



48º CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA  
ENCUENTRO IBÉRICO DE ACÚSTICA  
EUROPEAN SYMPOSIUM ON UNDERWATER ACOUSTICS  
APPLICATIONS  
EUROPEAN SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE BUILDING  
ACOUSTICS

## VALORACIÓN DEL CONFORT ACÚSTICO

PACS: 43.50.Rq

Dr. Robert Barti

Asesor y consultor acústico

RBD acoustic engineering

Calle Alexander Fleming, 33 ático

08100 Mollet del Vallès

España

TI: +34 619 983 384

e-mail: robert@acústica-rbd.com

### ABSTRACT.

Daily we are exposed to different sound environment, at work, at home, while we move. In general it is expected that the sound perceived in each situation, have certain characteristics that fit more or less at some energy levels according to our previous experience. So, if we are at work, we easily recognize a strange noise from "habitual" ones such as computers, the voices of people around us, etc. If we grind coffee, and the machine makes no noise, we will probably deduce that it is broken. If we observe that one vehicle start to move in a traffic light without making noise, we are certainly in a dream, or not? That is, an "a priori" forecast is made for the acoustic quality of the surrounding sounds, which is so called a sound scene.

Acoustic comfort is defined as the level of sound that is considered "acceptable" for people, as much by the sound level, as by the characteristics of frequency and its temporal evolution. We could say that the acoustic comfort would be the "expected sound" for a particular situation. In general, the presence of unwanted sounds, produces discomfort, rejection and irritability. These reactions do not correlate solely with the sound level, nor with the spectral content, we also have to take into account factors as the temporal evolution, and the ability of our brain to process the different sounds.

Measuring the irritability of a sound could help to identify complex situations that can not be assessed using traditional measurement methods. The acoustic irritability index (AII) would be an indicator of the opposite of the acoustic comfort.

## RESUMEN.

Diariamente, estamos expuestos a diversos ambientes sonoros, en el trabajo, en casa, mientras nos desplazamos. En general se espera que el sonido percibido en cada situación, tenga determinadas características que se ajuste más o menos a unos niveles de energía según nuestra experiencia previa. Así, si estamos en el trabajo, reconocemos fácilmente un ruido extraño, de los ruidos “habituales” como los ordenadores, las voces de la gente de nuestro alrededor, etc. Si molemos café, y la máquina no hace ruido, probablemente deduciremos que está averiada. Si observamos que un vehículo empieza a moverse en un semáforo sin hacer ruido, estamos sin duda en un sueño, o no?. Es decir se hace una previsión “a priori” de la calidad acústica de los sonidos del entorno, lo que se llama una escena sonora.

El confort acústico se define como el nivel de sonido que se considera “aceptable” para una persona, tanto por el nivel sonoro, como por las características de frecuencia y evolución temporal de éste. Podríamos decir que el confort acústico sería el “sonido esperado” para una situación concreta. La presencia de sonidos no deseados, producen en general, malestar, rechazo e irritabilidad. Estas reacciones, no correlacionan únicamente con el nivel sonoro, ni con el contenido espectral, también hay que tener en cuenta los factores de índole temporal, y la capacidad de nuestro cerebro para procesar los distintos sonidos. La medida de la capacidad de irritabilidad de un sonido, podría ayudar a identificar situaciones complejas que no es posible valorar con métodos tradicionales. El índice de irritabilidad acústica (IIA) sería un indicador de lo contrario del confort acústico.

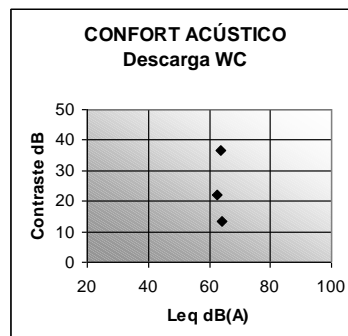
## 1. INTRODUCCIÓN.

El sonido forma parte de la vida cotidiana. Los sonidos nos orientan, y nos dan información, mientras que la ausencia de sonido nos desorienta. Nuestra experiencia nos muestra que cualquier máquina o actividad que humana, tiene que hacer un determinado ruido, y así lo hemos aprendido desde pequeños. Incluso cualquier acción silenciosa “per se” como una espada que corta el aire, o el paso de la hoja de un libro se enfatiza en las películas, con un sonido para hacer más perceptible el efecto; se estereotipa el sonido, y nos hemos habituado a esta falta de realismo. En determinadas situaciones, las características del ruido ambiental, propician que nuestra sensación sea de confort. Un espacio “sono-confortable”, no tiene porque ser un espacio con silencio absoluto.

El sonido de rasgar las uñas sobre una pizarra, es un ejemplo de sonido que produce irritación entre la mayoría de personas que lo oyen. En éste caso y en otros sonidos de índole similar, sus características de frecuencia, consiguen ese efecto. No obstante, no siempre un sonido acaba siendo irritante por sus atributos de calidad sonora. Por ejemplo, cuando un sonido no deseado, presenta una persistencia temporal (cadencia rítmica), acabará siendo irritante para la persona afectada, aunque sea de bajo nivel sonoro.

Esta situación es muy frecuente en afectaciones por ruido de actividades musicales sobre zonas habitadas, y puede darse tanto en ambiente exterior como interior, siendo éste último el caso más complejo de tratar.

