

TÉCNICAS MODERNAS APLICABLES A LA OPTIMIZACIÓN ACÚSTICA DE OFICINAS ABIERTAS

PACS: 43.55.Ka

Notario Tévar, Antonio
Datakustik GmbH
C/ Calera 3, Loft 49
28760 Tres Cantos
España
+34 91 219 08 78
antonio.notario@datakustik.com

ABSTRACT

The primary focus during the acoustical planning of production facilities is to reach a low sound pressure level. Meanwhile, the distraction through understandable speech information is a main target during the acoustical optimization within open-plan offices. A technique based on the Sound Transmission Index according to IEC 60268-16 has been integrated into an acoustical planning system. The German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy supported the development of a software based procedure for the acoustical optimization of open-plan offices. This paper will illustrate the suitable steps to reach specific requirements for reverberation time and speech intelligibility within working groups.

RESUMEN

El objetivo principal de la optimización acústica en oficinas abiertas es reducir la distracción causada por conversaciones con información inteligible. En la presente comunicación se detalla la integración de una técnica basada en el Índice de Transmisión Sonora según la norma IEC 60268-16, promovida por el Ministerio de Asuntos Económicos Alemán, con el fin de proporcionar un procedimiento de optimización acústica de oficinas basado en simulación. A continuación se presentan los pasos necesarios para alcanzar requisitos suficientes de tiempo de reverberación e inteligibilidad de la palabra en equipos de trabajo, mientras se aseguran valores adecuados para grupos no interactivos.

INTRODUCCION

En el planeamiento de oficinas abiertas, el objetivo principal es el de asegurar condiciones acústicas satisfactorias especialmente en lo relativo a la inteligibilidad y la palabra, por encima de otros objetivos más acordes con la realidad industrial. Dichas condiciones pueden ser diferentes y en algunos casos, contradictorias – mientras algunas áreas requieren una comunicación relajada, otras necesitan asegurar una cierta confidencialidad en las conversaciones de distintos grupos de trabajo. Para asegurar estas propiedades acústicas, es ventajoso predecir los parámetros acústicos más relevantes en el proceso de planificación. A continuación se muestran los pasos más importantes a seguir en la planificación acústica de espacios interiores mediante simulación, en la elección acústica del mobiliario necesario y en la optimización de alternativas.

MÉTODOS DE CÁLCULO Y ESTRATEGIAS DE SOFTWARE

Los procedimientos descritos a continuación se han ejecutado aplicando el software CadnaR¹. En concreto, se aplica una estrategia híbrida, la cual está basada en el uso de Ray Tracing determinístico para el cálculo de la propagación de sonido directa incluyendo efectos de apantallamiento, y de un método estadístico basado en partículas para calcular la propagación en función de un mayor orden de reflexión o de un tiempo de propagación definido que depende de un valor de precisión requerida para los resultados.

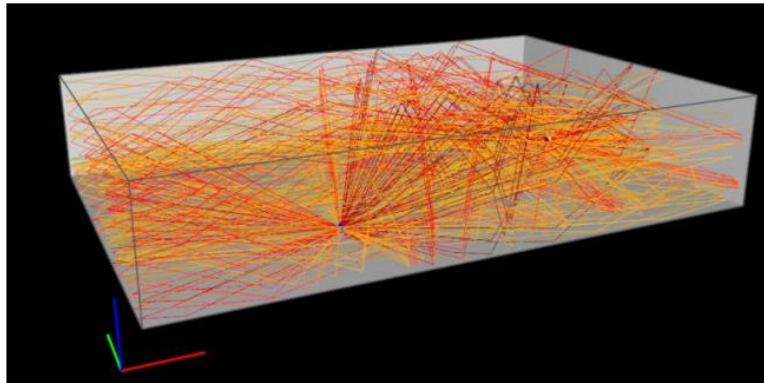


Fig.1 – Rayos acústicos calculados mediante el método de la fuente imagen (Ray-Tracing)

Con el método de partículas, el volumen acústicamente relevante es subdividido en pequeños volúmenes unitarios – llamados vóxeles -, donde la energía de las partículas que los cruzan es sumada y las trayectorias promediadas con el fin de determinar la contribución a la densidad de energía final en esa posición. El tamaño de los vóxeles define la resolución acústica e influencia al tiempo de cálculo necesario para mantener la incertidumbre estadística por debajo de ciertos límites.

