

## LOS PARÁMETROS PSICOACÚSTICOS COMO HERRAMIENTA PARA LA EVALUACIÓN SUBJETIVA DE DIFERENTES ENTORNOS Y ACTIVIDADES

Segura, Jaume<sup>1</sup>; Cerdá, Salvador<sup>2</sup>; Montell, Radha<sup>3</sup>; Romero, J.<sup>3</sup>;  
Cibrián, Rosa<sup>4</sup>; Barba, Arturo<sup>3</sup>; Giménez A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>IRTIC – Universitat de València, C/ Catedràtic Dr José Beltrán, 2

<sup>2</sup>E.T.S.I. Arquitectura, Univ. Politècnica de València, Camí de Vera s/n

<sup>3</sup>E.T.S.I. Industriales, Univ. Politècnica de València, Camí de Vera s/n

<sup>4</sup>Facultat de Medicina – Universitat de València

{jsegura@uv.es, salcerjo@mat.upv.es, agimenez@fis.upv.es, radmonse@upvnet.upv.es,  
romerof@fis.upv.es, rosa.m.cibrian@uv.es, arbarse@doctor.upv.es }

### Resumen

Un factor importante en la apreciación y descripción subjetiva del entorno es la percepción psicoacústica de éste y el impacto que el entorno produce sobre cada uno de los individuos. Los parámetros asociados a estas valoraciones nos permiten determinar modelos de molestia de cada entorno para realizar comparaciones.

En este trabajo, se realiza una descripción de diferentes parámetros de calidad sonora (loudness, sharpness, roughness, fluctuación y tonalidad) para evaluar la molestia/agrado en base a los modelos de Zwicker. También se compara estos locales con otros restaurantes específicos. Los modelos involucrados se ven influenciados por las condiciones acústicas de los locales.

**Palabras clave:** Calidad sonora, campo sonoro, acústica ambiental y arquitectónica.

### Abstract

Psycho-acoustic perception of an environment is an important factor in the assessment and subjective description of the soundscape. It determines the environmental impact on each of the individuals. The parameters associated with these models allow us to determine ratings of nuisance in each environment in order to make comparisons.

In this paper, a description of various parameters of sound quality (loudness, sharpness, roughness, fluctuation and tonality) is made to assess the nuisance / pleasure models by Zwicker. A comparison with other kind of restaurants is also made. The models involved are influenced by the acoustics of the premises.

**Keywords:** Kriging, sound quality, sound field, environmental and architectural acoustics.

**PACS no. 43.55.Cs, 43.55.Gx**

## 1 Introducción

El Código Técnico de Edificación (CTE) en su apartado de Protección Frente al Ruido (DB-HR) exige el cumplimiento de determinados parámetros acústicos. Además ofrece un abanico de posibilidades respecto a las soluciones arquitectónicas posibles para que el proceso de diseño asegure el correcto cumplimiento de las exigencias.

Esta misma normativa regula las exigencias de acondicionamiento y confort acústico de todos los locales dedicados a actividades públicas, como son los locales de restauración, hospitales o salas destinadas a uso público. Estas medidas son importantes debido a la cantidad de locales dedicados a actividades de ocio y servicios son numerosos en España, y por ello se ha intentado lograr que sean conformes a su función dentro de la sociedad. En el sector terciario o de servicios, destacan los locales destinados a la restauración. En España, debido a la crisis ha habido una reducción de locales dedicados a la hostelería, sin embargo aún hay más de 280000 bares y restaurantes (en 2010) [1].

