

Introducción a la Acústica

Sebastián Fingerhuth (EIE PUCV)

Prof. Dr. Michael Vorländer

Dipl.-Ing. Ingo Witew

Prof. Dr.-Ing. Alfred Schmitz

Dr.-Ing. Gottfried. Behler

Prof. Dr.-Ing. Anselm Goertz

Dr.-Ing. Michael Makarski

Dipl.-Ing. Pascal Dietrich

Dipl.-Ing. Dirk Schröder

Sebastián Fingerhuth

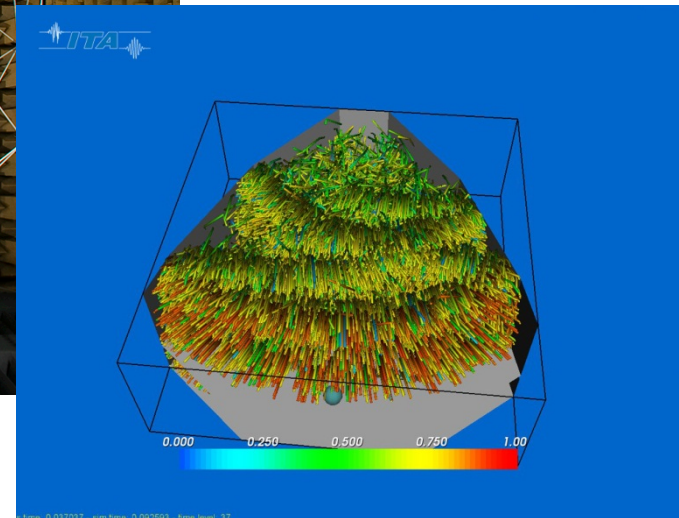
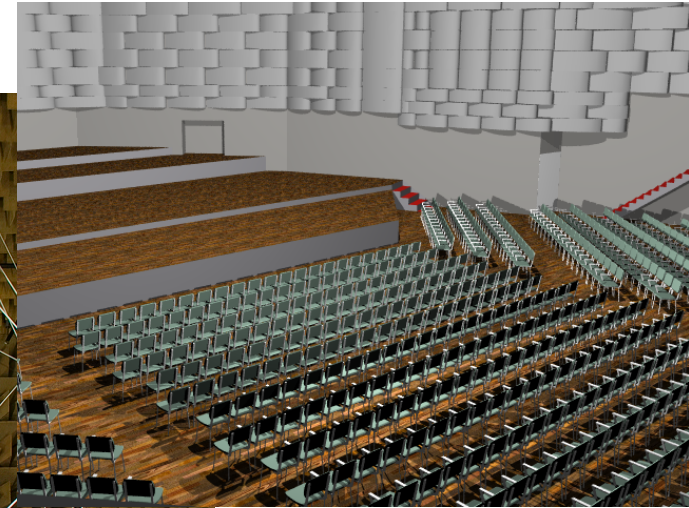
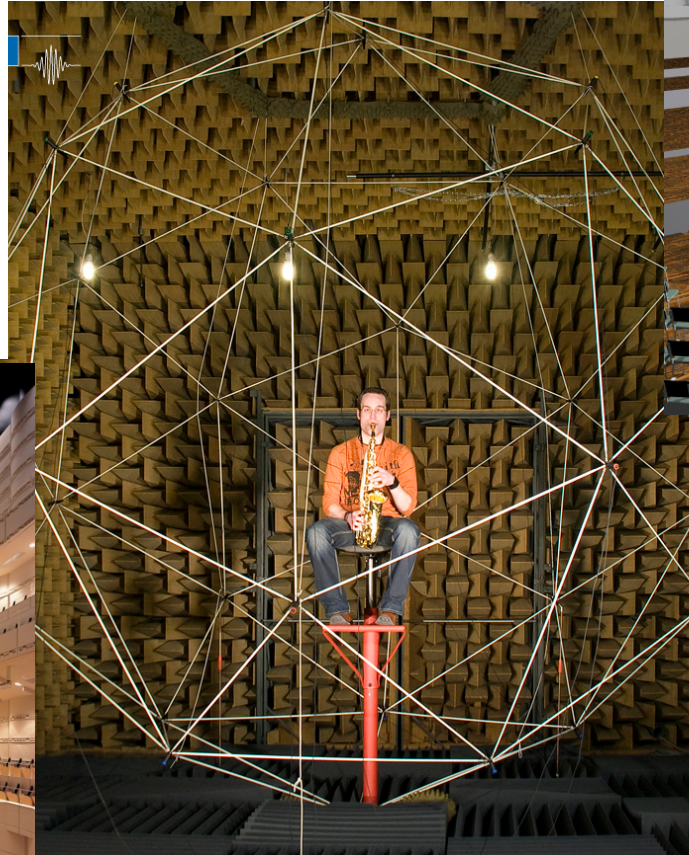
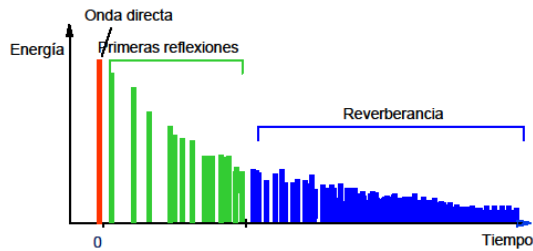
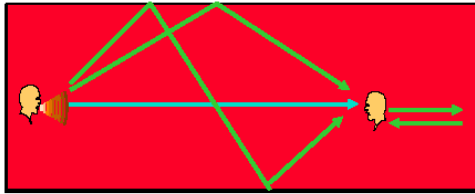
Profesor Jornada Completa
Escuela de Ingeniería Eléctrica
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
sebastian.fingerhuth@ucv.cl
Tel: +56-32-277 3686



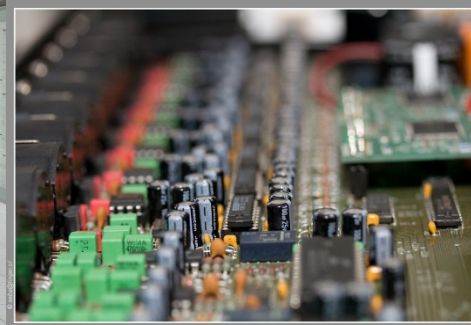
Materiales

- Caja con resortes y masas
- Diapasón
- Muestrario material acústico
- Mic + SPK + Soundcard
- Sonómetro
- Parlante

Acústica arquitectónica: Diseño, simulación y mediciones acústicas



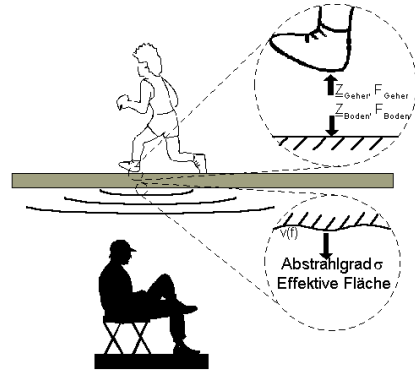
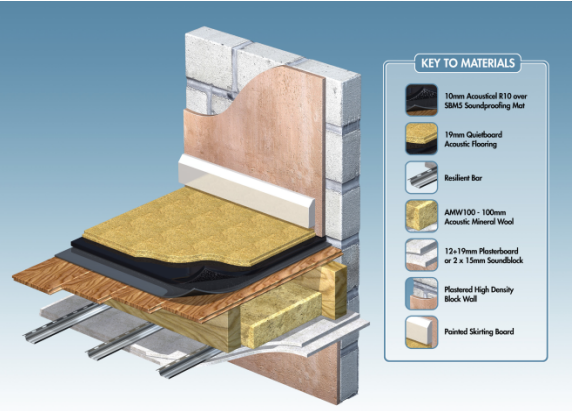
Electroacústica y megafonía (PA system)



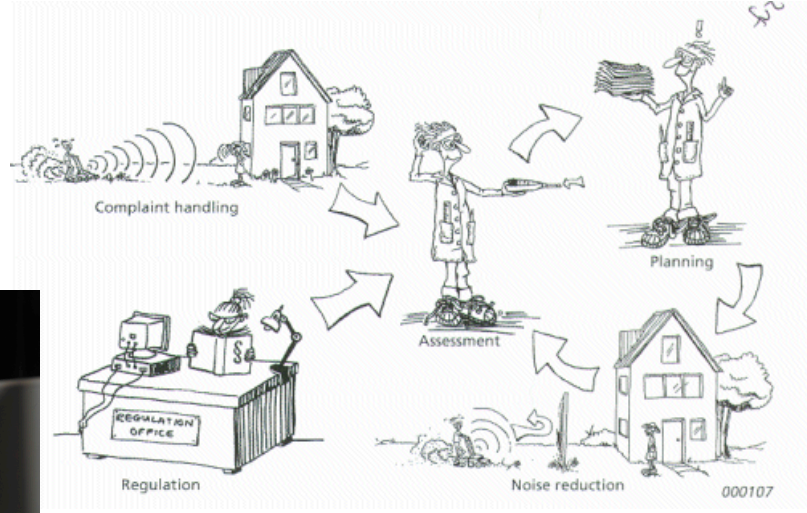
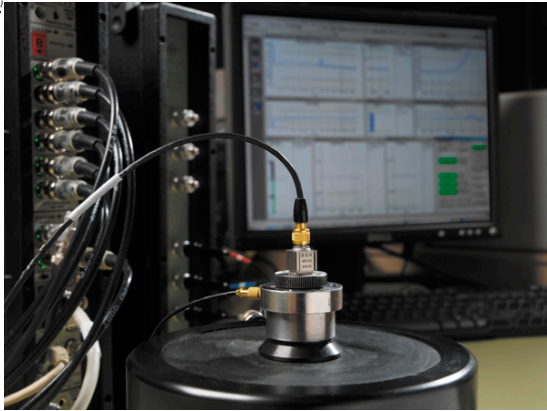
Acústica en la construcción y vibroacústica



news.thomasnet.com



www.bksv.com



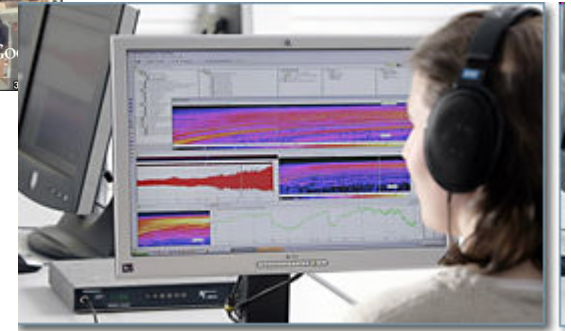
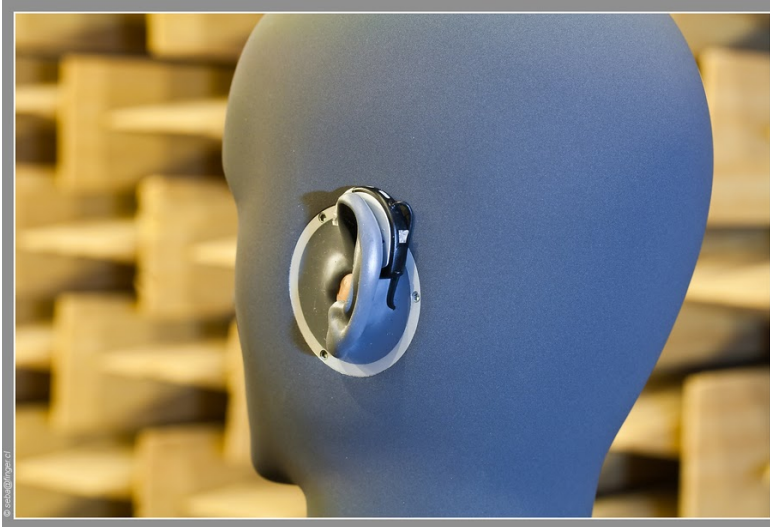
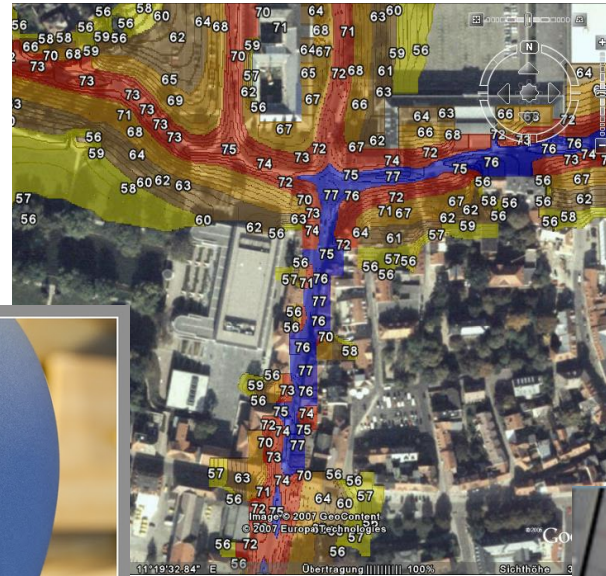
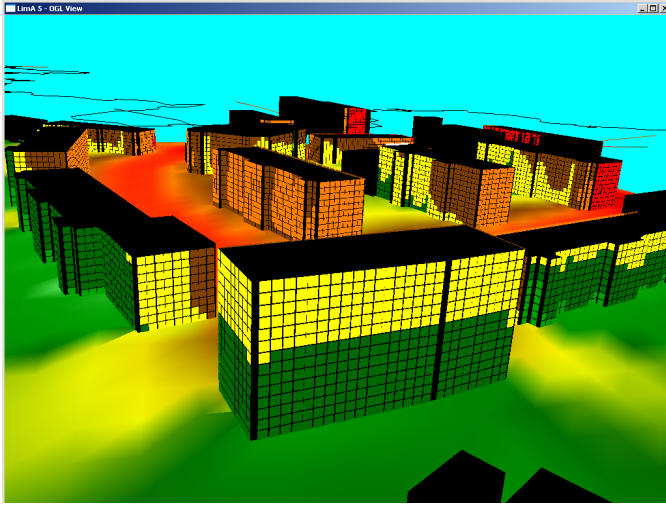
www.nonoise.org



Taller ead PUCV (Sebastián Fingerhuth)



Ruido y psicoacústica



Contenido de esta clase

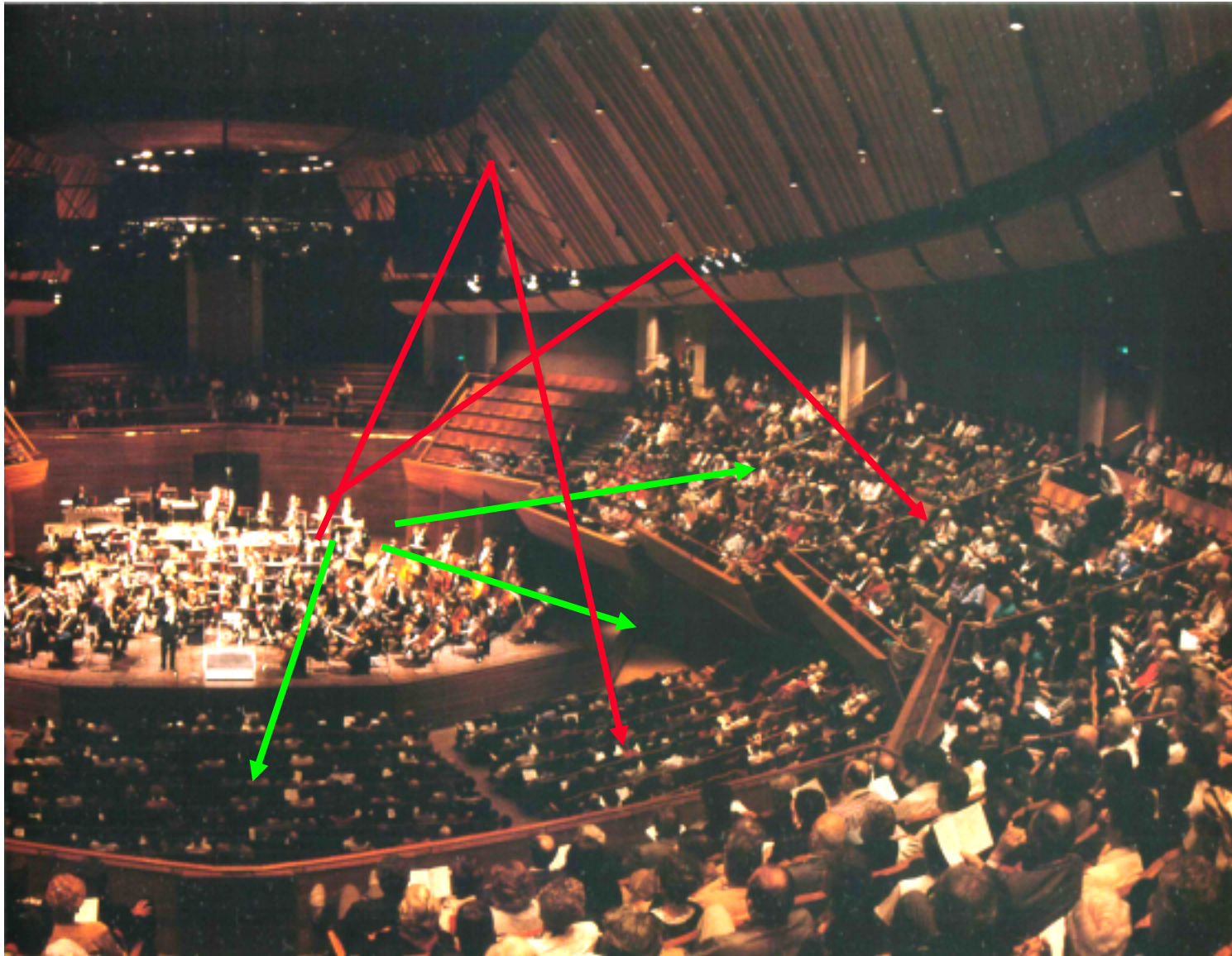
- Física de las ondas
 - Representación (temporal y espectral)
 - Frecuencia y longitud de onda
 - Propagación de ondas (reflexión, dispersión, difracción)
- Sistema auditivo
- Ecograma
- Buena acústica
 - Tiempo de reverberación
 - Y otros más

¿Acústica? Ejemplos:

- Sala de clases Voz
- Teatro Voz
- Sala de ópera Voz, Música
- Sala de concierto Música
- Iglesia Voz, Música

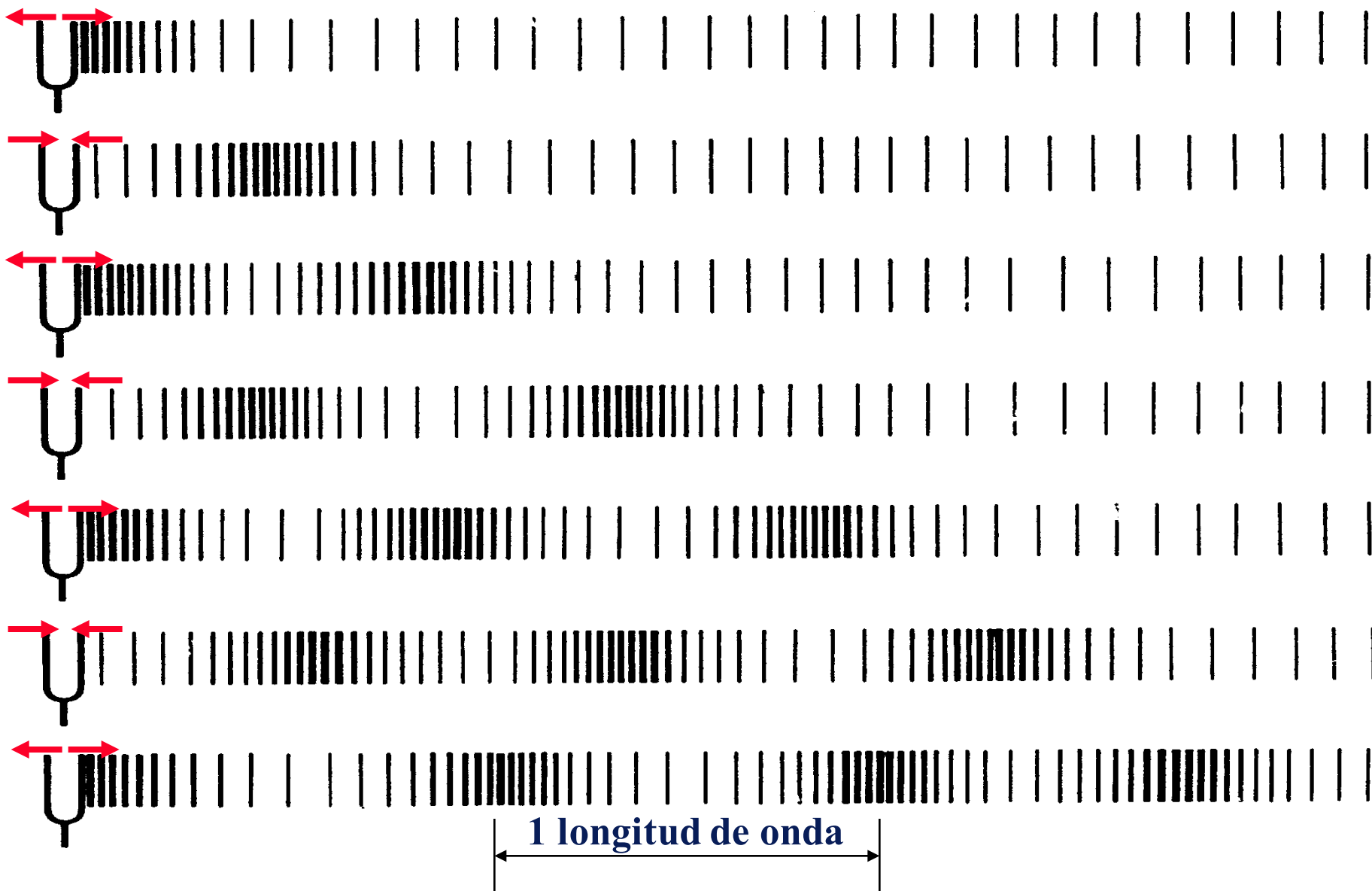
- Piso de oficina Ruido, Voz, señales de alarmas
- Estación de tren Ruido, Voz

Acústica arquitectónica

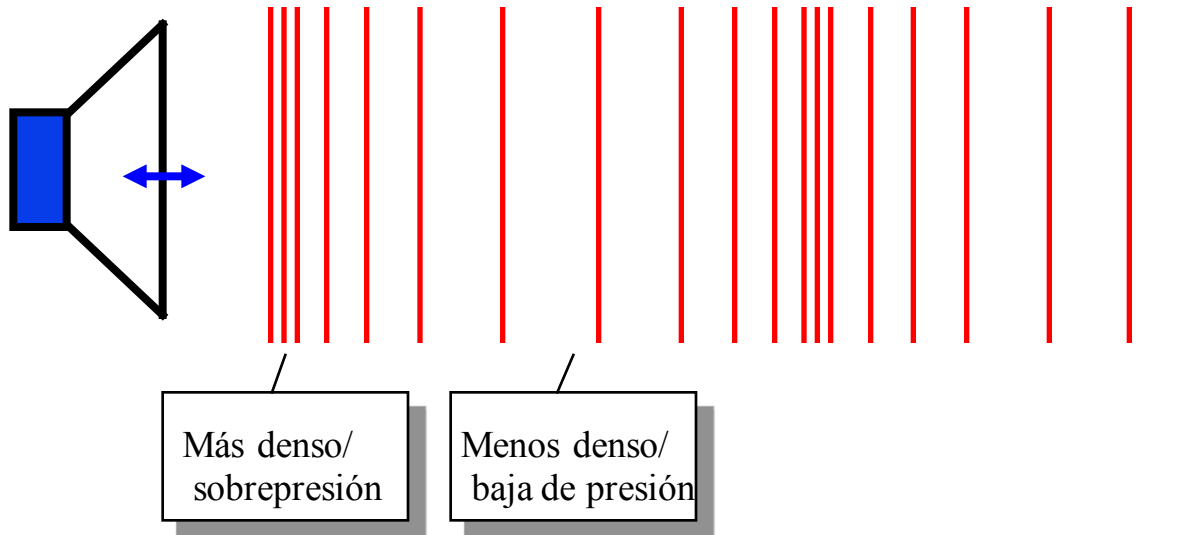


Conceptos básicos

Propagación de ondas

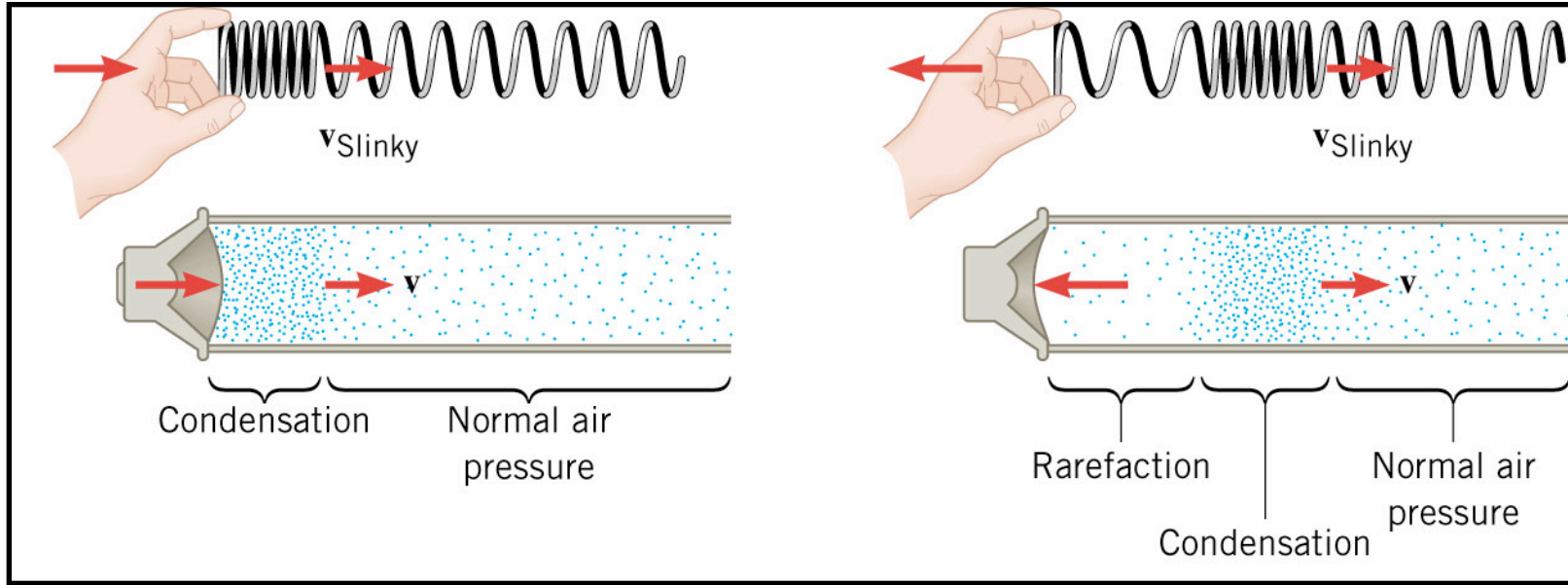


¿Qué es el sonido?

