1,8 y 2 s [3]. Además, la excesiva absorción a 250 y 500 Hz provocará la coloración del sonido y una falta de equilibrio tonal entre diferentes instrumentos. En cuanto al ST1, el valor promedio obtenido se encuentra por debajo del rango deseado (-12 ± 1 dB [6]).

3. PROPUESTAS REALIZADAS

Se decidió sustituir el material propuesto para el techo y las paredes laterales por madera (M2). Los resultados obtenidos tras una nueva simulación se muestran en la Tabla 2. Estos valores se sitúan dentro de los objetivos acústicos asociados a salas de conciertos.

Tabla 2. Coeficientes de absorción de M2 y resultados de la nueva simulación (T_{30} y C_{80})

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	8k Hz
Coef. abs. M2	0,15	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	0,07
T_{30} (s)	1,9	1,8	2,0	1,9	2,1	2,0	1,6	1,0
C_{80} (dB)	0,8	0,5	0,2	0,6	0,0	-0,2	0,9	4,1

En cuanto a la zona destinada a la orquesta, la superficie más efectiva a la hora de generar primeras reflexiones en el escenario es el techo. Se generaron dos nuevas propuestas manteniendo la inclinación media de 15° original pero combinando zonas paralelas a la superficie ocupada por la orquesta que proporcionarían soporte a sus miembros con otras cuya orientación favorecía la focalización del sonido hacia la sala (Figura 2). La única diferencia entre ambas propuestas fue su altura promedio, 8,4 m para la configuración C2 y 7,4 m para la configuración C3. Tal y como muestra la Figura 2, los ST1 obtenidos son mayores conforme la altura del techo disminuye, acercándose al rango deseado para el caso de la configuración C3.

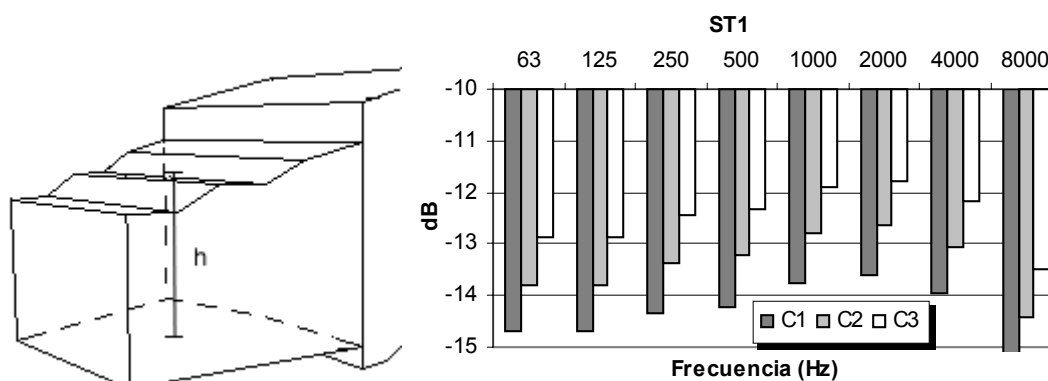


Figura 2. Conchas diseñadas: $h = 8,4$ m (C2), $h = 7,4$ m (C3) y valores del parámetro ST1

El efecto de las nuevas configuraciones de concha acústica en la zona de audiencia fue analizado, comprobándose que los tiempos de reverberación disminuían no más de una décima, fruto de la lógica disminución del volumen total de la sala.

4. TOMA DE DECISIONES – TEST PSICOACÚSTICO

A la hora de tomar la decisión sobre la configuración final se elaboró un test con el objetivo de evaluar las preferencias de los músicos que iban a actuar en ella regularmente. De esta manera, se les implicó activamente en el proceso de diseño. La idea fue acogida muy positivamente y el grado de colaboración obtenido fue máximo. 97 personas realizaron el test. Entre ellos, 71 músicos (46 profesionales y 25 estudiantes de últimos cursos) de los que 43 formaban parte de la orquesta. La encuesta se amplió también a 26 no expertos con formación técnica en arquitectura.

4.1 Auralizaciones

Para crear una auralización binaural, la respuesta en los oídos de un receptor se predice basándose en los niveles sonoros, direcciones y tiempos de llegada calculados. Esta respuesta se convolucionan con una grabación anecoica conteniendo la melodía que será escuchada por el oyente en la sala y con un conjunto de funciones de transferencia relativas a la cabeza que contienen información sobre el cuerpo, cabeza y oídos, y que modifican la respuesta frecuencial del sonido que llega desde diferentes ángulos.

