

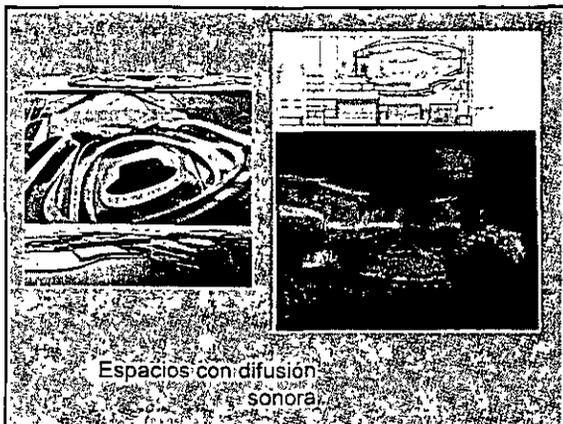
La difusión sonora

Definición

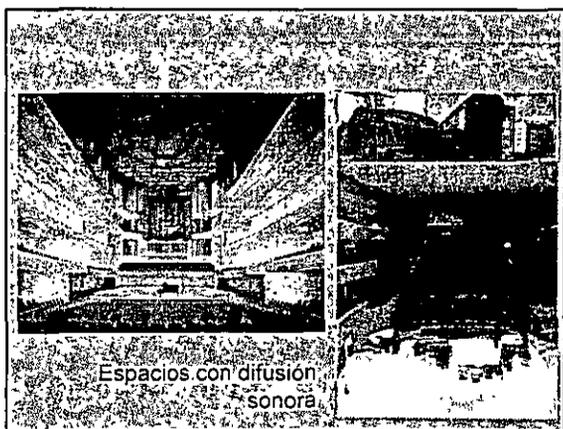
- La difusión sonora existe cuando una superficie dispersa el sonido de forma homogénea, espacial y temporalmente, independiente del ángulo de incidencia y en un rango amplio de frecuencias

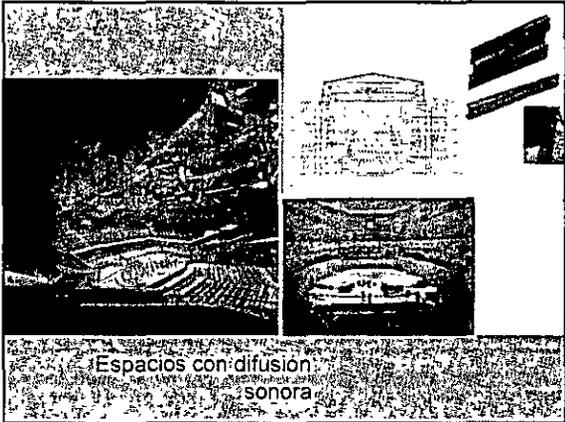
Manfred Schroeder
"Quadratic Residue Diffuser" (QRD)

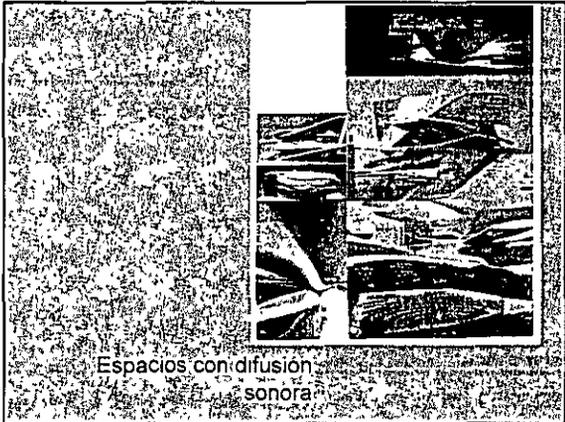
Aplicaciones de difusores en la actualidad

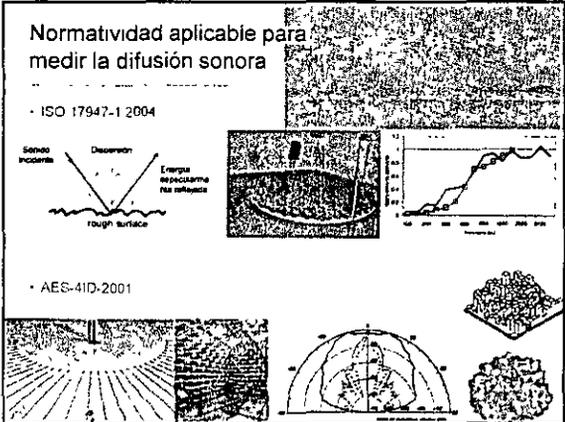












LABORATORIO
ACÚSTICO
METROPOLITANO
LADAC
DISEÑO DE ESPACIOS Y SERVICIO PARA EL USUARIO
"CONCIENCIA" "COMFORT" Y "BIENESTAR" EN ESPACIO

CYAD PROCESOS

Análisis del Impacto de la Difusión Sonora en la Reverberación de un Espacio Arquitectónico

Resumen

- En materia de acústica, poco se ha intervenido en la generación de herramientas útiles a los arquitectos para poder predecir el comportamiento acústico de los espacios
- La acústica, al igual que otros elementos que influyen en el confort acústico, debe de llegar a ser contemplada como un elemento fundamental que incide de forma importante en el confort y bienestar del ser humano

X

Introducción

¿Por qué se escogió este tema?

