

ICADA: INDICE DE CALIDAD ACÚSTICA DE LA ARQUITECTURA INTERIOR

Enrica D'Aula (a), Joan-luis Zamora Mestre(b),

(a) AiEM, School of Architecture, CA1, UPC, Avenida Diagonal 649, Barcelona, Spain. E-mail: enricadula@yahoo.it

(b) AiEM, School of Architecture, CA1, UPC, Avenida Diagonal 649, Barcelona, Spain. E-mail: joan.luis.zamora@upc.edu

Resumen

ICADA es una propuesta de desarrollo de un Índice de Calidad Acústica Arquitectónica que sintetice en forma numérica el nivel de confort de un local interior. El proceso de obtención de ICADA se basa en una herramienta matemática que, gracias a su innovadora estructura matricial, permite involucrar un número variable de aspectos relevantes que determinan la acústica de un local, como el nivel de ruido de fondo, la inteligibilidad de la palabra, los materiales constitutivos del revestimiento, la geometría espacial, etc. El método de cálculo sobre el que se basa ICADA se pretende que sea adaptable a cualquier clase de edificio o uso arquitectónico estudiado, que su implementación se pueda realizar "in situ" y que su uso sea accesible a personas no necesariamente especializadas en acústica pero si en arquitectura. ICADA tiene diversas utilidades: puede utilizarse como sello de acreditación de la calidad acústica en el momento de comparar varios locales existentes; se revela también como un instrumento válido para detectar la jerarquía de los problemas acústicos que presenta un espacio a rehabilitar e incluso, en fase de proyecto, puede servir para comparar la eficiencia de dos alternativas posibles de intervención.

Abstract

It is an offer of development of an Index of Acoustic Architectural Quality that synthesizes in numerical form the level of comfort of an interior place. The process of obtaining ICADA is based on a mathematical tool, thanks to its innovative Counterfoil structure, allows to involve a changeable number of relevant aspects that determine the acoustic of a place, as the level of background noise, the intelligibility of the word, the constitutive materials of the coating, the spatial geometry, etc... The method of calculation on which ICADA is based is in the adoptability to any class of building or architectural use, which that its implementation could realize "in situ" and which its use will be accessible to persons not necessarily specializing in acoustics but if in architecture. ICADA has diverse utilities: it can be in use as stamp of accreditation of the acoustic quality in the moment to compare several existing places; it is revealed also as a valid instrument to detect the hierarchy of the acoustic problems that presents a space to rehabilitating and even, in project phase, can serve to compare the efficiency of two possible alternatives of intervention.

1 Introducción

En los últimos decenios se ha detectado un creciente interés hacia la calidad acústica en la arquitectura, y a confirmación de esto hay el nacimiento de nuevas normativas acústicas y de figuras de evaluación en el sector de la calidad acústica en los edificios en varios países Europeos, entre los cuales se coloca también España.

Este interés se va pero enfrentando con la dificultad de poder evaluar la calidad acústica de una forma unificada y conseguir un método matemático para ello. En este estudio se analiza la posibilidad de crear un método que pueda evaluar de manera numérica la calidad acústica de un local interior de un

edificio: nace la idea del ICADA, índice de calidad acústica de la arquitectura interior, que pretende ser de fácil conseguimiento a través de un análisis del local en estudio por cualquier usuario, sea este experto en el campo de la arquitectura y de la acústica o totalmente ajeno.

La metodología propuesta se apoya en una herramienta matemática, MIVES, hasta ahora aplicada solo en estudios e investigaciones de materias económicas y de la ingeniería civil. El MIVES permite desarrollar una metodología de análisis matemática, que tiene en cuenta simultáneamente de varios aspectos y factores, así como sus pesos relativos (ponderación).

2 Objetivos

El interés hacia el tema que se va a tratar en este estudio nace desde la conciencia de la importancia de la calidad acústica en los interiores arquitectónicos en una sociedad que todavía no sabe cómo dar garantía de ésta. Hasta hace pocos años el problema acústico no era considerado en ningún país europeo, y la medida de esto lo da el hecho que una normativa acústica completa ha sido generada solo en los últimos años en España, como en el resto de Europa.

En el año 1953, en Alemania, surgió una primera y básica forma de reglamentación del ruido urbano. En los años 60 y 70 también en España se empezó a plantear el tema a nivel legislativo, relativamente al ruido producido por el tráfico, dividiendo el día en franjas horarias con niveles máximos de ruidos permitidos.

Ahora, con la nueva norma DB HR del Código Técnico de la Edificación, las exigencias relativas al ruido en los edificios definidas en la anterior norma NBE CA 88 se incrementan, pretendiendo llegar así a un nivel total de confort acústico de los usuarios.

Existen muchos estudios que pretenden demostrar como una mala acústica no solo es una molestia, sino que pueda convertirse en una razón de enfermedades, así como de menor productividad en ambientes educativos o de trabajo.

