



2.3

NORMATIVAS DE MEDIDA EN ACÚSTICA DE SALAS

Sergi Soler Rocasalbas

Profesor del MAAM y director del módulo de aislamiento del PAA
Gerente de Àurea Ingeniería Acústica

Sergi@aurea-acustica.com

Índice:

Medida del TR:

Introducción

ISO 3382:

Procedimientos de medición

Condiciones de medida

Evaluación de las curvas de caída

Representación de los resultados

ISO 3382/2008

Medida del coeficiente de absorción:

Introducción

ISO 354:

Procedimiento del ensayo

Condiciones del ensayo

Método de cálculo

ISO 10534:

Principios fundamentales

Instrumentación de ensayo

Método de ensayo

MEDIDA DEL TR

- Introducción: EL TIEMPO DE REVERBERACIÓN

Tiempo de reverberación, T : *(según ISO354)*

Es el tiempo necesario para que el nivel de presión sonora disminuya 60dB después del cese de la fuente.

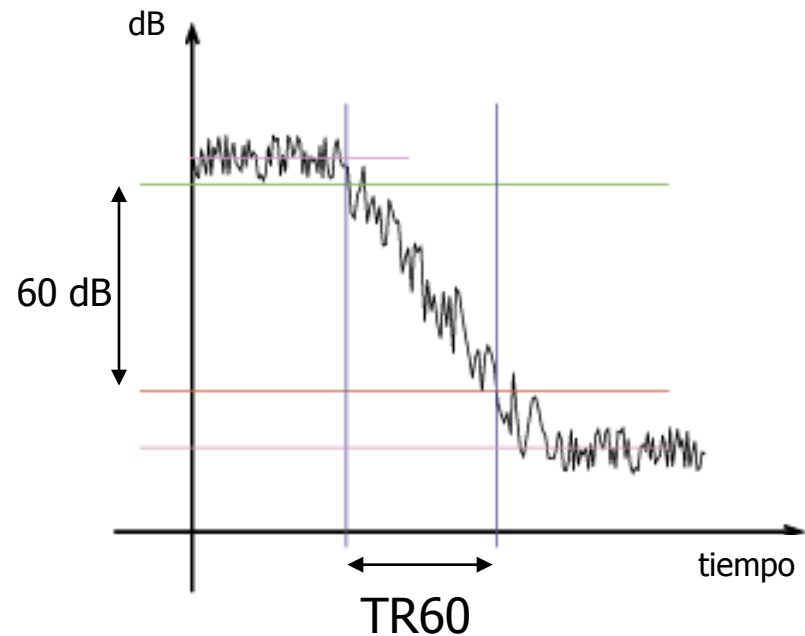
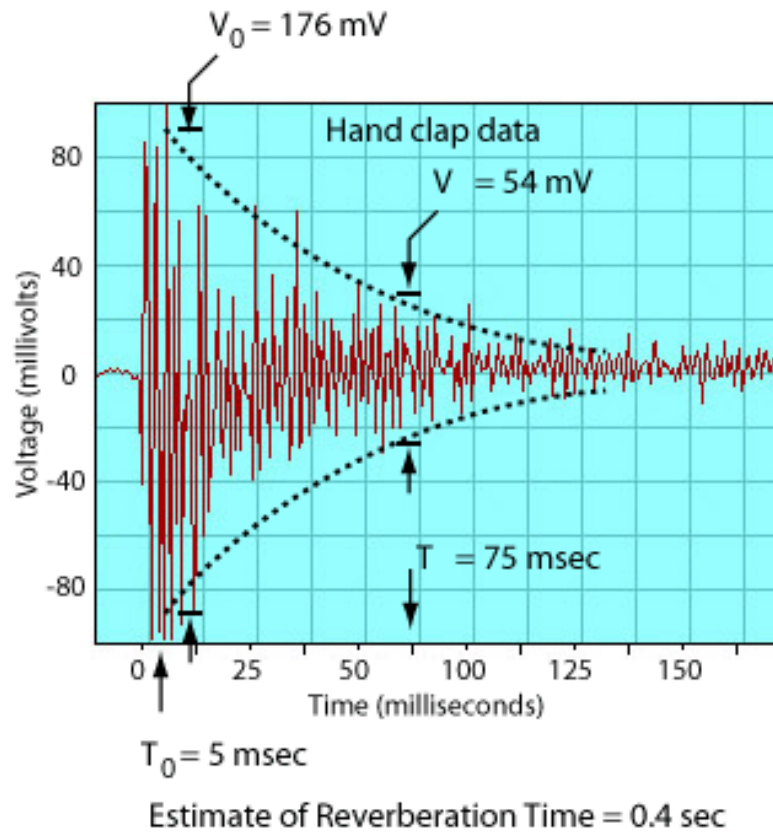
NOTA – Esta definición se basa en la asunción de que, en el caso ideal, hay una relación lineal entre la presión sonora y el tiempo y que el ruido de fondo es suficientemente bajo.

Tiempo de reverberación, T : *(según ISO3382)*

Es el tiempo, expresado en segundos, que se requiere para que el nivel de presión disminuya en 60 dB, sobre una curva de caída obtenida de la regresión lineal por mínimos cuadrados de una curva de caída medida desde un nivel 5 dB por debajo del nivel inicial, hasta un nivel 35 dB inferior a dicho nivel.

MEDIDA DEL TR

- Introducción: EL TIEMPO DE REVERBERACIÓN



MEDIDA DEL TR

- Introducción: EL TIEMPO DE REVERBERACIÓN

Según el intervalo de caída evaluado en la medida hablamos de:


T20: Tiempo necesario para que el nivel de presión sonora disminuya 60dB según la pendiente de la recta promedio obtenida sobre una caída de 20dB de la curva evaluada. (necesitamos 35dB de SNR en todas las bandas)

T30: Tiempo necesario para que el nivel de presión sonora disminuya 60dB según la pendiente de la recta promedio obtenida sobre una caída de 30dB de la curva evaluada. (necesitamos 45dB de SNR en todas las bandas)

MEDIDA DEL TR

- Introducción: EL TIEMPO DE REVERBERACIÓN

Este parámetro de la sala presenta dependencia con:

- Las dimensiones del espacio donde se mide
 - Los materiales que revisten el recinto
 - Los objetos que en él haya (objetos + ocupación o no)
 - Posición de la fuente excitadora
 - Posición de la escucha
 - La frecuencia
- }  Será necesario promediar espacialmente varias medidas.

Y es totalmente independiente del nivel de excitación del recinto (SPL)

MEDIDA DEL TR con ISO 3382

- ISO 3382 : [UNE-EN ISO 3382]

Medición del tiempo de reverberación de recintos con referencia a otros parámetros acústicos.

Define la medida del TR y otros parámetros necesarios para la evaluación la acústica de recintos cerrados.

Contempla la posibilidad de que las medidas tengan diferentes finalidades:

- Evaluación de la cantidad de absorción
- Control de ruido (y Aislamiento)
- Evaluación del TR para cálculos electroacústicos

Cobertura baja

- Verificar las prestaciones de un edificio con respecto a un proyecto de diseño

Cobertura normal

MEDIDA DEL TR con ISO 3382

- ISO 3382 : [UNE-EN ISO 3382]

Medición del tiempo de reverberación de recintos con referencia a otros parámetros acústicos.

En salas de conciertos y recintos para discursos aconseja medir el TR en bandas de octava desde 63 Hz hasta 4 KHz. Para mediciones en recintos dedicados a otros fines permite medir en las bandas de tercio de octava desde 100 Hz a 5 KHz.

Hace especificar el estado de ocupación:

- Estado desocupado
- Estado de estudio (solo recintos para discursos y música): interpretes sin público.
- Estado ocupado: 80-100% de los asientos.

MEDIDA DEL TR con ISO 3382

- PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN :

1.- Método del ruido interrumpido

- » Ruido Aleatorio de Banda Ancha

2.- Método de la respuesta impulsiva integrada:

- » Ruido Impulsivo
- » Barrido Frecuencial
- » MLS

MEDIDA DEL TR con ISO 3382

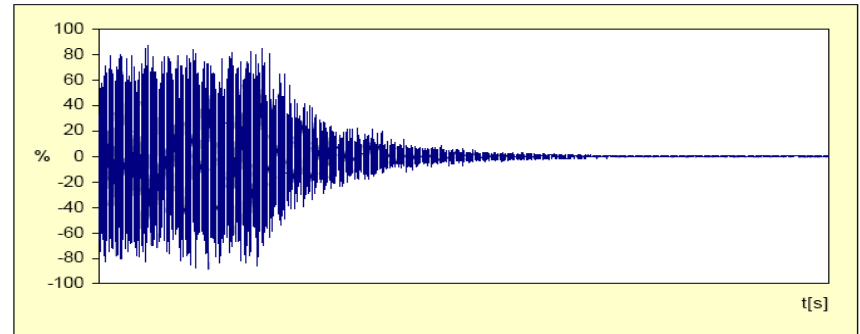
1.- Método del ruido interrumpido:

Se excita el recinto con un ruido aleatorio de banda ancha (p.e. ruido rosa) durante un tiempo suficiente para que el campo acústico alcance un estado estacionario:

mínimo $T/2$ o unos pocos segundos

Se para de golpe la excitación

Se analiza la curva de caída



MEDIDA DEL TR con ISO 3382

1.- Método del ruido interrumpido:

Debido a la aleatoriedad inherente a la señal fuente hay que promediar un mínimo de 3 veces en cada posición Fuente-Micrófono con objeto de alcanzar una repetibilidad (r) aceptable:

$$r_{20} = \frac{370}{\sqrt{B \cdot N \cdot T_{20}}} \%$$

$$r_{30} = \frac{200}{\sqrt{B \cdot N \cdot T_{30}}} \%$$

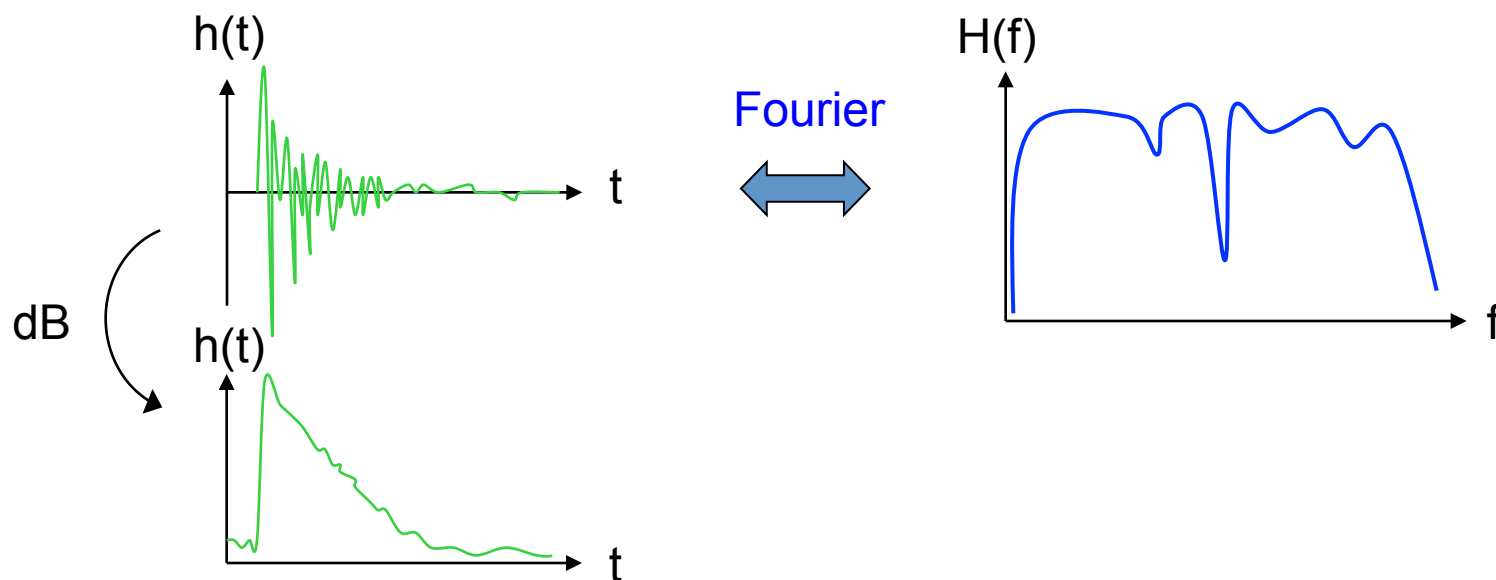
B es la banda frecuencial analizada

N es el número de promedios realizados

MEDIDA DEL TR con ISO 3382

2.- Método de la respuesta impulsiva integrada:

