

Diciembre 2008

### TÍTULO

**Acústica**

**Medición de parámetros acústicos en recintos**

**Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios**

(ISO 3382-2:2008)

*Acoustics. Measurement of room acoustic parameters. Part 2: Reverberation time in ordinary rooms (ISO 3382-2:2008).*

*Acoustique. Mesurage des paramètres acoustiques des salles. Partie 2: Durée de réverbération des salles ordinaires. (ISO 3382-2:2008).*

### CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN ISO 3382-2:2008, que a su vez adopta la Norma Internacional ISO 3382-2:2008.

### OBSERVACIONES

Este 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.

Editada e impresa por AENOR  
Depósito legal: M 58266:2008

© AENOR 2008  
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

**AENOR**

Génova, 6  
28004 MADRID-España

Asociación Española de  
Normalización y Certificación

info@aenor.es  
www.aenor.es

Tel.: 902 102 201  
Fax: 913 104 032

23 Páginas

**Grupo 16**



Versión en español

**Acústica**  
**Medición de parámetros acústicos en recintos**  
**Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios**  
**(ISO 3382-2:2008)**

Acoustics. Measurement of room acoustic parameters. Part 2: Reverberation time in ordinary rooms (ISO 3382-2:2008).

Acoustique. Mesurage des paramètres acoustiques des salles. Partie 2: Durée de réverbération des salles ordinaires. (ISO 3382-2:2008).

Akustik. Messung von Parametern der Raumakustik. Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen. (ISO 3382-2:2008).

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2008-05-22.

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: Rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles**

© 2008 CEN. Derechos de reproducción reservados a los Miembros de CEN.

## PRÓLOGO

El texto de la Norma EN ISO 3382-2:2008 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 2008, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deben anularse antes de finales de diciembre de 2008.

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 3382-2:2008 ha sido aprobado por CEN como Norma EN ISO 3382-2:2008 sin ninguna modificación.

## ÍNDICE

	Página
PRÓLOGO .....	6
INTRODUCCIÓN .....	7
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN .....	8
2 NORMAS PARA CONSULTA.....	8
3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES .....	8
4 CONDICIONES DE MEDICIÓN .....	9
4.1 Generalidades .....	9
4.2 Equipo .....	9
4.3 Posiciones de medición.....	10
5 PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN .....	12
5.1 Generalidades .....	12
5.2 Método del ruido interrumpido .....	12
5.3 Método de respuesta impulsiva integrada.....	13
6 EVALUACIÓN DE LAS CURVAS DE DECRECIMIENTO .....	14
7 INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN .....	14
7.1 Método del ruido interrumpido .....	14
7.2 Método de respuesta impulsiva integrada.....	15
7.3 Límites inferiores para resultados fiables obtenidos por un filtro y un detector.....	15
8 PROMEDIADO ESPACIAL .....	15
9 EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS .....	15
9.1 Tablas y curvas.....	15
9.2 Informe de ensayo .....	16
ANEXO A (Informativo) INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN .....	17
ANEXO B (Informativo) EVALUACIÓN DE LAS CURVAS DE DECRECIMIENTO NO LINEALES .....	20
ANEXO C (Informativo) FÓRMULAS PARA EL MÉTODO DE AJUSTE DE LOS MÍNIMOS CUADRADOS .....	22
BIBLIOGRAFÍA.....	23

## PRÓLOGO

ISO (la 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 su votación. La publicación como norma internacional requiere la aprobación por al menos el 75% de los organismos miembros con derecho a voto.

Se llama la atención sobre la posibilidad de que algunos de los elementos de esta norma internacional 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 3382-2 fue preparada por el Comité Técnico ISO/TC 43 *Acústica*, Subcomité SC 2, *Acústica en edificación*.

La Norma ISO 3382-2, junto con las Normas ISO 3382-1 e ISO 3382-3, anula y sustituye a la Norma ISO 3382:1997.

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

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

La siguiente parte está en elaboración:

- *Parte 3: Espacios abiertos.*

## INTRODUCCIÓN

Esta parte de la Norma ISO 3382 especifica tres niveles de exactitud de la medición: control, ingeniería y precisión. La principal diferencia se refiere al número de posiciones de medición y por lo tanto al tiempo requerido para realizar las mediciones. El anexo A contiene información adicional sobre la incertidumbre de medición del tiempo de reverberación. Al introducir la opción de una medición de control, se pretende medir más frecuentemente el tiempo de reverberación en los recintos cuando sea pertinente. Es obvio que realizar una medición muy simple es mejor que no realizar ninguna.

Existen varias razones para medir el tiempo de reverberación. En primer lugar, el nivel de presión acústica de las fuentes sonoras, la inteligibilidad de la palabra, y la percepción de la privacidad en un recinto dependen mucho del tiempo de reverberación. Los recintos pueden ser recintos domésticos, escaleras, talleres, instalaciones industriales, aulas, oficinas, restaurantes, centros de exposiciones, recintos deportivos y terminales de tren o de aeropuerto. En segundo lugar, el tiempo de reverberación se mide para determinar el término de corrección de la absorción del recinto inherente en múltiples mediciones acústicas, tales como las mediciones del aislamiento acústico de acuerdo con la Norma ISO 140 (todas las partes) y las mediciones de la potencia acústica de acuerdo con la Norma ISO 3740.