En 2015 se presentó el concepto de contraste acústico (C) [1] como un indicador que podía ayudar a dilucidar los casos, especialmente en ambiente interior, donde a pesar de presentar niveles bajos de ruido (expresados en dBA), siguen generándose molestias. Como ejemplo se muestra el contraste acústico medido para tres descargas de cisterna de un WC. La figura siguiente, muestra los resultados obtenidos.



En esta ocasión se comprueba como los niveles de ruido en dBA, son muy similares en los tres casos, pero uno de ellos resulta más molesto, que es el que presenta un mayor contraste. En éste ejemplo y en otros casos expuestos, el contraste acústico, permite obtener información complementaria en la evaluación del ruido.

Pero no siempre se obtienen con este indicador, resultados satisfactorios. El contraste acústico no es una herramienta infalible. Por ejemplo, cuando los niveles sonoros medidos en diferentes situaciones son muy similares y de muy bajo nivel, éste indicador no aporta información útil. Es el caso de las mediciones en ambiente interior, cuando el foco sonoro por ejemplo, es una actividad musical. En estos casos la percepción subjetiva de las personas, no coincide con las evaluaciones objetivas del ruido medido, por lo que se produce un vacío técnico difícil de superar.

El confort acústico se basa en un nivel de presión acústica, y en una calidad sonora. Ambos aspectos se consideran atributos del sonido que pueden ser determinados de forma objetiva mediante la instrumentación de medida. Sin embargo, hay una diferencia notable que no puede pasar por alto: la percepción humana del sonido siempre es en base a dos oídos, es decir binaural. Reproducir en el laboratorio un sonido para estudiar la reacción de las personas ante éste, es muy usual en determinadas industrias como la automovilística. No obstante la falta de realismo, hace que esas valoraciones queden muchas veces, lejos de la realidad.

## 2. DIFERENCIAS ENTRE MEDIDA DE PRESIÓN EN UN PUNTO Y PERCEPCIÓN SONORA.

Entendemos por medida de presión, la realizada por un equipo de medida, por ejemplo un sonómetro debidamente verificado y calibrado, y por percepción sonora se entiende en este caso a la detección del sonido, es decir si la persona es capaz de detectar dicho sonido o no. En el proceso de medida del sonido, se parte de un solo canal, mientras que en la percepción sonora, tenemos dos oídos, que permiten la percepción binaural.

La captación binaural del sonido, permite al cerebro usar potentes herramientas que nos permiten detectar sonidos inmersos en el ruido ambiente, y también seleccionar un determinado sonido aunque esté enmascarado por otros sonidos similares o no. Esta capacidad es muy útil de cara a poder mantener una conversación en un ambiente ruidoso, no obstante se vuelve en contra cuando no deseamos “escuchar” ese sonido.

La primera función que permite la audición binaural, y que se muestra con “demos” más o menos espectaculares que se pueden encontrar por internet, es la capacidad de localización de distintas fuentes sonoras en un espacio 3D virtual. En la mayoría de ejemplos, se reproducen los sonidos a través de los auriculares, para evitar la influencia de ruidos externos y sobre todo del efecto de la sala donde se reproduce el sonido. Sin embargo la reproducción mediante auriculares hace que el sonido sea siempre intracraneal, es decir carente de la sensación de distancia, todos los sonidos se localizan en diferentes puntos del espacio 3D pero siempre a “corta distancia”.

Pero este no es el fenómeno más conocido de la percepción binaural. La capacidad de procesado de señal a partir de las informaciones recibidas por los dos oídos, permite hacer tareas mucho más complejas que la localización de un sonido en espacio 3D. Quizás la más potente sea sin duda la de detección, selección y seguimiento de un sonido, y todo ello sin mover la cabeza, de manera prácticamente instantánea, y como se dice coloquialmente, “sin pestañear”. Es una gran ventaja que permite mantener conversaciones en lugares ruidosos, pero que también a veces nos impide conciliar el sueño.

### **2.1. La percepción binaural. La diferencia de nivel enmascarante binaural (BMLD).**

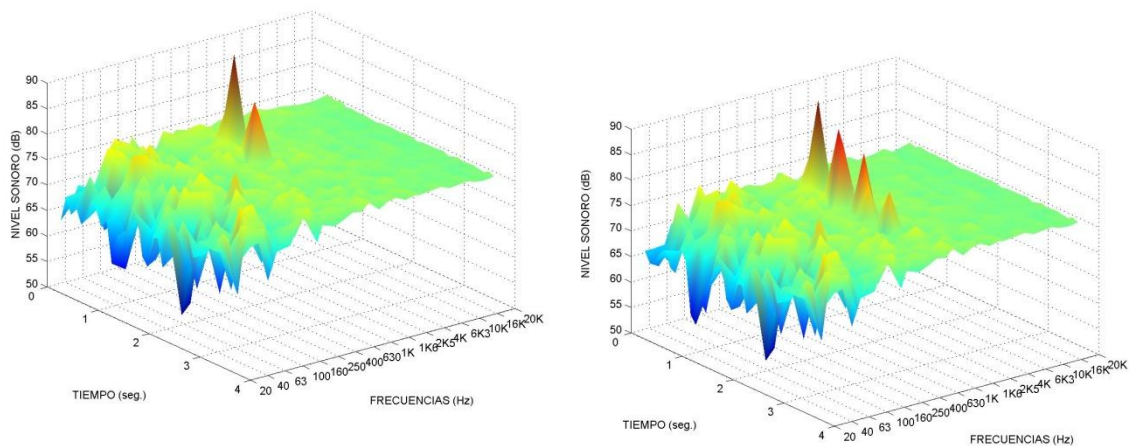
El sistema auditivo humano es binaural por naturaleza. Esta particularidad permite que podamos entre otras cosas, escuchar y entender una conversación en entornos ruidosos. Las complejas operaciones que realiza nuestro cerebro, permiten que la capacidad de reconocimiento acústico del entorno se recupere aunque sea parcialmente, después de un trauma acústico. Tras una nueva fase de “aprendizaje” el cerebro vuelve a restituir parcialmente los parámetros que adquirió durante la infancia, y que le permiten funciones tan potentes como seleccionar una fuente sonora o discriminar unos sonidos de otros. En principio no se recupera el 100%, pero tras unos años, se restituye una buena parte, quedando la función de localización de fuentes en el espacio 3D mermada parcialmente, así como la sensibilidad en frecuencia.

