



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

ESTUDIO ACÚSTICO DE UNA OFICINA ABIERTA

PACS: 43.55.Gx).

Yebra Calleja, María Soledad; Vera Guarinos, Jenaro
Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal.
Escuela Politécnica Superior de Alicante
Edif. Politécnica II - Universidad de Alicante.
Alicante. España
Tel: 965 909 751
E-Mail: : myebra@ua.es ; jenaro@ua.es

Palabras Clave: acústica de oficinas abiertas, confort y discomfort acústico, ruido, privacidad.

ABSTRACT

The acoustic comfort of an administrative space of the University of Alicante is analyzed. Given its characteristics, the problem is limited to questions of privacy and stress since in open-plan offices, occupants are directly affected by the activities that surround them. Incorrect acoustic conditions in this type of space can cause distraction or lack of privacy. Distraction weakens the ability to concentrate and reduces productivity. And insufficient privacy prevents confidential conversations and in turn induces distraction.

RESUMEN

Se analiza el confort acústico de un espacio administrativo de la Universidad de Alicante. Dadas sus características la problemática se limita a cuestiones de privacidad y estrés, puesto que en las oficinas de planta abierta, los ocupantes se ven afectados, de forma directa, por las actividades que los rodean. Las condiciones acústicas incorrectas en este tipo de espacios pueden producir distracción o falta de privacidad. La distracción debilita la capacidad de concentración y reduce la productividad. Y una insuficiente privacidad impide mantener conversaciones confidenciales y a su vez induce distracción.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Las oficinas abiertas (open-plan office) son recintos no compartimentados que producen una situación que puede parecer contradictoria, inteligibilidad vs. privacidad, puesto que es imprescindible una buena inteligibilidad y a su vez se tiene que evitar la difusión involuntaria del habla a los puestos de trabajo cercanos que nos rodean. Para su análisis utilizaremos principalmente los parámetros indicados en la norma UNE-EN ISO 3382-3 y también tendremos en cuenta entre otros la NTP 503. Con los resultados obtenidos "in situ" se modela

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

la situación en CattAcoustic para proponer actuaciones que minimicen el riesgo ocasionado por situaciones de desconfort acústico, donde se valora el uso de pantallas.

Se ha estudiado una oficina abierta, perteneciente al edificio del Rectorado de la Universidad de Alicante como un caso de estudio para investigar las condiciones acústicas en este tipo de espacios. #



La oficina tiene 21 puestos de trabajo, distribuidos en cinco agrupaciones de mesas, donde además de realizar trabajos administrativos atienden al PDI de la Universidad.

Tiene un volumen de 580 m³, una superficie total de 175 m², dando una densidad de 8,3 m² / puesto de trabajo.

Los objetivos específicos de este estudio son evaluar el confort acústico de esta oficina en función de la inteligibilidad del habla y las métricas de molestia por ruido. Y aportar soluciones para conseguir una buena privacidad entre puestos de trabajo.

2. METODOLOGÍA

UNE-EN ISO 3382-3 - Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 3: Oficinas diáfanas

Para evaluar las propiedades acústicas de esta oficina (sin ocupación) utilizaremos los parámetros indicados en esta norma:

- Distribución espacial del nivel de presión sonora ponderado A (L_{p,A}).
- Tasa de decaimiento espacial del nivel de voz en ponderación A al doblar la distancia (D_{2, s}).
- Nivel de presión sonora ponderada A a una distancia de 4 m del altavoz (L_{p,A,S,4m}).
- Distancia de distracción (r_D), # distancia donde el STI cae por debajo de 0,5.
- Distancia de privacidad (r_P), # distancia a la cual el STI es menor de 0.2.

NTP 503 - Confort acústico: el ruido en oficinas.

