

ANÁLISIS DE INDICADORES QUE PERMITAN EVALUAR LA MOLESTIA OCASIONADA POR EL RUIDO EN DIFERENTES AMBIENTES

Martín B. M^a Ángeles¹, Tarrero F. Ana Isabel¹, Camazón A. Alberto, Aguado M. Gregorio

¹ Universidad de Valladolid, Spain
(maruchi@eii.uva.es; anatarro@eii.uva.es)

Resumen

La ergonomía ambiental trata de determinar las condiciones de confort de las personas en distintos ambientes donde intervienen diferentes parámetros (principalmente térmicos, lumínicos y acústicos). En esta comunicación se estudia únicamente el ambiente acústico, y se investiga qué índices permiten una evaluación adecuada de dicho ambiente. Finalmente se estudia la correlación del índice utilizado para evaluar el ambiente acústico con la molestia percibida.

Para el estudio se ha partido del índice de ruido en oficinas, IRO, propuesto por la NTC 503 del Ministerio de Trabajo, se ha aplicado a distintos ambientes (aulas, bibliotecas, oficinas, hospitales, ...), en los que también se ha evaluado la molestia subjetiva percibida por las personas, mediante una encuesta clara y concisa, y se ha comprobado que el tratamiento no puede ser generalizado y es preciso modificar el indicador de confort acústico según el ambiente.

Palabras clave: confort acústico, molestia del ruido, índice de ruido en oficinas (máximo 5).

Abstract

Environmental ergonomics aims at identifying comfort conditions of people in different ambiances where various parameters are involved (mainly thermal, lighting and acoustics). In this paper we focus only on the acoustic environment, and we investigate which indexes allow its proper assessment. Finally we study the correlation between the index used to assess the acoustic environment and the perceived discomfort.

We have used as starting point the *office noise index* or IRO, as proposed by Ministry of Labour in NTC 503. This index has been determined for different environments (classrooms, libraries, offices, hospitals ...) and the subjective discomfort perceived by the people in these environments has also been evaluated using a clear and concise survey. It has been concluded that the procedure can't be generalized and that the acoustic comfort indicator should be modified (adapted) depending on the type of environment.

Keywords: acoustic comfort, noise annoyance, office noise index

PACS no. 43.50.Rq

1 Introducción

Uno de los principales capítulos de la ergonomía es la ergonomía ambiental, que trata de determinar las condiciones de confort de las personas en distintos ambientes. En la sensación de confort intervienen diferentes aspectos, de ellos los relacionados con el confort ambiental son los parámetros térmicos, lumínicos y acústicos.

El confort ambiental está regulado en España, excepto lo que tiene que ver con el confort acústico, donde únicamente hay recomendaciones. La Real Academia Española define el confort como “*aquello que produce bienestar y comodidades* “. Desde un punto de vista más amplio puede decirse que es “una sensación subjetiva de bienestar que se produce en unas condiciones acústicas que permiten realizar nuestras actividades adecuadamente sin molestia, con seguridad y sin riesgo de enfermedad”. Para evaluar el confort acústico es conveniente disponer de una escala que relacione la respuesta subjetiva con los parámetros físicos del ruido.

En la bibliografía científica aparecen numerosos artículos que estudian el ruido en oficinas [1,2,3, ...], en todos ellos se relacionan medidas objetivas de niveles de ruido con parámetros subjetivos, obtenidos a través de encuestas, con el fin de estudiar su correlación y proponer índices para evaluar la molestia. En 1972 Hay and Kemp [2] proponen el Índice de Ruido en Oficinas (IRO, ONI en inglés, de Office Noise Index), que tiene en cuenta los percentiles L_{10} , L_{90} y su diferencia, con el fin de correlación de este índice con el porcentaje de insatisfechos con el ruido. El índice IRO enfatiza en la importancia de la variabilidad del ruido. En 1996 Tang and Chan [3] encuentran una buena correlación lineal entre el L_A y la curva NC correspondiente. También Ayr et al. en 2001 [4] encuentran una buena correlación entre el L_{A90} y la respuesta subjetiva de las personas al ruido producido por los equipos de aire acondicionado, aunque resaltan en que los resultados no pueden considerarse muy exhaustivos porque habría que ampliar la muestra. Los mismos autores en 2003 [5] proponen el L_{Aeq} como el mejor índice para describir la sensación subjetiva del ruido y el L_{A5} como el segundo.

