



VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008  
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008

FIA2008-A105

## **ICADA: índice de calidad acústica de la arquitectura interior**

Enrica D'Aula<sup>(a)</sup>,  
Joan-lluis Zamora Mestre<sup>(b)</sup>,

(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.lluis.zamora@upc.edu

### **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 its adaptability 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.

### **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.

## **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). De hecho esta herramienta parece revelarse como potencialmente útil en una aplicación acústica, puesto que de la acústica es un campo caracterizado por una gran cantidad de variables que hacen difícil lograr un análisis global, complejo y objetivo sin considerables márgenes de errores.

## **2 Especificaciones generales**

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. 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 la ponencia intitulada “Acoustical Quality in office workstations, as assessed by occupant surveys” (\*\*\*) 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. 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 Análisis efectuado por distintos usuarios**

En el siguiente capítulo se incluyen los análisis cruzados realizados por tres personas distintas en dos bares de Barcelona. De esta forma se quiere averiguar la objetividad de la metodología para conseguir el ICADA y también demostrar la facilidad de calcular el índice por cualquier usuario, aunque no sea experto en acústica o arquitectura. En orden constante se enseñan las evaluaciones efectuadas por los tres agentes de los análisis efectuados en los dos bares, y sucesivamente una comparación de los valores de ICADA obtenidos por cada bar

para destacar el margen de variación existente entre las tres mediciones y poder obtener las oportunas conclusiones.

### 3.1 Bar en la calle Asturias, barrio de Gracia (Barcelona)



**Figura 1.** Fotografía exterior del local en calle Asturias (barrio de Gracia)

A continuación el análisis desarrollado in situ por el primer agente, que no es arquitecto ni experto en acústica.

**Tabla 1.** Recopilada por el agente a

Requerimientos	Criterios	Indicadores	Unidad	Observaciones	Evaluación
1. Ruido de fondo	Fuentes exteriores	Ruido calle	dB	Calle semipeatonal	1
		Tipología calle	Morfología	Calle con forma de U $H/L=15/5=3$	0,75
	Fuentes interiores	Tipología	P/M/R	Aproximadamente 15 personas y 10 máquinas eléctricas	0,50
		Cantidad	numero	Aproximadamente dos a la vez	0,75
		Ubicación	M	Dependiente del usuario Mínimo 1 m o menos	0,25

		Constancia	C/DISC	Mínimo dos sonidos continuos	0,25
2. Geometria espacial	Volumen	Tiempo rev*	s	1,59	1
		Proporción y forma	adim	Local hacia patio	0,50
	Superficie	Uniformidad sonora	%	El local se podría dividir en 4 zonas	1
		Layout distributivo	adim	No separación entre barra, caja, sala1 sala2	0,20
3. Intelegibilidad	Inteleg Interloc	Radio crítico	m	1 m	0,50
		%ALCons**	%	14,28	0,20
	Privacidad	Radio crítico ***	m	Mediamente 2 m	0,20
4. Materiales	Constituti vos	% cristales	%	25 % aproximadament e	0,50
		% Material absorbente	%	No hay	0
	Mobiliario	% Mobiliario absorbente	%	No hay	0

## NOTAS:

- \*Tiempo reverberación calculado según la formula de Sabine  $Tr = (0,161 * V) / \sum A * \alpha$ .
- El usuario A ha considerado: Superficie acristalada: 24 m<sup>2</sup> de vidrio con cámara de aire, cuyo coeficiente de absorción a una frecuencia de 500Hz será de 0,18
- Superficie de paredes y techo: 64,26 m<sup>2</sup> de yeso, cuyo coeficiente de absorción a una frecuencia de 500Hz será de 0,05
- Superficie de pavimento: 26 m<sup>2</sup> de hormigón pintado, cuyo coeficiente de absorción a una frecuencia de 500Hz será de 0,04
- Volumen total del local es 86 m<sup>3</sup>
- \*\*Se ha efectuado la siguiente prueba: el usuario ha escuchado desde un aparato de reproducción de sonidos a máximo volumen la grabación de 30 logotomos. Se han detectado 8 consonantes perdidas, por lo tanto el resultado del %alcons es de 14,28%
- \*\*\*radio crítico al que el usuario consigue escuchar conversaciones ajenas presentes en la sala

En base a los datos reorganizados en la tabla precedente se pasa al proceso de AHP, que ofrece los siguientes resultados.