Todas las personas tienen dos oídos y esto permite disfrutar de las ventajas que la audición binaural les proporciona. Reynolds y Stevens en 1951 definieron la suma de sonoridad binaural (BLS). Es quizás una de las principales ventajas de la percepción binaural. Cuando una señal con información (voz, música,...) se mezcla con una de ruido ambiente, el fenómeno de diferencia de nivel de enmascaramiento (MLD) permite que las pequeñas diferencias de tiempo entre las señales que llegan a los dos oídos y los desniveles de ambos canales, se utilicen para mejorar nuestra capacidad de descodificar la información. Cuando estamos en un entorno silencioso, señales con pequeña amplitud son fácilmente detectadas por nuestro sistema auditivo binaural.

A la capacidad de seleccionar una fuente sonora entre otras de similares características y “centrar” la atención en esa fuente y no en otras es gracias al “Binaural Masking Level Difference” (BMLD).

En la vida real, constantemente necesitamos detectar señales entre el ruido ambiente. Un caso bien conocido es el “cocktail party effect” [2]. Esta tarea es mucho más fácil de realizar con dos oídos. El BMLD mide la habilidad del oyente en usar las diferencias de los atributos binaurales, para distinguir fuentes sonoras y mejorar la capacidad de discriminación respecto al ruido ambiente. Cuando escuchamos con dos oídos, la habilidad para detectar una señal entre un ruido ambiente o enmascarante, no depende únicamente de las características frecuenciales y temporales del objetivo y del ruido, como ocurre en percepción monoaural, sino de las diferencias binaurales del objetivo y del ruido.

Con idénticos ruidos y tonos en los oídos, invirtiendo la fase del tono en uno de los oídos, se reduce el umbral de detección de ese tono de forma drástica. La diferencia en decibelios entre ambas situaciones es el BMLD. El efecto más pronunciado se produce para la frecuencia de 500 Hz. La mejora de percepción se sitúa entre los 12 y 15 dB. [3] [4] [5]. Las imágenes siguientes muestran una representación de la capacidad de discriminación o detección de una señal enmascarada por ruido. Se muestra la respuesta del sentido auditivo en la detección de seis tonos de nivel decreciente, de 500 Hz y de 0,1 segundos de duración cada uno, separados 0,5 segundos. Estos tonos se enmascaran con ruido rosa de amplitud constante. A la izquierda, se muestra la percepción monoaural, aplicando la misma señal a ambos oídos, que permite distinguir o detectar dos de los seis tonos. A la derecha la percepción binaural, donde se observa que se detectan cuatro de los seis tonos. En ambos casos el ruido enmascarante tiene el mismo nivel.



Nótese que los desniveles de la componente tonal es la misma en mono que en binaural, sin embargo en mono parece que la atenuación es mayor, debido a que el sentido auditivo no puede llegar a discriminar el tono del ruido enmascarante, mientras que con la información binaural, somos capaces de “extraer” o “detectar” esa componente tonal del ruido enmascarante.

## 2.2. Como el cerebro separa los sonidos.

Como hacemos para “seleccionar” un orador entre muchas voces, o “seguir” una melodía entre otros sonidos? El sistema auditivo tiene esta capacidad innata.

Durante las últimas décadas los científicos han identificado que pistas usan o no los oyentes, para el análisis acústico de la escena sonora, ASA (Auditory Scene Analysis). Se sugiere que éste análisis precisa de un grado de atención por parte del sujeto. En éste punto hay dos hipótesis:

- a. El análisis de la escena sonora, se produce automáticamente, proporcionando una capacidad de atención con sonidos pre-establecidos, que son seleccionados.
- b. El grado de atención puede influir en el proceso necesario para la detección de los sonidos.

Hay dos aspectos a tener en cuenta en la segregación de los sonidos. Primero, el fenómeno de “streaming” auditivo, que es la capacidad de organización de los sonidos en función del tiempo. Fenómeno usado por los compositores musicales, y que es la esencia básica de nuestra capacidad para “seguir” una conversación inmersa entre otras. En segundo lugar, las diferencias de tonalidad entre oradores, que ayudan a distinguir una conversación de otra. [6]

La facilidad que tiene el cerebro para “detectar y seguir” señales con frecuencias concretas es bastante notoria [7]. Esta capacidad se ve modelada o reforzada por la formación musical que tenga una persona en particular [8]. En todo caso, lo que resulta muy común entre las personas afectadas por un ruido no deseado mientras desean conciliar el sueño, es la relativa facilidad que tiene el cerebro para detectar aquel sonido no deseado. Nótese que incluso en períodos de somnolencia, es decir cuando dormimos, nuestro cerebro sigue funcionando, no descansa nunca, lo que permite al ser humano estar en “alerta permanente” ante cualquier ruido no esperado. Además se da la circunstancia de que la percepción de un determinado sonido o ruido tiene una gran componente subjetiva, que hace que la reacción o valoración sea distinta. Dicha subjetividad se justifica esencialmente, por la experiencia previa de cada persona en el desarrollo del tronco encefálico auditivo, en base al análisis que realiza éste de la parte física del sonido, la frecuencia, la amplitud, la evolución temporal, y también del significado que producen dichos sonidos [9], y no por el deseo de llevar la contraria o exagerar el problema, que lamentablemente en ocasiones, sucede.