El objetivo principal de esta comunicación es estudiar cómo se percibe el confort acústico en distintos ambientes, no solo en oficinas, sino también en aulas, bibliotecas, hospitales, ..., y cómo se puede cuantificar mediante un índice, que tenga en cuenta todos los parámetros que influyen en la sensación de molestia. Para el estudio se ha partido del índice de confort en oficinas, IRO, propuesto por la NTC 503 del Ministerio de Trabajo español [6] al que se le han añadido otros términos que dependen de parámetros que influyen en la sensación de molestia, como son la relación con la curva NC recomendada para cada ambiente, la presencia de componentes tonales en el ambiente de que se trate y el tiempo de reverberación del recinto.

2 Evaluación del confort Acústico

Para conocer y evaluar el malestar de una persona o de un colectivo en un ambiente de ruido es necesario crear una escala que relacione la respuesta subjetiva de las personas con los valores alcanzados por un indicador que dependa de las características físicas del ruido. Existen diferentes índices de valoración de ruido, como son: el Nivel de Presión Sonora, el Nivel Sonoro Continuo Equivalente, el Nivel Sonoro Diario Equivalente, el Nivel de Interferencia Conversacional (PSIL), las Curvas de valoración NR (Noise Rating), las Curvas de valoración NC (Noise Criteria), las Curvas de valoración PNC (Preferent Noise Criteria), el Tiempo de reverberación (T_R), el Índice de ruido en oficinas (IRO), etc.

Las Curvas de valoración NR establecen límites aceptables de confortabilidad en recintos en los que existen niveles de ruido estables. Esta forma de categorización permite asignar al espectro de un ruido un solo número que lo caracterice, éste corresponde a la curva inmediatamente superior a la representación de los niveles obtenidos en cada banda de frecuencia. Es útil para la valoración de ruidos estables y continuos. El problema del uso de estas curvas se plantea por la necesidad de análisis y filtrado espectral, el tiempo de actualización y la necesidad de configuración del límite de bondad en función del ámbito en el que se encuentre instalado

El Índice de Ruido en Oficinas (IRO) está inspirado en los índices nivel de contaminación sonora e índice de ruido de tráfico, utilizados para la valoración del ruido de las fuentes exteriores. El interés de estos índices, además de la información que pueden proporcionar acerca del aislamiento acústico necesario para los edificios, radica en que son útiles para la valoración de ruidos generados por distintas fuentes, con distintos espectros y características de emisión. Para su determinación es necesario conocer el nivel de presión sonora y su fluctuación en el tiempo.

El IRO está basado en los resultados obtenidos en un estudio realizado por B. Hay & M. F. Kemp [2], en nueve oficinas diáfanas con aire acondicionado, en las que trabajaban un total de 624 personas. Los autores, además de hacer un estudio estadístico del ruido típico de una oficina (conversaciones, teléfonos, tareas, aire acondicionado, etc.), piden la opinión a los ocupantes sobre la molestia que el ruido les ocasiona. Para ello se sirven de una escala de satisfacción con siete niveles, siendo el 1 muy satisfactorio y el 7 muy insatisfactorio. En este estudio se utilizan las respuestas marcadas con 5, 6 y 7 para medir el porcentaje de insatisfacción, y lo relaciona con los valores de las mediciones realizadas (L_{10} y L_{90}), según la siguiente expresión:

$$\text{IRO} = L_{90} + 2,4 (L_{10} - L_{90}) - 14 \quad (1)$$

Donde el primer término, L_{90} , es una medida del ruido de fondo, el segundo proporcional a la diferencia $L_{10} - L_{90}$, da cuenta de la variabilidad del nivel y recoge la información o el mensaje, y el tercero es un coeficiente que se ajusta para establecer la correlación con el porcentaje de insatisfechos. En la figura 1 se muestra la relación entre el porcentaje de insatisfechos obtenido a partir de las encuestas realizadas, y el índice IRO. La expresión del IRO y la buena correlación con el porcentaje de insatisfechos, confirma en este caso 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.

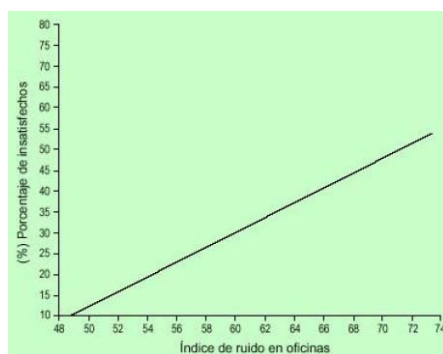


Figura 1: Porcentaje de insatisfechos frente al índice IRO

3 Metodología

Se han estudiado distintos tipos de ambientes (tres Aulas docentes, dos de ellas universitarias y la otra de una federación de fútbol, una oficina, una la sala de espera de un centro de salud y una sala de estudio de un centro universitario). En todos los ambientes se ha medido el nivel de presión sonora y el índice IRO_{SAS} (medido con el Supervisión de Ambiente Sonoro, SAS 2000, que posteriormente analizaremos), simultáneamente a la medida se ha realizado una sencilla encuesta a los presentes en el ambiente. También se ha medido el tiempo de reverberación. El número de encuestas realizadas en cada ambiente y el tiempo de medida de las variables acústicas se especifica en la tabla 1.

