TECNIACUSTICA MURCIA · 2014

45º CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA
8º CONGRESO IBÉRICO DE ACÚSTICA
EUROPEAN SYMPOSIUM ON SMART CITIES AND ENVIRONMENTAL ACOUSTICS

REDUCCION Y OPTIMIZACION DEL RUIDO EN ESPACIOS DE TRABAJO

PACS: 43.55.Ka

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

ABSTRACT

Caused by various studies underlining the negative effects of noise exposure and insufficient sound quality within workspaces, this topic receives a growing public attention. These negative impacts include stress symptoms, cardiovascular problems, communication problems and a reduced productivity. In contrary to environmental noise problems caused by infrastructure (aircraft noise, road noise etc.), the responsibility of noise problems within work spaces is distributed among millions of different companies which all require individual solutions. This paper provides an overview of research problems, possible solutions and existing techniques to build procedures oriented to efficiently and precisely analyze noise reduction measures within workspaces.

RESUMEN

Recientes investigaciones remarcan los efectos negativos causados por la insuficiente calidad acústica existente en espacios de trabajo. Dichos efectos incluyen baja productividad, estrés e incluso problemas cardiovasculares. Al contrario que en el caso de ruido ambiental, la responsabilidad de la calidad acústica en zonas de trabajo recae en multitud de empresas, que a su vez requieren soluciones individualizadas. El presente trabajo se centra en los problemas, posibles soluciones y técnicas existentes para crear un procedimiento preciso y eficiente de análisis de medidas enfocadas a mejorar la calidad acústica de recintos, tales como oficinas y aulas.

INTRODUCCION

La predicción de niveles de ruido en espacios de trabajo, durante la fase de planificación de plantas industriales con maquinaria constituye un valioso apoyo para asegurar un nivel de ruido confortable de acuerdo al estado del arte o a un presupuesto dado. La aplicación de métodos de predicción es una práctica común para planificar instalaciones que pueden afectar a las áreas residenciales más cercanas. No obstante, la predicción de ruido en el puesto de trabajo es de lejos más complicada que en el caso de la propagación exterior. En primer lugar, las distancias entre el emisor y el puesto de trabajo en ocasiones son pequeñas en relación al

tamaño del emisor; en segundo lugar, los emisores son muy a menudo complejos desde el punto de vista acústico. Por último, el ruido en el puesto de trabajo está íntimamente ligado al cálculo en interiores, y por ello un cálculo en 3D ha de tener en cuenta un número muy grande de contribuciones por reflexión.

ESTRATEGIA PARA INCLUIR LA COMPONENTE ACÚSTICA EN LA PLANIFICACIÓN

La salida de energía sonora de los emisores acústicos está descrita suficientemente con un único valor – la potencia sonora L_{WA} según [2]. Este valor es una propiedad del emisor y es independiente del entorno donde está emplazado. Describe el sonido radiado en todas direcciones. Si un puesto de trabajo, como puede ser la posición de un un operador, está conectado con una máquina, el nivel de presión sonora de emisión L_{pa} según [3] proporciona información adicional para caracterizar la fuente. Por lo general estos dos valores junto con las propiedades de absorción de la propia sala, son la base de entrada de datos a la hora de realizar un modelo de predicción y con él, planificar soluciones optimizadas desde el punto de vista económico.

ESTRATEGIA DE PREDICCIÓN DE NIVELES DE RUIDO MEDIANTE SOFTWARE

Existen dos enfoques diferentes para calcular la propagación del sonido en salas, con muchas reflexiones afectando a los niveles de ruido en los receptores. El primer método está basado en rayos y debe encontrar todas las trayectorias posibles entre emisores y receptores. Si un rayo entre emisor y receptor es reflejado n – veces, entonces se trata de una reflexión de orden n.

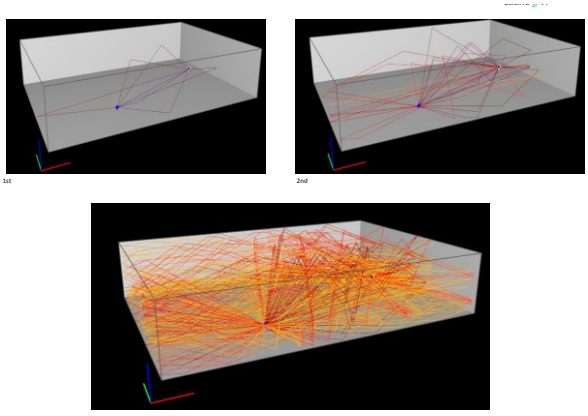


IMAGEN 1: rayos generados con el método de la fuente imagen

La imagen 1 muestra arriba a la izquierda el rayo directo y 6 rayos de primer orden, a la derecha todos los rayos de primer y segundo orden, mientras que en la imagen inferior, todos los rayos reflejados hasta el quinto orden. La ventaja de este método es que la atenuación por apantallamiento es relativamente sencilla de calcular.