En algunos países, los códigos de la edificación especifican los tiempos de reverberación requeridos en aulas u otras categorías de recintos. Sin embargo, en la gran mayoría de los casos, corresponde al equipo de diseño especificar y diseñar un tiempo de reverberación adaptado al uso del recinto. Se espera que esta parte de la Norma ISO 3382 contribuya a hacer entender la importancia del tiempo de reverberación en lo que se refiere a la calidad y utilización del recinto.

En esta parte de la Norma ISO 3382 se definen dos rangos de evaluación diferentes, 20 dB y 30 dB. Sin embargo, se ha dado preferencia al rango de evaluación de 20 dB por varias razones:

- a) la evaluación subjetiva de la reverberación está relacionada con la primera parte del decrecimiento del sonido;
- b) para estimar el nivel acústico estacionario en un recinto a partir de su tiempo de reverberación, conviene utilizar la primera parte del decrecimiento; y
- c) la relación señal/ruido representa a menudo un problema en las mediciones de campo, y a veces es difícil o imposible obtener un rango de evaluación de más de 20 dB. Esto requiere un nivel de señal/ruido de al menos 35 dB.

La técnica de medición tradicional se basa en la inspección visual de cada curva de decrecimiento individual. Con los equipos de medición modernos, las curvas de decrecimiento generalmente no se muestran y esto puede conllevar el riesgo de que las curvas de decrecimiento anormales se utilicen para la determinación del tiempo de reverberación. Por este motivo, el anexo B introduce dos nuevas mediciones que cuantifican el grado de no linealidad y el grado de curvatura de la curva de decrecimiento. Estas mediciones se pueden utilizar para alertar cuando la curva de decrecimiento no es lineal y por lo tanto el resultado se debería identificar como menos fiable y sin una única reverberación.

El grupo de trabajo ha examinado el uso de micrófonos rotatorios durante la medición de las curvas de decrecimiento, y este procedimiento parece no presentar un significado físico claro, por tanto sólo se acepta para el método del ruido interrumpido y únicamente cuando el resultado se utiliza para un término de corrección.

Para otras mediciones del tiempo de reverberación, existen otras dos normas internacionales, la norma ISO 3382-1 para los auditorios y salas de espectáculos y la Norma ISO 354 para las mediciones del coeficiente de absorción en un recinto reverberante. Ni la Norma ISO 3382-1 ni la Norma ISO 354 son adecuadas para las mediciones en recintos como los mencionados anteriormente. Esta parte de la Norma ISO 3382 llena por lo tanto un vacío entre las normas sobre las mediciones de las propiedades acústicas de los edificios.

Esta parte de la Norma ISO 3382 no retoma los detalles técnicos de la Norma ISO 3382-1, sino que trata, únicamente, de la medición del tiempo de reverberación en cualquier tipo de recinto.

## 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta parte de la Norma ISO 3382 especifica los métodos de medición del tiempo de reverberación en recintos ordinarios. Describe el procedimiento de medición, el equipo necesario, el número de posiciones de medición requerido y el método para evaluar los datos y presentar el informe de ensayo.

Los resultados de la medición se pueden utilizar para la corrección de otras mediciones acústicas, por ejemplo, el nivel de presión acústica de las fuentes sonoras o las mediciones del aislamiento acústico, y para comparación con los requisitos del tiempo de reverberación en los recintos.

## 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).

ISO 3382-1:<sup>1)</sup>, *Acústica. Medición de los parámetros acústicos en recintos. Parte 1: Recintos para espectáculos.*

ISO 18233, *Acústica. Aplicación de nuevos métodos de medición en la acústica de los edificios y recintos.*

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

## 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.

[ISO 354:2003, 3.1]

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

### 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 de banda limitado.

[ISO 354:2003, 3.3]

### 3.3 método de la respuesta impulsiva integrada:

Método para obtener curvas de decrecimiento mediante la integración inversa del tiempo de 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. Sin embargo, una técnica de medición alternativa es utilizar una señal de tipo período de secuencias de máxima longitud (SML), u otra señal determinística de espectro plano, como un barrido sinusoidal y transformar la respuesta medida en una respuesta impulsiva.

---

1) Pendiente de publicación. (Revisión de la Norma ISO 3382:1997).



### 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 etiqueta 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 volumen de un recinto grande:

Un espacio cerrado con un volumen superior a 300 m<sup>3</sup>.

## 4 CONDICIONES DE MEDICIÓN

### 4.1 Generalidades

En muchos recintos, el número de personas presentes puede influir mucho en el tiempo de reverberación. Las mediciones del tiempo de reverberación se deberían realizar en un recinto sin personas. Sin embargo, se puede permitir que un recinto con hasta dos personas presentes represente su estado vacío, salvo que se especifique lo contrario. Si el resultado de la medición se utiliza para la corrección de un nivel de presión acústica medido, el número de personas presentes en el recinto debería ser el mismo para esa medición.