Tabla 1 – Encuestas realizadas y tiempo de medida en cada ambiente.

AMBIENTE	ÍNDICES MEDIDOS	TIEMPO DE MEDIDA (h)	Nº de ENCUESTAS
Aula 1	NPS, IRO _{SAS}	1,5	38
Aula 2	NPS, IRO _{SAS}	2	57
Aula 3	NPS, IRO _{SAS}	1	45
Oficina	NPS, IRO _{SAS}	8	96
Sala de espera	NPS, IRO _{SAS}	7	102
Sala de estudio	NPS, IRO _{SAS}	5	93

3.1 Descripción de los ambientes

- Aulas. Las dos aulas docentes universitarias no son de nueva construcción, y se dedican a tareas puramente académicas. El Aula de la Federación de Fútbol de Castilla y León es de nueva construcción y en ella se realizan tareas relacionadas con clases teóricas sobre arbitraje. En las tres aulas el ruido generado es consecuencia de las conversaciones entre alumnos, la voz del profesor impartiendo la clase, del ruido proveniente del exterior, y del ruido que puedan generar las instalaciones (sistemas de calefacción, proyector, iluminación, ordenadores, etc.).

- Oficina. La oficina considerada pertenece a la Federación de Fútbol de Castilla y León, está en un edificio de nueva construcción, tiene grandes dimensiones, con puestos de oficina separados unos dos metros entre ellos. Cada puesto cuenta con su propio ordenador y teléfono, además existen varias impresoras y faxes.

- Sala de espera. Esta sala pertenece a un centro de salud que no es de nueva construcción, tiene forma rectangular de grandes dimensiones. Una parte de la sala concurre con las ventanillas de citación, donde surgen aglomeraciones de gente que provocan un incremento en el nivel de ruido. Las consultas médicas se reparten a lo largo de la sala. Esta sala está dedicada a la espera de las personas para ser atendidas por su médico, y también concurren en ella personal de limpieza y celadores realizando sus tareas habituales. El ruido generado es consecuencia de pacientes y acompañantes principalmente (conversaciones, trasiego, apertura y cierre de puertas, etc.).

- Sala de estudio. Esta sala es de un centro universitario y no es de nueva construcción, es rectangular con ventanas en uno de sus laterales. Se dispone en filas de grandes mesas con sillas a su alrededor y un pasillo central para el tránsito de estudiantes con columnas en el centro del pasillo. En este ambiente debido a la naturaleza de la actividad desarrollada el ruido generado es bajo.

3.2 Descripción de la encuesta

Se ha elaborado una encuesta breve y sencilla para recoger la opinión de los ocupantes de los distintos ambientes estudiados. Esta encuesta constaba únicamente de tres preguntas, que se evaluaban en una escala del 1 al 10. La primera pregunta hacía referencia al nivel de ruido percibido, calificándolo en una escala del 1 al 10, siendo el 1 muy bajo y el 10 muy alto. En la segunda se preguntaba en qué medida se podía mantener una conversación adecuada, y la tercera preguntaba se refería al confort acústico del recinto. Posteriormente se identificó cada número con su correspondiente codificación de la siguiente manera: 1 y 2 Muy bajo, 3 y 4 Bajo, 5 y 6 Medio, 7 y 8 Alto y 9 y 10 Muy alto. Además se recogía el perfil del encuestado (rango de edad y sexo) y la hora a la que se realizaba. La encuesta se pasaba a todas las personas presentes en el momento de la medida del NPS e IRO_{SAS} . En total se recogieron 431 encuestas.

