

VALORACIÓN DE PARÁMETROS SUBJETIVOS QUE MIDEN LA CALIDAD DE SALAS DE CONCIERTOS POR LA RESPUESTA DE LOS OYENTES

REFERENCIA PACS: 43.55.Hy

Alicia Giménez Pérez, José Romero Faus, Albert Marín Sanchis, Antonio Sanchis Sabater
Laboratorio de Acústica Industrial, (L.A.I.)
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
Universidad Politécnica de Valencia
Camino de Vera 14. Edificio D4-D5 Bajo. Apartado de Correos 22012
46080 Valencia. España
Tel: 34 963 877 524, 34 963 877 007 ext 5242
Fax: 34 963 879 529
E-Mail: agimenez@fis.upv.es, romerof@arrakis.es, amarin@fis.upv.es, asanchi@fis.upv.es

ABSTRACT

In the study of the acoustic quality of a listen room we can establishes two aspects. The process of transmission of the sound, that we have named "physical study", and the quantifying of the sensibility of the human hearing to the perceived sing, "psychological study". This last study is very complex. In firs place, it must be based on subjective criterions of the hearer, and on the other hand, its dependence on the musical composition. It is necessary to know the opinion of the listeners in order to could evaluate the acoustic quality. This work exposes some of the outputs gotten until this moment.

RESUMEN

En el estudio de las salas de audición intervienen dos aspectos: El proceso de transmisión sonora, llamado "estudio físico" así como la sensibilidad del oído humano, "estudio psicológico". Este último es realmente complejo, especialmente para la música. Por una parte se debe basar en los criterios subjetivos de la audiencia y por otra, en su dependencia con la composición musical, por ello, para poder evaluar la calidad acústica, es necesario conocer la opinión de los oyentes. Este trabajo expone algunos de los resultados obtenidos hasta el momento.

INTRODUCCIÓN

La calidad acústica de un lugar de escucha depende de características diversas (volumen, superficie, forma, coeficiente de absorción, direccionalidad y emplazamiento de la fuente, etc.) que, junto a las propiedades perceptivas del oído humano establecen los dos caminos para abordar el problema:

- Estudio físico por el que se analiza el proceso de transmisión sonora en la sala, dependiente de factores característicos del recinto, factores inherentes a la propagación sonora y factores determinantes sobre la fuente que, para el caso que nos ocupa, "*Sala de Conciertos*", éstos son factores "influyentes especiales" sobre la fuente sonora musical (emplazamiento de la orquesta, número de ejecutantes, así como la disposición y tipos de instrumentos con sus espectros correspondientes).

- Estudio psicológico en el que intervienen las características del canal auditivo humano, de comportamiento complejo puesto que depende de variables difícilmente cuantificables.

Por otra parte, para profundizar en ciertos aspectos del problema de la calidad de una sala destinada a la música, deberían conocerse todos esos factores, pudiendo afirmarse que una sala no es "buena" o "mala" para la música sino buena o mala para cierto tipo de música y formación instrumental en determinados puntos de la sala o en su totalidad.

Esta complejidad de la composición musical y del mecanismo auditivo (especialmente los factores influyentes sobre él, han creado diferentes escuelas: **Dresden, Berlín, Gottingen** y **Japón** entre las que destacamos a investigadores como **Ando, Baxa, Cremer, Gottlob, Siebrasse, Eysholdt, Lehman, Wilkers**, etc. Basándonos en los resultados de las diferentes investigaciones, hemos seleccionado los diferentes parámetros de calificación para salas de conciertos en tres grupos que responden a:

- **Criterios energéticos** para el estudio de la cualidad llamada **TRANSPARENCIA**
- **Criterios temporales**, cuantifican la cualidad denominada **REVERBERACION**
- **Criterios espaciales** para la **IMPRESION** y **SENSACION DE ESPACIO**

Sin olvidar los criterios cualitativos establecidos por **Leo L. Beranek** de su extenso estudio realizado sobre las mejores salas de conciertos de todo el mundo, (**Intimidad, Vivacidad, Calor, Brillo, Sonoridad, Claridad**, etc.)

