

Febrero 2010

TÍTULO

Acústica

Medición de parámetros acústicos en recintos

Parte 1: Salas de espectáculos

(ISO 3382-1:2009)

Acoustics. Measurement of room acoustic parameters. Part 1: Performance spaces (ISO 3382-1:2009)

Acoustique. Mesurage des paramètres acoustiques des salles. Partie 1: Salles de spectacles (ISO 3382-1:2009)

CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN ISO 3382-1:2009, que a su vez adopta la Norma Internacional ISO 3382-1:2009.

OBSERVACIONES

Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE-EN ISO 3382:2001.

ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 74 *Acústica* cuya Secretaría desempeña AECOR.

Versión en español

Acústica
Medición de parámetros acústicos en recintos
Parte 1: Salas de espectáculos
(ISO 3382-1:2009)

Acoustics. Measurement of room acoustic parameters. Part 1: Performance spaces. (ISO 3382-1:2009)

Acoustique. Mesurage des paramètres acoustiques des salles. Partie 1: Salles de spectacles. (ISO 3382-1:2009)

Akustik. Messung von raumakustischen Parametern. Teil 1: Aufführungsplätze. (ISO 3382-1:2009)

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2009-06-14.

Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional. Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales pueden obtenerse en el Centro de Gestión de CEN, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada al Centro de Gestión, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Suecia y Suiza.

CEN
COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation
Europäisches Komitee für Normung
CENTRO DE GESTIÓN: Avenue Marnix, 17-1000 Bruxelles

PRÓLOGO

El texto de la Norma EN ISO 3382-1:2009 ha sido elaborado por el Comité Técnico ISO/TC 43 *Acústica* en colaboración con el Comité Técnico CEN/TC 126 *Propiedades acústicas de los edificios y sus elementos de construcción*, cuya Secretaría desempeña AFNOR.

Esta norma europea debe recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a ella o mediante ratificación antes de finales de diciembre de 2009, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deben anularse antes de finales de diciembre de 2009.

Se llama la atención sobre la posibilidad de que algunos de los elementos de este documento estén sujetos a derechos de patente. CEN y/o CENELEC no es(son) responsable(s) de la identificación de dichos derechos de patente.

Esta norma anula y sustituye a la Norma EN ISO 3382:2000.

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, están obligados a adoptar esta norma europea los organismos de normalización de los siguientes países: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Suecia y Suiza.

DECLARACIÓN

El texto de la Norma ISO 3382-1:2009 ha sido aprobado por CEN como Norma EN ISO 3382-1:2009 sin ninguna modificación.

ÍNDICE

	Página
PRÓLOGO	6
INTRODUCCIÓN.....	7
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN.....	7
2 NORMAS PARA CONSULTA	7
3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES	7
4 CONDICIONES DE MEDICIÓN.....	9
5 PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN	12
6 EVALUACIÓN DE LAS CURVAS DE DECRECIMIENTO	14
7 INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN	15
8 PROMEDIADO ESPACIAL.....	16
9 EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS	16
ANEXO A (Informativo) CRITERIOS PARA LOS AUDITORIOS DERIVADOS DE LAS RESPUESTAS IMPULSIVAS	18
ANEXO B (Informativo) MAGNITUDES BINAURALES EN AUDITORIOS DERIVADAS DE LAS RESPUESTAS IMPULSIVAS	27
ANEXO C (Informativo) MAGNITUDES DEL ESCENARIO DERIVADAS DE LAS RESPUESTAS IMPULSIVAS	29
BIBLIOGRAFÍA.....	31

PRÓLOGO

ISO (Organización Internacional de Normalización) es una federación mundial de organismos nacionales de normalización (organismos miembros de ISO). El trabajo de preparación de las normas internacionales normalmente se realiza a través de los comités técnicos de ISO. Cada organismo miembro interesado en una materia para la cual se haya establecido un comité técnico, tiene el derecho de estar representado en dicho comité. Las organizaciones internacionales, públicas y privadas, en coordinación con ISO, también participan en el trabajo. ISO colabora estrechamente con la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) en todas las materias de normalización electrotécnica.

Las normas internacionales se redactan de acuerdo con las reglas establecidas en la Parte 2 de las Directivas ISO/IEC.

La tarea principal de los comités técnicos es preparar normas internacionales. Los proyectos de normas internacionales adoptados por los comités técnicos se envían a los organismos miembros para votación. La publicación como norma internacional requiere la aprobación por al menos el 75% de los organismos miembros que emiten voto.

Se llama la atención sobre la posibilidad de que algunos de los elementos de este documento puedan estar sujetos a derechos de patente. ISO no asume la responsabilidad por la identificación de cualquiera o todos los derechos de patente.

La Norma ISO 3382-1 fue preparada por el Comité Técnico ISO/TC 43, *Acústica*, Subcomité SC 2, *Acústica en edificación*.

La primera edición de la Norma ISO 3382-1, junto con las Normas ISO 3382-2 e ISO 3382-3 anula y sustituye a la Norma ISO 3382:1997, que ha sido revisada técnicamente. Se ha ampliado el anexo A con información sobre JND (umbral diferencial), sobre el promedio de frecuencia recomendada y con la adición de un nuevo parámetro para LEV (envolvente del oyente). Se ha añadido un nuevo anexo C con parámetros para las condiciones acústicas en la plataforma de la orquesta.

La Norma ISO 3382 está constituida por las siguientes partes bajo el título general *Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos*:

- *Parte 1: Salas de espectáculos.*
- *Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios.*

Los espacios abiertos serán el tema de la futura parte 3.

INTRODUCCIÓN

El tiempo de reverberación de un recinto se consideraba como el indicador predominante de sus propiedades acústicas. Aunque el tiempo de reverberación se sigue considerando un parámetro significativo, se reconoce que otros tipos de mediciones, tales como la de los niveles relativos de presión acústica, de los cocientes energéticos previos/tardíos, de las fracciones de energía lateral, de las funciones de intercorrelaciones binaurales y de los niveles del ruido de fondo, son necesarios para una evaluación más completa de la calidad acústica de los recintos.

Esta parte de la Norma ISO 3382 establece un método para la obtención de los tiempos de reverberación a partir de respuestas impulsivas y del ruido interrumpido. Los anexos presentan los conceptos y los detalles de los procedimientos de medición para algunas mediciones más recientes, no constituyendo estas una parte formal de las especificaciones de esta parte de la Norma ISO 3382. El objetivo es el de poder comparar las mediciones de los tiempos de reverberación con una mayor precisión y el de llegar a un consenso con respecto al uso de métodos de medición más nuevos.

El anexo A presenta mediciones basadas en respuestas impulsivas cuadráticas: una medición adicional de la reverberación (tiempo de caída inicial) y mediciones de los niveles sonoros relativos, de las fracciones energéticas previas/tardías así como de las fracciones de energía lateral en los auditorios. Dentro de estas categorías, existe todavía mucho trabajo por hacer para determinar qué mediciones son las más adecuadas para una estandarización; sin embargo, dado que todas ellas pueden derivarse de las respuestas impulsivas, conviene presentar la respuesta impulsiva como base de las mediciones normalizadas. El anexo B presenta las mediciones binaurales y los simuladores de cabeza y de torso (cabezas artificiales) necesarios para realizar mediciones binaurales en auditorios. El anexo C presenta los criterios de apoyo que han resultado útiles para evaluar las condiciones acústicas desde el punto de vista de los músicos.

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta parte de la Norma ISO 3382 especifica los métodos de medición del tiempo de reverberación y de otros parámetros acústicos en salas de espectáculos. Describe el procedimiento de medición, la instrumentación requerida y el método para evaluar los datos y presentar el informe de ensayo. Está destinada a la aplicación de las técnicas de medición numéricas modernas y a la evaluación de los parámetros acústicos de los recintos a partir de las respuestas impulsivas.

2 NORMAS PARA CONSULTA

Las normas que a continuación se indican son indispensables para la aplicación de esta norma. Para las referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de la norma (incluyendo cualquier modificación de ésta).

IEC 61260 *Electroacústica. Filtros de banda de octava y de bandas de una fracción de octava.*

IEC 61672-1 *Electroacústica. Sonómetros. Parte 1: Especificaciones.*

3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Para los fines de este documento, se aplican los términos y definiciones siguientes:

3.1 curva de decrecimiento:

Representación gráfica del decrecimiento del nivel de presión acústica en un recinto en función del tiempo, una vez que la fuente sonora ha cesado de emitir.

[ISO 354:2003, 3.1]

NOTA 1 Este decrecimiento se puede medir bien tras la interrupción real de una fuente acústica continua en el recinto o bien a partir de la integración inversa del cuadrado de la respuesta impulsiva del recinto (véase el capítulo 5).

NOTA 2 No se recomienda utilizar el decrecimiento obtenido directamente tras la excitación no continua de un recinto (por ejemplo, registrando el ruido de un disparo con un arma de fuego con un registrador de nivel) para la evaluación exacta del tiempo de reverberación. Este método solo se debería utilizar con fines de control. En general, el decrecimiento de la respuesta impulsiva en un recinto no es un simple decrecimiento exponencial, y por lo tanto la pendiente es diferente de la de la respuesta impulsiva integrada.

3.2 método del ruido interrumpido:

Método para obtener curvas de decrecimiento mediante el registro directo del decrecimiento del nivel de presión acústica tras la excitación de un recinto con ruido de banda ancha o ruido limitado en frecuencia.

[ISO 354:2003, 3.3]

3.3 método de la respuesta impulsiva integrada:

Método para obtener curvas de decrecimiento mediante la integración inversa de las respuestas impulsivas al cuadrado.

[ISO 354:2003, 3.4]

3.4 respuesta impulsiva:

Evolución temporal de la presión acústica observada en un punto de un recinto como resultado de la emisión de un impulso de Dirac en otro punto del recinto.