Hasta la aprobación del nuevo CTE, estos locales sólo estaban obligados a ser aislados acústicamente para evitar que el ruido que generasen fuese una molestia para las viviendas o locales contiguos y viceversa. Con la nueva normativa, se pretende que todo nuevo local que sea de uso público, esté acondicionado acústicamente de forma que las personas que hagan uso de él disfruten de unas ciertas garantías de calidad acústica. Analizando el DB-HR-CTE [2] se observa cierto vacío al proponer soluciones para acondicionar este tipo de locales, quedando sólo expuestos los valores de aislamientos de fachadas, paramentos y forjados, además de algunas restricciones respecto al tiempo de reverberación. La redacción que presenta hace que este documento no sea muy preciso en el detalle y concreción de estas condiciones de confort que pretende conseguir. Este vacío se hace también extensible a aquellos locales que por estar construidos anteriormente a la entrada en vigor de la citada norma, no estén obligados a cumplir las exigencias, pero pretendan adecuarse a ellas o directamente mejorar su acondicionamiento acústico.

Generalmente, los locales dedicados a la hostelería presentan una serie de problemas acústicos atendiendo a diferentes consideraciones como son: el tipo de ruido o las propias características del local. En general, y sin entrar en las particularidades arquitectónicas de la sala, los locales destinados al ejercicio de la restauración suelen poseer en mayor o menor medida los tres tipos de ruidos existentes:

- Ruido de impactos: debido a la actividad interna que existe en estos recintos, se ocasiona un alto ruido de impactos producido por arrastres de sillas, pisadas, golpes en la barra, caída de objetos, etc.
- Ruido aéreo: ocasionado por las conversaciones entre los comensales, que será el que primará sobre el resto de ruidos –a excepción de la música ambiente o la televisión, en el caso de que existieran–.
- Vibraciones: la utilización de elementos necesarios para garantizar el mínimo exigible en confort e higiene dentro de la sala como son los extractores de humos, las cámaras frigoríficas, el aire acondicionado, etc., provocan ruido en forma de vibraciones que se propagarán indistintamente por los elementos estructurales del edificio.

En este trabajo se realiza un estudio de las características objetivas de diversos locales de restauración y por otra parte, se realiza un estudio de diversos parámetros psicoacústicos que permiten analizar y extraer conclusiones sobre el confort acústico que se genera en estos locales a partir de la aplicación del modelo de molestia/agrado de Zwicker [3].

## 2 Metodología

Para este estudio, se han realizado un estudio acústico de 6 bares y restaurantes, mediante la medida de cada uno de los locales para el estudio de las condiciones acústicas en estos de los locales. A continuación se ha analizado el ambiente sonoro en cada uno de los lugares mediante el estudio de los parámetros psicoacústicos de calidad sonora a partir de diferentes grabaciones en cada uno de estos locales.

### 2.1 Condiciones de los locales

#### 2.1.1 Tony's (pizzeria)

Se trata de un local de tamaño medio con una superficie de  $117.1 \text{ m}^2$  y un volumen de  $388.8 \text{ m}^3$ , dedicado principalmente a la venta de bebidas y comidas. El local se dispone como en la figura 1a añadiendo una terraza con sombrillas en su parte externa. Tiene capacidad para dar servicio a unas 60 personas en su interior.

#### 2.1.2 Ágora (cafetería)

Es un local con una superficie de  $250.5 \text{ m}^2$  y un volumen de  $758.9 \text{ m}^3$ , dedicado a la venta de bebidas y comidas. El local se dispone como en la figura 1b con una pequeña terraza en su parte externa. Su interior puede albergar hasta unas 120 personas.

#### 2.1.3 Malvarosa (restaurante-cafetería)

Este local tiene una superficie de  $216.7 \text{ m}^2$  y un volumen de  $652.2 \text{ m}^3$ , dedicado a comidas de menú y servicio de cafetería. El local se dispone como en la figura 1c con una terraza cubierta en su parte externa. En su interior caben unas 100 personas.

#### 2.1.4 Trinquet (restaurante-cafetería)

Su superficie es de  $395.4 \text{ m}^2$  y tiene un volumen de  $1853.4 \text{ m}^3$ , se dedica a hacer comidas de menú, además de dar servicio de cafetería. El local se dispone como en la figura 1d con una pequeña terraza en su parte exterior. En su interior caben unas 200 personas.