El aumento exponencial de cálculos necesarios al elevar el orden de reflexión – necesario cuando se estudia una sala reverberante – es de lejos menos dramático con el modelo de partículas mostrado en la imagen 2.

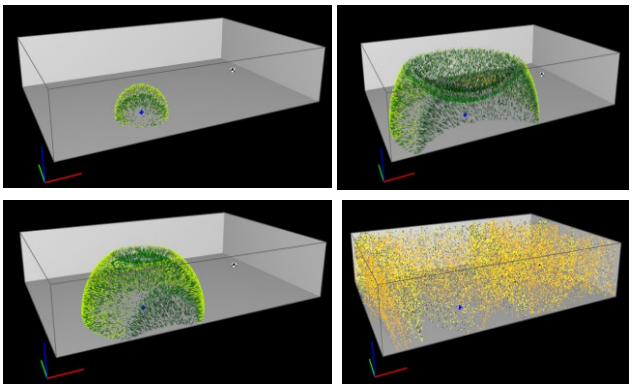


IMAGEN 2: propagación del sonido simulado con la técnica de partículas

Miles o incluso millones de partículas de sonido son lanzadas estadísticamente distribuidas en todas direcciones desde el emisor acústico, siguiendo una propagación en línea recta entre reflexiones producidas por la propia sala y otros objetos.

El paso más importante en el proceso es el modelado de la sala, incluyendo todos los parámetros acústicos y geométricos relevantes en el cálculo de los niveles de ruido. En el caso de los emisores, las máquinas de pequeño tamaño y dispositivos como la prensa mostrada en la imagen 3 pueden simularse como un simple emisor puntual.

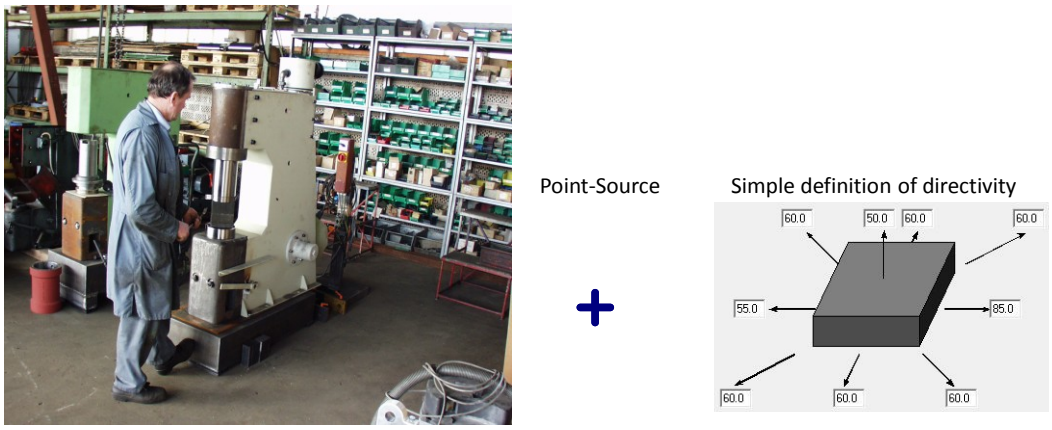


IMAGEN 3: (izda): prensa | (dcha): simulación mediante un emisor puntual con información de su directividad

Su posición en la sala está determinada por sus coordenadas x, y, z y la emisión acústica definida por los valores antes mencionados L_{WA} y $L_{pA.}$

La máquina de llenado mostrada en la imagen 4 incorpora una cubierta por razones de seguridad – en este caso el sonido es radiado a través de una superficie más amplia y produce un campo sonoro que no puede simularse mediante un emisor puntual. En este caso pueden emplearse otros objetos, tales como emisores volumétricos con un tamaño arbitrario y donde cada superficie emisora es independiente.