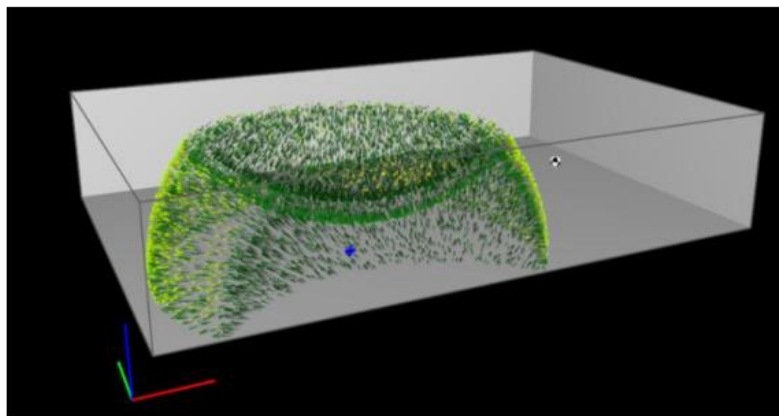


Fig.2 – Método de partículas. Distribución de las partículas después de la primera reflexión en techo y suelo

LAS PROPIEDADES ACÚSTICAS DEL MOBILIARIO Y DE SUS UNIONES

Se considera suficiente incluir en el modelo virtual tanto los muebles como las uniones que sean acústicamente relevantes en función de su tamaño, así como caracterizarlos con sus valores de absorción, transmisión y dispersión en bandas de octava. Un nivel de detalle

exagerado no tiene ningún sentido y no supone una precisión añadida en el cálculo de los rayos. Por ello, tiene sentido aplicar técnicas de filtrado en software de simulación acústico en caso de que los modelos informáticos disponibles hayan sido creados con fines de visualización y planificación. Estos filtros deben considerar solamente las estructuras básicas, incluir sus parámetros acústicos y suprimir los detalles irrelevantes.

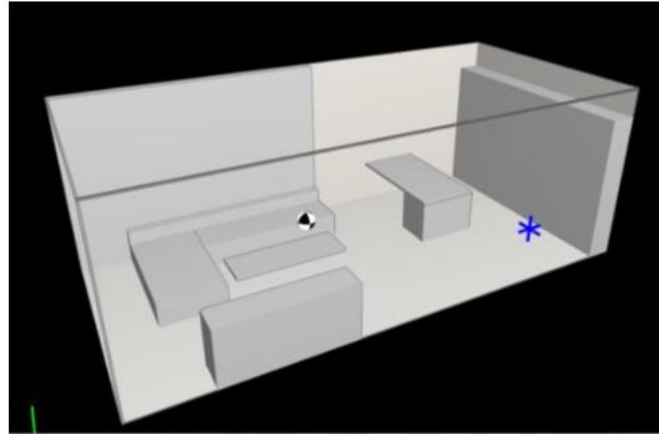


Fig.3 –Modelo simplificado de oficina

Teniendo en cuenta la importancia creciente de estas técnicas de simulación acústica es necesario incluirlas en el marco de la estandarización. Esto relaciona diversos aspectos como la descripción acústica de los materiales de construcción, la definición de criterios de calidad y la formulación de requisitos.

Un ejemplo típico es la definición del índice de absorción para módulos de techo en la nueva norma VDI 3755². Estos módulos son superficies absorbentes suspendidas del techo de forma que existen huecos entre ellas. Debido a su distribución incluso su parte posterior contribuye a la absorción total del sistema.