En este trabajo, con las bases anteriormente indicadas, exponemos por una parte, los resultados de las mediciones objetivas de ciertos parámetros acústicos calificadores para la audición musical, y por otra las preferencias subjetivas de los oyentes, valoradas mediante un cuestionario de opinión. Los valores de significación se han obtenido por la prueba de χ^2 para las tablas de contingencia de los parámetros de interés y el estadístico Z para la comparación de proporciones de muestras de tamaño grande.

CARACTERÍSTICAS Y RESULTADOS DE LAS MEDIDAS

El estudio que presentamos es del **SALÓN CORONAS DEL PALACIO DUCAL** de Gandía. Esta sala de dimensiones 9x16x5 metros, tiene una forma prismática y se caracteriza por un techo artesonado de madera, suelo totalmente reflectante y paredes muy decoradas con mosaicos y cuadros.

A continuación exponemos algunos de los resultados más representativos de ciertos parámetros acústicos, EDT, Nivel Sonoro, Claridad y Rasti, obtenidos en las condiciones de recinto vacío, así como las características de la sala y del concierto escuchado.

Nº ASIENTOS: 180

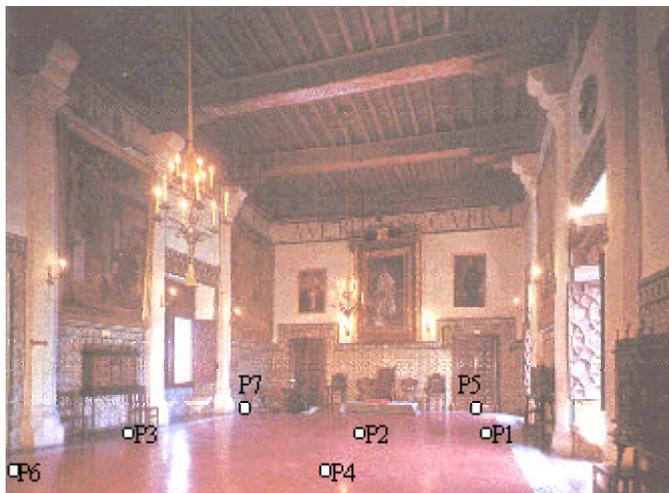
Nº MÚSICOS: 16

ORQUESTA: ORQUESTA DE
CÁMARA "GRADUS
AD PARNASSUM"

PROGRAMA:

- I - Divertimento para orquesta de cuerda JAVIER COSTA
- Concierto para violonchelo y orquesta en DO M Hob VIIb/1 RE.OPUS 44, F.J. HAYDN
- II - Sinfonía Nº 5 en Sib M D.485, F. SCHUBERT

Nº ENCUESTAS: 85



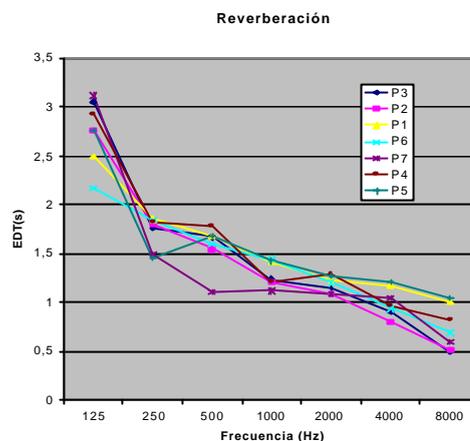
Para las medidas se utilizaron los siguientes equipos:

- Sonómetro modular integrador-promediador BK2231
- Micrófono BK4189
- Generador de ruido rosa
- Amplificador de señal mediante una etapa de potencia de 100 vatios y una caja acústica de 300 vatios
- Analizador MLSSA

La señal emitida en bandas de octava, regulada por el analizador y amplificada se situó en el mismo lugar de la ubicación de la orquesta. Con el sonómetro conectado al analizador y situado a 1 metro sobre el nivel del suelo, (altura equivalente a la cota sobre el mismo de los oídos de los oyentes), se tomaron medidas en 7 puntos distribuidos en toda la zona de audiencia. Dos delanteros (P5, P7) cercanos a las paredes y alejados así de la fuente sonora, tres centrales en el eje transversal (P1, P2 y P3) y dos (P4, P6) en la zona posterior.