#### 2.1.5 Pizzería en Gandía

La parte dedicada al comedor tiene una superficie útil de  $69.0 \text{ m}^2$  y un volumen de  $176.0 \text{ m}^3$ . Su dedicación principal es la restauración. Dentro del local hay 33 mesas con 66 sillas.

#### 2.1.6 Restaurante Mediterráneo

La parte dedicada a los clientes tiene una superficie útil de  $120.0 \text{ m}^2$  y un volumen de  $350.0 \text{ m}^3$ . Su dedicación principal es la restauración y la cocina de autor. La aforo máximo dentro del local es de 70 comensales.

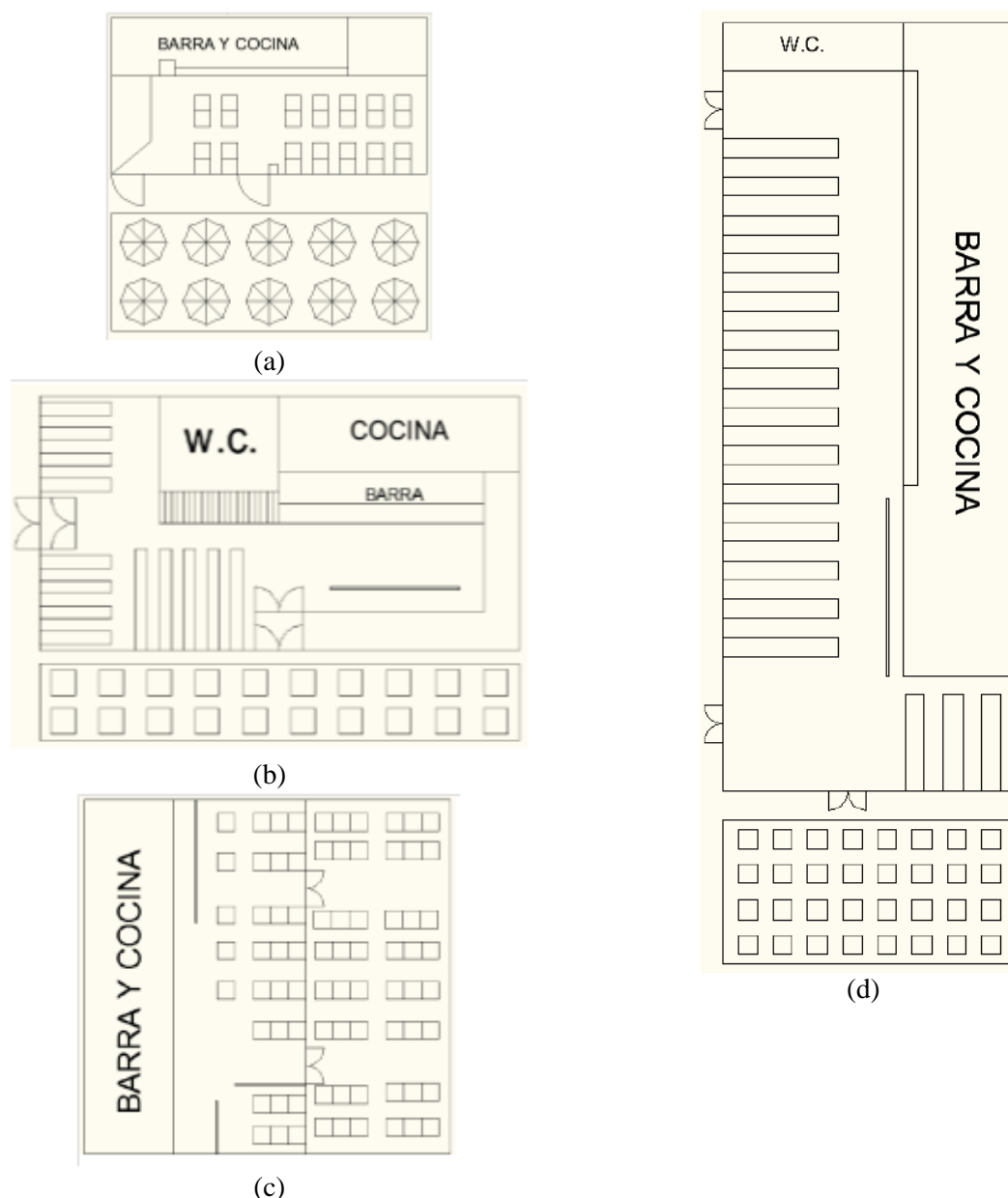


Figura 1: Plantas de 4 de los locales estudiados: (a) Tony's; (b) Ágora; (c) Malvarosa; (d) Trinquet

