

ACÚSTICA EN LA EDIFICACIÓN ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO

Alejandro J. Sansegundo Sierra

Especialista Acústico en la Construcción.

**COLABORADOR DEL C.A.T. EN CURSOS
DEL COAM.**

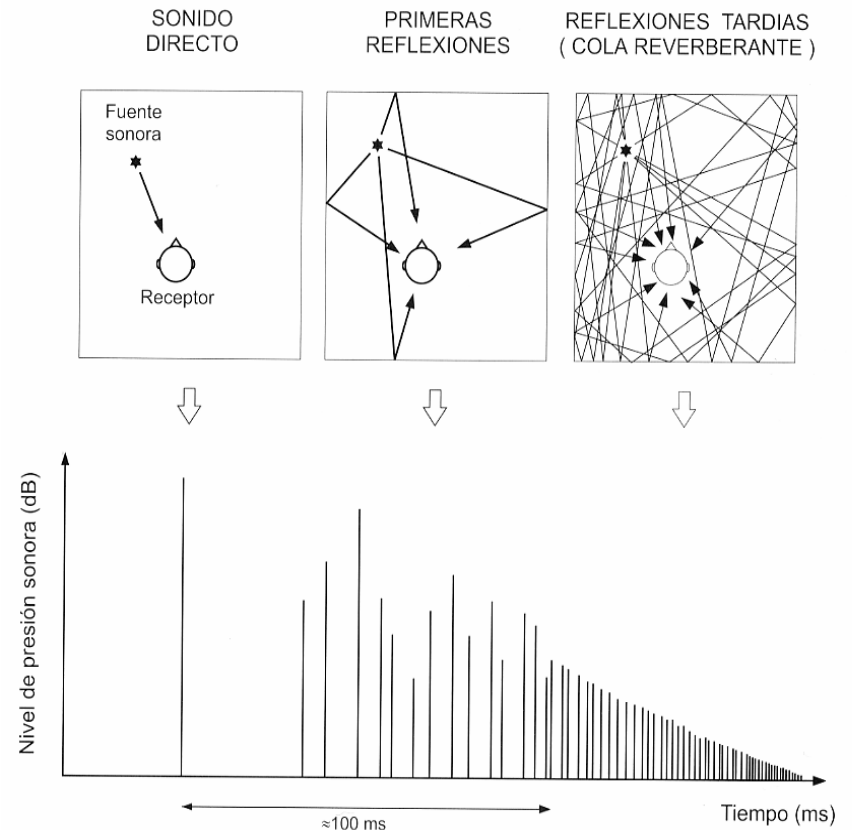
**PONENTE DE CURSOS DE FORMACIÓN PERMANENTE
DEL C.S.C.A.E.**

**Miembro de la SOCIEDAD ESPAÑOLA
DE ACÚSTICA**

www.acusticasansegundo.com

PROPAGACIÓN DEL SONIDO

- Sonido directo (d)
- Sonido reflejado (100ms)
- Primeras reflexiones (orden < 3)



ACÚSTICA GEOMÉTRICA

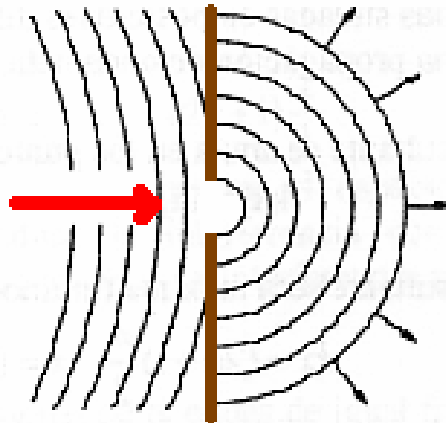
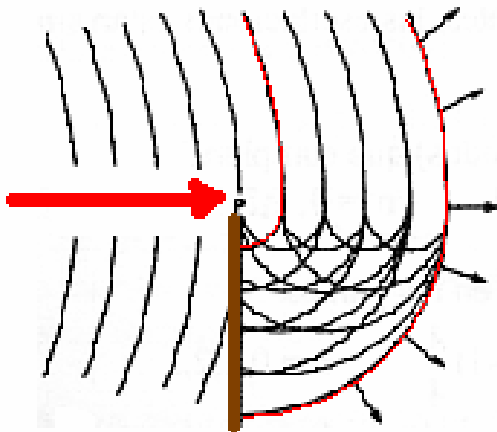
REFLEXIONES ESPECULARES:
(requisitos):