### **2.3. Ventajas de la percepción binaural respecto la monoaural.**

Las ventajas más destacables, sin contar con la capacidad de localización de fuentes sonoras, que ya se ha comentado anteriormente, se pueden comprobar muy fácilmente mediante un ejercicio muy sencillo. Se trata de grabar la locución de un orador, por ejemplo en una clase, desde la primera fila, es decir lo más cerca posible del orador, pero dentro de la zona de público. En una clase, en general, el profesor puede estar a unos escasos 1,5 o 2 m de distancia de la primera fila. Debe hacerse una grabación en monoaural (un canal) o en estéreo (dos canales). No hace falta una configuración especial de micrófonos, ni cabeza artificial o HAT para hacer el registro. Dos micrófonos separados unos centímetros es suficiente para el registro estéreo. El autor de ésta comunicación, utiliza dos cápsulas electrets de 8 mm de diámetro montados en oposición sobre un capuchón de bolígrafo. “Pilot”. Con una configuración tan simple, los resultados son espectaculares. La reproducción en monoaural, no permite seguir la locución del orador con nitidez, y se observa cómo aparentemente, el orador se ha alejado notablemente del observador. Además parece como la reverberación de la sala, ha aumentado significativamente, y además el ruido de fondo ha subido apreciablemente.

La escritura del compañero de mesa, (imperceptible “in situ”) produce un sonido como si se rasgara el papel al lado del micrófono. La escena acústica que obtenemos en mono, es como si estuviéramos sentados al fondo de la clase. A pesar de ello, se puede llegar a entender parcialmente la locución pero con muchas dificultades. Escuchando la grabación en estéreo (con el micrófono descrito anteriormente) y grabada en el mismo punto, nuestro cerebro es capaz de restituir la escena acústica a partir de las dos señales (R y L), y reduce el ruido ambiente a valores imperceptibles, la reverberación disminuye, y el locutor se oye “cerca”, es decir, podemos cerrar los ojos y escuchar el sonido como si estuviéramos allí. Nótese que no hace falta disponer de un registro binaural “comme il faut” a partir de un HAT. Con un simple micrófono estéreo de menos de 2 euros es suficiente para recuperar la escena acústica. Esto ilustra la plasticidad y potencia de nuestro procesador sonoro.

Entonces, cuando se hace una medida de ruido y se usa un sonómetro, que obviamente tiene un solo micrófono, puede esa información reflejar realmente lo que percibe una persona? La respuesta es simple: NO. Si además se añade el problema de la medición con micrófonos de  $\frac{1}{2}$ ” con límites de capacidad de medida (conjunto micrófono + preamplificador) entorno a los 16-17 dBA, la tarea de certificar que una actividad cumple o no la legislación con niveles de presión muy cercanos a los 20 dBA, no significa que las personas afectadas no escuchen los ruidos (o sonidos). El resultado es que se constata un creciente número de casos donde se “cumple” la legislación vigente, pero los afectados manifiestan que se oye el ruido, eternizando el problema con informes y contra-informes por las partes implicadas, que no hacen sino añadir más “ruido” y más desesperación a los afectados que no entienden lo que evidencian sus oídos.

### 3. SITUACIONES LIMITE.

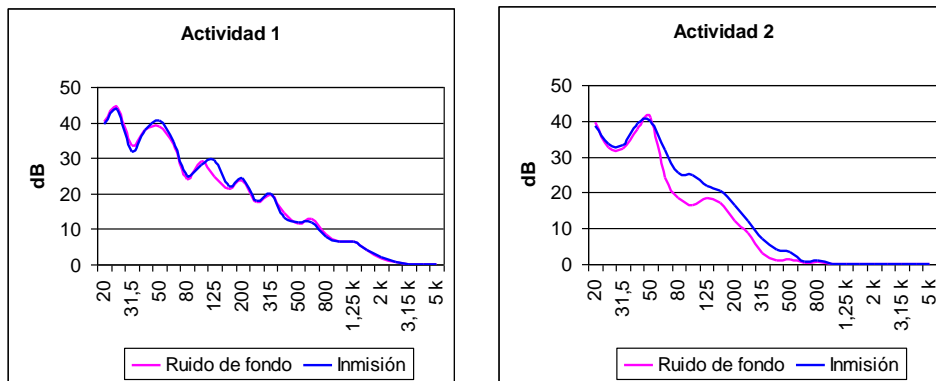
Exponemos un caso muy común: el procedimiento para valorar si existe o no afectación por ruido de una actividad musical sobre una vivienda. Es una situación bien conocida, y muy frecuente en todas las ciudades, aunque es en verano cuando estos problemas se hacen más visibles. La principal dificultad en la evaluación del ruido, aparece cuando los niveles de presión acústica medidos son muy bajos, y además de los resultados de las mediciones, no se distinguen, de manera subjetiva (de oído), diferencias entre los niveles de ruido con actividad y sin actividad. Al margen de la necesidad de realizar una selección de datos precisa, que las legislaciones actuales no exigen, existen ciertas limitaciones que van a entorpecer o dificultar encontrar una respuesta clara al problema.