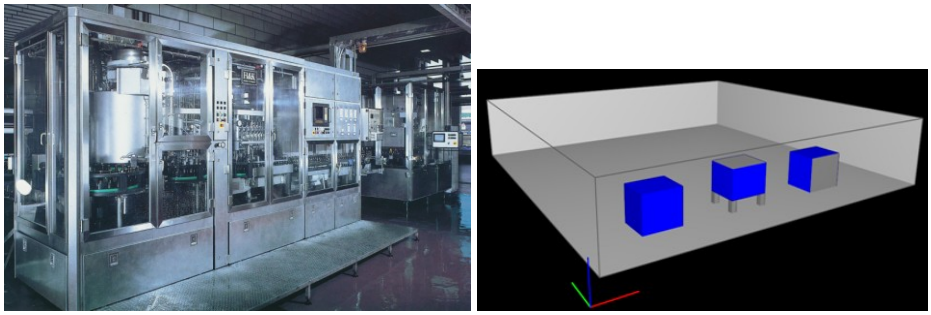


IMAGEN 4: (izda): máquina de llenado en planta de embotellado | (dcha): simulación mediante un emisores volumétricos con diferentes superficies radiantes

Con la combinación de emisores puntuales, lineales y volumétricas, es posible simular sistemas de cualquier complejidad. La imagen 5 muestra una máquina de lavado de botellas, mientras que a la derecha se muestra el correspondiente modelo virtual.

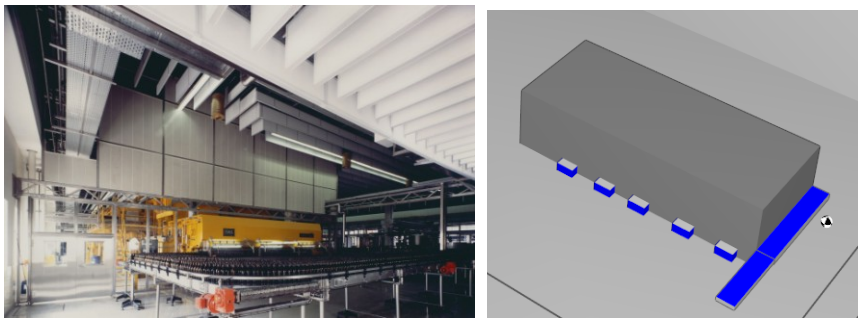


IMAGEN 5: (izda): máquina de lavado de botellas | (dcha): modelo virtual de la misma máquina

Una importante característica de cualquier software es la facilidad para ensamblar este tipo de sistemas. Los valores de emisión L_{WA} y L_{pA} es en este caso aplicado como valor global, de forma que todas las superficies radiantes deben adaptar su emisión al total. Las trayectorias de las partículas de sonido emitidas desde las partes acústicamente relevantes de la máquina, son calculadas teniendo en cuenta que el cuerpo de ésta es acústicamente opaco, tal y como puede apreciarse en la imagen 6.

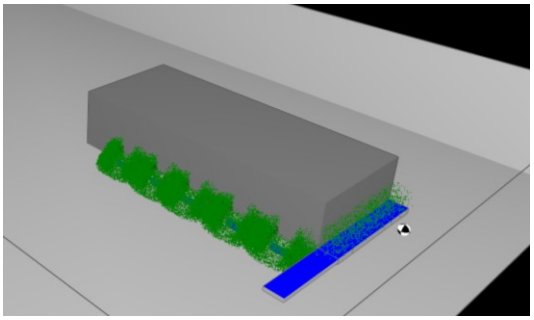


IMAGEN 6: partículas emitidas interaccionando con el cuerpo de la maquina

La distribución de los niveles de presión sonora en la sala son calculadas mediante conteo de las partículas que atraviesan una unidad de volumen alrededor del receptor. La imagen 7 muestra la sala dividida en estos volúmenes unitarios llamados “voxels”.