- Al realizar una investigación .
- De acuerdo a estudios previos se sabe que la difusión sonora incide la calidad acústica de los espacios
- La difusión sonora es un tema que empezó a ser estudiado recientemente y no existe una forma clara para caracterizarla
- El trabajo que se realiza en el Laboratorio de Análisis y Diseño Acústico (LADAC) incluye el diseño de superficies difusoras
- Relacion de la difusión sonora con un lenguaje más arquitectónico, mediante la medición del tiempo de reverberación

X

Objetivo general

- Encontrar la relación cualitativa que existe entre la difusión sonora y el tiempo de reverberación en un espacio arquitectónico

Hipótesis

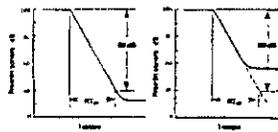
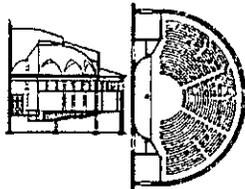
- La difusión sonora en un espacio arquitectónico se puede caracterizar a partir del tiempo de reverberación del mismo
- La presencia de la difusión sonora en un espacio arquitectónico mejora los parámetros de calidad acústica derivados del tiempo de reverberación

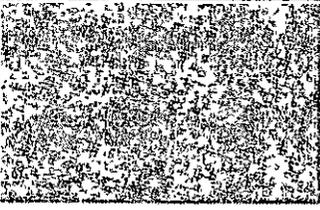
Estudio del impacto de superficies difusoras en la reverberación de un espacio arquitectónico

- Planteamiento del problema
 - En la etapa de diseño, el arquitecto no sabe que ocurrirá con el sonido en los espacios
 - Existe mucha información teórica que necesita ser traducida a términos arquitectónicos

La reverberación

- Wallace C. Sabine
- Carl F. Eyring
- El tiempo de reverberación
 - Norma ISO 3382 1997





ESPACIO	T ₆₀ (s)
Sala de conferencias	0.7 - 1.0
Coro	1.0 - 1.2
Auditorio de salas múltiples	1.2 - 1.6
Teatro de ópera	1.2 - 1.6
Sala de conciertos (sala de cámara)	1.2 - 1.7
Sala de conciertos (sala sinfónica)	1.8 - 2.0
Grabación en estudio (sala seca)	2.0 - 3.0
Cámara de eco	0.2 - 0.4

- Fuerza (G)
- EDT
- Definición (D₅₀)
- Claridad de la palabra (C₅₀)
- Claridad musical (C₈₀)
- Tiempo central (T_c)
- Fracción lateral (LF)
- Coeficiente de fracción lateral (LFC)
- Calidez (BR)
- Brilantez (Br)
- XALcons (Pérdida de definición de las consonantes)
- Índice de transmisión sonora (STI)

Reverberación y calidad acústica

Parámetros de calidad acústica

Procesos de simulación acústica de los espacios

- Modelos matemáticos (coordenadas cartesianas)
- Modelos de simulación acústica por computadora (auralización)
- Modelos físicos a escala



La difusión sonora y el confort acústico en los espacios arquitectónicos

- Espacios especializados
- Tomar en cuenta el sonido como un ingrediente esencial del espacio arquitectónico
- Herramientas para el diseño
- No existe forma de cuantificarse y cualificarse

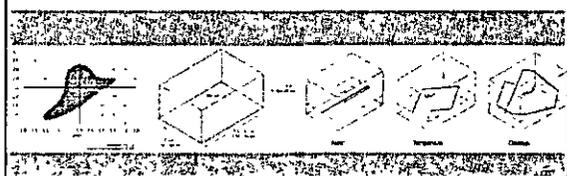
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA **EXPERIMENTAL**
CALLE DE CENOSIAS Y ARTES PARA EL SUR
INSTITUTO DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL SUR
INVESTIGACION Y DESARROLLO DE SUR

CAD PROCESOS

El experimento

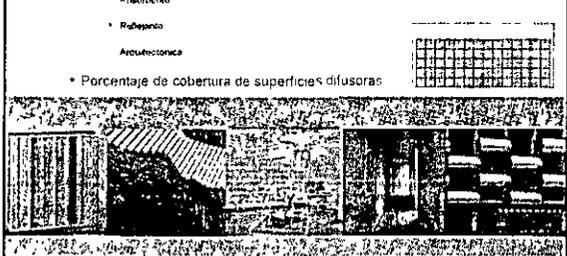
• 1 Definición del espacio

- Proporciones del espacio
- Volumen
- Modos propios de vibración
- Frecuencia máxima