Steelcase, multinacional estadounidense líder en el sector de equipamientos por espacios de trabajo, realizó un estudio sobre los efectos de reducción de la productividad por motivo del ruido en las oficinas. En el estudio se apunta que para el 70% de los trabajadores un ruido como el que produce la voz humana, es un fuerte elemento de distracción, puesto que llama la atención al tratarse de un sonido con una gran cantidad de informaciones. La propuesta de Steelcase indica intervenir principalmente sobre las fuentes de ruidos, también sobre los materiales, así como en la distribución espacial del ambiente [1].

En la ponencia intitulada "Acoustical Quality in office workstations, as assessed by occupant surveys" [2] se analizan distintas tipologías espacial de oficinas (cerradas, "open spaces", cubículos cerrados con mamparas...) y las posibles molestias que las fuentes de ruidos producen en los usuarios. En esta investigación se ha detectado otro tema relacionado con el precedente, la privacidad de las conversaciones, que por un lado son una molestia para las persona ajenas a ellas, y por otro lado representan contenidos privados que los interlocutores desearían mantener desconocidos para los demás.

Según estas y más informaciones se ha focalizado la atención de este estudio en la creación de un sistema, un "sello" acústico que evalúe la calidad acústica global de un ambiente. El índice pretende ser el resultado de un análisis matemático y objetivo de las condiciones acústicas de un ambiente, y pretende ser un instrumento fácilmente aplicable para cualquier tipo de usuario.

3 Estado Del Arte

En los últimos años paralelamente a la normativa oficial se han ido publicando estudios que tienen como objetivo ofrecer indicadores de calidad acústica de los ambientes.

El ICAL, índice de Calidad Acústica de la Vivienda y su Entorno, publicado en la revista Anales de mecánica y electricidad de Enero-Febrero 2003 [3]. El ICAL se focaliza sobre la calidad acústica de la vivienda y tiene en cuenta también el entorno donde estas se sitúan. Se basa sobre un software que pone en relación datos relativos a materiales, forma constructiva y entorno de una vivienda con valores de requerimientos mínimos indicados por la normativa NBE-CA-88. El cálculo se realiza con índices y subíndices según la importancia de cada factor considerado.

Los autores citados proponen el ICAL como un índice “vivo”, adaptable a diferentes situaciones y transformable en un estándar de dispositivo regulador, y además como una innovadora manera de tener una información precisa sobre la calidad acústica de una vivienda, conocer el grado de cumplimiento de la norma NBE-CA-88 y comparar acústicamente entre ellas viviendas aparentemente similares.

Otro estudio desarrollado en el ITC CNR [4], quieren evaluar el comportamiento acústico de una vivienda estudiando previamente su proyecto ejecutivo, sus materiales y su forma constructiva. Se genera así un modelo de previsión que se repite proponiendo distintas soluciones constructivas que consiguientemente generan varias alternativas (tras la evaluación de la calidad del sonido, la reverberación, la dispersión del sonido directo y indirecto, así como la forma de la planta de la vivienda el volumen o los materiales), siempre teniendo en cuenta los límites pedidos por la normativa italiana de referencia.

Otras metodologías de certificación analizadas surgieron ya en los años 70.

En el 1980 el Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid publica el libro Curso de control de calidad en edificación, donde se enfoca una nueva visión del producto arquitectónico, al servicio del usuario y de sus exigencias.

En el libro se citan varios métodos de calificación y certificación, como el CSTB, la Label Acoustique y el Qualitel.

Este último es un método creado en Francia en 1973 por la Asociación Francesa Qualitel, dependiente de la Secretaría del Estado de la Vivienda. Su objetivo era ofrecer una información objetiva sobre la calidad técnica de un edificio de viviendas. El método analiza varios aspectos del edificio, sus materiales, sus sistemas constructivos, su entorno, su protección contra los ruidos interiores y exteriores, dándole una puntuación y una clasificación.

Otra metodología nacida para ofrecer una certificación de calidad de una vivienda es Qualitec, creada en el 1978 por el ITEC, Instituto de Tecnología de la Construcción de Catalunya. Con este método el ITEC pretende proponer una forma de evidenciar y garantizar la calidad de una vivienda a los usuarios.

[1] "Los ambientes de trabajo acústicamente óptimos incrementan la productividad de los centros de trabajo"
http://www.steelcase.com/es/los_ambientes_de_trabajo_ac%C3%BAst_news.aspx?f=19826
(12/12/01)

[2]"Acoustical Quality in office workstations, as assessed by occupant surveys"
K.L. Jensen (International Centre for Indoor Environment and Energy, Technical University of Denmark, Nils Koppels Alle Building 402, DK-2800 Kgs. Lyngby, Denmark www.ie.dtu.dk), E. Arens y L. Zagreus (Center for the Built Environment, University of California Berkeley, USA)

