

APROXIMACIÓN METODOLÓGICA DE APLICACIÓN A TEST SUBJETIVO DE VALORACIÓN ACÚSTICA DE ESPACIOS ARQUITECTÓNICOS. CASO DE ESTUDIO.

ACÚSTICA DE SALAS / ACÚSTICA DA SALA / Acústica virtual y audio inmersivo / Acústica virtual e áudio inmersivo

Pérez-Aguilar, B.¹, Guillén Guillamón, I.¹; Quintana Gallardo, A.¹; Gasent-Blesa, J.L.²

1. Centro de Tecnologías Físicas. Universitat Politècnica de València, Camí de Vera s/n, Valencia, España
blapeag@arq.upv.es, iguillen@fis.upv.es, alquigal@upv.es,
2. Laboratorio de Procesamiento de Imágenes. C/ Catedrático José Beltrán, 2, Universitat de València, Burjassot, España
jose.l.gasent@uv.es

Palabras Clave: acústica arqueológica, test subjetivo

ABSTRACT.

The emotions aroused by a musical performance are linked to the place where it is played, as the ultimate sounding board, and can be influenced by all the senses. The place where the interpretation takes place, its architecture, its smell, its colors, its temperature, to put it briefly, the environment that is created in a certain space, influences the acoustic perception that the listener has of a certain musical interpretation.

Bearing this in mind is especially interesting when musical performance venues (auditoriums or concert halls) are refurbished, because it can change their acoustic behavior.

In the framework of a broader investigation a subjective acoustic assessment methodology has been adjusted. This article describes the process followed for the definition and pilot experience of the methodology through a bibliographical research process, consultations with professionals and validation of the subjective test.

RESUMEN.

Las emociones que suscita una interpretación musical están ligadas al lugar en el que se reproduce, como última caja de resonancia y pueden estar influenciadas por todos los sentidos. El lugar donde se escucha la interpretación, su arquitectura, su olor, sus colores, su temperatura, en definitiva, el ambiente que se crea en un determinado espacio, influye en la percepción acústica que el oyente tiene de una determinada interpretación musical.

Tener esto en cuenta es especialmente interesante cuando los recintos de interpretación musical (auditorios o salas de conciertos) son sometidos a obras de rehabilitación que pueden variar su comportamiento acústico.

En el marco de una investigación más amplia; se ha ajustado una metodología subjetiva de valoración acústica. Este artículo describe el proceso seguido para la definición y experiencia piloto de la metodología a través de un proceso de investigación bibliográfico, consultas a profesionales y de validación del test subjetivo.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se encuentra en el contexto de una investigación más amplia, cuyo punto de partida es una sala de conciertos con torre de escenario que permite su uso como teatro, aunque se utiliza predominantemente para interpretación musical. La sala fue sometida a una reforma, y se conoce por diversas fuentes cómo era la sala en el pasado. Entre los usuarios de la sala hay opiniones encontradas, en relación con si sonaba mejor en el pasado o actualmente. Con la intención de contrastar dicha cuestión se va a hacer un análisis sobre el comportamiento acústico objetivo y subjetivo de la sala.

El presente trabajo se centra en explicar cómo y porqué se ha llegado al test de valoración acústica subjetiva que se ha desarrollado. Los objetivos de esta investigación son: estudiar la bibliografía relacionada con test de valoración acústica subjetiva y compararla, elegir una serie de términos acústicos y métodos para el test inicial, contrastar la terminología empleada en el test inicial con músicos profesionales y adaptar el pretest, probar el pretest con varios sujetos, estudiar los resultados y realizar un test definitivo.

2. TEORÍA Y MÉTODO

En la literatura se detallan diversas formas de afrontar un análisis acústico subjetivo. Se busca relacionar los parámetros acústicos de una sala de conciertos con el confort acústico en la misma [1]–[3]

Algunos trabajos incluyen la realización de cuestionarios en su análisis. Algunos autores trabajan sobre opiniones de expertos conocedores de las salas[4]. Los test pueden hacerse durante o después de interpretaciones en vivo [2],[5]. Tanto el grupo Berlin [1] y el de Göttingen [6] utilizan grabaciones para realizar los estudios. Algunos autores consideran que hacer evaluaciones de conciertos grabados es una limitación [2],[7]; para otros, sin embargo, es esto precisamente lo que previene el sesgo [8].