**Tabla 2.** Resultado proceso AHP de la análisis del agente a

REQUERIMIENTOS	EVALUACION	PESO	VALOR
RUIDO DE FONDO	0,5122	0,07903	0,0404
GEOMETRÍA ESPACIAL	0,6457	0,3951	0,2551
INTELEGIBILIDAD	0,2375	0,1899	0,0451
MATERIALES	0,1041	0,3358	0,0349
INDICE TOTAL			0,3757

El mismo proceso de análisis in situ viene efectuado por un agente b, arquitecto con conocimientos de acústica y del método ICADA, y por un agente c, arquitecto sin conocimientos de acústica ni del método ICADA. Las tablas a continuación enseñan los resultados obtenidos por estas análisis.

**Tabla 3.** Resultado proceso AHP de la análisis del agente b

REQUERIMIENTOS	EVALUACIÓN	PESO	VALOR
RUIDO DE FONDO	0,4304	0,07903	0,0304
GEOMETRÍA ESPACIAL	0,6561	0,3951	0,2592
INTELEGIBILIDAD	0,3375	0,1899	0,0641
MATERIALES	0,3541	0,3358	0,1189
INDICE TOTAL			0,4763

**Tabla 4.** Resultado proceso AHP de la análisis del agente c

REQUERIMIENTOS	EVALUACION	PESO	VALOR
RUIDO DE FONDO	0,4468	0,07903	0,0353
GEOMETRÍA ESPACIAL	0,6457	0,3951	0,2551
INTELEGIBILIDAD	0,4125	0,1899	0,0783
MATERIALES	0,3541	0,3358	0,1189
INDICE TOTAL			0,4877

A continuación se reproducen las tablas resumen de los resultados obtenidos por cada agente

**Tabla 5.** Agente a – no arquitecto ni experto en acústica

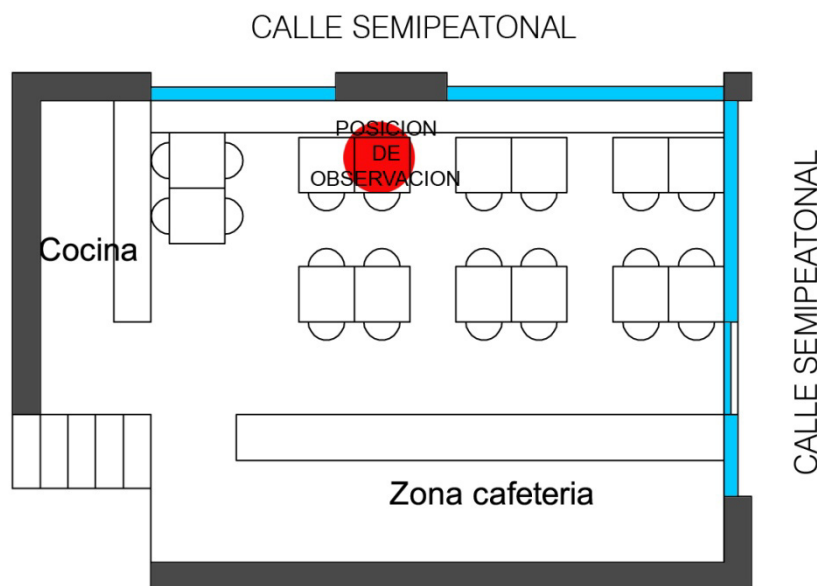
REQUERIMIENTOS	VALOR
RUIDO DE FONDO	0,0404
GEOMETRÍA ESPACIAL	0,2551
INTELIGIBILIDAD	0,0451
<b>MATERIALES</b>	<b>0,0349</b>
<b>INDICE TOTAL</b>	<b>0,3757</b>