[ISO 354:2003, 3.5]

NOTA En la práctica, es imposible crear y emitir funciones delta de Dirac verdaderas, sino únicamente sonidos cortos transitorios (por ejemplo, un disparo) que pueden ofrecer aproximaciones suficientes para realizar las mediciones prácticas. Sin embargo, una técnica de medición alternativa es utilizar una señal tal como un período de secuencias de máxima longitud (*maximum-length sequence*, MLS), u otra señal determinística de espectro plano, como un barrido sinusoidal y transformar la respuesta medida en una respuesta impulsiva.

3.5 tiempo de reverberación, T :

<Parámetros acústicos de un recinto> Duración requerida para que la densidad de la energía acústica media en un recinto decrezca en 60 dB una vez que la emisión de la fuente ha cesado.

NOTA 1 El tiempo de reverberación se expresa en segundos.

NOTA 2 T se puede evaluar basándose en un rango dinámico inferior a 60 dB y extrapolado a un tiempo de decrecimiento de 60 dB. A continuación se denomina en consecuencia. De esta forma, si T se deriva del tiempo en el que la curva de decrecimiento alcanza primero 5 dB y 25 dB por debajo del nivel inicial, se anota como T_{20} . Si se utilizan valores de decrecimiento entre 5 dB y 35 dB por debajo del nivel inicial, se anota como T_{30} .

3.6 Estados de ocupación**3.6.1 estado de inocupación:**

Estado de un recinto preparado para su uso y listo para los oradores o músicos y la audiencia, pero sin estar estas personas presentes; en el caso de salas de conciertos y óperas, es preferible que las sillas de los músicos, los atriles y los instrumentos de percusión, etc., estén presentes.

3.6.2 estado tipo estudio:

<salas de conferencias y de conciertos> Estado de un recinto únicamente ocupado por los músicos y los oradores, sin público (por ejemplo, durante los ensayos o las grabaciones), con el número habitual de músicos y otras personas, tales como los técnicos.

3.6.3 estado de ocupación:

Estado de un auditorio o de un teatro cuando entre el 80% y el 100% de sus asientos están ocupados.

NOTA El tiempo de reverberación medido en un recinto se verá influido por el número de personas presentes, los estados de ocupación anteriores se definen con fines de medición.

4 CONDICIONES DE MEDICIÓN

4.1 Generalidades

Las mediciones del tiempo de reverberación se pueden realizar para cada uno o para todos los estados de ocupación del recinto. Cuando el recinto disponga de componentes regulables que permitan variar las condiciones acústicas, puede ser conveniente realizar mediciones por separado para cada configuración prevista de estos elementos. Se debería medir la temperatura y la humedad relativa del aire del recinto, con una precisión de $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $\pm 5\%$, respectivamente.

Una descripción precisa del estado de ocupación del recinto tiene una importancia decisiva en la evaluación de los resultados obtenidos durante la medición del tiempo de reverberación. Las ocupaciones extraordinarias (como las que se generarían en una sala de conciertos por la presencia de una orquesta más grande de lo habitual o por la presencia de un coro de espectadores de pie) se deben indicar con los resultados.

En los teatros, se debe diferenciar entre “telón de protección levantado” y “telón de protección bajado”, entre “foso de orquesta cerrado” y “orquesta sentada en el escenario”, con y sin mobiliario de conciertos. En todos estos casos, la medición puede ser de utilidad. Si el telón de protección está levantado, la cantidad de mobiliario en el escenario es importante y se debe describir.

Cuando los elementos variables implican técnicas activas (es decir, electrónicas), se deberían medir los efectos de estas técnicas, pero, dado que determinados tipos de sistemas electrónicos de mejora de la reverberación generan en el recinto condiciones no estacionarias en el tiempo, no existirá una respuesta impulsiva única y se debería tener precaución a la hora de utilizar el promediado sincrónico durante las mediciones.

4.2 Instrumentación

4.2.1 Fuente acústica

La fuente debe ser lo más omnidireccional posible; véase la tabla 1. Debe producir un nivel de presión acústica suficiente para generar curvas de decrecimiento con el rango dinámico mínimo requerido sin contaminación por ruido de fondo. En el caso de mediciones de las respuestas impulsivas con secuencias pseudos-aleatorias, el nivel de presión acústica requerido podría ser bastante bajo, porque se puede obtener una fuerte mejora en la relación señal/ruido mediante el promediado sincrónico. En el caso de mediciones que no requieran de un promediado sincrónico (u otro) para aumentar el rango de decrecimiento, se requerirá un nivel de fuente acústica que se sitúe al menos 45 dB por encima del nivel de ruido de fondo en la banda de frecuencias correspondiente. Si sólo se va a medir T_{20} , basta con generar un nivel que se sitúe al menos 35 dB por encima del nivel de ruido de fondo.

La tabla 1 indica las desviaciones de directividad máximas aceptables cuando se promedian sobre “arcos de círculo deslizantes” de 30° en campo libre. Cuando no se pueda utilizar una mesa giratoria, conviene realizar las mediciones cada 5° , seguidas de promedios “deslizantes”, cubriendo cada una seis puntos sucesivos. El valor de referencia se debe determinar a partir de una media energética de 360° en el plano de medición. La distancia mínima entre la fuente y el micrófono debe ser de 1,5 m durante estas mediciones.

Tabla 1 – Desviación máxima de directividad de la fuente, en decibelios, medida en campo libre para una excitación por ruido rosa en bandas de octava

Frecuencia, hercios	125	250	500	1 000	2 000	4 000
Desviación máxima, decibelios	± 1	± 1	± 1	± 3	± 5	± 6

4.2.2 Micrófonos y equipo de análisis y grabación

4.2.2.1 Generalidades

Se deben utilizar micrófonos omnidireccionales para detectar la presión acústica y la salida se puede conectar bien

- directamente a un amplificador, un conjunto de filtros y un sistema donde se muestran las curvas de decrecimiento o a un equipo de análisis que permita calcular las respuestas impulsivas; o bien
- a un registrador de señal para un análisis posterior.

4.2.2.2 Micrófono y filtros

El equipo de medición debe cumplir los requisitos de un sonómetro de tipo 1, de acuerdo con la Norma IEC 61672-1. Los filtros de octava o de un tercio de octava deben cumplir con lo establecido en la Norma IEC 61260. El micrófono debería ser lo más pequeño posible y tener preferiblemente un diámetro de diafragma máximo de 13 mm. Se permiten micrófonos con diámetros de hasta 26 mm si son del tipo respuesta en presión o del tipo respuesta en campo libre, siempre y cuando se suministren con un corrector de incidencia aleatoria que produzca una respuesta en frecuencia plana en caso de incidencia aleatoria.

4.2.2.3 Dispositivo registrador

Si el decrecimiento acústico se registra inicialmente en una cinta magnética o en un dispositivo de registro digital, no se debe utilizar el control de ganancia automático ni otros circuitos para la optimización dinámica del cociente señal/ruido. El tiempo de registro de cada decrecimiento debe ser lo suficientemente largo para permitir la determinación del nivel de ruido de fondo final tras el decrecimiento; la duración mínima recomendada es de cinco segundos además del tiempo de reverberación esperado.

El dispositivo registrador debe tener las siguientes características para la combinación particular de velocidades de registro y de lectura utilizadas.

- a) La respuesta en frecuencia debe ser uniforme sobre el rango de frecuencias de medición con una tolerancia inferior a ± 3 dB.
- b) El rango dinámico debe ser suficiente para permitir el rango mínimo de la curva de decrecimiento requerida. En el caso de decrecimientos del ruido interrumpido, el registrador debe ser capaz de tener una relación señal/ruido de al menos 50 dB en cada banda de frecuencia implicada.
- c) La relación velocidad de lectura/velocidad de registro debe ser de $10^{0,1 \times n}$, con una tolerancia de $\pm 2\%$, donde n es un entero, incluido el cero.

NOTA Si se utiliza la transposición de velocidad en modo lectura, la transposición en frecuencia correspondiente será entonces un número entero de espaciamentos normalizados en banda de tercio de octava o, si n es un múltiplo de tres, un número entero de espaciamentos en banda de octava.

Cuando se utiliza un magnetófono, con respecto a la velocidad de respuesta del aparato para la realización de un registro del decrecimiento en el tiempo del nivel de presión acústica (véase 4.2.2.4), T hace entonces referencia al tiempo de reverberación efectivo de la señal leída. Este solo será diferente del tiempo de reverberación real del recinto si la velocidad de lectura difiere de la velocidad de registro.

Cuando el decrecimiento se ha registrado para una reproducción a través de los filtros y de un dispositivo integrador, puede ser beneficioso efectuar una inversión en el tiempo de las respuestas durante la lectura (véase la referencia [10]).

4.2.2.4 Equipo de registro del decrecimiento del nivel

El equipo para realizar (y mostrar y/o evaluar) el registro de decrecimiento debe utilizar alguno de los siguientes elementos:

- a) promediado exponencial, con curva continua como salida;
- b) promediado exponencial, con puntos de muestreo discretos sucesivos, a partir del promedio continuo como salida;
- c) promediado lineal, con promedios lineales discretos sucesivos como salida (en algunos casos, con pequeñas pausas entre la realización de los promediados).

El tiempo de promediado, es decir, la constante de tiempo de un dispositivo promediador exponencial (o dispositivo equivalente apropiado), debe ser inferior, pero lo más cercano a $T/30$. De forma similar, el tiempo de promediado de un dispositivo promediador lineal debe ser inferior a $T/12$. Aquí, T es el tiempo de reverberación que se está midiendo o, si procede, el tiempo de reverberación efectivo según se describe en el penúltimo párrafo del apartado 4.2.2.3.

En los equipos donde el registro de decrecimiento se presenta en forma de sucesión de puntos discretos, el intervalo de tiempo entre los puntos en el registro debe ser inferior a 1,5 veces el tiempo de promediado del dispositivo.