3.3 Parámetros medidos: Nivel de presión sonora, IRO_{SAS} y Tiempo de reverberación

Las medidas del NPS e IRO_{SAS} (índice basado en el índice IRO) se realizaron utilizando el supervisor de ambiente sonoro, SAS 2000, de la marca ECUDAP, el cuál registra ambos valores en su memoria interna, al mismo tiempo que muestra en un display el nivel de presión sonora actual en dB(A), y mediante un semáforo, el grado de confort acústico del ambiente (ambiente confortable, en color verde, ambiente ruidoso, en color amarillo, y ambiente muy ruidoso, en color rojo). Los parámetros configurables del SAS 2000 son accesibles a través de un software proporcionado por el fabricante. El muestreo en cada ambiente comienza cuando empieza la actividad y finaliza cuando cesa dicha actividad. El SAS utiliza su propio proceso interno para calcular un índice basado en el IRO, al que hemos llamado IRO_{SAS} , ajustándolo cada minuto con una serie de penalizaciones que dependen de las curvas NR y de si existen componentes tonales, y cuya expresión viene dada por la ecuación (2)

$$IRO_{SAS} = IRO + (NR \text{ recomendada} - NR \text{ de ajuste})_{\text{máx } 1 \text{ min}} + \text{Penalización tonal} \quad (2)$$

La penalización NR consiste en sumar al índice IRO el valor máximo que durante un minuto experimenta la diferencia entre la curva NR recomendada para ese ambiente y el valor real. La penalización tonal suma 3 unidades al índice IRO en el caso de que existan componentes tonales.

Para la realización de las medidas del tiempo de reverberación se han seguido las indicaciones de la Norma “UNE-EN ISO 3382-2:2008 Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios”. La instrumentación utilizada ha sido el sonómetro SOLO 01DB de Álava Ingenieros.

4 Resultados

En este apartado se muestran los resultados obtenidos del estudio de campo realizado en cada uno de los 6 recintos, utilizando el sonómetro para el cálculo del T_R , el SAS-2000 para obtener el NPS y el IRO_{SAS} , y las 431 encuestas para calcular el porcentaje de insatisfechos, agrupando las respuestas 1, 2, 3 y 4 de la pregunta 3 de dicha encuesta. Además se ha calculado el porcentaje de insatisfechos con la gráfica de la figura 1, que se corresponde con lo recogido en la norma NTP 503 sobre confort acústico [3]. Todos estos valores se recogen en la tabla 2.

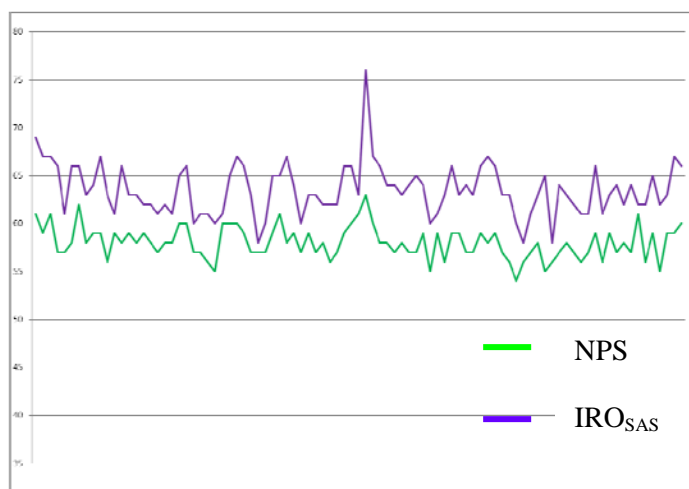
Tabla 2 – Resultados obtenidos en los distintos ambiente.

Aula 1		Aula 2		Aula 3	
IRO _{SAS}	66	IRO _{SAS}	66	IRO _{SAS}	65
NPS [dB(A)]	62	NPS [dB(A)]	61	NPS [dB(A)]	62
T ₆₀ [s]	0,58	T ₆₀ [s]	1,84	T ₆₀ [s]	1,80
% Insatisfechos (encuesta)	13,16	% Insatisfechos(encuesta)	17,54	% Insatisfechos(encuesta)	24,44
% Insatisfechos (NTP 503)	41	%Insatisfechos(NTP 503)	41	% Insatisfechos(NTP 503)	39

Oficina		Sala de espera C. Salud		Sala de Estudio	
IRO _{SAS}	50	IRO _{SAS}	69	IRO _{SAS}	49
NPS [dB(A)]	48	NPS [dB(A)]	65	NPS [dB(A)]	46
T ₆₀ [s]	0,79	T ₆₀ [s]	1,56	T ₆₀ [s]	0,9
% Insatisfechos(encuesta)	12,50	%Insatisfechos(encuesta)	17,65	%Insatisfechos(encuesta)	16,12
% Insatisfechos(NTP 503)	13	%Insatisfechos(NTP 503)	46	%Insatisfechos(NTP 503)	11

Se observa que los tiempos de reverberación más bajos se encuentran en el edificio de nueva construcción, en el aula 1 de la Federación, en la oficina, y en la sala de estudio. Por otro lado, los tiempos de reverberación más altos pertenecen a las aulas docentes universitarias, a pesar de la importancia que tiene en ellas el proceso de comunicación y traslado de información entre el profesor y los alumnos. Un tiempo de reverberación alto incrementa el ruido de fondo y disminuye la inteligibilidad del recinto, lo que dificulta la comunicación.