- DIMENSIONES GRANDES RESPECTO A LA LONGITUD DE ONDA
 - SUPERFICIES LISAS Y REFLECTANTES

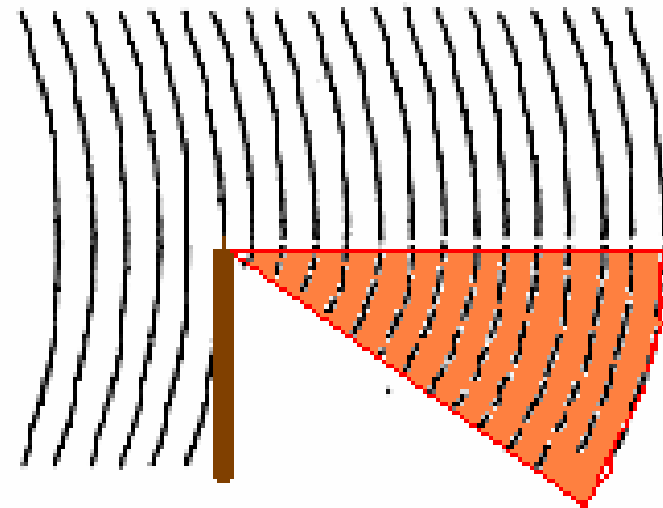
DIFRACCIÓN

Es la curvatura de una onda alrededor de un obstáculo o borde

Difracción bajas
frecuencias



Difracción altas
frecuencias

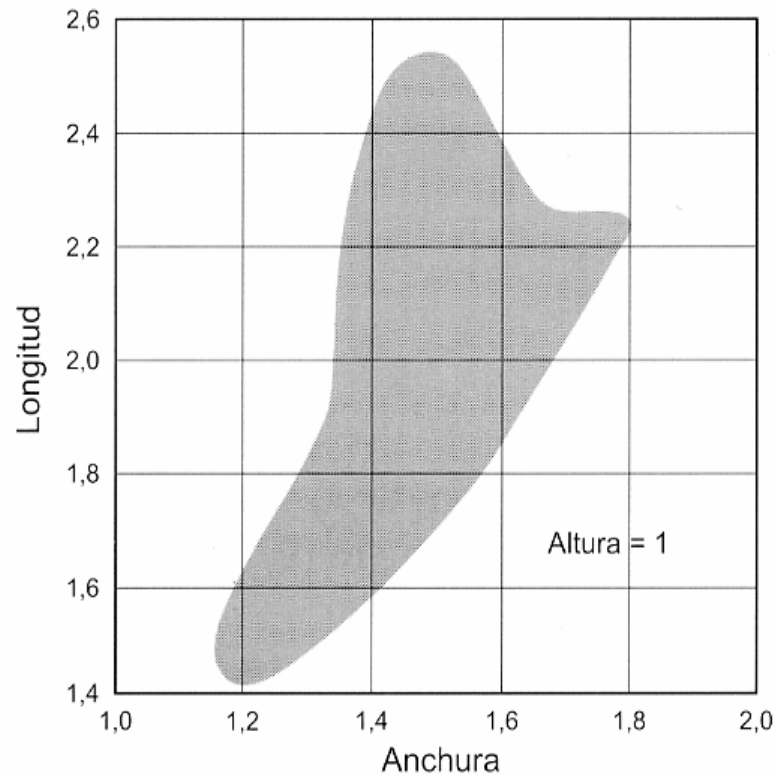


PRIMERAS REFLEXIONES:ECOS

- Diferencias entre sonido directo y reflejado
- Si $< 50\text{ms}$ (17 m) \Rightarrow $>$ Intelegibilidad
- Si $> 50\text{ ms}$ \Rightarrow ECO \Rightarrow $<$ Intelegibilidad
- ECO FLOTANTE