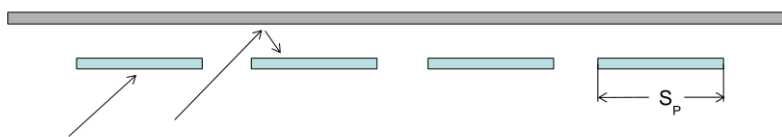


Fig.4 – La parte posterior de las planchas en el techo contribuyen a la absorción total – si el área de absorción equivalente determinada en cámara reverberante se relaciona con el área de una plancha S_p los índices de absorción exceden 1

De acuerdo con la norma mencionada, el área absorbente equivalente A , determinada para una distribución de n módulos en una cámara reverberante, se divide por n para obtener la absorción de un único elemento y subdividido por el área de un lado de la superficie para obtener el $\alpha_{\text{módulo}}$. Los valores >1 han de aplicarse sin sustituirlos por 1. Si se incluyen estos elementos en la simulación acústica, los valores >1 no pueden tenerse en cuenta debido a que las partículas que chocan con la superficies sólo pueden ser absorbidas totalmente. No obstante, las partículas que atraviesan los huecos podrían ser absorbidas por la cara posterior de los elementos (por tanto no es necesario incrementar el coeficiente de absorción de la cara anterior para tener en cuenta la absorción de la cara posterior).

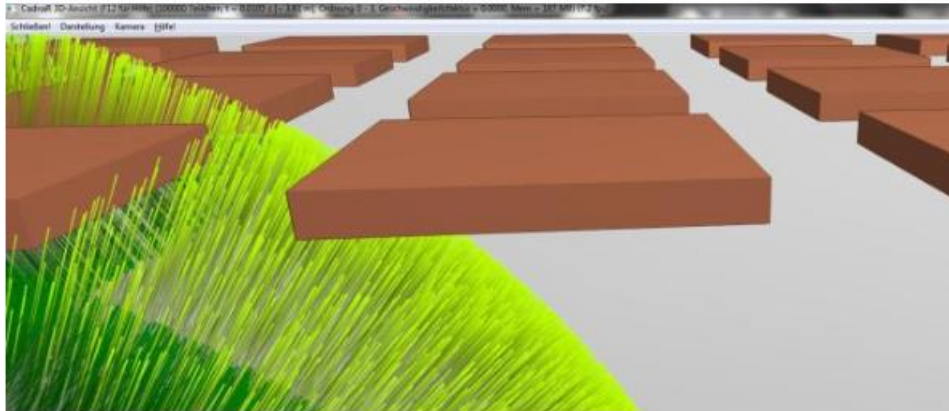


Fig.5 –Partículas atravesando una distribución de planchas absorbentes

Solamente existen dos formas correctas de describir estos sistemas. El primer método – cada vez más importante gracias a las técnicas de simulación – es describir una superficie singular mediante su coeficiente de absorción y el índice de dispersión para ambas caras independientemente, así como con el coeficiente de transmisión. Esto permite incluir sistemas con diferentes distancias, huecos y absorciones en la superficie. Por tanto, se puede calcular el comportamiento de los distintos sistemas sin necesidad de realizar mediciones independientes para cada uno de ellos.

El segundo método se basa en relacionar el área equivalente de absorción de un único elemento dispuesto en un sistema determinado con la proyección de la superficie S_B del sistema para un elemento. Este coeficiente de absorción describe un sistema en concreto y no es una propiedad de la superficie individual.

En una simulación acústica, el sistema completo puede ser reemplazado por una superficie con un coeficiente de absorción medio. Esto es aplicable también a sistemas de baffles con paneles verticales o superficies.

