

Simulación de la sensación y percepción de un espacio arquitectónico a través de acústica virtual

Simulation of the sensation and perception of an architectural space through virtual acoustics

Laura Angélica Lancón Rivera* Arquitecta y Maestra en Diseño por la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco (UAM-A), enfocando su tema al de la absorción sonora en modelos físicos a escala. Es profesora investigadora adscrita al Departamento de Procesos y Técnicas de Realización y miembro activo del Área de Investigación de Análisis y Diseño Acústico (AADAC) desde el 2008 en la UAM-A. Dentro del AADAC ha colaborado en trabajos relacionados con ruido urbano como el Primer Mapa de Ruido para la ZMVM para la Secretaría del Medio Ambiente del GDF y otros trabajos enfocados a la acústica de recintos, especializándose en el manejo de *software* de acústica arquitectónica, urbana y ambiental. Autora de artículos especializados en acústica de recintos y ruido urbano desde 2010. De 2009 a la fecha imparte clases en la Licenciatura de Arquitectura y en el Tronco General de Asignaturas de la UAM-A, además de materias optativas enfocadas a la Acústica de Recintos y Control de Ruido en las edificaciones. En 2019 se integró a la planta docente del Posgrado en Diseño Bioclimático para impartir la materia de Factores Lumínicos y Acústicos

Silvia Gabriela García Martínez** Profesora-Investigadora en la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco desde el año 2008. Cuenta con maestría en Diseño en la línea de Arquitectura Bioclimática y actualmente se encuentra estudiando el Doctorado en Estudios Urbanos. Desde 2008 imparte clases en la Licenciatura de Arquitectura de la UAM-A en las líneas de Diseño, Expresión Arquitectónica y optativas de temas selectivos y de formación específica. Es coordinadora de Docencia en el Departamento de Procesos y Técnicas de Realización de la misma Institución. Es integrante del núcleo básico del Área de Análisis y Diseño Acústico, investigando y publicando sobre temas relacionados con el paisaje sonoro, el confort acústico, el ruido urbano ambiental, entre otros. Participó en el proyecto del Mapa de Ruido de la Ciudad de México. Manejo de *software* especializado en ruido urbano y manejo de instrumentación especializada para la medición de parámetros acústicos en recintos y ruido ambiental.

Resumen

En el campo de la acústica arquitectónica se han empleado diversos modelos de simulación como un intento de describir y predecir el comportamiento del sonido en los recintos. Hoy en día se emplean programas especializados (*software*) que aportan información de cómo el usuario percibirá un ambiente arquitectónico, a través de parámetros acústicos y modelado tridimensional, aun cuando el espacio físico no esté construido o ya no exista. Este trabajo muestra una comparativa de cualidades auditivas y arquitectónicas, en ejercicios de aplicación de acústica virtual, con el empleo de cinco diferentes señales anecoicas de diversas fuentes sonoras y variación en los materiales de las superficies.

Palabras clave: Percepción auditiva, auralización, acústica virtual.

Abstract

In the field of architectural acoustics and in order to describe and predict the behavior of sound in rooms, numerous simulation models have been used over the years. Nowadays, preferably specialized software tools are used to simulate the acoustical perception of an architectural environment. Three-dimensional virtual modeling with acoustic parameters attached, help to analyze the sound behavior during the planning phase ahead of the construction process, and even non-existent historical spaces. This paper shows a comparison of auditory and architectural qualities, in virtual acoustic application exercises, with the use of five different anechoic signals from different sound sources and variation in surface materials.

Keywords: Auditory perception, auralization, virtual acoustics.

Introducción

Spandök, en la década de los treinta, fue uno de los primeros en utilizar un modelo a escala para experimentar con auralizaciones, en donde la voz y la música fueron grabadas de forma anecoica¹ y se escalaron tanto en el dominio de la frecuencia como en la proporción de la escala del modelo del recinto. Posteriormente, en la década de los sesenta, Vilhelm Jordan ocupó una técnica similar experimentando con diversos materiales y elementos de diseño en modelos físicos a escala, pudiendo observar distintos fenómenos acústicos dentro de los mismos (Addis, 2009).

A partir de la introducción de las computadoras a mediados de los años ochenta, el uso de programas computacionales para el cálculo de las propiedades acústicas de un recinto se incrementó de manera considerable, por lo que actualmente diversos programas de simulación acústica por computadora están disponibles en el mercado, como el CATT-Acoustic, EASE, Odeon, Ramsete, por mencionar algunos. Dichos programas hoy en día se emplean, por ejemplo, en la reconstrucción virtual de edificios antiguos y que ya no existen (Segura *et al.*, 2018) y así generar simulaciones acústicas que enriquezcan el patrimonio histórico cultural. También tienen aplicación en la evaluación de la influencia del ruido en los procesos cognitivos del ser humano (Muhammad, 2019), así como en la auralización del aislamiento acústico en espacios de trabajo (Heimes *et al.*, 2019).