Los resultados obtenidos para el EDT fueron los siguientes, también representados en la gráfica:

EDT(s)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
P3	3.06	1.77	1.67	1.24	1.15	0.91	0.51
P2	2.76	1.80	1.55	1.21	1.09	0.80	0.52
P1	2.49	1.85	1.68	1.42	1.22	1.18	1.00
P6	2.17	1.84	1.60	1.44	1.20	0.94	0.69
P7	3.12	1.50	1.11	1.12	1.09	1.05	0.59
P4	2.92	1.82	1.79	1.22	1.30	0.97	0.82
P5	2.77	1.45	1.68	1.43	1.27	1.21	1.05



La medida del RASTI proporcionó valores superiores a 0.51. La mejor inteligibilidad se obtuvo para el punto lateral derecho P7.

Para la Claridad, medida por el parámetro C_{80} , se obtienen los valores mostrados en la tabla siguiente. Para las escalas propuestas por investigadores de las escuelas anteriormente indicadas, los mejores valores corresponden a los puntos central y lateral derecho, P2 y P7 respectivamente.

C_{80} (dB)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
P3	-2.65	-4.27	-0.25	1.33	2.86	5.08	8.96
P2	-2.82	-3.67	0.52	3.36	4.30	6.25	9.12
P1	-4.69	-7.53	-1.29	0.44	0.55	0.82	5.80
P6	-4.05	-3.40	-2.82	1.02	1.06	3.35	6.62
P7	-2.04	1.35	5.01	5.00	5.78	5.13	9.59
P4	-2.75	-6.27	-3.54	0.65	0.54	2.88	6.16
P5	-4.88	-5.12	1.44	0.75	-0.23	0.87	6.07

Los niveles globales de presión medidos muestran una diferencia máxima de aproximadamente 3 dB, siendo mayores en la zona delantera-lateral izquierda.

Puntos	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
L_{eq} (dB)	57.10	59.84	59.49	57.69	56.99	58.21	59.95

PRUEBAS SUBJETIVAS

El cuestionario se entregó a la entrada al concierto y se recogió al final. En él se han realizado preguntas de manera que pudiera obtenerse información sobre diferentes aspectos: Identificar a la población, su cultura musical, valoración objetiva de la sala, y finalmente, la valoración acústica subjetiva que ha producido en el oyente la audición del concierto.

El número de cuestionarios respondidos corresponde sobre el total de la audiencia, aproximadamente a un 50%. Los resultados obtenidos son los siguientes:

A. Identificación de la audiencia

La audiencia dominante es de mujeres, 67%, la edad es inferior de 60 años, con una ocupación entre administrativa e intelectual, en torno al 50% y con un nivel de estudios mayoritariamente primarios-medios del 78%, repartidos por igual.

B. Cultura musical

En la preguntas que tratan este tema hay un 20% de abstenciones. El 57% de los encuestados ha escuchado conciertos en el último mes y mayoritariamente en los últimos tres meses. Respecto al número de conciertos escuchados en el último año, un 38% entre 1 y 5 y un 33% entre 6 y 25.

C. Valoración objetiva de la sala

Para valorar objetivamente la sala se realizaron preguntas sobre la iluminación, escenario, vista de la orquesta desde su posición, confort de la butaca, etc. La respuesta mayoritaria a todas ellas le otorga una calificación de regular. Únicamente la valoración sobre la decoración general de la sala es muy positiva, pesando mucho el valor histórico de la misma

C. Valoración subjetiva. Cualidades acústicas

La valoración subjetiva de la audición se ha realizado a través de preguntas calificadoras como Alto/Bajo, Vivo/Sordo, Turbio/Claro, Grande/Pequeño, etc. hasta un total de 17 y otras sobre la percepción dominante o equilibrada de los diferentes instrumentos orquestales. A continuación resumimos estos resultados así como los valores de los mismos atributos mediante los cálculos propuestos por *Beranek*

Calor

Según *Beranek*, $CALOR = (RT)_{bajas}/(RT)_{medias}$ y para asegurar esta cualidad, la relación de los tiempos de reverberación a bajas y medias deberá estar por debajo de 1.2. Los valores obtenidos para los diferentes puntos de la sala son: P1=1.4, P2=1.7, P3=1.6, P4=1.6, P5=1.4, P6=1.3, P7=1.1. A la vista de los resultados, todos los puntos tienen valor superior al recomendado excepto quizás en P7. Hemos de tener en cuenta que los valores de RT a 125 Hz son muy altos y esto hace que el numerador sea alto

Si esta cualidad se mide por la respuesta de los oyentes el 56% opina que la sala es cálida pero por el contrario un 30% dice que el sonido es calmado frente a un 70% que opina que es excitante.