REQUISITOS ACÚSTICOS PARA OFICINAS DE ACUERDO CON LAS NORMAS Y SU APLICACIÓN EN LA PLANIFICACIÓN

La norma DIN 18041⁴ es un estándar que formula requisitos generales de salas, donde las oficinas constituyen un subgrupo (B4), dentro de los dos grupos empleados para clasificarlas (A y B). No obstante, si se desea alcanzar los valores de calidad acústica límites recomendados o requeridos para el cociente de la absorción equivalente y el volumen (A/V) así como requisitos adicionales, se recomienda la norma VDI 2569⁵

La norma VDI 2569 fija requisitos para:

- Tiempos de reverberación máximos aceptables
- Niveles de presión sonora máximos aceptables provocados por el edificio (e.g. instalaciones, pero no personas).
- Valores límite de parámetros característicos, que pueden derivarse de niveles de niveles de presión sonora medidos a lo largo de trayectorias de acuerdo con la norma ISO 3382-3⁶ (disminución de nivel al doblar la distancia $D_{2,S}$ y nivel de presión sonora ponderado A $L_{p, A, S, 4m}$ de la conversación en una distancia de 4m).

También se menciona la distancia de distracción r_D , siendo la distancia desde un altavoz de referencia hasta el punto donde el Índice de Transmisión de la Palabra STI, de acuerdo a la norma IEC 60628-16⁷ ha caído a valores por debajo de 0.5.

En la fase de planificación, los valores de estos parámetros característicos deben ser determinados mediante técnicas de simulación o estimados en base a experiencias anteriores. En el caso del tiempo de reverberación, no existe problema alguno, ya que las técnicas de simulación anteriormente descritas permiten calcular la respuesta de la sala incluso en distintas posiciones y sin las limitaciones dadas por la teoría de Sabine – de acuerdo a EN 12354-6⁸ -. También es posible calcular el STI a partir de los ecogramas teniendo en cuenta o no el ruido de fondo.

La determinación de los valores característicos derivados de las trayectorias de receptores es algo más complicada. Las trayectorias definidas en la ISO 3382-3 atraviesan puestos de trabajo que pueden estar separados por particiones y otros objetos apantallantes y, por tanto, la predicción de niveles debe tener en cuenta el sonido difractado. Para solucionar estas dificultades, se calcula el sonido directo desde el emisor a todos los receptores teniendo en cuenta todas las trayectorias de rayo posibles, así como la atenuación de acuerdo a la ISO 9613-2⁹. El sonido reflejado se simula mediante el modelo de partículas hasta un orden de reflexión o tiempo de propagación determinados. Esta estrategia permite calcular los parámetros derivados de las trayectorias de receptores en oficinas abiertas de cualquier complejidad.

Un ejemplo sería el modelo simplificado de una oficina que se muestra en Fig. 6. En ella, existe un área separada por una partición que sirve a modo de centro de comunicación, en la cual las conversaciones son confidenciales.