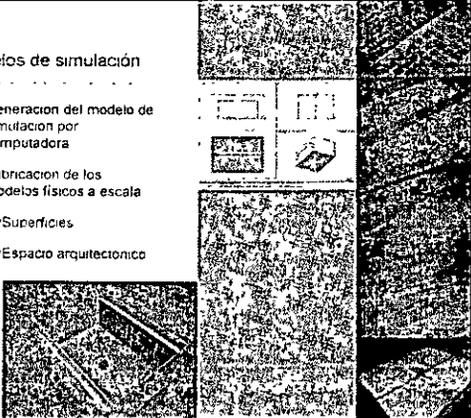
• 2 Definición de superficies de difusión

- Selección de superficies difusoras
 - GRD
 - Trabaja!
 - Absorbente
 - Reflejo
 - Arquitectónica
- Porcentaje de cobertura de superficies difusoras



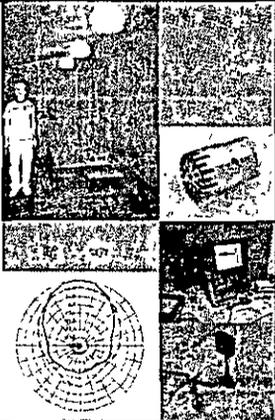
3 Modelos de simulación

- Generación del modelo de simulación por computadora
- Fabricación de los modelos físicos a escala
 - Superficies
 - Espacio arquitectónico

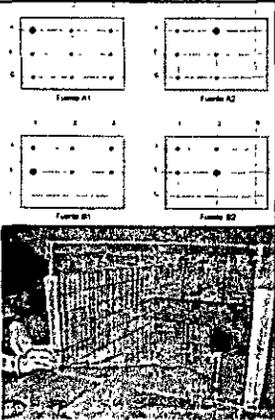


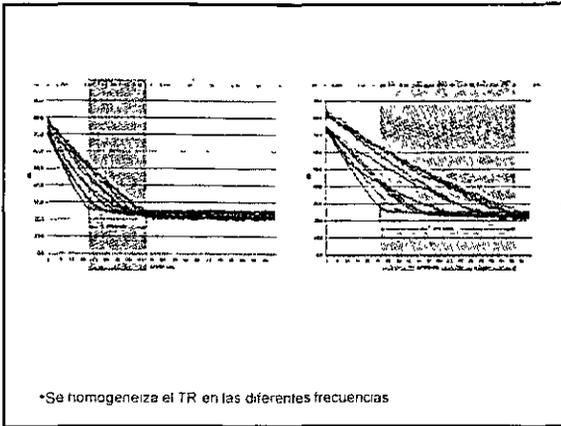
4 Proceso de medición y simulación

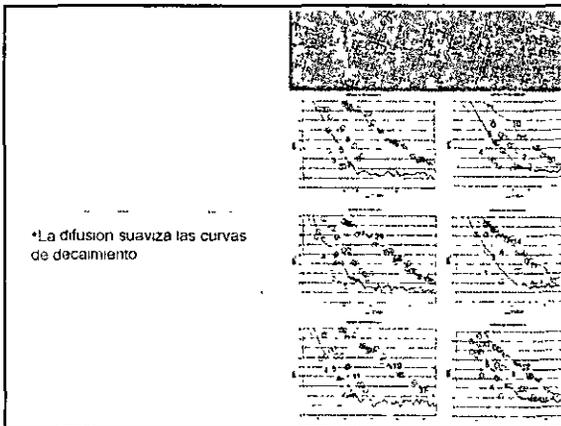
- Equipo e instrumentos
 - Cámara sónica montada
 - Micrófono "x"
 - Analizador 20RB40
 - Fuente manutaria

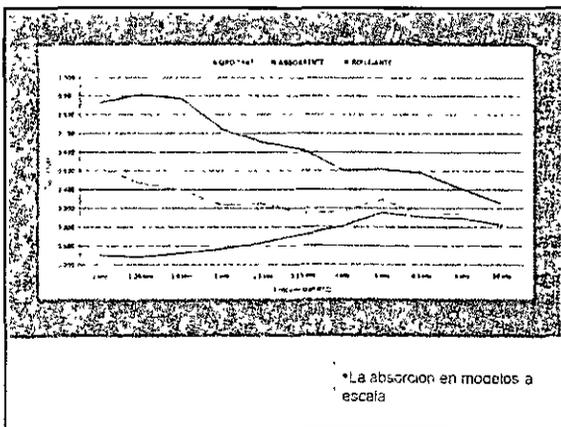


- Puntos de medición
- Mediciones en modelo físico a escala
- Simulación acústica por computadora