El tipo de individuo al que va dirigido el test en los análisis subjetivos, cambia en cada estudio, en algunos casos son directores de orquesta de reconocido prestigio [4], en otros son expertos [9], [10], en otros público asistentes a los conciertos [11], también los hay que mezclan distintas tipologías de oyente [5], [12].

En ocasiones se trata la problemática relacionada con el propio lenguaje, a veces a causa del idioma (de los test y de los sujetos); y otras con el vocabulario propio que emplean distintas profesiones como acústicos y músicos. Se incide en la necesidad de “unificar” el lenguaje de los acústicos y de los músicos [3], [7]. Para paliar esta cuestión, algunos autores han optado por traducir las preguntas a varios idiomas [1], [3]. También se han elaborado estudios que han buscado encontrar el vocabulario común entre distintos tipos de oyente [5], [12]. Se ha comprobado que el público entiende las cualidades acústicas de manera distinta si son expertos o no, por lo que algunos autores señalan que los cuestionarios deberían adaptarse al colectivo al que se dirige [13]

En el caso que presentamos se ha decidido realizar el estudio mediante la escucha de grabaciones auralizadas por varias razones. En primer lugar, la sala en su estado original no existe hoy día. Para que las reproducciones en la sala en su estado original y la sala en la actualidad presenten la mayor coherencia posible, se han realizado modelos virtuales y auralizaciones de la sala en ambos estados. En segundo lugar, tal como indican algunos trabajos, el estudio mediante grabaciones evita el sesgo de opinión que los sujetos pudieran tener hacia el espacio en sí, es decir si éste le agrada o no, es por esto que dentro de lo posible los test se realizan en las mismas instalaciones y con el mismo equipo [1], [10], [11], aunque su empleo pueda no ser completamente fiel al sonido real [14]. Tercero, permite que el estímulo auditivo

que se presenta a todos los sujetos sea exactamente igual (cosa que no ocurre en representaciones en vivo). Y cuarto, permite presentar estímulos de corta duración (la memoria auditiva es corta).

Se ha contado con la colaboración de un quinteto de viento formado por músicos profesionales para grabar en la sala anecoica de la Escuela de Arquitectura Superior de Valencia de la Universitat Politècnica de Valencia cuatro piezas musicales. Posteriormente se han elegido tres fragmentos musicales de dos de las piezas.

Los usuarios habituales de la sala parecen expresar una preferencia, no solo por la sala en el pasado o en la actualidad, sino también por la escucha en platea o en anfiteatro. Es por esta razón que se ha decidido realizar cuatro auralizaciones de cada uno de los fragmentos, uno para cada estado y situación en la sala: estado original en platea, estado original en anfiteatro, estado reformado en platea, estado reformado en anfiteatro. Se obtienen 12 fragmentos musicales. Cada situación (estado y posición en la sala) está representada por 3 fragmentos, de manera que cuando se realicen las comparaciones, se podrá observar la consistencia de las respuestas entre bloques (melodía 1, 2 y 3) y dentro de los bloques (estado original o reformado, platea o anfiteatro)

2.1. Entrevista con músicos profesionales

Para establecer correlaciones entre parámetros objetivos y subjetivos, es necesario que exista un consenso respecto al significado de cada término que aparece en el test subjetivo [15], ya que entienden los músicos y los acústicos sobre algunos términos acústicos no siempre coincide [7]. Algunos autores concluyen que en los test psicoacústicos cuando se pide a los sujetos que analicen un determinado aspecto de la audición, es posible que, unos y otros estén evaluando cualidades diferentes, dado que la definición de un término en relación con una determinada sensación perceptiva no siempre está clara [14]. Otros autores indican que algunas palabras son mejores que otras para que la transferencia de información entre músicos y acústicos sea óptima [3].