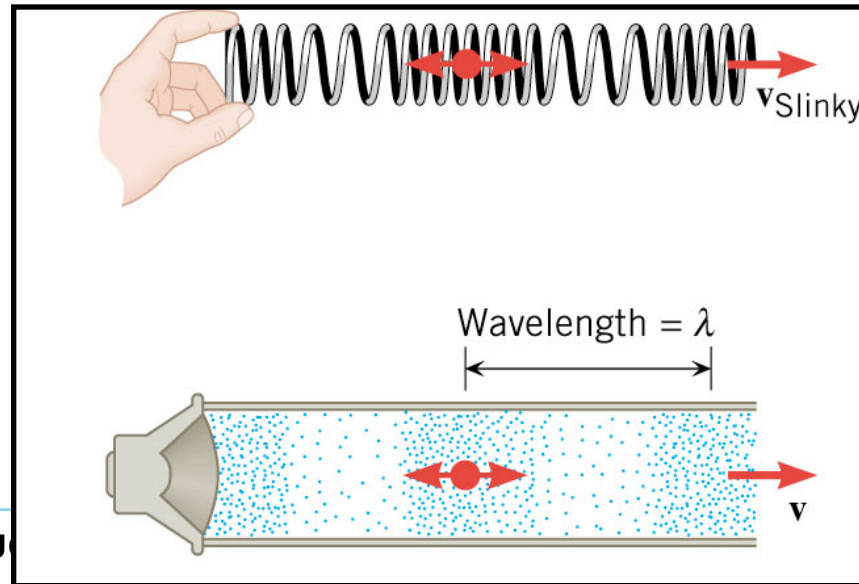


Vibraciones mecánicas (de presión y densidad)
en un medio elástico (aire, fluido, sólido)

¿Qué es el sonido?



(Quelle: WDR, Quarks & Co)



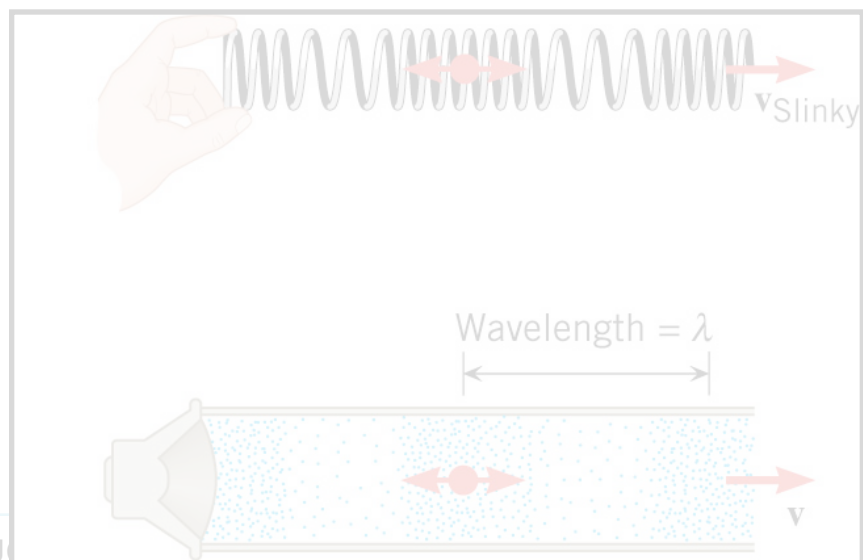
Cutnell & Johnson
Wiley Publishing
Physics 5th Ed.

¿Qué es el sonido?

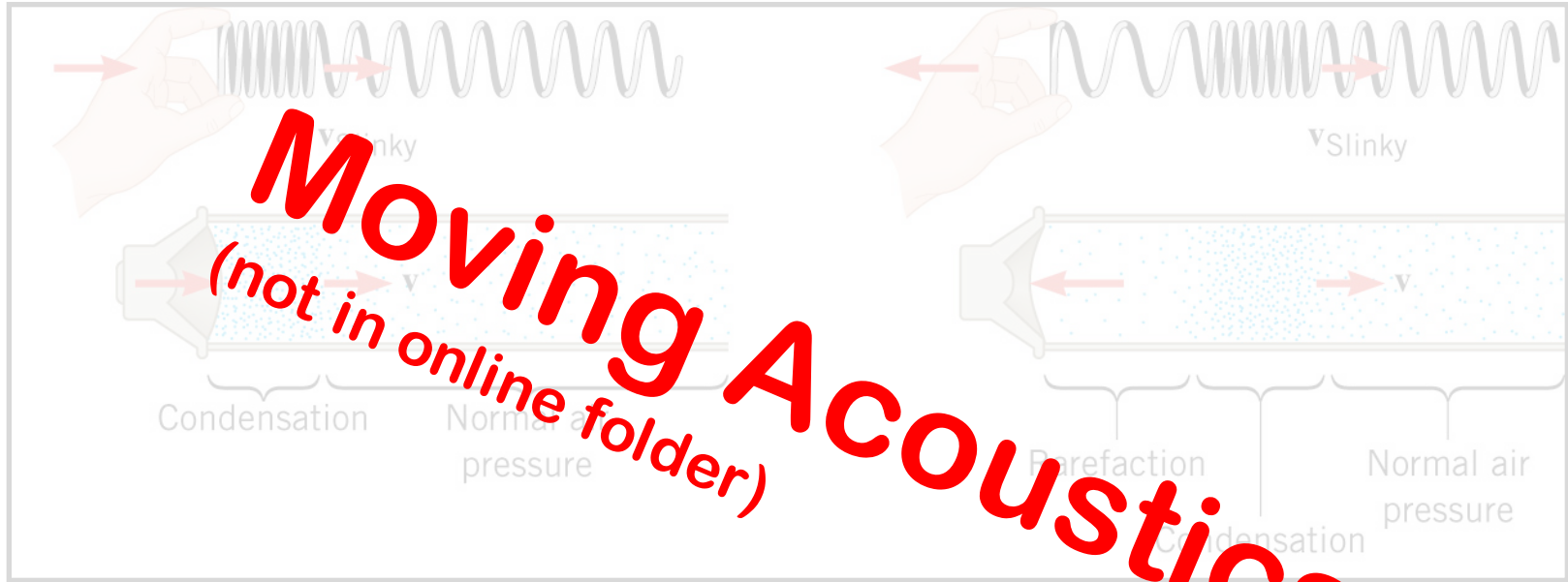


(Quelle: WDR, Quarks & Co)

Demo con resorte

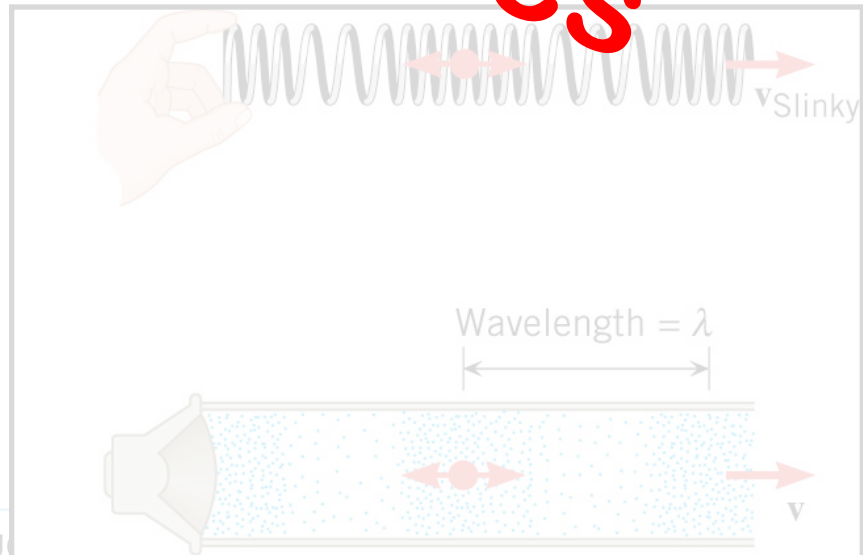


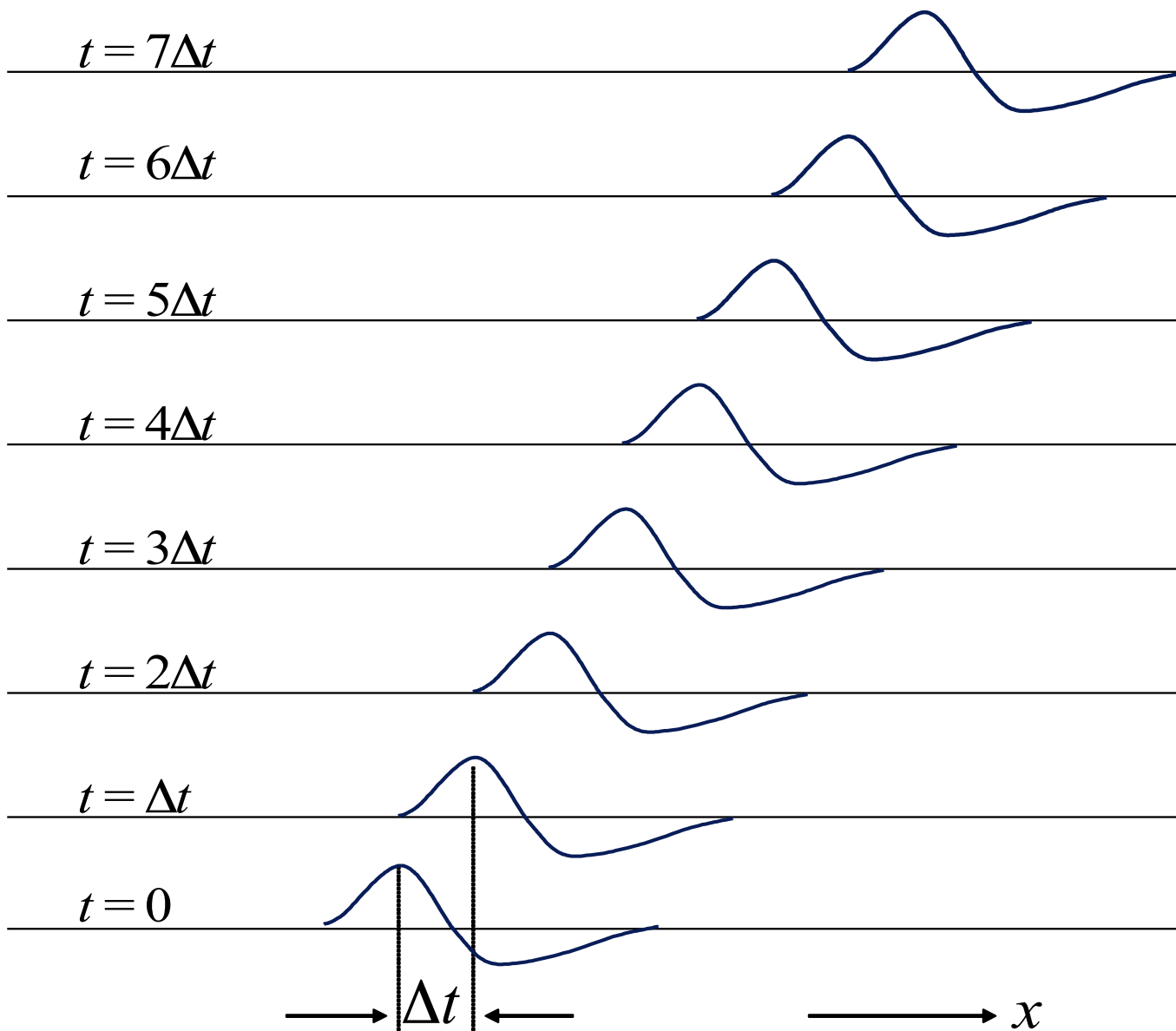
¿Qué es el sonido?



Visualization
Page 2 of 4
Plane wave

(Quelle: WDR, Quarks & Co)

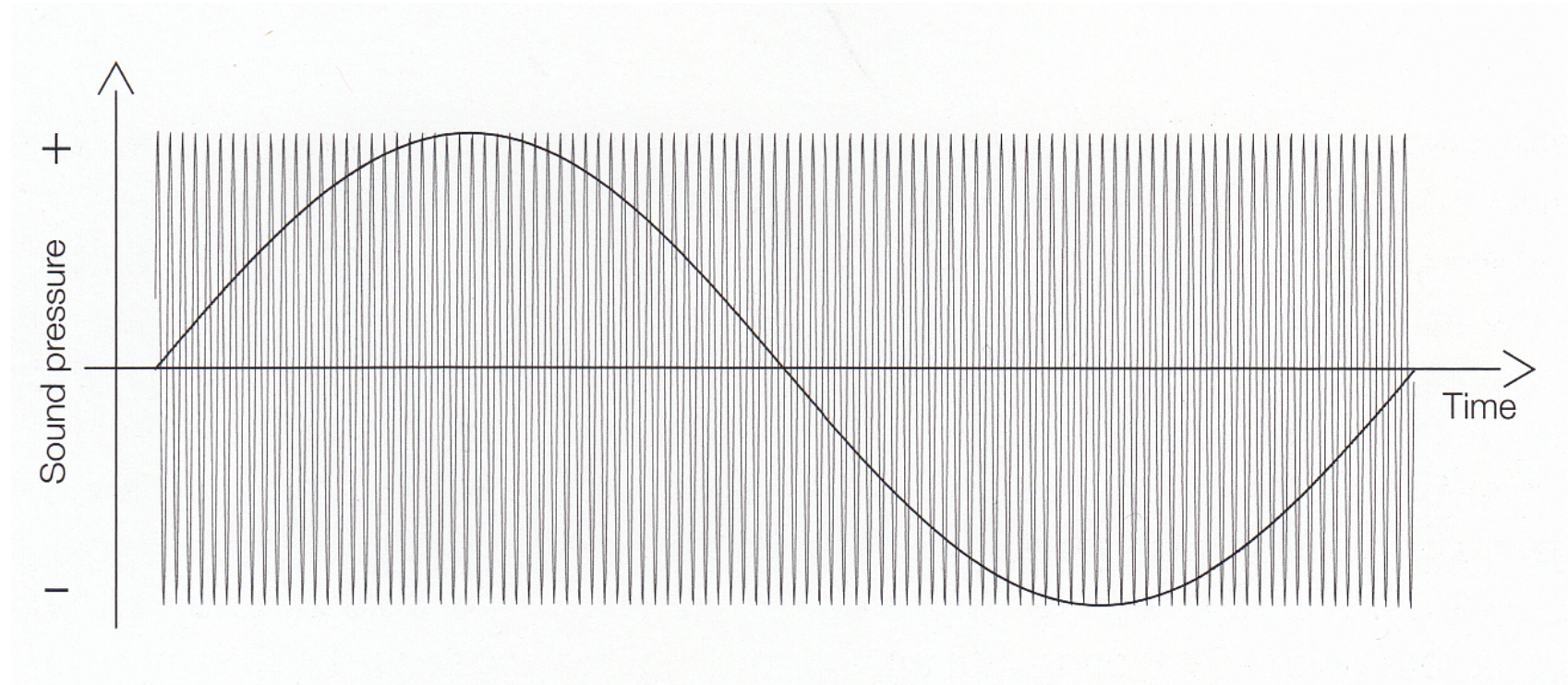




Taller ead PUCV (Sebastián Fingerhuth)

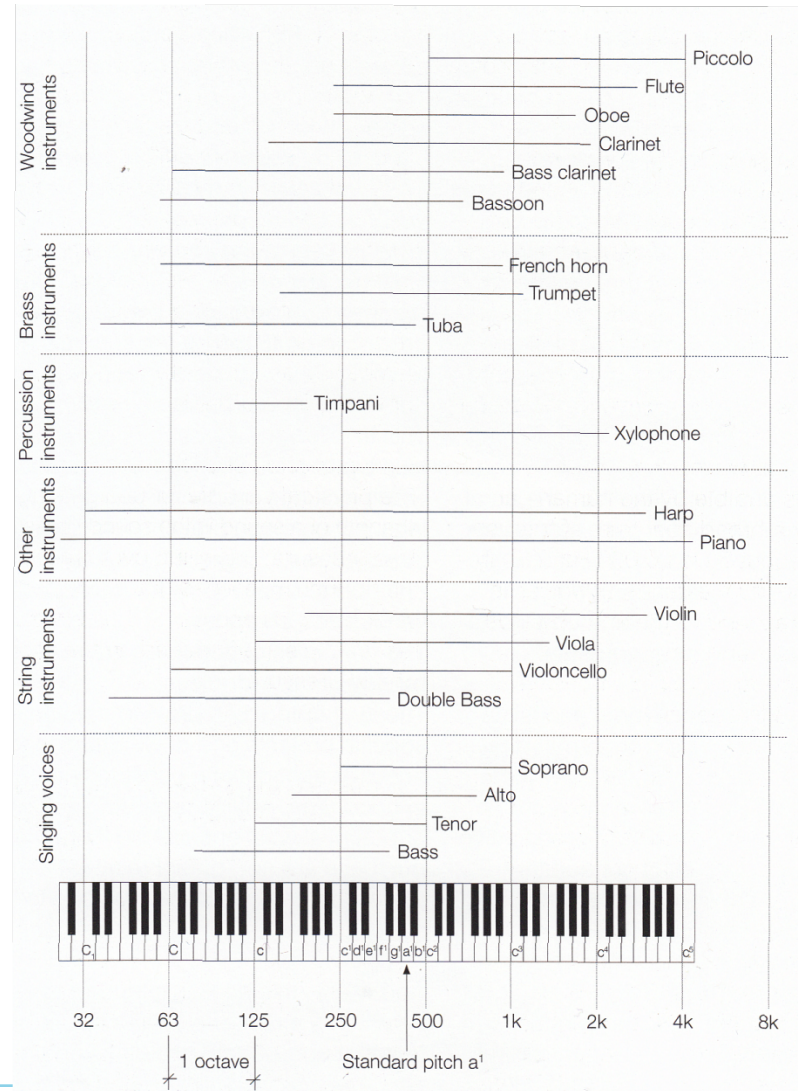


Onda sinusoidal (onda armónica)



2 ondas
¿Diferencias?

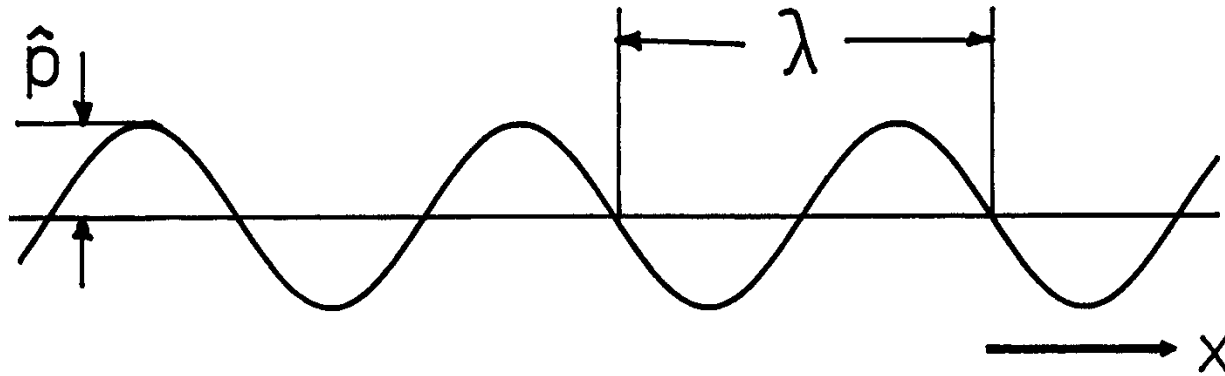
Onda sinusoidal (onda armónica)



Taller ead PUCV (Sebastián Fingerhuth)



Onda sinusoidal (onda armónica)



$$p(x, t) = \hat{p} \cdot \cos(\omega t - kx)$$

\hat{p} Amplitud de la onda

λ Longitud de onda, T periodo de oscilación

$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c}$ Número de onda

$\omega = \frac{2\pi}{T} = kc$ Frecuencia angular

$c = \lambda \cdot f$ Velocidad de propagación de onda

Woodwind instruments

Brass instruments

Percussion instruments

Other instruments

String instruments

Singing voices

Piccolo

Flute

Oboe

Clarinet

Bass clarinet

Bassoon

French horn

Trumpet

Tuba

Timpani

Xylophone

Harp

Piano

Violin

Viola

Violoncello

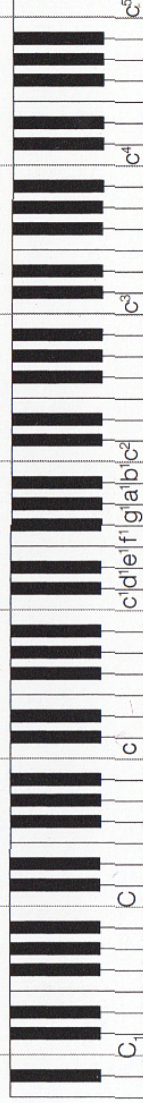
Double Bass

Soprano

Alto

Tenor

Bass



32

63

125

250

500

1k

2k

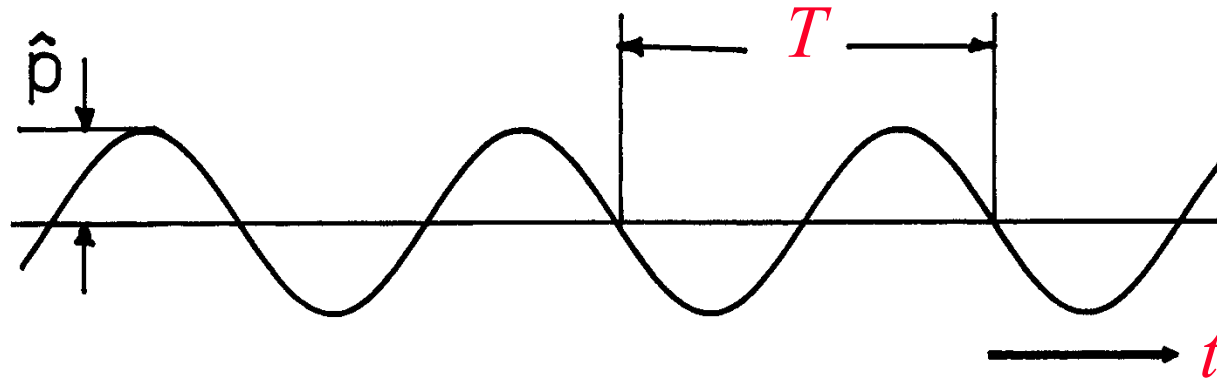
4k

8k

1 octave ↗

Standard pitch a¹

Onda sinusoidal (onda armónica)



Amplitud de la onda

Longitud de onda, T periodo de oscilación

Número de onda

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = kc \quad \text{Frecuencia angular}$$

Velocidad de propagación de onda

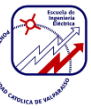
¿Preguntas?



Taller ead PUCV (Sebastián Fingerhuth)



PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO



¿Preguntas?

¿Qué unidades tienen:

?

Ejemplo

Frecuencia

Longitud de onda

20 Hz

17,20 m

344 Hz

1,00 m

20 kHz

1,72 cm

Señales típicas (representación en espectro/frecuencia)

FFT Explorer

Decibel

Nivel de presión sonora (NPS) Sound pressure level (SPL)

T2: Sound pressure and sound pressure level for typical acoustic environments

	Sound pressure p [Pa]	Sound pressure level L_{pA} [dB]	
■	20.0	120	Propeller aircraft take-off, threshold of pain
■	2.0	100	Pneumatic drill, discotheque
■	0.2	80	Shouting, busy road
■	0.02	60	Normal speech, loud dishwasher
■	0.002	40	Whispering, mechanical ventilation in offices
■	0.0002	20	Bedroom in quiet area, recording studio
□	0.00002	0	Threshold of hearing

Decibel

Nivel de presión sonora (NPS) Sound pressure level (SPL)

T2: Sound pressure and sound pressure level for typical acoustic environments

	Sound pressure p [Pa]	Sound pressure level L_{pA} [dB]	
■	20.0	120	Propeller aircraft take-off, threshold of pain
■	2.0	100	Pneumatic drill, discotheque
■	0.2	80	Shouting, busy road
■	0.02	60	Normal speech, loud dishwasher
■	0.002	40	Whispering, mechanical ventilation in offices
■	0.0002	20	Bedroom in quiet area, recording studio
□	0.00002	0	Threshold of hearing

¿Factor/relación?

Decibel

Nivel de presión sonora (NPS)

Sound pressure level (SPL)

T2: Sound pressure and sound pressure level for typical acoustic environments

	Sound pressure p [Pa]	Sound pressure level L_{pA} [dB]	
■	20.0	120	Propeller aircraft take-off, threshold of pain
■	2.0	100	Pneumatic drill, discotheque
■	0.2	80	Shouting, busy road
■	0.02	60	Normal speech, loud dishwasher
■	0.002	40	Whispering, mechanical ventilation in offices
■	0.0002	20	Bedroom in quiet area, recording studio
□	0.00002	0	Threshold of hearing

¿Factor/relación?

¿Presión atmosférica?

Decibel

Nivel de presión sonora (NPS) Sound pressure level (SPL)

T2: Sound pressure and sound pressure level for typical acoustic environments

	Sound pressure p [Pa]	Sound pressure level L_{pA} [dB]	
■	20.0	120	Propeller aircraft take-off, threshold of pain
■	2.0	100	Pneumatic drill, discotheque
■	0.2	80	Shouting, busy road
■	0.02	60	Normal speech, loud dishwasher
■	0.002	40	Whispering, mechanical ventilation in offices
■	0.0002	20	Bedroom in quiet area, recording studio
□	0.00002	0	Threshold of hearing

¿Presión atmosférica?



100.000 Pa

Decibel

Nivel de presión sonora (NPS)



Sound pressure level (SPL)

$$L = 20 \log \left(\frac{\tilde{p}}{p_0} \right) \text{ dB}$$


$$0^2$$


$$\tilde{p} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt}$$

$$p_0 = 20 \mu\text{Pa}$$

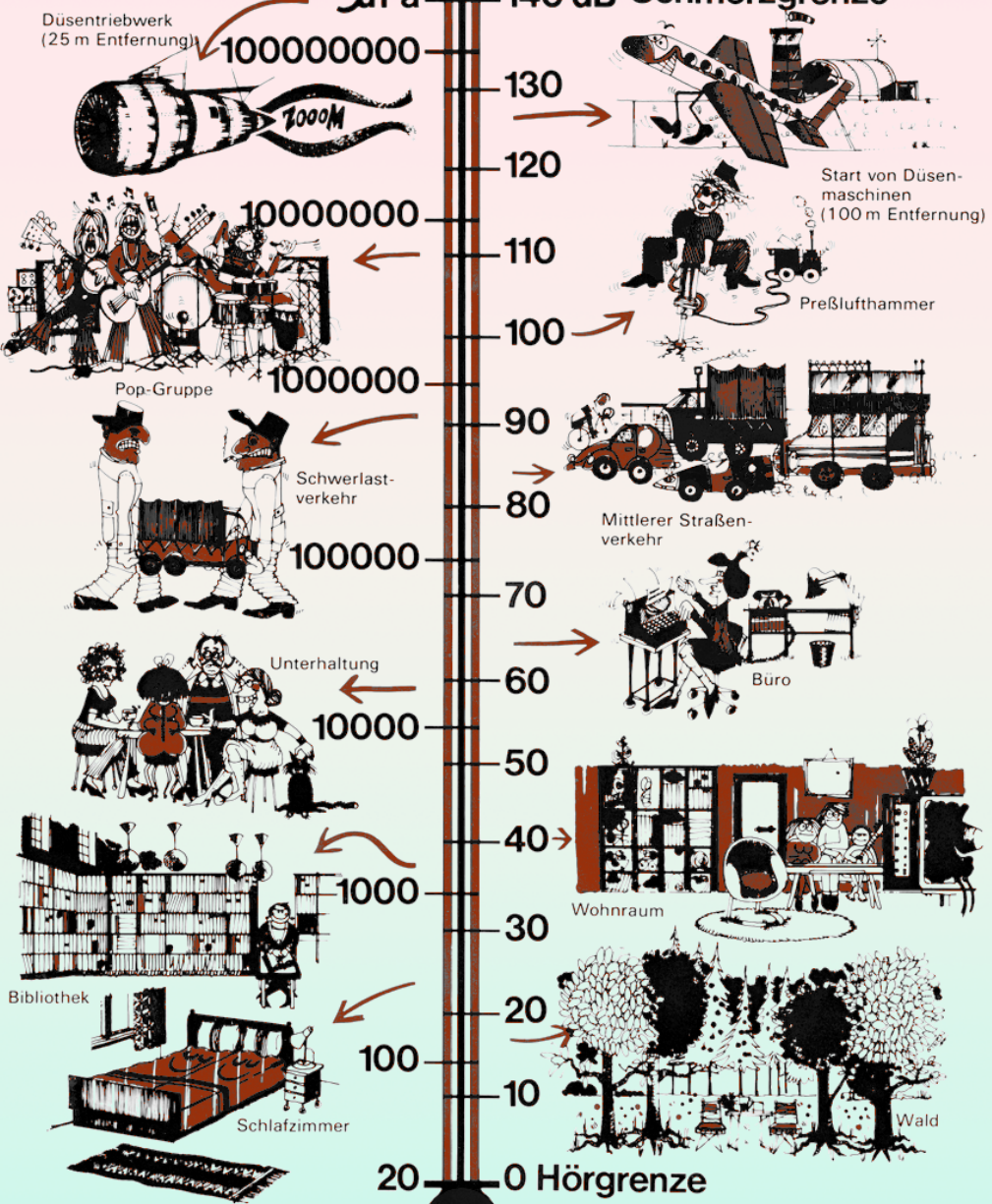

$$\int_0^T dt$$



$$\sqrt{\quad}$$


Schalldruck Schalldruckpegel

μPa

140 dB Schmerzgrenze



Brüel & Kjær



STAMMHAUS · DK-2850 Nærum · Danmark · Telefon +45 42 80 05 00 · Telex 37316 bruk dk · Fax +45 42 80 14 05

stían Fingerhuth)



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO



Düsentriebwerk
(25 m Entfernung)



1000000000

μPa

140 dB Schmerzgrenze

130



Start von Düsen-
maschinen
(100 m Entfernung)

120

100000000

110



Pop-Gruppe

Preßlufthammer

100

10000000

90



Mittlerer Straßen-
verkehr

80

Schwerlast-
verkehr

100000

70



Büro

60

Unterhaltung

10000



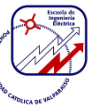
¿Preguntas?