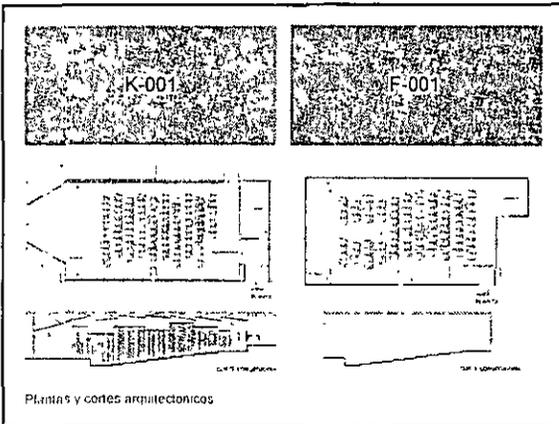


Caso de estudio

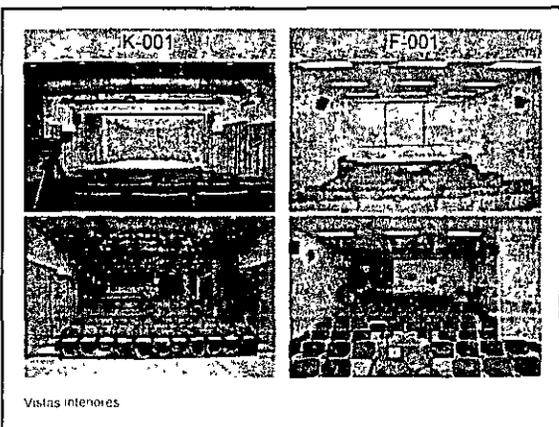
*Análisis comparativo
de dos salas de teatro*

- Se seleccionaron dos auditorios de la UAM-Azc, uno con superficies difusoras y otro sin ellas
- Se realizaron las mediciones del tiempo de reverberación
- Se obtuvieron parámetros de calidad acústica derivados del tiempo de reverberación
- Se compararon los resultados

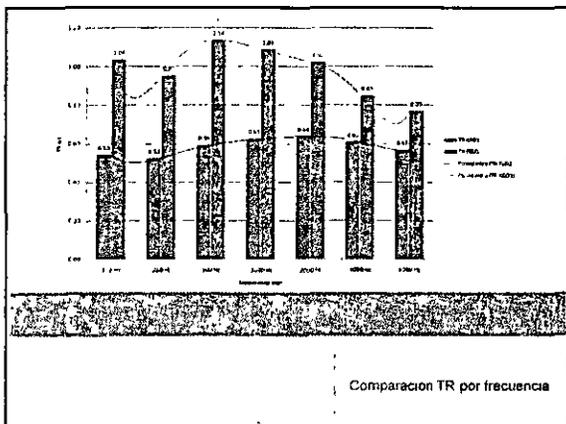
La presencia de la difusión sonora en un espacio arquitectónico mejora los parámetros de calidad acústica derivados del tiempo de reverberación



Plantas y cortes arquitectónicos



Vistas interiores



- Parametros derivados del tiempo de reverberación a comparar
- Fuerza (G)
 - Calidez (BR)
 - Brillantez (Br)
 - %ALcons - perdida de definición de las consonantes
 - Índice de Transmision Sonora (STI)

Comparación

Rango	K-001	F-001
Gmid (Fasold 1998) - 1 a 10	16.51	16.98
Calidez BR (Concert halls 2008) - 1.1 - 1.45	0.88	0.89
Brillantez Br (Scribd, 2008) - > 0.80	1.02	0.84
%ALcons (Wolfgang, 1999)	2.39%	4.78%
< 3% excelente		
3 - 7% buena		
7 - 12% regular		
12 - 15% pobre		
> 15% ininteligible		
STI	0.826	0.887
1 - excelente inteligibilidad		
0 - ininteligibilidad		

¿Qué se hizo?

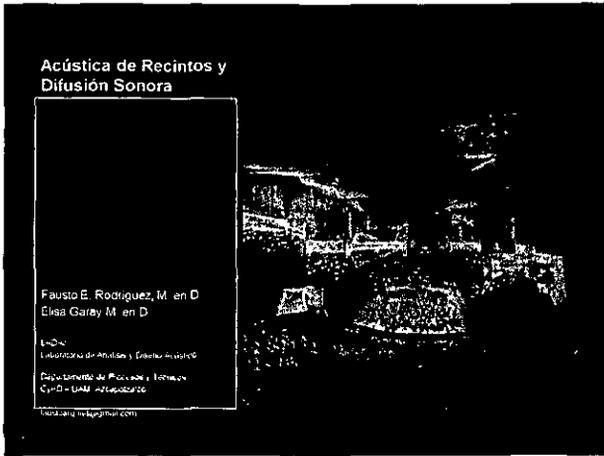
- Se realizó un estudio del impacto de superficies difusoras en el tiempo de reverberación del espacio arquitectónico en un modelo a escala
- Se hizo una validación del experimento mediante la comparación del modelo físico a escala y el modelo de simulación acústica por computadora
- Se analizaron los resultados de las pruebas realizadas a las distintas superficies propuestas y se hicieron las comparaciones y conclusiones pertinentes
- Se hicieron las mediciones para comparar el tiempo de reverberación y los parámetros de calidad derivados del mismo en dos auditorios de la UAM-Azcapotzalco

¿Qué se obtuvo?