Relación entre las dimensiones: SALA RECTANGULAR

- Distribución uniforme de frecuencias propias



Relaciones recomendadas entre las dimensiones de una sala rectangular

CÁLCULO DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN

$$\bullet \text{ Tr} = 0,163 \times V/A$$

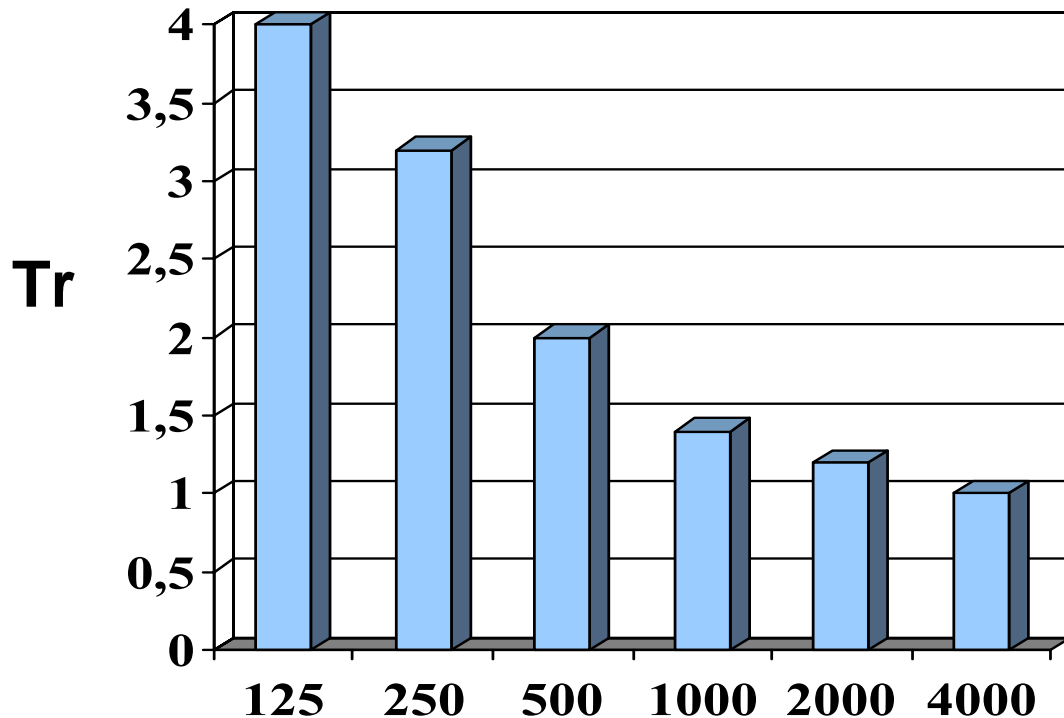
- V = Volumen de la sala (m³)
- A = Área absorbente de la sala
- $A = \alpha \times S_i$
- S_i = El área de cada paramento

COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

- Es una característica de cada material
- Oscila entre 0 y 1
- Máxima absorción = 1
- Mínima absorción = reflexión máxima = 0
- Su valor es diferente para cada frecuencia

CÁLCULO DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN (125 – 4000 Hz)

$$\bullet Tr = 0,163 \times V/A$$



DATOS:

A = 25m

B = 50m

H = 5m

S = 1350 M²

V = 2250 M³

$\alpha = 0 - 1$

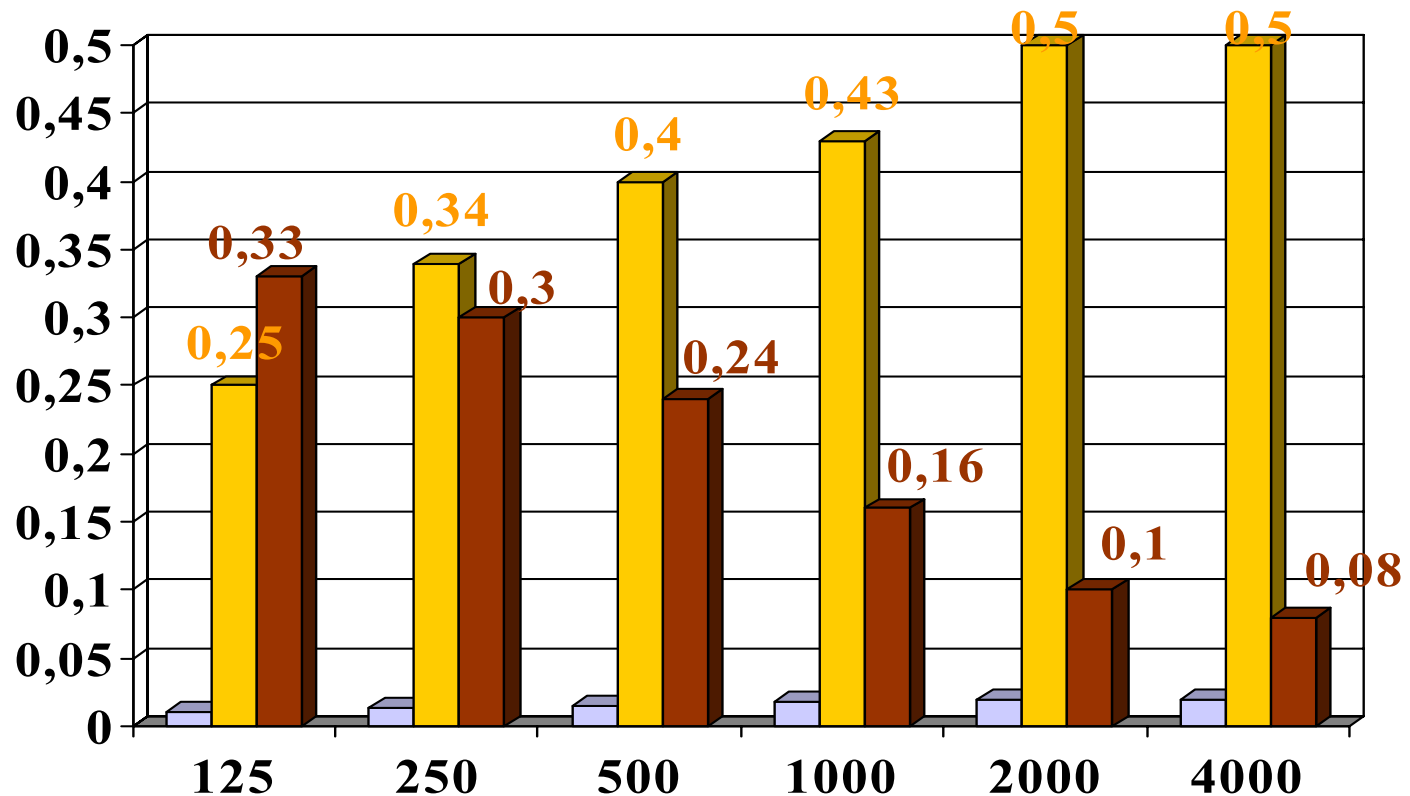
Valores del tiempo de reverberación

$$TR = 0,161 V / A$$

TIPO DE SALA	RT_{mid} , SALA OCUPADA (EN S)
Sala de conferencias	0,7 – 1,0
Cine	1,0 – 1,2
Sala polivalente	1,2 – 1,5
Teatro de ópera	1,2 – 1,5
Sala de conciertos (música de cámara)	1,3 – 1,7
Sala de conciertos (música sinfónica)	1,8 – 2,0
Iglesia/catedral (órgano y canto coral)	2,0 – 3,0
Locutorio de radio	0,2 – 0,4

COEFICIENTE DE ABSORCIÓN por frecuencias.