Taller ead PUCV (Sebastián Fingerhuth)



PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO

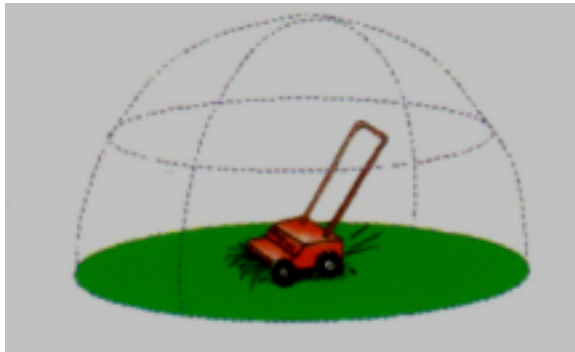


¿Preguntas?

¿**deci** en la palabra decibel, no viene del número 10=diez?

Intensidad acústica (similar a la luz)

- Nivel de potencia sonora



Violín, fortissimo	0,001 W	$L_w = 90$ dB
Parlante Hi-Fi	0,1 W	$L_w = 110$ dB
Martillo neumático	0,3 W	$L_w = 114,7$ dB
Órgano, fortissimo	10 W	$L_w = 130$ dB

- Cálculo del NPS para radiación esférica

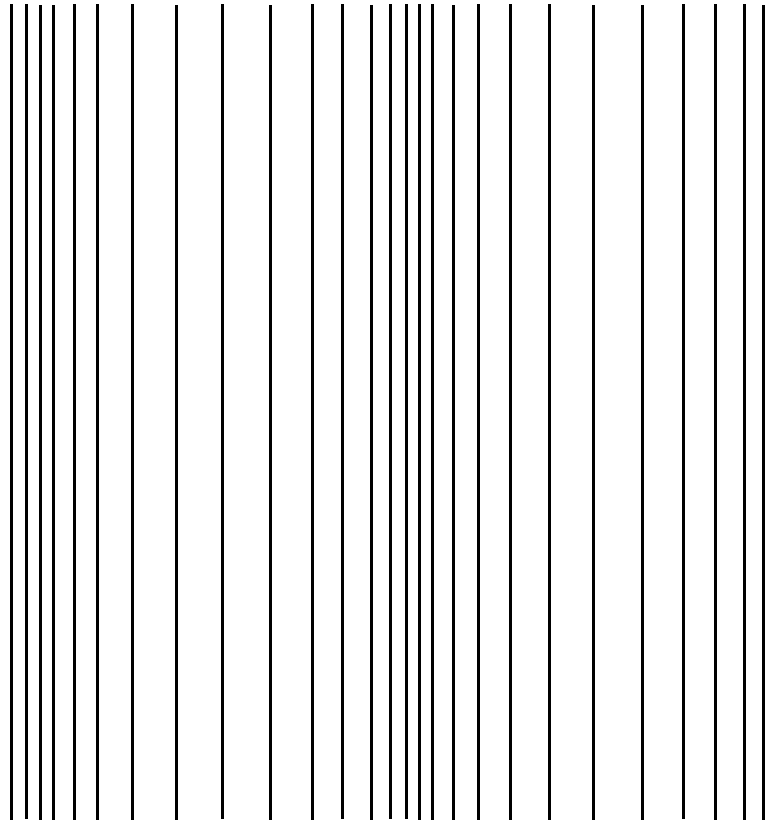
r = distancia en m

$r_0 = 1$ m

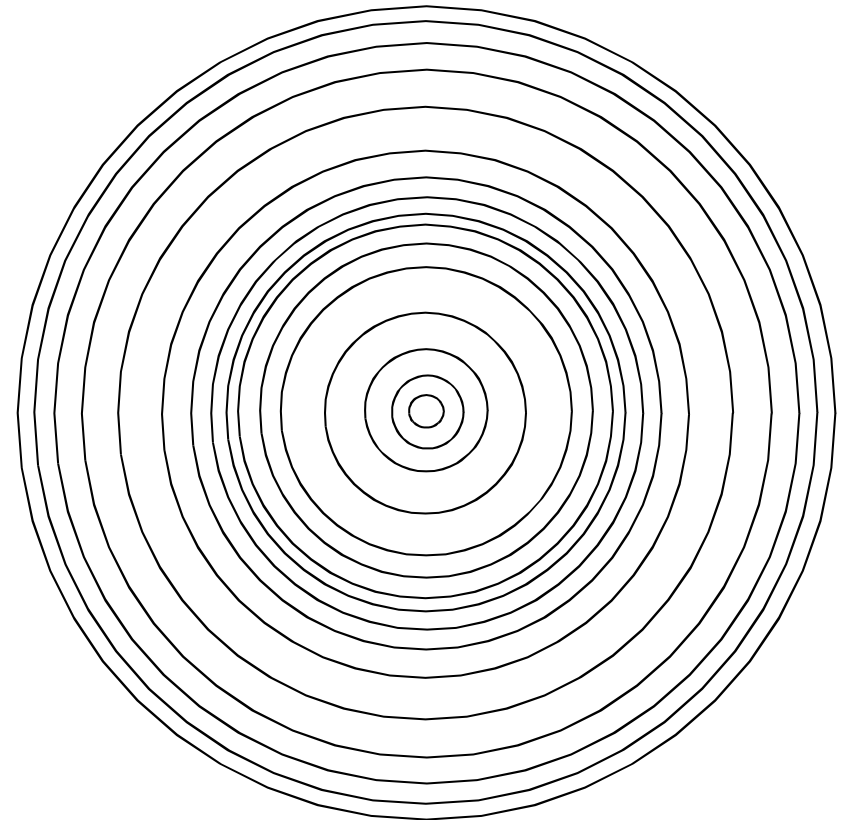
Potencia y potencia sonora de algunas fuentes (referenciales)

Fuente	P en Watt	L_W en dB
Conversación		70
Violín, fortissimo		90
Voz (máximo)		100
Piano		110
Órgano, fortissimo		130
Orquesta grande, fortissimo		140
Avión (jet, máximo)		150-160
Cohete		200?

Onda plana

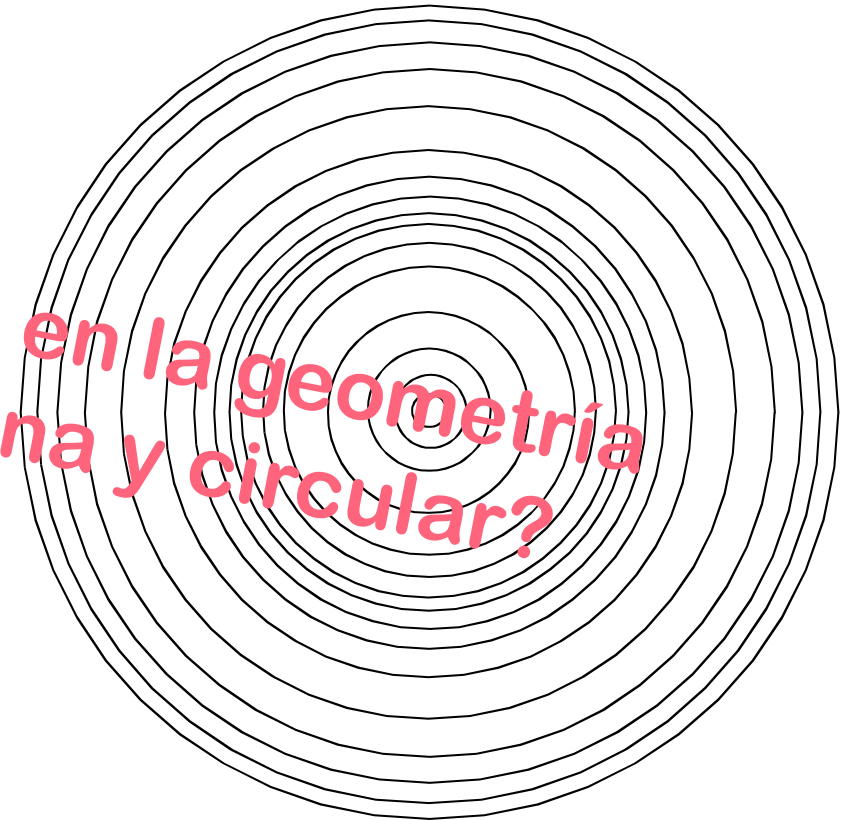
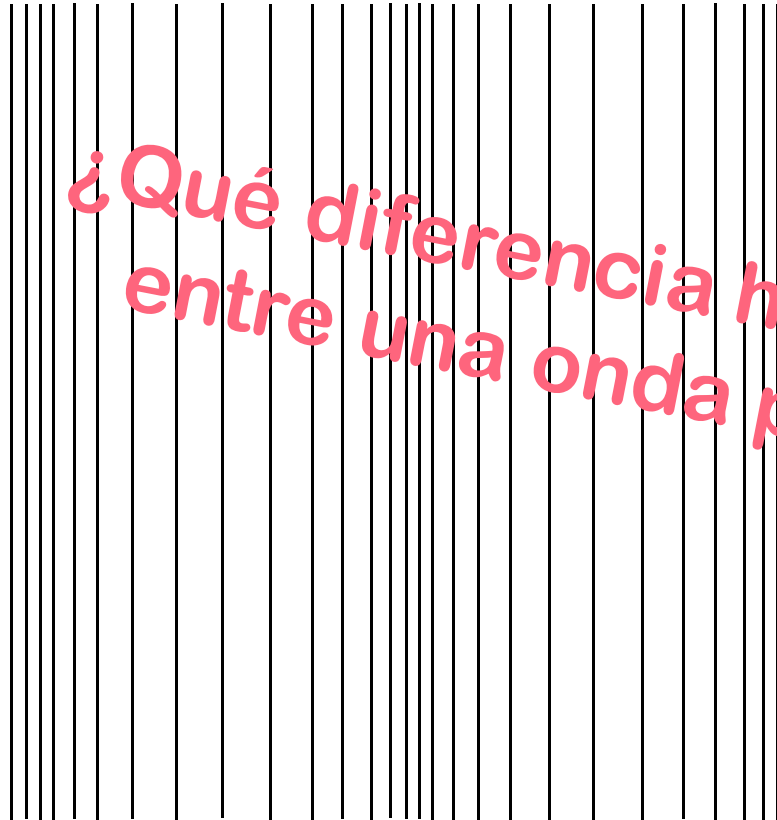


Onda circular



Ondas plana

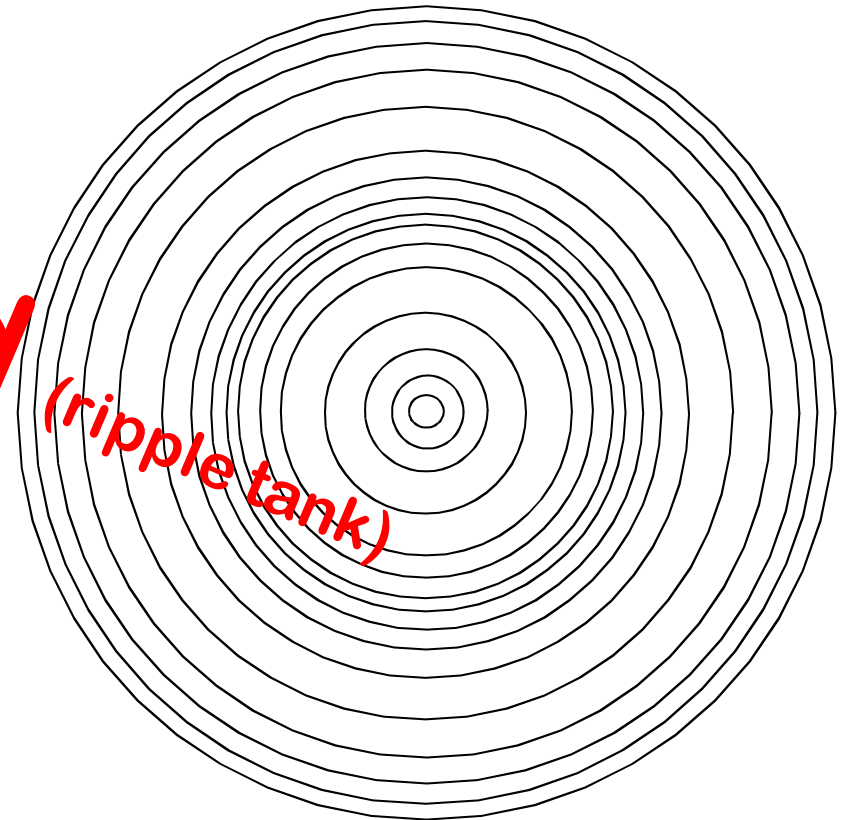
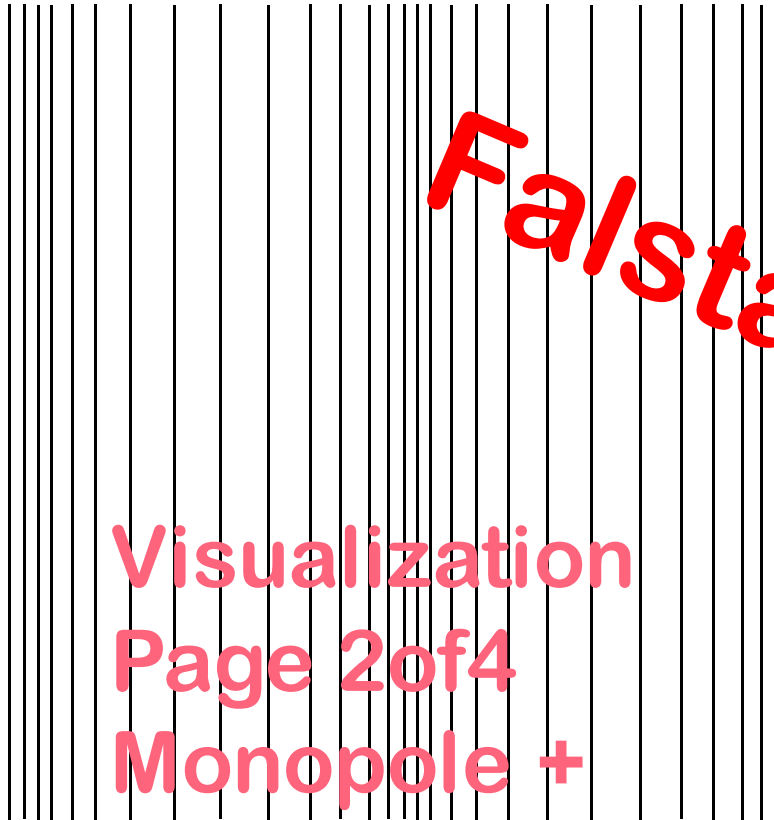
Onda circular



¿Qué diferencia hay en la geometría entre una onda plana y circular?

Ondas plana

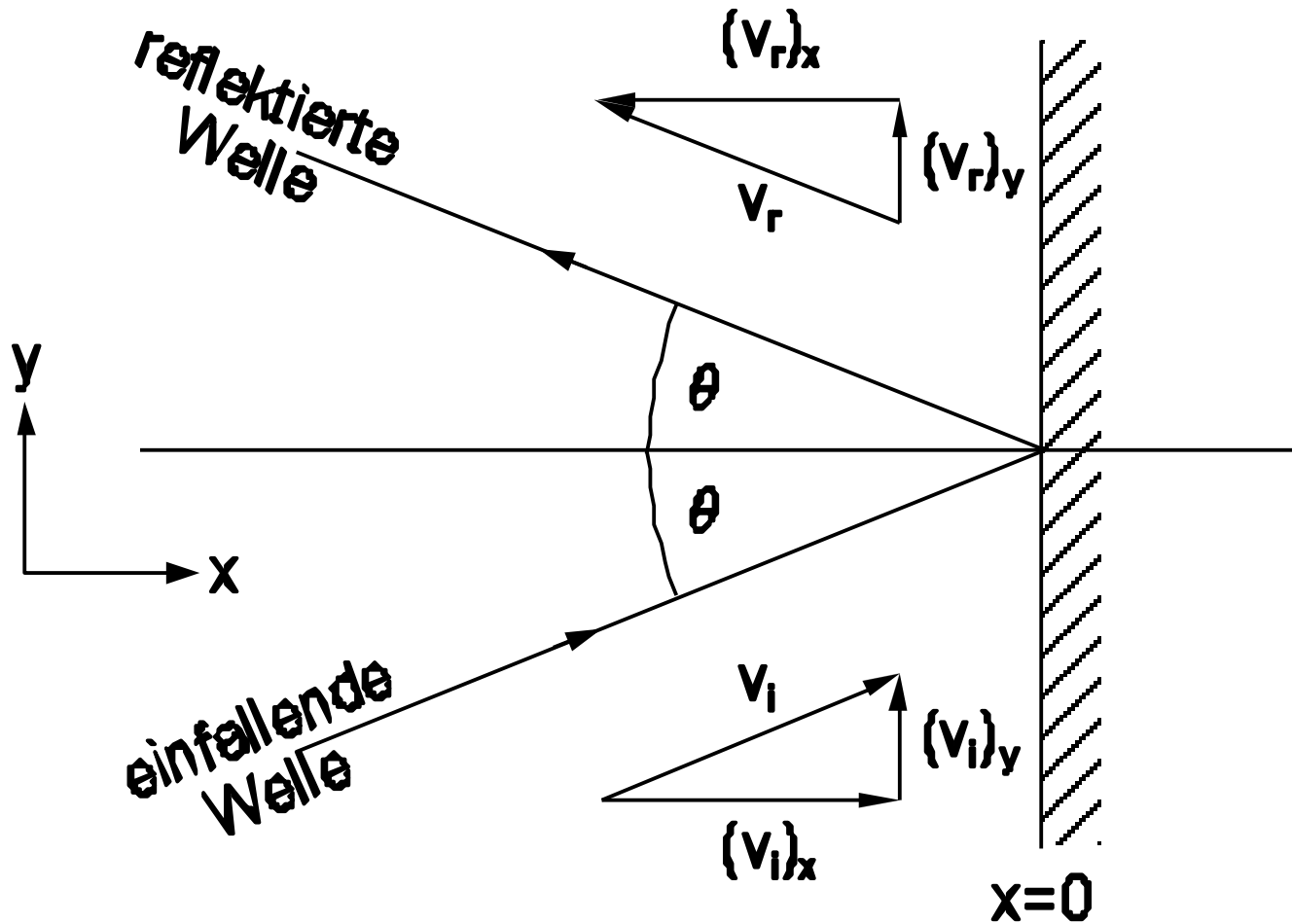
Onda circular



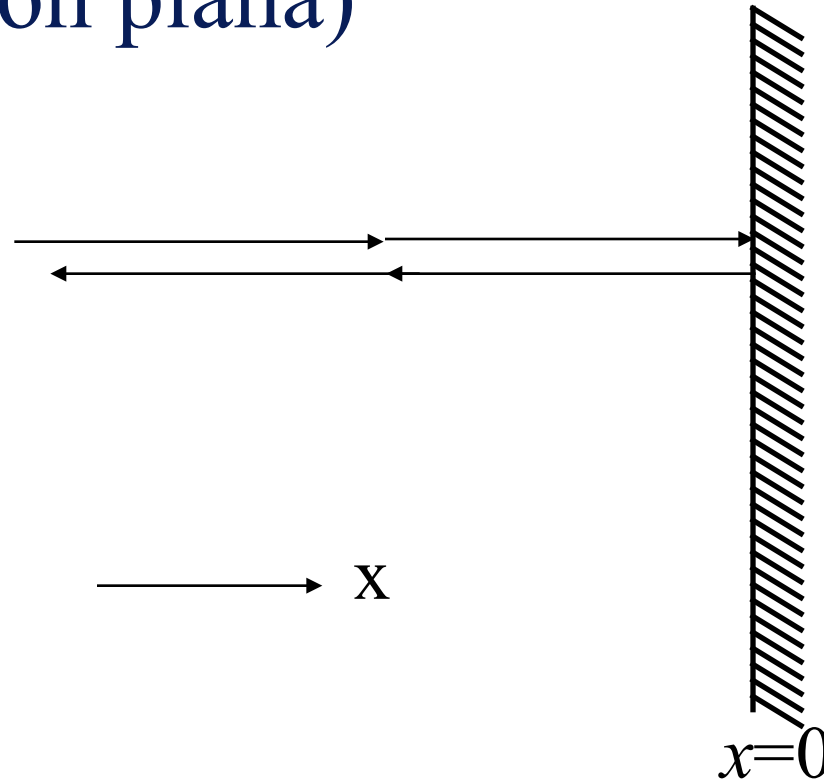
*Falstad
(ripple tank)*

Visualization
Page 2 of 4
Monopole +
Multipole

Leyes de propagación: Reflexión



Reflexión de una onda plana en una pared (reflexión plana)



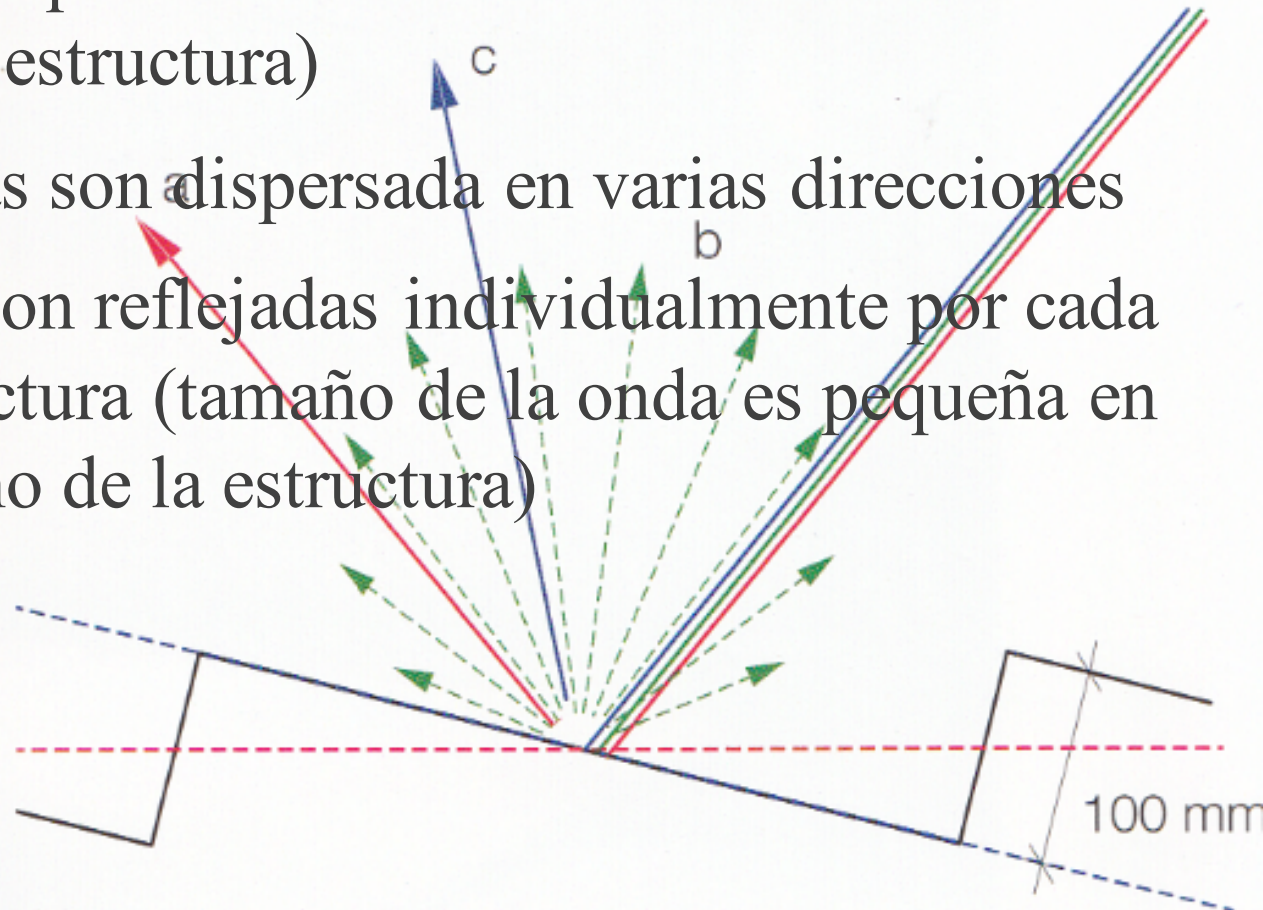
Grado de absorción:

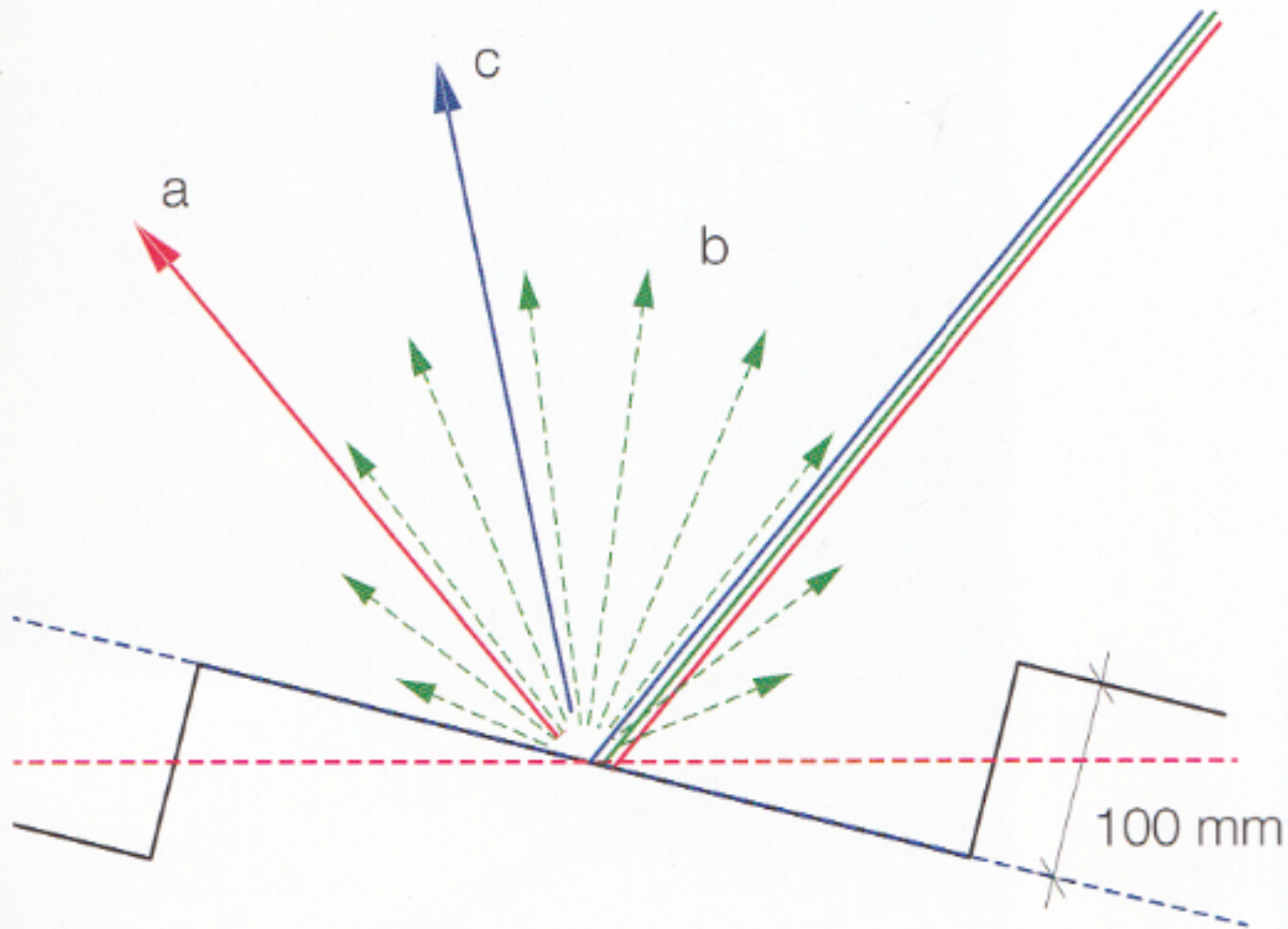
Las ondas acústicas son reflejadas en varias direcciones desde superficies con estructuras

a) Frecuencias bajas ignoran la estructura si la longitud de onda es grande en comparación con el tamaño de la estructura ($\lambda/12 >$ tamaño de la estructura)

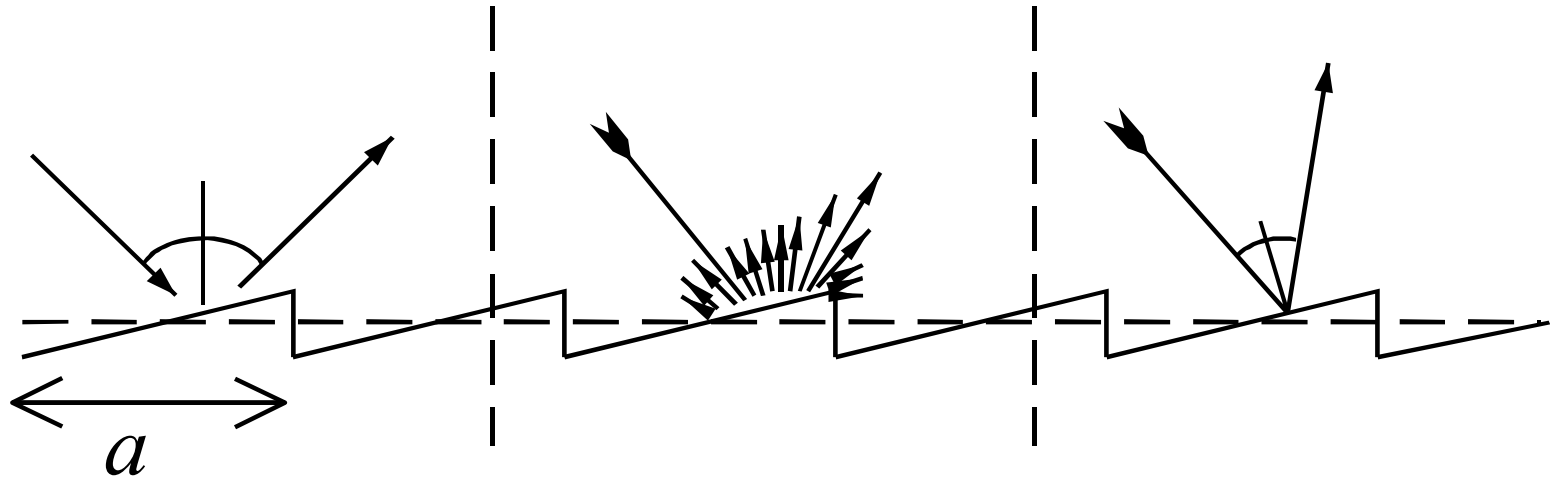
b) Frecuencias medias son dispersada en varias direcciones

c) Frecuencias altas son reflejadas individualmente por cada superficie de la estructura (tamaño de la onda es pequeña en relación con el tamaño de la estructura)





Leyes de propagación: **Dispersión (Rayleigh)**

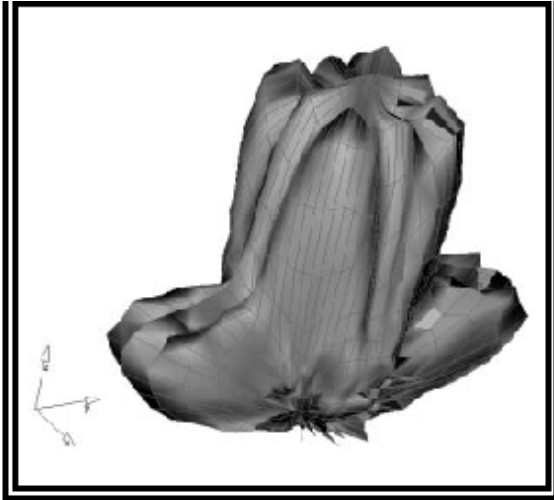


$$f \ll c/2a$$

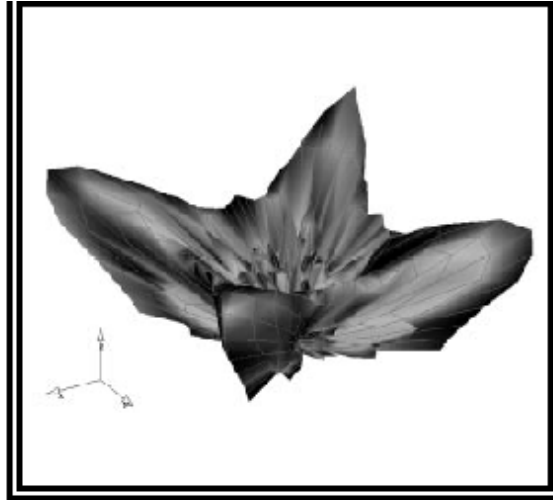
$$f \approx c/2a$$

$$f \gg c/2a$$

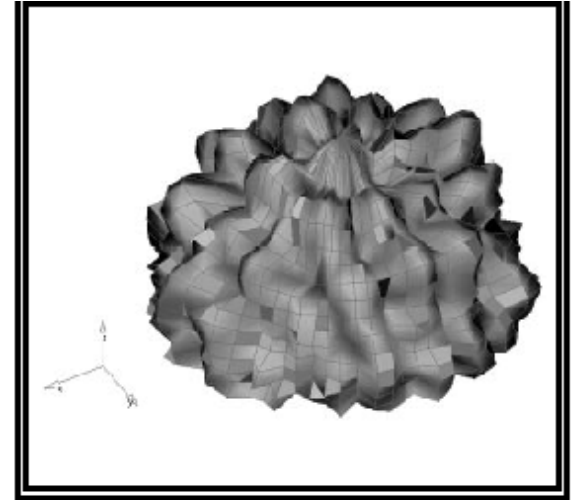
Dispersión



Dispersión 3D en barras paralelas



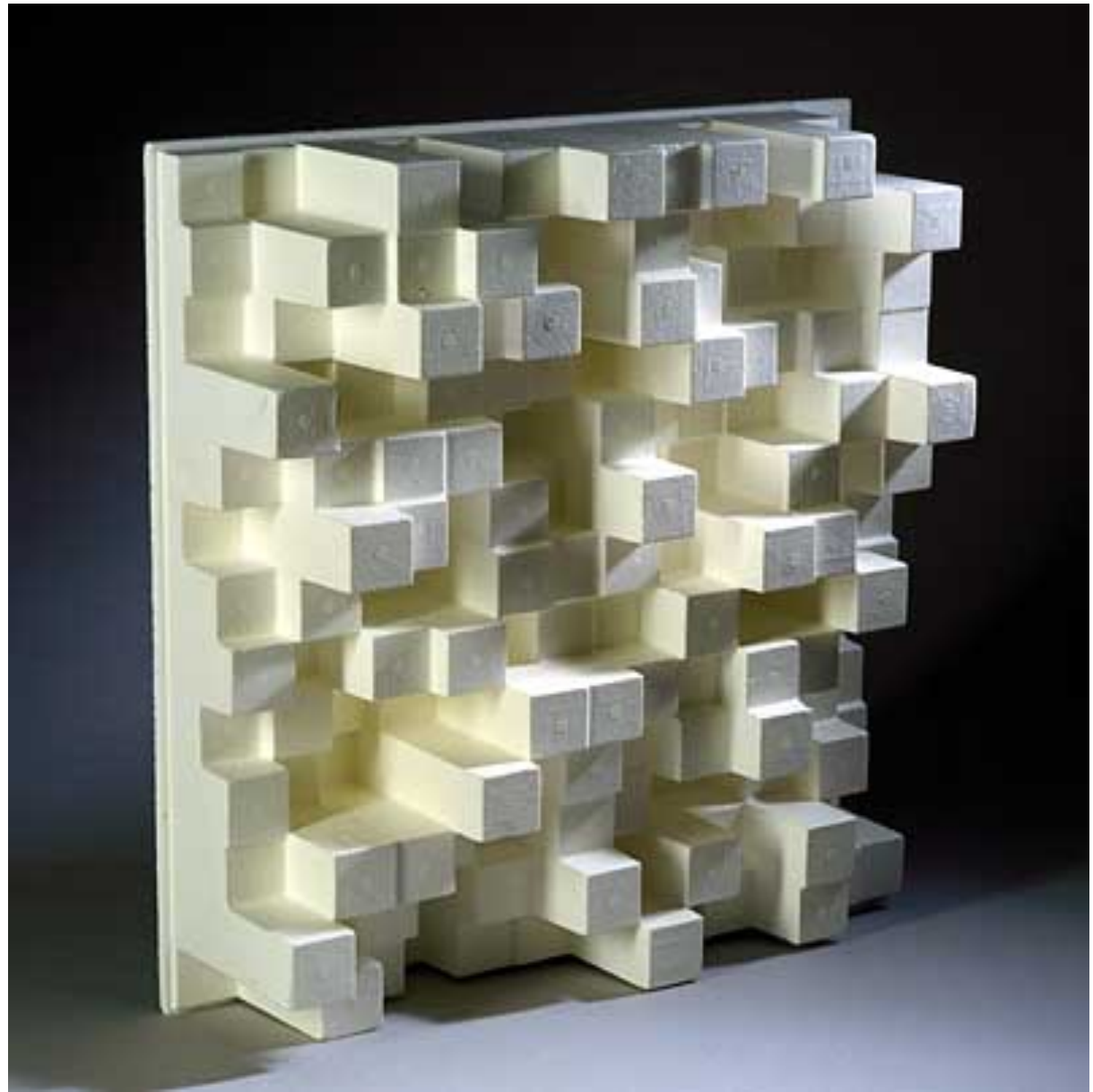
Dispersión en una pirámide



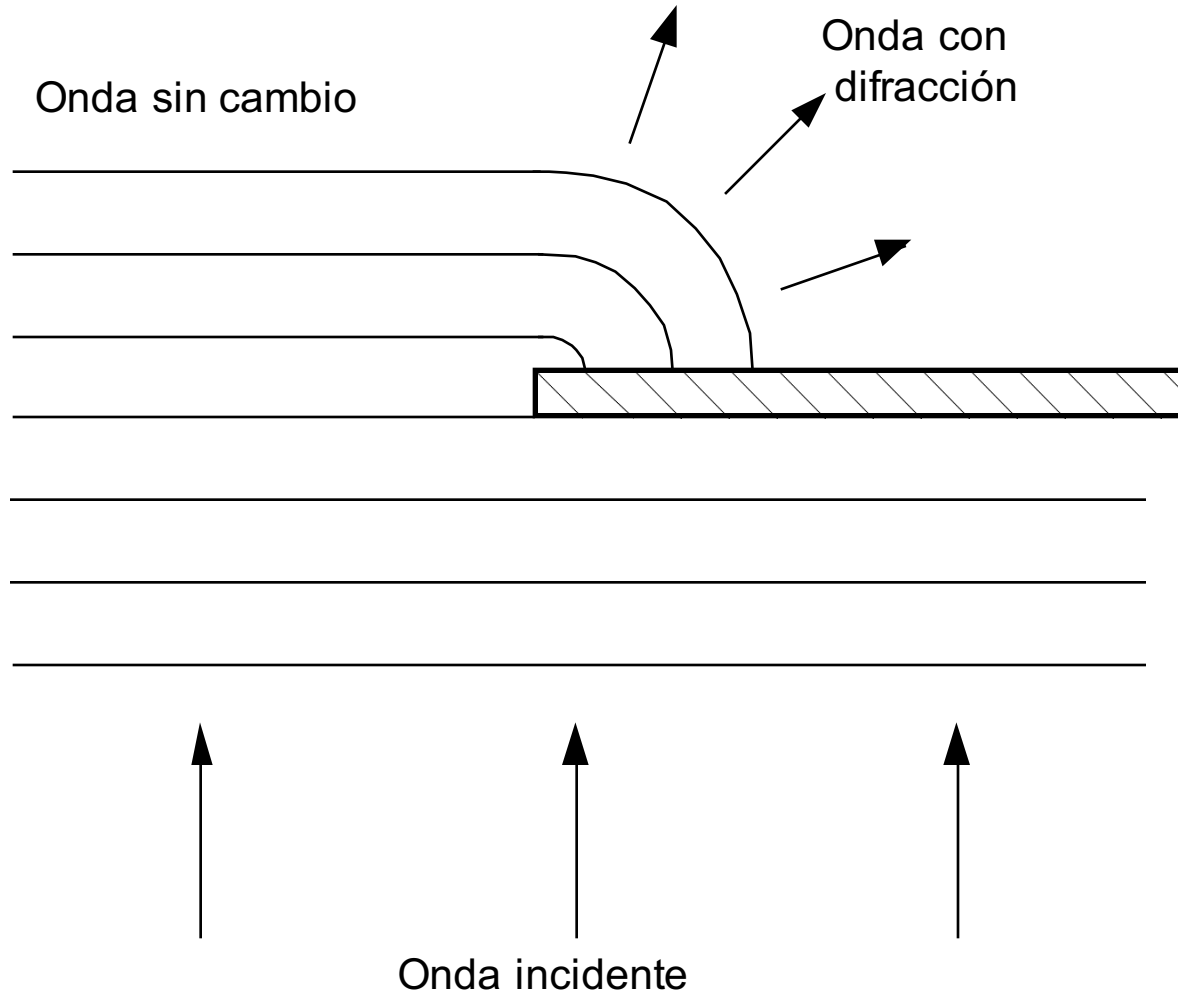
Dispersión en un Difusor Skyline 2D

Dispersión

Skyline diffusor
(RPG inc.)

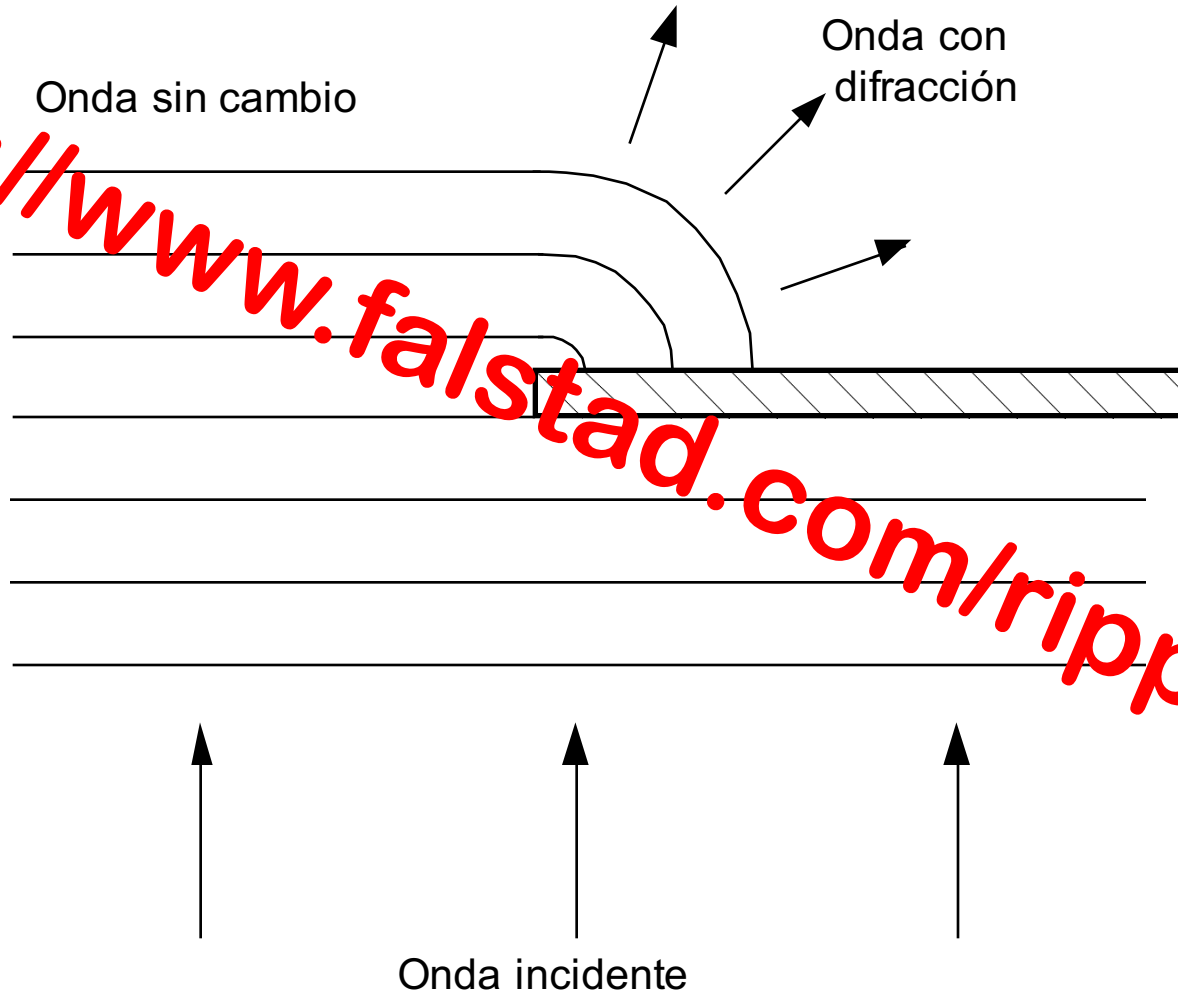


Leyes de propagación: **Difracción**

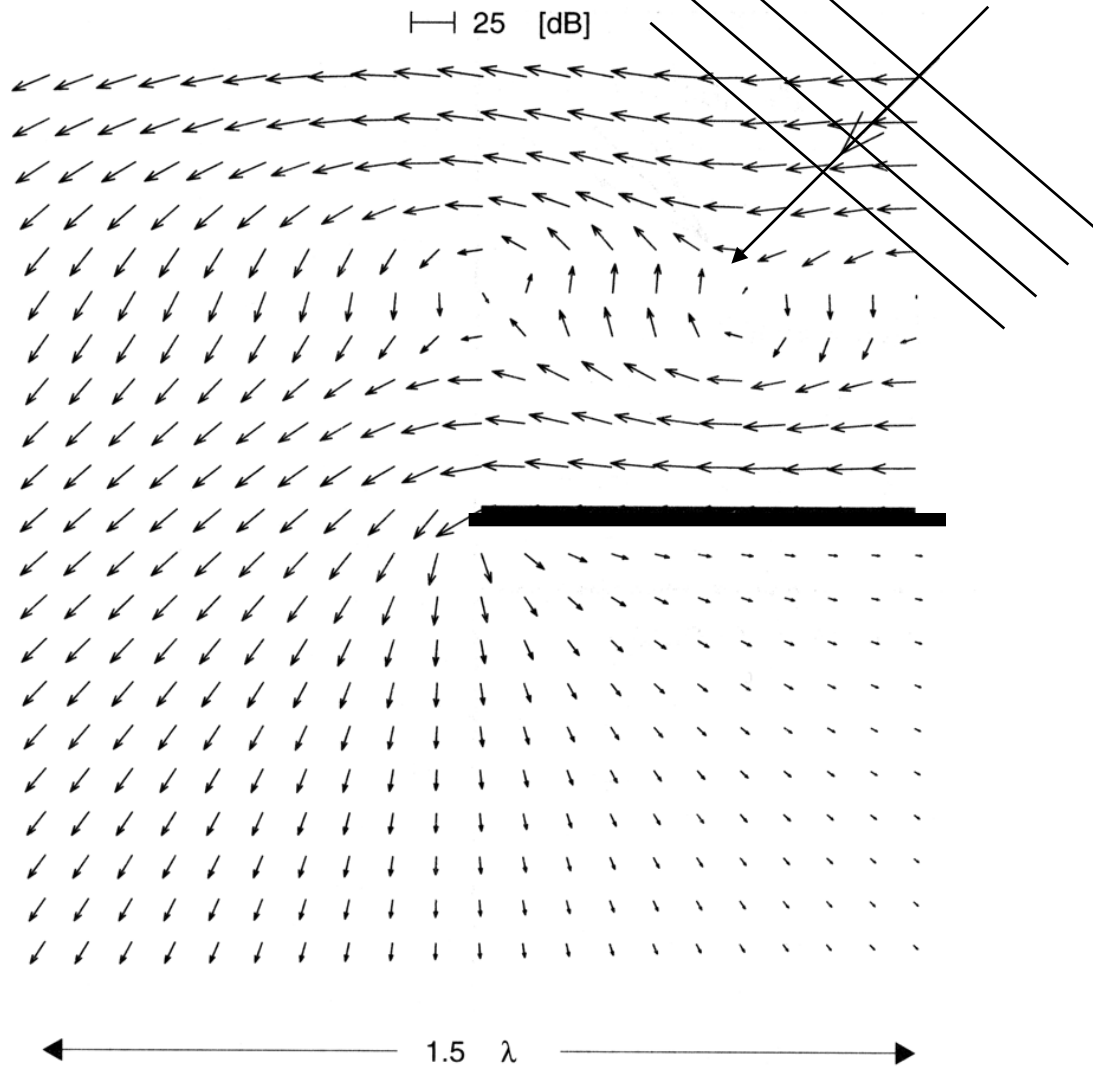


Leyes de propagación: Difracción

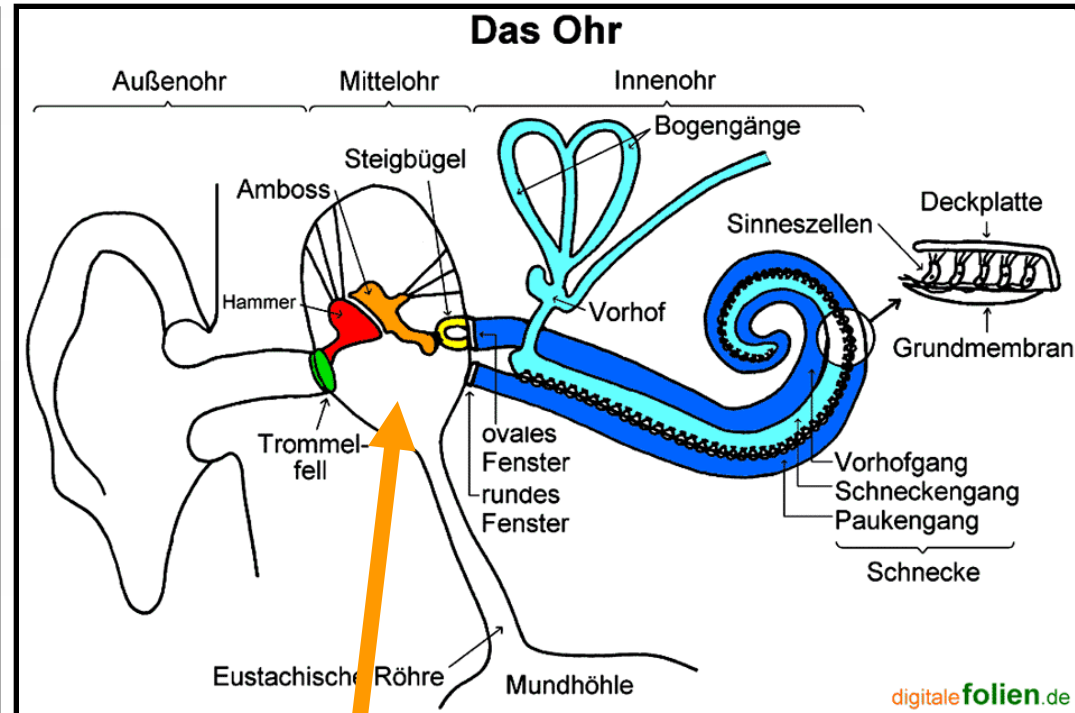
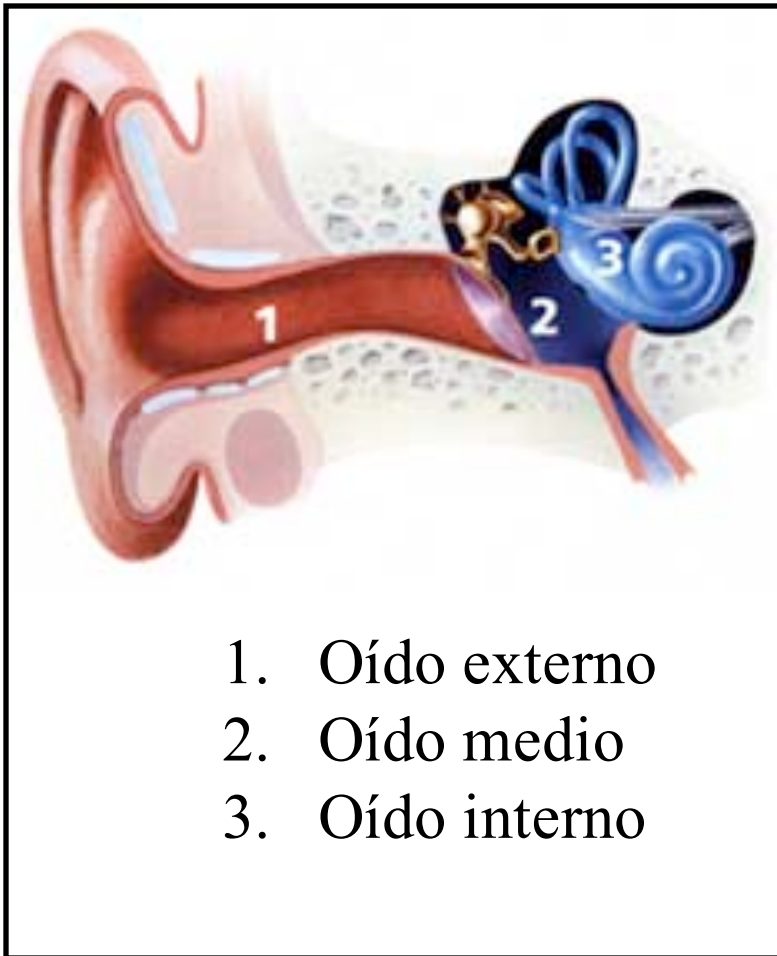
<http://www.falstad.com/ripple/>