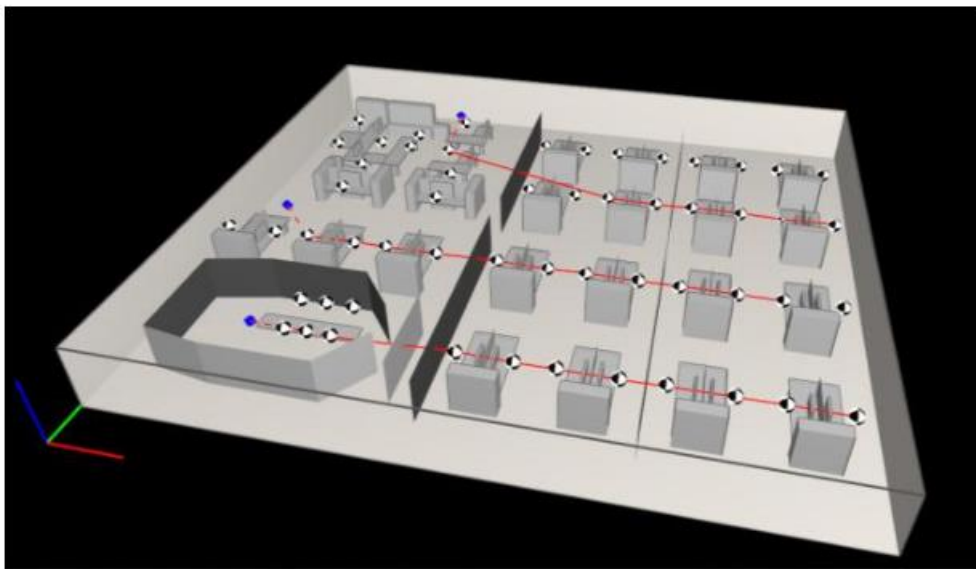


Fig.6 –Oficina abierta con muros separadores y 3 cadenas de receptores (rojo) para predecir los parámetros y clasificar la calidad del medio de acuerdo a VDI 2569

Las trayectorias mostradas en color rojo se establecen en el modelo virtual como cadenas de puestos de trabajo, asignando una fuente a cada una. El espectro de potencia sonora relacionado con la voz se asigna a cada una de las fuentes y el cálculo se ejecuta mediante una secuencia automatizada, cadena a cadena.

Asumiendo un techo suspendido absorbente, los diagramas de las figuras 7, 8 y 9 muestran los resultados correspondientes a la primera cadena, empezando a partir del área de comunicación.

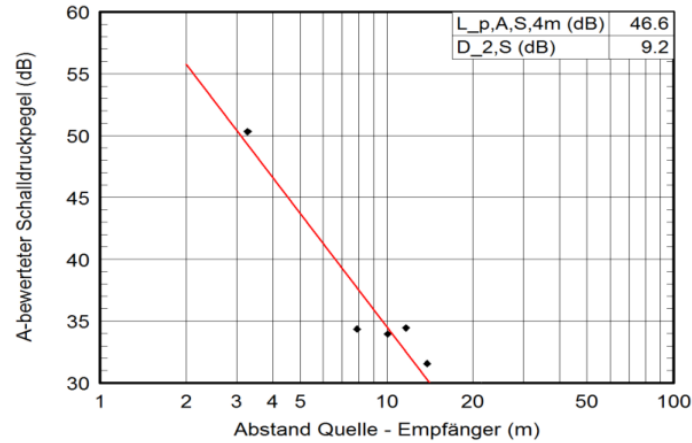


Fig.7 –Niveles acústicos a lo largo de la trayectoria 1, con $D_{2,s}$ y $L_{p,A,S,4m}$

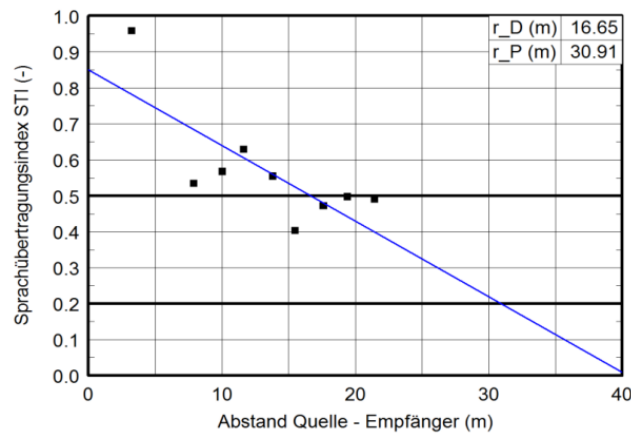


Fig.8 –Dependencia del STI en relación a la distancia calculada en los puntos de la cadena de receptores – La distancia de distracción es 16,65 m