Para adaptar los test subjetivos de valoración acústica al lenguaje de los músicos, se realizó una entrevista con tres músicos profesionales (uno de la Banda Municipal de Valencia y dos de la Orquesta de Valencia). Se realizó la entrevista en valenciano, su lengua materna (Fig. 1).

En la entrevista se les preguntó qué entendían ellos por algunos conceptos acústicos y cómo los definirían ellos, entre otras cuestiones.

Se pudo observar que algunos términos acústicos son poco empleados por estos músicos, tales como homogeneidad, textura, sonido de fondo, sonido directo, natural, difuso como opuesto a concentrado. Otros términos se emplean con un significado distinto al de los acústicos como: armonioso y reverberante, que atañe a la relación entre los músicos o a características de los instrumentos, antes que a parámetros de la sala.

Algunas palabras aparecieron como distintivas del vocabulario de los músicos, tales como empastado, redondo, ...

Aún así algunos de los términos se han incluido en el test.

TEMA II	<i>Segons la vostra opinió: ¿Com és una sala que sona bé? ¿Com deuria ser el seu so?</i>
TEMA III	<i>Segons la vostra opinió: ¿Quines diferències acústiques podem tindre entre una banda, una orquestra i un grup de cambra? En general, què és més important en l'acústica d'una sala segons el tipus d'agrupació musical</i>
TEMA IV	<i>Segons la vostra opinió: Des del punt de vista de l'acústica, ¿Quines diferències cregueu que hi han entre vent-metall, vent-fusta i corda. ¿Són rellevants les diferències a l'hora de valorar una sala?</i>
TEMA V	<i>Segons la vostra opinió: Com a intèrprets, i des d'un punt de vista únicament acústic, en quant als auditoris, ¿quin creus que és el millor? ¿Podríeu ordenar-los? (en base a la vostra pròpia experiència). Nota: penseu en els auditoris de Valencia, però també en els de fora, en qualsevol lloc on haveu fet un concert...</i>
TEMA VI	<i>Segons la vostra opinió: Com a preferències per a escoltar música, ¿consideres els mateixos "elements" que quan eres un intèrpret?, ¿o no? ¿Ordenaries igual les sales/auditoris de Valencia quan vas a escoltar un concert i no a interpretar?</i>
TEMA VII	<i>Segons la vostra opinió: ¿Quins aspectes o elements trobeu a faltar entre la música en directe i la música en format digital?</i>
TEMA VIII	<i>Segons la vostra opinió: ¿Estaríeu d'acord amb la següent afirmació? Escoltar una mateixa melodia diverses voltes i portant al mateix temps unes ulleres 3D en les que es mostrara una imatge diferent cada volta, tindria una influència directa en la percepció acústica de la melodia.</i>
TEMA IX	<i>Segons la vostra opinió: En general, i no sols des d'un punt de vista acústic, ¿quina sala vos ha agradat més? ¿Ha sigut tocant en una banda/orquestra/cambra? ...i ¿per què?</i>
TEMA X	<i>Segons la vostra opinió: ¿Quins materials de sala vos agraden més? ¿Quina forma de sala i d'escenari vos agrada més?</i>
TEMA XI	<i>Segons la vostra opinió: ¿Què signifiquen per a tu estos termes acústics</i> <i>Paràmetres acústics</i>
TEMA XII	<i>Segons la vostra opinió: ¿Concorda el significat que li doneu els músics professionals a estos termes amb la seua definició "acadèmica"?</i>
PER ÚLTIM...	<i>Segons la vostra opinió: ¿Hem deixat de considerar-tractar alguna característica/terme/aspecte/etc. relacionat amb l'acústica (o que s'haja tractat poc) durant esta reunió? Inclús encara que ho consideres "secundari" des del punt de vista acústic</i>

Figura 1 – Preguntas de la entrevista a los músicos profesionales

2.2. Elaboración del test inicial

Con los resultados de la entrevista y tomando como referencia los trabajos de varios autores [1], [3], [16], [2], [6], [17], [18] se elaboró un cuestionario inicial o pretest.