La técnica de simulación acústica requiere del modelado de la geometría del recinto, de las propiedades de los materiales de las superficies, de las características de la fuente sonora, la directividad de la misma, la ubicación del receptor y del método de propagación de las ondas. Para realizar estas simulaciones es necesario el empleo de señales anecoicas de fuentes sonoras naturales o artificiales.

Por otro lado, la acústica virtual implica la conjunción de dos técnicas, por una parte, el modelado en tercera dimensión de cualquier recinto y, por otra, el procesamiento de una señal acústica audible, de tal forma que es posible visualizar y escuchar el espacio simulado.

Este trabajo enfatiza la importancia de la sensación y percepción auditiva, como un elemento clave que debe ser considerado en el diseño arquitectónico. Se muestran imágenes fotorrealistas, gráficas del tiempo de reverberación y coeficientes de absorción sonora, además de enlaces a internet de videos para poder visualizar y escuchar diversos ambientes sonoros.

Sensación y percepción

A lo largo de la historia y desde el punto de vista y posturas de distintas disciplinas como la neurofisiología, la filosofía, la psicología, entre otras, ha habido diversas definiciones sobre la percepción y la sensación, por lo que no se puede dar una definición concreta de dichos conceptos.

Vargas (1994), señala que la psicología ha sido la disciplina que más ha ahondado sobre el tema de la percepción y la define como: “el proceso cognitivo de la conciencia que consiste en el reconocimiento, interpretación y significación para la elaboración de juicios en torno a las sensaciones obtenidas del ambiente físico y social, en el que intervienen otros procesos psíquicos entre los que se encuentran el aprendizaje, la memoria y la simbolización”.

Para el fisiólogo y psicólogo estadounidense Samuel Howard Bartley (1985): “[...] la percepción puede ser una mera experiencia [...] los canales sensoriales juegan un papel esencial en procesos que incluyen ver, oír, tocar, probar o cualquier otra acción propia de una distinta modalidad sensorial”.

Por otra parte, la percepción implica sensaciones, las cuales pueden definirse como la respuesta directa e inmediata a una estimulación de los órganos sensoriales del medio exterior, considerando a dichas sensaciones como el origen del proceso de percepción, el cual les dará un sentido e interpretación (Hernández, 2012).

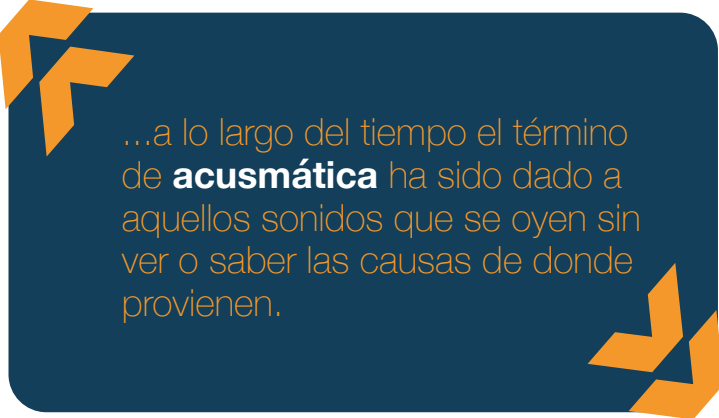
Puede decirse entonces que la sensación y la percepción son conceptos estrechamente ligados, uno precede al otro y ambos nos permiten tener una perspectiva del mundo que nos rodea, a través de un proceso complejo donde a partir de estímulos sobre nuestros sistemas sensoriales obtenemos una sensación, la cual es transportada y procesada por el cerebro humano, involucrándose diversos procesos físicos, fisiológicos y psicológicos.

Sensación y percepción auditiva del espacio arquitectónico

El espacio arquitectónico, además de satisfacer funciones básicas como la habitabilidad, la recreación, el comercio, el transporte, entre otras, ha fungido como un generador de diversos estímulos al usuario, causando que la arquitectura hoy en día sea un elemento físico que se experimenta mediante percepciones multisensoriales.

D’Alencon (2008) menciona que el oído, el olfato, el tacto y en menor medida el gusto, forman parte de los medios a través de los cuales percibimos la arquitectura, sin embargo, el concepto que se les ha dado a estos sentidos como secundarios, subordinados por el sentido de la vista, ha limitado de manera sustancial la capacidad de los arquitectos para concebir espacios multisensoriales, empobreciendo la experiencia del usuario en los espacios construidos.

Juhani Pallasmaa (en Aldrete-Haas, 2007), señala que el predominio de la vista en este mundo es excesivo. Advierte que hoy en día en muchas áreas de la vida cotidiana existe una obsesión por la imagen visual. La arquitectura en lugar de experimentarse de una manera corporal, a través de un encuentro físico material y completamente espacial, se experimenta muchas veces a través de una apreciación “retinal” como fotografías instantáneas.