[3]"ICAL, índice de Calidad Acústica de la Vivienda y su Entorno", David Utrilla Azna (Ingeniero Técnico Industrial, EUTII Zaragoza e Ingeniero Industrial de Organización Universidad Carlos III de Madrid, Promoción 2002 Técnicas Reunidas S.A. "Ampliación Refinería Amoc")

Juan Norverto Morínig (Ingeniero ICAI, Promoción 1989. Director Producto CEMUSA (Corporación Europea de Mobiliario Urbano, Grupo FCC). Profesor de acústica en la Universidad Carlos III de Madrid)

Otro procedimiento integralmente dedicado a la acústica y más reciente es el SICAE, sistema integral de certificación acústica de edificios, presentado por AUDIOTEC, Centro tecnológico de Acústica de Boecillo (Valladolid) durante el ICA 2007 en Madrid. Es una metodología innovadora para el control y la certificación acústica, basada en la adopción de medidas preventivas para evitar tener que efectuar costosas correcciones a posteriori al no suponer las mediciones "in situ". El análisis se enfoca sobre todas las fases del proceso constructivo, que va desde el estudio previo de impacto ambiental, empleando un software predictivo de simulación del ruido que se generará, a la análisis del proyecto con todos sus sistemas constructivos, los materiales utilizados, los sistemas de aislamiento acústico previstos, al control de la correcta ejecución de la obra y de los materiales realmente empleados, y por fin a los ensayos in situ.

Al final de este proceso se genera una certificación acústica del edificio, que será la garantía para los compradores futuros.

Cada uno de las metodologías analizadas tiene su interés y su carácter innovador, aunque también presentan varias limitaciones.

El Qualitel y el Qualitec, los más antiguos, se proponen muy originales por el simple hecho de incluir en una evaluación de calidad arquitectónica el confort acústico.

El Sicae ofrece una manera muy completa y profunda de analizar el tema, aunque parece una metodología manejable solo por expertos. Muy apreciable es la comprobación in situ y la generación de un sello de calidad para los usuarios.

El método propuesto por el CNR, así como el ICAL, introduce el uso de índices para valorar de manera más racional y proporcional los factores que contribuyen al confort acústico, pero los dos se limitan a tratar edificios de viviendas, y tienen en cuenta principalmente el tema del aislamiento, descartando otros factores igualmente importante para el confort acústico de un ambiente.

4 Presentación ICADA

4.1 metodología

El tema del trabajo nace desde la exigencia de tener un índice de calidad acústica de conjunto válido para cualquier tipo de edificio y al mismo tiempo evaluable de manera sencilla y fácilmente accesible. Este índice ofrece la posibilidad de conocer la calidad acústica global de un local, comparar unos locales entre sí y también hacer un análisis previo para chequear las características acústicas de un proyecto para que se obtenga un producto con una calidad acústica ponderada.

La metodología aquí propuesta se apoya en un modelo de cálculo para la toma de decisiones, el MIVES, detalladamente explicado en un documento Anexo.

El proceso consiste en varios pasos:

- Construcción de un árbol de Indicadores y sub-indicadores considerados imprescindibles para evaluar la acústica de un local.
- Definición de la escala de valores de cada sub indicador (como se explicará más en detalle posteriormente el valor de los indicadores sucesivos se obtendrá desde la suma ponderada de los valores de los sub indicadores correspondientes a la misma ramificación), y normalización de dichos valores de manera que correspondan siempre a un número entre 0 y 1.
- Definición de los pesos relativos de cada sub indicador e indicador comparados entre ellos.
- Compilación de la matriz A de pesos, verificación de su consistencia y generación del vector de pesos.

[4] "L'acustica in edilizia, metodi e modelli", ITC CNR (Istituto Italiano para las tecnologías de la construcción - Asamblea nacional de las investigaciones) F. Scamoni, F. Valentini y D. Menis

- Toma de datos in situ: análisis de las características a estudiar del local escogido
- Inserción de los datos tomados en la hoja de cálculo Excel para ejecutar el proceso AHP de toma de decisiones.
- Análisis de los resultados obtenidos (nota final) y comparación con el análisis de otro local.
- Conclusiones relativas a cada caso estudiado.

De esta manera el método permite obtener un índice numérico, de un valor numérico comprendido entre 0 y 1 que definirá la calidad acústica, ofreciendo así una garantía de transparencia al usuario. El método permite una comparación de varios locales del mismo uso entre ellos, y ofrece también la posibilidad de realizar un análisis previo evaluando las posibles intervenciones alternativas para la buena acústica del local a realizar.

4.2 Novedad

ICADA resulta ser un procedimiento innovador respecto a las otras metodologías ya analizadas antes, porque no nace solo para su aplicación en edificios de viviendas sino que es aplicable a cualquier otro tipo de uso de de local.