Leyes de propagación: Difracción

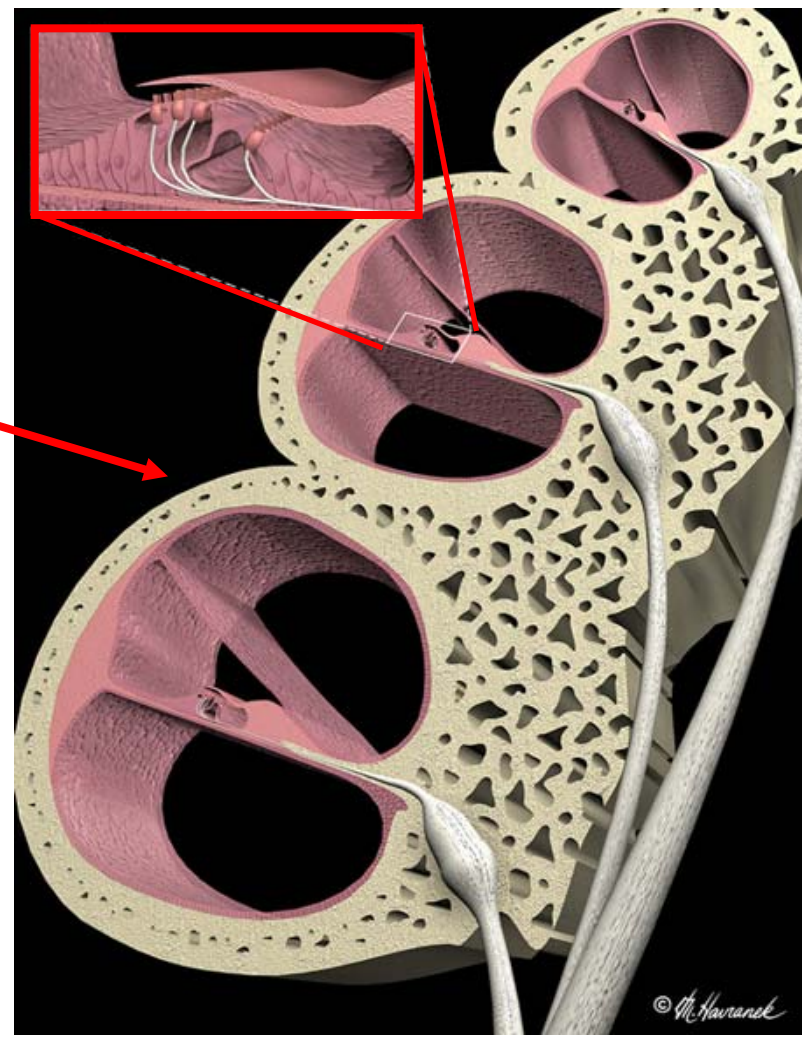
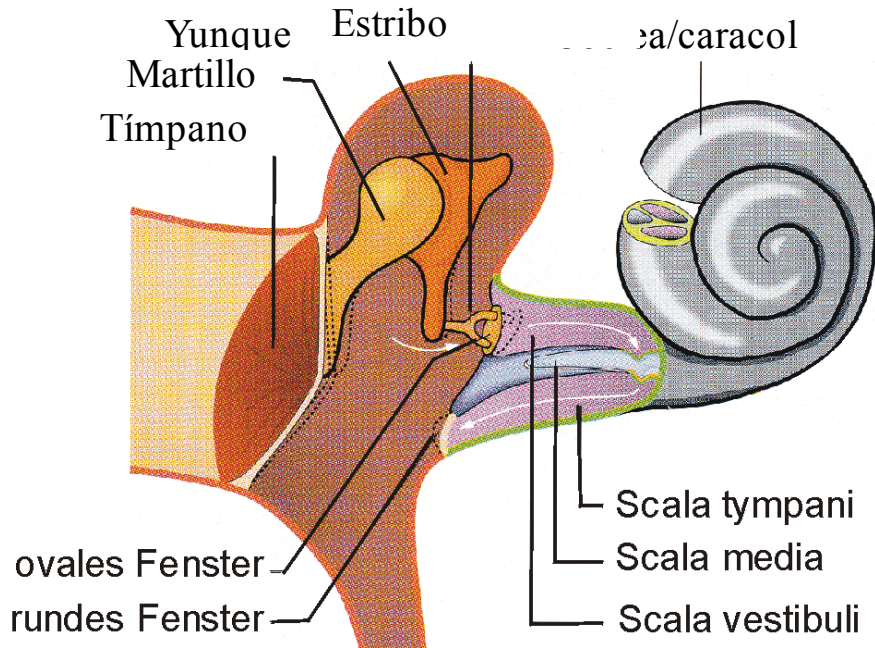


Oído



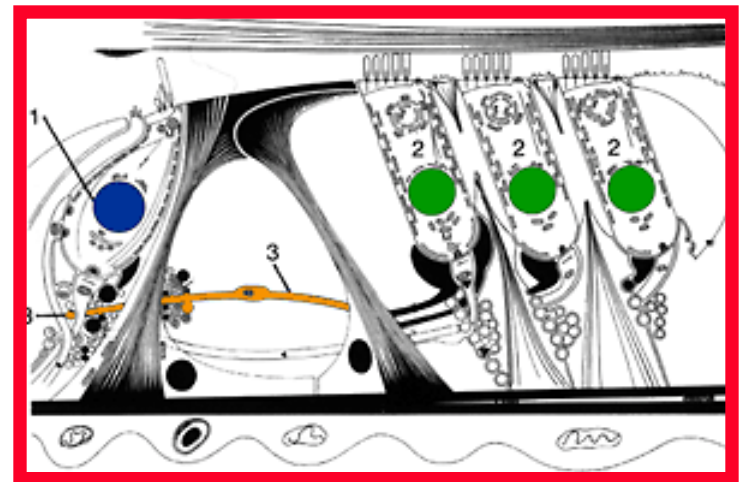
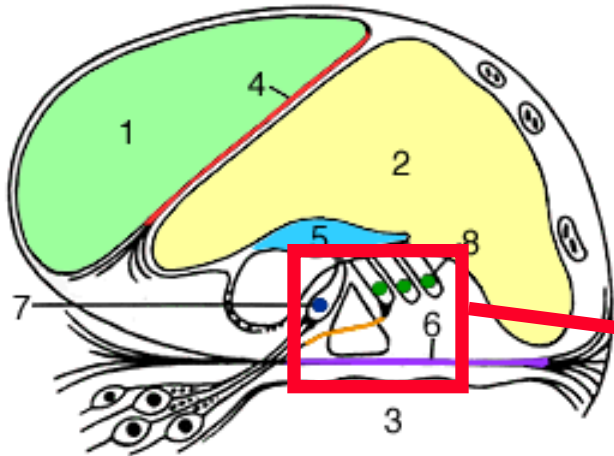
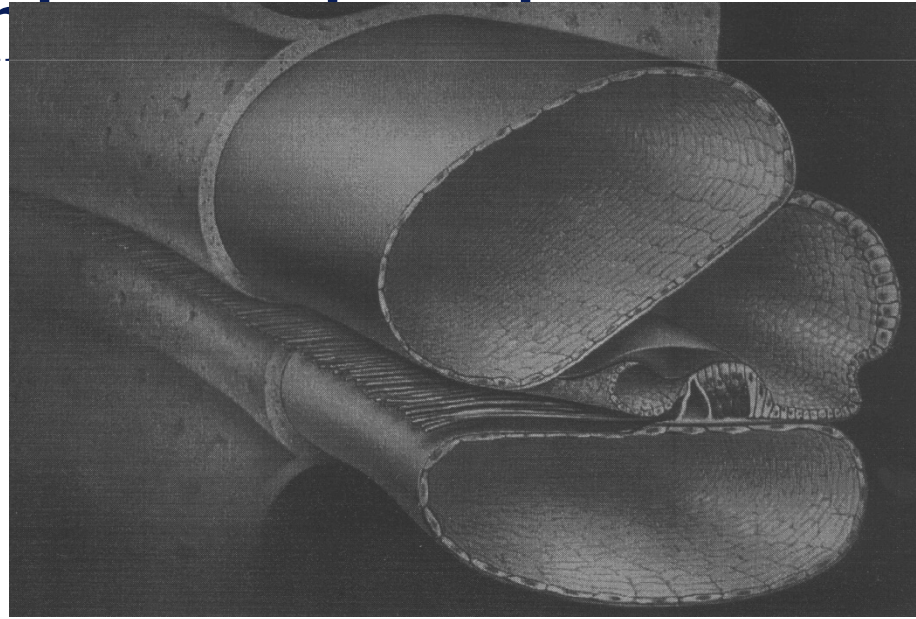
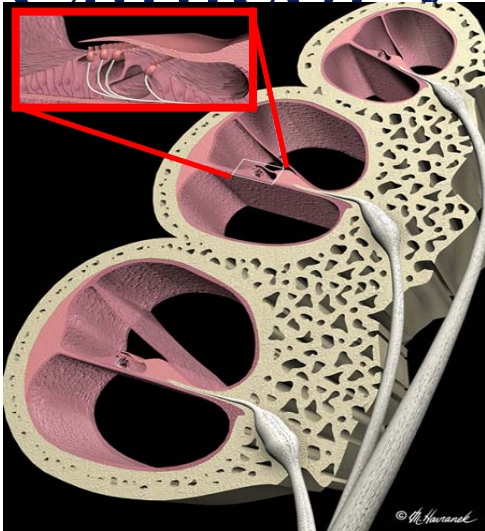
Martillo, yunque, estribo

Oído (detalle)



Quelle: Skript: Prof. Stephan Frings, Zoologisches Institut, Universität Heidelberg

Caracol y membrana



Rangos de frecuencia (aproximaciones)



10 – 3000 Hz

20 – 20000 Hz



20 – 35000 Hz



1000 – 10000 Hz



1000 – 100000 Hz



10 – 100000 Hz



Datos oído humano

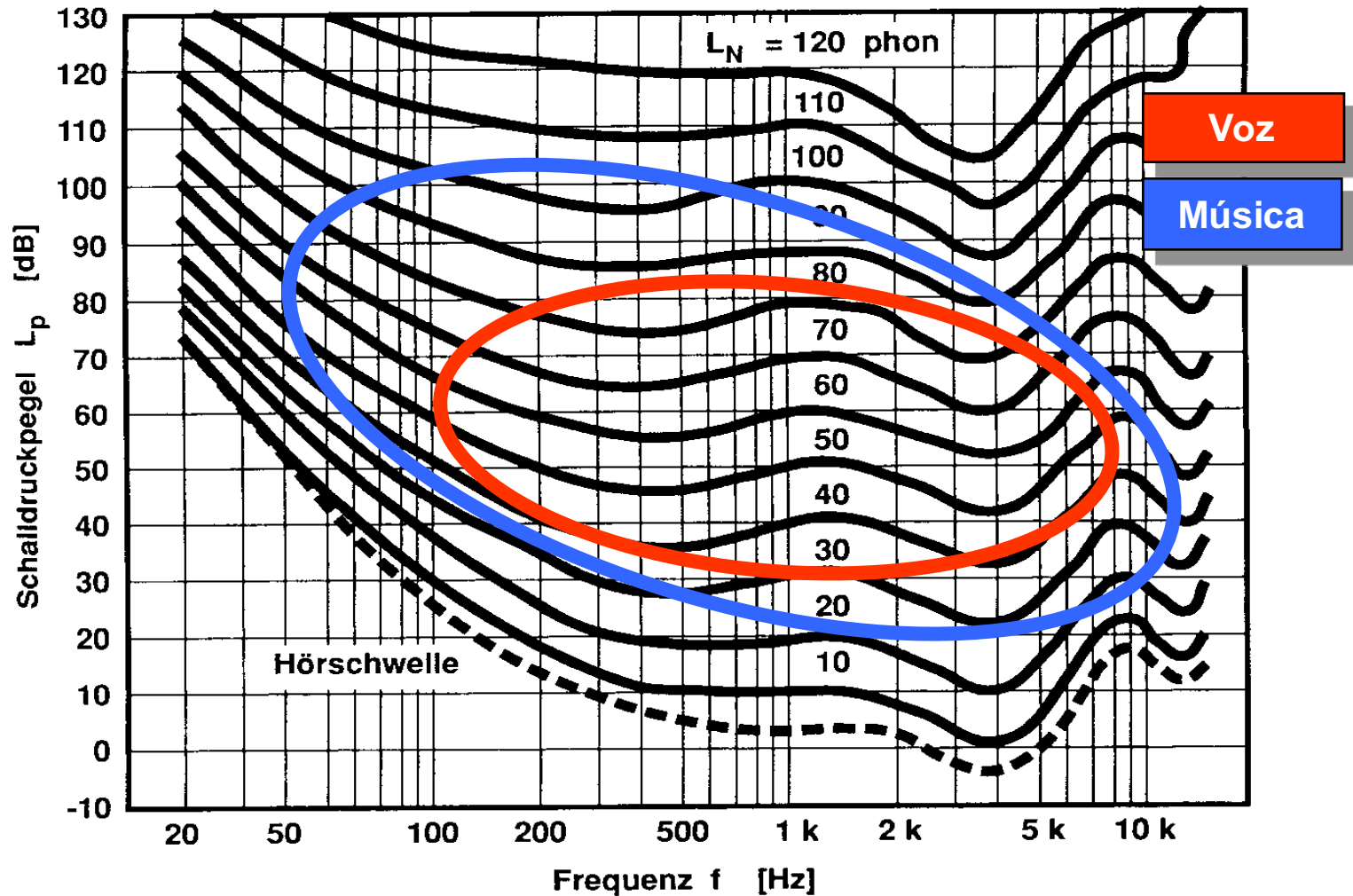
- Rango de frecuencia 20 Hz – 20 kHz
- Rango dinámico ≈ 130 dB
- Diferencia audible (lab) ≈ 1 dB
- Sensación (subjetiva) de duplicación división de la intensidad ± 10 dB (!)

Percepción binaural

Barber Shop en youtube o en
http://www.qsound.com/demos/virtualbarbershop_long.htm

Escuchar con audífonos

Curvas de igual intensidad (percibida)



Acústica de salas (desde las ondas)



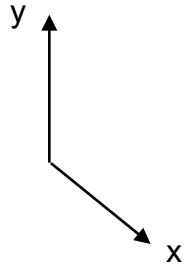
Taller ead PUCV (Sebastián Fingerhuth)



PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO



Modos (ondas estacionarias)



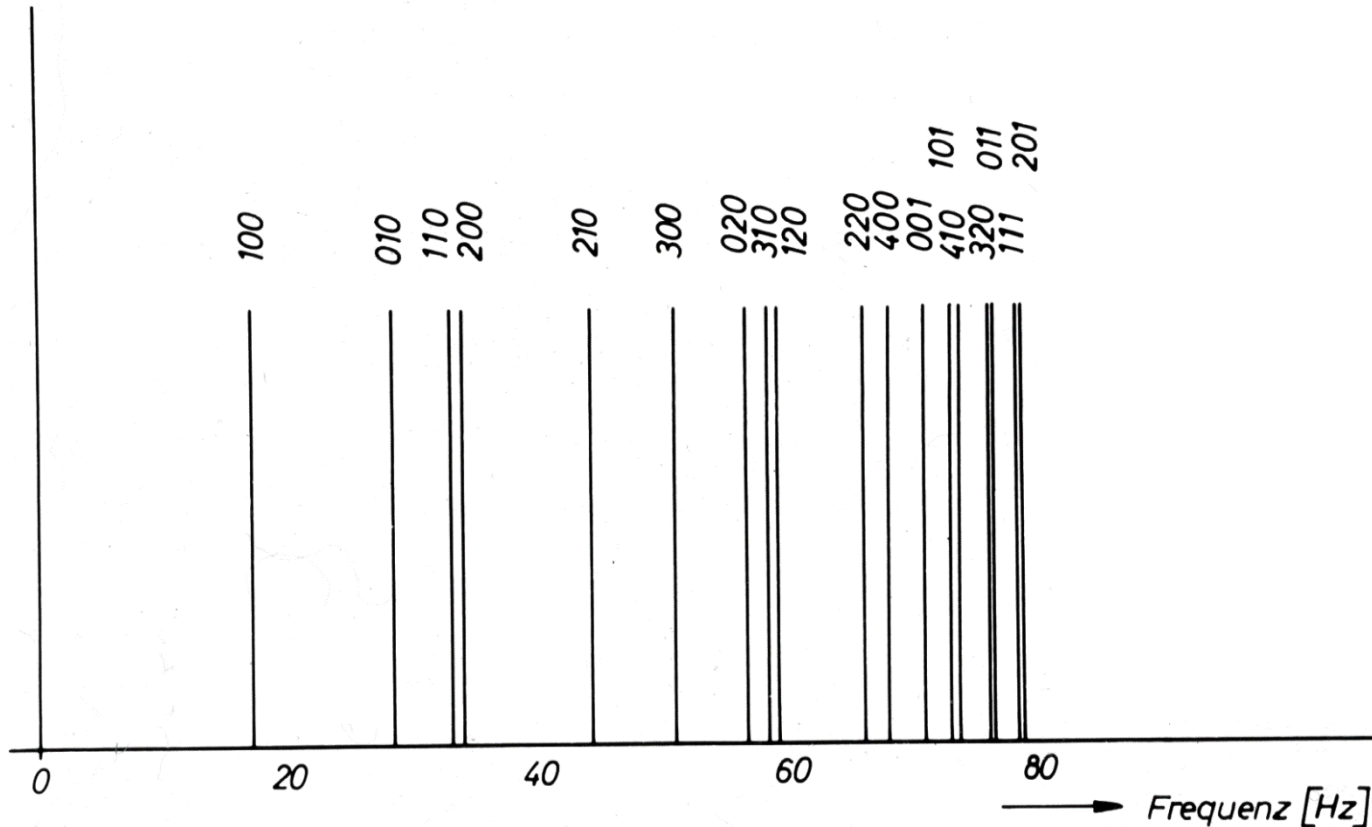
(1,0)-Mode

(2,0)-Mode

(2,1)-Mode

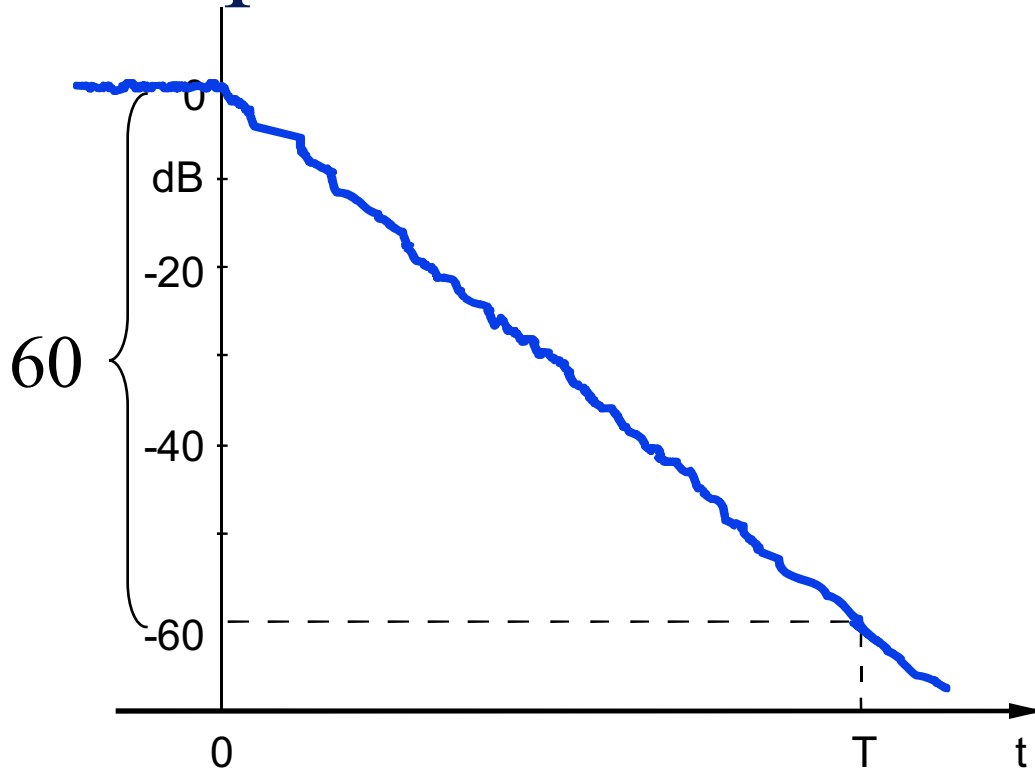
(2,2)-Mode

Modos (Resonancias de una sala)



Lage der 18 ersten Raumeigenfrequenzen auf der Frequenzachse
 Angenommene Abmessungen $10 \times 6 \times 2,4 \text{ m}^3$

Tiempo de reverberación



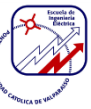
Acústica de salas



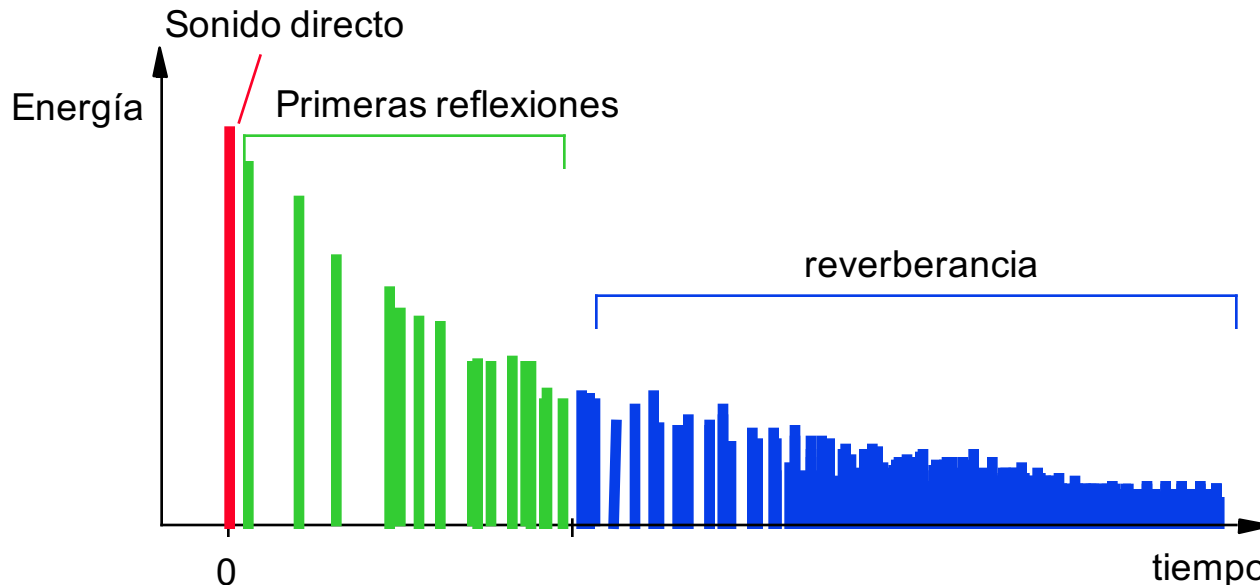
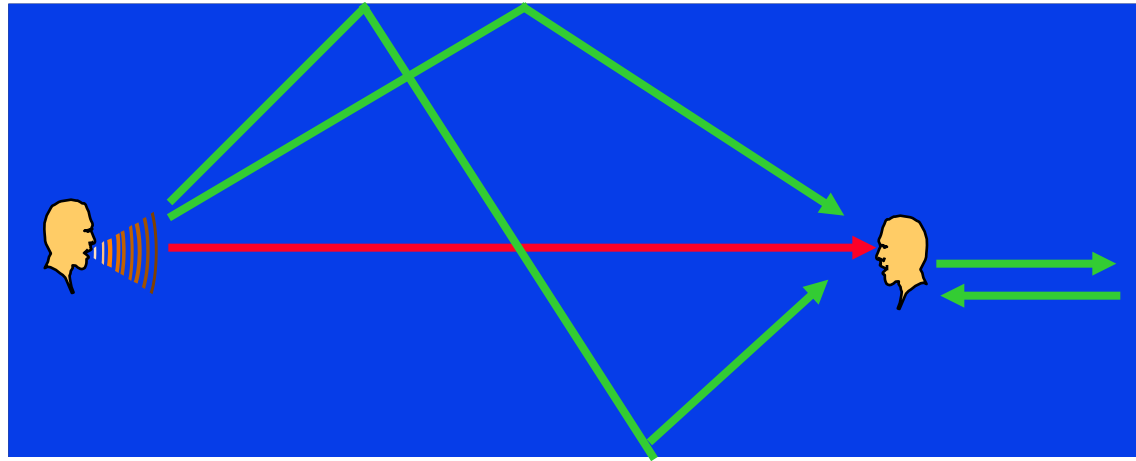
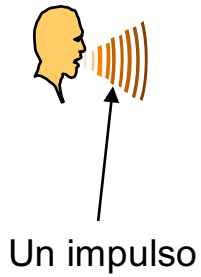
Taller ead PUCV (Sebastián Fingerhuth)



PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO



Propagación de un impulso (ecograma)



¿Qué generan estas ‘secciones’ de color?

Sonido directo

- Percepción del origen (dirección) de la que proviene el sonido
- Define el nivel (intensidad) de manera general
- Tiene una fuerte dependencia del lugar en el que se recibe el sonido

¿Qué generan estas ‘secciones’?

Primeras reflexiones, reflexiones iniciales (0 - 50 ms o 0 - 80 ms)

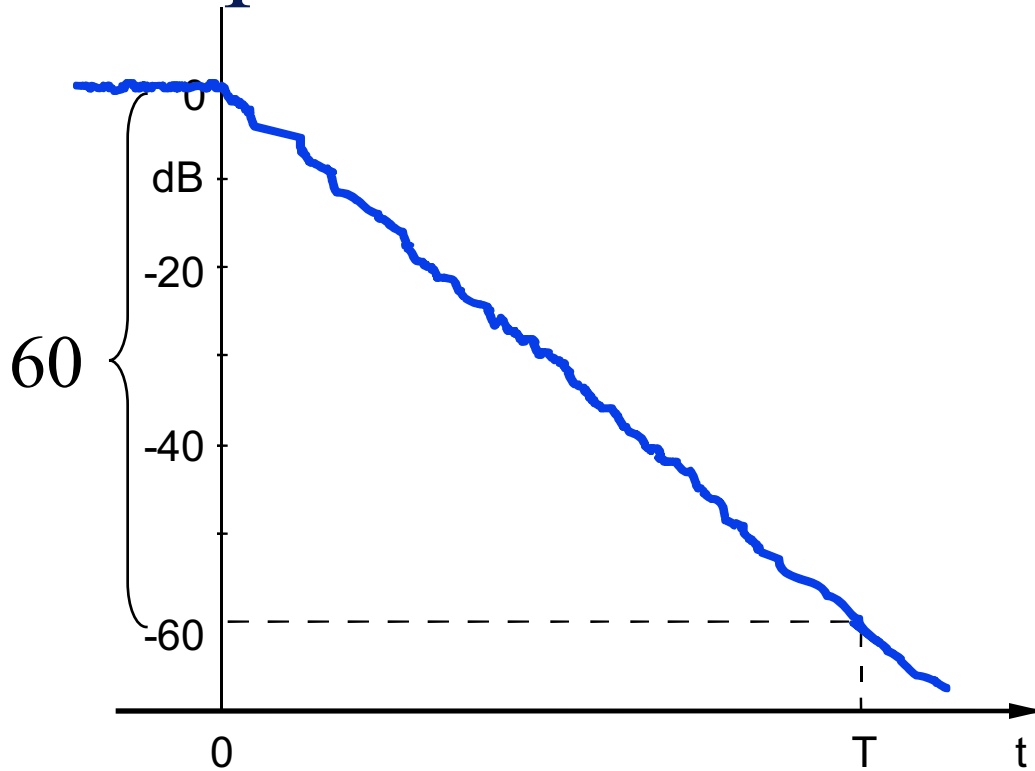
- Apoya al sonido directo en lo que respecta a la intensidad
- Las reflexiones laterales dan la sensación de espacio, ambiente, „espacialidad“
- Es la característica individual (huella digital) de una sala
- Tiene fuerte dependencia de la ubicación

¿Qué generan estas ‘secciones’?