En primer lugar el límite inferior de medida del equipo, debe ser tenido en cuenta, para saber hasta qué punto lo que marca el sonómetro es creíble o no. En segundo lugar, hay que tener en cuenta que una cosa es la medición de la presión acústica en un punto, y otra muy distinta es la percepción que tenemos las personas mientras se realiza la medición.

Si los niveles de ruido dentro de un dormitorio, presentan niveles sonoros cercanos al límite inferior de medida, es decir, cercanos a los 20 dBA, cómo puede el inquilino decir que oye la música? Hasta qué punto dice la verdad, o se trata de otros problemas? Cómo puede el personal técnico de una administración saber la verdad, para tomar una decisión justa?

Dar una respuesta a éstas cuestiones requiere tener la capacidad de emitir un juicio basado en datos objetivos contrastables, dejando al margen la subjetividad.

Mediante las mediciones de ruido “in situ” y su correspondiente evaluación, se debería poder determinar de forma objetiva, si existe o no dicho problema. Para ilustrar estos casos se exponen unos ejemplos típicos que se reproducen con más frecuencia de la deseada. Se muestran a continuación dos casos límite, donde sólo en uno de ellos, se percibe el ritmo musical.



Los niveles globales medidos correspondientes a los espectros mostrados son los siguientes.

ACTIVIDAD 1	
NIVEL SONORO	Leq dBA
Inmisión	23,1
Ruido de fondo	22,8

ACTIVIDAD 2	
NIVEL SONORO	Leq dBA
Inmisión	20,2
Ruido de fondo	19,4

Los niveles sonoros son muy bajos y cercanos al límite de capacidad de medida que es de 17 dBA. En todo caso, se observa para el primer caso, no se distingue nada, ni objetivamente ni subjetivamente. En el segundo caso se observa una diferencia del nivel sonoro inferior a 1 dBA entre el ruido de fondo y el nivel de inmisión. Se observa que en éste caso los niveles son muy cercanos al límite inferior de medida del sonómetro, por lo que dichos valores no son exactos, siendo el nivel de ruido inferior al mostrado por el equipo de medida. En ambos casos no hay penalizaciones (K) que pudieran dar pie a una evaluación negativa, por lo que ambas actividades cumplen con lo establecido por la legislación vigente. Sin embargo, el ritmo musical es claramente perceptible en el segundo caso. Los técnicos municipales presentes durante la medición, constatan que la actividad “cumple”, pero se percibe el ritmo musical. Ante la presión que supone una queja por ruido en un consistorio, se optó en éste caso, por decir a la actividad que no cumplía con la legislación vigente. Esta situación pone en evidencia que con la legislación vigente actual, no se pueden valorar correctamente aquellos casos que por sus características suelen ser los más problemáticos.

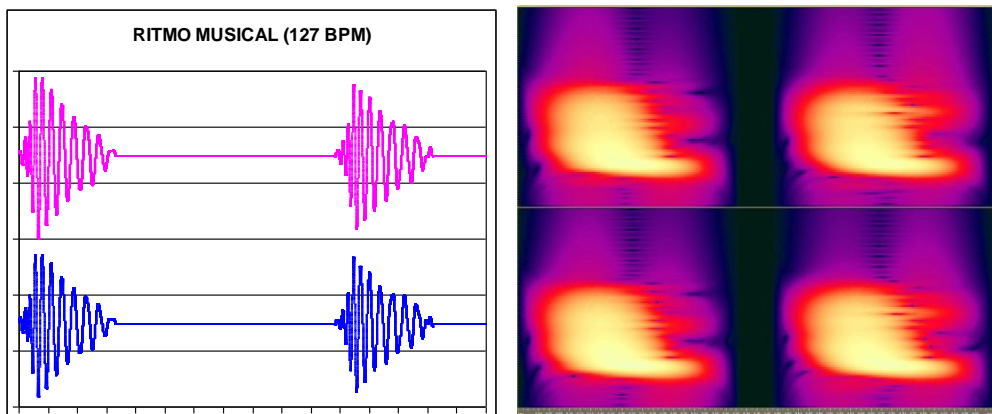
Si calculamos el contraste acústico definido como:  $C = L_5 - L_{90}$ , en un intento de obtener información complementaria que nos permita mejorar la visión del problema, los resultados obtenidos se resumen en la tabla siguiente.



CONTRASTE ACÚSTICO C		
	Ruido fondo	Inmisión
Actividad 1	1,3	1,8
Actividad 2	3,7	3,0

Se observa que el contraste acústico, tampoco permite en estos casos, encontrar un resultado que refleje la situación real. En el caso de la actividad 2 por ejemplo, el ruido de fondo presenta un contraste superior al nivel de inmisión, cuando en principio debería ser al revés.