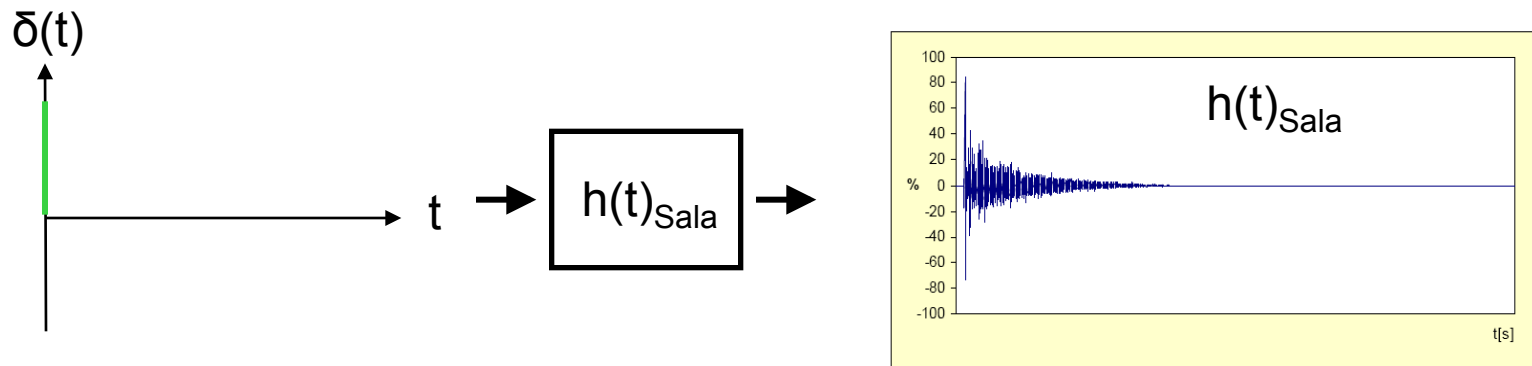
Se busca obtener la respuesta impulsiva del recinto como sistema ($h(t)$) y a partir de ella evaluar T .



MEDIDA DEL TR con ISO 3382

2.A.- Obtención de $h(t)$ con ruido impulsivo:

Consiste en emitir un ruido muy impulsivo (que tienda a una delta de Dirac) y medir como lo ha modificado la sala:

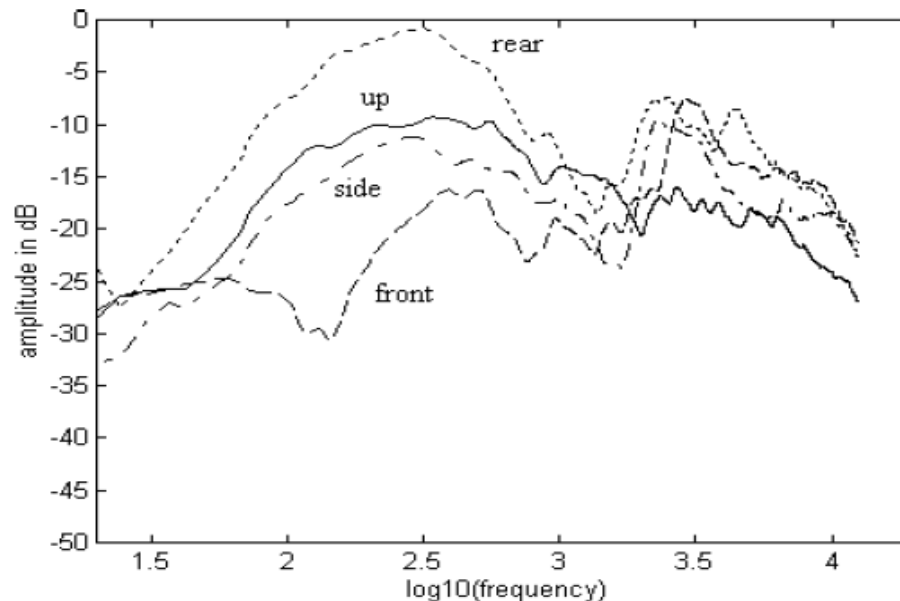


Ruidos impulsivos: Disparos de pistola, petardos, globos, explosiones, chispas eléctricas, . . . Y toda señal que sin ser reverberante en si misma tenga un espectro suficientemente ancho y sea radiada omnidireccionalmente.

MEDIDA DEL TR con ISO 3382

2.A.- Obtención de $h(t)$ con ruido impulsivo:

Directividad de la explosión de un globo:

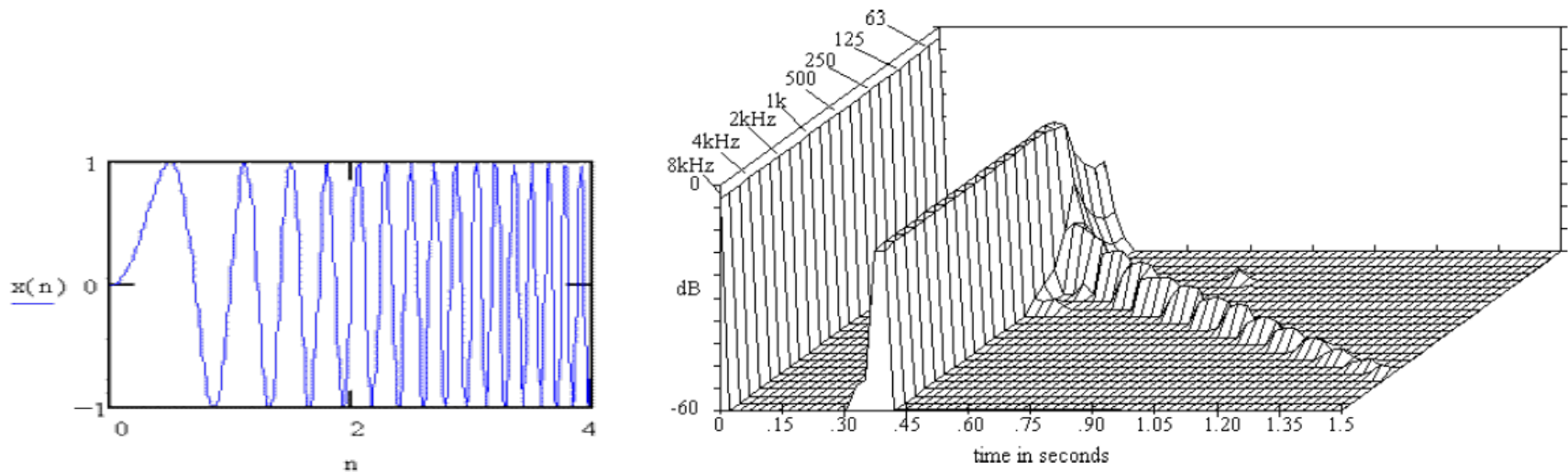


MEDIDA DEL TR con ISO 3382

2.B.- Obtención de $h(t)$ por barrido frecuencial:

Consiste en medir la respuesta frecuencial ($H(f)$) de la sala y antitransformandola obtener $h(t)$.

En este método $H(f)$ se mide excitando la sala con una señal chirp:

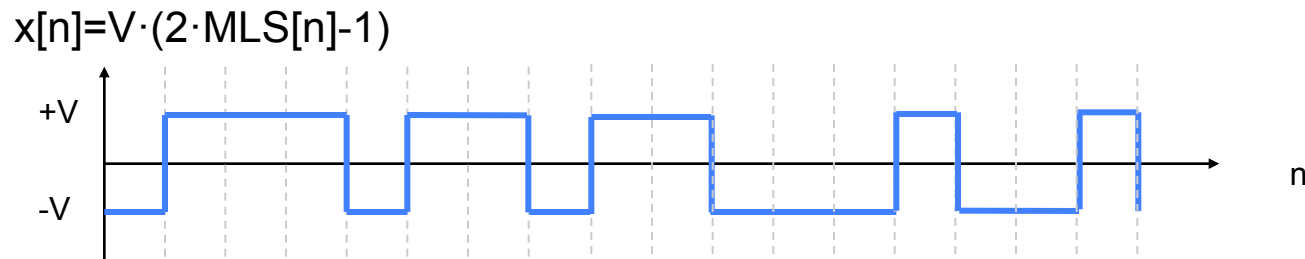


MEDIDA DEL TR con ISO 3382

2.C.- Obtención de $h(t)$ con secuencias MLS:

También consiste en medir la respuesta frecuencial ($H(f)$) de la sala y antitransformandola obtener $h(t)$.