Se realizaron un total de 160 auralizaciones que combinaban las cuatro configuraciones que se iban a evaluar - materiales M1 y M2 con configuración de concha C1 y material M2 con configuraciones de concha C1, C2 y C3 -, con un total de 10 instrumentos pertenecientes a la orquesta – violín, viola, cello, flauta, clarinete, oboe, fagot, trompeta, tuba y trombón -, en cuatro posiciones de la sala - tres en la zona de audiencia y una en el escenario, en la posición habitual de cada instrumento. El programa de simulación utilizado fue ODEON Room Acoustics Software en su versión 8.01.

El nivel de salida con el que se presentaban las auralizaciones fue el máximo posible sin “clipping” permitido por el programa. Se puso especial cuidado en mantener el mismo nivel para cada par de comparaciones, con la intención de que el volumen no influenciara la decisión tomada.

4.2 Setup

El test estaba totalmente automatizado y controlado por un programa en MATLAB R2006a diseñado a tal efecto. Las melodías se presentaban a los sujetos mediante auriculares Sennheiser HD25 conectados a la salida de una tarjeta Creative Technology Ltd. Sound Blaster Audigy. Esta solución se considera suficiente para este estudio. Se prestó especial atención a las salas donde se realizaron las encuestas, eligiendo aquellas que presentaban menor ruido de fondo.

4.3. Test

El método elegido fue el de comparaciones forzadas por pares. Este método es apropiado cuando las diferencias entre dos estímulos son mínimas. Limitar el número de estímulos a comparar al mismo tiempo a únicamente dos ayuda al sujeto que realiza el test a permanecer concentrado y no distraerse con cualquier cosa que pudiera influenciar su decisión. Se descartó usar una escala relativa para los estímulos a comparar porque aunque la información obtenida hubiera sido mayor, exigía un entrenamiento previo del sujeto y es un método que resulta muy complicado cuando las diferencias son sutiles.

El test contaba con un total de 18 preguntas y estaba dividido en dos partes. En la primera, 12 cuestiones, se instruía al sujeto para que mostrase sus preferencias como si fuera un oyente y se le presentaban simulaciones realizadas en la zona de audiencia; 6 preguntas comparaban M1 y M2 en tres posiciones distintas y otras 6 las configuraciones de concha C1, C2 y C3 en una única posición central. La segunda, de 6 cuestiones, contenía las auralizaciones realizadas en la zona de escenario y el sujeto evaluaba las configuraciones C1, C2 y C3 como si fuera el

propio ejecutante. Cada pregunta constaba de una misma melodía tocada por el mismo instrumento simulada en dos configuraciones diferentes. Para cada instrumento, la duración de la melodía variaba entre 10 y 20 segundos dependiendo de la frase interpretada. Cada sujeto elegía al inicio del test el instrumento con el que quería realizarlo, generalmente el suyo propio o uno que le resultara familiar. En base a esa elección, el programa seleccionaba otro instrumento “complementario” al elegido. Es decir, si el sujeto seleccionaba un instrumento de viento de frecuencias bajas, realizaba el test con ese instrumento y otro de cuerda de frecuencias más altas. De esta manera, cada sujeto evaluaba cada par de configuraciones dos veces, una con un instrumento familiar y otra con otro al que estaba menos habituado. El par de melodías resultante era escuchado sucesivamente sin posibilidad de repetición con un segundo de separación entre los dos sonidos. Una vez finalizado el par, el sujeto debía elegir entre los dos sonidos en base a su preferencia personal. Dentro de cada parte, tanto el orden de las preguntas como el del par era aleatorizado por el propio programa para cada sujeto distinto.

Al finalizar cada parte, los sujetos evaluaban el grado de realismo de los sonidos simulados y la dificultad encontrada a la hora de decantarse por un sonido u otro. La duración total del test era de aproximadamente 15 minutos.

4.4 Análisis estadístico

Para el análisis de los datos se utilizó el paquete de herramientas de análisis estadístico SPSS en su versión 12.0. Las pruebas realizadas se basaron en el método chi-cuadrado que permite examinar si un conjunto de datos mantienen una determinada tendencia o si por el contrario las preguntas son respondidas al azar, lo que demostraría una no preferencia por una configuración dada. El grado de significación elegido para confirmar o rechazar una configuración frente a otra fue $p < 0,05$.

5. RESULTADOS

La tabla 3 muestra un resumen del análisis estadístico realizado. Cabe destacar una práctica uniformidad a la hora de decantarse por el material M2 para todas las categorías analizadas. Tan sólo en el caso de estudiantes y técnicos, para las comparaciones realizadas con el instrumento “no familiar”, no se obtuvieron resultados estadísticamente significativos.