Claridad

Por la opinión de los oyentes, el 77% piensa que el sonido es claro. Este resultado está correlacionado con el obtenido a través de la medida del parámetro C_{80} debido a que el 31% de la audiencia se encuentra en la zona equivalente al punto 2 de medida, zona central.

Brillo

El brillo de la sala, medido según *Beranek* por el cociente entre la reverberación a altas y la reverberación a medias, se obtiene en todos los puntos entre 0.6 y 0.9, valores inferiores a

la unidad que es el valor máximo recomendado, pero todos ellos muy comparables: P1=0,8, P2=0.6, P3=0.7, P4=0.7, P5=0.8, P6=0.7, P7=0.9

El brillo valorado a través de las respuestas de los oyentes es positivo puesto que el 77% opina que la sala es viva.

E. Valoración global

Equilibrio en la percepción de los diferentes instrumentos

La mayor parte de los instrumentos, según los oyentes están equilibrados: Viento (94%), Cello (84%), Violines (77%). Los Bajos, un 68% opina que están equilibrados mientras que un 26 % indica que no son audibles claramente y para el Solista estos porcentajes son de 45 y 43%.

Calificación global de la sala

La impresión acústica general de la sala obtiene la valoración de Buena-Muy Buena con un 88%

CONCLUSIONES

- Se han encontrado diferencias estadísticamente significativas, ($p < 0,01$), en el porcentaje de preguntas correspondientes a las dicotomías *Abierto/Cerrado*, *Turbio/Claro*, *Lejano/Cercano*, *Excitante/Calmado*, *Viva/Sorda*, *Predominio de los sonidos agudos, Sonora/Seca*. Sin embargo no existen diferencias estadísticamente significativas en los porcentajes de respuestas sobre *Expansivo/Comprimido*, *Grande/Pequeño*, *Cálido/Frío* y *Suave/Áspero*; Ello implica que determinadas preguntas resultan muy claras para el oyente y otras no son entendidas en el sentido que se trata de testear.

Por ejemplo, para las respuestas sobre sensación de sala *Grande* (47%) /*Pequeña* (53%) y *Ancha* (50%)/*Estrecha* (50%), puede concluirse que al ser la sala de tamaño mediano, la interpretación de esta pregunta se hace desde el punto de vista de "dimensión física" de la sala y no de "dimensión acústica", como definitoria de la INTIMIDAD ACÚSTICA. Así ocurre en las respuestas a la sensación de sonido *Expansivo* (56%)/*Comprimido* (44%), influyentes en esta importante cualidad acústica en salas de conciertos. Contrariamente, la dicotomía *Abierta* (72%)/*Cerrada* (28%) si que es entendida.

Igualmente se puede concluir ante las preguntas de sala *Cálida* (56%)/*Fría* (44%) y *Suave* (46)/*Áspero* (54), contrariamente a las respuestas de sonido *Excitante* (70%) /*Calmado* (30%), definitorias todas ellas de la cualidad subjetiva CALOR.

Las preguntas para identificar la REVERBERACIÓN, valorados fundamentalmente por las cualidades *Vivacidad-Brillo* y *Reverberación*, si que ha sido entendida por la audiencia. El 73% encuentra la sala *VIVA* frente a un 27% que la siente *SORDA* así como la sensación de sala *SONORA* (77%) frente a *SECA* (27%).

Todo lo anterior es importante en cuanto que nos lleva a una depuración del test a preguntas más concretas.