Estas medidas se realizan con la oficina ocupada, pues se pretende determinar el efecto del ruido ocupacional. Las acciones realizadas son:

- Nivel de interferencia conversacional (LSIL).
- Índice de ruido en oficinas (IRO) que valora el clima de ruido e infiere la molestia percibida.

$$IRO = L_{90} + 2,4 (L_{10} - L_{90}) - 14$$

Por último, se pidió la opinión sobre el ruido a los ocupantes para valorar la molestia de los empleados relacionadas con las diferentes fuentes de ruido durante el periodo de actividad.

Para una evaluación más completa utilizamos los niveles de ruido de fondo y se calculan criterios de ruido como, NR, RC, NCB, NC, PNC.

Finalmente modelaremos el recinto con el programa Catt Acoustic a partir de los resultados obtenidos para así poder discutir soluciones a la problemática con suficiente aproximación.

3. MEDIDAS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

- o UNE-EN ISO 3382-3
El esquema con los veintinueve puestos de trabajo donde se tomaron las medidas se muestra en la figura 1.

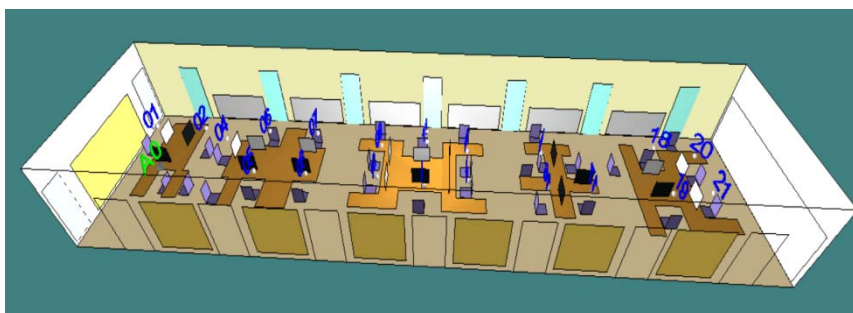


Fig. 1: Oficina del rectorado con posición de fuente y receptores.

En cada puesto de trabajo se determinó:
El Nivel de presión sonora en bandas de octava con ruido rosa L_p , L_s . El STI. El nivel de ruido de fondo en bandas de octava L_p , L_s . Y la distancia a la fuente sonora r .

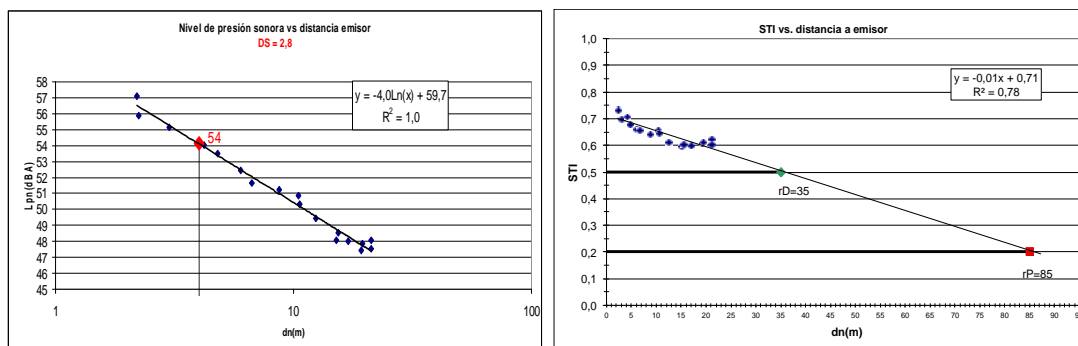


Fig. 2: Resultados de L_n y STI en cada posición: $D_{2,S}$; L_p , A , S , 4m; r_D y r_P .

El rendimiento acústico de las oficinas diáfanas se muestra en la siguiente tabla.