Este cuestionario está dividido en dos partes. La primera parte consiste en la recopilación de información general sobre los participantes: sexo, edad, relación con la música y nivel de audición. La segunda parte es el test de valoración subjetiva, que a su vez se divide en dos tipos de test, un test de comparación por parejas (PCT) y otro de estimación de magnitud del atributo verbal (VAME).

En el PCT se comparan los doce fragmentos musicales (numerados) (tres melodías y cuatro situaciones de sala) por parejas, resultando quince comparaciones en las que se evalúan varios atributos que se detallan a continuación (Figura 2). Se han empleado varios términos que hacen referencia al mismo atributo, de manera que músicos y especialistas en acústica entiendan a qué concepto se hace referencia.

En el VAME los participantes pueden puntuar atributos verbales en una escala numérica (en este caso entre -2 y +2). Los atributos verbales se presentan por parejas de opuestos (Figura 3)

Auralizaciones iguales tienen nombre distinto en el PCT (numerados) y en el VAME (letras). Además, en este último una de las auralizaciones se repite (con letra distinta) para determinar la consistencia del test (Tabla 1).

Tabla 1 – Denominación de los fragmentos PCT y VAME

Melodía	Localización en la sala	Momento	Fragmento PCT	Fragmento VAME
1	PB	EO	1	A = M
1	PB	EA	2	B
1	A	EO	3	C
1	A	EA	4	D
2	PB	EO	5	E
2	PB	EA	6	F
2	A	EO	7	G
2	A	EA	8	H
3	PB	EO	9	I
3	PB	EA	10	J
3	A	EO	11	K
3	A	EA	12	L

Legenda: PB: patio de butacas, A: anfiteatro, EO: estado original, EA: estado actual

El test inicial se pasó a tres músicos profesionales y tres ingenieros acústicos. Se muestra un ejemplo de las preguntas del PCT (Figura 2) y del VAME (Figura 3).

“Escuche atentamente estos dos fragmentos musicales e indique en cual le parece que los siguientes atributos son predominantes:

	Fragmento 1	Fragmento 2	
Sonido directo	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> No lo sé
Calidez, Dulce, Redondo	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> No lo sé
Intimidad	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> No lo sé
Homogeneidad, Equilibrio	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> No lo sé
Brillo	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> No lo sé
Reverberante	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> No lo sé
Suavidad, Melosidad	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> No lo sé
Empastado	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> No lo sé
Color	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> No lo sé

“Juzgue cómo de similares le parece que se escuchan los dos fragmentos musicales:

Muy similar Poco similar Nada similar No lo sé”

Figura 2 – Ejemplo de pregunta del cuestionario PCT

" Escuche atentamente este fragmento musical. Evalúe cómo de representativos son los siguientes atributos para definirlo. (0 = No lo sé)"

Fragmento A		No lo sé					
	<input type="checkbox"/> -2	<input type="checkbox"/> -1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> +1	<input type="checkbox"/> +2		
Sonido directo bajo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Sonido directo alto	
Calidez baja	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Calidez alta	
Intimidad baja	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Intimidad alta	
Homogeneidad baja	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Homogeneidad alta	
Brillo bajo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Brillo alto	
Reverberante bajo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Reverberante alto	
Suavidad baja	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Suavidad alta	
Agradable	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Desagradable	
No claro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Claro	
Suave	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Duro	
Brillante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Débil	
Redondo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Estridente	
Vigoroso	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Amortiguado	
Dominante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Discreto	
Luminoso	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Oscuro	
Seco	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Reverberante	
Débil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Fuerte	
Agudo acentuado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Agudo no acentuado	
Bajo acentuado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Bajo no acentuado.	
Bajo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Alto	
Distante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Envolvente	

Figura 3 – Ejemplo de pregunta del cuestionario VAME

Los parámetros estimados para el test inicial son:

- Número de sujetos: entre 3 y 5.
- Tipos de sujetos: músicos, y expertos en acústica
- Número de auralizaciones: 3 piezas musicales en la sala antes y ahora.
- Puntos de la sala en que se realizan las auralizaciones: Platea y Anfiteatro
- Duración estimada de realización del test: 20 minutos.
- Se permite escuchar las auralizaciones tantas veces como quieran/necesiten los encuestados para responder el test.
- Se da oralmente y por escrito a los participantes unas instrucciones sencillas para la realización del test, pero no demasiadas para no incurrir en sesgos.