También se comprueba que las 3 aulas examinadas presentan valores muy similares del NPS, a pesar de tener características físicas diferentes entre ellas, debido en su mayor parte a que el mayor factor de ruido de este tipo de ambientes se debe a la conversación del profesor hacia los alumnos. El valor mayor del NPS se obtiene en la sala de espera del centro de salud debido al gran tránsito de personas que pasan por las diferentes consultas. Por otro lado, el valor más bajo es el de la sala de estudio.

Figura 2: Representación del NPS y del IRO_{SAS} en función del tiempo

En la figura 2 se representa la evolución del NPS y del IRO_{SAS} a lo largo del tiempo, para observar la relación que existe entre ambos índices

5 Propuesta

Una vez analizadas y estudiadas las medidas experimentales realizadas en los distintos ambientes y los resultados de las encuestas que simultáneamente se han llevado a cabo, se observa que el porcentaje de insatisfechos que se obtiene con el uso del índice IRO_{SAS} concuerda bastante bien con el que resulta de las encuestas, para aquellos ambientes en los cuales las condiciones de los usuarios y niveles de ruido son semejantes a los de una oficina, es decir, los recintos en los que se desarrollan trabajos y tareas que exigen concentración y están sometidos a niveles de ruido de fondo medio – bajo, aunque existan momentos en los que el nivel de presión sonora se eleve a niveles altos de forma puntual (oficinas, salas de estudio, bibliotecas, plantas de hospitalización de servicios especiales,...).

Por el contrario, y a la vista de los resultados obtenidos, en el resto de ambientes hay una gran divergencia entre el porcentaje de insatisfechos calculado teóricamente, gráfica de la figura 1, y los obtenidos experimentalmente mediante la encuesta. La explicación podría estar en que el confort acústico es un aspecto subjetivo, que depende de condiciones acústicas que permitan realizar actividades de forma adecuada y con normalidad, sin que exista molestia, pero hay que tener en cuenta que estas condiciones pueden ser distintas para los diferentes ambientes.

El nivel sonoro que producimos al hablar está en el entorno de 55 a 65 dB a una distancia de 1 m y con un tono de voz normal, si se eleva la voz, el nivel aumenta hasta 65-75 dB, y si se grita, los niveles alcanzan 75-85 dB. Ahora bien, la presencia de un ruido de fondo conlleva una elevación de la voz y el consecuente esfuerzo, lo que influye en el estado de bienestar e incrementa el grado de molestia. A mayor nivel de ruido, las personas tienden inconscientemente a elevar el tono de voz constantemente, llegando a niveles de conversación excesivos, que aumentan la molestia, y por lo tanto, el porcentaje de insatisfacción. Por otro lado, un valor alto del T_R , además de elevar el ruido de fondo, disminuye la inteligibilidad del mensaje, lo que contribuye a que el confort acústico sea peor.

En esta comunicación se propone un nuevo índice para evaluar la molestia percibida por el ruido en distintos ambientes, el Índice de Confort Acústico (ICA). Además de los factores ya contemplados en el IRO_{SAS} (el L_{90} , la diferencia entre el L_{10} y el L_{90} , las curvas NR y las componentes tonales), se incluye el T_R . El coeficiente de ponderación de cada uno de estos factores se ajusta para que, en cada ambiente, coincidan los valores experimentales de insatisfechos con los calculados. El índice propuesto se construye a partir de los siguientes factores:

- L_{90} como medida del ruido de fondo
- $L_{10} - L_{90}$ como medida de la fluctuación del ruido. En este nuevo índice se da una gran importancia a la diferencia $L_{10} - L_{90}$, atendiendo al hecho de que la molestia producida por el ruido depende fuertemente de la fluctuación de dichos niveles.
- Curvas NR. Para cada ambiente existe una curva NR recomendada. La diferencia entre el valor de la curva NR real y el valor de la curva recomendada, se tiene en cuenta en el índice propuesto.
- Componentes tonales. La presencia de componentes tonales, frecuentes en el ruido generado por las instalaciones es una causa de molestia, y resulta más perturbadora cuanto mayor concentración requiere el ambiente a evaluar.

- Tiempo de reverberación, T_R . La necesidad de incluir este factor se debe a que en la percepción de confortabilidad aumenta en aquellos ambientes con valores de T_R bajos.