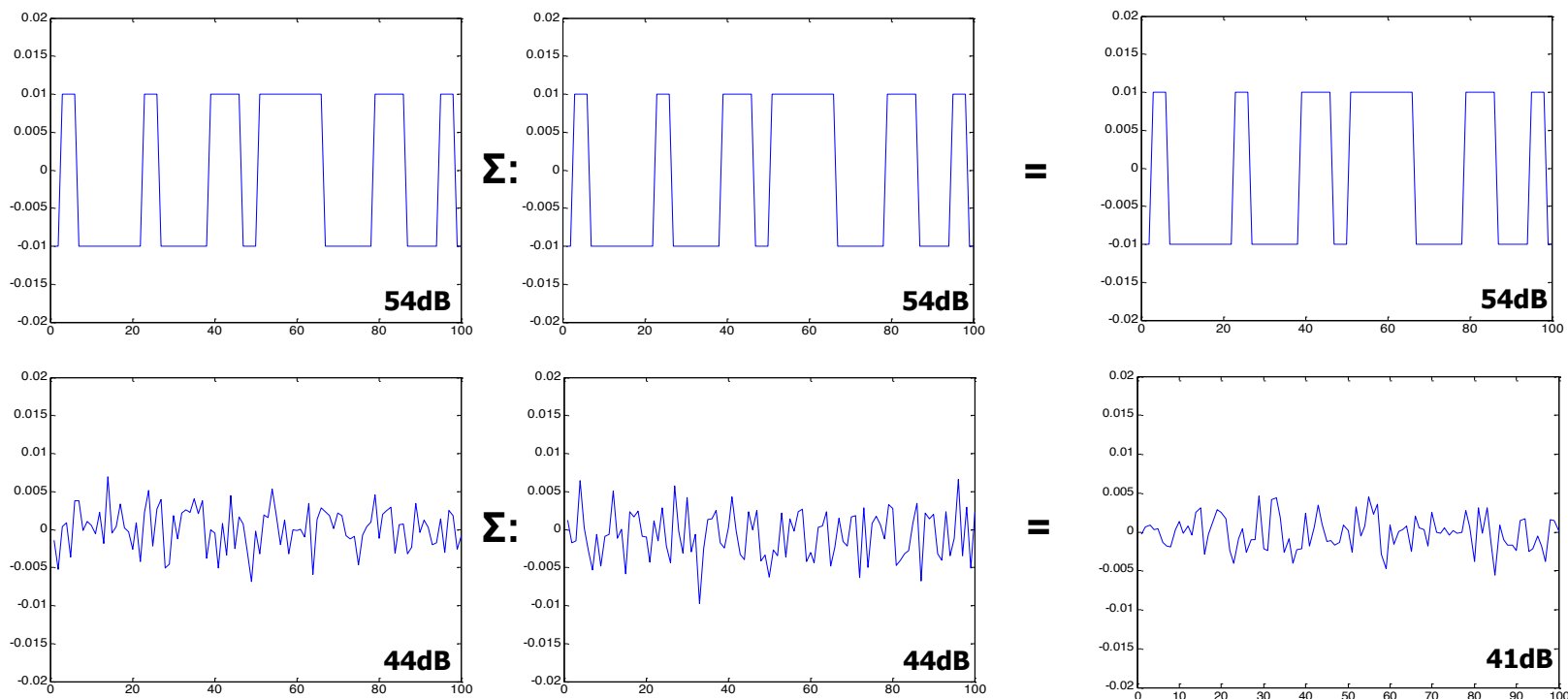
En este método $H(f)$ se mide excitando la sala con una señal MLS (Maximum Length Sequence):



Las secuencias MLS recibidas se pueden promediar sincronamente aumentando considerablemente la relación señal ruido de la medida.

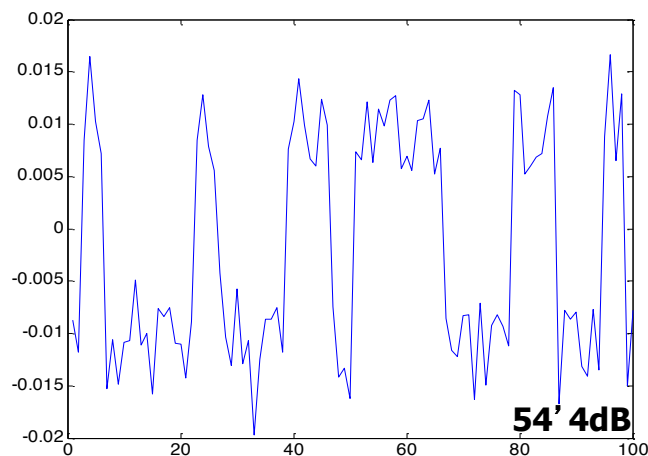
MEDIDA DEL TR con ISO 3382

Promedio temporal sincronizado de MLSs:



MEDIDA DEL TR con ISO 3382

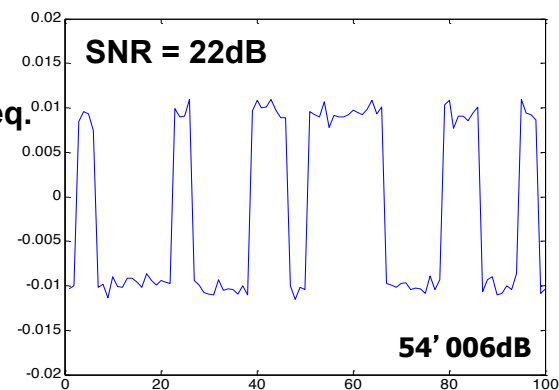
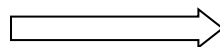
Promedio temporal sincronizado de MLSs:



MLS + noise :

MLS = 54dB
AWGN = 44dB
SNR = 10dB

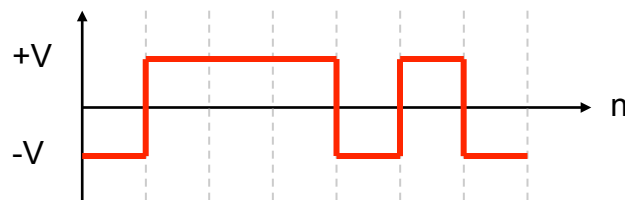
Promediando 16 seq.



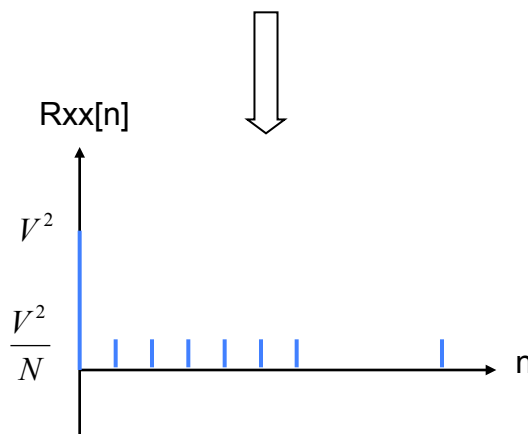
MEDIDA DEL TR con ISO 3382

Propiedades de las secuencias MLS:

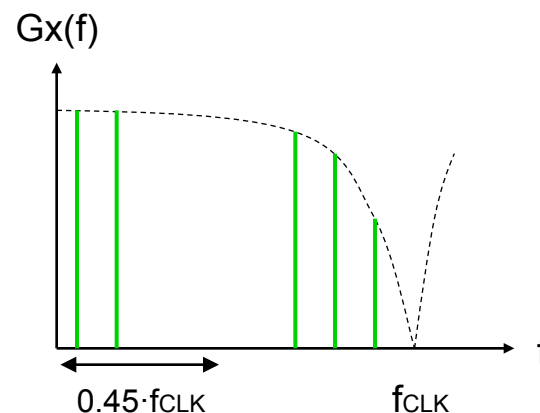
$$x[n] = V \cdot (2 \cdot \text{MLS}[n] - 1)$$



$$R_{xx}[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x[k] \cdot x[k-n] \quad \left\{ \begin{array}{l} \approx V^2 \quad \text{para } n=0 \\ \approx \frac{V^2}{N} \quad \text{para } n \neq 0 \end{array} \right.$$



DFT
↔



MEDIDA DEL TR con ISO 3382

2.C.- Obtención de $h(t)$ con secuencias MLS:

Otra propiedad muy interesante de las MLS es que permiten realizar la antitransformada de la respuesta frecuencial ($H(F)$) mediante un algoritmo digital de cálculo rápido llamado Fast Hadamard Transform (FHT).

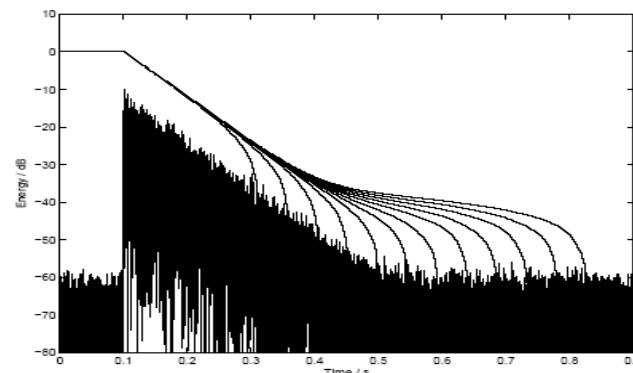
Son señales con un factor de cresta $\frac{V_{cc}}{V_{RMS}}$ muy elevado: lo que les da mucha sonoridad y nivel.

Al ser señales digitales permiten utilizar equipos electrónicos más ligeros y más sofisticados.

MEDIDA DEL TR con ISO 3382

2.- Método de la respuesta impulsiva integrada:

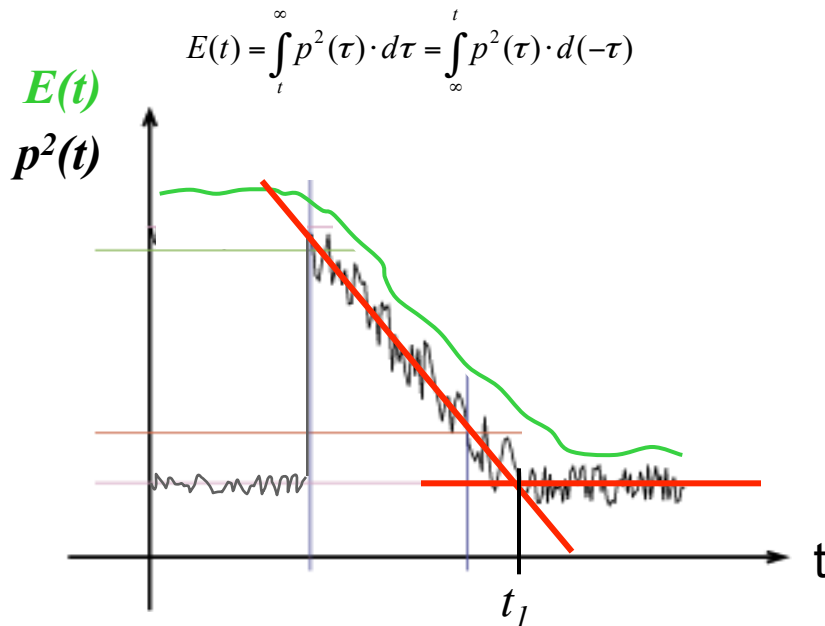
En los tres casos hay que **integrar** la respuesta impulsiva. Este proceso suaviza la caída de la curva $h(t)$ y la prepara para ser evaluada.



Este proceso junto con la naturaleza de la medida de la respuesta impulsiva hacen que este método tenga el mismo orden de magnitud de repetibilidad que un promedio de 10 mediciones con el método del ruido interrumpido. Así pues, cuando se utiliza este método no hace falta ningún promedio en cada posición Fuente-Micrófono.