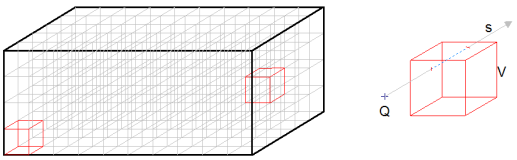
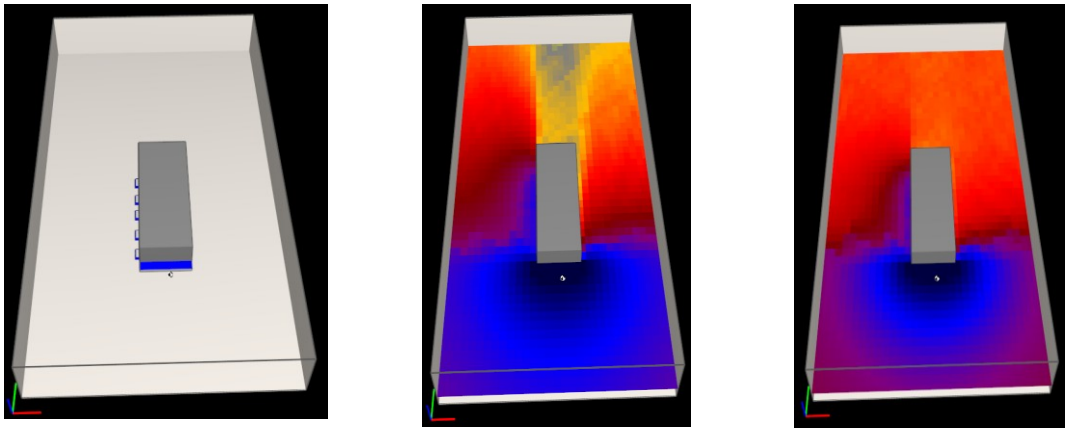


IMAGEN 7: subdivisión de la sala en “voxels” para el conteo de las partículas

La imagen 8a muestra la máquina situada en el centro de la sala, la 8b la distribución de la presión sonora simulando superficies totalmente absorbentes – y por tanto simulando campo libre – mientras que 8c muestra el mismo cálculo con datos reales de absorción. La distribución en este caso es más suave debido a la adición de presión sonora producida por órdenes de reflexión superiores.



8a **8b** **8c**

IMAGEN 8: (8a) máquina en la sala; (8b) distribución de niveles con paredes y techo absorbente; (8c) distribución con paredes reflectantes

La gran ventaja del método presentado es la posibilidad de integrar de forma local medidas de reducción de ruido efectivas, y compararlas entre sí.

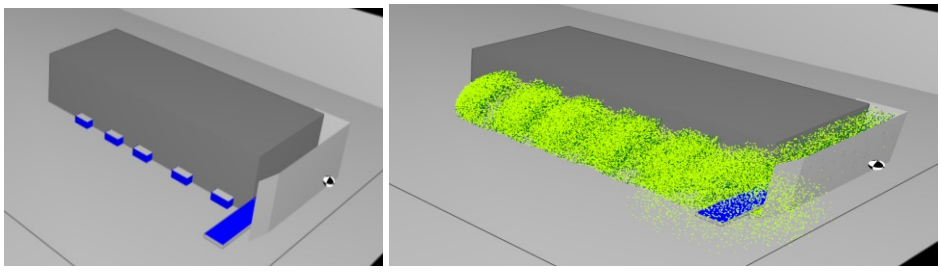


IMAGEN 9: (izda) pantalla entre receptor y maquina; (dcha) partículas reflejadas por la pantalla

La imagen 9 muestra un ejemplo de protección de un puesto de trabajo gracias a una pantalla ópticamente transparente, sirviendo como atenuador de ruido para la posición del trabajador. Incluso es posible simular la instalación de un sistema compuesto por difusores, de forma que se reduzca el sonido reflejado por el techo. La imagen 10 muestra cómo las partículas penetran a través del sistema objeto de estudio.