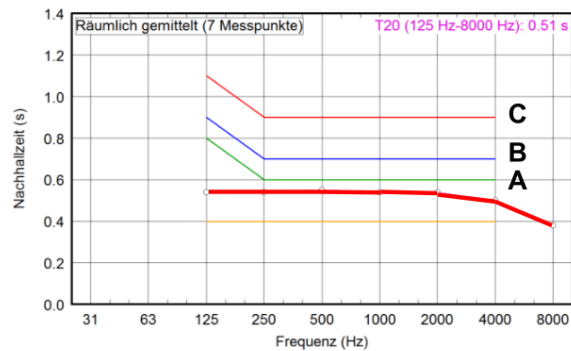


Fig.9 –Tiempo de Reverberación (Rojo) promediado en todos los puntos de la cadena de receptores, con los límites para las clases de sala A, B y C

LA APLICACIÓN DEL STI

De acuerdo a la norma VDI 2569, el STI y la distancia de distracción no tienen en cuenta el nivel de ruido de fondo, incluso si es conocido o típico de una oficina abierta. El STI cuantifica en cierto modo la alteración de la modulación de la palabra debido a la reverberación y a otras señales acústicas no correlacionadas con la señal. Estos ruidos de fondo son la principal razón de que la inteligibilidad de la palabra disminuya si la intensidad de la señal también lo hace. El STI incorpora ambos efectos – la influencia de la reverberación y el ruido de fondo -. La figura 10 muestra la dependencia del STI del tiempo de reverberación (en el diagrama: “Nachhallzeit”) y del SNR - la diferencia entre el STI y el ruido de fondo (en el diagrama: “Pegeldifferenz Sprachschall – Hintergrund”) -. El cálculo de esta superficie de STI se basa en un campo sonoro difuso o en una caída de nivel lineal después de que la fuente cese su emisión.

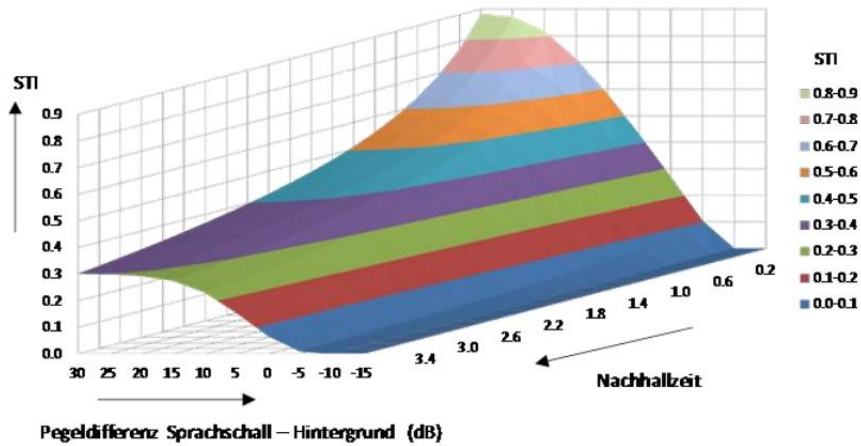


Fig.10–STI como función del tiempo de reverberación y de la diferencia de nivel señal – ruido de fondo

Si no consideramos el ruido de fondo, entonces el STI - respecto a una posición concreta del emisor - no depende del nivel de señal, y por tanto, sólo estará influenciado por una disminución de la modulación. Así pues, las pantallas o cualquier otro tipo de elemento atenuante tienen una influencia pequeña en el STI, debido a que reducen los niveles bajos y altos en la misma medida y por tanto, no influyen a la profundidad de la modulación. En realidad, las pantallas son apropiadas para reducir la inteligibilidad de la palabra, ya que reducen el nivel y por tanto, la diferencia entre la señal y el ruido de fondo es menor.