Además, para aquellos ambientes más distendidos, donde se requiere menor grado de concentración, se definirá una tabla que relacione el valor del índice de confort acústico ICA con el porcentaje de insatisfechos para ajustar la percepción en este tipo de ambientes.

A continuación se expone el índice ICA que se propone para los ambientes estudiados.

Ambiente 1. *Ambientes donde es necesario un cierto grado de concentración (Oficinas, bibliotecas, salas de estudio...).* Para estos ambientes se propone mantener el uso del IRO_{SAS} , ecuación (1), ya que los resultados obtenidos son similares a los predichos por este índice. Para optimizar el resultado, se propone que la penalización de la diferencia entre la curva NR recomendada y la de ajuste, se haga con el valor medio obtenido de dicha penalización durante un minuto, en vez de utilizar el valor máximo, como se hace actualmente.

$$ICA_1 = IRO + (\text{Penalización NR}) + (\text{Penalización tonal}) = IRO_{SAS} \quad (3)$$

Ambiente 2. *Ambientes donde es necesaria una buena inteligibilidad que facilite la comunicación verbal (Aulas):* Para estos ambientes se define una nueva expresión que tiene en cuenta además el tiempo de reverberación, y penaliza de acuerdo con otras ponderaciones.

$$ICA_2 = IRO + (\text{Penalización NR}) + (\text{Penalización } T_R) + (\text{Penalización tonal}) \quad (4)$$

Para la penalización del T_R se propone lo siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Si } T_R < 1,5 \text{ s} & \quad \text{Penalización } T_R = 17 \cdot (T_R - 1,5) \\ \text{Si } T_R > 1,5 \text{ s} & \quad \text{Penalización } T_R = 3,4 \cdot (T_R - 1,5) \end{aligned}$$

Con esta expresión se penalizan los T_R altos, pero se bonifican los T_R bajos. Por otro lado, para T_R superiores a 1,5 s, el aumento en el índice es más suave que la disminución cuando T_R es menor que 1,5 s (la penalización es 5 veces inferior a la bonificación). Actualmente el Código Técnico de la Edificación [7] y la Ley del Ruido de Castilla y León [8] dictaminan que el tiempo de reverberación en aulas debe de ser como máximo 0,9 s, pero como a día de hoy la mayor parte de las aulas tienen valores más elevados, se ha fijado la referencia en 1,5 s para la penalización positiva o negativa. Es de esperar que las aulas se adapten a estas normativas, y en ese caso la penalización del T_R deberá ser ajustada para tomar como valor de referencia 0,9 s.

Una vez fijada la penalización por el T_R , podemos ajustar la penalización a nuestros resultados experimentales comprobando que en estos ambientes afecta menos la diferencia entre la curva NR recomendada y la real. El valor propuesto para esta penalización es la décima parte de la diferencia entre ambas curvas.

$$\text{Penalización NR} = (NR_{REAL} - NR_{RECOMENDADA})/10$$

La aparición de componentes tonales afecta menos que en los ambientes tipo 1 anteriormente considerados, por lo que si aparecen componentes tonales se penalizará con 2 unidades.

En la figura 3 se representa los porcentajes de insatisfechos obtenidos a partir del IRO, del IRO_{SAS} , de las encuestas y del nuevo índice propuesto ICA_2 (este último se obtiene a partir de la figura 1,

utilizando el ICA₂ en lugar del IRO). En esta figura se comprueba que el índice propuesto da resultados similares a los obtenidos experimentalmente.

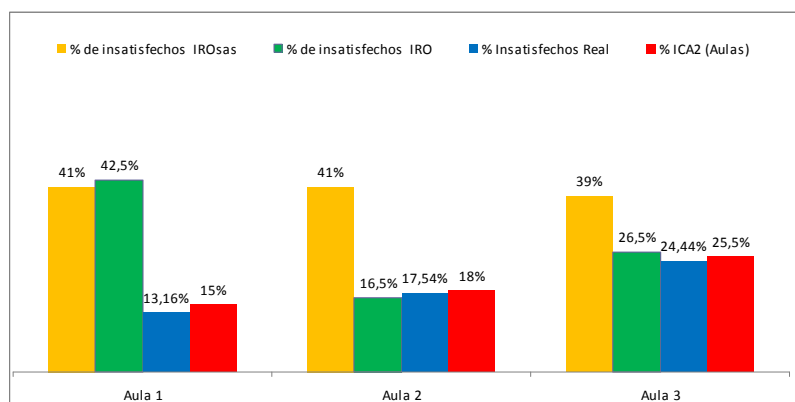


Figura 3: Porcentaje de insatisfechos obtenidos con distintos índices y valores reales (aulas)

c) Ambiente 3: *Ambientes distendidos, donde no se precisa concentración ni claridad en la comunicación verbal (Salas de espera, grandes salones, lugares de ocio, zonas comunes...)*: En estos recintos las interferencias no afectan tanto a la sensación de confort, ya que los usuarios están predispuestos y aceptan un nivel de ruido es medio-alto, y su grado de confortabilidad no se ve afectado. El índice propuesto para este ambiente viene dado por la expresión (5).