En recintos grandes, la atenuación por el aire puede contribuir de manera significativa a la absorción acústica a frecuencias elevadas. Para las mediciones de precisión, se debe medir la temperatura y la humedad relativa del aire en el recinto.

La importancia de la contribución de la absorción del aire es baja si el tiempo de reverberación es inferior a 1,5 s a 2 kHz e inferior a 0,8 s a 4 kHz. En este caso, no es necesario medir la temperatura y la humedad relativa.

### 4.2 Equipo

#### 4.2.1 Fuente acústica

La fuente debería ser lo más omnidireccional posible. Para mediciones de precisión, la directividad de la fuente acústica debe cumplir los requisitos de la Norma ISO 3382-1:-, apartado A.3.1. Para las mediciones de control y de ingeniería, no existen requisitos específicos para la directividad. 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.

#### 4.2.2 Micrófonos y equipo de análisis

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

- 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
- a un registrador de señal para un análisis posterior.

##### 4.2.2.1 Micrófono y filtros

El micrófono debería ser lo más pequeño posible y tener preferiblemente un diámetro de diafragma máximo de 14 mm. Se permiten micrófonos con diámetros de hasta 27 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. Los filtros de banda de octava o de un tercio de octava deben cumplir la Norma IEC 61260.

#### 4.2.2.2 Equipo de conformación del registro de decrecimiento del nivel

El equipo para conformar (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.

El tiempo de promediado, es decir, la constante de tiempo de un dispositivo promediador exponencial, 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.

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 deba evaluar visualmente, ajústese la escala de tiempo del dispositivo de manera que la pendiente del registro se aproxime lo más posible a  $45^\circ$ .

NOTA 1 El tiempo de promediado de un dispositivo de promediado exponencial es igual a  $4,34 [= 10 \lg(e)]$  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 un tiempo de promediado o intervalo escogido como se indica arriba con respecto al tiempo de reverberación más corto en cualquier banda, debe utilizarse para las mediciones en todas las bandas.

#### 4.2.2.3 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

#### 4.3.1 Generalidades

En la tabla 1 se indican los números mínimos de posiciones de medición para obtener una cobertura adecuada en un recinto. En recintos con una geometría complicada, se deberían utilizar más posiciones de medición. Se debe escoger una distribución de posiciones de micrófono que tengan en cuenta las principales influencias susceptibles de ser el origen de las diferencias en el tiempo de reverberación a lo largo del recinto.

**Tabla 1 – Números mínimos de posiciones y mediciones**

	<b>Control</b>	<b>Ingeniería<sup>a</sup></b>	<b>Precisión</b>
Combinaciones fuente-micrófono	2	6	12
Posiciones de la fuente <sup>b</sup>	≥ 1	≥ 2	≥ 2
Posiciones de micrófono <sup>c</sup>	≥ 2	≥ 2	≥ 3
Número de decrecimientos en cada posición (método del ruido interrumpido)	1	2	3
<sup>a</sup> Cuando el resultado se utiliza para un término de corrección en otras mediciones del nivel de ingeniería, solo se requiere una posición de la fuente y tres posiciones de micrófono. <sup>b</sup> Para el método del ruido interrumpido, se pueden utilizar simultáneamente fuentes no correlativas. <sup>c</sup> Para el método del ruido interrumpido y cuando el resultado se utiliza para un término de corrección, se puede utilizar una percha de micrófono rotativo en lugar de múltiples posiciones de micrófono.			

Para el método del ruido interrumpido, el número total de decrecimientos se obtiene generalmente mediante un número de decrecimientos repetidos en cada posición. Sin embargo, también se permite tomar una nueva posición para cada decrecimiento, siempre y cuando el número total de decrecimientos sea el requerido.

Las posiciones de la fuente pueden ser las posiciones normales en función del uso del recinto. En los recintos pequeños, como los recintos de viviendas, o cuando no existen posiciones normales, conviene colocar una posición de la fuente en una esquina del recinto. Las posiciones de micrófono deben estar preferiblemente separadas al menos media longitud de onda, es decir, a una distancia mínima de 2 m para el rango de frecuencias habitual. La distancia desde cualquier posición de micrófono a la superficie reflectante más cercana, incluyendo el suelo, debería ser preferiblemente al menos un cuarto de longitud de onda, es decir, generalmente en torno a 1 m. Se deberían evitar las posiciones simétricas. En el caso especial de un micrófono móvil, el radio de barrido debe ser de al menos 0,7 m. El plano de barrido no debe encontrarse a menos de 10° de cualquier plano del recinto (pared, suelo, techo). La duración de un período de barrido no debe ser inferior a 15 s.

Las posiciones de micrófono no deben estar muy próximas. De lo contrario, el número de posiciones independientes es inferior al número real de posiciones de medición. Los números mínimos indicados en la tabla 1 son los números de posiciones independientes.