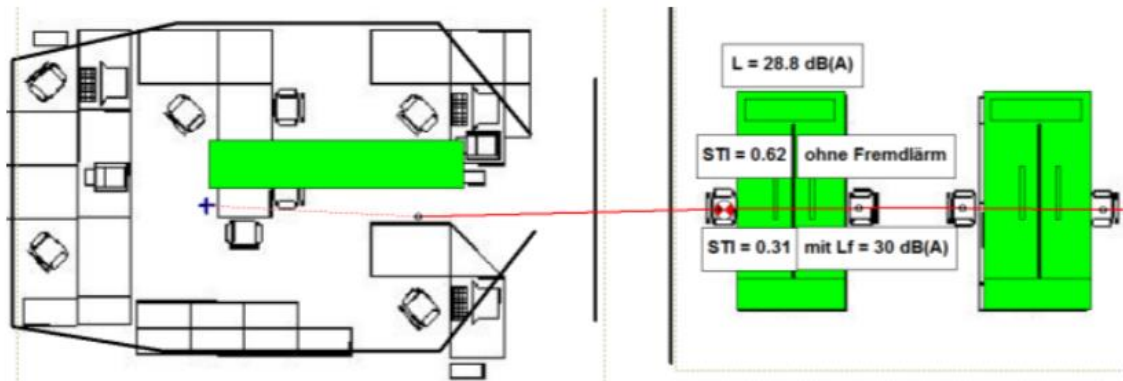


Fig.11–Evaluación de la inteligibilidad de la palabra desde el centro de comunicación al puesto de trabajo detrás de la pantalla a la derecha.

En la figura 11, se muestra un ejemplo donde el STI en el puesto de trabajo situado a la derecha ha sido calculado con la fuente de ruido en el interior de la zona de comunicación. La sala tiene una altura de 3 m y el techo es absorbente. Los puestos de trabajo están separados por una pantalla de 2 m de altura. Sin tener en cuenta el ruido de fondo, el puesto de trabajo está dentro del área de distracción. Sería entonces correcto concluir que no existe un nivel de privacidad suficiente y que lo hablado en el área de comunicación se entiende en el exterior. Pero si se tiene en cuenta un ruido de fondo de 30 dB(A) – valor bajo para este tipo de oficinas – el STI será entonces de 0,3. Este hecho está en línea con la experiencia: los elementos absorbentes y apantallantes ayudan a reducir el nivel de la señal y por tanto, la diferencia con respecto al ruido de fondo hará que otros sonidos influyan en la inteligibilidad.

CONCLUSIONES

La norma VDI 2569 puede ser de ayuda como un sistema de clasificación general para oficinas, pero es recomendable tener en cuenta las necesidades individuales de inteligibilidad entre las distintas áreas de trabajo en el proceso de planificación de dichas oficinas.

El STI debe considerarse el parámetro más importante para clasificar ambientes de trabajo tales como oficinas, aulas y otras salas donde la inteligibilidad es importante. En el caso de oficinas abiertas existen grupos de trabajo que necesitan una comunicación relajada, mientras que grupos vecinos donde la inteligibilidad disminuye hace que su concentración decrezca y la molestia aumente.

Teniendo en cuenta estos aspectos tiene sentido clasificar el nivel de ruido de fondo considerado como no apto para áreas de trabajo típicas – mediante los percentiles L_{90} o L_{95} – y tomar estos valores como parámetros de entrada en las simulaciones si el STI es la base de futuras decisiones de diseño.

REFERENCIAS

1. DataKustik GmbH, "CadnaR – Software for Interior Sound", www.datakustik.com
2. Guideline VDI 3755:2013 "Sound insulation and sound absorption of suspended ceilings"
3. Wolfgang Probst: "Sound Absorption of Baffle Systems" – Lärmbekämpfung Bd.3 (2008) Nr.2
4. E DIN 18041:2015-02 "Acoustic quality in small to medium – sized rooms"
5. VDI-Richtlinie 2569 E: "Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro", Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin
6. ISO 3382-3 Acoustics - Measurement of room acoustic parameters -- Part 3: Open plan offices
7. EC 60268-16: Sound system equipment; Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index, ISBN 978-2-88912-522-7
8. EN 12354-6:2003 Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Sound absorption in enclosed spaces.
9. ISO 9613, Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors, Part 2 (1996-12): General method of calculation.