STI en el puesto de trabajo más cercano	0,75
Distancia de distracción r_D en m	35
Distancia de privacidad r_P en m	85
Tasa de decaimiento espacial de voz $D_{2,S}$ en dBA	2,8
Nivel de presión sonora ponderada A a una distancia de 4 m del altavoz L_p , A , S , 4m	54
Nivel de ruido de fondo ponderado A, $L_{p,A;B}$ (sin A/C - con A/C)	30 - 41

Tabla 1: Resultados de los parámetros obtenidos como valores únicos

- o NTP 503
Las mediciones se llevaron a cabo durante el período normal de trabajo (8:30 a 14:30 horas) durante seis jornadas y corresponden al ruido total en las oficinas: personas hablando,

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

teléfonos sonando, actividad de trabajo normal, sistema de ventilación y climatización en marcha y el ruido procedente del exterior. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.

Leq(dBA)	L90(dBA)	L10(dBA)	L10-L90	IRO(dBA)	%molestia
61	46	64	19	76	64
61	44	64	20	77	66
60	44	63	19	75	62
60	45	63	18	75	61
60	44	64	20	78	67
60	45	64	19	76	65

Tabla 2. Porcentaje de insatisfechos para los valores de IRO

En la figura 3, se muestra la relación entre el porcentaje de insatisfechos y el índice de ruido en oficinas (IRO), el cual confirma la teoría de que la variabilidad del ruido es uno de los factores que mayor incidencia tiene en el grado de malestar manifestado por las personas frente al ruido.

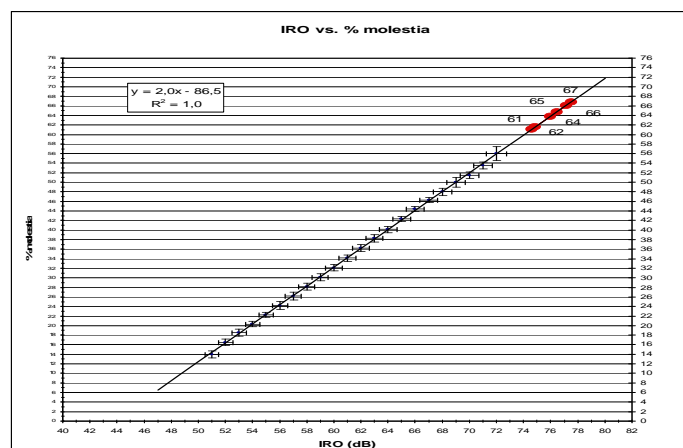


Fig. 3: Relación entre el porcentaje de insatisfechos y el índice de ruido en oficinas

A continuación se muestran los resultados de la encuesta sobre molestias producidas por el ruido que se pasó a los 21 trabajadores.

Preguntas	%SI	%NO
¿El ruido existente en su puesto de trabajo le ocasiona molestias?	94	6
¿Hay que forzar la voz para poder hablar con los trabajadores de puestos cercanos debido al ruido?	100	0
¿Es difícil oír una conversación en un tono de voz normal a causa del ruido?	94
¿Es difícil concentrarse en su trabajo debido al ruido existente?	89	11
¿El ruido es constante y molesto durante toda la jornada laboral?	44	56
¿A lo largo de la jornada, existen variaciones periódicas del nivel de ruido acusadas y molestas?	83	17
¿Es necesario elevar el tono de voz para hacerse entender en el desarrollo del trabajo?	94	...
¿Hay un sistema de ventilación / climatización ruidoso?	17	83
¿Los equipos informáticos son ruidosos y molestos?	33	67
¿Se puede mantener una conversación telefónica de forma confidencial?	11	89

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

¿Se entienden las conversaciones de puestos de trabajo colindantes?	67	33
---	----	----

Tabla 4: Encuesta de opinión sobre ruido.

o DETERMINACIÓN DE LSIL

Si consideramos el ruido de fondo con actividad como el valor de L90 de las medidas continuas en periodos de trabajo realizadas durante 7 días.