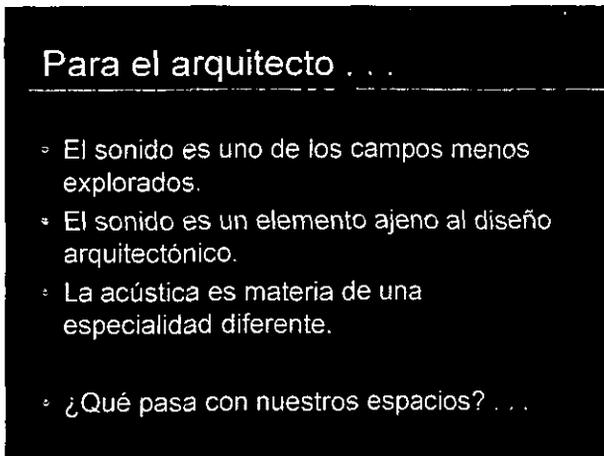
- Por medio del experimento se logró confirmar que la hipótesis presentada para el desarrollo de esta investigación requiere un ajuste, ya que los resultados mostraron un impacto en la calidad acústica del espacio más que una caracterización de la difusión
- Mediante el análisis comparativo se pudieron definir con mayor claridad los resultados obtenidos y a partir de estos se pudo llegar a una propuesta de clasificación de las superficies difusoras
- La investigación realizada deja entrever nuevos temas de investigación sobre la acústica de recintos que son de gran utilidad e importancia para seguir obteniendo herramientas de diseño acústico del espacio, que sirvan al arquitecto

Conclusiones generales del experimento

- La difusión disminuye el tiempo de reverberación
- A mayor irregularidad de las superficies menor tiempo de reverberación
- Las superficies difusoras tienden a homogeneizar el tiempo de reverberación en las distintas frecuencias
- Las superficies con mayor irregularidad tienden a suavizar el decaimiento sonoro
- Los materiales absorbentes utilizados en modelos a escala no responden en las frecuencias mayores a 5 kHz y 10 kHz
- La difusión sonora mejora la calidad acústica del espacio arquitectónico
- Propuesta de clasificación de superficies difusoras

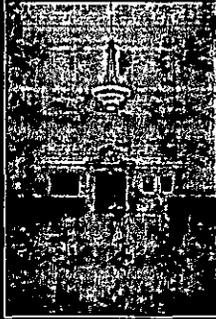






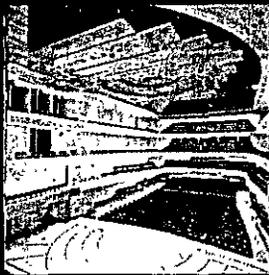
El problema . . .

Arquitectos sordos
ó
Acústicos ciegos?



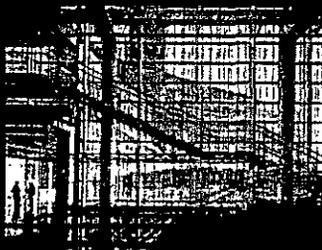
Referentes claros

- Las salas de concierto
- Los teatros
- Los auditorios



Diseño arquitectónico en general

- El sonido No es parte integral del diseño arquitectónico en general, como pudiera ser el caso de la luz o la ventilación.



Oído vs. Visión

- La vista aísla mientras que el sonido incorpora, la visión es direccional, mientras que el sonido es omni-direccional.
- El sentido de la vista implica exterioridad, pero el sonido crea una experiencia de interioridad.
- Observo un objeto, pero el sonido se acerca. El ojo alcanza, pero el oído recibe.
- Los edificios no reaccionan a nuestra mirada, pero devuelven los sonidos a nuestros oídos.

J. Pallasmaa

Propiedades del sonido

sesión 2

- a. Origen del sonido
- b. Propagación y velocidad del sonido
- c. Frecuencia, timbre y longitud de onda

a. Origen del sonido

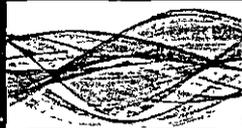
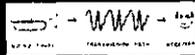
- Es una fluctuación en la presión en un medio elástico (vibración), es decir, el desplazamiento de partículas. (enfoque objetivo)
- Fisiológicamente hablando, es una sensación auditiva evocada por la fluctuación descrita anteriormente. (subjetivo)

b. Propagación

- Siempre ocurre a través de un medio elástico.
- El sonido se propaga mediante ondas mecánicas



- El medio más común es el aire



b. Velocidad del sonido

- Una de las propiedades del sonido es su velocidad.