Ninguna posición de micrófono debe estar muy próxima a la posición de la fuente, para evitar una influencia demasiado fuerte del sonido directo. La distancia mínima,  $d_{\min.}$ , en metros, se puede calcular a partir de la ecuación (1):

$$d_{\min.} = 2\sqrt{\frac{V}{c\hat{T}}} \quad (1)$$

donde

$V$  es el volumen, en metros cúbicos;

$c$  es la velocidad del sonido, en metros por segundo;

$\hat{T}$  es una estimación del tiempo de reverberación esperado, en segundos.

#### 4.3.2 Método de control

El método de control es adecuado para la evaluación de la cantidad de absorción del recinto con fines de control de ruido, y para las mediciones de control del aislamiento a ruido aéreo y a ruido de impactos. Se debería utilizar para las mediciones de la Norma ISO 10052. Las mediciones de control se realizan únicamente en bandas de octava. La precisión nominal se supone superior al 10 % para bandas de octava, véase el anexo A.

Se realizan mediciones del tiempo de reverberación para al menos dos posiciones de la fuente. Se requieren al menos seis combinaciones fuente-micrófono independientes, véase la tabla 1.

#### 4.3.3 Método de ingeniería

El método de ingeniería es adecuado para la verificación del comportamiento de los edificios con respecto a las especificaciones del tiempo de reverberación o de la absorción del recinto. Se debería utilizar para las mediciones de la Norma ISO 140 (todas las partes) con menciones a las mediciones del tiempo de reverberación. La precisión nominal se supone superior al 5% en bandas de octava y superior al 10% en bandas de un tercio de octava, véase el anexo A.

Se realizan mediciones del tiempo de reverberación para al menos dos posiciones de la fuente. Se requieren al menos seis combinaciones de fuente-micrófono independientes, véase la tabla 1.

#### 4.3.4 Método de precisión

El método de precisión es adecuado cuando se requiere una alta precisión de medición. La precisión nominal se supone superior al 2,5% en bandas de octava y superior al 5% en bandas de un tercio de octava, véase el anexo A.

Se realizan mediciones del tiempo de reverberación para al menos dos posiciones de la fuente. Se requieren al menos doce combinaciones de fuente-micrófono independientes, véase la tabla 1.

## 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.

Para las mediciones en bandas de octava, el ancho de banda de la señal debe ser mayor o igual a una octava; 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 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 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  $T/2$  s. En recintos grandes, la duración de la excitación debe ser de al menos unos segundos.

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 presión de medición es inferior a la descrita en el apartado 4.3.1.

### 5.2.2 Promediado de las mediciones

El número de posiciones de micrófono utilizadas se determinará por la precisión requerida. 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 se puede calcular de dos formas:

- hallando los tiempos de reverberación individuales para todas las curvas de decrecimiento y tomando el valor medio; o
- haciendo una media del conjunto de los decrecimientos de presión acústica al cuadrado y hallando el tiempo de reverberación de la curva de decrecimiento resultante. Los decrecimientos 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 decrecimientos y la secuencia de estas sumas se utiliza como un decrecimiento único del conjunto a partir del cual se evalúa  $T$ . Es importante que la potencia acústica de 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 fuente hacia un receptor en un recinto es una magnitud bien definida, que se puede medir de múltiples maneras (por ejemplo, utilizando disparos de pistola, impulsos producidos por chispazos, salvas de ruido, barridos sinusoidales 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 decrecimiento 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 especial de la señal de micrófono registrada, véase la Norma ISO 18233. Esto puede mejorar la relación señal/ruido. Los barridos sinusoidales o los ruidos pseudo-aleatorios (por ejemplo las SLM) 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 deben medir.

### 5.3.3 Integración de la respuesta impulsiva

Para cada banda de octava o banda de tercio de octava, genérese la curva de decrecimiento por integración inversa de la respuesta impulsiva filtrada elevada al cuadrado. Para más detalles, véase la Norma ISO 3382-1:-.

NOTA Para el caso límite de un número infinito de mediciones con ruido interrumpido, la curva de decrecimiento media del conjunto es idéntica a la de una única respuesta impulsiva elevada al cuadrado integrada.

## 6 EVALUACIÓN DE LAS CURVAS DE DECRECIMIENTO

Para determinar  $T_{20}$ , el rango evaluado para las curvas de decrecimiento se extiende de 5 dB a 25 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. En el anexo C se indica la fórmula del método de los mínimos cuadrados. 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  $T_{20} = 60/d$ . Para la determinación de  $T_{30}$ , el rango de evaluación es desde 5 dB a 35 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 que sin embargo 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 no lineales, puede significar una mezcla de modos con diferentes tiempos de reverberación y, por lo tanto, el resultado puede no ser fiable. En el anexo B se proponen dos indicadores de curvas de decrecimiento no lineales.

El decrecimiento obtenido directamente tras la excitación no continua de un recinto (por ejemplo, registrando un disparo con un registrador de nivel) no se recomienda para la evaluación precisa del tiempo de reverberación. Este método solo se debería utilizar con fines de control, siguiendo el procedimiento para las mediciones de control.