## 2.2 Registro sonoro para el análisis psicoacústico

Para la grabación de sonido, que luego nos servirá para el estudio psicoacústico, se ha empleado una grabadora digital EDIROL R-09, con 2 micrófonos (en disposición XY). Los registros se han realizado aproximadamente en el centro de cada cafetería para obtener una medida representativa.

A partir de estos registros del sonido ambiental en el interior de los locales y mediante la determinación de una serie de parámetros psicoacústicos (loudness, roughness, sharpness, tonalidad y fluctuation strength) podemos establecer un criterio comparativo de calidad del ambiente de un local a partir del cálculo del modelo de molestia/placer en cada uno de ellos. El cálculo de estos parámetros se ha realizado mediante el software de Head Acoustics, ARTEMIS. Éste es un software para

grabación, análisis y reproducción, desarrollado para llevar a cabo tareas en el campo de la acústica y las vibraciones de forma rápida y eficiente.

### 2.2.1 Loudness

El *loudness* es el valor de sensación de la percepción humana al volumen de sonido. Mediante este parámetro se puede entender la sensación humana de volumen sonoro en escala lineal. La unidad del *loudness* es el “sonio” (derivado del latín “sonare”). Esta unidad se establece por definición como un tono sinusoidal de frecuencia 1 kHz con un nivel de 40 dB. La escala del *loudness* se caracteriza por el hecho que un tono que se percibe con el doble de *loudness* sobre la escala de *loudness* viene denotado como el valor doble de sonios. El *loudness* de tonos simples y sonidos complejos se determina in tests auditivos mediante comparación del *loudness* con el tono sinusoidal a 1 kHz. La determinación del *loudness* de señales estacionarias ha sido especificada en la norma ISO 532 B. [5]

### 2.2.2 Roughness

El parámetro de *roughness* es utiliza en evaluación subjetiva de impresiones sonoras y para diseño de sonidos. Con un *roughness* mayor, las emisiones de ruido se perciben como más perceptibles y normalmente como más agresivas y molestas, incluso si, por ejemplo, el *loudness* o el nivel de presión sonora con filtro A permanecen invariables. Su unidad básica es el ‘asper’

La impresión de aspereza (*roughness*) se produce siempre que existe un envolvimiento variable temporalmente en una banda crítica, por ejemplo, cuando los tonos muestran una estructura temporal debida a una variación de su amplitud o frecuencia. Si estas variaciones se producen muy lentamente (por debajo de 10 Hz), el oído humano es capaz de captar los cambios que producen en una impresión de pulsación o beat. Aumentando la frecuencia de la variación, se pueden percibir otras impresiones sonoras, como el “*R-roughness*” (alrededor de 20 Hz), la cual cambia la impresión de *roughness* real, donde el oído no es capaz de localizar los cambios temporales particulares. Los sonidos con variaciones de envolvimiento entre 20 y 300 se perciben como asperos. Por encima de estas frecuencias, la línea espectral principal y las bandas laterales de tonos puros de amplitud modulada resulta audible como tonos individuales. El *roughness* depende de la frecuencia central, la frecuencia de modulación y la profundidad de modulación. El nivel de señal sólo tiene una influencia menor sobre la impresión de *roughness*.