- CADA MATERIAL CON SUS COEFICIENTES DE ABSORCIÓN



Coef. Absorción de materiales

α

Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Hormigón	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04
Ladrillo enlucido	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03

CONTROL DEL TR

$$Tr = 0,16 \times V / \Sigma A$$

- DISMINUYENDO EL VOLUMEN
- INCREMENTANDO LA ABSORCIÓN

TABIQUE MOVIL = VARIACIÓN DEL VOLUMEN



Absorción del aire

m = const. atenuación sonido

$$Tr = 0,16 \times V / (\Sigma A + 4mV)$$

En recintos grandes

- Para frecuencia > 2000 Hz
- Con humedades relativas del 10 al 30%
- $4m \Rightarrow$ sabins/m³

Influencia absorción del aire en función del volumen

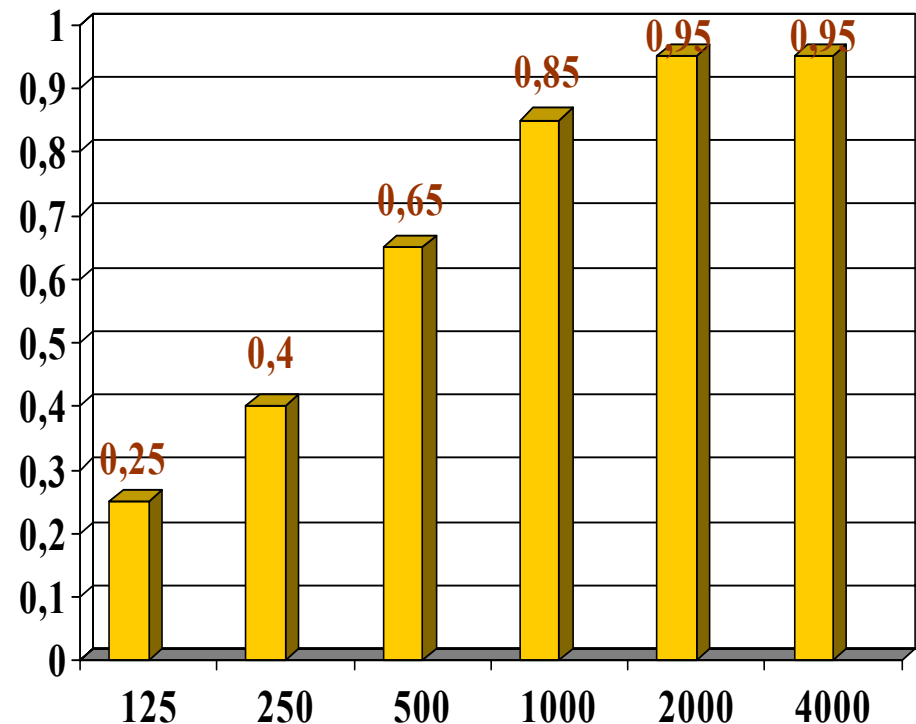
m ³	DATO	125	250	500	1000	2000	4000
V= 200	4 *m *V=	0,0736	0,2208	0,516	0,9208	1,8424	5,1576
V= 638	4 *m *V=	0,234738	0,70421	1,6457	2,93678	5,8761	16,4495
V= 5000	4 *m *V=	1,84	5,52	12,9	23,02	46,06	128,94