Reverberación

- Percepción del tamaño (Volumen sonoro)
- Tiene como consecuencia la fusión de señales y sonidos que tienen estructuras temporales
- Deteriora la claridad e inteligibilidad de la palabra

Tiempo de reverberación



Fórmula de Sabine

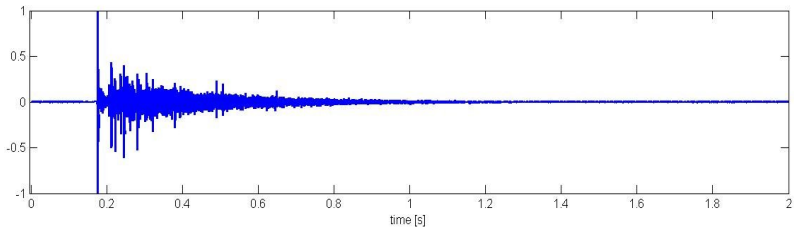
$$T = 0,163 \frac{V}{A}$$

V = volumen total de la sala















A = Área de absorción equivalente

$$A = \alpha_1 \cdot A_1 + \alpha_2 \cdot A_2 + \alpha_3 \cdot A_3 + \dots$$

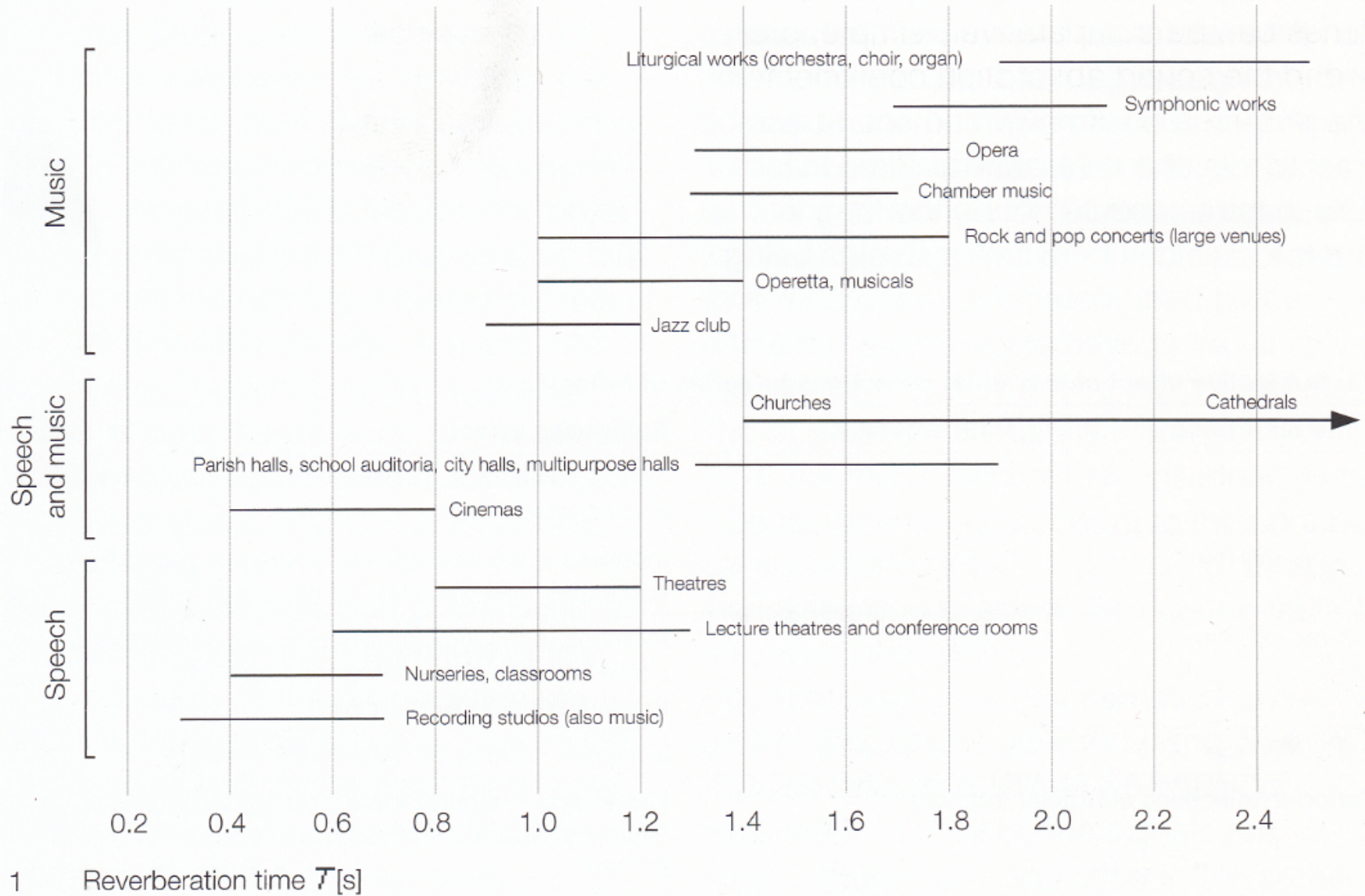
Ejemplo



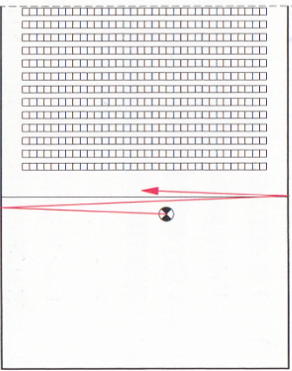
Tiempos de reverberancia

	 Voz	 Música
$T = 0,5 \text{ s}$		
$T = 0,8 \text{ s}$		
$T = 1 \text{ s}$		
$T = 1,5 \text{ s}$		
$T = 2 \text{ s}$		
Catedral de Colonia 		
$T > 7 \text{ s}$		

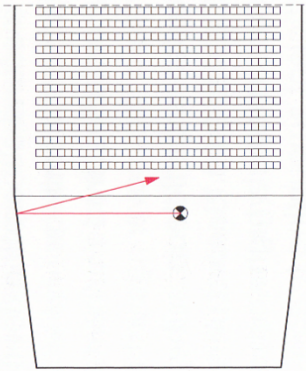




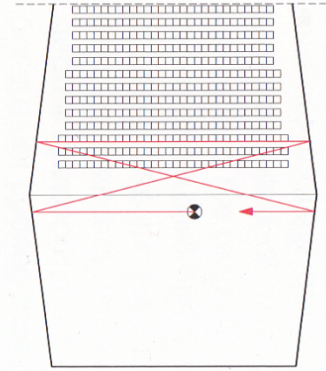
Acoustic and Sound Insulation, Mommertz



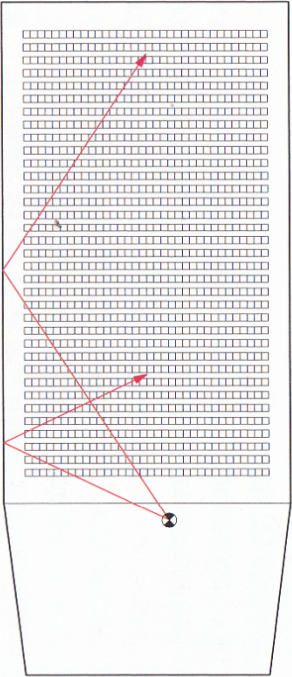
2a



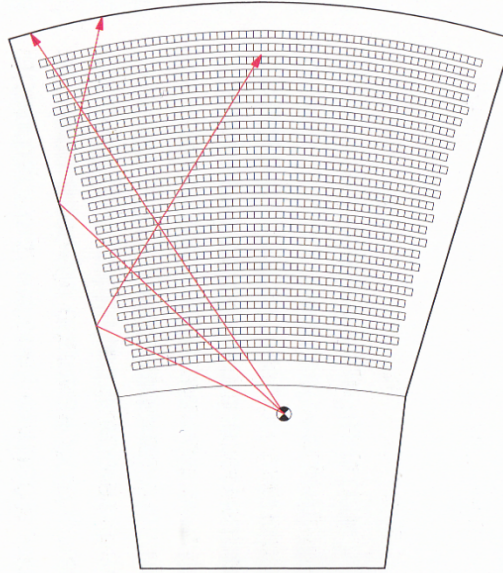
b



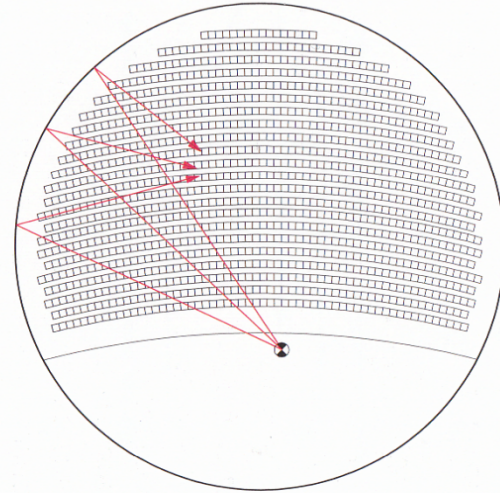
c



1a



b



c

Como la geometría de una sala afecta las primeras reflexiones de las paredes laterales.

1a) Salas angostas y rectangulares envían reflexiones desde los lados al público

1b) Si la sala se ensancha hacia atrás, las reflexiones son enviadas al fondo de la sala

1c) Formas cóncavas por lo general focalizan las ondas de sonido, lo que es percibido como muy molesto

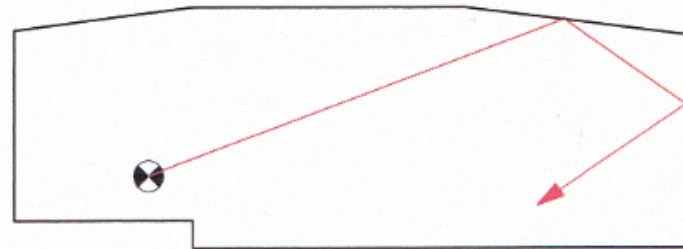
2a) Ecos de ida y vuelta (flutter echo) entre las paredes paralelas

2b) Modificando la geometría del escenario se puede mejorar

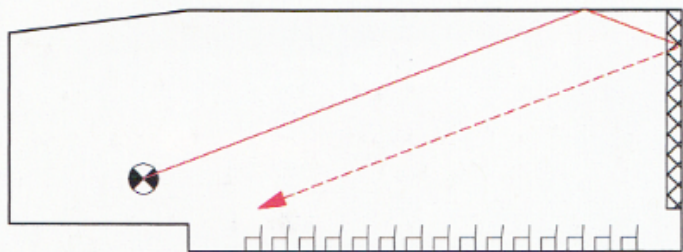
2c) Si la modificación geométrica es en ambos lados, el problema vuelve



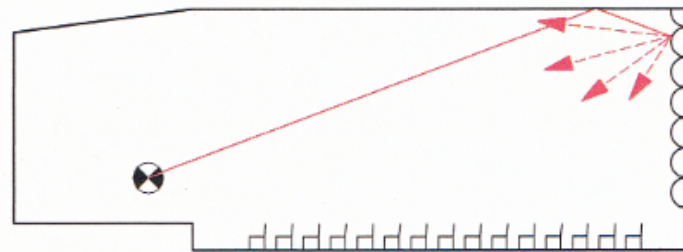
3a



c



b



d

3a) Reflexiones de las paredes traseras, con un retardo grande, aumentan el riesgo de ecos. Ángulos rectos son particularmente peligrosos

Se puede evitar:

- 3b) Incluyendo absorción
- 3c) Cambiar el ángulo del cielo en la parte trasera
- 3d) Incluyendo superficies estructuradas (difusores)

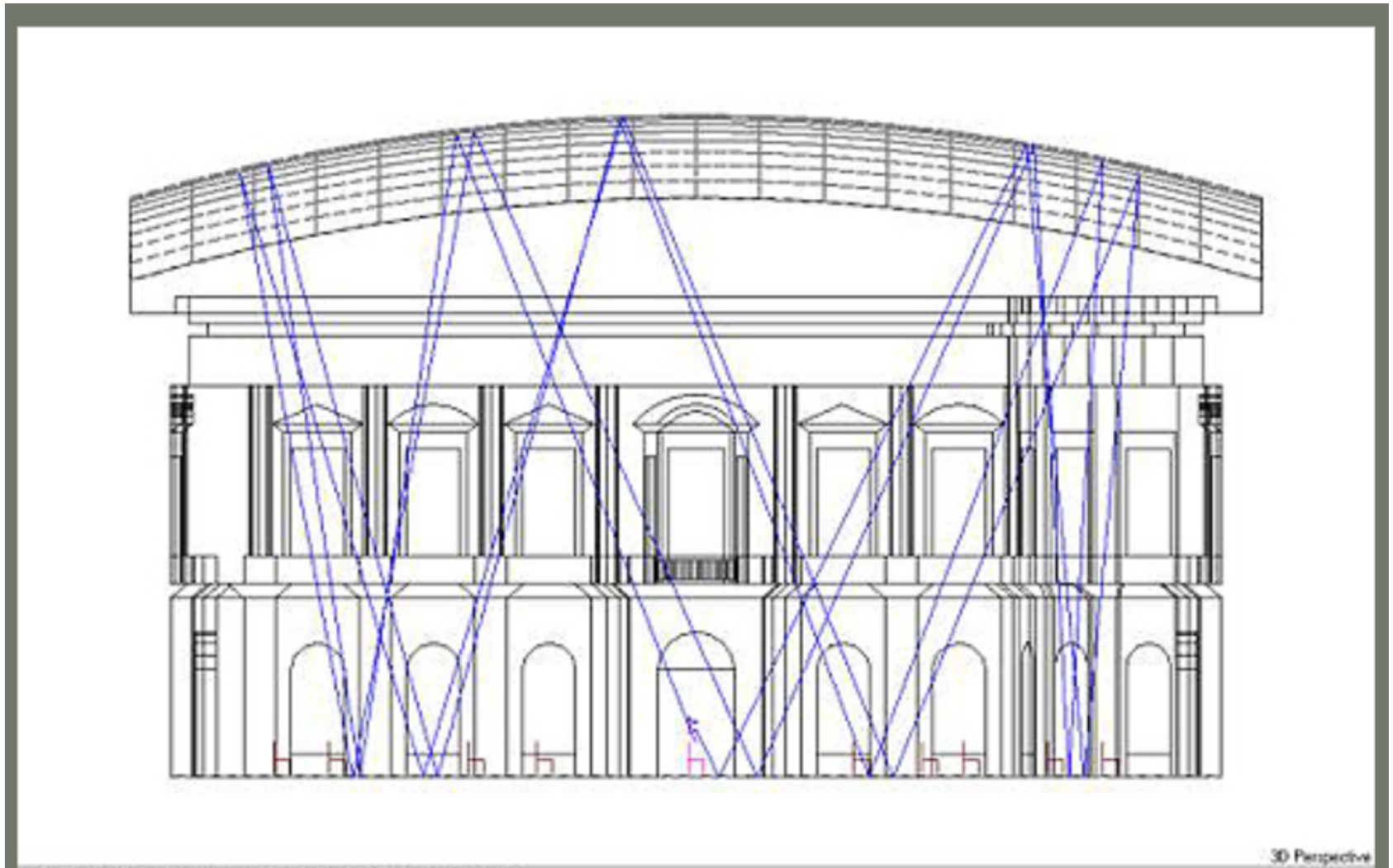


Taller ead PUCV (Sebastián Fingerhuth)



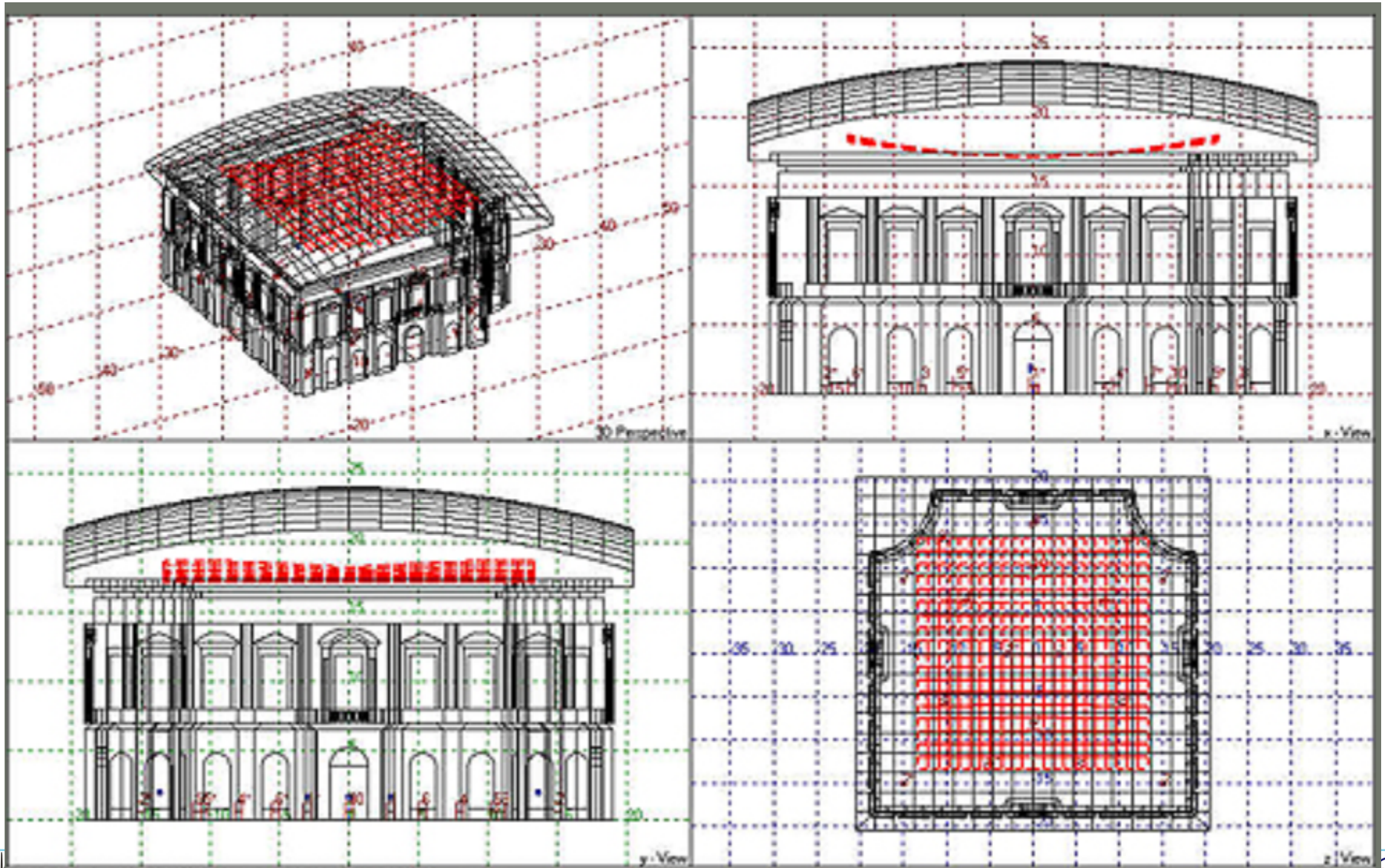
Ver ejemplo de superficie con concavidad

http://www.ada-acousticdesign.de/html_en/seite_11_4a.htm



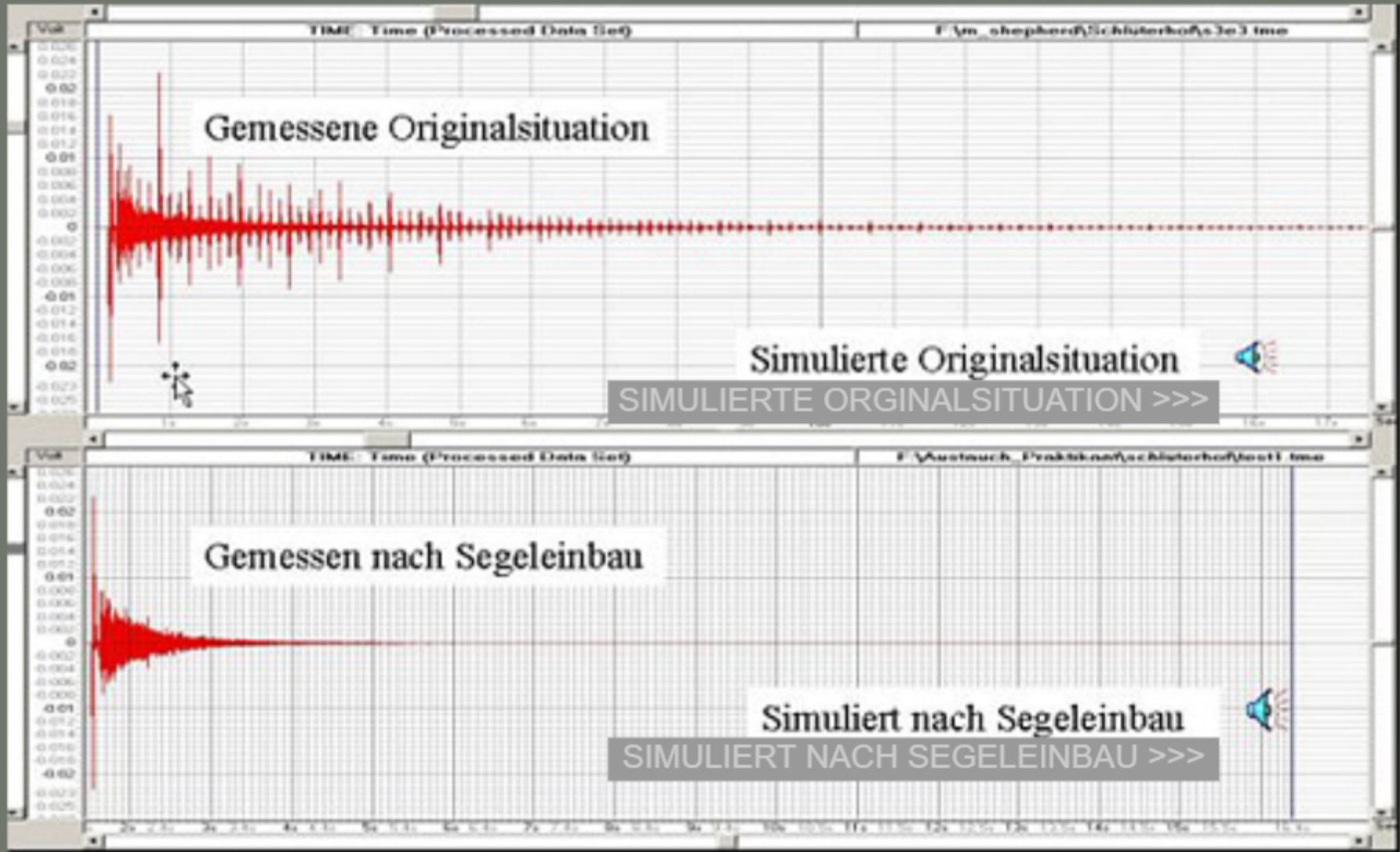
Ver ejemplo de superficie con concavidad

http://www.ada-acousticdesign.de/html_en/seite_11_4a.htm



© EASE 4.0 / DHM_Schitzelhof / 26.09.2003 13:32:58 / ADA Wolfgang Ahnert

Ver ejemplo de superficie con concavidad



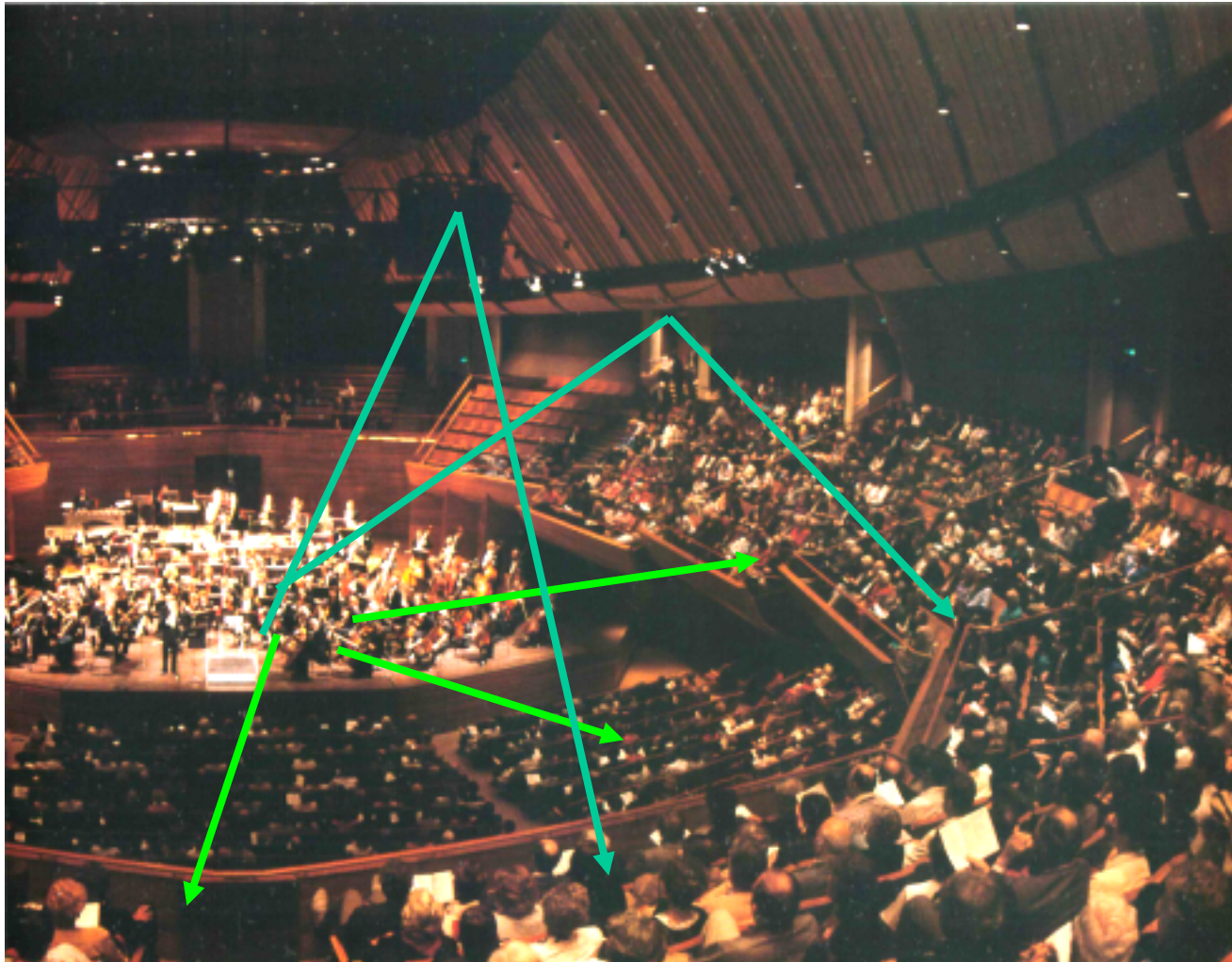
Reflectograms before and after foil installation

Ver ejemplo de superficie con concavidad

http://www.ada-acousticdesign.de/html_en/seite_11_4a.htm



Acústica de salas



Definition

- Deutlichkeit/Definition

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50\text{ms}} [h(t)]^2 dt}{\int_{0\text{ms}}^{\infty} [h(t)]^2 dt}$$