## 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 al número de promedios. La desviación típica del resultado de medición,  $\sigma(T_{20})$  o  $\sigma(T_{30})$ , en segundos, se puede estimar a partir de las ecuaciones (2) y (3), respectivamente:

$$\sigma(T_{20}) = 0,88 T_{20} \sqrt{\frac{1 + (1,90/n)}{N B T_{20}}} \quad (2)$$

$$\sigma(T_{30}) = 0,55 T_{30} \sqrt{\frac{1 + (1,52/n)}{N B T_{30}}} \quad (3)$$

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 (2) y (3) se derivan de las referencias [1] y [2] y se basan en determinadas hipótesis referentes al dispositivo promediador. En el anexo A se amplía más información.

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

La incertidumbre de medición que utiliza el método de la respuesta impulsiva integrada es 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:

$$BT > 16 \quad (4)$$

$$T > T_{\text{det}} \quad (5)$$

donde

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

$T$  es el tiempo de reverberación medido, en segundos;

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

NOTA Los tiempos de reverberación muy cortos se pueden analizar utilizando la técnica de la inversión temporal descrita en la norma ISO 3382-1:-. En ese caso, las condiciones límite inferiores para obtener resultados fiables son  $BT > 4$  y  $T > T_{\text{det}}/4$ .

## 8 PROMEDIADO ESPACIAL

Los resultados medidos para el rango de las posiciones de la fuente y de micrófono se pueden combinar para zonas identificadas por separado o para el conjunto del recinto para obtener los valores de promediado espacial. Este promediado espacial se debe alcanzar por medio de uno de los siguientes procedimientos.

- 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.
- Promediado del conjunto de las curvas de decrecimiento. Los decrecimientos individuales se superponen sincronizando sus orígenes, véase el apartado 5.2.2.

## 9 EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

### 9.1 Tablas y curvas

Los tiempos de reverberación evaluados para cada frecuencia de medición se deben presentar en una tabla. El resultado también se puede dibujar en forma de gráfico.

En el caso de un gráfico, se deberían utilizar rectas que conecten los puntos o un diagrama de barras. La abscisa debe representar la frecuencia en una escala logarítmica, mientras que la ordenada debe utilizar una escala de tiempo lineal con un origen de cero, o bien una escala logarítmica. Las frecuencias nominales del centro de la banda para bandas de octava de acuerdo con la norma IEC 61260 se deberían marcar en el eje de frecuencias.

La tabla y el gráfico deben indicar claramente si se utiliza  $T_{20}$  o  $T_{30}$  para el tiempo de reverberación.

## 9.2 Informe de ensayo

El informe de ensayo debe incluir al menos la siguiente información:

- a) una declaración de que las mediciones se realizaron de acuerdo con esta parte de la norma ISO 3382;
  - b) toda la información necesaria para identificar el recinto de ensayo;
  - c) un esquema del recinto, con su escala;
  - d) el volumen del recinto,
- NOTA Si el recinto no está completamente cerrado, se debe dar una explicación de cómo se define el volumen estudiado.
- e) el estado del recinto (muebles, número de personas presentes, etc.);
  - f) únicamente para el método de precisión, la temperatura y la humedad relativa en el recinto durante la medición;
  - g) el tipo de fuente acústica;
  - h) una descripción de la señal acústica utilizada;
  - i) el grado de precisión (control, ingeniería o precisión) incluyendo los detalles de las posiciones de fuente y micrófono, preferiblemente mostradas sobre el plano junto con una indicación de las alturas de las posiciones;
  - j) una descripción del equipo de medición y de los micrófonos;
  - k) el método utilizado para la evaluación de las curvas de decrecimiento, ya sea el de mejor ajuste calculado por los mínimos cuadrados, ya sea el de mejor ajuste visual (capítulo 6);
  - l) el método utilizado para promediar el resultado en cada posición (apartado 5.2.2);
  - m) el método utilizado para promediar el resultado en todas las posiciones (capítulo 8);
  - n) la tabla con los resultados de medición;
  - o) la fecha de medición y el nombre del organismo de medición.



## ANEXO A (Informativo)

### INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

#### A.1 Generalidades

La incertidumbre de medición de la tasa de decrecimiento se ha abordado en las referencias [1] y [2].

La tasa de decrecimiento,  $d$ , en decibelios por segundo, está ligada al tiempo de reverberación  $T$ , en segundos, mediante  $d = 60/T$ . Las mediciones se pueden repetir en la misma posición.

La varianza de la tasa de decrecimiento media,  $\text{var}(\bar{d})$ , viene dada por la ecuación (A.1):

$$\text{var}(\bar{d}) = \frac{1}{N} \text{var}_s(d) + \frac{1}{Nn} \text{var}_e(d) \quad (\text{A.1})$$

donde

$n$  es el número de decrecimientos medidos en cada posición;

$N$  es el número de posiciones de medición independientes;

$\text{var}_e(d)$  es la varianza de conjunto en una posición;

$\text{var}_s(d)$  es la varianza espacial.