$$ICA_3 = IRO \text{ (Modificado)} + (\text{Penalización NR}) + (\text{Penalización } T_R) + (\text{Penalización tonal}) \quad (5)$$

$$\text{Donde } IRO \text{ (Modificado)} = L_{90} + 1,8 \cdot (L_{10} - L_{90}) - 20$$

El cálculo de este índice ICA₃ se basa en los resultados experimentales obtenidos. En él se tiene más en cuenta el L₉₀ y menos la diferencia entre el L₁₀ y el L₉₀, ya que al ser ambientes más distendidos, los cambios en el nivel de ruido influyen menos en la sensación de confort que en los ambientes anteriores de tipo 2. Una vez fijado el cálculo del IRO (Modificado), se aplican las distintas penalizaciones, que por el tipo de ambiente, serán menores que en los dos casos anteriores.

Para la penalización del TR se propone lo siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Si } T_R < 1,5 \text{ s.} & \quad \text{Penalización } T_R = 8,5 \cdot (T_R - 1,5) \\ \text{Si } T_R > 1,5 \text{ s.} & \quad \text{Penalización } T_R = 1,7 \cdot (T_R - 1,5) \end{aligned}$$

En este tipo de ambientes, este parámetro tiene menor importancia que en los descritos anteriormente, ya que cuanto más distendida es la actividad a desarrollar menor es la influencia de las penalizaciones, y por lo tanto menor su contribución al índice. Igual que en el caso anterior, la penalización T_R deberá ser modificada en un futuro cuando el T_R de este tipo de centros se reduzca.

La penalización NR propuesta en este caso es la mitad que en el caso de las aulas. La justificación es la misma que la dada anteriormente, en un ambiente más distendido la influencia de esta penalización es menor.

$$\text{Penalización NR} = (NR_{REAL} - NR_{RECOMENDADA}) / 20$$

En este tipo de ambientes, la aparición de componentes tonales apenas afectará, por lo que se propone que la penalización sea de una unidad en el caso de que existan componentes tonales.

Por todo lo expuesto anteriormente, para el índice ICA₃, es necesario modificar la pendiente de la recta que relaciona el porcentaje de Insatisfechos con este nuevo índice, para que represente adecuadamente la evolución del confort acústico con el índice ICA₃. Como se muestra en la figura 4, la pendiente de la recta de ajuste se ha suavizado respecto a la de la figura 1. Hay que tener en cuenta que a pesar de ser ambientes más distendidos, a partir de cierto nivel de ruido la relación dejará de ser lineal para crecer de forma más rápida (en la figura 4 se representan solamente la relación lineal).

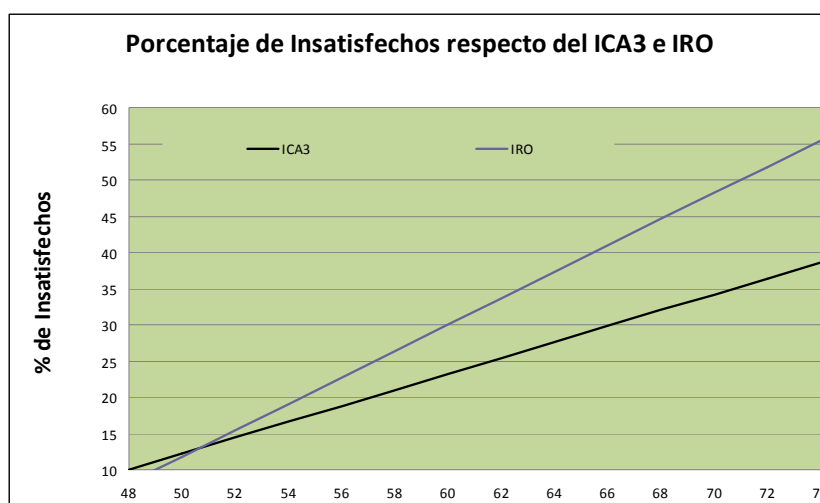


Figura 4: Porcentaje de insatisfechos frente al índice ICA₃

La figura 5 representa la comparación de los resultados obtenidos con los diferentes índices y los valores experimentales, comprobándose que el nuevo índice da resultados más próximos a los obtenidos experimentalmente.