...a lo largo del tiempo el término de **acusmática** ha sido dado a aquellos sonidos que se oyen sin ver o saber las causas de donde provienen.

La experiencia del usuario dentro de un lugar se traduce en un cúmulo de sensaciones, emociones y percepciones. Se puede percibir el espacio arquitectónico a través de los múltiples sentidos, sin embargo, por lo general el primero que interfiere en este proceso de percepción es la vista, provocando que la mayoría de los arquitectos configuren el espacio tridimensional a partir de la satisfacción de este sentido de percepción, el cual permite el estudio formal y estético para la descripción de dicho espacio físico, dejando de lado los otros sentidos, que también ayudan a establecer una conexión entre el hombre y su entorno.

Para D'Alencon (2008) la percepción del espacio arquitectónico es completada por el oído humano a partir de referencias sonoras que dan una idea más clara de las dimensiones, distancias, escala y orientación. En este sentido, basta con imaginar el ambiente sonoro de un espacio de culto, como una catedral, el cual podría definirse como monumental por su alto tiempo de reverberación,² debido primordialmente a su gran volumen y características reflejantes de los materiales en su interior. Y, por el contrario, imaginar el ambiente sonoro de un dormitorio, el cual se describirá como íntimo, de volumen reducido y con superficies absorbentes, el tiempo de reverberación será corto.

Para Blesser y Salter (2007) no sólo experimentamos el espacio arquitectónico viendo, sino también escuchando. Además, señalan que mientras la visión nos proporciona información acerca de los objetos y la geometría estática de un espacio, el oído por su parte ofrece una conexión dinámica de los eventos que suceden dentro de él, añadiendo que el oyente siempre estará involucrado de manera involuntaria a eventos que sean audibles a pesar de su ubicación, de verlos o no. Tal era el caso de Pitágoras (Kane, 2016), quién tenía un método de enseñar a sus discípulos, llamados acusmáticos, detrás de una cortina, con la finalidad de que únicamente escucharan el sonido de su voz, sin verlo, para no causarles alguna distracción visual, así que a lo largo del tiempo el término de acusmática ha sido dado a aquellos sonidos que se oyen sin ver o saber las causas de donde provienen.

De esta forma, la interacción del sonido con el espacio arquitectónico es complejo e interesante, ya que éste se enfrenta a diversos fenómenos, los cuales dependen en gran medida de la ubicación de las fuentes sonoras, de las características del recinto, como el volumen, la geometría, la textura y las formas de las superficies, los materiales y los usuarios en algunos casos en particular.

La percepción auditiva del espacio requiere de analizar la localización y lateralización. La localización se refiere a la dirección y distancia de la fuente sonora dentro de un espacio físico, que puede o no coincidir con su ubicación real y la lateralización describe la localización aparente de un sonido dentro de la cabeza del oyente y es utilizada para el diseño de campos acústicos virtuales (Basso, 2018).

Métodos para la generación de simulación de la sensación y percepción auditiva

A lo largo de la historia de la acústica de recintos se ha recurrido a diversas herramientas de simulación para intentar describir y predecir el comportamiento del sonido en los espacios arquitectónicos, así como de obtener los distintos parámetros de calidad acústica que los definen. Dichas herramientas han incluido modelos matemáticos, modelos físicos a escala y actualmente modelos de simulación por computadora y realidad virtual, donde en los últimos dos por lo general se encuentran las auralizaciones.

Auralización

La auralización es una técnica relativamente nueva, utilizada para la construcción del ambiente sonoro de un espacio arquitectónico y lo que se pretende con esta técnica es simular la sensación auditiva en un recinto, que dependerá de la posición del oyente y de las fuentes sonoras, con la finalidad de que el usuario tenga idea de cómo sonaría dicho sitio. La intención se basa en que el usuario experimente una percepción auditiva de un entorno que aún no esté construido, que ya no exista o que esté localizado en un sitio geográficamente distante, con la finalidad de mejorar o corregir defectos acústicos. A grandes rasgos, el término *auralización* equivale a una percepción auditiva, lo que un *render* o perspectiva digital equivale a una percepción visual.

La simulación acústica a partir de auralizaciones ha sido utilizada en numerosos campos de estudio y con diferentes objetivos, por ejemplo: se ha empleado en la psicoacústica³ para el estudio de la percepción del sonido y sus parámetros subjetivos; así mismo, se ha integrado a sistemas de realidad virtual como los video juegos, permitiendo aumentar la sensación de inmersión; también se ha empleado en simulaciones de conducción de autos, donde es necesario un alto nivel de realismo (Montell, 2010).