En todos los casos en los cuales el registro de decrecimiento se vaya a evaluar visualmente, ajústese la escala de tiempo del dispositivo de manera que la pendiente del registro se aproxime lo más posible a 45°.

NOTA 1 El tiempo de promediado de un dispositivo de promediado exponencial es igual a 4,34 dB [= 10 lg(e)] dividido por la tasa de decrecimiento en decibelios por segundo del dispositivo.

NOTA 2 Los registradores de nivel comerciales, en los cuales el nivel de presión acústica se registra gráficamente en función del tiempo, son generalmente equivalentes a los dispositivos promediadores exponenciales.

NOTA 3 Cuando se utiliza un dispositivo promediador exponencial, existen pocas ventajas en ajustar el tiempo de promediado muy por debajo de $T/30$. Cuando se utiliza un dispositivo promediador lineal, no existen ventajas en ajustar el intervalo entre los puntos muy por debajo de $T/12$. En algunos procedimientos de medición secuenciales, es factible ajustar el tiempo de promediado de forma adecuada para cada banda de frecuencia. En otros procedimientos, esto no es posible, y tiene que utilizarse para las mediciones en todas las bandas un tiempo de promediado o intervalo escogido como se indica arriba, tomando como referencia la duración de reverberación más corta en una banda.

4.2.2.5 Sobresaturación

No se debe admitir ninguna sobresaturación en ninguna fase del equipo de medición. Cuando se utilizan fuentes acústicas impulsivas, se deben utilizar dispositivos indicadores de niveles de pico para detectar las sobresaturaciones.

4.3 Posiciones de medición

Las posiciones de la fuente se deberían colocar donde se situarían generalmente las fuentes sonoras naturales en el recinto. Se deben utilizar al menos dos posiciones de la fuente. La altura del centro acústico de la fuente se debería situar a 1,5 m por encima del suelo.

Las posiciones de micrófono se deberían colocar en posiciones representativas de las posiciones donde se encuentran habitualmente los oyentes. Para las mediciones del tiempo de reverberación, es importante que las posiciones de medición sean representativas de la totalidad del espacio; para los parámetros acústicos del recinto descritos en el anexo A y en el anexo B conviene que estas posiciones se escojan para aportar información sobre las variaciones sistemáticas posibles en función de la posición en el recinto. Las posiciones de micrófono deben de estar alejadas unas de otras al menos una media longitud de onda, es decir, a una distancia de aproximadamente 2 m para el rango de frecuencias habitual. Los micrófonos se deben colocar a, al menos, un cuarto de longitud de onda (aproximadamente 1 m) de la superficie reflectante más cercana, incluido el suelo. Para más detalles, véase el capítulo A.4.

Ninguna posición de micrófono debe estar demasiado cerca de cualquier posición de la fuente, a fin de evitar una influencia demasiado fuerte del sonido directo. En salas de conferencia y conciertos, conviene colocar los micrófonos a una altura de 1,2 m por encima del suelo, lo que corresponde a la altura de los oídos de los oyentes medios sentados en asientos tipo.

Se debe escoger una distribución de las posiciones de micrófono que anticipe las principales influencias susceptibles de provocar diferencias en el tiempo de reverberación a lo largo del recinto. Ejemplos obvios son las diferencias en las zonas de asientos cerca de paredes, debajo de palcos o en los espacios desacoplados (por ejemplo, los transeptos o los coros de las iglesias comparadas con las naves de las iglesias). Esto requiere estimar la regularidad de la distribución “acústica” en las diferentes zonas de asientos, la igualdad del acoplamiento de las diferentes partes del volumen y la proximidad de perturbaciones locales.

Para medir el tiempo de reverberación, puede ser útil evaluar el recinto con respecto a los siguientes criterios (que, en muchas ocasiones, requerirán de una simple evaluación visual) para determinar si los promedios espaciales simples describirán de forma adecuada el recinto:

- a) los materiales de las superficies de separación y de los eventuales elementos suspendidos están, desde el punto de vista de sus propiedades de absorción y de difusión, repartidos de manera razonablemente homogénea entre las superficies que rodean el recinto, y
- b) todas las partes del volumen del recinto se comunican razonablemente igual las unas con las otras, en cuyo caso bastarán tres o cuatro posiciones de micrófono – escogiéndose estas posiciones de forma que cubran la zona de asientos, según una disposición uniformemente repartida – y los resultados de las mediciones se pueden promediar.

Para el criterio a) anterior, si el techo, las paredes laterales, delanteras y traseras, evaluados de forma individual, no disponen de ninguna zona que cubra más del 50% de sus respectivas superficies, con propiedades diferentes de las de las superficies restantes, entonces se puede considerar que la distribución es aceptablemente uniforme (en algunos espacios, puede ser de ayuda considerar de forma aproximada la geometría del recinto como un paralelepípedo rectangular para esta evaluación).

Para el criterio b) anterior, se puede considerar que el volumen del recinto reacciona como un espacio único, si ninguna parte de la superficie del suelo, cuya línea de visibilidad está bloqueada hacia otra parte del recinto, represente más del 10% del volumen total del recinto.

Si no se cumplen estas condiciones, entonces el recinto puede presentar zonas con tiempos de reverberación diferentes, que se deben analizar y medir por separado.

5 PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN

5.1 Generalidades

En esta parte de la Norma ISO 3382 se describen dos métodos para medir el tiempo de reverberación: el método del ruido interrumpido y el método de la respuesta impulsiva integrada. Ambos métodos tienen el mismo valor teórico. El rango de frecuencias depende del propósito de las mediciones. Cuando no existan requisitos para bandas de frecuencia específicas, el rango de frecuencias debería cubrir al menos 250 Hz a 2 000 Hz para el método de control. Para los métodos de ingeniería y de precisión, el rango de frecuencias debería cubrir al menos 125 Hz a 4 000 Hz en bandas de octava, o 100 Hz a 5 000 Hz en bandas de un tercio de octava.

5.2 Método del ruido interrumpido

5.2.1 Excitación del recinto

Se debe utilizar un altavoz y la señal que recibe debe proceder de un ruido eléctrico de banda ancha aleatorio o pseudo-aleatorio. Si se utiliza un ruido pseudo-aleatorio, se debe parar aleatoriamente, sin utilizar una secuencia repetida. La fuente debe ser capaz de producir un nivel de presión acústica suficiente para garantizar una curva de decrecimiento que empiece al menos 35 dB por encima del ruido de fondo en la banda de frecuencias correspondiente. Si se tiene que medir T_{30} , es necesario crear un nivel al menos 45 dB por encima del nivel de ruido de fondo en cada banda de frecuencias.

Para las mediciones en bandas de octava, el ancho de banda de la señal debe ser mayor o igual a una octava y para las mediciones en bandas de un tercio de octava, el ancho de banda de la señal debe ser mayor o igual a un tercio de octava. El espectro debe ser razonablemente plano en la banda de octava real a medir. Alternativamente, el espectro de ruido de banda ancha se puede corregir para ofrecer un espectro de ruido rosa estacionario reverberante en el recinto entre 88 Hz y 5 657 Hz. De esta forma, el rango de frecuencias cubre las bandas de un tercio de octava con frecuencias medias desde 100 Hz a 5 kHz o las bandas de octava desde 125 Hz a 4 kHz.

Para los métodos de ingeniería y de precisión, la duración de excitación del recinto debe ser suficiente para que el campo acústico alcance un estado estacionario antes de apagar la fuente. Por lo tanto, es esencial emitir el ruido durante al menos unos segundos y no inferior a la mitad del tiempo de reverberación.

Para el método de control, se puede utilizar una excitación corta o una señal impulsiva como alternativa a la señal de ruido interrumpido. Sin embargo, en ese caso, la precisión de la medición es inferior a la descrita en el apartado 7.1.

5.2.2 Promediado de las mediciones

El número de posiciones de micrófono utilizadas se determinará por la precisión requerida (véase el anexo A). Sin embargo, teniendo en cuenta el carácter aleatorio inherente a la señal de la fuente, es necesario calcular el promedio a partir de un número de mediciones en cada posición para obtener una incertidumbre de medición aceptable (véase 7.1). El promedio en cada posición de micrófono se puede calcular de dos formas diferentes:

- hallando los tiempos de reverberación individuales para todas las curvas de decaimiento y sacando el valor medio, o
- haciendo una media del conjunto de los decaimientos de presión acústica al cuadrado y hallando el tiempo de reverberación de la curva de decaimiento resultante.

Los decaimientos individuales se superponen sincronizando sus orígenes. Los valores muestreados de la presión acústica discreta al cuadrado se suman para cada incremento del intervalo de tiempo de los decaimientos y la secuencia de estas sumas se utiliza como un decaimiento único del conjunto a partir del cual se evalúa T (véase la referencia [20]). Es importante que la potencia acústica emitida por la fuente sea idéntica para todas las mediciones. Este es el método preferido.

5.3 Método de respuesta impulsiva integrada

5.3.1 Generalidades

La respuesta impulsiva procedente de una posición de la fuente hacia una posición del receptor en un recinto es una magnitud bien definida, que se puede medir de múltiples maneras (por ejemplo, utilizando disparos de pistola, impulsos generados por chispazos, salvas de ruido, chirridos o secuencias de longitud máxima (SLM) como señales). Esta parte de la Norma ISO 3382 no pretende excluir ningún otro método que pueda generar una respuesta impulsiva correcta.

5.3.2 Excitación del recinto

La respuesta impulsiva se puede medir directamente utilizando una fuente impulsiva, como un disparo de pistola o cualquier otra fuente que no sea en sí misma reverberante, siempre y cuando su espectro sea lo suficientemente ancho para cumplir los requisitos del apartado 5.2.1. La fuente impulsiva debe ser capaz de producir un nivel de presión acústica de pico suficiente para garantizar una curva de decaimiento empezando al menos 35 dB por encima del ruido de fondo en la banda de frecuencia correspondiente. Si se tiene que medir T_{30} , es necesario crear un nivel al menos 45 dB por encima del nivel del ruido de fondo.