MEDIDA DEL TR con ISO 3382

- Integración de la respuesta impulsiva: [Schroeder]



Idealmente (sin ruido):

En realidad:

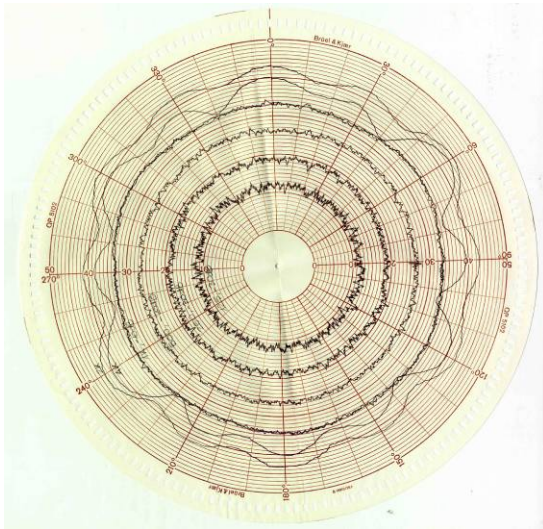
$$E(t) = \int_{t+T_0}^t p^2(\tau) \cdot d(-\tau) \quad , \quad T_0 = \underline{T/5}$$

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

MEDIDA DEL TR con ISO 3382

- CONDICIONES DE MEDICIÓN :

Debe usarse una fuente omnidireccional:

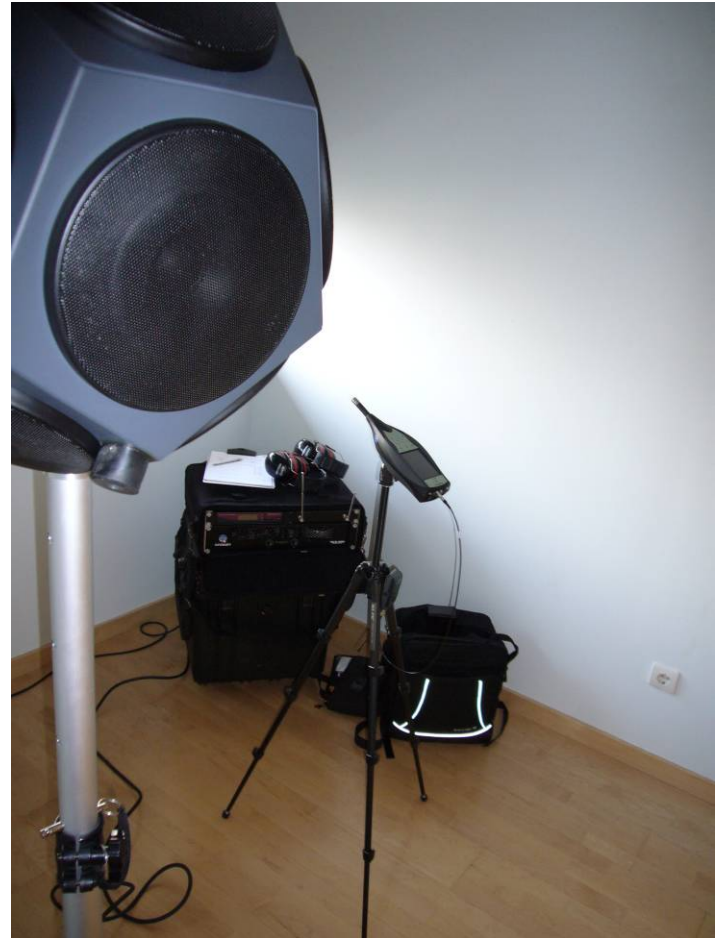


Frec.	125	250	500	1K	2K	4KHz
Desviación Máx.	±1	±1	±1	±3	±5	±6 dB

MEDIDA DEL TR con ISO 3382

- CONDICIONES DE MEDICIÓN :

Equipo de medida:



MEDIDA DEL TR con ISO 3382

- CONDICIONES DE MEDICIÓN :

La fuente debe ser capaz de excitar todas las frecuencias a analizar con suficiente potencia para cumplir las caídas necesarias:

Para T20: 35dB por encima del ruido de fondo (en todas las frec.)

Para T30: 45dB por encima del ruido de fondo (en todas las frec.)

No se debe permitir ninguna saturación en la cadena de medida.

El equipo de medida debe ser de clase 1 según la Norma CEI 60651.

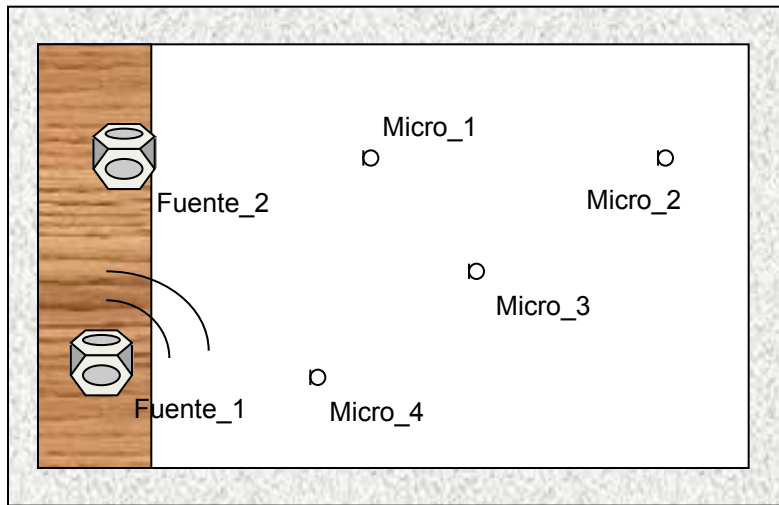
Altura del micrófono aproximadamente 1,2 m (en salas de discursos o música).

MEDIDA DEL TR con ISO 3382

- Posiciones de Fuente-Micrófono :

Cobertura baja: 2 posiciones de fuente y 3 o 4 de micro.

Cobertura normal: A juicio propio. Mínimo 2 posiciones de fuente



- Distancias mínimas a cumplir:

- Entre 2 posiciones de micro: $\lambda / 2$
- Entre posiciones de micrófono y sus superficies más cercanas: 1m
- Entre un micro y una fuente:

Los TR obtenidos se promedian espacialmente.

MEDIDA DEL TR con ISO 3382

- Promediado espacial de los TR medidos :

Puede promediarse de dos formas (y debe incluirse en el informe)

1.- Promediado aritmético del TR obtenido en cada posición Fuente-Micrófono.

2.- Promediado de conjunto de curvas de caída:

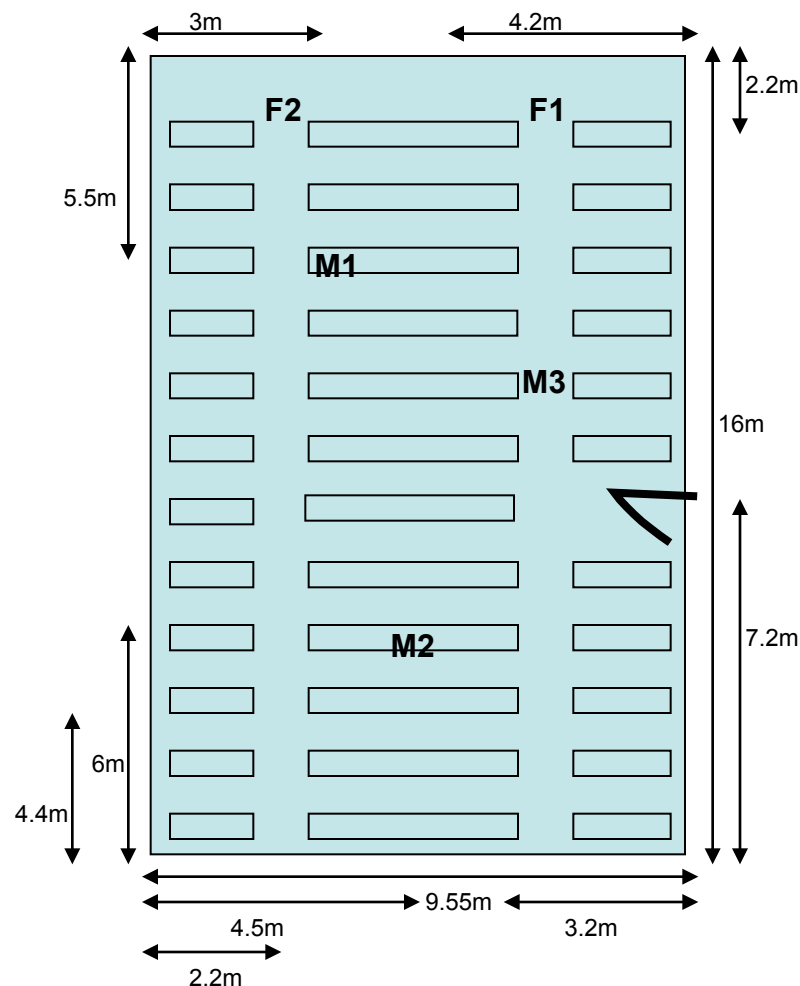
Se suman los valores instantáneos cuadráticos de las curvas sincronizadas en el tiempo de caída.

No se acostumbran a encontrar desviaciones de TR importantes entre diferentes posiciones de Fuente-Micrófono.

MEDIDA DEL TR con ISO 3382

- Ejemplo real :

- Superficie: 485 m^2
- Volumen: 535 m^3

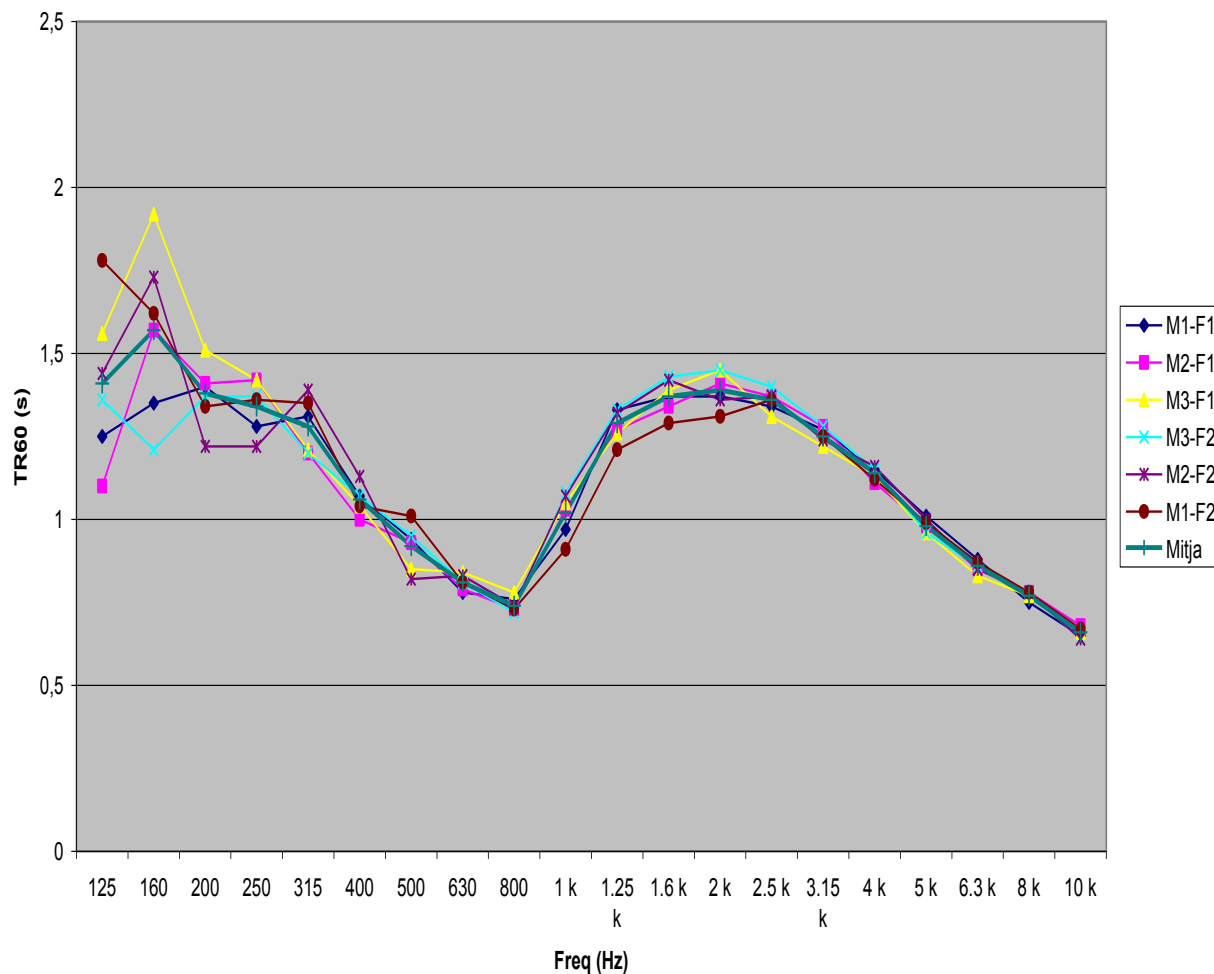


MEDIDA DEL TR con ISO 3382

J3. Tècnica del soroll interromput

- Ejemplo real :