**Tabla 6.** Agente b – arquitecto con conocimiento de acústica y del método ICADA

REQUERIMIENTOS	VALOR
RUIDO DE FONDO	0,0304
GEOMETRÍA ESPACIAL	0,2592
INTELIGIBILIDAD	0,0641
<b>MATERIALES</b>	<b>0,1189</b>
<b>INDICE TOTAL</b>	<b>0,4763</b>

**Tabla 7.** Agente c – arquitecto sin conocimiento de acústica y del método ICADA

REQUERIMIENTOS	VALOR
RUIDO DE FONDO	0,0353
GEOMETRÍA ESPACIAL	0,2551
INTELIGIBILIDAD	0,0783
<b>MATERIALES</b>	<b>0,1189</b>
<b>INDICE TOTAL</b>	<b>0,4877</b>



**Figura 1.** Plan distributivo del local en calle Asturias (barrio de Gracia)

Comparando entre ellas las tres tablas resúmenes de los análisis de los diferentes agentes A B y C se detecta que entre los análisis de los agentes B y C no hay valores de considerable diferencia, y el valor final del ICADA para cada uno lleva una diferencia mínima, del valor de 0,0114. Sin embargo el resultado conseguido por el agente A es notablemente diferente, y esta diferencia se debe principalmente al indicador de los materiales: este agente A no ha detectado la presencia de material absorbente en el ambiente, probablemente debido a su inexperiencia en temas de arquitectura y acústica.

Según el resultado de esta primera prueba se puede considerar que el método ICADA es suficientemente objetivo y satisfactorio con usuarios que tengan experiencia en el campo arquitectónico, aunque no lo tengan en acústica aplicada a la arquitectura, y suficientemente aceptable cuando el usuario no tenga conocimientos previos in arquitectura y in acústica.

### 3.2 Conclusiones

Las números pruebas de la aplicación de la metodología ICADA que se han realizado de la misma manera de la presentada en este trabajo permiten 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**

- Carion, Antonio; Petrilli, A.(2001) “Acustica e architettura – Spazio, suono, armonia in le Corbusier”. Marsilio Edizioni, Venezia , Italia
- Barry, Blesser; Linda Ruth, Salter (2007). “Spaces Speak, are you listening Experiencing aural architecture”. Massachusetts Institute of Technology, USA
- Higini, Arau. (1999). “ABC de la Acústica arquitectónica”. Ediciones Ceac, España
- Leo, Beranek (1996). “Concert and Opera halls, how they sound”. Ed. Acoustical Society of America through the American Institute of Physics, U.S.A.
- COAM (1980). “Curso de control de calidad en edificación”. Edición Mimesa, Madrid, España
- Cavanaugh, William J.; Wilkes Joseph A. (1998). “Architectural Acoustics”, U.S.A.
- Salter, Charles M.,(1976). “Acoustics”. Charles M.Salter Associates William Start publishers, San Francisco, USA
- R.Serra Florensa; F.Labastida Azemar (1983).“ Control acústico en los edificios”. Publicaciones COAC – La Gaya Ciencia, Barcelona, España
- R.Josse (1975).” La acústica en la construcción”. Editorial Gustavo Gili S.L, Barcelona, España
- Serra Florensa, Rafael (1999). “ Arquitectura y climas”. Editorial Gustavo Gili S.L., Barcelona, España
- Lorenzana, T.; Ceñal, C.; González, J.; Machimbarrena (2001). “Perfiles hacia la calidad acústica en viviendas”, M.I. Montajes e instalaciones, 31 (354), 85-91
- Arribas, L.; Igualador, F.,(1999). “Soluciones para la calidad acústica en la edificación”. M.I. Montajes e instalaciones, 29 (330), 97-103
- 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