Aumentando la profundidad de modulación, la impresión de *roughness* es más fuerte. La dependencia con la frecuencia de modulación tiene una característica pasabanda, i.e. la impresión de *roughness* decrece fuertemente hacia frecuencias muy altas o muy bajas. Esta impresión maximiza en una frecuencia de modulación cerca de 70Hz. [5]

### 2.2.3 Sharpness

El *sharpness* es un valor de sensación que es causada por componentes de alta frecuencia en un ruido dado. La unidad de *sharpness* es “acum” (del latín *acum* = agudo). El *sharpness* perfila la sensación humana también de manera lineal. El valor de 1 acum se atribuye a un ruido de banda estrecha a 1 kHz con un ancho de banda menor que 150 Hz y un nivel de 60 dB. El *sharpness* es un parámetro psicoacústico muy importante debido a su influencia en el desagrado de sonidos. [5]

## 2.2.4 Tonalidad y Fluctuation Strength

La tonalidad de un sonido indica si el sonido contiene componentes tonales o ruido de banda ancha. La contribución de tonos a la tonalidad depende de su frecuencia. A unos 700 Hz, se alcanza la impresión de máxima tonalidad. El ruido de banda estrecha con un ancho de banda menor que 1 Bark, también se percibe como tonal, aunque en un grado decreciente con ancho de banda creciente. La unidad de tonalidad, *tu* (tonality unit), se define para un tono sinusoidal de 1 kHz con un nivel de 60 dB. [5]

La impresión llamada *fluctuation strength* (fuerza fluctuante) viene dada por las variaciones de señal con frecuencias de modulación muy bajas. El máximo de esta cantidad psicoacústica está a frecuencias de modulación alrededor de 4 Hz. La unidad, '*vacil*' viene definida por el mismo tono sinusoidal que en el caso del *roughness*, excepto porque la frecuencia de modulación es 4 Hz en vez de 70 Hz. [5]

## 2.3 Modelos psicoacústicos

Un elemento clave de estos atributos perceptivos básicos es que su modelización permita una cuantificación objetiva, o equivalentemente que a partir de las características físicas de la señal en cuestión pueda cuantificarse el valor subjetivo del atributo. Por ello, a partir de los registros obtenidos en cada uno de los locales y del cálculo de la variación temporal de los parámetros especificados en la sección 2.2, hemos podido aplicar y determinar los modelos de molestia/agrado de Zwicker[3].

Las fórmulas correspondientes son:

$$Pleasantness = e^{-0.7 \cdot R} \cdot e^{-1.08 \cdot S} \cdot (1.24 - e^{-2.43 \cdot T}) \cdot e^{(-0.023 \cdot N)^2}$$

$$Nuisance = N \cdot (1 + \sqrt{w_S^2 + w_{FR}^2}),$$

donde  $w_{FR} = \frac{2.18}{N^{0.4}} \cdot (0.4 \cdot F + 0.6 \cdot R)$  y  $w_{FR} = (S - 1.75) \cdot 0.75 \cdot \log(N + 10)$

En estas expresiones se tiene en cuenta que: Sharpness (S), Roughness (R), Fluctuation Strength (F), Loudness (L) y Tonality(T).

## 3 Resultados y discusión

Con el fin de determinar la relación existe entre el modelo psicoacústico planteado por Zwicker y las condiciones acústicas de los locales, determinamos el tiempo de reverberación a frecuencias medias  $RT_{mid}$  a partir de la medida en cada local de este parámetro. En la tabla 1, podemos observar el tiempo de reverberación promedio medido en base a la ISO 3382 [4] en cada uno de los locales.

Tabla 1 – Tiempos de reverberación de cada uno de los locales.