Notemos que la búsqueda o análisis se hace principalmente a través de la distribución energética del sonido. Así, un ruido se puede penalizar por tener componentes de baja frecuencia y tonales, además de las impulsivas. Sin embargo, si se trata de describir lo que se percibe desde el dormitorio, las valoraciones son bastante coincidentes siendo la más repetida “el bum-bum”. En ningún momento se habla de una frecuencia sino de un tempo o cadencia, es decir, no importa la frecuencia del sonido, sino el ritmo de éste. Es esta cadencia rítmica la que produce realmente las molestias a las personas. Nótese que en la música actual más usual (EDM), el ritmo va de los 125 a los 150 bpm aproximadamente. A pesar de ser una frecuencia extremadamente baja, el ritmo concentra la energía sonora del grave generalmente en la banda de 50 a 80 Hz, durante breves instantes, lo que provoca un incremento de energía notable en breves espacios de tiempo. Estas discontinuidades de nivel sonoro, son los que utiliza el cerebro, en el proceso auditivo, para “captar” dichos desniveles y detectar el ritmo. En cierta manera el cerebro una vez detectado los primeros compases, busca ese patrón temporal constantemente, y eso hace que la persona afectada, generalmente presenta cuadros de angustia, estrés e irritación. El ritmo musical no precisa la atención del cerebro, simplemente mueve los músculos [10]. Las imágenes siguientes muestran a la izquierda, la evolución temporal de los dos canales (R y L) correspondiente a dos “beats”, y a la derecha el espectrograma correspondiente.



### 3.1. Consecuencias de la afección por componentes rítmicas.

El primer efecto que produce este tipo de ruidos sobre las personas afectadas es el aumento de la irritabilidad y de la intolerancia. En casos graves, cuando la persona está sometida a este ruido durante largos períodos, puede llegar a causar misofonía. La misofonía viene del griego “miso” y “fone” es la aversión hacia determinados sonidos. Es una enfermedad neurológica en la que determinados sonidos producen un cuadro de ansiedad, estrés, pánico o ira.

Normalmente la misofonía se produce en determinados individuos como reacción a sonidos habituales como, mascar chicle, sorber sopa, etc. Sin embargo en casos de afectación grave por un sonido con una cadencia rítmica, se observan los mismos síntomas.

#### 4. FACTORES INFLUYENTES EN EL CONFORT ACÚSTICO.

Si entramos “confort acústico” en algún buscador por internet, la gran mayoría de salidas hacen referencia a la calidad acústica de la construcción, y a toda una serie de productos comerciales para el aislamiento y tratamiento acústico de los recintos. Pero el confort acústico no es sólo como suena una sala o espacio cerrado, o el valor de aislamiento acústico de la construcción. El confort acústico se define como el nivel sonoro que una persona acepta cuando está en un espacio (abierto o cerrado) realizando cualquier actividad. También en los espacios exteriores hay sonidos que reconocemos, y nos permiten situarnos.

Durante nuestra infancia, el sentido auditivo, junto con el cerebro han adquirido muchísima información que se ha almacenado para su uso posterior. Esta información o aprendizaje, nos permite usar potentes funciones como el reconocimiento de un sonido, tenga o no contenido semántico, como una voz. Incluso, cuando la calidad del sonido es deficiente, como en el sonido procedente de un móvil, en la gran mayoría de casos, somos capaces de reconocer la voz de nuestro interlocutor. Es una fase de aprendizaje que realmente dura toda la vida, aunque la parte más intensa es durante la infancia. A través de la educación recibida, cada individuo establece su baremo o perfil sonoro típico en función del escenario sonoro donde esté inmerso. Y estos valores, no solo de niveles sino de frecuencias y evoluciones temporales, están matizados por la situación del momento que se vive. Esto hace difícil, establecer un escenario sonoro que satisfaga a cualquier persona en cualquier momento. No obstante, existen algunos elementos o características del sonido que en general pueden valorar positiva o negativamente el confort acústico de un entorno. El primer factor es la distribución espectral de la señal sonora. Los espectros con contenidos energéticos apreciables de medias y altas frecuencias, son en general más molestos, en parte porque el oído es más sensible a esas frecuencias.

Un ambiente acústicamente confortable, se considera a un sonido complejo que no supone un impedimento para realizar la tarea que se desea en ese momento. Por tanto el concepto “confortable” es muy subjetivo y cambiante. Si admitimos el carácter positivo del confort acústico, probablemente dudemos unos instantes en llamar ruido o sonido, a nuestra percepción acústica. El vocablo “ruido” siempre ha tenido connotaciones negativas, mientras que el vocablo “sonido”, tradicionalmente las tiene positivas.

#### 5. AMBIENTES SONOROS.

Uno de los sonidos que más ha cambiado en las últimas décadas, es el sonido que hay en los lugares donde la gente puede estar, como las calles y plazas de las ciudades, también llamado “soundscape”. Es claro que ha habido una evolución de la vida rural a la vida en ciudad, y los ruidos en ambos casos eran y son muy distintos. La transición de la vida rural a la vida urbana, puede ser caracterizada en cuanto al ambiente sonoro, como el paso del “Hi-Fi” al “Lo-Fi” (alta fidelidad a baja fidelidad, en el sentido de calidad sonora). La causa es la pérdida de los sonidos y ritmos cotidianos que se pueden encontrar en los ambientes naturales.

En los ambientes sonoros urbanos (“Lo-Fi”, baja calidad sonora) se producen ruidos con informaciones acústicas que entran en conflicto con los sonidos que queremos o deseamos escuchar [11].