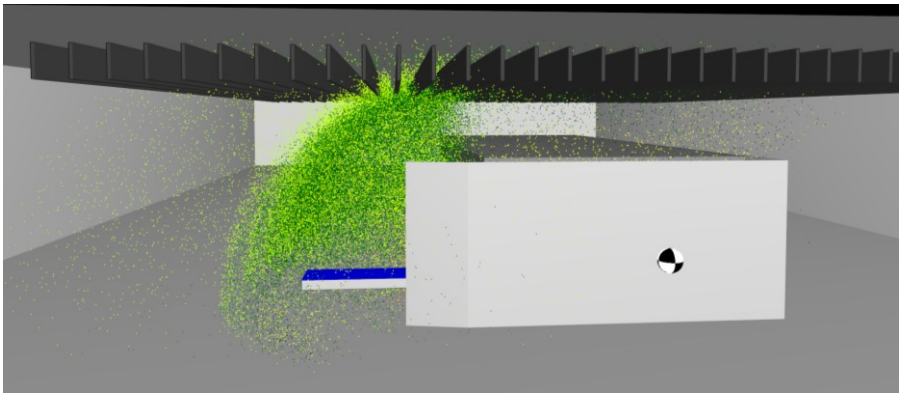


IMAGEN 10: sistema absorbente instalado encima de la maquina

APLICACIÓN EN LA OPTIMIZACION DEL SONIDO EN ESPACIOS DE TRABAJO – OPEN PLAN OFFICES

Los ejemplos anteriores han sido seleccionados para exponer los principios y conceptos básicos que sustentan el uso de estrategias de predicción para minimizar la exposición al ruido en un amplio número de escenarios, básicamente industriales.

No obstante, estas técnicas no están solamente orientadas a la creación de puestos de trabajo con una probabilidad mínima de daño en la audición, sino que ayudan a controlar otros aspectos del impacto sonoro. Un ejemplo claro es la planificación de amplios espacios de trabajo – conocidos como open – plan offices – donde la distribución de los puestos de trabajo, materiales, y por extensión, toda la sala, debe ser optimizada para reducir la perturbación provocada por la comunicación entre personas. O al contrario, en zonas de trabajo en grupo, donde una buena inteligibilidad de la palabra tiene que estar garantizada entre los miembros de un grupo de trabajo.

El modelo acústico 3D de una oficina como la que se muestra en la imagen 11 debe estar simplificado desde el punto de vista arquitectónico, pero contener toda la información acerca de las propiedades acústicas de los elementos principales, como el mobiliario, techo flotante y otros elementos.

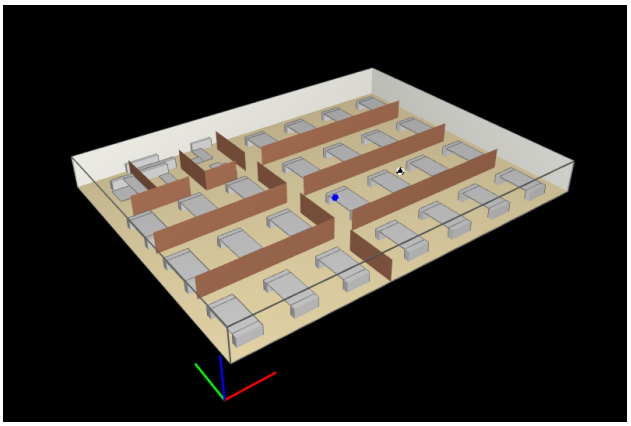


IMAGEN 11: modelo 3d acústico de una oficina

Las pantallas y separaciones parciales que subdividen el área en diferentes sub áreas, deben optimizarse de forma que cada grupo de trabajo pueda comunicarse sin problemas a la vez que no ser molestado por conversaciones procedentes de otros grupos. Una posibilidad es emplear ciertos parámetros acústicos como el STI (Speech Transmission Index) y mostrar el área alrededor de un puesto concreto de trabajo. En la imagen 12 puede observarse un área de completo entendimiento (blanca), muy cercana al propio trabajador, un área de distracción y finalmente la zona fuera de la distancia de privacidad, donde esa persona en concreto no será entendida con una alta probabilidad.

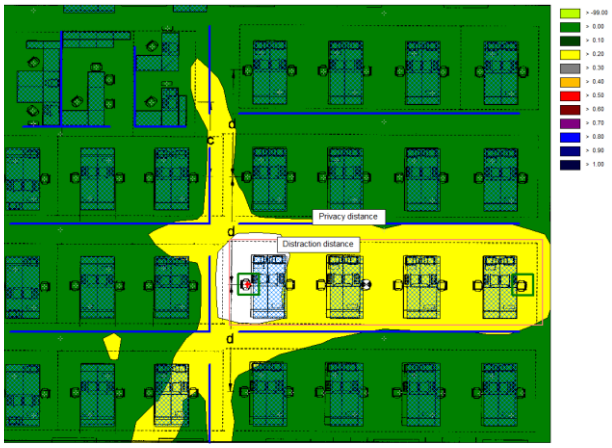


IMAGEN 12: distancia de distracción y distancia de privacidad alrededor de un puesto de trabajo basado en el parámetro calculado sti