Mendel Kleiner, quien introdujo el concepto de auralización en el año de 1990, la define como “el proceso de reproducción audible, por modelado físico o matemático del campo sonoro de una fuente en un espacio, de manera que se simule la experiencia binaural⁴ auditiva en una posición dada en el espacio modelado” (Giménez *et al.*, 2011). Por otro lado, Carrión (1998), sugiere que es posible realizar una escucha de forma virtual en cualquier punto de un recinto, ya sea para un mensaje oral o musical, a través de altavoces o auriculares. La principal utilidad es hacia el diseño acústico de un recinto, ya que permite analizar la calidad acústica de un proyecto arquitectónico, mediante un programa de simulación especializado.

Por su parte, para el experto en realidad virtual acústica, Michael Vorländer, la auralización es una técnica para crear archivos sonoros a partir de datos numéricos, ya sean simulados, medidos o sintetizados. De tal forma, se puede realizar una escucha de manera virtual en cualquier punto de un recinto utilizando altavoces o auriculares (Alonso *et al.*, 2012).

En el proceso de generación de una auralización existen 4 etapas principalmente: (1) Generación del modelo en tercera dimensión; (2) Cálculo de la respuesta impulsiva del recinto; (3) Procesamiento digital de la señal (convolución), y (4) Obtención de la señal auralizada (figura 1) (Montell, 2010).



Figura 1. Esquema del proceso de auralización. Elaboración propia.

Las **etapas** del proceso de auralización son:

1. Generación del modelo en tercera dimensión. En esta etapa se construye el modelo del proyecto en tercera dimensión, muchas veces con ayuda de algún programa de dibujo asistido por computadora (AutoCAD® o SketchUp™). Ya finalizada la etapa de modelado, el modelo debe exportarse a algún programa de simulación acústica, donde son asignados materiales y coeficientes de absorción y difusión a cada una de las superficies del modelo.

2. Cálculo de la respuesta impulsiva del recinto. En esta etapa primero debe caracterizarse la fuente sonora y ubicar a los receptores en diferentes posiciones dentro del recinto. Después debe realizarse el cálculo de la respuesta acústica del espacio, el cual puede lograrse a partir de diferentes métodos, dependiendo del programa de simulación (Método de Trazado de Rayos, Método de Fuente de Imagen, Método de Partículas, por ejemplo). Con estos métodos se puede obtener la respuesta acústica del espacio arquitectónico a partir de distintos parámetros.

Conviene señalar que la respuesta impulsiva del espacio dependerá en gran medida del sonido directo, de las primeras reflexiones, de las formas o geometría del recinto, del volumen, de las características de los materiales asignados a cada superficie del espacio a analizar, de la ubicación de la fuente y receptor y/o receptores dentro del espacio.

3. Procesamiento digital de la señal (convolución). Esta etapa es fundamental en el proceso de auralización. Consiste en combinar la respuesta impulsiva del recinto con una señal anecoica de cualquier tipo, mediante el uso de un filtro llamado Función de Transferencia Relacionada con la Cabeza (HRTF, por sus siglas en inglés – Head Related Transfer Function), los cuales permiten simular las sensaciones y procesos de percepción binaural que realiza el sistema auditivo humano. Suponen el efecto de las reflexiones sobre la cabeza, el torso y el pabellón auricular, así como el retardo en tiempo del sonido que se da entre ambos oídos, permitiendo con ello la localización de la fuente sonora.

Con el proceso de convolución se obtiene una señal binaural con dos canales, uno para el oído izquierdo y otro para el derecho. Cada uno de estos canales contiene información audible de la respuesta acústica del recinto estudiado.

4. Obtención de la señal auralizada. Esta fase permite la reproducción de la señal de ambos oídos, los cuales pueden ser reproducidos por auriculares o bocinas. La calidad de la auralización dependerá en gran medida del sistema de reproducción empleado.

Podría considerarse la auralización como la primera técnica usada para simular la sensación y percepción auditiva del espacio arquitectónico en términos objetivos, sin embargo, pareciera incompleto percibir el espacio con solamente el sentido de la audición, por lo que la ayuda de la percepción visual es muy útil, ya que cada uno de los sentidos se beneficia de la información procedente del otro. Es por ello que hoy en día se incorporan entornos visuales virtuales a estas representaciones auditivas, dando pie a lo que hoy se conoce como *acústica virtual*.

Acústica virtual

La acústica virtual es la conjunción de una representación sonora digital (auralización) y una representación visual virtual de un espacio simulado y que en conjunto crean un entorno virtual (Segura *et al.*, 2013). Este sistema permite al espectador experimentar una sensación y percepción auditiva y visual de cualquier espacio arquitectónico simulado (figura 2).



Figura 2. Esquema del proceso de auralización integrado a un entorno visual virtual. Elaboración propia.