Diariamente tenemos nuevas experiencias sonoras. Si no detectamos nuevos sonidos, nuestra experiencia sonora diaria puede llegar a ser aburrida. En estos casos en general se opta por dejar de prestar atención al sonido envolvente, y no recordamos ningún sonido concreto. Nuestro sentido auditivo funciona perfectamente, pero es como si no se “grabara” ninguna información en el cerebro. La presencia de nuevos sonidos, propicia la curiosidad auditiva y por tanto capta nuestro interés, aunque si la información presentada es muy redundante, o cuando los sonidos nuevos son extremadamente complejos, porque no podemos reconocerlos, se pierde esa curiosidad.

Un ejemplo de sonido monótono es el ruido en el interior de un avión mientras está volando. El nivel de presión sonora es elevado, entre 83 y 86 dBA aproximadamente, y el ruido se asemeja mucho al ruido rosa. Este tipo de ruidos, a pesar de su elevado nivel no es impedimento para que algunas personas se queden dormidas con facilidad, a pesar de ir vestidos, y en un asiento estrecho e incómodo. En este caso nuestro sentido auditivo, a los pocos minutos percibe, que no hay información nueva, y “desconecta”, lo cual permite conciliar el sueño perfectamente. Sucede lo mismo con el sonido de la lluvia, las olas del mar, etc. a los que se les atribuye erróneamente efectos relajantes.

Un ejemplo de sonido que despierta curiosidad es el procedente de la calle en el casco antiguo de una ciudad. Probablemente no haya tráfico de vehículos y los niveles de ruido ambiente sean bastante moderados, digamos entorno a los 40 – 45 dBA, pero las voces que aparecen irregularmente y con diferentes intensidades de algunos peatones, despiertan la curiosidad auditiva, y eso dificulta conciliar el sueño. Nótese que en estos casos podemos tener en el interior de la vivienda niveles entre 25 y 30 dBA, y sin embargo no es posible conciliar el sueño.

## **6. COMO RECONOCER UN AMBIENTE ACÚSTICO CONFORTABLE.**

Que es lo que analizamos, para decidir si un entorno es acústicamente confortable? De lo explicado anteriormente, se deduce que el nivel sonoro en un ambiente es importante, pero no es un factor determinante, y hay otros elementos que pueden ser más influyentes. El sonido debe “despertar” la curiosidad sonora para que nuestra percepción sea favorable, pero no en exceso, puesto que eso probablemente desencadenaría una reacción adversa en forma de molestia. En un primer paso, la curiosidad sonora se sustenta esencialmente en dos parámetros: la variabilidad temporal del nivel sonoro, y el contenido en frecuencia del sonido.

### **6.1. Variabilidad temporal del nivel sonoro.**

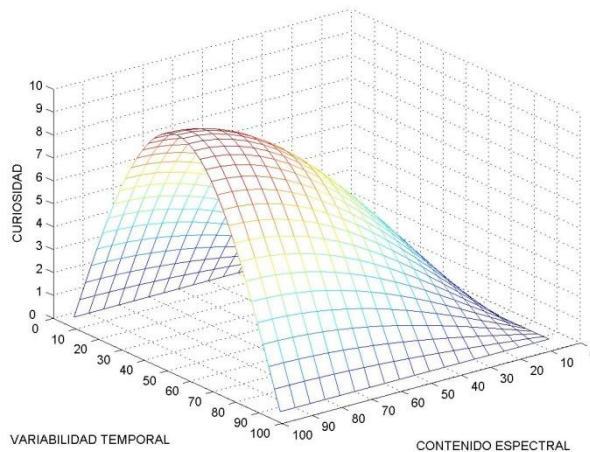
Un sonido monótono, es un sonido que presenta pocas fluctuaciones de nivel con el tiempo. La evolución temporal de la señal sonora es crucial para su valoración. El sistema auditivo no tiene curiosidad por este tipo de sonidos. La valoración del confort sonoro por parte del sentido auditivo no se hace en base a “integraciones” de varias horas, sino de unos segundos. Es una valoración dinámica, puesto que si el sonido es cambiante, puede pasar de una situación de confort a no confort. En todo caso, la variable temporal es un factor importante de cara a reconocer un ambiente sonoro confortable. Cuantas más variaciones de nivel de producen, menos confortable resulta ese ambiente.

No obstante, hay una connotación importante a destacar: los sonidos naturales como por ejemplo el trinar de un pájaro, o el ruido del agua de una fuente, aunque afloren netamente por encima del nivel medio sonoro, no suelen considerarse peyorativos. La connotación negativa se da principalmente para sonidos no esperados o no deseados y en general, de origen humano.

## 6.2. Contenido en frecuencia del sonido.

Los sonidos con contenidos de frecuencias altas y medias, son más estridentes que los sonidos con mayor contenido energético a frecuencias bajas y medias. Un sonido más estridente es valorado peyorativamente y no conduciría a valorarlo como confortable. Por otro lado la presencia de componentes tonales también conlleva una mayor valoración negativa, por lo que un sonido que se pueda considerar confortable, debe tener un espectro con bajo contenido en frecuencias altas y medias, y sin componentes tonales. Hay excepciones a tener en cuenta. Como en el apartado anterior, el trinar de un pájaro conlleva generalmente frecuencias medias y altas con componentes tonales, y sin embargo generalmente no se considera a estos sonidos estridentes.