		16Hz	31.5Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	16kHz		
02-jul	L90 (dB)	58	61	52	50	51	48	45	43	39	31	22	L _{SIL} =	44
03-jul	L90 (dB)	53	59	51	48	48,7	42	42	40	37	30	22	L _{SIL} =	40
04-jul	L90 (dB)	58	60	54	55	59	62	60	58	52	42	32	L _{SIL} =	58
09-jul	L90 (dB)	49	44	47	48	49	46	43	41	38	30	22	L _{SIL} =	42
10-jul	L90 (dB)	58	62	52	49	50,5	48	44	42	38	31	22	L _{SIL} =	43
12-jul	L90 (dB)	52	59	50	48	49	46	42	41	37	30	22	L _{SIL} =	42
13-jul	L90 (dB)	52	58	51	48	50	44	42	41	38	30	22	L _{SIL} =	41
													L _{SIL} prom=	44

Tabla 5: Determinación de L_{SIL}prom, de periodos de trabajo de 7 días.

Con este ruido de fondo se podría atender las consultas de los usuarios como se puede deducir de los valores del L_{SIL}. Pero si en cada una de las 21 posiciones se realizara una consulta simultánea los niveles, se puede calcular mediante una simulación, que se alcanzarían los valores siguientes en las bandas de interés:

500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	LSIL (dB)
64	58	52	46	55

Tabla 6: Determinación en simulación de L_{SIL}, con consultas en los 21 puestos de trabajo.

Lo que concuerda con la situación de falta de confort que se extrae de las medidas in situ, ya que ese nivel de ruido es debido a conversaciones y está cargado de significado por lo que más que un ruido que enmascara es un ruido que distrae.

El nivel registrado experimental durante las medidas in situ en un periodo de trabajo, produce un nivel de interferencia verbal¹:

$$LSIL = 54 (52) \text{ dB}$$

Leq A dB	16Hz dB	31.5Hz dB	63Hz dB	125Hz dB	250Hz dB	500Hz dB	1kHz dB	2kHz dB	4kHz dB	8kHz dB	16kHz dB
60	59	62	54	54	56	58	56	53	48	40	30
						L _{SIL} =	54 dB				
						L _{SIL} *=	52 dB				

Con estos valores de L_{SIL} podemos estimar cuáles serán las distancias (columna verde a la derecha) según el esfuerzo vocal que se este utilizando (columna izquierda) en relación al nivel de interferencia verbal SIL (cabecera derecha amarilla). Hay que tener en cuenta que un valor suficiente de inteligibilidad se produce con SIL = 12 dB

¹ Se realiza en cálculo de LSIL por los dos métodos posibles: valor promedio de las bandas de 500 Hz a 4000 Hz en dB, y el que se deduce a partir del nivel ponderado A. Este último valor es que mostramos entre paréntesis.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

PARA ESFUERZO VOCAL SELECCIONADO	DISTANCIAS PARA SIL			
	21<----->15<----->12<----->10			
RELAJADO	0,1<----->0,3<----->0,5<----->0,6			
NORMAL	0,3<----->0,7<----->1<----->1,2			
ELEVADO	0,7<----->1,4<----->2<----->2,4			
ALTA	1,4<----->2,8<----->3,8<----->5			
MUY ALTA	2,8<----->5,6<----->7,8<----->10			

Fig. 5: Valores de LSIL y distancias entre interlocutores para distintos esfuerzos vocales.

La dificultad de estos espacios radica en que propician las conversaciones entre puestos de trabajo distantes ya que muchas de las tareas que se realizan implican a varias personas y es usual el realizar consultas en voz alta. Si los espacios estuvieran compartimentados estas distracciones verbales y también visuales se podrían minimizar.

Otro asunto es que el ruido de fondo estuviese producido por un sistema de enmascaramiento que aunque se puede considerar elevado permite una privacidad grande ya que un LSIL de 55 dB implica una distancia de 0,5 metros de conversación aproximadamente.

o CRITERIOS DE RUIDO (ANSI/ASA S12.2-2008 Criteria for evaluating room noise)

Existen diferentes métodos que nos permiten evaluar el confort acústico, en actividades realizadas en interiores, en las que se encuentra presente un ruido de fondo más o menos estable. Los valores que se recomienda no superar en el caso de oficinas se muestran en la siguiente tabla.