TR de las
diferentes
posiciones de
Fuente-Micrófono

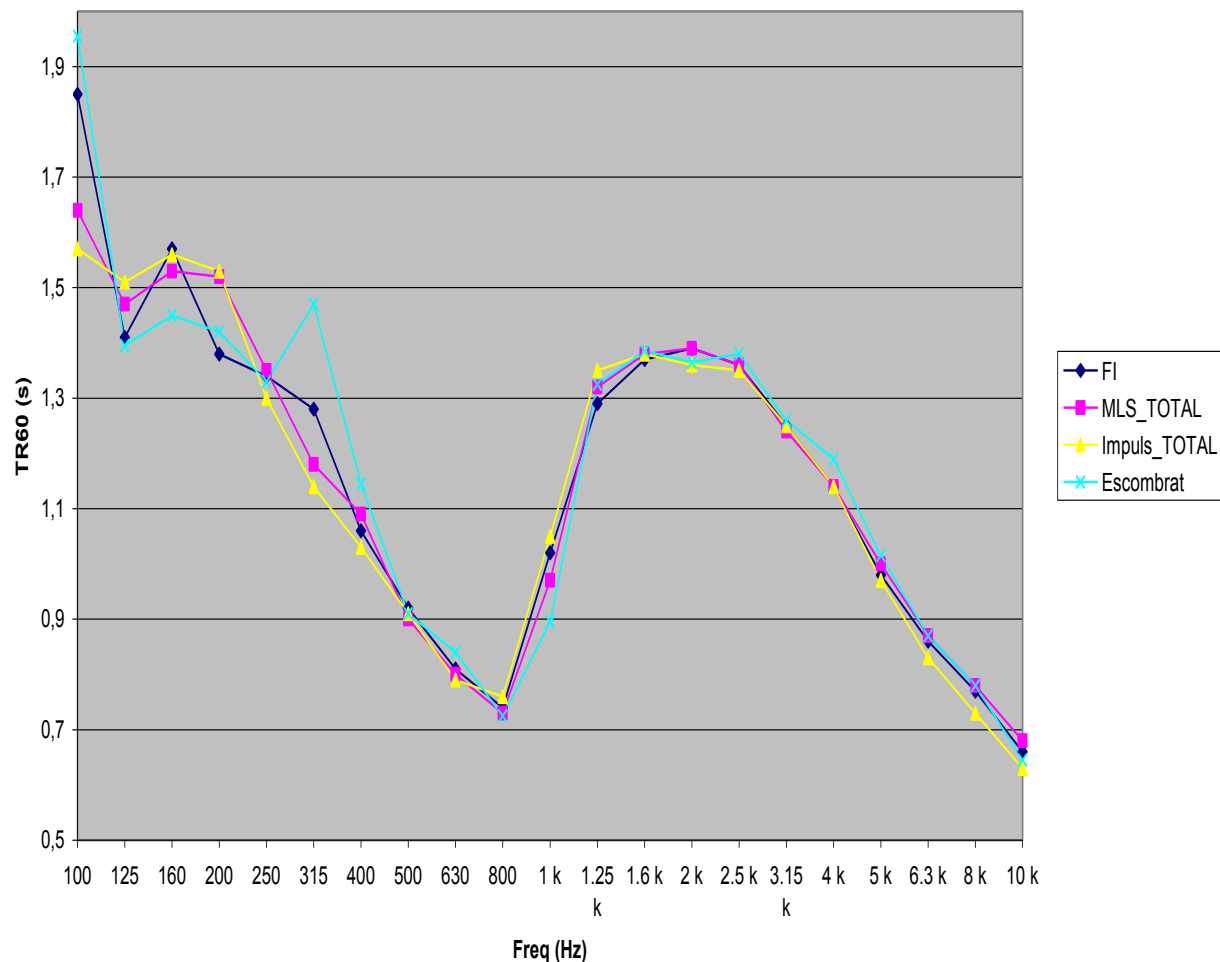


MEDIDA DEL TR con ISO 3382

J3 Comparació entre les 4 tècniques

- Ejemplo real :

TR de los
diferentes
procedimientos
de medición



MEDIDA DEL TR con ISO 3382

- Evaluación de las curvas de caída :

T30: Evaluar la curva sobre el intervalo comprendido entre los 5 dB y los 35 dB por debajo del nivel inicial.

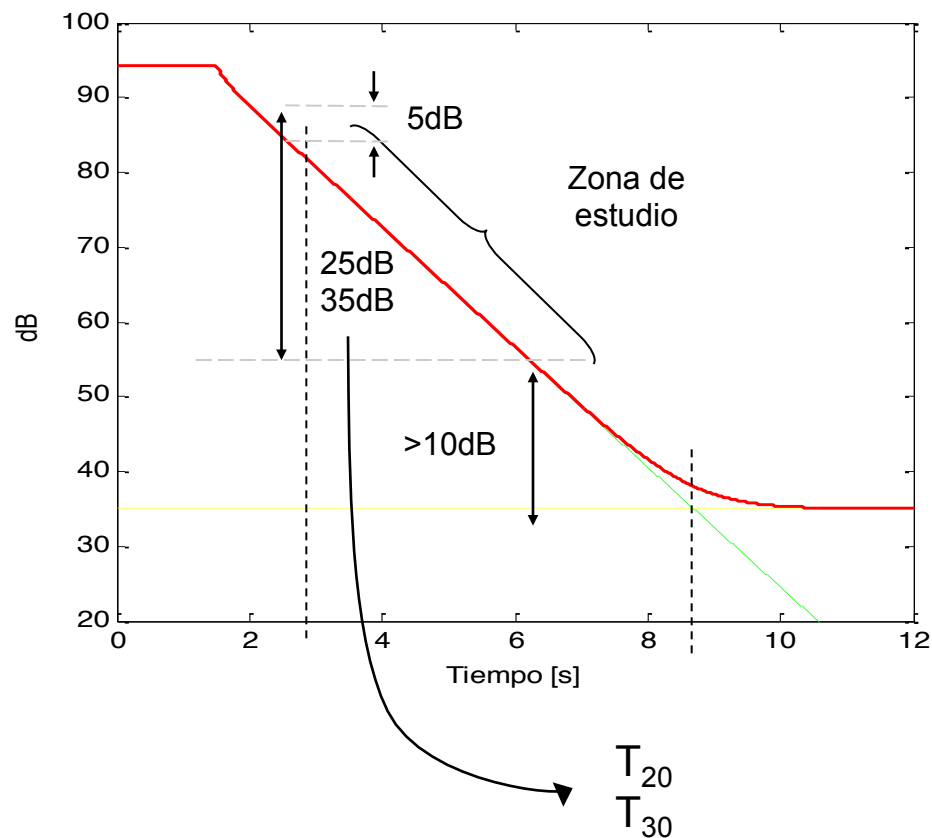
T20: Evaluar la curva sobre el intervalo comprendido entre los 5 dB y los 25 dB por debajo del nivel inicial.

Siempre dejar 10 dB entre el punto más bajo del intervalo y el ruido de fondo.

En este intervalo se debe calcular una recta ajustada por mínimos cuadrados. La pendiente de esta recta debe proporcionar el ritmo de caída en dB/s a partir del cual se calcula el TR.

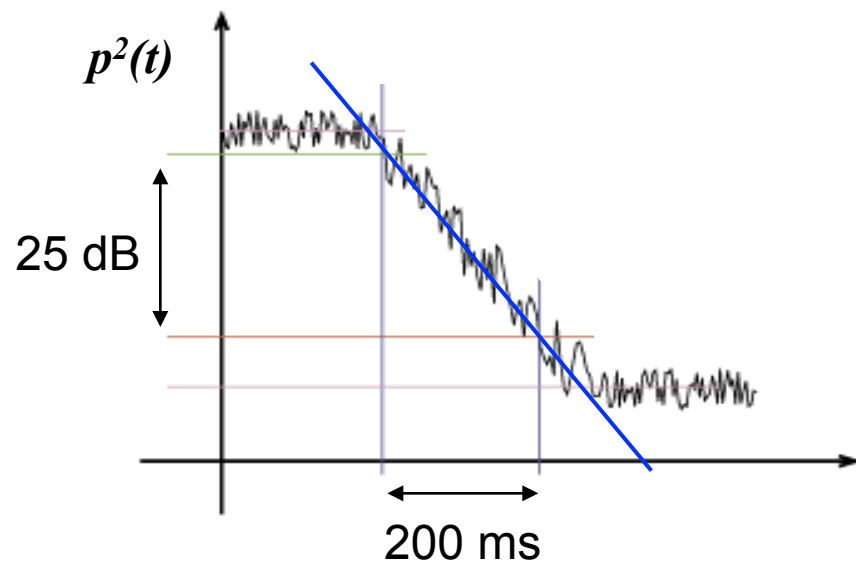
MEDIDA DEL TR con ISO 3382

- Evaluación de las curvas de caída :



MEDIDA DEL TR con ISO 3382

- Evaluación de las curvas de caída :

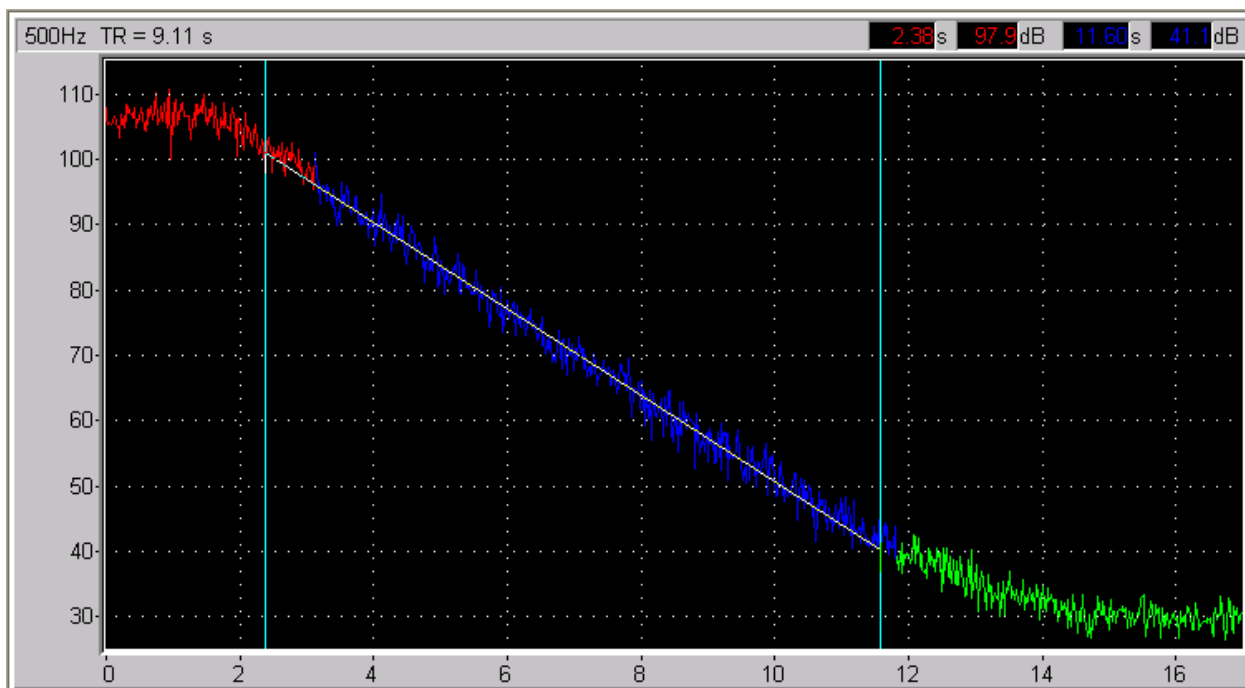


$$T_{20} = 60 \cdot 0,2 / 25 = 0,48 \text{ s}$$

MEDIDA DEL TR con ISO 3382

- Evaluación de las curvas de caída :