3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los músicos profesionales tardan entre una hora y media y dos horas en completar el test. Aprecian cualidades distintas entre unos fragmentos y otros, aunque en algunos casos indican dificultad para diferenciarlos. Escuchan los fragmentos muchas veces y con detenimiento antes de puntuar para cada atributo. Al finalizar el test expresan cierto cansancio. Aun así, completan los test y nos ayudan a pulir los atributos verbales. Señalan que la alternativa "No lo sé" en el cuestionario del PCT les parece imprecisa, y proponen que se denomine "No lo sé/ Iguales".

Los especialistas en acústica no terminan el test, presentan fatiga auditiva, e indican que los fragmentos les parecen muy similares. Opinan que el test tiene demasiados atributos a comparar y que el número de comparaciones es excesivo.

La prueba inicial superó en exceso el tiempo de realización del test, que se había estimado en veinte minutos.

Teniendo en cuenta la experiencia con el test inicial se observa que éste es demasiado extenso para el caso que se estudia. Se decide reducir su longitud drásticamente, se elimina la parte de VAME así como algunos atributos a evaluar. Se suprimen los términos: homogeneidad, equilibrio, suavidad, melosidad, y color.

Aunque la muestra es pequeña, se observa que los músicos realizan con mucha mayor solvencia el test que aquellos que no lo son. Se decide que el test definitivo se pasará sólo a gente con formación musical en algún grado, estudiantes y músicos profesionales, y a melómanos.

Tras una evaluación de las respuestas del test inicial se decide cambiar la pregunta final del PCT “Juzgue cómo de similares le parece que se escuchan los dos fragmentos musicales” por “¿Qué fragmento le gusta más?”, ya que se estima que esta pregunta arrojará más información que la anterior sobre las preferencias en cuanto a posición en la sala y estado del edificio.

En la figura 4 aparecen los apartados de la “Parte 1” del test definitivo.

Por favor, marque o escriba la información que se solicita a continuación

Nº participante:

Sexo:

Edad:

Relación con la música y/o salas de conciertos:

- Profesional
- Estudiante
- Melómano/Aficionado
- Ninguna

¿Cómo considera que es su nivel de audición?:

- Bueno
- Regular
- Malo

Instrumento:

Figura 4 – Parte 1 del test definitivo

“Escuche atentamente estos dos fragmentos musicales e indique en cual le parece que los siguientes atributos son predominantes:

	Fragmento 1		Fragmento 2	
Sonido directo	<input type="checkbox"/> 1		<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> No lo sé/Igual
Dulce, redondo, calidez	<input type="checkbox"/> 1		<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> No lo sé/Igual
Intimidad	<input type="checkbox"/> 1		<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> No lo sé/Igual
Brillo	<input type="checkbox"/> 1		<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> No lo sé/Igual
Reverberante	<input type="checkbox"/> 1		<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> No lo sé/Igual
Empastado	<input type="checkbox"/> 1		<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> No lo sé/Igual

“¿Qué fragmento le gusta más?:

1 2 Indiferente”

Figura 5 – Parte 2 del test definitivo. Pregunta tipo.

La sala antes y después de su reforma parece presentar una gran similitud, esto puede provocar que los sujetos que realizan el test escuchen cada fragmento muchas veces antes de contestar cada apartado. Los participantes en la encuesta desconocen el objeto de estudio del test, y a pesar de que se incide en que no se está evaluando su capacidad auditiva, se observa una gran predisposición a escuchar atentamente y repetidamente los fragmentos. Este hecho unido a que todos los fragmentos están interpretados por instrumentos de viento podría afectar a la variabilidad de las comparaciones entre fragmentos y promover la fatiga auditiva.

El estudio podría mejorar empleando fragmentos musicales interpretados por distintos tipos de instrumentos, e incorporando otra tanda de test VAME, ya que emplear el PCT en combinación con el VAME, puede arrojar una perspectiva más amplia que permita afinar resultados.