Además otro aspecto por lo que se destaca por encima de todos los demás estudios, excepto por el trabajo realizado por el ITC CNR, es que no trata solo el tema del aislamiento y protección frente al ruido, sino que este es solo uno de los cuatro principales aspectos tratados y considerados para la evaluación de la buena acústica de un local. En el método ICADA se considera la molestia producida por los ruidos, tanto interiores como exteriores al edificio. Un segundo aspecto considerado es la geometría del espacio, su volumen, su superficie, la distribución funcional, factores que afectan a la transmisión del sonido dentro del espacio mismo. Otro tema tratado es la inteligibilidad de la palabra, importante sobre todo en lugares públicos o con un número considerable de personas, como bares y restaurantes, y donde la posibilidad de conversar bien es un requerimiento importante. También otro aspecto es la privacidad (oír conversaciones ajenas), tema muy influyente en oficinas y ambientes de trabajo. De último se analizan los materiales constituyentes del local, la tipología de cerramientos hacia el exterior, los elementos acristalados, los revestimientos acústicos, sean absorbentes o reflejantes.

ICADA, por su método y por el resultado que obtiene, postula como avanzado y innovador porque incorpora el método de cálculo MIVES, pero al mismo tiempo porque resulta ser una herramienta sencilla y de fácil manejo respecto a otros modelos de simulación computarizados.

El resultado final que ofrece el ICADA es un índice numérico de fácil interpretación y utilización, que permite a los futuros usuarios hacer comparaciones entre edificios en el momento de la elección entre varias alternativas. Además el ICADA se propone también como una metodología de análisis de casos concretos y existentes, como análisis previo en fase de proyectos para poder evaluar las diferentes alternativas y posibilidades constructivas más idóneas para cada caso específico.

Por fin el índice ICADA se revela extremadamente flexible, porque cada uno de los indicadores y sub indicadores puede ser substituido por otro más adecuado a la tipología del edificio analizado según el caso y la situación, como también se pueden añadir más indicadores aumentando así la complejidad del análisis efectuado.

El método propuesto para el índice va a tener más de una aplicación y utilidad. Una primera utilidad de ICADA es para el potencial usuario o comprador de un local, que necesita informaciones cualitativas para escoger dicho local en el mercado. Gracias al índice ICADA puede también comparar distintos locales entre ellos para un uso concreto y tener más parámetros para poder decidir cuál es el más idóneo.

Otra aplicación se dirige a los proyectistas, que pueden evaluar la calidad acústica previa de un local, saber en qué parámetros y factores intervenir para poder mejorar su calidad acústica. Un análisis previo en fase de proyecto para garantizar una buena acústica evita necesitar remedios costosos “a posteriori”.

4.3 Desarrollo de la investigación

El proceso para llegar al indicador ICADA se compone de varios pasos que seguidamente se van a explicar en detalle.

Antes de todo es muy importante delimitar muy claramente el campo concreto en el que se opera, es decir, determinar los requerimientos acústicos que un local deba cumplir en función de su uso y de allí generar un árbol de indicadores, que son los elementos en los que se fijará la atención durante la visita del local escogido.

Se genera una tabla con dichos indicadores y subindicadores, tabla que será un instrumento guía para el análisis del local por parte de los usuarios, sean estos arquitectos con conocimientos acústicos o no.

En el desarrollo de esta investigación se han realizado análisis de ICADA “in situ” en 6 bares distintos. En los primeros cuatro hubo una sola persona efectuando el análisis, siendo ésta arquitecta y con conocimientos de acústica y del método ICADA. En una segunda fase, para comprobar la accesibilidad del método ICADA a cualquier tipo de usuario y para verificar la objetividad de los resultados, a pesar de quien efectúe el análisis, se han realizado tres análisis “cruzados” en un mismo local, hechos por tres usuarios de los que era uno con conocimientos de arquitectura y de acústica, un segundo era con conocimiento arquitectónico y muy básicos de acústica, y un tercero ajeno a los mundos de la arquitectura y de la acústica.

En dichas análisis los usuarios tuvieron que rellenar la tabla de indicadores elaborada previamente, tuvieron que tomar las medidas del local (ancho-largo-alto), hacer un elenco de los materiales de acabado presente, escuchar una grabación de logotomos para verificar el índice %alcons.

Estos análisis han sido realizados en horarios de máximo gentío en los sitios evaluados ó sea en las peores condiciones acústicas de los locales destinados a bares y cafeterías.

Conseguidos los datos de valoración tomados in situ se pasa a convertirlos en valores numéricos útiles para poner en marcha el proceso AHP de toma de decisiones. Como se verá en los siguientes subcapítulos a cada indicador propuesto le corresponde una tabla que permite convertir las medidas tomadas en valores adimensionales, contenidos siempre entre 0 y 1.

Sucesivamente se podrá pasar a la aplicación de la herramienta MIVES, que con estos valores y los pesos asignados a cada indicador permite llegar al cálculo del índice de calidad acústica. Como se puede entender más a fondo leyendo el anexo relativo al procedimiento MIVES, ICADA se basa sobre el proceso AHP de toma de decisiones, reiterado en cada ramificación del árbol de requerimientos que se ha generado al principio.