Se pueden utilizar señales acústicas especiales para generar la respuesta impulsiva únicamente tras el procesamiento espacial de la señal registrada en el micrófono (véase la Norma ISO 18233). Esto puede mejorar la relación señal/ruido. Los barridos sinusoidales o los ruidos pseudo-aleatorios (por ejemplo las secuencias de máxima longitud) se pueden utilizar si se respetan los requisitos para el espectro y las características direccionales de la fuente. Debido a las mejoras en la relación señal/ruido, los requisitos dinámicos de la fuente pueden ser considerablemente inferiores a los establecidos en el párrafo anterior. Si se utiliza el promediado temporal, es necesario verificar que el proceso de promediado no altera la respuesta impulsiva medida. Gracias a estas técnicas de medición, el filtrado en frecuencia es a menudo inherente al análisis de la señal, y basta con que la señal de excitación cubra las bandas de frecuencias que se van a medir.

5.3.3 Integración de la respuesta impulsiva

Para cada banda de octava, genérese la curva de decrecimiento por integración inversa de la respuesta impulsiva cuadrática. En una situación ideal sin ruido de fondo, la integración debería iniciarse al final de la respuesta impulsiva ($t \rightarrow \infty$) y continuar hasta el principio de la respuesta impulsiva cuadrática. De esta forma, el decrecimiento en función del tiempo es, de acuerdo con la ecuación (1):

$$E(t) = \int_t^{\infty} p^2(\tau) d\tau = \int_{\infty}^t p^2(\tau) d(-\tau) \quad (1)$$

donde

p es la presión acústica de la respuesta impulsiva en función del tiempo;

E es la energía de la curva de decrecimiento en función del tiempo;

t es el tiempo.

Esta integral en tiempo inverso se obtiene a menudo realizando dos integraciones como en la ecuación (2):

$$\int_t^{\infty} p^2(\tau) d\tau = \int_0^{\infty} p^2(\tau) d\tau - \int_0^t p^2(\tau) d\tau \quad (2)$$

Para minimizar la influencia del ruido de fondo en la última parte de la respuesta impulsiva, se puede utilizar la siguiente técnica.

Si se conoce el nivel del ruido de fondo, determínese el punto de inicio de la integración, t_1 , como la intersección entre una línea horizontal a través del ruido de fondo y una línea oblicua que pasa a través de una parte representativa de la respuesta impulsiva cuadrática, mostrada utilizando una escala en decibelios, y calcúlese la curva de decrecimiento a partir de la ecuación (3):

$$E(t) = \int_{t_1}^t p^2(\tau) d(-\tau) + C \quad (3)$$

donde ($t < t_1$) y C es una corrección opcional de la respuesta impulsiva cuadrática integrada entre t_1 e infinito.

El resultado más fiable se obtiene cuando C se calcula bajo la hipótesis de un decrecimiento exponencial de energía con el mismo índice que el dado por la respuesta impulsiva cuadrática entre t_0 y t_1 , donde t_0 es el tiempo correspondiente a un nivel 10 dB superior al nivel en t_1 .

Si C se fija en cero, el punto de inicio finito de la integración conlleva una subestimación sistemática del tiempo de reverberación. Para una subestimación máxima del 5%, el nivel del ruido de fondo debe ser al menos el rango de evaluación más 15 dB por debajo del nivel máximo de la respuesta impulsiva. Por ejemplo, para la determinación de T_{30} , el nivel del ruido de fondo debe ser inferior en al menos 45 dB del nivel máximo.

6 EVALUACIÓN DE LAS CURVAS DE DECRECIMIENTO

Para determinar T_{30} , el rango evaluado para las curvas de decrecimiento se extiende de 5 dB a 35 dB por debajo del nivel de régimen estacionario. Para el método de la respuesta impulsiva integrada, el nivel de régimen estacionario es el nivel total de la respuesta impulsiva integrada. Dentro del rango de evaluación, se debe calcular una recta de mínimos cuadrados para la curva o, en el caso de curvas de decrecimiento dibujadas directamente por el registrador de nivel, se debe trazar una recta a mano lo más cerca posible a la curva de decrecimiento. Se pueden utilizar otros algoritmos que produzcan resultados similares. La pendiente de la recta indica la tasa de decrecimiento, d , en decibelios por segundo, a partir de la cual se calcula el tiempo de reverberación como $T_{30} = 60/d$. Para la determinación de T_{20} , el rango de evaluación es desde 5 dB a 25 dB.

Si la técnica utilizada para determinar el tiempo de reverberación se basa en la evaluación de los trazos dibujados por un registrador de nivel, se puede sustituir una recta “con mejor ajuste” por una línea de regresión calculada, pero, sin embargo, ello no será tan fiable como un análisis de regresión.

Para especificar un tiempo de reverberación, las curvas de decrecimiento deben seguir aproximadamente una línea recta. Si las curvas son onduladas o están torcidas, puede significar una mezcla de modos con diferentes tiempos de reverberación y, por lo tanto, el resultado puede no ser fiable.

7 INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

7.1 Método del ruido interrumpido

Debido a la naturaleza aleatoria de la señal de excitación, la incertidumbre de medición del método del ruido interrumpido depende mucho del número de promedios realizados. El promedio de conjunto y el promediado de los tiempos de reverberación individuales tienen la misma sensibilidad frente al número de promedios. La desviación típica del resultado de medición, $\sigma(T_{20})$ o $\sigma(T_{30})$, se puede estimar a partir de las Ecuaciones (4) y (5), respectivamente:

$$\sigma(T_{20}) = 0,88T_{20} \sqrt{\frac{1+1,90/n}{NBT_{20}}} \quad (4)$$

$$\sigma(T_{30}) = 0,55T_{30} \sqrt{\frac{1+1,52/n}{NBT_{30}}} \quad (5)$$

donde

B es el ancho de banda, en hercios;

n es el número de decrecimientos medidos en cada posición;

N es el número de posiciones de medición independientes (combinaciones de posiciones de fuente y de micrófono);

T_{20} es el tiempo de reverberación, en segundos, en función de un rango de evaluación de 20 dB;

T_{30} es el tiempo de reverberación, en segundos, en función de un rango de evaluación de 30 dB;

Las Ecuaciones (4) y (5) se derivan de las referencias [21] y [22] y se basan en determinadas hipótesis referentes al dispositivo promediador.

Para un filtro de octava, $B = 0,71 f_c$, y para un filtro de tercio de octava, $B = 0,23 f_c$, donde f_c es la frecuencia media del filtro, en hercios. Las mediciones en bandas de octava dan una mejor precisión de medición que las mediciones en un tercio de octava con el mismo número de posiciones de medición.

7.2 Método de respuesta impulsiva integrada

Teóricamente, la respuesta impulsiva integrada corresponde al promediado de un número infinito de excitaciones del ruido interrumpido^[11]. Para una evaluación práctica de la incertidumbre de medición que utiliza el método de la respuesta impulsiva integrada, se puede considerar del mismo grado de magnitud que la producida por un promedio de $n = 10$ mediciones en cada posición con el método del ruido interrumpido. No es necesario ningún promediado adicional para aumentar la precisión de medición estadística para cada posición.

7.3 Límites inferiores para resultados fiables obtenidos por un filtro y un detector

En el caso de tiempos de reverberación muy cortos, la curva de decrecimiento puede estar influenciada por el filtro y el detector. Con la ayuda del análisis prospectivo tradicional, los límites inferiores para la obtención de resultados fiables deben ser conformes con las ecuaciones (6) y (7):

$$BT > 16 \quad (6)$$

$$T > 2T_{\text{det}} \quad (7)$$

donde

B es el ancho de banda del filtro, en hercios;

T es el tiempo de reverberación medido, en segundos;

T_{det} es el tiempo de reverberación, en segundos, del detector promediador.

8 PROMEDIADO ESPACIAL

Los resultados medidos para el rango de las posiciones de la fuente y de micrófono se pueden combinar, ya sea para zonas identificadas por separado, ya sea para el conjunto del recinto, para obtener los valores de promediado espacial. Este promediado espacial se debe alcanzar por medio del promediado aritmético de los tiempos de reverberación. El promediado espacial se obtiene calculando la media de los tiempos de reverberación individuales para todas las posiciones independientes de fuente y de micrófono. Se puede determinar la desviación típica para ofrecer una medición de precisión y la variación espacial del tiempo de reverberación. Véase también el capítulo A.4.

9 EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

9.1 Tablas y curvas

Los tiempos de reverberación evaluados para cada frecuencia de medición se deben dibujar en forma de gráfico y se deben presentar en una tabla.

En el caso de un gráfico, los puntos deben estar conectados por líneas rectas. La abscisa debe representar la frecuencia en una escala logarítmica, utilizando una distancia de 1,5 cm por octava, mientras que la ordenada debe utilizar bien una escala de tiempo lineal, de manera que 2,5 cm correspondan a un segundo o bien una escala logarítmica, donde 10 cm correspondan a una década. Las frecuencias centrales nominales de las bandas para bandas de octava de acuerdo con la Norma IEC 61260 se deberían marcar en el eje de frecuencias.

Un valor único del tiempo de reverberación, $T_{30,\text{med}}$, se puede calcular promediando T_{30} en las bandas de octava de 500 Hz y 1 000 Hz; también se puede utilizar $T_{20,\text{med}}$. También es posible calcular los promedios de las seis bandas de tercio de octava de 400 Hz a 1 250 Hz.