A continuación se presenta un esquema en planta y secciones de un espacio arquitectónico propuesto para realizar actividades múltiples (figura 3). De este espacio se realizará una variación en las características físicas de los materiales del interior, para así obtener tres ambientes sonoros distintos: reflejante, absorbente y difuso (figuras 4, 5 y 6).

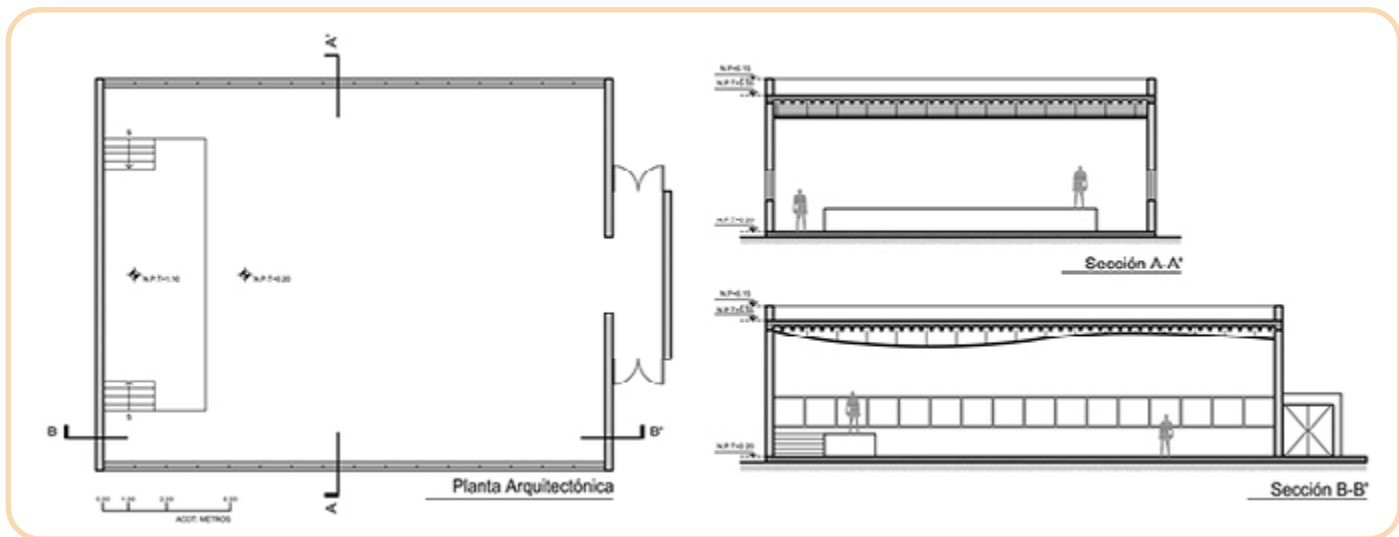


Figura 3. Planta arquitectónica y secciones del espacio propuesto. Elaboración propia.

Las figuras que representan cada ambiente sonoro se acompañan de dos gráficas generadas en el programa especializado CATT-Acoustic, donde se visualizan los tiempos de reverberación del espacio, así como la gráfica que muestra el grado de absorción que los materiales aportan al recinto.

Al pie de cada figura se ha añadido un enlace que contiene el proceso de acústica virtual (auralización + imagen visual). Las auralizaciones se realizaron igualmente en CATT-Acoustic y se emplearon diversas señales anecoicas de fuentes sonoras, tales como campanas, chelo, voz masculina, voz femenina y trompeta.

La figura 4 corresponde a un espacio arquitectónico con características reflejantes en los materiales que lo componen, teniendo así superficies lisas de madera barnizada, tanto en piso, como techo y muros. En la gráfica perteneciente al tiempo de reverberación, puede observarse en el eje X correspondiente a las frecuencias lo siguiente: para bajas frecuencias el tiempo supera en algunos casos 1 segundo (eje Y), mientras que para frecuencias medias se ubica por arriba de los 0.5 segundos, situación estrechamente relacionada con la gráfica del grado de absorción de los materiales, la cual hace evidente que las superficies aportan muy poco grado de absorción, originando que el tiempo de reverberación sea alto.

En la auralización correspondiente a este espacio arquitectónico se puede distinguir la persistencia alargada del sonido una vez que la fuente sonora cesó, incluso, da la idea de que el espacio es grande, amplio, vacío y poco íntimo. Así mismo es notoria la mezcla de sonidos graves y agudos,

permaneciendo por más tiempo en el ambiente los primeros, debido a sus características de longitud de onda, generando que el mensaje, con relación a las voces humanas, se perciba confuso y poco claro, condición poco favorecedora donde la claridad de la palabra es fundamental. Si se escucha con atención, podrá apreciarse que algunas consonantes pierden intensidad y son opacadas por las vocales, las cuales, según Avilés y Perera (2017), tienen un mayor nivel sonoro y duración, además de contener dentro de su espectro más frecuencias bajas, por lo que si su sonido se alarga cubrirá gran parte de las consonantes, provocando una pérdida de inteligibilidad.