En futuros trabajos se quiere estudiar qué preguntas son más adecuadas para la realización de test acústicos subjetivos, en función de la similitud o diferencia entre las salas a comparar. Por ejemplo poniendo a prueba el test desarrollado para un caso en el que las salas a comparar sean muy diferentes.

REFERENCIAS

- [1] Wilkens, H. “Mehrdimensionale beschreibung subjektiver beurteilungen der akustik von konzertsaelen.” *Acustica*, 1977, pp. 10-23.
- [2] Sotiropoulou, A.G.; Hawkes, R.J. “Concert Hall Acoustic Evaluations by Ordinary Concert-Goers: I, Multi-dimensional Description of evaluations,” *Acustica*, vol. 81, 1995, pp.1-9.
- [3] Farina, A. “Acoustic quality of theatres: Correlations between experimental measures and subjective evaluations,” *Appl. Acoust.*, vol. 62, no. 8, 2001, pp. 889–916.
- [4] Hidaka, T and Beranek, L. L. “Objective and subjective evaluations of twenty-three opera houses in Europe, Japan, and the Americas,” *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 107, no. 1, Jan. 2000, pp. 368–383.
- [5] Galiana, M.; Llinares, C. and Page, A. “Subjective evaluation of music hall acoustics: Response of expert and non-expert users,” *Build. Environ.*, vol. 58, 2012, pp. 1–13.
- [6] Schroeder, M. R.; Gottlob, D. and Siebrasse, K. F. “Comparative study of European

- concert halls: Correlation of subjective preference with geometric and acoustic parameters,” *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 56, no. 4, 1974, pp. 1195–1201.
- [7] Beranek, L. L. *Concert halls and opera houses: music, acoustics and architecture*, Springer, New York (USA), 2nd ed., 2004.
- [8] Lokki, T. and Järveläinen, H. “Subjective evaluation of auralization of physics-based room acoustics modeling.”, *Proceedings of the 2001 International Conference on Auditory Display*, Espoo, Finland, July 29- August 1, 2001, pp. 26-31.
- [9] Barron, M. *Auditorium acoustics and architectural design*. Spon Press, New York (USA), 2009.
- [10] Beranek, L. L. “Music, acoustics, and architecture,” *Bull. Am. Acad. Arts Sci.*, vol. 45, no. 8, 1992, pp. 25–46.
- [11] Semidor, C. and Barlet, A. “Objective and subjective surveys of opera house acoustics: Example of the Grand Theatre de Bordeaux,” *J. Sound Vib.*, vol. 232, no. 1, Apr. 2000, pp. 251–261.
- [12] Giménez, A.; Cibrián, R. M. and Cerdá, S. “Subjective assessment of concert halls: A common vocabulary for music lovers and acousticians,” *Arch. Acoust.*, vol. 37, no. 3, 2012, pp. 331–340.
- [13] Galiana Martínez, M.; Llinares Millán, C. and Llinares Millán, J. “Does Architecture affect Acoustic Perception in Music Halls?,” *International conference of Kansei engineering and emotion research, KEER*, Linköping, Sweden, June 11-13, 2014.
- [14] Lokki, T. “Tasting music like wine: Sensory evaluation of concert halls,” *Phys. Today*, vol. 67, no. 1, 2014, p. 27-32.
- [15] Zwicker, E. and Fastl, H. *Psychoacoustics: Facts and models*, Springer Berlin, Heidelberg, 2007.
- [16] Barron, M. “Interpretation of early decay times in concert auditoria,” *Acta Acust. united with Acust.*, vol. 81, no. 4, 1995, pp. 320–331.
- [17] Ricciardi, P. and Buratti, C. “Environmental quality of university classrooms: Subjective and objective evaluation of the thermal, acoustic, and lighting comfort conditions,” *Build. Environ.*, vol. 127, Jan. 2018, pp. 23–36.
- [18] Barron, M. “Subjective study of British symphony concert halls,” *Acta Acust. united with Acust.*, vol. 66, no. 1, 1988, pp. 1–14.