Por eso, antes de pasar a su utilización, es muy importante definir el campo concreto que se analiza, identificando el árbol de indicadores a estudiar, ramificación en requerimientos, criterios y indicadores, según la nomenclatura del mismo MIVES.

A continuación se exponen cada uno de los requerimientos y el árbol de criterios y indicadores que eso genera, enseñando también, para cada indicador las tablas de conversión de las medidas tomadas en valores numéricos.

4.3.1 Ruido de fondo

En el interior de los edificios hay una gran cantidad de ruidos indeseados, que pueden provenir tanto de fuentes exteriores o interiores al edificio.

Respecto a los ruidos exteriores sabemos que en la mayoría de los casos no es posible intervenir sobre ellos. Por eso es oportuno analizarlos para poder intervenir con adecuadas soluciones arquitectónicas y de aislamiento acústico que los amortigüen.

Sin embargo, respecto a algunos ruidos interiores, además de hacer un análisis para poderlos atenuar, bien se hace necesario prever sus ubicaciones de manera razonable según las exigencias acústicas, o crear separaciones entre los locales que presenten distintos niveles y funciones acústica, como se tratará en el siguiente subcapítulo.

Tabla 1 – Arbol completo de requerimiento del ruido de fondo.

REQUERIMIENTO	CRITERIO	INDICADOR	Código
RUIDO DE FONDO	FUENTES EXTERIORES	Ruido calle	A.1
		Morfología calle	A.2
	FUENTES INTERIORES	Tipología	B.1
		Numero	B.2
		Ubicación	B.3
		Constancia en el tiempo	B.4

A.1 Ruido calle

Con este indicador se quiere evaluar en decibelios el ruido de fondo producido por la calle a la cual da fachada el interior del local.

Teniendo en cuenta una tabla extraído del libro “Urban planning against noise”, de R.J. Stephenson y G.H. Vulkan como referencia, en ausencia de mediciones acústicas in situ, se genera la tabla de evaluación que servirá para el proceso de toma de decisión, tabla que ofrece una ponderación de las situaciones. La siguiente tabla se ha generado por cada indicador considerado (como se puede comprobar en el trabajo completo), aunque en este documento solo se presenta para este indicador como ejemplificativa.

Tabla 2 – Evaluacion ruido calle

RUIDO CALLE (dB) A.1	EVALUACION
50-60 (peatonal)	1
60-70 (un carril)	0,75
70-80 (dos carriles)	0,50
80-90 (> tres carriles)	0,25

A.2 Tipología calle

En una zona urbana la morfología de la calle es muy importante a la hora de determinar la amplificación de los ruidos. Es decir que la misma cantidad de vehículos en circulación no producirá el mismo nivel de ruido si están en una calle abierta que si están en una calle rodeada totalmente de edificios. Además según el tipo de acabado de las superficies de las fachadas de los edificios, se modifican sus coeficientes de absorción α y el efecto de reflexión de las ondas sonoras cambiará.

Otro factor que influye en la amplificación de la intensidad sonora es la relación entre la anchura de la calle y la altura y de las fachadas delimitadoras.

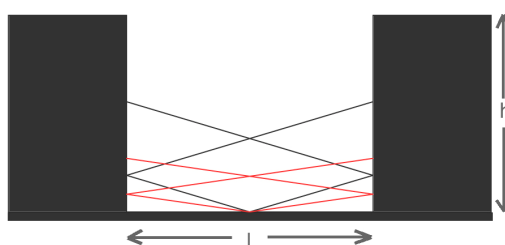


Figura 1 – Tipología calle y comportamiento rayos sonoros

Los rayos sonoros se reflejan en las fachadas generando una amplificación del ruido ambiental.

Gracias a estas consideraciones se genera una tabla de evaluación análoga a la presentada por el indicador del ruido de fondo, presentada en el trabajo completo.

B.1 Tipología de fuentes sonoras interiores

Hablando de fuentes sonoras interiores vamos a considerar primero los distintos tipos presentes en un bar. Una primera fuente de ruido son las propias personas. Sabemos que el nivel de ruido aproximado producido por un adulto hablando en tono normal es de 70 dB. Cuando el ruido de fondo aumenta disminuye la inteligibilidad y nos esforzamos en elevar la voz, produciendo un nivel sonoro aun más elevado. De la grafica siguiente, extraída del libro “La acústica en la construcción” de R.Josse, se aprecia como el nivel de presión sonora es relativamente bajo (entre 55-60 dB) mientras el número de personas reunidas en un local no supere las 100, mientras que ya va subiendo cuando las personas son 200 (80 dB).

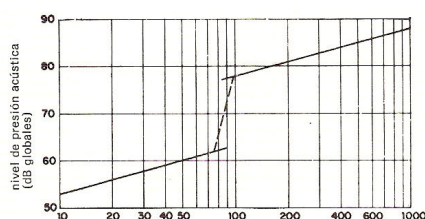


Figura 2 – Nivel de la presión acústica global en un local en el trascurso de una reunión de invitados

Otra fuente de ruido que posiblemente se encuentra en un bar será un aparato de televisión o de radio encendido, que más o menos produce un ruido de fondo entre unos 65 y 75 dB.