Según Llinares *et al.* (2008) un alto tiempo de reverberación es idóneo para la ejecución de cierto género musical como el romántico, donde figuran compositores como Wagner, Strauss, Brahms, entre otros, en el cual no es necesario percibir cada detalle de los sonidos, sino el conjunto.

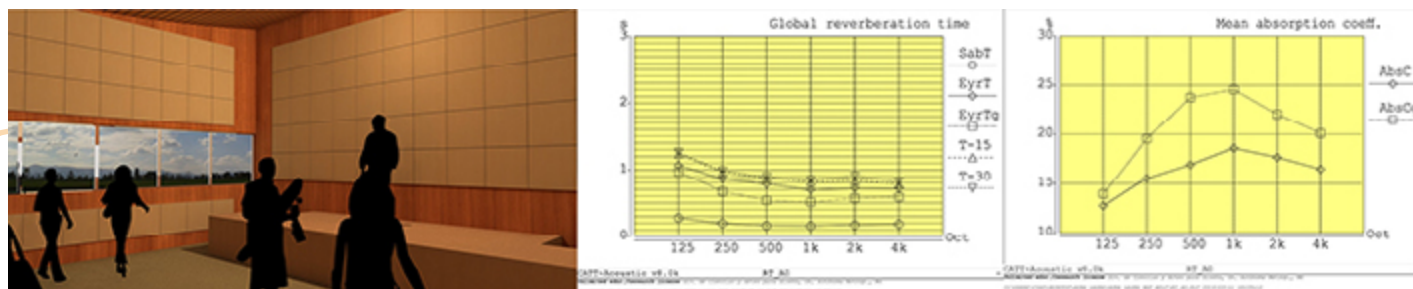


Figura 4. Ambiente sonoro reflejante: (a) imagen fotorrealista, (b) gráfica del tiempo de reverberación y (c) gráfica del grado de absorción. Elaboración propia. Auralización disponible en <<https://www.youtube.com/watch?v=7DsZf-cOxSY>>.

En cambio, la figura 5, representa las características físicas de un ambiente sonoro absorbente, donde sólo los muros cuentan con paneles perforados de madera, compuestos en su parte interior con material altamente absorbente, como lana mineral. La gráfica del tiempo de reverberación muestra un decaimiento en frecuencias por debajo de los 0.5 segundos, situación que se debe al alto grado de absorción que aportan los materiales al recinto, facilitando la pérdida de energía sonora y, por ende, su persistencia en tiempo una vez que la fuente sonora cesó. La auralización correspondiente a este ambiente sonoro y a las voces humanas hace notar con mayor claridad el sonido de cada una de las letras que componen las palabras, identificando claramente entre consonantes y vocales. Si se compara con el ambiente reflejante se apreciará que el sonido de la letra “s” es más corto al final de la frase en este ambiente. Adicionalmente, el espacio se percibe pequeño e íntimo, condición que resulta favorecedora para espacios donde el mensaje oral es esencial, como un salón de clases, por ejemplo.

Sin embargo, la ejecución de los instrumentos musicales se siente apagada, seca, sin presencia, haciendo evidente que un ambiente demasiado absorbente donde se ejecuta música no es en lo absoluto adecuado. En este sentido, es importante señalar que dependiendo del tipo de música a interpretar, dependerán los requerimientos acústicos del recinto.

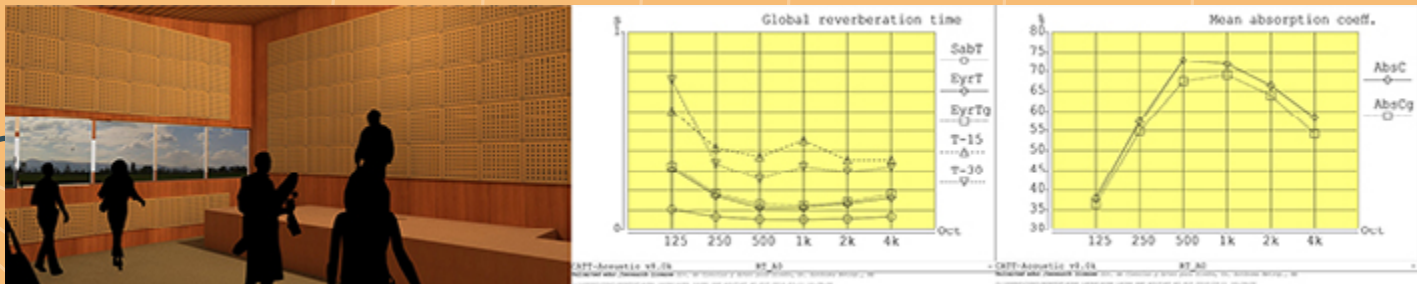


Figura 5. Ambiente sonoro absorbente: (a) imagen fotorrealista, (b) gráfica del tiempo de reverberación y (c) gráfica del grado de absorción. Elaboración propia. Auralización disponible en <<https://www.youtube.com/watch?v=VuF2qSauquU>>