Más complicados de interpretar resultan los datos obtenidos para las tres configuraciones de concha acústica evaluadas. Una valoración global, que aglutina todas las preguntas realizadas en torno a esta cuestión, muestra una clara preferencia por parte de los músicos en torno a C3 y un rechazo de la configuración C1. Observando los valores para el parámetro ST1 obtenidos en las simulaciones (Figura 2), esta clasificación está totalmente en concordancia con los objetivos acústicos propuestos por Gade para este parámetro. Destaca el hecho de que diferencias de tan sólo 1 dB en el valor del ST1 son apreciables y valorables por parte de los músicos habituados a tocar en orquesta – la mayoría de los estudiantes pertenecen a la misma – y no por aquellos profesionales menos acostumbrados a valorar conchas acústicas por la peculiaridad del instrumento al que se dedican.

Sin embargo, a la hora de analizar los resultados parciales, parece que ese ordenamiento – C3 mejor que C2, C2 mejor que C1 – viene provocado por el rechazo general a C1 cuando se comparan las configuraciones en el escenario y la aceptación de C3 cuando se evalúan las configuraciones desde la zona de audiencia. Este último resultado resulta el más llamativo de todos pues en esa zona las diferencias entre las melodías eran muy sutiles. Sin embargo, puede ser debido a la dificultad de los músicos de abstraerse y evaluar los sonidos como si fueran oyentes y buscar en todos los casos unas configuraciones que ofrezcan mayor soporte a sus instrumentos independientemente de la zona en la que están situados. Cabe destacar en este punto que en todos los apartados la preferencia porcentual hacia C3 era clara aunque no siempre alcanzaba el grado de significación estadístico establecido.

Tabla 3. Resultados del análisis estadístico

	TOTAL	Material			Configuración concha acústica														
		G	I.F.	I.C.	Global			Escenario			Audiencia			Inst. Familiar			Inst. Complem.		
		Mx	Mx	Mx	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
Todos	97	M2	M2	M2															
Músicos	71	M2	M2	M2	NO		SI	NO					NO	SI					SI
Profesionales	46	M2	M2	M2									NO	SI		NO			SI
Estudiantes	25		M2				SI							SI				NO	SI
Sí Orquesta	43	M2	M2	M2			SI							SI					SI
No Orquesta	28	M2	M2	M2									NO						
Técnicos	26	M2	M2																

	Estadísticamente significativo ($p < 0,05$)
	No estadísticamente significativo ($p > 0,05$)
	No evaluado

Respecto a la evaluación que los sujetos realizaron del método empleado para ser consultados, en una escala de 0 (nada realistas) a 100 (muy realistas), el grado de realismo de los sonidos simulados obtuvo un valor medio de 65 para los músicos y 76 para los técnicos. En cuanto a la dificultad encontrada para tomar una decisión y utilizando una escala de 0 (muy difícil) a 100 (muy fácil), el valor medio para los músicos fue de 52 para las comparaciones realizadas en la zona de audiencia y 41 para las de la zona de escenario. Los técnicos encontraron menores diferencias entre las melodías comparadas, puntuando con un valor medio de 33 este apartado.

6. CONCLUSIONES

La utilización de auralizaciones en la fase de diseño de un recinto puede convertirse en una herramienta básica a la hora de buscar un lenguaje común entre todos los agentes implicados en su construcción. Los resultados obtenidos muestran una clara concordancia con los objetivos acústicos para los distintos parámetros sugeridos en la literatura. Cuando las diferencias entre dos configuraciones son claras, tanto músicos como técnicos son capaces de apreciarlas con la simple escucha “virtual” de esas diferencias, lo que ahorraría consideraciones técnicas tediosas al consultor acústico. En el caso de diferencias sutiles, como cuando se pretende evaluar configuraciones de concha acústica, se requiere una mayor especialización del sujeto encuestado para obtener resultados significativos.

REFERENCIAS

- [1] Schoreder, M.R., Gottolob, D. and Siebrasse, K.F., “Comparative study of European concert halls: Correlation of subjective preference with geometric and acoustic parameters”, Journal of the Acoustical Society of America 56(4), 1195-1201, 1974.
- [2] Barron, M., “Subjective study of British symphony concert halls”, Acustica 66, 1-14, 1988.
- [3] Beranek, L.L., “Concert and opera halls: How they sound”, Acoustical Society of America, Woodbury, New York, 1996.
- [4] ISO 3382: 1997 “Acoustics – Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters”, International Organisation for Standardisation (ISO), Gheneva (CH), 1997.
- [5] San Martín, R., Arana, M., “Predicted and experimental results of acoustic parameters in the new symphony hall in Pamplona, Spain”, Applied Acoustics 67, 1-14, 2006.
- [6] Gade, A.C., “Investigations of musician’ room acoustic conditions in concert halls. Part I: Methods and laboratory experiments”, Acustica 69, 193-203, “Part II: Field experiments and synthesis of results”, Acustica 69, 249-262, 1989.