Por fin consideramos todos los aparatos eléctricos de la cocina lavavajillas, campanas filtrantes de humos, maquinas de café, donde cada uno de estos alcanza nivel sonoro entre unos 65 y unos 90 dB.

B.2 Número de fuentes sonoras interiores

Además de la tipología de las diversas fuentes sonoras se tendrán en cuenta el numero de fuentes que actúan de forma simultanea, es decir, la cantidad de personas, el numero de maquinas eléctricas y otra fuentes varias.

B.3 Ubicación de fuentes sonoras interiores

Con este indicador se pretende tener en cuenta la distancia que hay entre la zona de mesas y la fuente de ruido más intensa (ruido de la cocina, de los baños, de la calle, etc.)

B.4 Constancia en el tiempo de las fuentes sonoras interiores

Teniendo en cuenta el tiempo medio que un usuario pasa en un bar (30 minutos) se ha elaborado la evaluación, según la constancia en el tiempo de la presencia de cada fuente sonora.

Por cada requerimiento y su árbol de índices se construyen las matrices que generan los vectores de pesos relativos. Obtenida la matriz se inicia el proceso de comparación AHP, que llevado al cabo ofrece el valor de calificación obtenido por el local analizado.

4.3.2. Geometría espacial

Las ondas sonoras creando una reflexión geométrica sobre los obstáculos, según el poder de reflexión de estas superficies. Por eso para conseguir unas buenas condiciones acústicas de una sala hay que tener en cuenta su diseño superficial interior. La forma y el tamaño de la planta, así como el volumen son determinantes para la manera en la que se propagarán las ondas sonoras, cuáles y cuantas reflexiones se producirán y cuál será el tiempo de reverberación propio del ambiente.

Tabla 3 – Arbol completo de requerimiento del geometria espacial

REQUERIMIENTO	CRITERIO	INDICADOR	Codigo
	VOLUMEN	TR tiempo de	A.1

GEOMETRÍA ESPACIAL		reverberación	
		Proporción y forma	A.2
	SUPERFICIE	Uniformidad sonora	B.1
		Layout distributivo	B.2

A.1 Tiempo de Reverberación

El volumen es el parámetro fundamental para la determinación del tiempo de reverberación.

El campo sonoro en un punto concreto de una sala es la resultante de la suma del campo directo, ósea el producido por las ondas directas antes de chocar con algún obstáculo, y el campo reverberado, ósea producido por las ondas que son el resultado de las reflexiones de las ondas directas contra las paredes. Es importante, al diseñar una sala, hacer de manera que las primeras reflexiones, las de mayor intensidad, lleguen al punto de escucha menos de 30 ms después del sonido directo. Por eso los rayos reflejados al llegar al usuario deberían tener una longitud final que no sobrepase de 10 m la de los rayos sonoros directos.

Para evaluar el TR de la sala nos referimos a la fórmula de Sabine

$$RT = 0,161 V/A*_{tot} \quad (1)$$

Siendo un bar un local destinado principalmente a la palabra será importante que RT en condiciones de sala ocupada sea un valor entre 0,7 y 0,9 segundos.

A.2 Proporción y forma

Hablando de acústica y geometría espacial hay que tener en cuenta también las proporciones del local y su disposición respecto a la fuente predominante del ruido. De hecho, cuando hay una dirección predominante del ruido (como podría ser una calle con mucho tráfico) habría que proteger el local exponiendo a esta fuente la menor superficie posible. Esto significaría tener un frente hacia la calle muy estrecho, y entonces un desarrollo del local en el sentido del largo, hacia el interior de la manzana. Otra estrategia sería también exponer una gran superficie pero al mismo tiempo dotándola de un cerramiento o piel, que debería ser apuestamente estudiada para proteger el resto del local. Una tercera forma de protección sería envolver el edificio en sí mismo, alrededor de un patio silencioso que lo aisle de los ruidos exteriores.

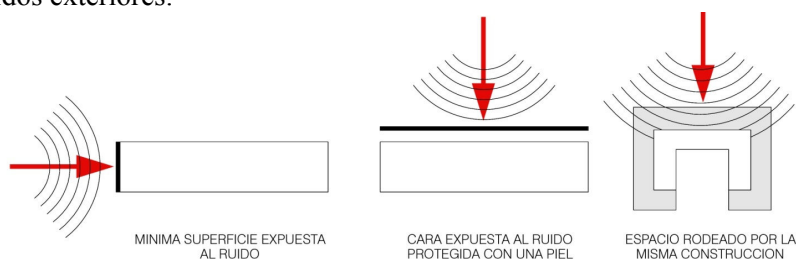


Figura 3 –Estrategias de protecciones frente al ruido exterior gracias a la forma del edificio

B.1 Superficie: uniformidad sonora

Cada espacio tiene su nivel de uniformidad sonora, es decir que los sonidos que hay en su interior pueden crear un campo sonoro distribuido o en cambio pueden producir diferencias sonoras entre distintas partes de un mismo local. Con este indicador se pretende evaluar el nivel de uniformidad sonora del local, si esto es elevado, o si el local se puede considerar subdividido en zonas, puesto que haya diferente intensidad o tipologías de sonidos que predominen su acústica. Cuanto más mayor

resulte ser la uniformidad sonora del local, más se garantizará una misma condición acústica a lo largo de toda la sala y se evitará la posibilidad de tener puntos de picos de ruido (por ejemplo al lado de una máquina en constante funcionamiento).