Finalmente, se tiene el ejemplo de un espacio sonoro difuso (figura 6) con aplicaciones de difusores de madera sólo en muros laterales. Puede observarse que la gráfica del tiempo de reverberación se mantiene muy cercana a la del espacio absorbente, circunstancia que genera precisamente el empleo de difusión sonora en los recintos y la regulación del tiempo de reverberación, ya que sus materiales aportan absorción al decaimiento de la señal.

Es importante resaltar que la difusión permite apreciar la señal sonora como envolvente, es decir, que el sonido pareciera venir de todas partes, además, también ayuda a la eliminación de posibles defectos acústicos, como ecos, resonancias, entre otros, generados dentro del recinto.

Las voces humanas en la auralización, acorde a este ambiente sonoro difuso, se perciben un poco más claras, a diferencia del ambiente reflejante, sin embargo, con la aplicación de un poco de materiales absorbentes habría mayor inteligibilidad de la palabra, ya que algunas consonantes se pierden o confunden. Avilés y Perera (2017) recomiendan no emplear difusión sonora en recintos donde la claridad de la palabra es primordial, a menos que se trate de un espacio pequeño como una sala de grabación o ensayo, donde los defectos acústicos podrían ocasionar distorsión del sonido.

Sin embargo, para espacios donde se ejecuta música el empleo de difusión sonora es deseable. En la auralización puede percibirse la mezcla de las notas musicales y la sensación de envolvimiento.

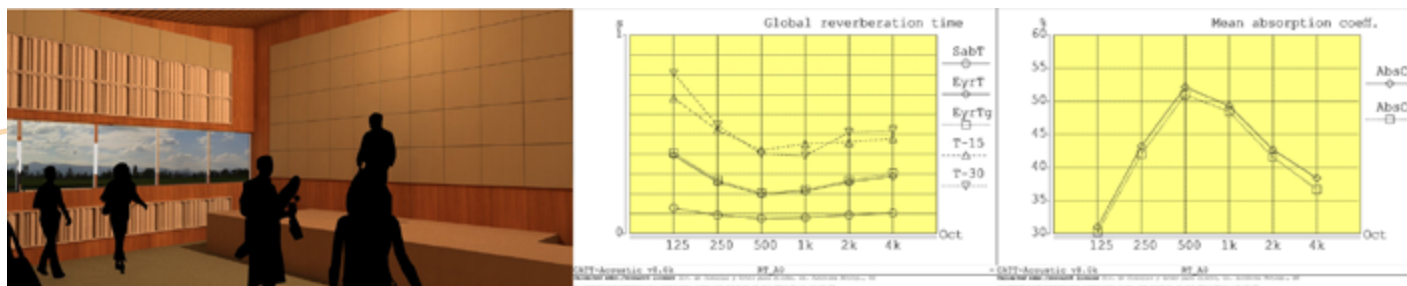


Figura 6. Ambiente sonoro difuso: (a) imagen fotorrealista, (b) gráfica del tiempo de reverberación y (c) gráfica del grado de absorción. Elaboración propia. Auralización disponible en <<https://www.youtube.com/watch?v=a39pvuf4dn8>>.

A partir de ejercicios de acústica virtual, como los mostrados anteriormente, se resalta la importancia de simular y analizar acústicamente los espacios arquitectónicos previos a su construcción, ya que esto puede ayudar a la toma de decisiones de los materiales empleados en las superficies, dimensiones y geometría del espacio, de acuerdo con las actividades que se puedan desempeñar dentro del recinto, ya que esto interviene en la percepción de los usuarios y en la calidad acústica del espacio.

Conclusiones

Las cualidades auditivas, hápticas e incluso olfativas propias de cada espacio arquitectónico, proporcionan una experiencia multisensorial al usuario y no solamente interviene el sentido de la vista como lo señalan algunos autores, por lo que es prácticamente imposible “vivir” un espacio sólo a través de este sentido.

En este trabajo se resaltó la importancia de la percepción auditiva en el espacio arquitectónico, mediante ejemplos de acústica virtual en donde ambos sentidos –visual y auditivo– interactúan en una imagen sonora, debiendo ser considerados en el diseño de espacios arquitectónicos, pues queda claro que el sentido de la audición tiene muchas ventajas y potencial, con él podemos ser capaces de detectar, identificar o localizar una fuente sonora, también podemos dimensionar el tamaño de un espacio, entre otras características importantes.