La varianza relativa del tiempo de reverberación se indica en la ecuación (A.2):

$$\frac{\text{var}(\bar{T})}{\bar{T}^2} = \frac{\text{var}(\bar{d})}{\bar{d}^2} \quad (\text{A.2})$$

Por lo tanto, el coeficiente estimado de variación del tiempo de reverberación medio (también conocido como la incertidumbre típica), viene dada por la ecuación (A.3):

$$\frac{\sigma(\bar{T})}{\bar{T}} = \sqrt{\frac{\text{var}(\bar{d})}{\bar{d}^2}} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sqrt{\frac{\text{var}_s(d)}{d^2} + \frac{\text{var}_e(d)}{n d^2}} \quad (\text{A.3})$$

#### A.2 Método del ruido interrumpido

En la referencia [1], la varianza de conjunto y la varianza espacial se establecieron para las mediciones que utilizan el método del ruido interrumpido. Al insertar los resultados de la referencia [1], Ecuaciones (2.55) y (2.56), en la Ecuación (A.3), se obtiene la ecuación (A.4):

$$\frac{\sigma(\bar{T})}{\bar{T}} = G \sqrt{\frac{1 + (H/n)}{N B T}} \quad (\text{A.4})$$

donde

$\sigma(\bar{T})$  es la desviación típica del tiempo de reverberación medio, en segundos;

$B$  es el ancho de banda, en hercios;

$G, H$  son constantes que dependen del rango de evaluación;

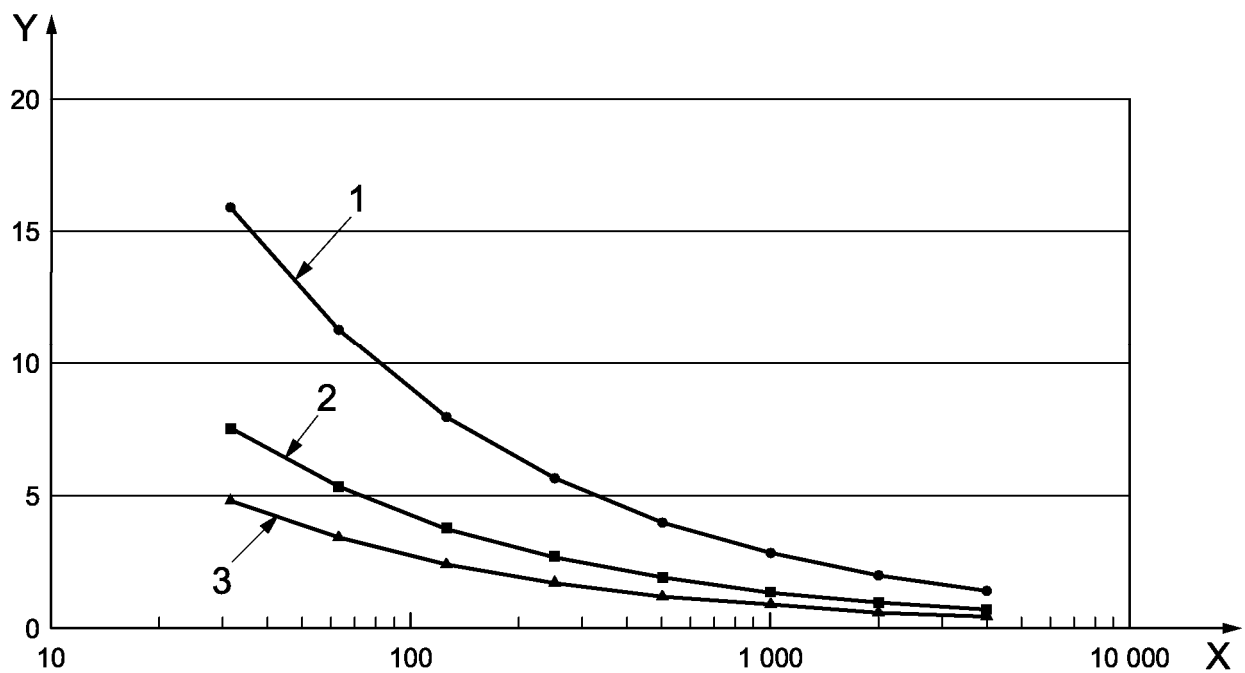
$T$  es el tiempo de reverberación, en segundos.

Las constantes  $G$  y  $H$  dependen del rango de evaluación  $D$  y de un parámetro  $\gamma = T/T_{\text{det}}$ , que es el cociente del tiempo de reverberación medido y el tiempo de reverberación inherente en el equipo de medición.  $T_{\text{det}}$  es el tiempo de reverberación del detector promediador. Para algunos valores típicos de  $D$  y  $\gamma$ , los valores de las constantes  $G$  y  $H$  se pueden sacar de la tabla A.1.

Las ecuaciones (2) y (3) presuponen que  $\gamma = 5$ .