ELEMENTOS DE DISEÑO INFLUENCIA EN EL CÁLCULO

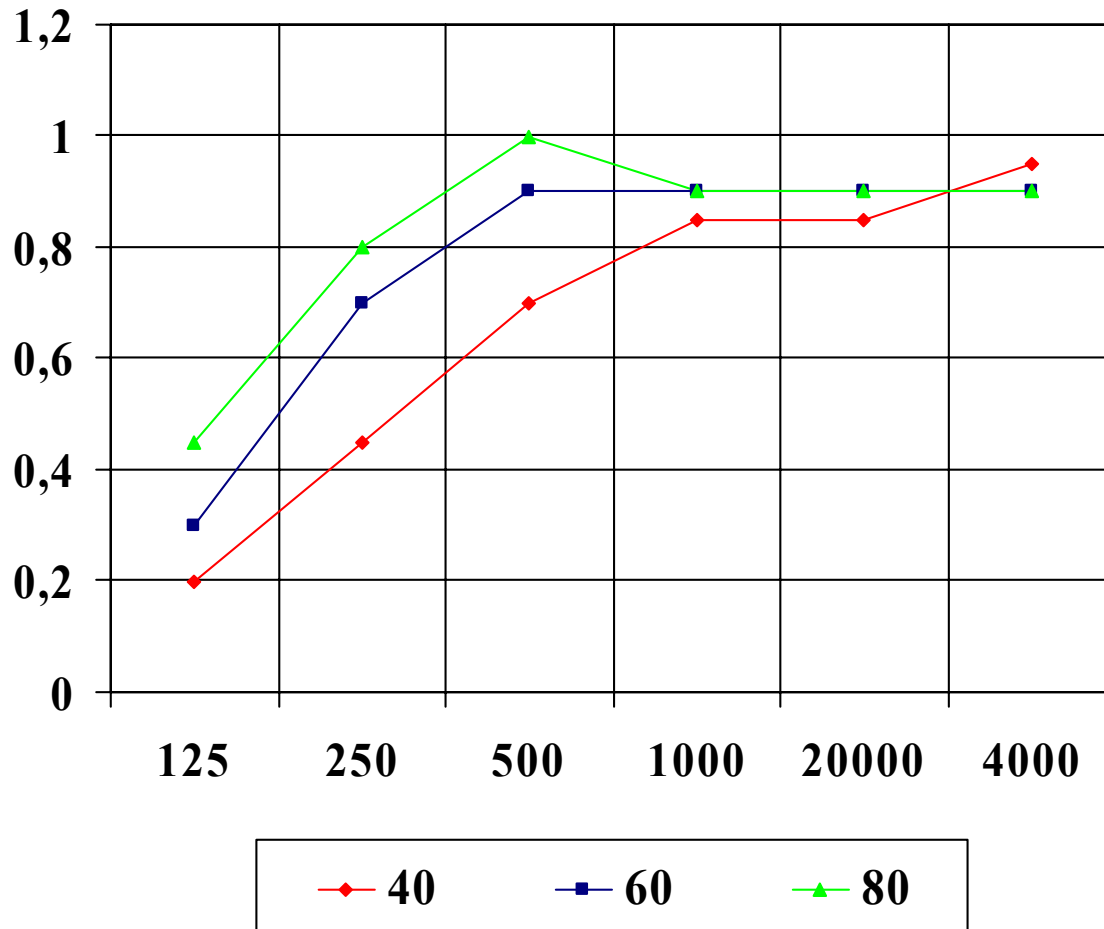
- **SUPERFICIES VIBRANTES**
- **ABSORBENTES POROSOS**
 - ESPESOR DEL MATERIAL
 - POROSIDAD
 - DENSIDAD
 - DISTANCIA
 - REVESTIMIENTOS
- **RESONADORES**
 - CÁMARA
 - MASA DEL MATERIAL
 - ABSORBENTE INTERIOR
- **PERFORACIONES Y RANURAS**
- **PERSONAS**