El campo de la simulación acústica en los recintos cuenta actualmente con sistemas que tienen como objetivo aportar información de cómo el usuario percibirá auditivamente un espacio arquitectónico cualquiera, conformándose como una herramienta muy útil para los arquitectos y acústicos en el proceso de diseño. Esto es posible a partir del empleo de una señal virtual audible, a la cual se le ha añadido la posibilidad de incorporar aspectos visuales.

Esta tecnología permite que personas que no tengan mucha claridad acerca de la ciencia de la acústica arquitectónica, puedan “visualizar” auditivamente el espacio sonoro creado antes de que se construya o incluso percibir espacios históricos que ya no existen.

Notas

- 1 Señal grabada en una cámara anecoica (espacio muy absorbente, libre de reflexiones) y que registra sólo el sonido directo que proviene de la fuente sonora, sin interferencia de reflexiones (Tommasini, 2012).
- 2 Parámetro clave en la definición de la calidad acústica de un recinto. Está definido como el tiempo que perdura en sonido dentro de un espacio, una vez que el impulso sonoro ha cesado (J.Llinares et al. 2008).
- 3 Es una rama de la psicofísica y estudia la interconexión entre las propiedades físicas del sonido y la respuesta de carácter psicológico que el ser humano interpreta del sonido (Rodríguez, 2005).
- 4 Percepción auditiva de las señales provenientes del oído izquierdo y del oído derecho (ArAc- Multibook of Architectural Acoustics, s/f).



Referencias

- Addis, B. (2009). "A Brief History of Design Methods for Building Acoustics", en *Proceedings of the Third International Congress on Construction History*.
- Aldrete-Haas, J. A. (2007). *Arquitectura y Percepción*. México: Universidad Iberoamericana.
- Alonso, G. et al. (2012). "Síntesis de Respuesta Impulsiva de Recintos a través del Método de Trazado de Rayos", en *Cátedra Fundamentos de Acústica y Electroacústica*. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, pp. 1-6.
- ArAc (s/f). *Multibook of Architectural Acoustics*. Disponible en <<https://arac-multibook.com/>>.
- Avilés, R. y R. Perera (2017). *Manual de acústica ambiental y arquitectónica*. 1 España: Paraninfo.
- Bartley, S. H. (1985). *Principios de Percepción*. 7ª reimpresión. México: Editorial Trillas.
- Basso, G. (2018). *Percepción Auditiva*. Argentina: Universidad Nacional de Quilmes.
- Blesser, B. y L. R. Salter (2007). *Spaces Speak, Are You Listening?* EUA: MIT Press.
- Carrión, A. (1998). *Diseño de espacios arquitectónicos*. España: Ediciones UPC.
- D'Alencon, R. (2008). "Espacio Acústico", en *Cuadernos de la Técnica ARQ 2*. Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile, pp. 1-16.
- Giménez, A. et al. (2011). "Revisión de la Acústica de Salas: desde las medidas objetivas a la virtualización y evaluación subjetiva", en *International Seminar on Virtual Acoustics (ISVA)*.
- Heimes, A. et al. (2019). "A real-time virtual reality building acoustic auralization framework for psychoacoustic experiments with contextual and interactive features", en *Proceedings of the 23rd International Congress on Acoustics (ICA 2019)*.
- Hernández, A. (2012). *Procesos psicológicos básicos*. México: Red Tercer Milenio.
- Kane, B. (2016). *Sound Unseen. Acousmatic Sound in Theory and Practice*. EUA: Oxford University Press.
- Llinares, J. et al. (2008). *Acústica Arquitectónica y Urbanística*. México: Limusa.
- Montell, R. (2010). *Sistemas de realidad virtual para el estudio del campo acústico de edificios del patrimonio artístico-cultural*. Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Muhammad, I. et al. (2019). "Real-time building acoustics noise auralization and evaluation of human cognitive performance in virtual reality", en *Conference: DAGA 2019*.
- Rodríguez, A. (2005) "Conceptos Básicos de la Psicoacústica", en *Seminario de Audio*. Instituto de Ingeniería Eléctrica IIE. Montevideo, Uruguay: Facultad de Ingeniería / UDELAR.
- Segura, J. et al. (2013). "Acústica Virtual: una herramienta para la evaluación del patrimonio histórico-arquitectónico", en *Revista sobre teatro áureo* (pp. 445-456), 2013(7).
- _____ (2018). "Más allá de la Realidad Virtual. Reconstrucción Acústica Virtual de antiguos teatros del Siglo de Oro. Hacia una vivencia virtual del teatro en los albores de la ultra-realidad", en *Diablotexto Digital* (pp. 87-110), (3).
- Tommasini, F. (2012). *Sistema de simulación acústica virtual en tiempo real*. Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Argentina.
- Vargas, L. (1994). "Sobre el concepto de percepción", en *Alteridades*, 4(8). México: UAM-I, pp. 47-53