9.2 Informe de ensayo

El informe de ensayo debe incluir la siguiente información:

- una declaración de que las mediciones se realizaron de acuerdo con esta parte de la Norma ISO 3382;
- el nombre y el lugar del recinto sometido a ensayo;
- un esquema del recinto, con una indicación de la escala;

- d) el volumen del recinto – si el recinto no está completamente cerrado, se debería dar una explicación de cómo se define el volumen estudiado.
- e) para las salas de conferencias y conciertos, el número y el tipo de asientos, por ejemplo, si están tapizados o no y, si se dispone de la información, el espesor y el tipo de tapicería, el tipo de material de recubrimiento (poroso o no poroso, asientos elevados o bajados) y cuáles son las partes del asiento recubiertas;
- f) una descripción de la forma y del material de las paredes y el techo;
- g) el estado o los estados de ocupación durante las mediciones y el número de ocupantes;
- h) el estado de cualquier equipo variable, como las cortinas, el sistema de sonorización, los sistemas electrónicos de mejora de la reverberación, etc.;
- i) para las salas de espectáculos, especificar si el telón de protección o las cortinas decorativas estaban subidas o bajadas;
- j) una descripción, si procede, del decorado del escenario, incluido cualquier cerramiento para conciertos, etc.;
- k) la temperatura y la humedad relativa en el recinto durante la medición;
- l) una descripción del equipo de medición, de la fuente y de los micrófonos, así como los eventuales magnetófonos utilizados;
- m) una descripción de la señal acústica utilizada;
- n) la cobertura espacial escogida, incluyendo los detalles de las posiciones de fuente y micrófono, preferiblemente mostradas sobre un plano junto con una indicación de las alturas de las fuentes y de los micrófonos;
- o) la fecha de medición y el nombre del organismo de medición.

ANEXO A (Informativo)

CRITERIOS PARA LOS AUDITORIOS DERIVADOS DE LAS RESPUESTAS IMPULSIVAS

A.1 Generalidades

Los estudios subjetivos de las características acústicas de los auditorios han demostrado que varias magnitudes, que se pueden obtener a partir de las medidas de las respuestas impulsivas, están relacionadas con los aspectos subjetivos particulares del carácter acústico de un auditorio. Mientras que el tiempo de reverberación es una descripción fundamental del carácter acústico de un auditorio, la suma de valores de estas magnitudes más nuevas ofrece una descripción más completa de las condiciones acústicas en el auditorio. Las magnitudes incluidas en este anexo están limitadas a las que se han considerado subjetivamente importantes y que se pueden obtener directamente de las respuestas impulsivas integradas. Se puede esperar que la presencia de público en un auditorio tenga una influencia en el tiempo de reverberación y en las magnitudes que se detallan más abajo.

Existen cinco grupos o tipos de magnitudes (véase la tabla A.1). Dentro de cada grupo, a menudo se encuentra más de una medida, pero los valores de las diferentes magnitudes en cada grupo están, por lo general, estrechamente relacionados entre ellos. De esta forma, cada grupo contiene un número de medidas aproximadamente equivalentes y no es necesario calcular los valores de todas ellas; sin embargo, se debe incluir al menos una magnitud de cada uno de los cinco grupos.

Tabla A.1 – Magnitudes acústicas agrupadas según los aspectos del oyente

Aspecto subjetivo del oyente	Magnitud acústica	Promediado en frecuencia de número único ^a Hz	Umbral diferencial (<i>Just noticeable difference, JND</i>)	Rango típico ^b
Nivel sonoro subjetivo	Fuerza sonora, G , en decibelios	500 a 1 000	1 dB	–2 dB; +10 dB
Reverberación percibida	Tiempo de reverberación inicial (<i>Early decay time, EDT</i>) en segundos	500 a 1 000	Rel. 5 %	1,0 s; 3,0 s
Claridad del sonido percibida	Claridad, C_{80} , en decibelios Definición, D_{50} Tiempo central, T_s , en milisegundos	500 a 1 000 500 a 1 000 500 a 1 000	1 dB 0,05 10 ms	–5 dB; +5 dB 0,3; 0,7 60 ms; 260 ms
Ancho aparente de la fuente (<i>Apparent source width, ASW</i>)	Fracción de energía lateral precoz, J_{LF} o J_{LFC}	125 a 1 000	0,05	0,05; 0,35
Envoltorio del oyente (<i>Listener envelopment, LEV</i>)	Nivel sonoro lateral final, L_{ℓ} , en decibelios	125 a 1 000	Desconocido	–14 dB; +1 dB
^a El promediado en frecuencia de número único indica la media aritmética para las bandas de octava, excepto para L_{ℓ} , que se debe promediar energéticamente [véase la ecuación (A.17)].				
^b Valores promediados en frecuencia en posiciones únicas en salas de conciertos y en salas polivalentes vacías hasta 25 000 m ³ .				

A.2 Definiciones de magnitudes

A.2.1 Fuerza sonora

La fuerza sonora, G , se puede medir utilizando una fuente sonora omnidireccional calibrada, y es la relación del cociente logarítmico de la energía acústica (presión acústica cuadrática e integrada) de la respuesta impulsiva medida y la respuesta medida en campo libre a una distancia de 10 m de la fuente sonora, según se expresa en las ecuaciones (A.1) a (A.3):

$$G = 10 \lg \frac{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p_{10}^2(t) dt} = L_{pE} - L_{pE,10} \text{ dB} \quad (\text{A.1})$$

donde

$$L_{pE} = 10 \lg \left[\frac{1}{T_0} \int_0^{\infty} \frac{p^2(t) dt}{p_0^2} \right] \text{ dB} \quad (\text{A.2})$$

y

$$L_{pE,10} = 10 \lg \left[\frac{1}{T_0} \int_0^{\infty} \frac{p_{10}^2(t) dt}{p_0^2} \right] \text{ dB} \quad (\text{A.3})$$

donde

$p(t)$ es la presión acústica instantánea de la respuesta impulsiva medida en el punto de medición;

$p_{10}(t)$ es la presión acústica instantánea de la respuesta impulsiva medida a una distancia de 10 m en un campo libre;

p_0 es igual a 20 μPa ;

T_0 = 1 s;

L_{pE} es el nivel de exposición a la presión acústica de $p(t)$;

$L_{pE,10}$ es el nivel de exposición a la presión acústica de $p_{10}(t)$.

En las ecuaciones anteriores, $t = 0$ corresponde al inicio del sonido directo, y ∞ debería corresponder a un tiempo igual o superior al punto donde la curva de decrecimiento ha disminuido en 30 dB.

Cuando se pueda disponer de una cámara anecoica grande, $L_{pE,10}$ se puede medir directamente utilizando una distancia fuente/receptor de 10 m. Si no se puede cumplir esta condición, el nivel de exposición de la presión acústica en un punto situado a d (≥ 3 m) de la fuente ($L_{pE,d}$) se puede medir y entonces $L_{pE,10}$ se obtiene de la ecuación (A.4):

$$L_{pE,10} = L_{pE,d} + 20 \lg (d / 10) \text{ dB} \quad (\text{A.4})$$

En un campo libre, es necesario realizar este tipo de mediciones cada 12,5° alrededor de la fuente sonora y calcular el valor energético medio de los niveles de exposición de la presión acústica, para promediar la directividad de la fuente sonora.

NOTA 1 Otro método alternativo consiste en medir el nivel de exposición de la presión acústica de referencia $L_{pE,10}$ en un recinto reverberante utilizando la ecuación (A.5) ^{[7],[8]}:

$$L_{pE,10} = L_{pE} + 10 \lg (A / S_0) - 37 \text{ dB} \quad (\text{A.5})$$

donde

L_{pE} es el nivel de exposición de la presión acústica promediada en el espacio medido en el recinto reverberante;

A es la superficie de absorción acústica equivalente, en metros cuadrados;

$S_0 = 1 \text{ m}^2$.

A se puede obtener a partir del tiempo de reverberación en el recinto por medio de la ecuación (A.6) (fórmula de Sabine):

$$A = 0,16 V/T \quad (\text{A.6})$$

donde

V es el volumen de aire del recinto reverberante, en metros cúbicos;

T es el tiempo de reverberación del recinto, en segundos.

NOTA 2 G también se puede medir utilizando una fuente sonora omnidireccional estacionaria, mediante la ecuación (A.7):

$$G = L_p - L_{p,10} \quad (\text{A.7})$$

donde

L_p es el nivel de presión acústica medido en cada punto de medición del recinto sometido a ensayo;

$L_{p,10}$ es el nivel de presión acústica medido a una distancia de 10 m en un campo libre.

Cuando se pueda disponer de una cámara anecoica grande, $L_{p,10}$ se puede medir directamente utilizando una distancia fuente/receptor de 10 m. Si no se puede cumplir esta condición, el nivel de exposición de la presión acústica en un punto situado a d (≥ 3 m) de la fuente ($L_{p,d}$) se puede medir y entonces $L_{p,10}$ se obtiene de la ecuación (A.8):

$$L_{p,10} = L_{p,d} + 20 \lg (d / 10) \text{ dB} \quad (\text{A.8})$$

En este caso, también es necesario promediar la directividad de la fuente sonora, tal y como se indica anteriormente.

Cuando se utiliza una fuente sonora omnidireccional cuyo nivel de potencia acústica es conocido, la fuerza sonora, G , se puede obtener a partir de la ecuación (A.9):

$$G = L_p - L_W + 31 \text{ dB} \quad (\text{A.9})$$

donde

L_p es el nivel de presión acústica medido en cada punto de medición;

L_W es el nivel de potencia acústica de la fuente sonora.

Se debería medir el nivel de potencia acústica de la fuente de acuerdo con la Norma ISO 3741.

A.2.2 Mediciones del tiempo de reverberación inicial

El tiempo de reverberación inicial se debe evaluar a partir de la pendiente de las curvas de respuesta impulsiva integrada (como el tiempo de reverberación convencional). La pendiente de la curva de decrecimiento se debería determinar a partir de la pendiente de la línea de regresión lineal “con mejor ajuste”, correspondiente a los 10 primeros decibelios del decrecimiento (entre 0 dB y - 10 dB). Los tiempos de reverberación se deberían calcular a partir de la pendiente, como el tiempo requerido para un decrecimiento de 60 dB.