Ejemplo de medida en condiciones ideales:

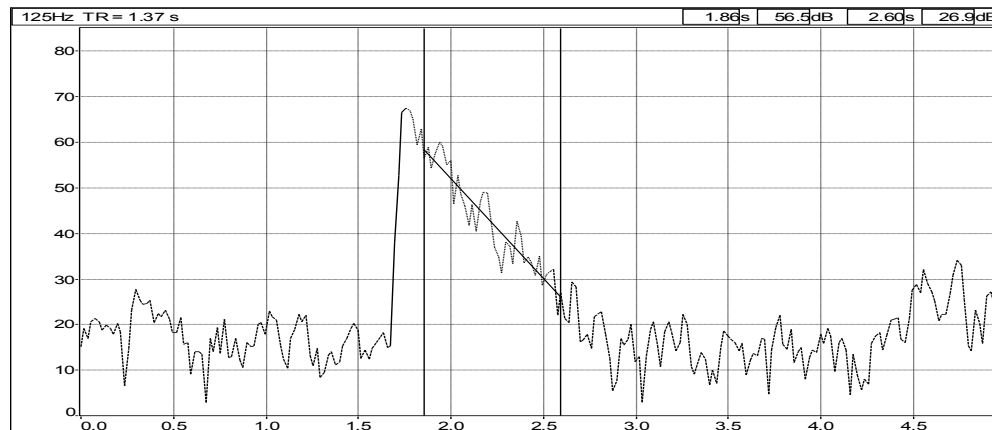


MEDIDA DEL TR con ISO 3382

- Evaluación de las curvas de caída :

.- Método de la respuesta impulsiva integrada:

Evaluar la curva sobre el intervalo comprendido entre los 5 dB y los 25 o 35 dB por debajo del nivel inicial. Se actúa igual que con el método del ruido interrumpido.



MEDIDA DEL TR con ISO 3382

- Evaluación de las curvas de caída :

.- Curvas de caída no lineales:

Cuando tenemos 2 pendientes claramente diferenciados podemos dar 2 TRs si tenemos intervalos de caída de $>10\text{dB}$ en cada uno.



MEDIDA DEL TR con ISO 3382

- REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS :

Los TR evaluados para cada frecuencia de medida se deben dar en forma gráfica y tabular.

En las gráficas se unirán los puntos mediante líneas rectas.

Se puede calcular un tiempo de reverberación único $T_{30,mid}$ mediante el promediado de T_{30} entre las bandas de octava de 500Hz y 1000Hz. (También se puede utilizar $T_{20,mid}$). De forma alternativa tomar el promedio de las seis bandas de tercio de octava comprendidas entre 400 Hz y 1250 Hz.

MEDIDA DEL TR con ISO 3382

- PARÁMETROS ACÚSTICOS PARA AUDITORIOS DERIVADOS DE LA RESPUESTA IMPULSIONAL :

En el Anexo A (informativo) la ISO 3382 define una serie de parámetros que permiten describir mejor el carácter acústico de un auditorio.

Todos ellos se verán en futuras sesiones.

Su cálculo parte siempre de la respuesta impulsiva de la sala

En el 2008 ISO publica una actualización de la ISO 3382 y la divide en 2 partes:

- **Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 1: Salas de espectáculos. (ISO 3382-1:2009)**
- **Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios (ISO 3382-2:2008). (ISO 3382-2:2008/Cor 1:2009).**

Los métodos de medida y las especificaciones de los equipos de medida siguen siendo los mismos, pero se definen más los criterios de cobertura y condiciones de las medidas.

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

Sigue definiendo los mismos tres estados de ocupación y les llama:

- **Estado de inocupación**
- **Estado tipo estudio** (salas de conferencias y de conciertos): interpretes sin público.
- **Estado ocupado**: 80-100% de los asientos.

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

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

ISO 3382-1 no habla de cobertura alta o baja. Para ello se ha definido la Parte 2, que correspondería a la antigua cobertura baja.

Para salas de espectáculos se especifica usar el micrófono a 1' 2m del suelo y “escoger una distribución de las posiciones de micrófono que anticipe las principales influencias susceptibles de provocar diferencias de tiempo de reverberación a lo largo del recinto”.

Para determinar si los promedios espaciales describirán de forma adecuada el recinto puede ser útil evaluar el recinto con respecto a los siguientes criterios.

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

- a.- Los materiales de las superficies de separación y de los elementos suspendidos están, desde el punto de vista de sus propiedades de absorción y 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 3 o 4 posiciones de micrófono – escogiéndose estas posiciones de forma que cubran la zona de asientos, según una distribución uniformemente repartida – y los resultados de las mediciones se pueden promediar.

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

- **Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios (ISO 3382-2:2008). (ISO 3382-2:2008/Cor 1:2009).**

Aunque la familia ISO 140 (año 1998) hace referencia a ISO 354 para la medida de T, a finales del 2008 se publicó ISO 3382-2 que describe la medida de T, entre otras utilidades, “para la corrección de las mediciones del aislamiento acústico”.

Los métodos de medida siguen siendo los mismos
(interrumpido, resp. imp. directa, resp. imp. indirecta).

Las posiciones de fuente-micrófono son diferentes según el método y la exactitud deseada.

ISO 3382-2 define 3 niveles de exactitud de medición:

Control

Evaluación de la cantidad de absorción del recinto, y para las mediciones de control de aislamiento a ruido aéreo y a ruido de impactos. Únicamente en bandas de octava.

Ingeniería

Verificación del comportamiento de los edificios con respecto a las especificaciones del T o de la absorción del recinto. Se debería utilizar para las mediciones ISO 140 (todas) con menciones a las mediciones de T.

Precisión

Cuando se requiere una alta precisión de medición.

ISO 3382-2 define 3 niveles de exactitud de medición:

Tabla 1 – Números mínimos de posiciones y mediciones

	Control	Ingeniería^a	Precisión
Combinaciones fuente-micrófono	2	6	12
Posiciones de la fuente ^b	≥ 1	≥ 2	≥ 2
Posiciones de micrófono ^c	≥ 2	≥ 2	≥ 3
Número de decrecimientos en cada posición (método del ruido interrumpido)	1	2	3
^a 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. ^b Para el método del ruido interrumpido, se pueden utilizar simultáneamente fuentes no correlativas. ^c 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.			

El rango de frecuencias depende del propósito de las mediciones. Cuando no existan requisitos debería cubrir de 125 a 4000Hz (ingeniería y precisión).

ISO 3382-2 define 3 niveles de exactitud de medición:

Posiciones de micrófono y fuente: (para los 3 niveles de exactitud)

Las posiciones de fuente pueden ser las posiciones normales en función del uso de la sala. En recintos pequeños, como en viviendas, o cuando no existen posiciones normales conviene colocar una posición de la fuente en una esquina del recinto.

Las posiciones de micrófono deben cumplir:

- 2m o $\frac{1}{2}$ de longitud de onda entre posiciones de micrófono
- 1m o $\frac{1}{4}$ de longitud de onda entre posición de micrófono y superficie reflectante
- Se deben evitar las posiciones simétricas

Equipo

Sonómetro

El equipo de medida debe ser de clase 1

No se debe permitir ninguna saturación en la cadena de medida.

Altavoz

Para mediciones de control e ingeniería no existen requisitos específicos de directividad.
Para mediciones de precisión, se dan los siguientes requisitos que ya hemos visto en la antigua 3382.

ISO 3382-2 describe los dos rangos de evaluación T20 y T30

La fuente y el procesado deben ser capaces de excitar todas las frecuencias a analizar con suficiente potencia para cumplir las caídas necesarias:

Para T20: 35dB por encima del ruido de fondo (en todas las frec.)

Para T30: 45dB por encima del ruido de fondo (en todas las frec.)

Sin embargo, se ha dado preferencia al rango de evaluación de 20 dB por varias razones:

- 1) La evaluación subjetiva de la reverberación está relacionada con la primera parte del decrecimiento del sonido.
- 2) Para estimar el nivel acústico estacionario de un recinto a partir de su tiempo de reverberación, conviene utilizar la primera parte del decrecimiento
- 3) 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 20dB.

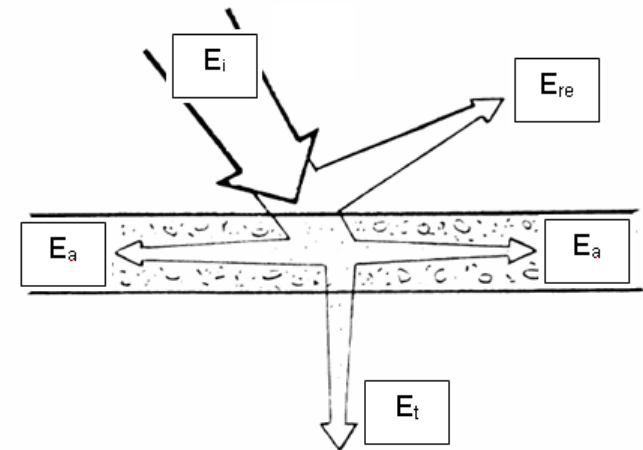
MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

- Introducción: EL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

$$\alpha = \frac{E_a}{E_i} \quad \text{es el coeficiente de absorción acústica.}$$

$$r = \frac{E_r}{E_i} \quad \text{es el coeficiente de reflexión.}$$

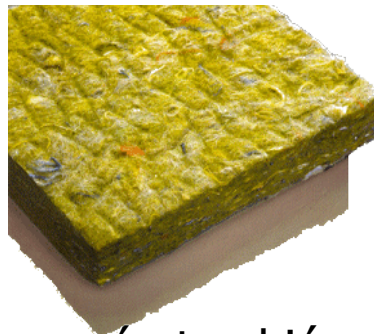
$$\tau = \frac{E_t}{E_i} \quad \text{es el coeficiente de transmisión.}$$



MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

- Introducción: EL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

El valor del coeficiente de absorción de un material depende de la frecuencia del sonido, por lo que acostumbra a darse su valor por bandas de octava, de 125Hz a 4KHz:



El coeficiente de absorción también varía en función del ángulo de incidencia de la onda sonora en el material. Por esto hay que especificar si se trata de incidencia normal (perpendicular) o aleatoria.

MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

- Introducción: EL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

Los coeficientes de absorción en incidencia normal no son comparables a los de incidencia aleatoria.

A nivel práctico, tienen más interés los de incidencia aleatoria porque son los que se utilizan para hacer cálculos del TR con la teoría estadística.

Su medida se define en:

Incidencia aleatoria: ISO 354 _____ Cámara reverberante

Incidencia normal: ISO10534 _____ Tubo de Kundt

MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

- ISO 354 : [UNE-EN ISO 20354]

Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante.

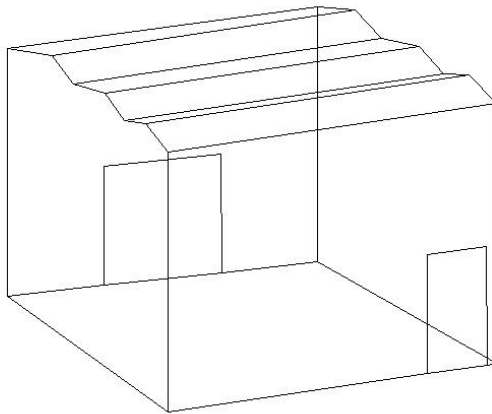
Define la medida del coeficiente de absorción en incidencia aleatoria en sala reverberante.

La idea básica es obtener los coeficientes de absorción en las condiciones en que posteriormente querremos utilizarlos en la teoría estadística, en campo difuso, con incidencia aleatoria.

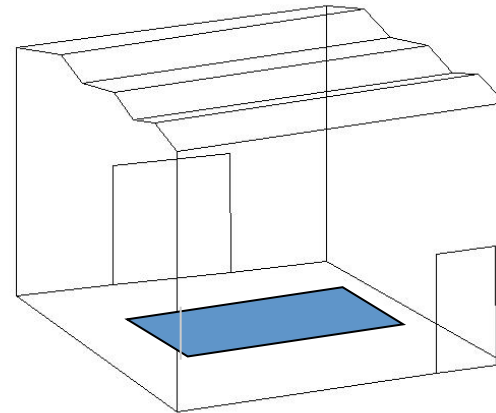
Se hace el proceso inverso: A partir de la reverberación medida con y sin muestra se deduce el coeficiente de absorción del material que ocasionaría la pérdida de reverberación medida.

MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO :



- Sala vacía -



- Sala con muestra -

Se mide el tiempo de reverberación de la sala reverberante vacía (T_1) y posteriormente de la sala reverberante con una muestra de material en el suelo (T_2).

MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

- Cálculo del coeficiente de absorción:

$$A_{muestra} = \frac{55'3 \cdot V}{c} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad \alpha_{muestra} = \frac{A_{muestra}}{S}$$

- $T_1 \rightarrow$ Tiempo de reverberación de la sala vacía.
- $T_2 \rightarrow$ Tiempo de reverberación de la sala con material absorbente.
- $A_{muestra} \rightarrow$ Área de absorción equivalente de la muestra.
- $S \rightarrow$ Superficie de la muestra absorbente.

MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

- Deducción de la expresión para el cálculo de α :
 - Área de absorción equivalente de la sala vacía (A_1) y de la sala llena (A_2):
$$A_1 = \frac{0,163 \cdot V}{T_1} \qquad A_2 = \frac{0,163 \cdot V}{T_2}$$
 - A_2 es la suma del área de absorción equivalente del material que cubre la cámara reverberante (A_C) y el área de absorción equivalente de la muestra de ensayo:

$$A_2 = A_{muestra} + A_C$$

$$A_C = A_1 - \alpha_1 \cdot S_{muestra}$$

MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

- Deducción de la expresión para el cálculo de α :
 - Por lo tanto la expresión de la muestra será:

$$A_{muestra} = A_2 - A_C \Rightarrow A_2 - (A_1 - \alpha_1 \cdot S_{muestra})$$

$$A_{muestra} = \frac{55,3 \cdot V}{c \cdot T_2} - \frac{55,3 \cdot V}{c \cdot T_1} + \alpha_1 \cdot S_{muestra}$$

- α_1 es el coeficiente medio de absorción de la sala vacía.
- El coeficiente de absorción de la muestra será:

$$\alpha_{muestra} = \frac{55,3 \cdot V}{c \cdot S_{muestra}} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) + \alpha_1$$

MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

- CONDICIONES DE ENSAYO :

Características de la sala.

- $V_{\text{sala}} > 150\text{m}^3$; Idealmente $V = 200\text{m}^3$.
- Diagonal más larga $< 1'9 \cdot V^{1/3}$.
- Área de absorción equivalente baja.
 - Si 200m^3 :

<i>Frecuencia</i>	125Hz	250Hz	500Hz	1KHz	2KHz	4KHz
A0	6'5	6'5	6'5	7	9'5	13

- Si $V \neq 200 \text{ m}^3$:

- Los valores máximos de absorción anteriores deberán multiplicarse por el término corrector:

$$\left(\frac{V}{200} \right)^{\frac{2}{3}}$$

MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

- CONDICIONES DE ENSAYO :

Características de la muestra de ensayo.

- Tamaño muestra: entre 10m² y 12m².
- Forma geométrica: rectangular.
- Relación ancho:largo entre 0,7 y 1.

Condiciones climáticas.

- Humedad relativa > 40%. Variaciones < 3%.
- Temperatura > 10°C. Variaciones < 3%.

MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

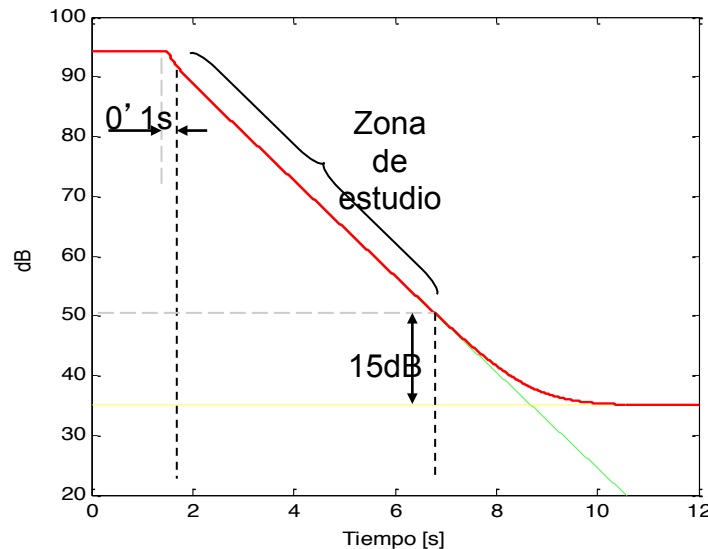
- Procedimiento de medida.
 - Medida en 1/3 de octava entre 100Hz y 5KHz.
 - Señal de excitación:
 - Ruido por bandas.
 - Si se utiliza un analizador en tiempo real podrá utilizarse ruido blanco o rosa de banda ancha.
 - Fuente de ruido:
 - Diagrama de directividad omnidireccional.
 - 2 posiciones diferentes separadas 3m como mínimo.

MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

- Procedimiento de medida.
 - Micrófono:
 - Diagrama de directividad omnidireccional.
 - Por cada posición de fuente, tres posiciones de micrófono.
 - Posición de los micrófonos:
 - Distancia micrófono – muestra $\geq 1\text{m}$.
 - Distancia micrófono – fuente $\geq 2\text{m}$.
 - Distancia micrófono – pared $\geq 1\text{m}$.
 - TR global es la media aritmética de los valores obtenidos.

MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

- Procedimiento de medida.
 - TR medido a partir de la pendiente media de caída.



Rango de medida:

- Empieza 0,1s después de apagar la fuente.
- Debe terminar 15dB's por encima del ruido de fondo.
- No debe ser inferior a 20dB's

MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

- Comentarios sobre el coeficiente de absorción medido según UNE EN ISO 20354:
 - Coeficiente de absorción en incidencia aleatoria.
 - Valor promedio para todos los ángulos de incidencia.
 - Permite medir muestras de ensayo de gran tamaño.
 - Es posible evaluar la aportación del montaje del material.
 - Es posible medir el coeficiente de absorción de objetos como butacas, etc.
 - El método se basa en la teoría de Sabine → a medida que la condiciones acústicas difieran del campo de validez de la fórmula de Sabine los resultados se alejarán de la realidad.

MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

- Comentarios sobre el coeficiente de absorción medido según UNE EN ISO 20354:
 - La normativa desprecia el término α_c en el cálculo del coeficiente de absorción.
 - Existe un pequeño error en los valores calculados con la expresión:

$$A_2 = \frac{55'3 \cdot V}{c \cdot S_{muestra}} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

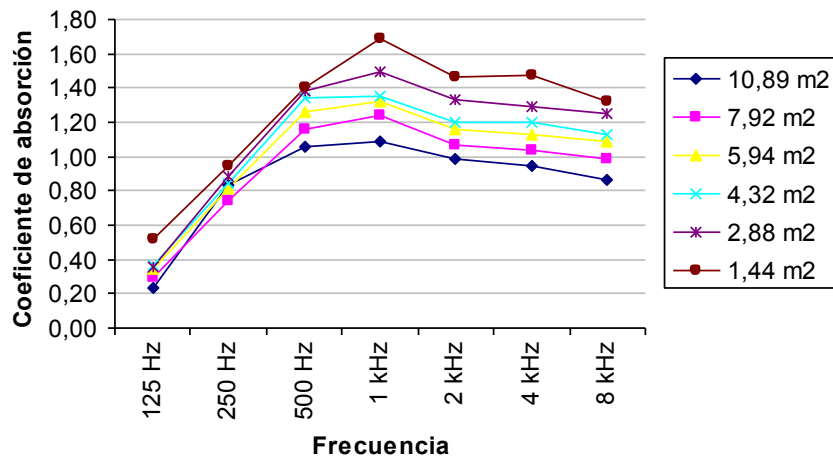
debido a haber despreciado la absorción del área de material que forma la cámara reverberante y que al poner la muestra de ensayo queda cubierto por ésta.

- Si el coeficiente de absorción de la muestra de ensayo es moderado o bajo este error toma mayor relevancia.

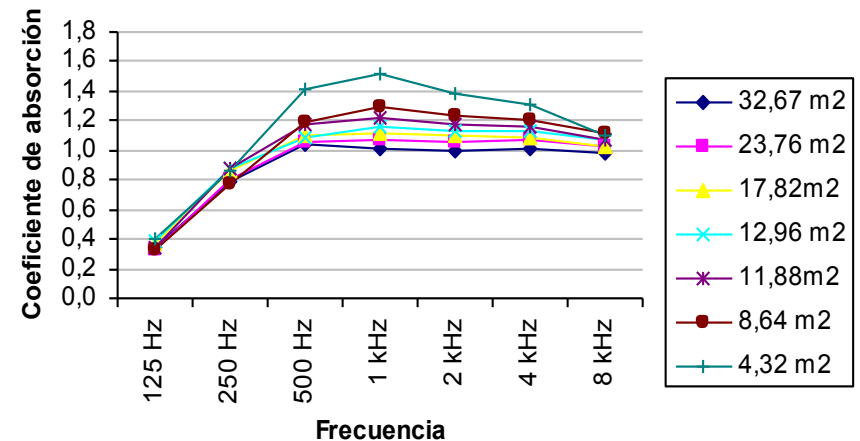
MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

- Comentarios sobre el coeficiente de absorción medido según UNE EN ISO 20354:

SUELO



3 PAREDES



Comparativa de medidas hechas con diferente S_{muestra} ubicada en 1 o 3 dimensiones

MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

- ISO 10534 : [UNE-EN ISO 10534]

Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia.