Freq. [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	$RT_{mid}$
Tony's	0,55	0,58	0,51	0,57	0,45	0,44	0,54
Agora	0,54	0,63	0,59	0,66	0,49	0,46	0,63
Malvarosa	0,54	0,47	0,68	0,53	0,52	0,49	0,61
Trinquet	0,38	0,57	0,55	0,60	0,55	0,50	0,58
Pizzería	0,88	0,36	0,35	0,57	0,66	0,68	0,46
R.Mediter.	0,57	0,60	0,59	0,44	0,43	0,40	0,52

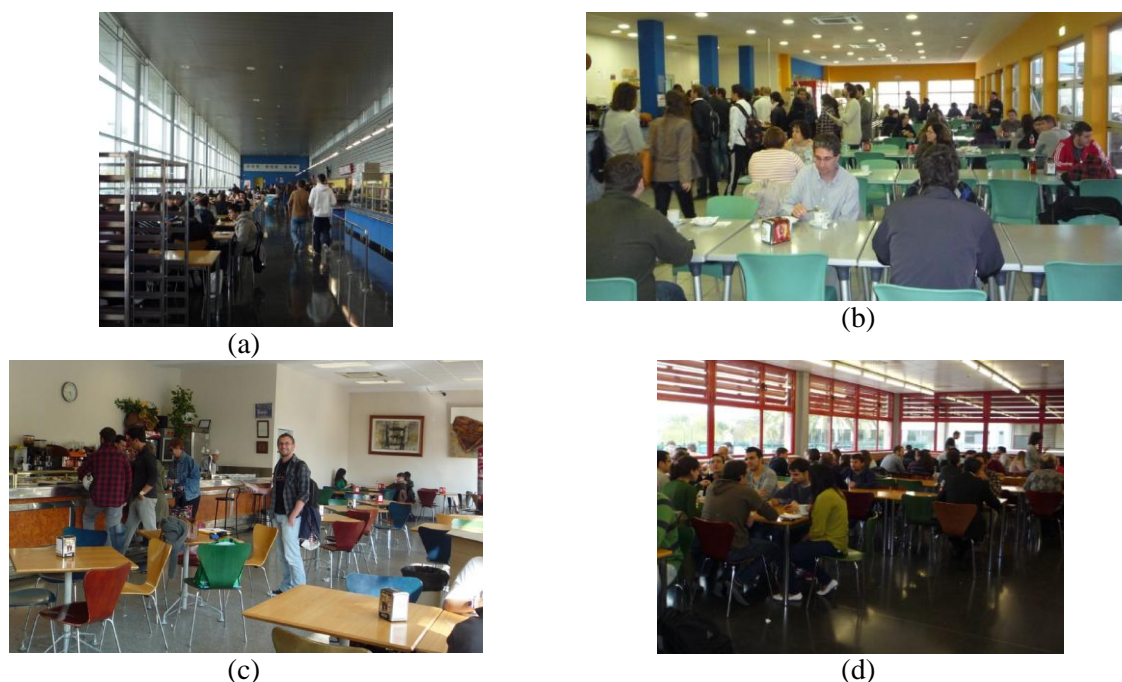


Figura 2 – Fotografías en el interior de 4 de los locales: (a), (b), (c) y (d)

A continuación se exponen los resultados obtenidos del agrado y la molestia en las distintas cafeterías y restaurantes estudiados. Se ha realizado una comparación de ambas medidas para analizar cuál de los locales resulta más agradable o más molesto, a partir de la comparación del percentil 50 en cada uno de los casos (se ha utilizado A50 y M50 como medida del agrado o la molestia producida durante el 50% del tiempo de registro). La tabla 2 muestra los valores promedios registrados de A50 y M50. También se estudia la relación que se establece entre ellos y  $RT_{mid}$ .

Tabla 2 – Valores de  $RT_{mid}$ , A50 y M50 en cada uno de los locales.

	$RT_{mid}$	A50	M50
Tony's	0,54	0,0076	45,31
Ágora	0,63	0,0208	29,79
Malvarosa	0,61	0,0110	38,99
Trinquet	0,58	0,0161	21,02
Pizzería	0,46	0,0031	80,05
R.Mediter.	0,52	0,0121	48,97

Los coeficientes de correlación que se establecen en estas relaciones son:  $r(RT_{mid}-A50) = 0.8301$  y  $r(RT_{mid}-M50) = -0.8636$ , por lo que en este caso podríamos decir que es más fiable la predicción de la molestia producida en un local a partir de sus condiciones acústicas.