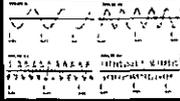
Medium	Density (kg/m ³)	Speed of sound (m/s)	Speed of sound (ft/s)
Air at 0 °C	1.293	331	1086
Air at 20 °C	1.21	343	1125
Hydrogen at 0 °C	0.09	1280	4200
Hydrogen at 20 °C	0.08	1310	4300
Helium at 0 °C	0.178	965	3168
Helium at 20 °C	0.166	1000	3280
Water	1000	1482	4863
Mercury	13546	1450	4757
Aluminum	2700	5000	16404
Copper	8960	3500	11483
Iron	7700	5100	16732
Steel	7700	5000	16404
Lead	11300	1960	6430
Glass	2500	5000	16404
Quartz	2650	3700	12136
Plastic	1200	2600	8530
Concrete	2400	3200	10514
Brick	1900	3700	12136
Wood	500	3300	10860
Rubber	1100	1600	5248
Adhesive rubber	1100	74	243

c. Frecuencia

Otra de las propiedades del sonido es su frecuencia, y se refiere al número de veces que una onda sonora completa se repite en una unidad de tiempo (seg).

Ciclos por segundo = Hertz

A mayor cantidad de ondas la frecuencia es alta (Agudos) y a menor cantidad de ondas la frecuencia es baja (Graves).



c. Timbre

Es el conjunto de armónicos (frecuencias secundarias, que acompañan a la frecuencia fundamental o tono fundamental), esto es lo que genera un carácter especial en cada sonido.



c. Longitud de onda



La longitud de onda es el tamaño del sonido

¿De qué tamaño es la onda sonora?

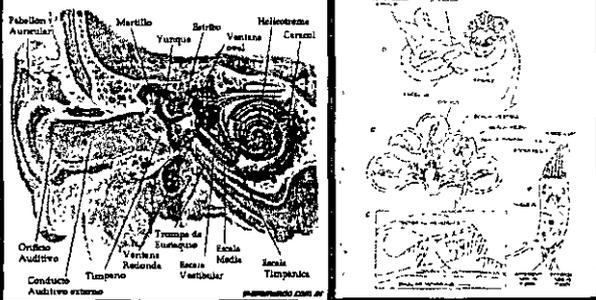
c. Longitud de onda

La longitud de onda está relacionada con la velocidad del sonido y la frecuencia :

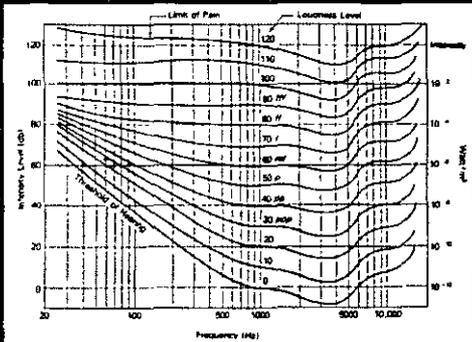
- λ = longitud de onda
- c = velocidad del sonido
- f = frecuencia del sonido

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

El oído humano y la audición



Rango audible y sensibilidad



¿Cómo podemos medir el sonido?

El sonido se mide mediante instrumentos especializados llamados sonómetros, que son en realidad aparatos que transforman las mediciones de presión en decibeles.



Los decibeles

No son unidades lineales de medición.

Son niveles, es decir unidades comparadas generalmente con un número de referencia, con base en escala logarítmica.

La unidad lineal de medición del sonido son los PASCALES, porque miden la presión sonora.

Los decibeles

El rango de presión sonora audible va de 20 μ Pa a 20 Pa.

0.000020 20.0

- deci = 0.1
- centi = 0.01
- mili = 0.001
- micro = 0.000001

Los decibeles

Escala logarítmica base 10

$$SPL = 20 \log_{10} P_x / P_{ref}$$

$$SPL = 10 \log_{10} (P_x / P_{ref})^2$$

$$SPL = 10 \log_{10} (P_x / 2 \times 10^{-5} Pa)^2$$

-Por lo tanto la escala de dB va de 0 a 120.

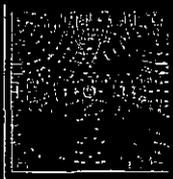
El fenómeno acústico en los espacios arquitectónicos

sesión 3

Comportamiento del sonido en los espacios arquitectónicos

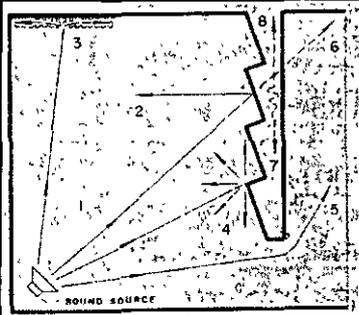
¿Cuál es el comportamiento del sonido dentro de un espacio arquitectónico?

Las ondas que se propagan en forma esférica (empujan y contraen) y estas al propagarse chocan y se reflejan, al suceder esto se emiten otras ondas esféricas.