	NR (dB)	NC (dB)	NCB (dB)	PNC (dB)
OFICINAS	45 - 50	35-45	35-45	30-40

Tabla 7: Valores de criterios de ruido recomendados en oficinas.

Se obtuvieron los siguientes resultados para los distintos criterios de ruido:

	RC (dB)	QAI	NR (dB)	NC (dB) Tangent method	NC (dB) SIL method	NCB (dB)	PNC(dB)
Sin A/C	23	3	24	21	21	21	23
	N No vibración	Neutral Balanced spectrum				No Rumble No Hiss	

Tabla 8: Valores de criterios de ruido, medidas de RF con aire acondicionado.

	RC (dB)	QAI	NR (dB)	NC (dB) Tangent method	NC (dB) SIL method	NCB (dB)	PNC(dB)
Con A/C	26	9	37	24	36	24	26
	MF No vibración	Roar Mid-Freq dominant			Rumbly	Rumble No vibration	Rumbly

Tabla 9: Valores de criterios de ruido medidas de RF sin aire acondicionado.

4. MODELADO DEL RECINTO Y SIMULACIONES EN CATT

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

El modelado se lleva a cabo con Catt Acoustic. Se modela la oficina que tiene 21 puestos de trabajo en un área total de 175 m², dando una densidad de 8,3m² / puesto de trabajo. Dimensiones geométricas: Alto, H =3.28 m. Ancho, A = 6.43m. Largo, L = 27.5 m. Puertas: A) (2.3x 0.9) m²; B) (2.3 x 1.2) m².

TR (125Hz...8KHz) = (0,8 - 0,8 - 0,9 - 1,1 -1,1 - 1,0 - 0,8 segundos)

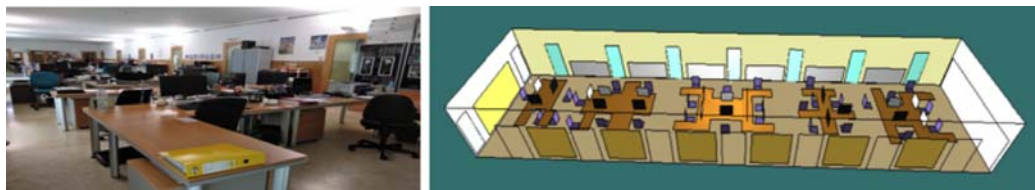


Fig. 6: Modelado de la oficina abierta del rectorado.

Como se puede apreciar en la figura 6 la oficina tiene una estructura básica rectangular, todas las paredes son enlucidas de yeso y pintadas El suelo es de terrazo y techo de yeso pintado. El mobiliario está compuesto por 21 sillas tapizadas y cinco grupos de mesas de madera. Además del equipamiento habitual de material de oficina, archivadores y ordenadores.

En el grupo de figuras siguiente mostramos los resultados obtenidos según ISO 3382-3 y el valor de la interferencia verbal (LSIL) para las distintas soluciones simuladas bajo el supuesto de que en todos los puestos se está atendiendo a una persona: (A) Estado actual. (B) Techo acústico. (C) Techo acústico + Paneles en mesas. (D) Techo acústico + Paneles en mesas + Mamparas.