Tabla A.1 – Valores de las constantes  $G$  y  $H$

Rango de evaluación, $D$ dB	$G$ %	$H$		
		$\gamma = 3$	$\gamma = 5$	$\gamma = 10$
10	175	2,67	3,32	3,87
20	88	1,72	1,90	2,04
30	55	1,42	1,52	1,59



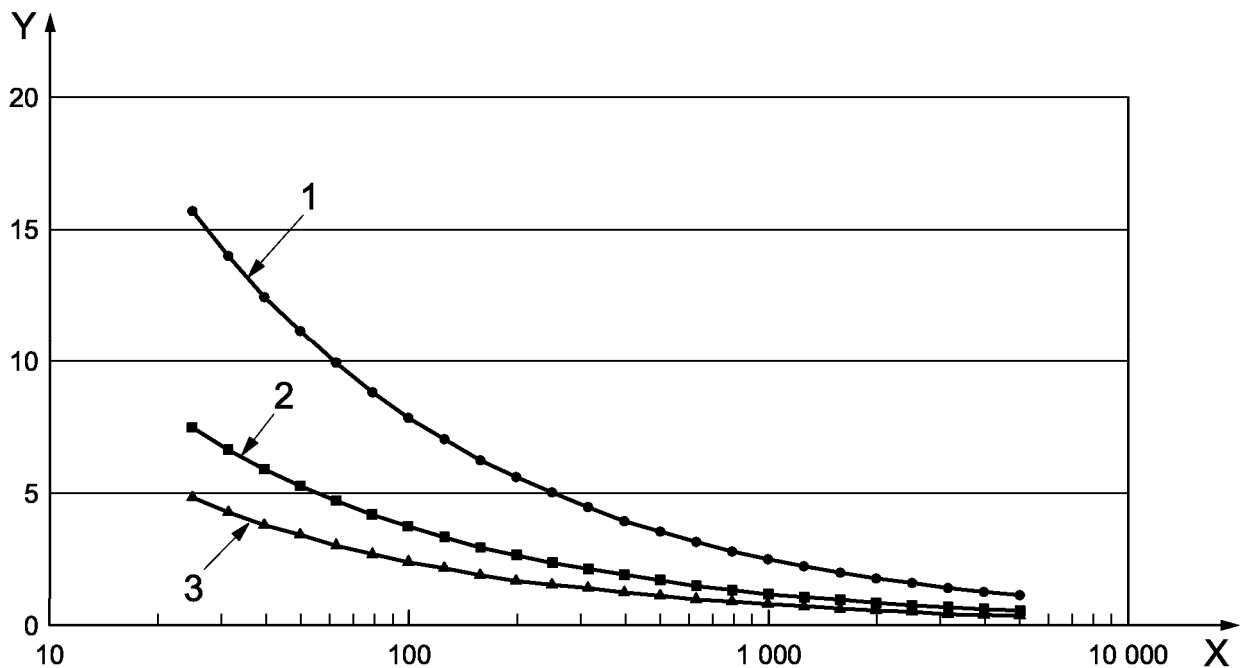
Leyenda

- 1 método de control
- 2 método de ingeniería
- 3 método de precisión

X  $f_c T_{20}$  es la frecuencia central x el tiempo de reverberación

Y  $\sigma(\overline{T_{20}})/\overline{T_{20}}$  es el coeficiente de variación de  $T_{20}$ , %

Figura A.1 – El coeficiente de variación de  $T_{20}$  en bandas de octava en función de la frecuencia central multiplicada por el tiempo de reverberación. Las curvas representan los métodos de control, de ingeniería y de precisión



## Leyenda

- 1 método de control
- 2 método de ingeniería
- 3 método de precisión

X  $f_c T_{20}$  es la frecuencia central x el tiempo de reverberación

Y  $\sigma(\overline{T}_{20})/\overline{T}_{20}$  es el coeficiente de variación de  $T_{20}$ , %

**Figura A.2 – El coeficiente de variación de  $T_{20}$  en bandas de un tercio de octava en función de la frecuencia central multiplicada por el tiempo de reverberación. Las curvas representan los métodos de control, de ingeniería y de precisión**

### A.3 Método de respuesta impulsiva integrada

Para el método de respuesta impulsiva integrada, la varianza del conjunto es teóricamente  $\text{var}_e(d) = 0$ . Esto corresponde al promedio de un número infinito de excitaciones en la misma posición, si el método del ruido interrumpido se hubiese utilizado (véase la referencia [2]). Para la estimación de la desviación típica de un resultado de medición, se puede utilizar la ecuación (A.4) con un valor de  $n = 10$ .

## ANEXO B (Informativo)

### EVALUACIÓN DE LAS CURVAS DE DECRECIMIENTO NO LINEALES

#### B.1 Generalidades

La medición del tiempo de reverberación se basa en la presunción de que dentro del rango de evaluación, una recta puede constituir una aproximación de la pendiente de la curva de decrecimiento. Puede ser de utilidad disponer de información sobre si esta hipótesis está realmente verificada. En este anexo se proponen dos indicadores.