B.2 Superficie: layout distributivo

La distribución funcional en el interior de los edificios muchas veces no tiene en cuenta las exigencias acústicas de las distintas áreas funcionales, por lo que se tiene que recurrir a soluciones de aislamiento muy costosas y que no van a solucionar por completo el problema. Por eso en la fase de diseño es muy importante evaluar acústicamente las distintas funciones del edificio, en términos de ruido que producen y de silencio que requieren.

A través del estudio de una tabla de clasificación de locales de referencia extraída del libro “Control acústico en los edificios” de R. Serra Florensa y Francisco de P. Labastida Azemar, se valora la necesidad de las protecciones acústicas necesarias entre las distintas categorías funcionales de locales.

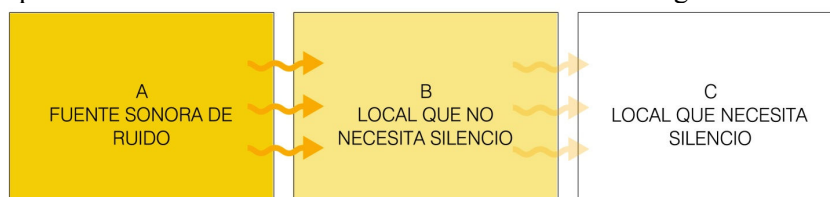


Figura 4 – Layout distributivo estudiado para amortiguar el ruido entre un local que contiene una fuente sonora importante (A) y otro que necesita un bajo nivel de ruido de fondo (C)

Considerando solo la tipología de funciones presentes en un bar (calle, cocina, aseo, sala de mesa, almacén), lo que vamos a evaluar es si el grado de aislamiento acústico entre la sala de mesas (Ca) y las demás habitaciones cumple con las preinscripciones de la tabla.

4.3.3. Inteligibilidad

Tratando este análisis de locales en los que un requisito importante es que haya la posibilidad de conversar, entre los requerimientos se ha considerado espacialmente la inteligibilidad.

Las palabras de una persona se puedan oír por otra alejada si sus ondas sonoras no están deformadas o enmascaradas por otras. Este aspecto está estrictamente correlacionado con el nivel de ruido de fondo presente, además del umbral de audibilidad absoluto de la persona.

Otra cara del mismo aspecto es el tema de la privacidad: tanto es importante poder conversar con su propio interlocutor, cuanto es importante que haya cierta privacidad y que el sonido no llegue a las otras mesas con la misma inteligibilidad.

Tabla 4 – Árbol de criterios e indicadores del requerimiento de inteligibilidad

REQUERIMIENTO	CRITERIO	INDICADOR	Código
INTELEGIBILIDAD	INTELEGIBILIDAD INTERLOCUTOR	Radio crítico	A.1
		%Alcons	A.2
	PRIVACIDAD	Radio crítico* (función inversa)	B.1

A.1 Radio crítico

Siendo la inteligibilidad un factor no siempre fácilmente medible se suele recurrir a la consideración del radio crítico. Con radio crítico se entiende la distancia máxima a la que se siguen oyendo las palabras del emisor de manera inteligible, pronunciada con un tono de voz normal y constante.

Considerando que el local estudiado es un bar, donde las conversaciones se realizarán entre personas de una misma mesa, ósea a una distancia aproximada de 1,5 metros como mucho, se construye la tabla de evaluación.

A.2 %Alcons

Otro indicador escogido para evaluar la inteligibilidad de la palabra es el %Alcons: método inventado por el investigador holandés V.M.A. Peutz en los años 70, consiste en escuchar unos logotomos (palabras sin significado formada por conjuntos de consonantes-vocal-consonantes) y tomar nota del porcentaje de pérdida de consonantes, valor que determinaba entonces la correcta percepción del mensaje sonoro.

B.1 radio crítico* (distancia mínima otra mesa)

Como en el caso A.1 anterior, se considera con este indicador la distancia a la que se entiende el habla. En este caso el indicador sirve para evaluar la privacidad de las conversaciones, ó sea cuanto se puede escuchar de una conversación ajena. En este caso, se tendrá una función del valor inversa a la precedente, ósea cuanto menos se oirá la conversación de otra segunda mesa, más aumentará el valor del indicador.