A) Modelo Original - Estado actual		
	STI en puesto mas cercano	0,7
	Distancia de distracción r _D en m	34
	Distancia de privacidad r _P en m	94
	D _{2, S} en dBA	2,8
	L _{p, A, S, 4m}	53
	LSIL (dB)	54
B) Sustitución del techo (175 m ²) de yeso pintado por uno acústico.		
	STI en puesto mas cercano	0,8
	Distancia de distracción r _D en m	16
	Distancia de privacidad r _P en m	31
	D _{2, S} en dBA	4,5
	L _{p, A, S, 4m}	49
	LSIL (dB)	48
C) Techo acústico + Paneles en mesas		
	STI en puesto mas cercano	0,8
	Distancia de distracción r _D en m	13
	Distancia de privacidad r _P en m	24
	D _{2, S} en dBA	5,3
	L _{p, A, S, 4m}	49
	LSIL (dB)	43
D) Techo acústico + Paneles en mesas + Mamparas entre zonas		
	STI en puesto mas cercano	0,8
	Distancia de distracción r _D en m	6
	Distancia de privacidad r _P en m	11
	D _{2, S} en dBA	9,0
	L _{p, A, S, 4m}	41
	LSIL (dB)	42

Fig. 7: Resultados de simulación.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se puede comprobar que la oficina que estamos estudiando no es confortable en su estado original en función de las recomendaciones de la norma ISO 3382-3, donde se dice textualmente lo siguiente:

- *La mayoría de las oficinas diáfanas tienen condiciones acústicas pobres o insuficientes. Los valores típicos para los casos con malas condiciones acústicas son:*
 $D_{2,S} < 5 \text{ dB}$, $L_{p,A,S,4m} > 50 \text{ dB}$ y $r_D > 10 \text{ m}$.
- *Las oficinas diáfanas con buenas condiciones acústicas son raras, pero un ejemplo de valores objetivo podría ser:*
 $D_{2,S} \geq 7 \text{ dB}$, $L_{p,A,S,4m} \leq 48 \text{ dB}$ y $r_D \leq 5 \text{ m}$.

Por lo que dicha oficina tendrá un comportamiento aceptable si se adopta la solución que mostramos en el caso D de la figura 7.

Para completar el estudio y determinar en qué medida el ruido generado por los distintos sistemas podría interferir en la comunicación entre trabajadores, se calculó el nivel de interferencia conversacional, mediante el índice LSIL, a partir de los valores de ruido muestreados en las distintas situaciones. En la situación original se obtuvo un valor de LSIL=54 dB, lo que significa, por ejemplo que si queremos obtener un SIL de 15 dB con un esfuerzo de voz normal deberíamos situarnos a 0.7m del hablante.

Para las evaluaciones subjetivas de molestias por ruido, los empleados de la oficina completaron una encuesta de molestias por ruido indicando mayoritariamente que “ocasionaba molestias”, “interfería la comunicación”, “dificultaba la concentración”, “era constante y prolongado en el tiempo” y “provenía de las conversaciones entre los ocupantes de la oficina”. Los resultados muestran que el habla irrelevante es la principal fuente de molestia subjetiva al ruido entre los empleados y la pérdida de concentración es la principal consecuencia de los niveles de ruido de fondo para los empleados.

Según los valores del índice de ruido de oficinas (IRO) obtenidos a partir de las medidas in situ, $75 < \text{IRO} < 78$ el porcentaje de insatisfechos debido a la molestia por ruido está comprendido entre un 61% y un 67%.

Las medidas correctoras que se utilizaron, colocar un techo acústico (NRC =0,84), utilizar elementos absorbentes sobre el área de trabajo tipo paneles (Altura = 0,9 m; NRC =0,84) y separar las agrupaciones de mesas con mamparas (Altura = 2,7 m; NRC =0,84) pueden servir como ejemplo de las acciones que pueden llevarse a cabo, para lograr disminuir el nivel de ruido ambiental y mejorar el acondicionamiento acústico de la sala.

6. BIBLIOGRAFÍA

ANSI/ASA S12.2-2008 Criteria for evaluating room noise.



FIA 2018

**XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre**

BRADLEY, J.S. The acoustical design of conventional open plan offices. Can. Acoust. 2003, 31(2), pp. 23-31

BS EN ISO 3382-3: 2012. Acoustics – Measurement of room acoustic parameters. BSI. Part 3: Open plan offices.

NTP 503: Confort acústico: el ruido en oficinas. 1998