$D_{50} = 65\% - 70\%$ bueno para voz

$D_{50} = 50\% - 70\%$ Sala multipropósito

Siend $h(t)$ = la respuesta al impulso para un par posición de envío y posición de recepción

- Clarity /Deutlichkeitsmaß (Klarheitsmaß)

$$C_{50} = 10 \log \frac{\int_0^{50\text{ms}} [h(t)]^2 dt}{\int_{50\text{ms}}^{\infty} [h(t)]^2 dt} \text{ dB}$$

$C_{50} = 3..4 \text{ dB}$ bueno para voz

$C_{50} = 0..4 \text{ dB}$ Sala multipropósito

siendo $C_{50} = 10 \log \left(\frac{D_{50}}{1 - D_{50}} \right) \text{ dB}$

Centre Time

Schwerpunktszeit

Centro de gravedad

$$T_S = \frac{\int_0^{\infty} t [h(t)]^2 dt}{\int_{0\text{ms}}^{\infty} [h(t)]^2 dt}$$

$T_S < 80$ ms Voz

$T_S \approx 100 - 150$ ms Música

- El primer „momento“ o centroide de la respuesta al impulso
- La existencia de „cortes o cantos“ en el límite de las reflexiones buenas y las malas
- Muestra dónde está el centro de gravedad de la energía

Strength index / Stärkemaß

$$G = 10 \log \frac{\int_{-\infty}^{\infty} [h(t)]^2 dt}{\int_{0\text{ms}}^{\infty} [h_A(t)]^2 dt} \text{ dB}$$

deseable

$$G = 0 \dots 10 \text{ dB}$$

con

$h(t)$ = Respuesta al impulso medida

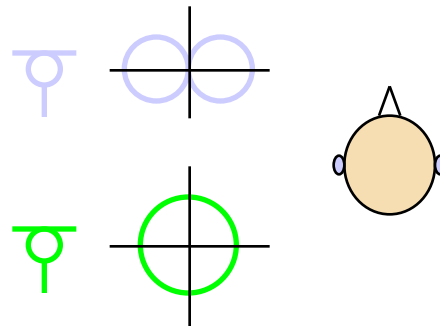
$h_A(t)$ = Respuesta al impulso medida con la misma fuente, pero en sala anecoica con distancia fuente-receptor = 10 m

- Indica la intensidad (relación de niveles) en comparación con el campo libre (onda esférica)
- Medida normalizada (bajo norma) de la energía adicional disponible gracias a las reflexiones

Seitenschallgrad (Lateral Energy Fraction)

- Seitenschallgrad (Lateral Energy Fraction)

$$LF = \frac{\int_{5\text{ms}}^{80\text{ms}} [h(t) \cos \theta]^2 dt}{\int_{0\text{ms}}^{80\text{ms}} [h(t)]^2 dt}$$



deseable
 $LF = 25\% - 40\%$

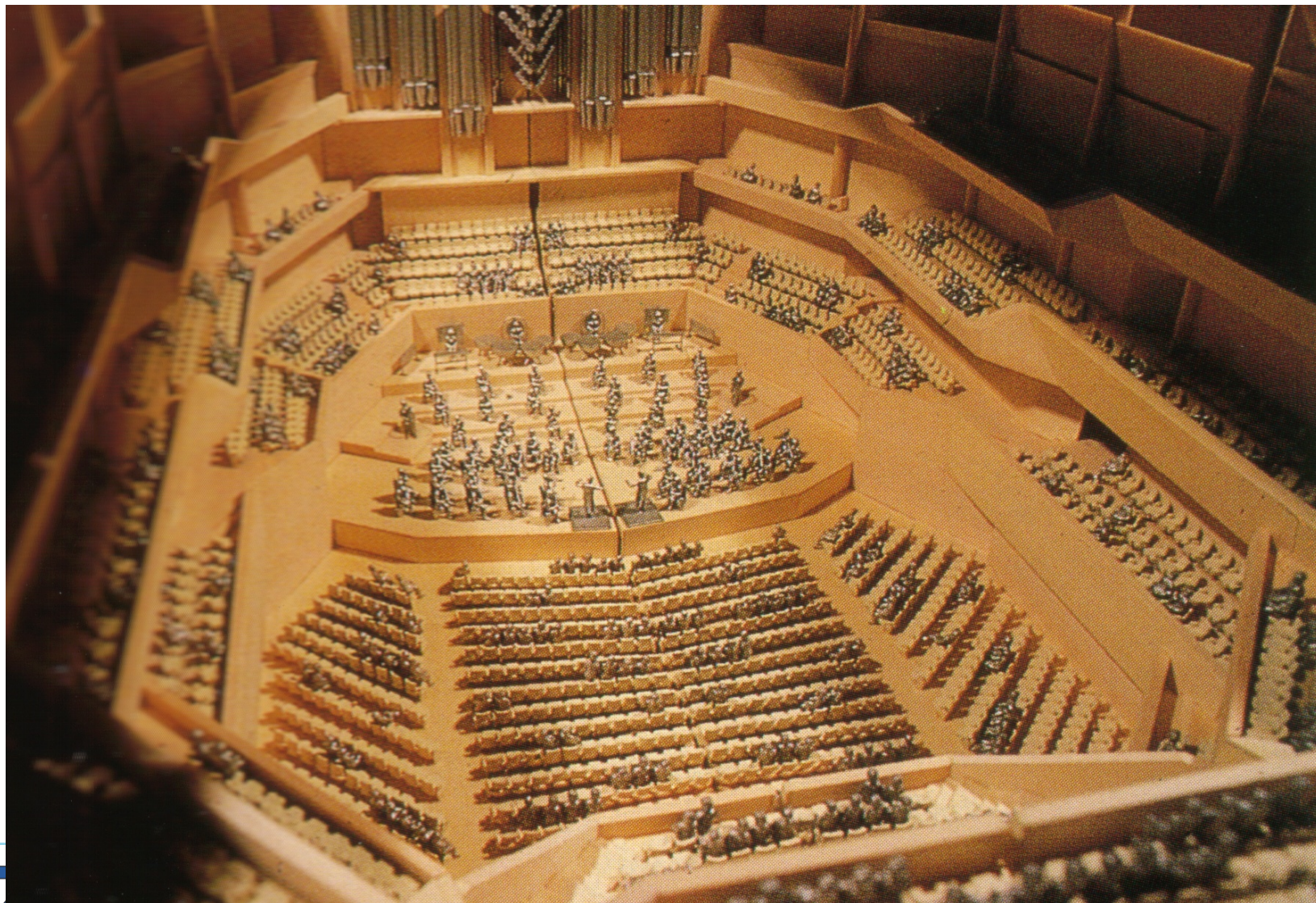
- Medida de la energía (relativa) disponible de las reflexiones *laterales*, las cuales dan una sensación (son percibidas como) de espacio o „espacialidad“
- LF debe ser medida con un micrófono especial (micrófono gradiente u 8 y mic. Omnidireccional o esférico)

Medición en modelos



Foto: Eduardo Cordero (Sebastián Fingermann)

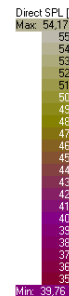
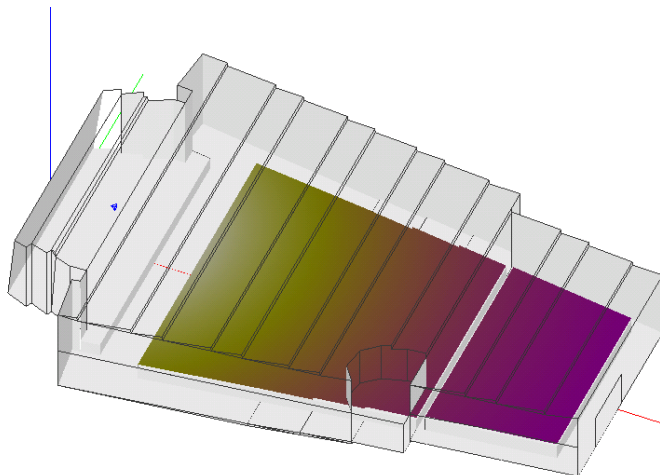
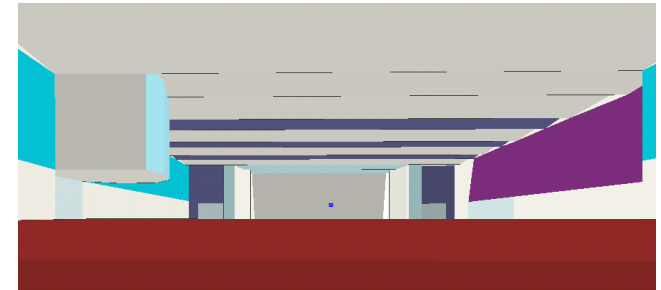
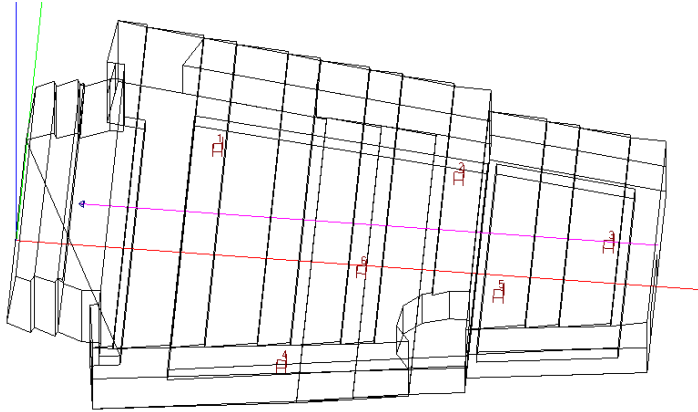
Medición en modelos



1:20 Modelo de Philharmonie München

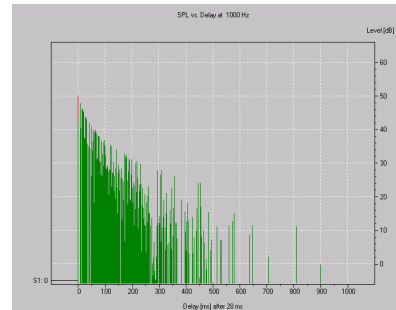
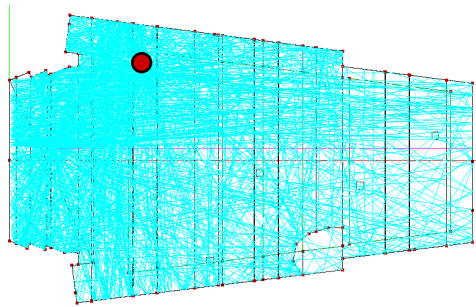


Ejemplos de simulación de sala comunitaria (City Hall)

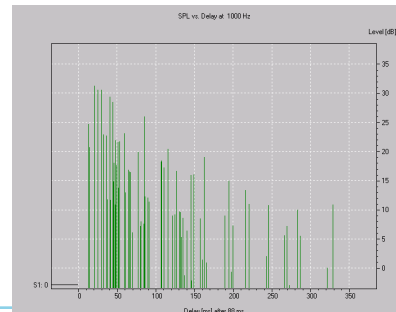
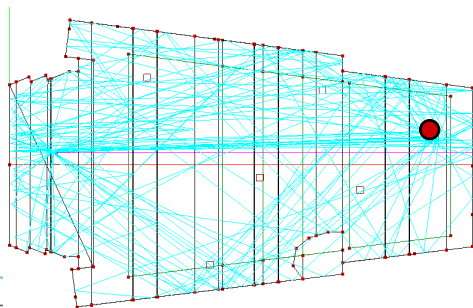
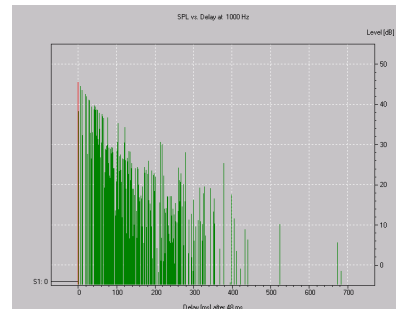
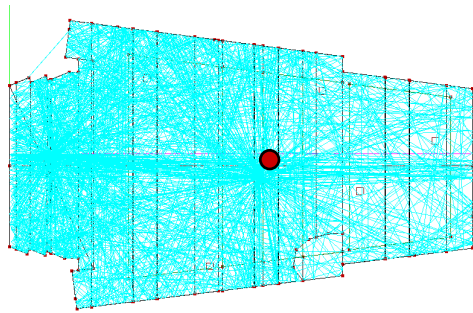


bastián Fingerhuth)

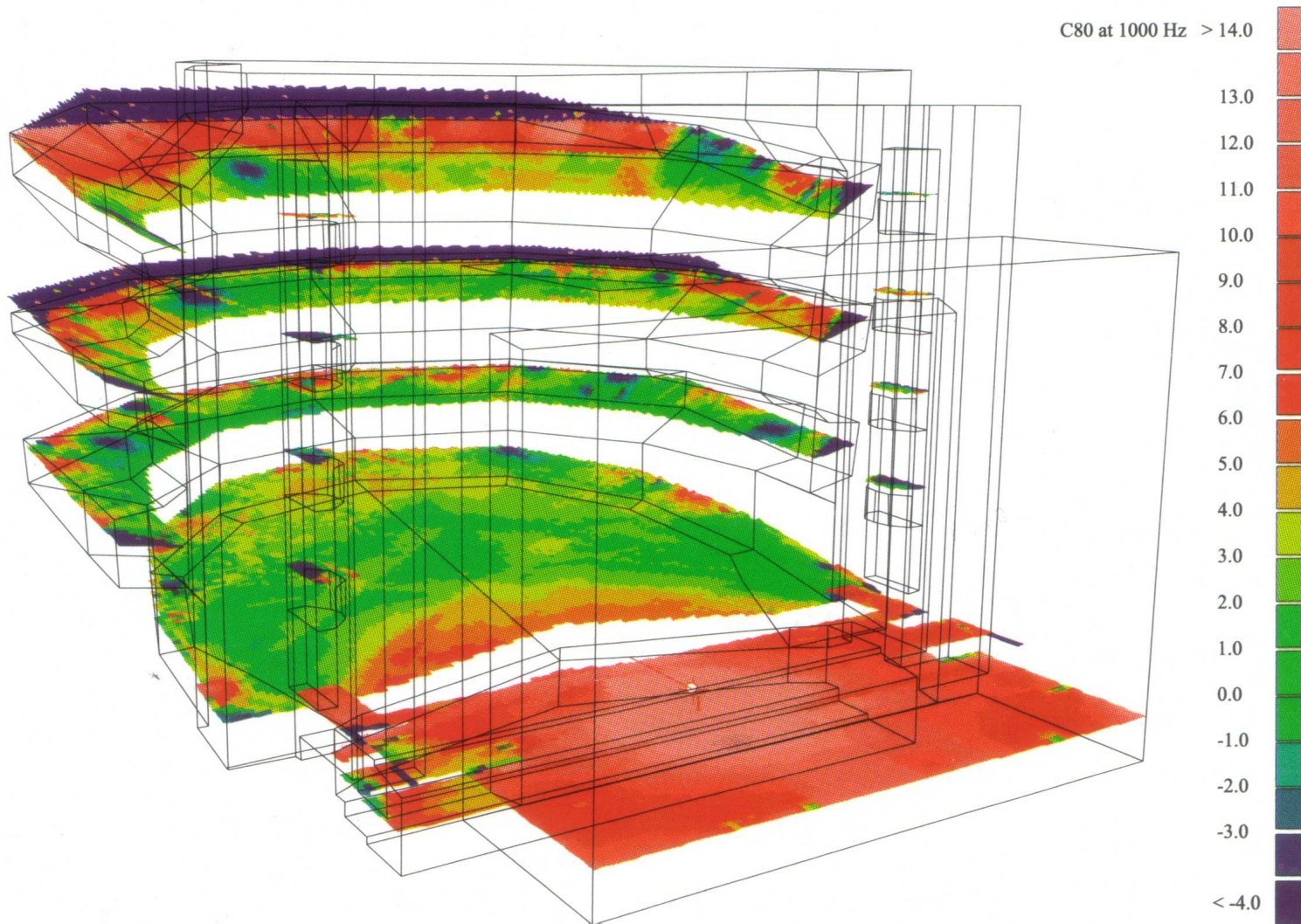
Ejemplos de simulación



$$C_{50} = +5\text{dB}$$



Programas (software) de simulación



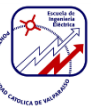
Absorción acústica



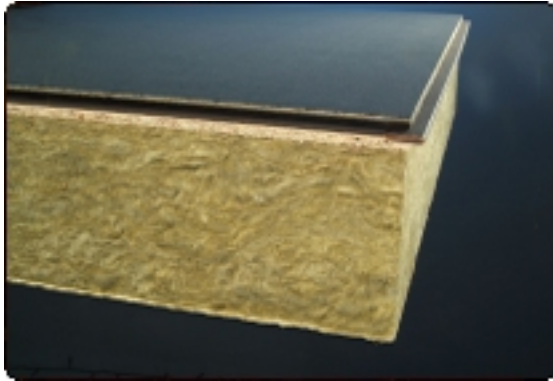
Taller ead PUCV (Sebastián Fingerhuth)



PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO

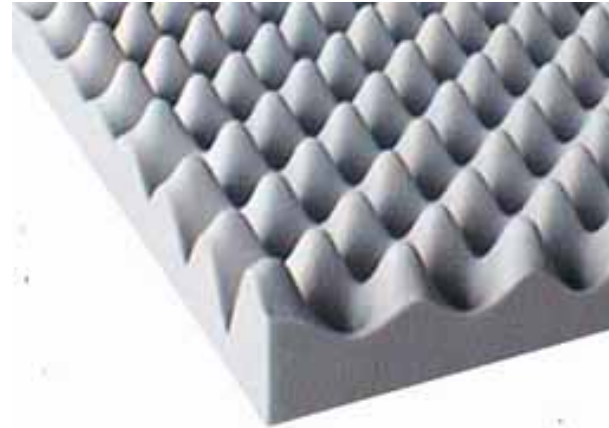


Ejemplos de material poroso

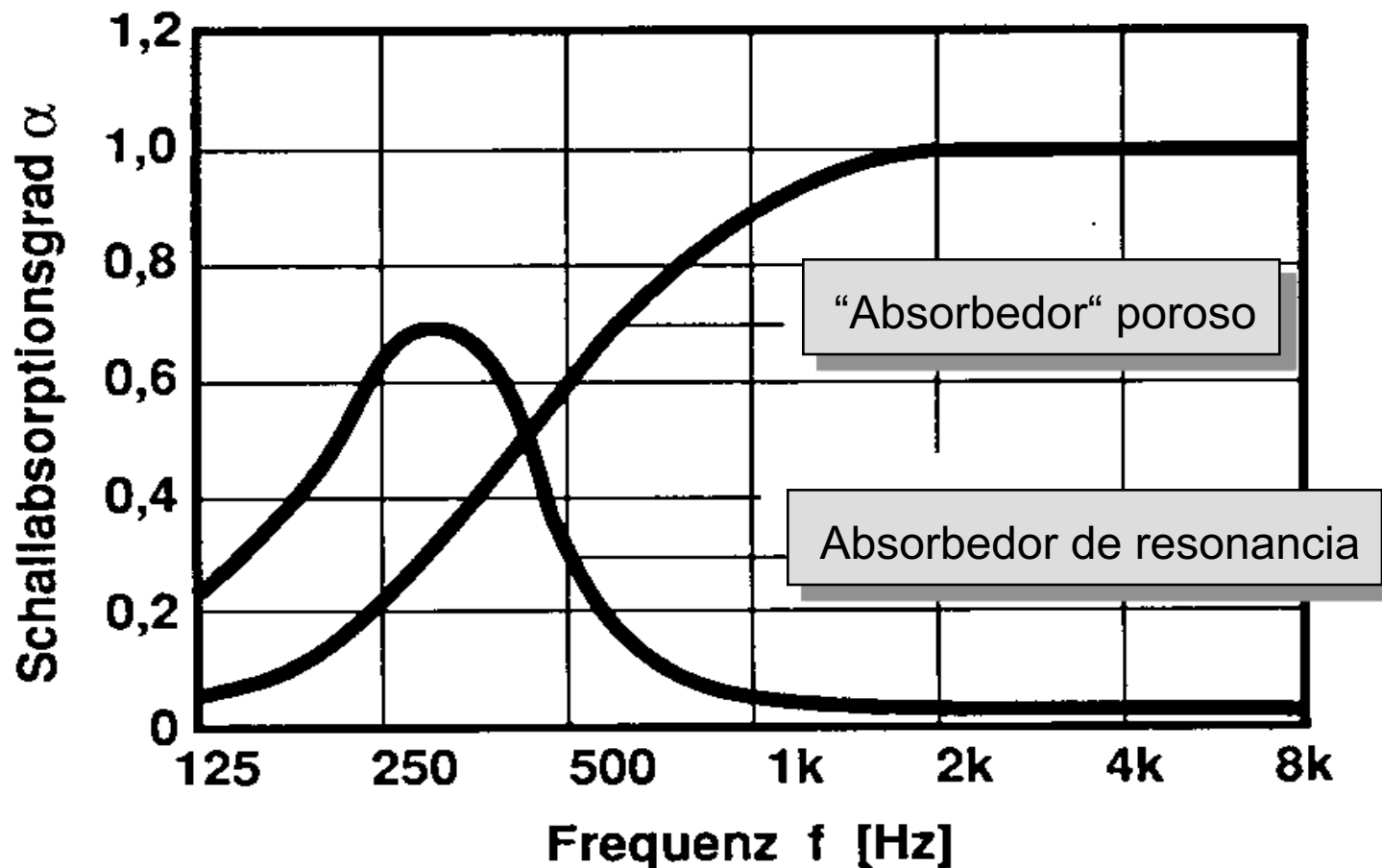


Lana mineral (uso arquitectónico y constructivo)

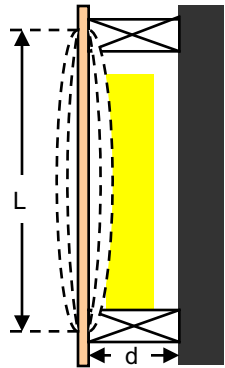
Noppenschaumstoff zur Auskleidung von Raumbereichen



Tipos de “absorbedores”

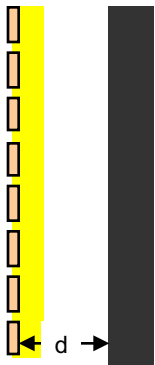


Absorción por resonadores



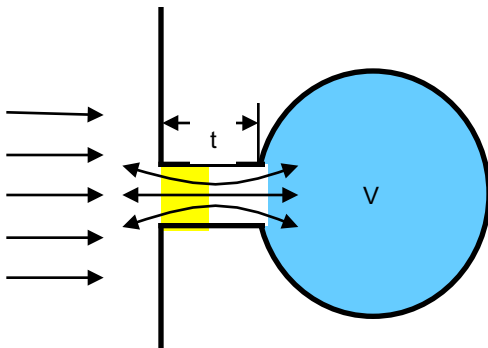
■ Plattenresonator

- Luftschicht hinter Platte wirkt als Feder
- schwingende Platte wirkt als Masse
- eingelegtes Dämmmaterial bewirkt die Resonanzbedämpfung



■ Loch- / Schlitzabsorber

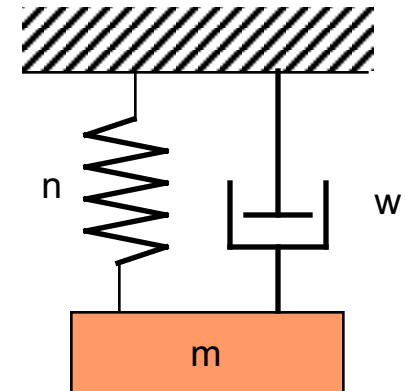
- Luftschicht hinter Platte wirkt als Feder
- Luft in den Öffnungen wirkt als Masse
- eingelegtes Dämmmaterial oder Hinterlegung der Öffnungen mit einem Vlies bewirkt die Resonanzbedämpfung



■ Helmholtz-Resonator

- Luft im Volumen wirkt als Feder
- Luft in der Halsöffnung wirkt als Masse
- Dämmmaterial oder Vlies im Resonator-Halsbereich wirkt als Resonanzdämpfung

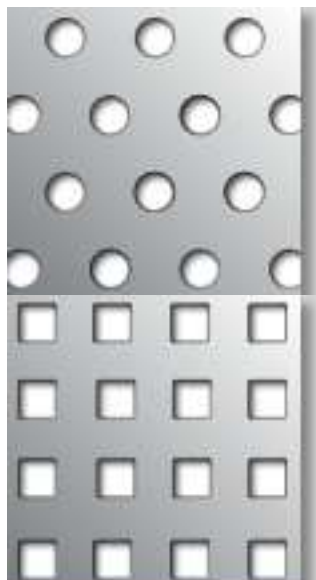
Ersatzmodell



Ejemplos de paneles con absorción por resonancia



Madera perforada

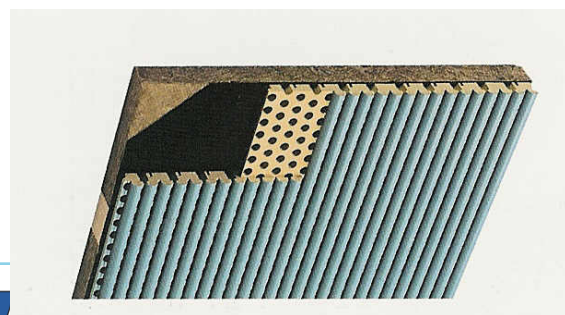


Acero perforado

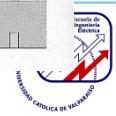
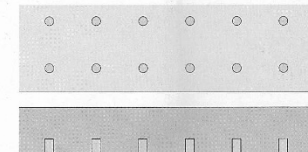
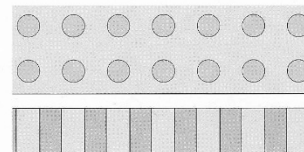
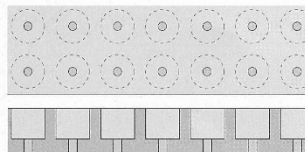


Panel con ranuras

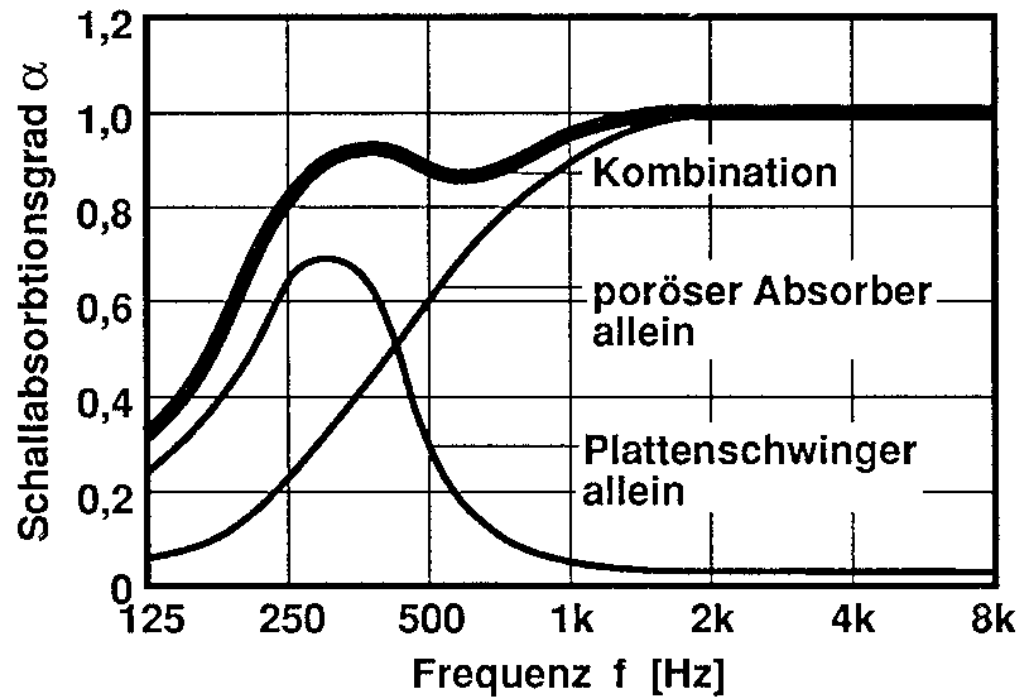
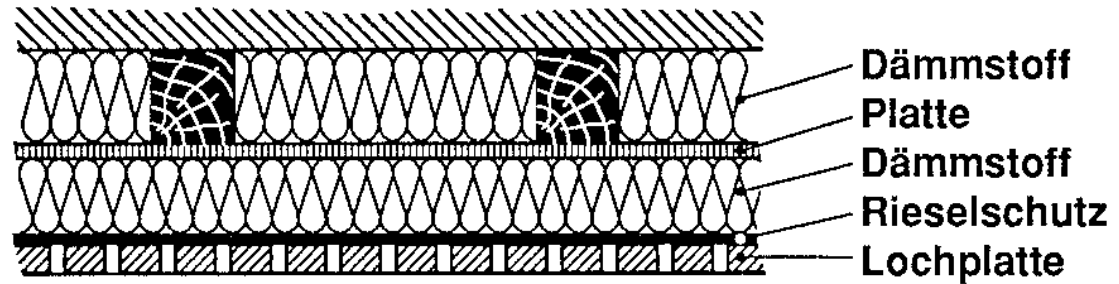
Otras formas de perforaciones