Se deberían calcular tanto el tiempo de reverberación inicial como T . El tiempo de reverberación inicial es subjetivamente más importante y está relacionado con la reverberación percibida, mientras que T está relacionada con las propiedades físicas del auditorio.

A.2.3 Relación entre la energía precoz y la energía tardía

Aunque existen varios parámetros que se pueden utilizar en este grupo, uno de los más simples es la relación entre las energías acústicas precoces y tardías. Se puede calcular para un límite temporal precoz de 50 ms o de 80 ms, dependiendo de si los resultados se refieren a las condiciones de las salas de conferencia o de conciertos, respectivamente, utilizando la ecuación (A.10).

$$C_{t_e} = 10 \lg \frac{\int_0^{t_e} p^2(t) dt}{\int_{t_e}^{\infty} p^2(t) dt} \text{ dB} \quad (\text{A.10})$$

donde

C_{t_e} es el índice precoz/tardío;

t_e es el límite temporal precoz de 50 ms o 80 ms (C_{80} se denomina generalmente “claridad”);

$p(t)$ es la presión acústica instantánea de la respuesta impulsiva medida en el punto de medición.

NOTA 1 También es posible medir una relación entre la energía acústica precoz y la energía acústica total. Por ejemplo, D_{50} (“definición” o “Deutlichkeit”) se utiliza algunas veces para las condiciones de la palabra, según la ecuación (A.11):

$$D_{50} = \frac{\int_0^{0,050} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (\text{A.11})$$

Esto está exactamente relacionado con C_{50} por la relación expresada utilizando la ecuación (A.12):

$$C_{50} = 10 \lg \left(\frac{D_{50}}{1 - D_{50}} \right) \text{ dB} \quad (\text{A.12})$$

De esta forma, no es necesario medir las dos magnitudes.

Como opción final en este grupo de medidas, el tiempo central, T_S , que es el tiempo del centro de gravedad de la respuesta impulsiva cuadrática, se puede medir, en segundos, mediante la ecuación (A.13):

$$T_S = \frac{\int_0^{\infty} t p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (\text{A.13})$$

T_S evita el recurrir a una división discreta de la respuesta impulsiva en periodos precoz y tardío.

Las magnitudes de este grupo se refieren a la definición percibida, a la claridad o al equilibrio entre la claridad y la reverberación, así como a la inteligibilidad de la palabra.

NOTA 2 La inteligibilidad de la palabra también se puede determinar midiendo el índice de transmisión de la palabra (*speech transmission index*, STI), (véase la referencia [5]). Esta magnitud se medía inicialmente utilizando señales de ruido especiales moduladas que no están cubiertas en esta parte de la Norma ISO 3382, pero también se puede calcular por un post-tratamiento de la respuesta impulsiva.

A.2.4 Mediciones de la energía lateral precoz

La fracción de energía, J_{LF} , que llega lateralmente dentro de los 80 ms iniciales, se puede medir a partir de las respuestas impulsivas de un micrófono omnidireccional y de un micrófono bi-direccional de respuesta en ocho, mediante el uso de la ecuación (A.14):

$$J_{LF} = \frac{\int_0^{0,080} p_L^2(t) dt}{\int_0^{0,080} p^2(t) dt} \quad (A.14)$$

donde

$p_L(t)$ es la presión acústica instantánea en la respuesta impulsiva del auditorio medida con un micrófono bi-direccional de respuesta en ocho;

$p(t)$ es la presión acústica instantánea de la respuesta impulsiva medida en el punto de medición.

Se pretende que el cero del micrófono bi-direccional de respuesta en ocho apunte al centro de la escena o exactamente a cada posición de la fuente, de manera que este micrófono reaccione ante todo a la energía acústica procedente de las direcciones laterales y que no se vea influido de manera significativa por el sonido directo.

Dado que la directividad del micrófono bi-direccional de respuesta en ocho tiene esencialmente forma de coseno y que los valores de presión están elevados al cuadrado, la fracción de energía lateral obtenida para una reflexión individual varía con el cuadrado del coseno del ángulo de incidencia de la reflexión con respecto al eje de sensibilidad máxima del micrófono.

Como alternativa, se puede utilizar una aproximación con la ecuación (A.15), para la obtención de las fracciones de energía lateral, J_{LFC} , con contribuciones que varían únicamente con el coseno del ángulo, considerada subjetivamente más precisa^[9]:

$$J_{LFC} = \frac{\int_0^{0,080} |p_L(t) \cdot p(t)| dt}{\int_0^{0,080} p^2(t) dt} \quad (A.15)$$

donde

$p_L(t)$ es la presión acústica instantánea en la respuesta impulsiva del auditorio medida con un micrófono bi-direccional de respuesta en ocho;

$p(t)$ es la presión acústica instantánea de la respuesta impulsiva medida en el punto de medición.

Las fracciones de energía lateral están relacionadas con el ancho percibido de la fuente sonora.

Se considera asimismo que los criterios basados en la correlación interaural están relacionados con la impresión espacial. Se describen en el anexo B.

A.2.5 Mediciones de la energía lateral tardía

El nivel relativo de la energía acústica lateral tardía, L_J , se puede medir utilizando una fuente sonora omnidireccional calibrada, a partir de la respuesta impulsiva obtenida en el auditorio, por medio de un micrófono bi-direccional de respuesta en ocho, con la ecuación (A.16):

$$L_J = 10 \lg \left[\frac{\int_0^{\infty} p_L^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p_{10}^2(t) dt} \right] \text{ dB} \quad (\text{A.16})$$

donde

$p_L(t)$ es la presión acústica instantánea en la respuesta impulsiva medida con un micrófono bi-direccional de respuesta en ocho;

$p_{10}(t)$ es la presión acústica instantánea en la respuesta impulsiva medida con un micrófono omnidireccional a una distancia de 10 m en un campo libre.

Se pretende que el cero del micrófono bi-direccional de respuesta en ocho apunte al centro de la escena o exactamente a cada posición de la fuente, de manera que este micrófono reaccione ante todo a la energía acústica procedente de las direcciones laterales y que no se vea influido de manera significativa por el sonido directo.

La energía lateral tardía promediada en frecuencia, $L_{J,\text{avg}}$, se calcula a partir de la ecuación (A.17):

$$L_{J,\text{avg}} = 10 \lg \left[0,25 \sum_{i=1}^4 10^{L_{J_i}/10} \right] \text{ dB} \quad (\text{A.17})$$

donde

L_{J_i} es el valor en la banda de octava i ;

i representa cada una de las cuatro bandas de octava con frecuencias centrales de 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz y 1 000 Hz.

La energía acústica lateral tardía está relacionada con la envolvente o la espacialidad percibida por el oyente en el auditorio.

A.3 Procedimiento de medición

A.3.1 Fuente

Conviene que la fuente y el equipo asociado puedan radiar una señal de nivel suficiente en todas las bandas de octava comprendidas entre 125 Hz y 4 000 Hz, para que se pueda obtener un rango de decrecimiento adecuado en cada banda de octava. La fuente debe ser lo más omnidireccional posible (véase 4.2.1).

Para los ensayos relativos a las condiciones acústicas con un orador humano, se puede utilizar una fuente cuya directividad esté próxima a una cabeza humana. Las cabezas artificiales que cumplan con la referencia [6] se pueden utilizar sin verificación explícita del modelo de directividad.

A.3.2 Micrófonos

Para todas las medidas, se debería utilizar un micrófono omnidireccional para medir la respuesta impulsiva.

Para los valores de J_{LF} , se requiere también un micrófono bi-direccional de respuesta en ocho y conviene calibrar, en campo libre, las sensibilidades relativas del micrófono omnidireccional y del micrófono bi-direccional de respuesta en ocho en la dirección de sensibilidad máxima.

Para los valores de G , se debe calibrar la sensibilidad del micrófono omnidireccional.

A.3.3 Respuestas impulsivas

Las respuestas impulsivas en bandas de octava son necesarias para el cálculo de todas las magnitudes. Se pueden obtener utilizando una fuente impulsiva, como un arma de fuego cargada con cartuchos sin balas o mediante técnicas más complejas que requieren el cálculo de la respuesta impulsiva a partir de los diferentes tipos de señales radiadas por altavoces. Si la respuesta impulsiva obtenida no se puede reproducir con exactitud, entonces conviene hacer el promedio de varias mediciones repetidas en la misma posición.

Las armas de fuego cargadas con cartuchos sin balas se pueden modificar para que sean lo más omnidireccionales posible, pero estas no producen respuestas impulsivas exactamente reproducibles. Estas armas de fuego pueden producir niveles sonoros muy elevados que permiten obtener un rango dinámico amplio, pero puede dar lugar a efectos no lineales cerca del arma.

Los métodos que utilizan altavoces como fuente están limitados por la respuesta en frecuencia y por la directividad del altavoz. La respuesta en frecuencia promedio puede, en cierta medida, corregirse, pero las variaciones con la dirección no se pueden eliminar y pueden volverse importantes a frecuencias elevadas. El uso de un altavoz para emitir diversas señales impulsivas es generalmente poco ventajoso, porque el rango dinámico de las respuestas impulsivas resultante está limitado, a menos que se promedien de manera sincrónica muchas respuestas impulsivas. El cálculo de la intercorrelación entre la señal de emisión y la señal de recepción puede aportar respuestas impulsivas con un buen rango dinámico y una buena inmunidad al ruido (véase la Norma ISO 18233). El uso de la transformada rápida de Hadamard y de las secuencias de longitud máxima (MLS) constituye un método de tipo correlación ventajoso^[14]. Otras señales con un amplio espectro liso, tales como las señales moduladas linealmente en frecuencia, también se pueden utilizar con éxito.