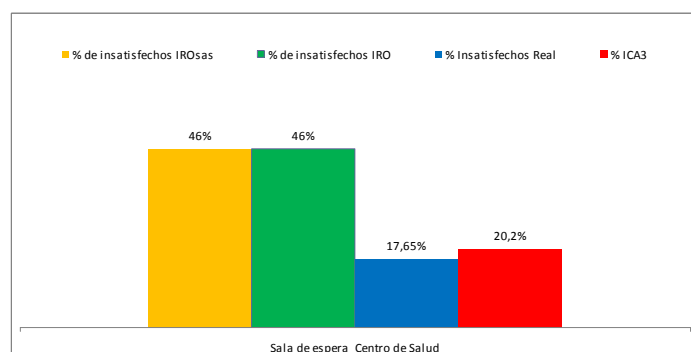


Figura 5: Porcentaje de insatisfechos obtenidos con distintos índices y valores reales (sala de espera del centro de salud)

6 Conclusiones

Los resultados obtenidos del estudio de distintos ambientes, tanto los parámetros acústicos medidos experimentalmente, como la percepción de la molestia por el ruido determinada a partir de las encuestas realizadas en estos ambientes, permiten extraer las siguientes conclusiones:

- El índice IRO contemplado en el artículo Hay and Kemp [2], y recogido en la norma NTP 503, contiene los términos que principalmente intervienen en la sensación de confort acústico en oficinas (el ruido de fondo y la variabilidad del ruido).
- El IRO_{SAS} medido por el Supervisor de Ambiente Acústico SAS 2000, introduce en el índice IRO la penalizaciones NR (diferencia entre la NR real y la NR recomendada para el ambiente en estudio), y la penalización por componentes tonales (si hay componentes tonales penaliza este índice con 3 unidades). Este índice resulta adecuado para medir el confort acústico en ambientes similares a oficinas, como bibliotecas y salas de estudio.
- Para aulas y otros ambientes similares hay que tener en cuenta, además de las penalizaciones anteriores debidamente modificadas para adaptarse a los resultados experimentales, la penalización debida al T_R . El índice propuesto para evaluar el confort acústico en estos ambientes es el ICA_2 , definido en la expresión (4).
- Para ambientes más distendidos, como salas de espera, grandes salones, zonas comunes, etc., resulta necesario modificar el IRO anteriormente utilizado, ya que la variabilidad del ruido contribuye menos a la sensación de molestia. Partiendo de este IRO modificado se introducen las penalizaciones NR, por componentes tonales y por el tiempo de reverberación, adaptadas a estos ambientes, lo que da lugar a la propuesta del ICA_3 definido en la expresión (5)

Finalmente podemos concluir que para evaluar el confort acústico no es posible utilizar un único indicador, ya que la molestia percibida depende de cada ambiente y de las tareas a realizar. Hay que seguir investigando en este sentido para agrupar los posibles ambientes en un número limitado y establecer indicadores que permitan evaluar el confort acústico en cada uno de ellos.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de la empresa PDAudio en este trabajo sin la cual no habría podido llevarse a cabo.

Referencias

- [1] Beranek LL. Criteria for office quieting based on questionnaire rating studies. *J. Acoust Soc Am* 1956, 28(5):833-52
- [2] Hay, B.; Kemp, M. F. Measurements Of Noise In Air Conditioned, Landscaped Offices. *Journal of Sound and Vibration* (1972) 23 (3) 363-373.
- [3] Tang, S. K.; Chan, J. W. C. Some Characteristics of Noise in Air-Conditioned Landscaped Offices. *Applied Acoustics*, Vol. 48, No. 3, pp. 249-267, 1996

- [4] Ayr, U.; Cirillo, E.; Fato, I.; Martellotta F. An experimental study on noise indices in air conditioned offices. *Applied Acoustics* 62 (2001) 633–643.
- [5] Ayr, U.; Cirillo, E.; Fato, I.; Martellotta F. A new approach to assessing the performance of noise indices in buildings. *Applied Acoustics* 64 (2003) 129–145
- [6] NTP 503: Confort acústico: el ruido en oficinas. Ministerio de trabajo y asuntos sociales
- [7] Documento Básico de Protección Frente al Ruido (DB-HR) del Código Técnico de la Edificación (CTE)
- [8] Ley 5/2009 del Ruido de Castilla y León.