#### B.2 Grado de no linealidad

Si la curva de decrecimiento se evalúa por el ajuste de mínimos cuadrados de una recta, se pueden calcular los siguientes parámetros de no linealidad. Sea  $L_i$  el nivel, en decibelios, de la muestra  $i$ ,  $\hat{L}_i$  el valor estimado de la muestra  $i$ , a partir de la regresión lineal, o entonces el valor medio de las muestras,  $\bar{L}$ , viene dado por la ecuación (B.1):

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i \quad (\text{B.1})$$

El cuadrado del coeficiente de correlación,  $r$ , viene dado por la ecuación (B.2):

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{L}_i - \bar{L})^2}{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2} \quad (\text{B.2})$$

El cuadrado del coeficiente de correlación puede tener cualquier valor entre 0 y 1 y una curva de decrecimiento perfectamente recta corresponde a  $r^2 = 1$ . El parámetro de no linealidad,  $\xi$ , se introduce como la desviación en tanto por mil con respecto a la linealidad perfecta

$$\xi = 1\,000(1 - r^2) \quad (\text{B.3})$$

Los valores típicos de  $\xi$  son de 0‰ a 5‰. Los valores superiores a 10‰ indican que la curva de decrecimiento dista mucho de ser una recta y el valor del tiempo de reverberación estimado a partir de esta curva puede ser dudoso. Estos valores se aplican a las curvas de promediado conjunto y a las curvas de respuesta impulsiva; se pueden producir valores más elevados para curvas de decrecimiento individuales.

#### B.3 El grado de curvatura

La curva de decrecimiento medida en un recinto será a menudo ligeramente no lineal. La parte inicial del decrecimiento es en general un poco más abrupta que la última parte del decrecimiento. La razón de esto es que el decrecimiento representa una mezcla de modos que decrecen a velocidades diferentes. Si la absorción no se reparte uniformemente sobre las superficies del recinto, los modos pueden presentar tasas de decrecimiento muy diferentes. Obviamente, una curva de decrecimiento no lineal significa que el tiempo de reverberación evaluado a partir de la medición depende de la parte de la curva de decrecimiento que se utilice. Por lo tanto, el resultado es menos fiable que si la curva de decrecimiento es lineal.

El parámetro de curvatura,  $C$ , se basa en los dos rangos de evaluación de 20 dB y 30 dB y se introduce como la desviación en porcentaje con respecto a una línea perfectamente recta

$$C = 100 \times \left( \frac{T_{30}}{T_{20}} - 1 \right) \quad (\text{B.4})$$

Los valores habituales de  $C$  son de 0% a 5%. Los valores por encima del 10% indican una curva de decrecimiento que está lejos de ser una línea recta y el valor del tiempo de reverberación estimado a partir de la curva de decrecimiento puede ser dudoso. No deberían aparecer valores negativos, y estos pueden indicar un error en la medición.

## ANEXO C (Informativo)

## FÓRMULAS PARA EL MÉTODO DE AJUSTE DE LOS MÍNIMOS CUADRADOS

El tiempo de reverberación se puede evaluar utilizando un análisis de regresión lineal y el procedimiento de ajuste de los mínimos cuadrados. Esto significa que la curva de decrecimiento se aproxima mediante una línea recta;  $\hat{L}_i$ , el nivel de la línea de regresión de la muestra  $i$ , en decibelios, viene dada por la ecuación (C.1):

$$\hat{L}_i = a + bt_i \text{ dB} \quad (\text{C.1})$$

donde

$a$  es la intersección de la recta, en decibelios;

$b$  es la estimación de la pendiente, en decibelios por segundo;

$t_i$  es el tiempo, en segundos, de la muestra  $i$ .

De acuerdo con el procedimiento de ajuste de los mínimos cuadrados, las estimaciones de la intersección y de la pendiente se deben determinar como sigue:

$$a = \bar{L} - b\bar{t} \quad (\text{C.2})$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i L_i) - m \bar{t} \bar{L}}{\sum_{i=1}^n (t_i^2) - m \bar{t}^2} \quad (\text{C.3})$$

donde

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i \text{ dB} \quad (\text{C.4})$$

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (\text{C.5})$$

La estimación del tiempo de reverberación,  $\hat{T}$ , en segundos, viene dada por

$$\hat{T} = -60 / b \quad (\text{C.6})$$

**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] DAVY, J.L., DUNN, I.P., DUBOUT, P. The variance of decay rates in reverberation rooms. *Acustica* 1979, **43**, pp. 12-25
- [2] DAVY, J.L. The variance of impulse decays. *Acustica* 1980, **44**, pp. 51-56
- [3] ISO 140 (all parts), *Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements*
- [4] ISO 354, *Acoustics. Measurement of sound absorption in a reverberation room*
- [5] ISO 3740, *Acoustics. Determination of sound power levels of noise sources. Guidelines for the use of basic standards*
- [6] ISO 10052, *Acoustics. Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound. Survey method*
- [7] ISO 80000-8, *Quantities and units. Part 8: Acoustics*

---

---

**AENOR** Asociación Española de  
Normalización y Certificación

Génova, 6  
28004 MADRID-España

[info@aenor.es](mailto:info@aenor.es)  
[www.aenor.es](http://www.aenor.es)

Tel.: 902 102 201  
Fax: 913 104 032