La imagen siguiente ilustra de forma orientativa, como debe ser la relación entre variabilidad temporal, contenido en frecuencia y curiosidad suscitada del sentido auditivo. La variabilidad temporal va desde cero para señales con nula variación de nivel, hasta 100 que correspondería a una señal con variaciones importantes de nivel. Respecto del contenido espectral, éste sería tendente a cero para sonidos donde predomina la energía de baja frecuencia, y tendería a 100 para sonidos con energía a bandas medias y altas. El máximo de curiosidad se produce para un espectro con predominio de energía de baja frecuencia, y con unas variaciones temporales moderadas. Notemos que en ningún momento se tienen en cuenta los niveles sonoros.



## 7. INDICE DE IRRITABILIDAD ACÚSTICA.

La experiencia con espacios urbanos que se consideran aceptables acústicamente, es decir que se consideran más o menos confortables por las personas, presentan unos niveles sonoros (Leq 5 min) que oscilan desde los 45 dBA a los 56 dBA aproximadamente. Niveles de ruido más bajos son difíciles de obtener en período diurno, y niveles sonoros más elevados en general, no se consideran confortables. Cabe destacar que en ocasiones se considera más confortable un espacio con mayor nivel de presión sonora.

La razón es el uso del Leq, que integra la energía recibida en función del tiempo, y esto parece que no encaja bien con la percepción sonora. Los desniveles por ejemplo se valoran más negativamente que sonidos más continuos de mayor intensidad. Un sonido con mayores desniveles es más molesto, y en determinados momentos puede llegar a producir irritabilidad sobre las personas afectadas. El gráfico siguiente muestra el espacio de la irritabilidad acústica en función de la variabilidad temporal y de la estridencia del sonido. El confort acústico se situaría en la parte opuesta a la irritabilidad. (zona azul). Debido al carácter antagónico del índice de irritabilidad respecto al confort, éste indicador que parece más fácil de valorar, podría contraponerse al de confort acústico.

## 8. CONCLUSIONES.

La determinación del confort acústico de distintos escenarios sonoros, requiere una valoración subjetiva por parte de un panel de encuestas, y precisa usar señales que permitan a los encuestados situarse en la escena sonora. Para ello es imprescindible que los sonidos reproducidos sean en estéreo para permitir al sentido auditivo que extraiga la información tal como lo haría "in situ".

Debido a la capacidad de segregación sonora del sentido auditivo, es posible para una persona, detectar señales que no son medibles usando las técnicas "tradicionales" que emplean todas las legislaciones en materia de ruido. Esto comporta que, con mayor frecuencia de la deseada, el resultado de unas mediciones acústicas, dictaminen que se cumple la legislación, cuando en cambio, se percibe netamente un sonido, como el ritmo musical, por ejemplo. Sería aconsejable desarrollar unos protocolos de medida de mayor precisión, que permitieran cuantificar correctamente el grado de afectación por ruido sobre las personas, en los casos más delicados. Dichos protocolos se deberían basar inicialmente en mediciones estéreo.

Para cuantificar el confort acústico, es aconsejable utilizar indicadores basados en las sensaciones de nuestro sentido auditivo, buscando los puntos comunes que engloben una mayoría de valoraciones para distintas situaciones y casos. Estos indicadores podrían basarse en señales estéreo, sin necesidad de usar tecnología binaural, dado que lo que se valora es la sensación del sonido percibido, y no la localización de fuentes sonoras en un espacio 3D.

En una sociedad cada vez más informada y tendente a una mayor calidad de vida, parece necesario revisar los procedimientos de medida actuales y utilizar tecnología y conocimientos actuales para hacer evaluaciones del nivel sonoro más cercanas a la realidad.

## 9. BIBLIOGRAFIA.

- [1] R. Barti. *Uso del Contraste acústico para evaluar la molestia percibida per el ruido*. Tecnia Acústica'15. Valencia 2015.
- [2] B. Arrons. *A review of the cocktail party effect*. Journal of the American Voice Society. 1992
- [3] D. R. Soderquist, R. D. Shilling. *Loudness and the binaural masking level difference*. Bulletin of the Psychonomic Society 1990, 28 (6).

- [4] D. Jiang, D. McAlpine, A. R. Palmer. *Detectability Index Measures of Binaural Masking Level Difference Across Populations of Inferior Colliculus Neurons*. The Journal of Neuroscience, Dec 1997, 17 (23).
- [5] H. J. Gilbert, T. M. Shackleton, K. Krumbholtz, A. Palmer. *The Neural Substrate for Binaural Masking Level Differences in the Auditory Cortex*. The Journal of Neuroscience, 2015, 35 (1).
- [6] R. P. Carlyon. *How the brain separates sounds*. TRENDS in Cognitive Sciences. Vol. 8 n.10. 2004.
- [7] E. Holmes, B. Herrmann. *Revisiting the Contribution of Auditory Cortex to Frequency-Following Responses*. The Journal of Neuroscience, 2017. 37 (2).
- [8] E. Skoe, N Kraus. *Musical training heightens brainstem function during sensitive periods in development*. Frontiers in Psychology. 2013; 4:622
- [9] G. C. Galbraith. *Deficient brainstem encoding in autism*. Clinical Neurophysiology. Vol 119 Iss.8. 2008.
- [10] R. Kurnet, S. R. Jongman. *Entrainment to an auditory signal: Is attention involved?* Journal of experimental psychology: General. 146 (1). 2017
- [11] D. Ipsen. *The Urban Nightingale or some theoretical considerations about sound and noise*. Finnish Society for Ethnomusicology 2002. Series A; 51.