Comportamiento del sonido en los espacios arquitectónicos

- 1- Sonido directo
- 2- Reflexión del sonido
- 3- Absorción del sonido por un tratamiento en los muros
- 4- Difusión del sonido
- 5- Difracción del sonido
- 6- Transmisión del sonido
- 7- Sonido disipado en la estructura
- 8- Sonido conducido por la estructura



Reflexión del sonido

Propagación directa entre la fuente sonora y el receptor.

Si la onda sonora encuentra un obstáculo en su camino, sea este objeto o superficie, y siempre y cuando sea comparable con su longitud de onda va a reflejarse.

Reflexión del sonido

Al reflejarse, si la superficie es totalmente lisa y dura, la onda se reflejará de manera especular, donde el ángulo de incidencia será igual al ángulo de reflexión.



Reflexión del sonido

Cuando las superficies son curvas presentan las siguientes posibilidades, si la superficie es cóncava el sonido tiende a focalizarse, y si la superficie es convexa el sonido tiende a dispersarse.



Reflexión del sonido

Las reflexiones traen consigo beneficios y problemas:

Beneficios

- Amplifican la señal original
- Generan un efecto sonoro
- Pueden dirigir el sonido hacia donde se desee



Reflexión del sonido

-Problemas

-Las reflexiones especulares cuando son múltiples tienden a generar un caos sónico.



Reflexión del sonido

-Problemas

-Las reflexiones especulares cuando son múltiples tienden a generar un caos sónico.

-Entre superficies paralelas se generan reflexiones estacionarias que ocasionan distorsiones y sonidos sorpresivos no deseados.



Reflexión del sonido

-Problemas

-Las reflexiones especulares cuando son múltiples tienden a generar un caos sónico.

-Entre superficies paralelas se generan reflexiones estacionarias que ocasionan distorsiones y sonidos sorpresivos no deseados

-Cuando las reflexiones arriban muy tarde a los oídos del receptor se generan los "ecos"



Absorción sonora

-Todas las superficies y objetos son absorbentes.

-La absorción sonora es la propiedad por la cual el sonido se atenúa en cierto grado al entrar en contacto con la superficie.



Absorción sonora

La absorción es en sí una transformación de la energía sonora en energía calorífica.

Se caracteriza mediante un coeficiente α

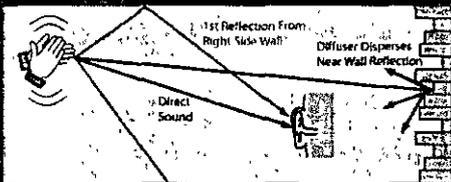
- Presencia de la transmisión sonora, ya que los materiales absorbentes tienden a dejar pasar el sonido.



Difusión sonora

Si las superficies no son lisas, con irregularidades o geometrías diversas como en el caso de las superficies convexas el sonido tiende a dispersarse

Se rompe el rayo incidente en múltiples reflexiones de acuerdo a la geometría con la que se encuentra.



Difusión sonora

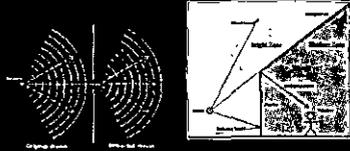
La difusión es uno de los fenómenos más estudiados en la acústica de recintos.



Difracción sonora

Si el sonido se encuentra con bordes o perforaciones en su camino, la onda sonora tiende a *pandearse* hacia el interior de la superficie en el caso de los bordes, o a reemitirse en el caso de las perforaciones.

Es un fenómeno que se presenta en las barreras acústicas.



3. El fenómeno acústico en los espacios arquitectónicos

b. El fenómeno de la reverberación y la resonancia.

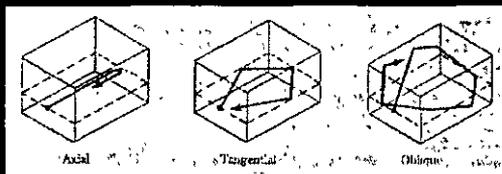
sesión 6

1. Resonancia

Es un fenómeno que permite que los sonidos se distinguen mejor en un espacio cerrado que en uno abierto, debido a que los límites de la envolvente del recinto alteran la distribución del sonido que emana de la fuente, e incrementan el nivel sonoro promedio dentro del recinto.

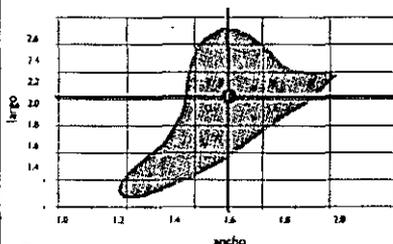
El aire vibra dentro de un espacio y las frecuencias de resonancia se determinan aproximadamente por las dimensiones del recinto y se dice entonces que los modos normales del recinto están presentes.

Modos de vibración



Ejemplo

Segun la gráfica de Bolt, existen relaciones recomendadas para obtener las dimensiones ideales de una sala rectangular con las que se evitara la presencia de defectos que influyan en el comportamiento acustico normal del espacio.