Define la medida del coeficiente de absorción en incidencia normal en tubo de ondas estacionarias (Tubo de Kundt).

Contempla dos posibles métodos de medida:

- Parte 1: Método del rango de onda estacionaria
- Parte 2: Método de la función de transferencia (No lo veremos)

Ambos métodos utilizan el tubo de Kundt como entorno de medida.

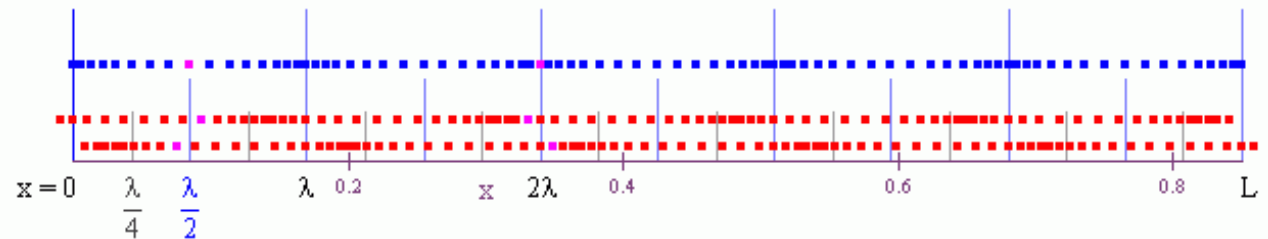
MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

- PRINCIPIOS FUNDAMENTALES :

1.- Las ondas estacionarias en un tubo:

$$p_i = A \cdot e^{j(\omega t - kx)}$$

$$p_r = B \cdot e^{j(\omega t + kx + \varphi)}$$

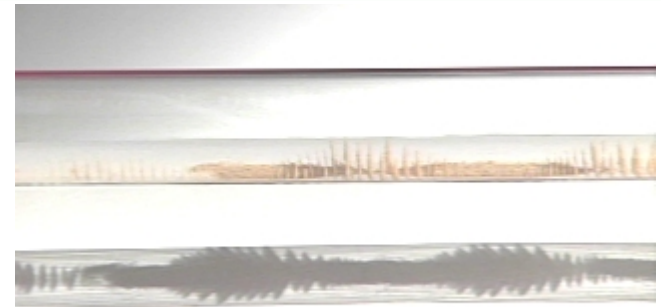


$$|p_i + p_r| = A + |B|$$

$$|p_i - p_r| = A - |B|$$

$$ROE = \frac{A + |B|}{A - |B|}$$

$$ROE = \frac{p_{ef\max}}{p_{ef\min}}$$



MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

- PRINCIPIOS FUNDAMENTALES :

1.- Las ondas estacionarias en un tubo:

$$\alpha_n = \frac{4 \cdot ROE}{(ROE + 1)^2} \quad \alpha_n = 1 - \alpha_r = 1 - \frac{|B|^2}{A^2} = 1 - \frac{(ROE - 1)^2}{(ROE + 1)^2}$$

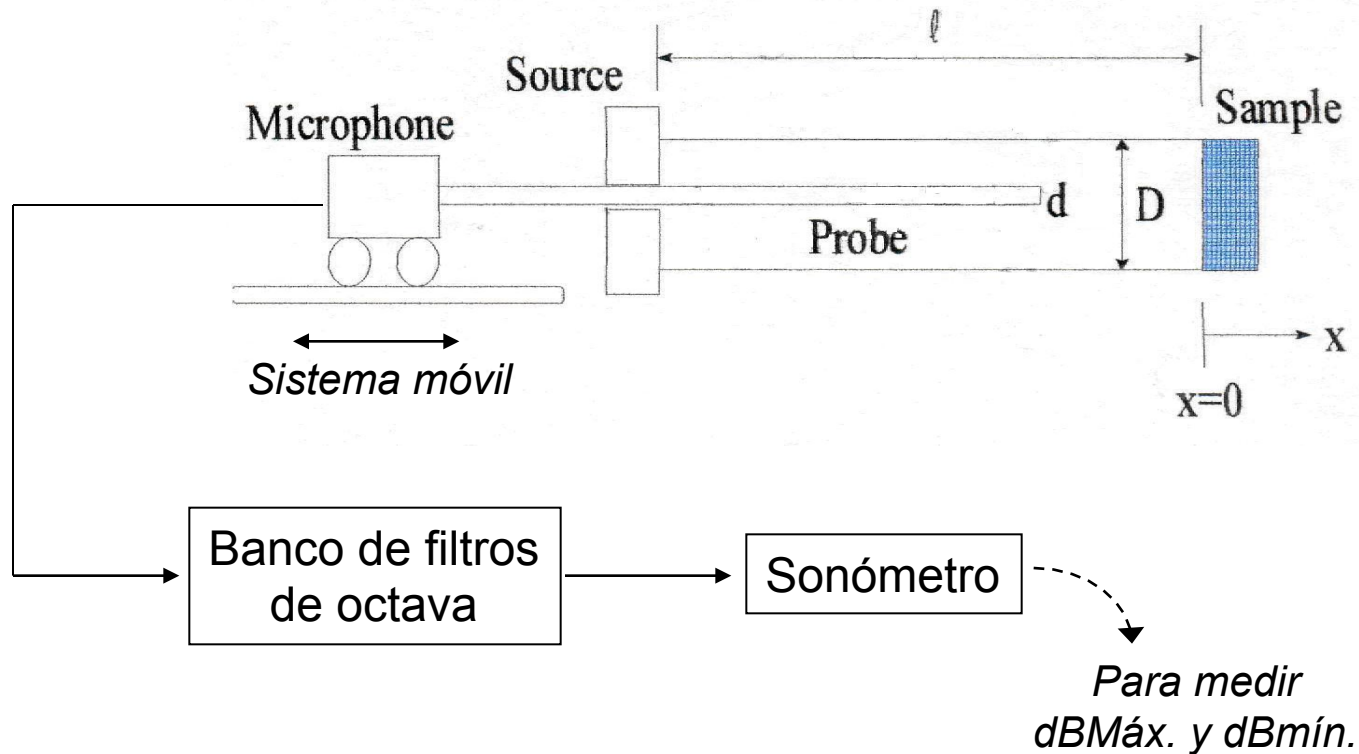
$$\Delta dB = dB_{\text{máximo}} - dB_{\text{mínimo}} = 20 \cdot \log \frac{p_M}{p_0} - 20 \cdot \log \frac{p_m}{p_0} = 20 \cdot \log \frac{p_M}{p_m}$$

$$ROE = \frac{p_M}{p_m} = 10^{\Delta dB / 20}$$

$$\alpha_n = \frac{4 \cdot 10^{\Delta dB / 20}}{(1 + 10^{\Delta dB / 20})^2}$$

MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

- INSTRUMENTACIÓN DE ENSAYO :



MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

- INSTRUMENTACIÓN DE ENSAYO :

.- El tubo debe cumplir:

Longitud mínima: $\lambda_{\max} < l$

Diámetro máximo: $\phi < 0.586 \cdot \lambda_{\min}$

Por esto es normal trabajar con dos tubos de dimensiones diferentes. Uno grande hasta unos 1000Hz y otro más pequeño a partir de los 1000Hz.

MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

- MÉTODO DE ENSAYO :

1. Se pone una muestra del material a evaluar en el portamuestras del extremo del tubo correspondiente a la frecuencia a analizar.
2. Se genera un tono puro a la frecuencia central de la banda a analizar. La amplitud de la señal debe ser, como mínimo, unos 10 dB mayor que el ruido de fondo.
3. Se desplaza el micrófono a lo largo del tubo en busca de máximos y mínimos de presión. Se miden y anotan el máximo y el mínimo* a esa frecuencia, así como la distancia de algún mínimo conocido ($1^{\circ}, 2^{\circ}, \dots$) a la muestra.
4. Se calcula el coeficiente de absorción.

* Típicamente se obtienen en dBSPL y, o bien se convierten a presión, o se trabaja con la formulación traducida a dB.

MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

- MÉTODO DE ENSAYO :

Este procedimiento se repite para todas las frecuencias centrales de las bandas de octava de interés, típicamente de 125Hz a 400Hz.

Los resultados se presentan en forma gráfica o tabular.

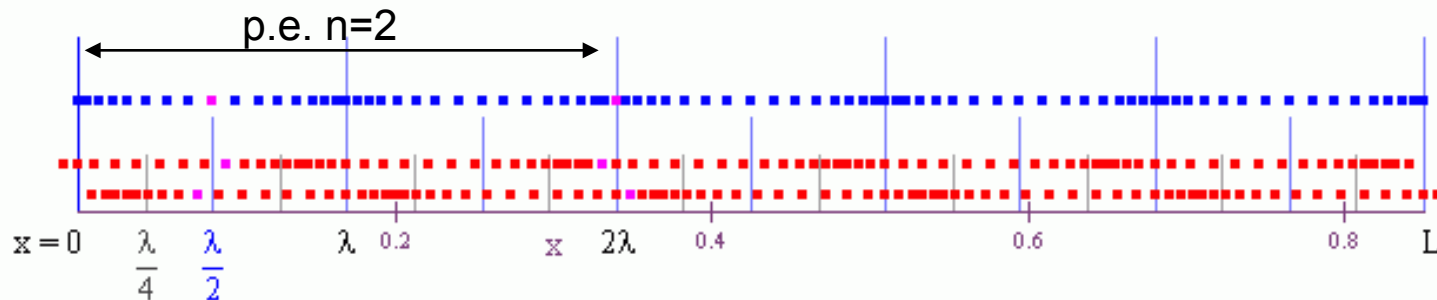
-
5. Adicionalmente puede medirse la impedancia normalizada (z) del material según se describe en las próximas transparencias. Esta impedancia está normalizada a la impedancia específica del aire Z_0 .

$$z = \frac{Z}{Z_0}$$

MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

- MÉTODO DE ENSAYO :

Para medir z necesitamos el coeficiente de reflexión complejo (con fase), para lo cual hace falta medir la distancia física (en m) entre la superficie de la muestra y algún mínimo en el tubo.



$$\phi = \pi \left(\frac{4 \cdot x_{\min, n}}{\lambda_0} - 2n + 1 \right) \quad r = |r| \cdot e^{j\phi} = r' + j \cdot r'' \quad \begin{cases} r' = |r| \cdot \cos \phi \\ r'' = |r| \cdot \sin \phi \end{cases}$$

MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

- MÉTODO DE ENSAYO :

z se calcula como:

$$z = z' + j \cdot z'' \left\{ \begin{array}{l} z' = \frac{1 - r'^2 - r''^2}{(1 - r')^2 + r''^2} \\ z'' = \frac{2r''}{(1 - r')^2 + r''^2} \end{array} \right.$$