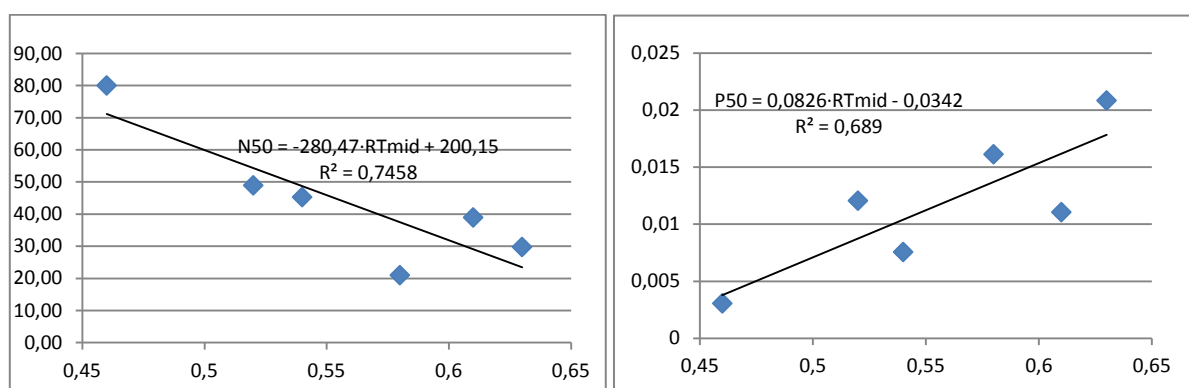


Figura 3 – Gráficos del ajuste para los 6 locales de la relación entre la molestia/agrado con  $RT_{mid}$ .

## 4 Conclusiones

En este trabajo se han estudiado las condiciones acústicas de 6 locales mediante la medida del T30 y la determinación de  $RT_{mid}$ . Los locales son adecuados para el uso de la palabra, pero en algunos de ellos sus condiciones acústicas son muy mejorables.

Al aplicar los modelos de molestia/agrado de Zwicker a la grabación del ambiente sonoro en cada uno de los locales, podemos hacer una comparación relativa de cada uno de los locales.

Por otra parte, el estudio de las condiciones acústicas en relación al cálculo de los modelos de agrado/molestia ha permitido comprobar el efecto que tienen las condiciones acústicas de los locales sobre la molestia que se produce en el interior de los locales.

En este trabajo se ha comprobado que es posible establecer criterios de calidad para locales públicos dedicados a la hostelería y también el efecto de las condiciones acústicas sobre el modelo de molestia de Zwicker. Para completar este estudio será necesario una comprobación de la respuesta subjetiva mediante una encuesta.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido subvencionado por el Ministerio de Ciencia e Innovación mediante el proyecto de investigación BIA2008-05485. Los autores también quieren agradecer al grupo de alumnos de la asignatura de 'Ingeniería Acústica Industrial' de la ETSII de la UPV que realizaron parte de las medidas y registros.

## Referencias

- [1] <http://www.ine.es> (Última visita: 02/08/2012)
- [2] Documento Básico – HR – Protección frente al ruido – Código Técnico de Edificación (2009)
- [3] E. Zwicker and H. Fastl; Psycho-acoustics: Facts and Models. Springer, 2nd updated edition, 1999.



- [4] ISO 3382:2008, Acoustics - Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters.
- [5] ARTEMIS – Psycho-Acoustics Module (Application note). [http://www.head-acoustics.de/downloads/eng/application\\_notes/PsychoacousticAnalysesI\\_06\\_11e.pdf](http://www.head-acoustics.de/downloads/eng/application_notes/PsychoacousticAnalysesI_06_11e.pdf) (Última visita: 02/08/2012)
- [6] MLSSA, Maximum-Length Sequence System Analyzer, Reference Manual, version 10W. DRA laboratories.
- [7] A. Farina, F. Righini, “Software implementation of an MLS analyser, with tools for convolution, auralisation and inverse filtering”, Proc. of the 103rd AES Convention, New York, 26-29 September 1997.