- Los resultados medidos sobre el Tiempo de Reverberación indican que el más bajo se localiza en el punto P7 variando entre 1.1 s. (P7) y 1.8 s. (P4) a 500 Hz y entre 0.8 s. (P2) y 1.2 s. (P5) a la frecuencia de 4000 Hz, manteniéndose más uniforme a las frecuencias de 1000 y 2000 Hz. No olvidemos que a frecuencias medias, estos valores para la audición musical deberán estar entre los siguientes rangos, según el tipo de música: Música Barroca (1.4-1.6), Música Clásica (1.6-1.8), Música Romántica (1.9-2.2), Ópera Wagneriana (1.4-1.7) y Ópera no Wagneriana (1.8- 2.0).

Teniendo en cuenta que las obras interpretadas en esta sala están en la música Clásica (HAYDN) y Romántica (SCHUBERT), las medidas de RT muestran una sala poco viva, sin embargo la respuesta subjetiva la considera como sala sonora, de sonido excitante y con predominio de audición de agudos. Esta diferente calificación objetiva-subjetiva no permite obtener en este punto ninguna conclusión sobre la no adecuación de las preguntas del cuestionario que valoren los parámetros temporales porque la respuesta en todas ellas indica una sala de reverberación adecuada y que no tiene, como se ha indicado diferencias estadísticamente significativas, pero si que nos planteamos el interrogante sobre si los valores óptimos recomendados son muy altos para esta audiencia, así como un posible error en la medida del RT por factores no detectados en el momento de realizarlas.

- De las respuestas sobre la valoración objetiva de la sala se deduce que ésta no es una sala de conciertos y por tanto su utilización física para este fin no es adecuada para que aporte el máximo confort.
- Se ha obtenido correlación entre la situación física del oyente en la sala y cualidades de la percepción sonora como sonido relajado ($p < 0,04$), coloreado ($p < 0,03$). Esto indica la gran importancia del lugar de ubicación y la calidad en la audición. En este caso la distribución física de la audiencia en la sala no es homogénea. Existe una mayor densidad en la zona central, que equivale aproximadamente al punto 2 de medida, siendo éste el que cumple con el mayor número de exigencias de calidad acústica.
- Existe equilibrio en la percepción de los diferentes instrumentos de la orquesta excepto para el solista. Esto creemos que puede deberse a la absorción de la audiencia y fundamentalmente al ruido de fondo que era elevado y prácticamente igual en toda la zona de audiencia ya que no hay correlación entre ambas variables *UBICACIÓN/RUIDO FONDO*, ($p > 0,05$).
- La respuesta sobre la CALIFICACIÓN GLOBAL de la sala, valorándola como Buena-Muy Buena, se corresponde con el alto porcentaje de cualidades importantes, (sonido claro y calmado, sala viva y sonora, etc) si bien hay otras (sonido expansivo y suave, sala grande y ancha, etc) así como las medidas objetivas, que no se corresponden con esta valoración.

Finalmente cabe indicar:

- Con todo rigor, los test deberían proponerse a una misma población de escucha en todas las salas y con las mismas obras musicales. Obviamente, esto es prácticamente imposible de realizar, pero para ajustarnos en lo posible a este objetivo, se deberá llevar un seguimiento de la población, pasando el cuestionario repetitivamente para las mismas y diferentes interpretaciones y composiciones orquestales, pudiendo así cubrir en lo posible la gran variabilidad de la "fuente música" sonora así como de los parámetros calificadores con el estilo musical.
- Otra consideración importante a tener en cuenta es conocer la opinión de los músicos integrantes de la orquesta para poder correlacionarla con la de los oyentes y las medidas físicas realizadas. Esto permitiría depurar el cuestionario dada la confusión que existe en la interpretación de las diferentes cualidades exigibles a toda buena sala de conciertos.

REFERENCIAS

1. D.D.Rife: MLSSA Maximun-Length Sequence System Analyzer. Reference Manual version 7.0, DRA Laboratories, 1987.
2. Leo Leroy Beranek, *Music, Acoustics and Architecture*, KRIEGER PUBLISHING CO. INC., 1979.
3. Leo Leroy Beranek, *Concert and Opera Halls*, ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, 1996.

4. Alicia Giménez Pérez, *Contribución al Estudio de la Acústica en Recintos Cerrados. Aplicación a Salas de Conciertos*. Tesis Doctoral, U.P.V., 1987.