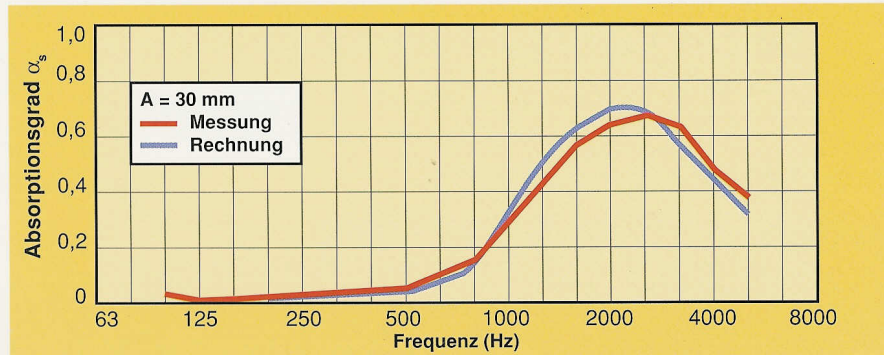
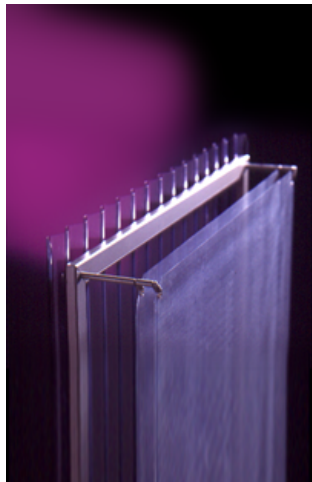
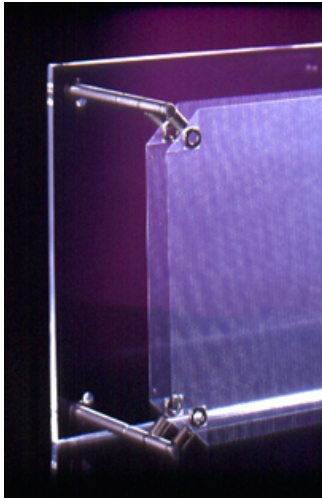
ler



Combinación



Absorbedores con microperforaciones



Einlagig:

Dicke der Folie: 0,105 mm

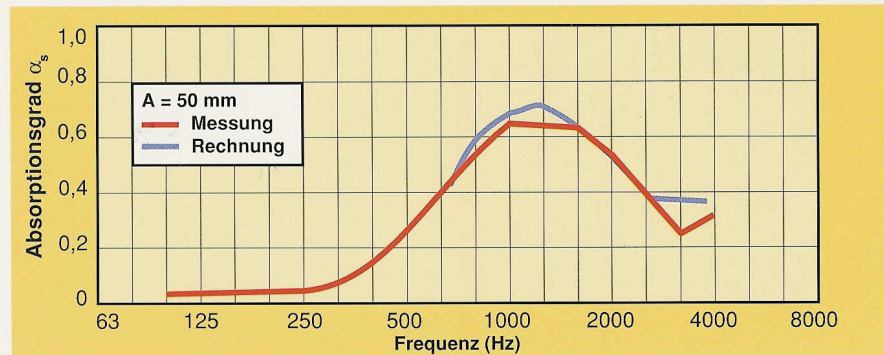
Mikroperforation:

– Lochdurchmesser: 0,21 mm

– Lochabstand: 2,0 mm

Gewicht der Folie: 0,14 kg/m²

Abstand zur schallharten Fläche A = 30 mm



Einlagig:

Dicke der Folie: 0,105 mm

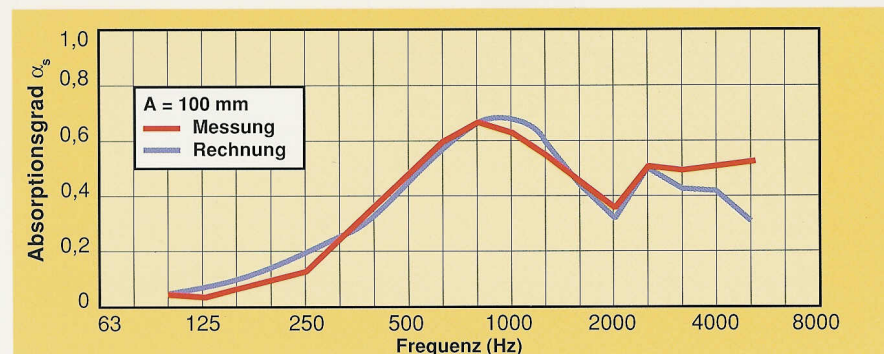
Mikroperforation:

– Lochdurchmesser: 0,21 mm

– Lochabstand: 2,0 mm

Gewicht der Folie: 0,14 kg/m²

Abstand zur schallharten Fläche A = 50 mm



Einlagig:

Dicke der Folie: 0,105 mm

Mikroperforation:

– Lochdurchmesser: 0,21 mm

– Lochabstand: 2,0 mm

Gewicht der Folie: 0,14 kg/m²

Abstand zur schallharten Fläche A = 100 mm

Acústica de salas

Caso:Sala de concierto



Taller ead PUCV (Sebastián Fingerhuth)

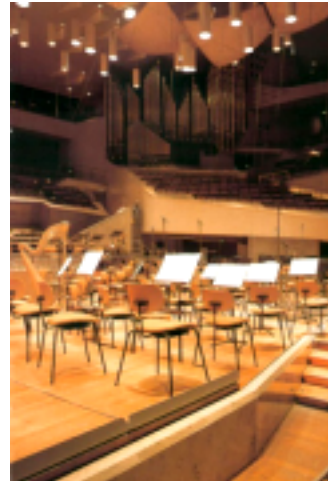


PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO



Filarmónica de Berlín

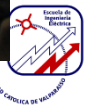




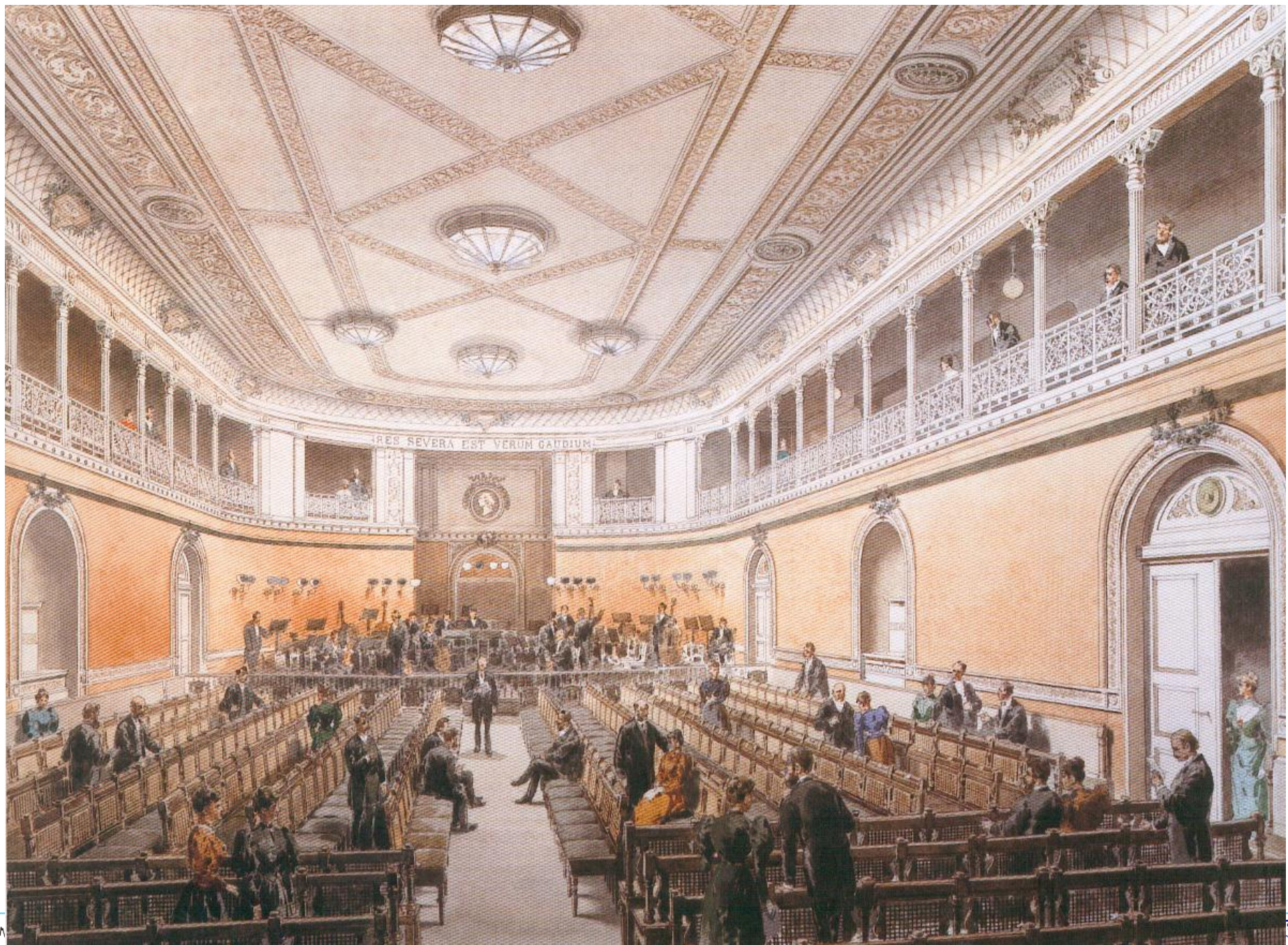




CIUDADELA DE VALPARAÍSO







Acústica de salas

Caso: Ópera



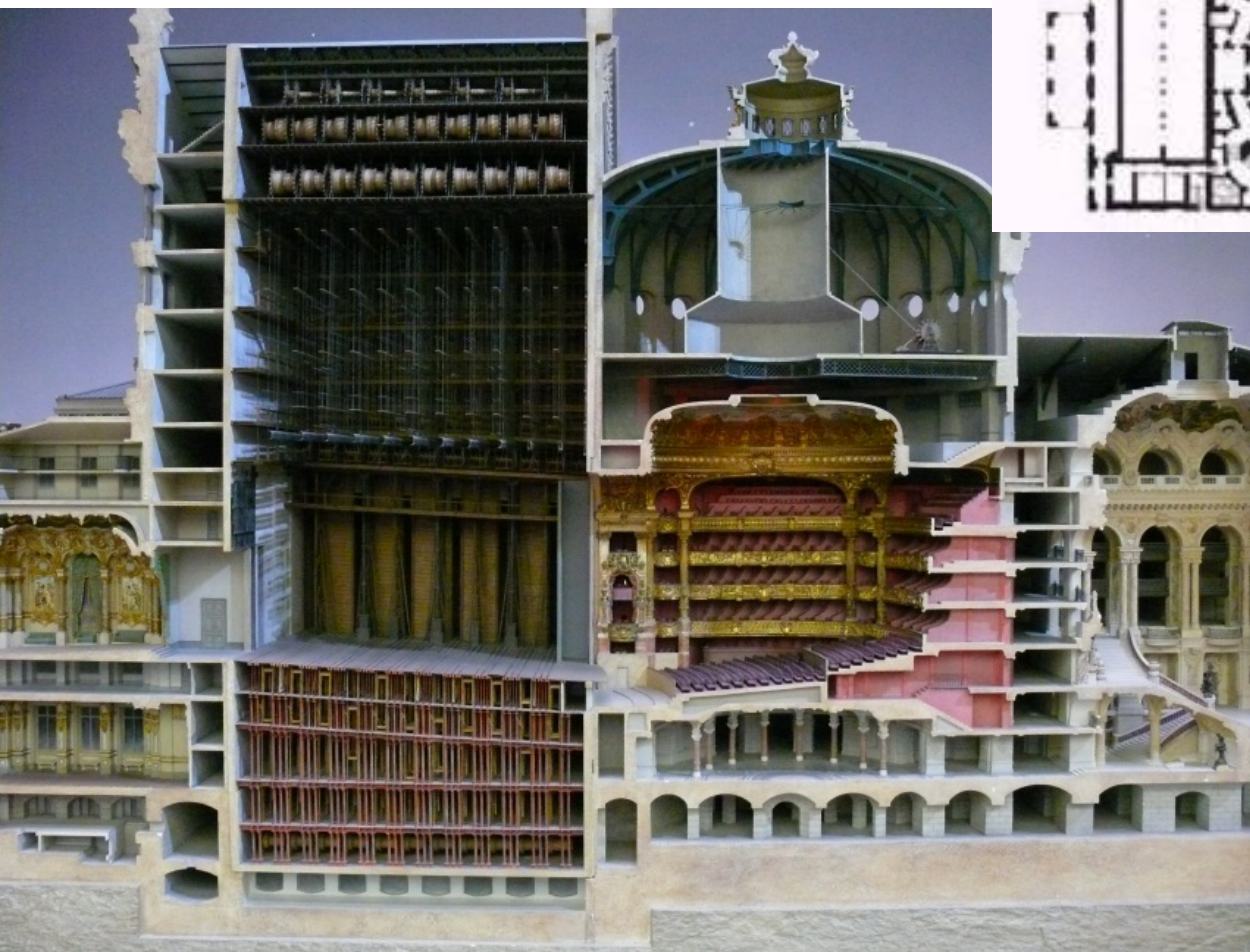
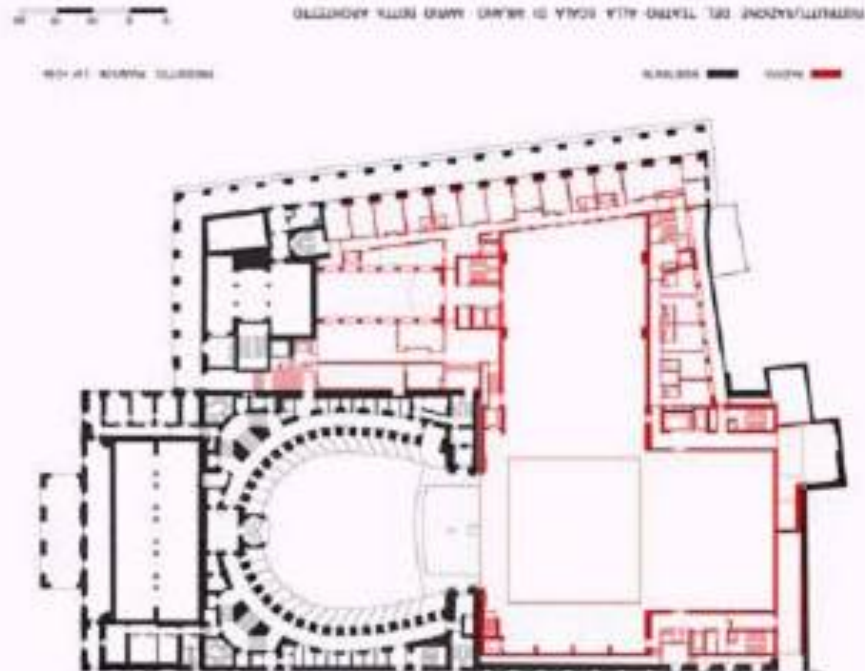
Taller ead PUCV (Sebastián Fingerhuth)



PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO



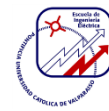
Escenario



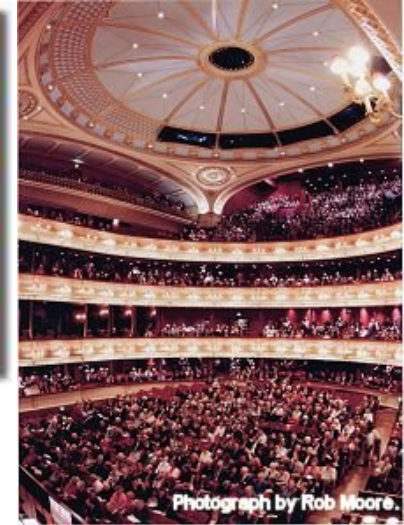
gerhuth)



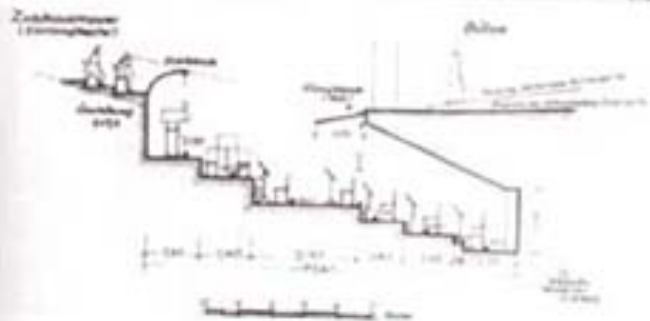
PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE VALPARAISO



Salas de Ópera



Bayreuth (R. Wagner)



- Foso de orquesta cerrado
 - Director abajo (no molestar visibilidad)
 - Doble proscenio

Bayreuth (R. Wagner)



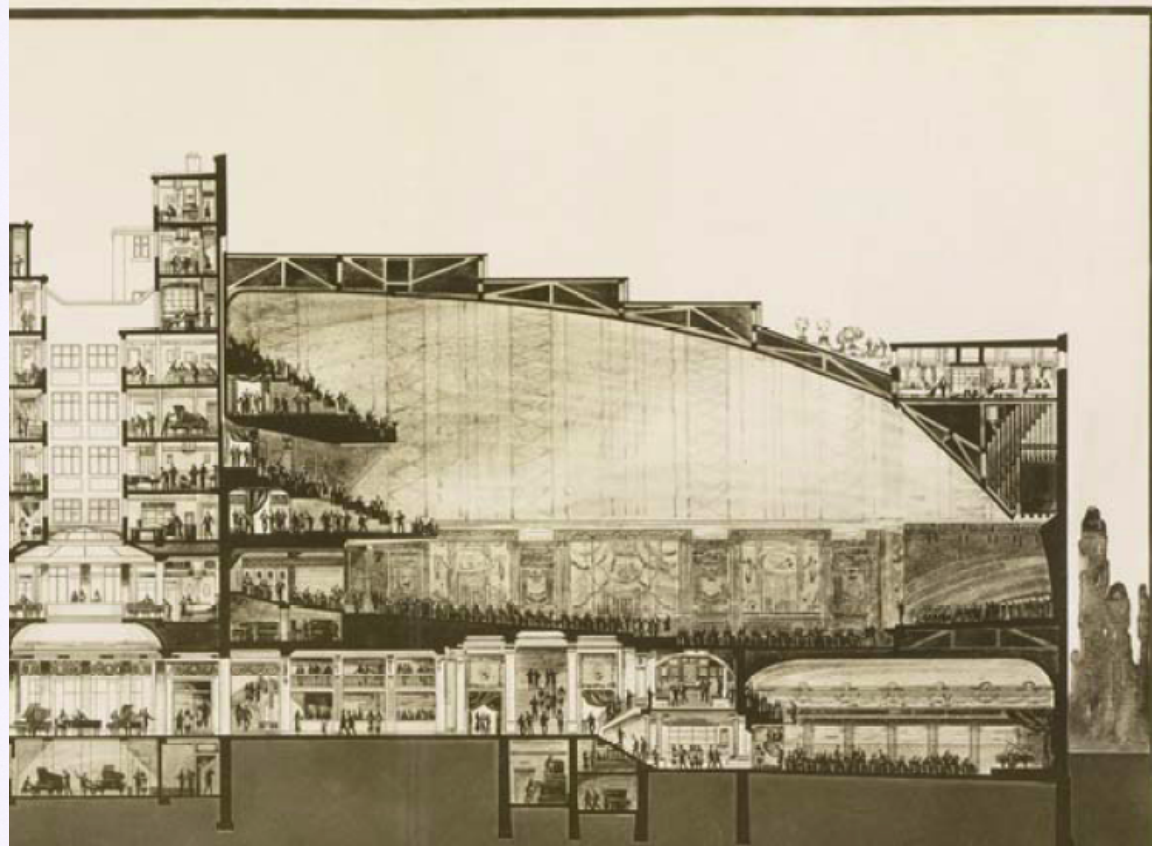
Concertgebouw Amsterdam



Concertgebouw Amsterdam

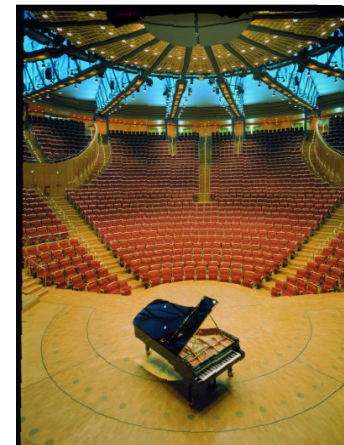


Salle Plevel Paris



Le Nouvel Immeuble PLEYEL 252, Rue du Faub^g S. Honoré à PARIS

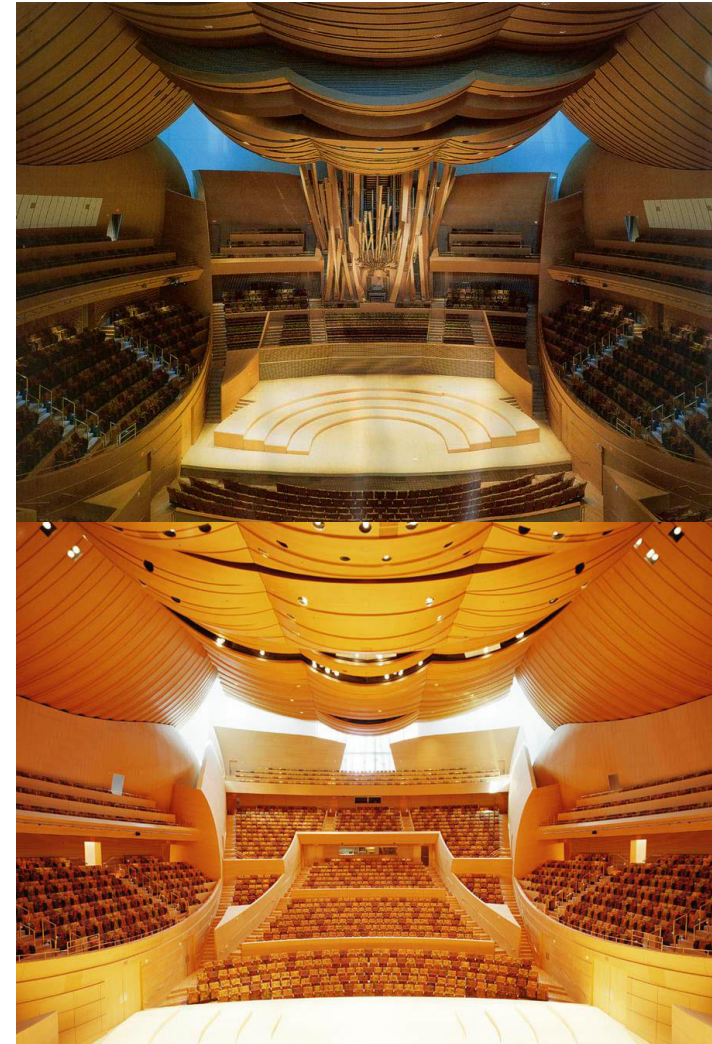
Philharmonie Köln



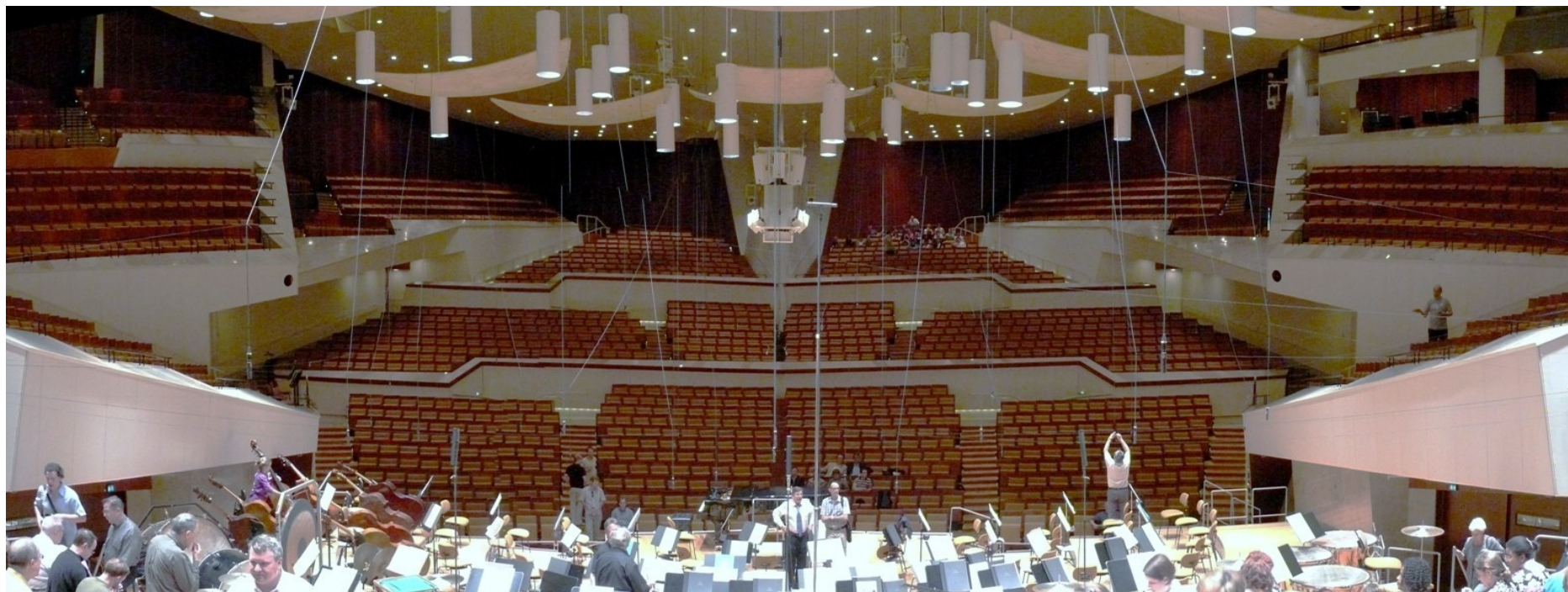
Beethovenhalle Bonn



Raumformen



Berlin Philharmonie



Christchurch Townhall