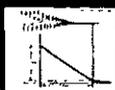
Relación 1 - 1.5 - 2.2
 Medidas reales en metros 4 - 6 - 8.8
 Medidas a escala en cm 40 - 60 - 88

2. Reverberación

Es la persistencia del sonido en el recinto aún cuando la fuente sonora se haya "apagado", debido a que el sonido continúa presente por una sucesión de reflexiones en las paredes, el piso y el plafón.

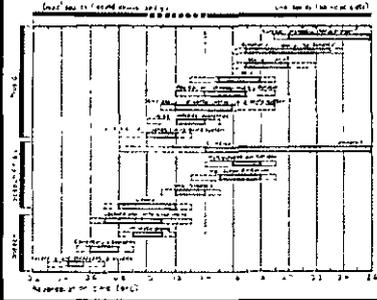
Tiempo de Reverberación

Es el tiempo que transcurre entre el nivel máximo de sonido y una pérdida de 60 decibeles.



¿Cuándo es buena y cuándo es mala la reverberación?

Generalmente una reverberación excesiva es la responsable de la mayoría de los defectos acústicos que estropean la acústica de los recintos.



Se dice que la reverberación es directamente proporcional al volumen e indirectamente proporcional a la absorción total del espacio.

La fórmula para calcular el Tiempo de Reverberación se conoce como fórmula de Sabine, ésta se utiliza generalmente en laboratorios para calcular coeficientes de absorción de los materiales y es fácil de utilizar en términos de arquitectura.

Así que:

$$T = 0.161 \frac{V}{A}$$

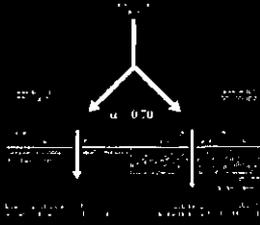
T = Tiempo de reverberación

V = Volumen del espacio

A = Total de m² de absorción en las superficies

Para obtener el área de absorción de la superficie se multiplican m² los por el coeficiente de absorción del material a utilizar.

Absorción



Entonces se puede decir que un material absorbente es un buen transmisor pero un mal aislante.

Si un material absorbente esta confinado dentro de dos superficies duras entonces ayudara a que el sonido no viaje de un lado a otro y podemos decir que el material forma parte de un buen sistema aislante.

Coefficiente de absorción

La forma por la cual podemos conocer que tanto absorbe un material, es a través de un factor conocido como coeficiente de absorción, que se obtiene mediante pruebas realizadas a los materiales en laboratorios especializados.

Para cada material existe un coeficiente de absorción y se denomina α , y es dependiente de la frecuencia sonora, es decir, para cada banda de frecuencia existe un coeficiente de absorción específico.

Ej:

Tabique natural

125 250 500 1000 2000 4000

Para cada material existe un coeficiente de absorción y se denomina α , y es dependiente de la frecuencia sonora, es decir, para cada banda de frecuencia existe un coeficiente de absorción específico.

Ej:

Tabique natural

125	250	500	1000	2000	4000
0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07

Para cada material existe un coeficiente de absorción y se denomina α , y es dependiente de la frecuencia sonora, es decir, para cada banda de frecuencia existe un coeficiente de absorción específico.

Ej:

Tabique natural

125	250	500	1000	2000	4000
0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07

Para cada material existe un coeficiente de absorción y se denomina α , y es dependiente de la frecuencia sonora, es decir, para cada banda de frecuencia existe un coeficiente de absorción específico.

Ej:

Tabique natural

125	250	500	1000	2000	4000	NRC
0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.06

Materiales

Los materiales de acuerdo a su absorción pueden clasificarse de la siguiente forma:

- a. Materiales porosos – son todos aquellos que tienen espacios de aire en su estructura (rocas, espumas, etc.)
- b. Materiales fibrosos – su estructura es a base de fibras (textiles, lanas minerales, fibras de vidrio, etc.)

Dispositivos absorbentes

Son la combinación de diversos elementos para obtener absorción a partir de la interacción de la energía sonora en cavidades, paneles, membranas, perforaciones, ranuras, etc. con o sin materiales absorbentes.

32 63 125 250 500 1000 2000 4000

Dispositivos compuestos

Generalmente estos dispositivos se diseñan para que sean eficientes en cierto rango del espectro sonoro (bandas de frecuencia), mediante la combinación de materiales absorbentes con diversos elementos como son muros, espacios de aire y distintos tipos de paneles.

32 63 125 250 500 1000 2000 4000

Reverberación

Los coeficientes de absorción son fundamentales para obtener los valores necesarios que aplican en la relación:

$$T_{60} \approx \frac{0.161 V}{A}$$

T = Tiempo de reverberación

V = Volumen del espacio

A = Total de m² de absorción en las superficies

$$A = S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + S_3 \alpha_3 + \dots + S_n \alpha_n$$

S = superficie del material

4. Materiales y dispositivos de absorción sonora

sesión 8