A.3.4 Ventaneo temporal y filtrado de las respuestas

Las respuestas impulsivas se deberían filtrar en bandas de octava.

Los filtros producen retardos en la señal que pueden ser bastante significativos para las bandas de octava de baja frecuencia, de ancho de banda más estrecho. De esta forma, el inicio del impulso filtrado se retrasa con respecto a la señal no filtrada, y la señal filtrada continua asimismo tras la finalización de la señal no filtrada. Esto crea problemas particulares para las magnitudes como C_{80} o la fracción de energía J_{LF} , donde las porciones del intervalo de tiempo precoz de corta duración de las señales se filtran en bandas de octava.

El mejor enfoque para evitar los problemas de retardo debido al filtro consiste en realizar, antes de cualquier filtrado, un ventaneo temporal de la respuesta impulsiva de banda ancha. Se debería determinar el inicio de la respuesta impulsiva para las ecuaciones indicadas en el capítulo A.2, a partir de la respuesta impulsiva de banda ancha, cuando la señal aumente de forma significativa por encima del ruido de fondo, pero esté más de 20 dB por debajo del máximo. Los componentes precoces y tardíos de la respuesta impulsiva se filtran por separado, y los períodos de integración en las ecuaciones del apartado A.2 se aumentan para incluir la energía retardada por los filtros.

Se puede tener una buena aproximación del enfoque “ventaneo antes de filtrado” anterior, utilizando una corrección de ventaneo^[7]. Si las señales impulsivas se filtran primero en bandas de octava, conviene determinar el inicio de las integraciones para las ecuaciones del capítulo A.2, como el punto en el que la señal aumenta de forma significativa por encima del ruido de fondo, pero se sitúa todavía más de 20 dB por debajo del nivel máximo. El intervalo de tiempo precoz, t_e , debe iniciarse en este punto y continuar durante t_e , en segundos, más la mitad del retardo del filtrado. Conviene que el intervalo de tiempo para la integración de la energía tardía se inicie a partir del punto t_e , en segundos, más la mitad del retardo de filtrado tras el punto de disparo. En este contexto, el retardo de filtrado es el tiempo necesario para que el filtro pierda la mitad de su energía tras haber recibido un impulso.

Dado que, a bajas frecuencias, el sonido directo y las primeras reflexiones se pueden atenuar de forma significativa, puede no ser posible determinar el inicio de las respuestas de baja frecuencia. En este caso, puede ser necesario determinar el tiempo de inicio a partir de las respuestas impulsivas de banda ancha o de alta frecuencia, así como el retardo medido de los filtros.

A.3.5 Curvas de decrecimiento

Se debería utilizar la técnica de la respuesta impulsiva integrada (técnica invertida) de acuerdo con el apartado 5.3.3, para obtener las curvas de decrecimiento integradas en bandas de octava, a partir de las que se calculan los tiempos de decrecimiento. Por comodidad, también se pueden calcular otras medidas a partir de estas curvas de decrecimiento, siempre y cuando se realice correctamente un ventaneo temporal. Este enfoque requiere que el tiempo de inicio de cada respuesta en banda de octava se obtenga correctamente a partir de la respuesta de banda ancha. En otras situaciones, se puede utilizar una integración directa para obtener, por separado, los valores de otras magnitudes.

A.4 Posiciones de medición

Las diferentes magnitudes medidas no son propiedades estadísticas del conjunto del auditorio y variarán de forma sistemática de un asiento a otro. Por lo tanto, es importante incluir un número adecuado de posiciones de la fuente y del receptor para caracterizar la totalidad de la sala.

Generalmente, se deberían utilizar un mínimo de tres posiciones de la fuente en la escena. En salas con grandes escenarios o fosos de orquesta, se deberían utilizar más posiciones de la fuente. En los pequeños anfiteatros, donde la fuente normal tiene únicamente una ubicación en el recinto, sería aceptable una única posición de la fuente.

La fuente debería estar situada en posiciones representativas de las utilizadas por los intérpretes en la sala. Dado que la mayoría de salas son simétricas con respecto al eje central, las posiciones del receptor se pueden disponer solamente en un lado de la sala con las posiciones de la fuente situadas de forma simétrica con respecto al eje central. De esta forma, podría haber una posición de la fuente central, con otras posiciones de la fuente a distancias iguales a izquierda y derecha del eje central. Se recomienda una altura de la fuente de 1,5 m, para evitar una modificación de baja frecuencia de la potencia de salida de la fuente en el rango de frecuencias de medición.

Si la directividad de la fuente está próxima a los límites mínimos indicados en la tabla 1, se debería repetir la medición en al menos tres orientaciones diferentes de la fuente en total. Los parámetros resultantes de los diferentes ángulos de la fuente se deberían promediar aritméticamente.

En función del tamaño de la sala, se deberían utilizar un mínimo de 6 a 10 posiciones representativas del micrófono. La tabla A.2 indica el número mínimo de posiciones de recepción recomendado. Las posiciones del receptor se deberían repartir de manera uniforme sobre toda la zona de asientos del público. Cuando una sala está separada en varias zonas, como palcos o zonas bajo los palcos, serán necesarias más posiciones de recepción.

El micrófono se debería colocar a una altura de 1,2 m por encima del suelo en las ubicaciones de los asientos del público, para corresponder a la altura de los oídos de un oyente sentado.

Las posiciones de la fuente y del receptor y las alturas se deberían anotar junto con los resultados. Además, se deberían anotar las condiciones del escenario, tales como la presencia de sillas y atriles, porque producirán efectos medibles en los resultados.

Tabla A.2 – Número mínimo de posiciones del receptor en función del tamaño del auditorio

Número de asientos	Número mínimo de posiciones de micrófono
500	6
1 000	8
2 000	10

A.5 Presentación de resultados

Además del formato de presentación de los resultados especificados para el tiempo de reverberación, T , los valores se pueden presentar de una manera más concisa, determinando los promedios obtenidos para los resultados de pares de octavas. De esta forma, los resultados de 125 Hz y 250 Hz se promediarán aritméticamente para dar un resultado de baja frecuencia; los resultados de 500 Hz y 1 000 Hz se promediarán para dar un resultado de frecuencia media, y los resultados de 2 000 Hz y 4 000 Hz se promediarán para dar un resultado de alta frecuencia. Sin embargo, las fracciones de energía lateral en la banda de octava de 4 000 Hz no se consideran subjetivamente importantes.

Para un valor único de los parámetros, se aplica el promedio aritmético para las bandas de octava, excepto para L_J , que se debe promediar energéticamente [véase la ecuación (A.17)]. Conviene utilizar el promediado en frecuencia indicado en la tabla A.1 y el índice “m” (para la ponderación) aplicada al símbolo.

EJEMPLO 1 G_m fuerza promediada en bandas de octava de 500 Hz a 1 000 Hz.

EJEMPLO 2 J_{LFm} fracción de energía precoz promediada en bandas de octava de 125 Hz a 1 000 Hz.

Los resultados de la medición de las magnitudes descritas en este anexo no se deberían promediar sobre la totalidad de las posiciones de micrófono en una sala, porque las magnitudes deberían describir las condiciones acústicas locales. En el caso de una sala grande, puede ser útil promediar los resultados en algunas secciones de la sala (butacas, palcos, etc.). Algunas magnitudes, tales como la fuerza sonora, G , tienen tendencia a variar con la distancia, y puede ser útil una representación gráfica de G , en función de la distancia fuente/receptor.

ANEXO B (Informativo)

MAGNITUDES BINAURALES EN AUDITORIOS DERIVADAS DE LAS RESPUESTAS IMPULSIVAS

B.1 Generalidades

El proceso auditivo es estereofónico. Los estudios subjetivos de los auditorios han demostrado que los coeficientes de correlación cruzada interaurales (*inter-aural cross correlation coefficients*, IACC), medidos tanto con una cabeza artificial como con una cabeza real, con las mismas dimensiones promediadas que las cabezas artificiales, y con pequeños micrófonos en la entrada de los canales auditivos, se corresponden bien con la calidad subjetiva “impresión espacial” en una sala de conciertos (se considera asimismo que las magnitudes de la energía lateral precoz están relacionadas con la espacialidad; véase el anexo A).

La impresión espacial se puede dividir en dos subapartados:

- Subapartado 1: ensanchamiento de la fuente, es decir, ancho aparente de la fuente (ASW);
- Subapartado 2: sensación de inmersión o de envolvente en el sonido, es decir, envolvente del oyente (LEV).

B.2 Definición de los IACC

La función de correlación cruzada interaural normalizada (*inter-aural cross correlation function*, IACF) se define en primer lugar mediante la ecuación (B.1):

$$\text{IACF}_{t_1, t_2}(\tau) = \frac{\int_{t_1}^{t_2} p_l(t) \cdot p_r(t + \tau) dt}{\sqrt{\int_{t_1}^{t_2} p_l^2(t) dt \int_{t_1}^{t_2} p_r^2(t) dt}} \quad (\text{B.1})$$

donde

$p_l(t)$ es la respuesta impulsiva en la entrada del canal auditivo izquierdo;

$p_r(t)$ es la respuesta impulsiva en la entrada del canal auditivo derecho.

Los coeficientes de correlación cruzada interaurales, IACC, vienen dados por la ecuación (B.2):

$$\text{IACC}_{t_1, t_2} = \max_{\tau} |\text{IACF}_{t_1, t_2}(\tau)| \quad \text{para } -1 \text{ ms} < \tau < +1 \text{ ms} \quad (\text{B.2})$$

B.3 Cabezas de medición

B.3.1 Cabeza artificial

Se debería escoger como estándar una cabeza artificial, con pabellones y canales auditivos, y utilizarla para un determinado conjunto de mediciones. Las cabezas artificiales que cumplan con la referencia [6] se pueden utilizar sin verificar su geometría o su rendimiento acústico. Se deben indicar claramente en el informe de ensayo la selección y el uso de una cabeza artificial, y se debe describir detalladamente la dirección de la cabeza artificial.