Obviamente, la optimización de estos espacios, u otros como aulas o espacios públicos, pueden conducir a un amplio número de escenarios futuros. Las ventajas de esta estrategia basada en software se hacen más obvias cuanto más complejo es el modelo. Cualquier sistema complejo – como una máquina compuesta de multitud de sub sistemas que a su vez incluyen múltiples fuentes sonoras, o una solución aplicable a una oficina, compuesta de varios materiales y elementos distintos – puede ser tratado como un único elemento. Dichos elementos pueden ser integrados en cualquier escenario, modificados, duplicados, etc. El concepto, denominado “Object Tree” es un sistema de organización basado en carpetas con una estructura jerárquica que permite crear multitud de escenarios diferentes para su posterior comparación, ya que los resultados son calculados y almacenados en el mismo proyecto. Así,

se optimiza enormemente el proceso de toma de decisiones y posterior refinamiento de la solución adoptada.

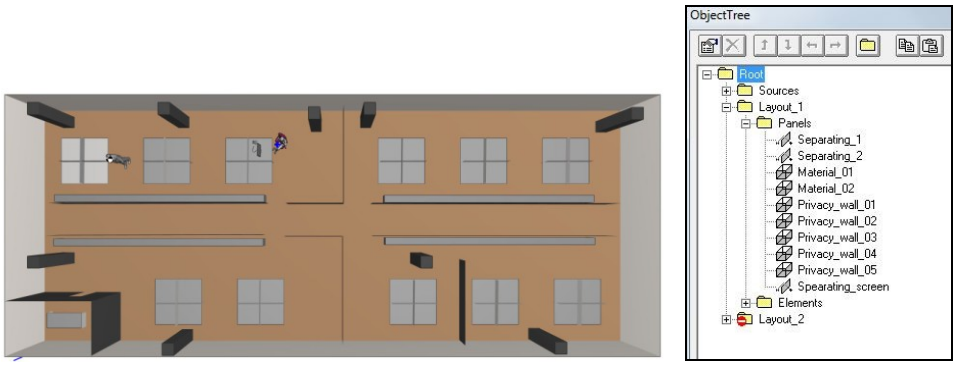


IMAGEN 13: (izda): planta de una oficina; (dcha): object tree asociado con dos variantes

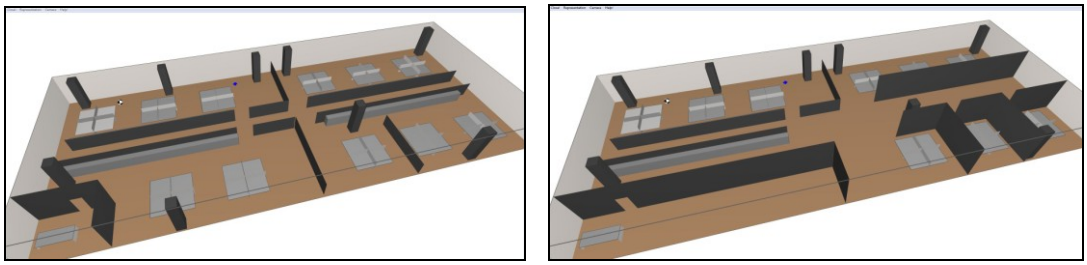


IMAGEN 14: espacio de trabajo con dos variantes distintas, basadas en el object tree de la imagen 13

En la imagen 13 se observa el "Object Tree" asociado a una oficina, con todos los elementos organizados en carpetas atendiendo a sus características acústicas. La figura 14 ilustra las dos variantes presentes, con materiales y disposiciones distintas, y que pueden ser comparadas para decidir cuál es más adecuada para alcanzar un objetivo dado o bien, para mejorarlas por ejemplo modificando el material absorbente de los elementos presentes en una misma carpeta.

REFERENCIAS

1. CadnaR – Prediction of Noise Levels inside Rooms (http://www.datakustik.com/en/products/cadnar/)
2. ISO 3744: Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure – Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane
3. ISO 11204: Acoustics – Noise emitted by machinery and equipment – Measurement of emission sound pressure levels at a work station and other specified positions applying accurate environmental corrections
4. ISO 4871: Acoustics – Declaration and verification of noise emission values of machinery and equipment
5. ISO 14257: Acoustics – Measurement and parametric description of spatial sound distribution curves in workrooms for evaluation of their acoustical performance
6. ISO 354: Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room