4.3.4. Materiales

La elección del tipo de materiales que revisten un local resulta determinante para el comportamiento del sonido en esta sala. Por eso uno de los 4 requerimientos escogidos trata de considerar los materiales visibles en el local y sus características en términos de cantidad, tipología, colocación.

Según el coeficiente de absorción que presentan los materiales para cada frecuencia habrá ondas sonoras que se reflejarán y otras ondas que se extinguirán al ser absorbidas.

Además es importante que la distribución de los materiales absorbentes y reflejantes sea equilibrada en la superficie de los paramentos de la sala, para conseguir así un equilibrio acústico.

Tabla 5 – Árbol de criterios e indicadores del requerimiento de materiales

REQUERIMIENTO	CRITERIO	INDICADOR	Código
MATERIALES	CONSTITUTIVOS	% vidriados	A.1
		%superficies absorbentes	A.2
	MOBILIARIO	% mobiliario con capacidad absorbente	B.1

A.1 Presencia de superficies vidriadas

El vidrio resulta ser un material acústicamente muy reflejante y además si forma parte del cerramiento del local hacia la calle (puertas o ventanas) constituye normalmente un elemento de debilidad en el aislamiento acústico, (el abatimiento acústico de una pared de ladrillo macizo de 140 mm a 200Hz será aproximadamente de 54 dB, mientras una hoja de vidrio de 4 mm a la misma frecuencia presenta un abatimiento de 34 dB).

La evaluación de la presencia de vidrio en el local está considerada según el porcentaje de su superficie respecto a la superficie total interior (paredes, suelo y techo) del local.

A.2 Presencia materiales absorbentes

Se valora la presencia de superficies absorbentes y cuál es su porcentaje respecto a la superficie total del local.

B.1 Presencia mobiliario absorbente

Se evalúa la presencia en el local de mobiliario absorbente como cortinas, sillas tapizados, sofás, etc. La evaluación será según su densidad en la sala, suponiendo siempre una distribución uniforme.

5 Conclusiones

Según las pruebas de la aplicación de la metodología ICADA efectuadas en un siguiente trabajo de pruebas “in situ” se pueden considerar el método ICADA suficientemente objetivo y satisfactorio tanto con usuarios que tengan experiencia en el campo arquitectónico y acústico así como con los que no tienen conocimientos previos. Se ha revelado más eficaz cuando los usuarios tengan competencias en sectores por lo menos arquitectónicos, porque esto implica de parte de ellos una mayor atención y sensibilidad a detalles técnicos como puedan ser los materiales presentes en el local.

Como objetivo para alcanzar en un estudio posterior del tema se propondría en primer lugar detectar con mayor precisión aquellos indicadores más aleatorios y menos accesibles a cualquier clase de usuario, para afinar el árbol de requerimientos que está en la base de la metodología ICADA. Sucesivamente se optaría por estudiar su aplicación a otras tipologías arquitectónicas.

Referencias

- [1] Carion, Antonio; Petrilli, A.(2001) “Acustica e architettura – Spazio, suono, armonia in le Corbusier”. Marsilio Edizioni, Venezia , Italia
 - [2] Barry, Blesser; Linda Ruth, Salter (2007). “Spaces Speak, are you listening Experiencing aural architecture”. Massachusetts Institute of Technology, USA
 - [3] Higini, Arau. (1999). “ABC de la Acústica arquitectónica”. Ediciones Ceac, España
 - [4] Leo, Beranek (1996). “Concert and Opera halls, how they sound”. Ed. Acoustical Society of America though the American Institute of Physics, U.S.A.
 - [5] COAM (1980). “Curso de control de calidad en edificación”. Edición Mimesa, Madrid, España
 - [6] Cavanaugh, William J.; Wilkes Joseph A. (1998). “Architectural Acoustics”, U.S.A.
 - [7] Salter, Charles M.,(1976). “Acoustics”. Charles M.Salter Associates William Start publishers, San Francisco, USA
 - [8] R.Josse (1975).” La acústica en la construcción”. Editorial Gustavo Gili S.L, Barcelona, España
 - [9] Serra Florensa, Rafael (1999). “ Arquitectura y climas”. Editorial Gustavo Gili S.L., Barcelona, España
 - [10] Lorenzana, T.; Ceñal, C.; González, J.; Machimbarrena (2001). “Perfiles hacia la calidad acústica en viviendas”, *M.I. Montajes e instalaciones*, 31 (354), 85-91
 - [11] Arribas, L.; Igualador, F.,(1999). “Soluciones para la calidad acústica en la edificación”. *M.I. Montajes e instalaciones*, 29 (330), 97-103
 - [12] Margarida, M. (1999). “La calidad en el campo de la acústica”. *M.I. Montajes e instalaciones*, 29 (330), 91-95
- Querol Noguera, J.M. (1996). “ La calidad acústica de los edificios”. *M.I. Montajes e instalaciones*, 26 (301), 41-43