Cuando se realicen mediciones en un auditorio, la altura de los canales auditivos de la cabeza artificial por encima del suelo debería ser de aproximadamente 1,2 m.

B.3.2 Cabezas reales

Se pueden utilizar cabezas reales en lugar de una cabeza artificial estándar para obtener $p_l(t)$, siempre y cuando $K_1 < [\text{ancho de la cabeza más dos veces la diferencia entre la longitud de la cabeza y la distancia desde el punto de entrada auditivo (ear entrance point, EEP) a la pared occipital}] < K_2$, donde K_1 y K_2 se determinan a partir de las comparaciones con la cabeza artificial, de manera que los IACC para las cabezas reales escogidas, correspondan con los de la cabeza artificial dentro de $r = 0,85$ o mejor. Se deberían indicar claramente en el informe de ensayo la selección y el uso de cabezas reales, y se deberían describir detalladamente las instrucciones indicadas a las personas y el tipo de micrófonos utilizados.

B.4 Usos de los IACC

Los usos de los IACC todavía no se han aceptado de manera uniforme. Como en el caso de J_{LF} y J_{LFC} , el uso de IACC y su aplicabilidad subjetiva siguen siendo objeto de discusión e investigación. Asimismo, se han propuesto diferentes enfoques con respecto a la elección de los límites temporales t_1 y t_2 y el filtrado en frecuencia de las señales^[8].

La forma más general de los IACC se define por $t_1 = 0$ y $t_2 = \infty$ (en acústica de salas, tiempo del orden del tiempo de reverberación) y por una banda de frecuencia ancha. Como en el caso de las mediciones monoaurales, los IACC se miden generalmente en bandas de octava que van desde los 125 Hz hasta los 4 000 Hz.

Los IACC se pueden medir para describir la semejanza de la llegada de la señal en los dos oídos, tanto para las reflexiones tempranas ($t_1 = 0$ y $t_2 = 0,08$ s), como para el sonido reverberante ($t_1 = 0,08$ s y $t_2 =$ un tiempo superior al tiempo de reverberación de la sala).

El umbral diferencial (JND) de los IACC se estima en 0,075.

B.5 Procedimiento de medición

En general, el procedimiento de medición debería ser comparable con el descrito en el anexo A.

ANEXO C (Informativo)

MAGNITUDES DEL ESCENARIO DERIVADAS DE LAS RESPUESTAS IMPULSIVAS

En las salas de conciertos y en otros recintos para espectáculos, es importante que las condiciones acústicas permitan a los músicos oírse unos a otros y que exista una respuesta suficiente por parte de la sala. Para una evaluación objetiva de estas condiciones, se ha considerado de utilidad realizar las mediciones en la plataforma de la orquesta con la fuente y el micrófono cerca uno del otro^[19]. Se pueden derivar dos parámetros diferentes de las mediciones (véase la tabla C.1).

Tabla C.1 – Parámetros acústicos medidos en plataformas de orquestas

Aspecto subjetivo para el oyente	Magnitud acústica	Promediado en frecuencia de número único Hz	Umbral diferencial (JND)	Rango típico
Condiciones de conjunto	Soporte precoz, ST_{precoz} , en decibelios	250 a 2 000	Desconocido	–24 dB; –8 dB
Reverberación percibida	Soporte tardío, $ST_{\text{tardío}}$, en decibelios	250 a 2 000	Desconocido	–24 dB; –10 dB

C.2 Definición de las magnitudes

C.2.1 Soporte precoz

Es la relación, en decibelios, entre la energía reflejada en el primer 0,1 s y el sonido directo (incluida la reflexión del suelo), medidos ambos a una distancia de 1,0 m del centro acústico de una fuente sonora omnidireccional. Las otras superficies reflectantes se deberían situar a más de 2 m de la posición de medición. Véase la ecuación (C.1):

$$ST_{\text{precoz}} = 10 \lg \left[\frac{\int_{0,020}^{0,100} p^2(t) dt}{\int_0^{0,010} p^2(t) dt} \right] \text{ dB} \quad (\text{C.1})$$

donde

$p(t)$ es la presión acústica instantánea de la respuesta impulsiva medida en el punto de medición y $t = 0$ corresponde a la llegada del sonido directo.

El soporte precoz está relacionado con el conjunto, es decir, con la facilidad de audición para los demás miembros de una orquesta. Sin embargo, las influencias del sonido directo, del tiempo de retardo y de las reflexiones de las superficies cercanas no están incluidas.

C.2.2 Soporte tardío

Es la relación, en decibelios, entre la energía reflejada tras el primer 0,1 s y el sonido directo (incluida la reflexión del suelo), medidos ambos a una distancia de 1,0 m del centro acústico de una fuente sonora omnidireccional. Las otras superficies u objetos reflectantes se deberían situar a más de 2 m de la posición de medición. Véase la ecuación (C.2):

$$ST_{\text{tardío}} = 10 \lg \left[\frac{\int_{0,100}^{1,000} p^2(t) dt}{\int_0^{0,010} p^2(t) dt} \right] \text{ dB} \quad (\text{C.2})$$

donde

$p(t)$ es la presión acústica instantánea de la respuesta impulsiva medida en el punto de medición y $t = 0$ corresponde a la llegada del sonido directo.

El soporte tardío está relacionado con la reverberación percibida, es decir, con la respuesta de la sala, tal y como la oye el músico.

C.2.3 Posiciones de medición

La altura de la fuente y del micrófono debe ser la misma, 1,0 m o 1,5 m por encima del suelo. Generalmente, se deberían utilizar al menos tres posiciones diferentes de la fuente y del receptor. Las mediciones se deberían realizar preferiblemente con sillas y atriles en la plataforma de la orquesta, pero se deberían retirar las sillas y los atriles situados en un radio de 2 m en torno a la fuente y el micrófono, para que el sonido no se refleje directamente al micrófono. Se deberían anotar las posiciones de la fuente y del receptor con los resultados.

C.2.4 Presentación de resultados

Las mediciones se realizan en bandas de octava. El resultado promediado aritméticamente en las cuatro bandas de octava desde 250 Hz a 2 000 Hz y en las tres posiciones se debería calcular como resultado de valor del número único.

La desviación típica del resultado en una sola posición en banda de octava se estima en 1 dB. La desviación típica del resultado de número único promediando en frecuencia y en posición se estima en 0,3 dB.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ISO 354:2003, *Acoustics. Measurement of sound absorption in a reverberation room.*
- [2] ISO 3741, *Acoustics. Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure. Precision methods for reverberation rooms.*
- [3] ISO 18233, *Acoustics. Application of new measurement methods in building and room acoustics.*
- [4] IEC 60268-1, *Sound system equipment. Part 1: General.*
- [5] IEC 60268-16, *Sound system equipment. Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index.*
- [6] ITU Recommendation P.58:1994, *Head and torso simulator for telephonometry.*
- [7] BARRON, M. Impulse Response Testing Techniques for Auditoria, *App. Acoust.*, Vol. **17**, 1984, p. 165.
- [8] KEET, W. de V. The Influence of Early Lateral Reflections on Spatial Impression, *6th International Congress on Acoustics*, Tokyo, 1968.
- [9] KLEINER, M.A. New Way of Measuring Lateral Energy Fractions, *App. Acoust.*, Vol. **27**, 1989, p. 321.
- [10] RASMUSSEN, B., RINDEL, J.H. and HENRIKSEN, H. Design and Measurement of Short Reverberation Times at Low Frequencies in Talks Studios, *J. Audio Eng. Soc.*, Vol. **39**, 1991, p. 47.
- [11] SCHROEDER, M.R. New Method of Measuring Reverberation Time, *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. **37**, 1965, p. 409.
- [12] SCHROEDER, M.R., GOTTLOB, D. and SIEBRASSE, D.F. Comparative Study of European Concert Halls: Correlation of Subjective Preference with Geometric and Acoustic Parameters, *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. **56**, 1974, p. 1195.
- [13] VORLÄNDER, M. and BIETZ, H. Comparison of Methods for Measuring Reverberation Time, *Acustica*, Vol. **80**, 1994, p. 205.
- [14] KUTTRUFF, H. *Room Acoustics*, 3rd edition, Elsevier Applied Science Publishers, London and New York, 1991, chapter VIII.
- [15] TACHIBANA, H. et. al. Definition and Measurement of Sound Energy Level of a Transient Sound Source, *J. Acoust. Soc. Jpn (E)*, Vol. 8 No. 6, 1987, p. 235.
- [16] KOYASU, M. et. al. Measurement of Equivalent Sound Absorption Area by Stationary and Impulsive Reference Sound Sources, *Proc. of Inter-Noise 94*, 1994, p. 1501.
- [17] BRADLEY, J.S. and SOULODRE, G.A. Objective measures of listener envelopment. *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. **98**, 1995, p. 2590.
- [18] BARRON, M. Using the standard on objective measures for concert auditoria, ISO 3382, to give reliable results. *Acoustical Science and Technology*, Vol. **26**, 2005, p. 162-169.
- [19] GADE, A.C. Practical Aspects of Room Acoustical Measurements on Orchestra Platforms. *Proc. of 14th ICA*, Beijing, 1992, Paper F3-5.
- [20] BARTEL, T.W. and YANIV, S.L. Curvature of sound decays in partially reverberant rooms. *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. **72**, 1982, p. 1838-1844.
- [21] DAVY, J.L., DUNN, I.P., DUBOUT, P. The variance of decay rates in reverberation rooms. *Acustica* 1979, 43, pp. 12-25.
- [22] DAVY, J.L. The variance of impulse decays. *Acustica* 1980, 44, pp. 51-56.

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Génova, 6
28004 MADRID-España

info@aenor.es
www.aenor.es

Tel.: 902 102 201
Fax: 913 104 032