ABSORBENTES POROSOS

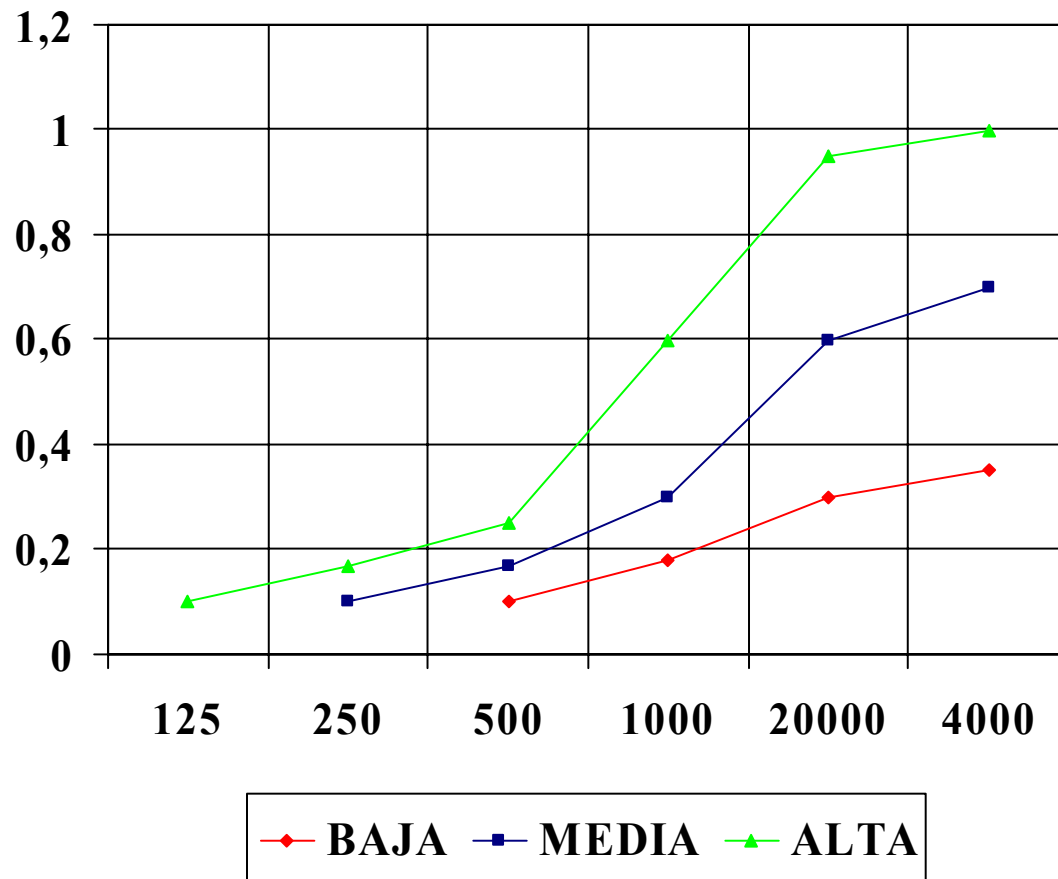
- LANAS MINERALES
- ESPUMAS DE RESINA DE MELAMINA
- ESPUMAS DE POLIURETANO



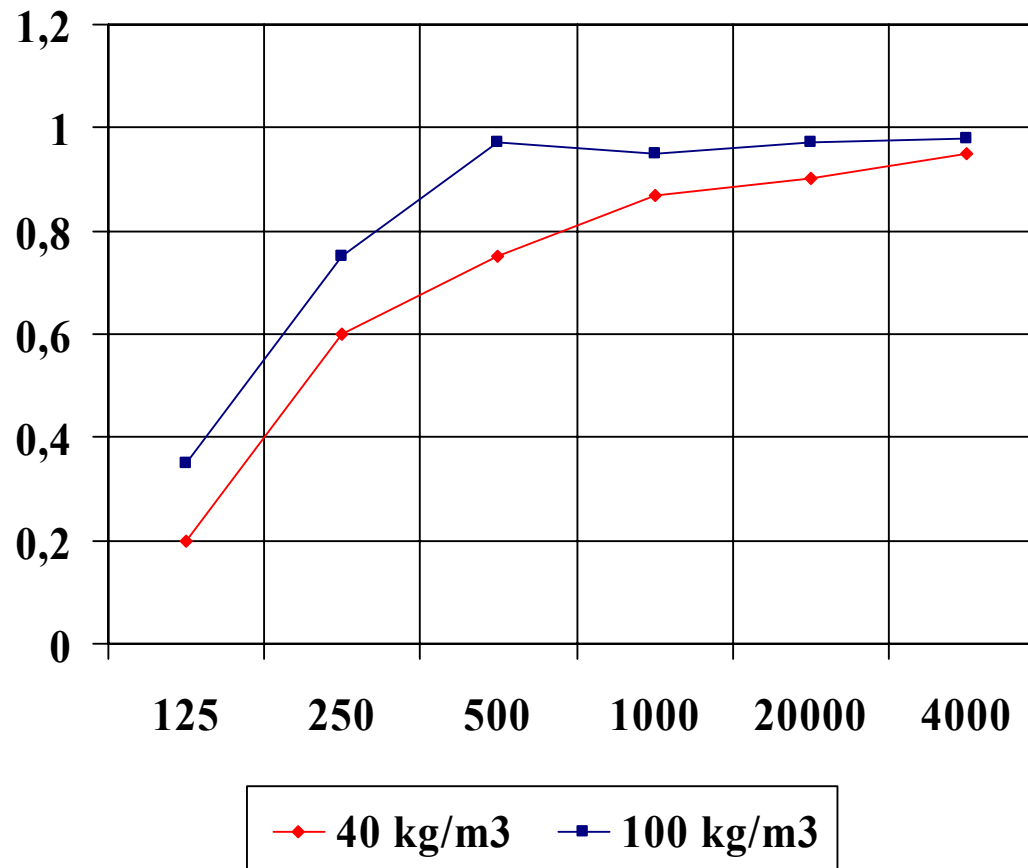
α función del espesor del material



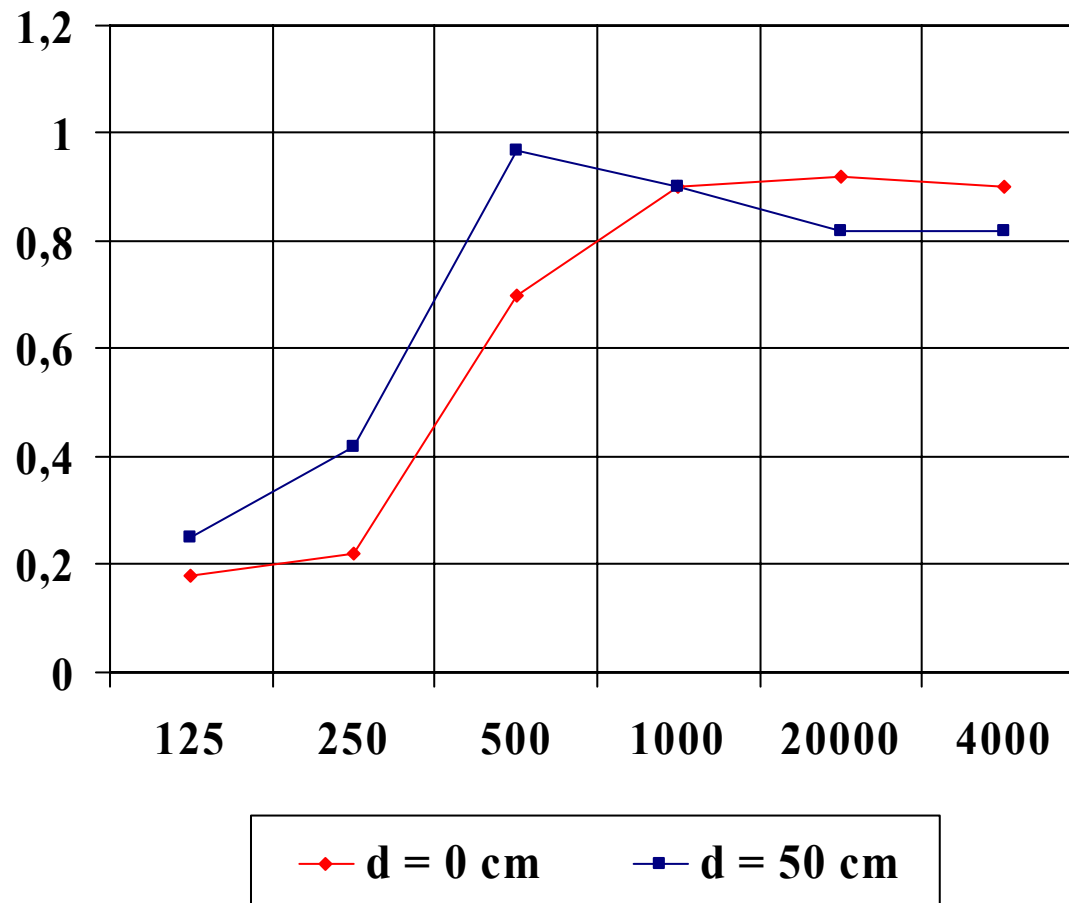
α función de la POROSIDAD



α función de la DENSIDAD



α función de la DISTANCIA a la superficie rígida



REVESTIMIENTOS DE MATERIALES ABSORBENTES

- Velo de fibra de vidrio
- Lámina de plástico, tejido o de papel

- Panel perforado
- Panel ranurado
- Ladrillo perforado → RESONADORES
- Madera en listones
- Panel liso

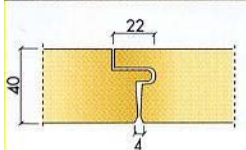
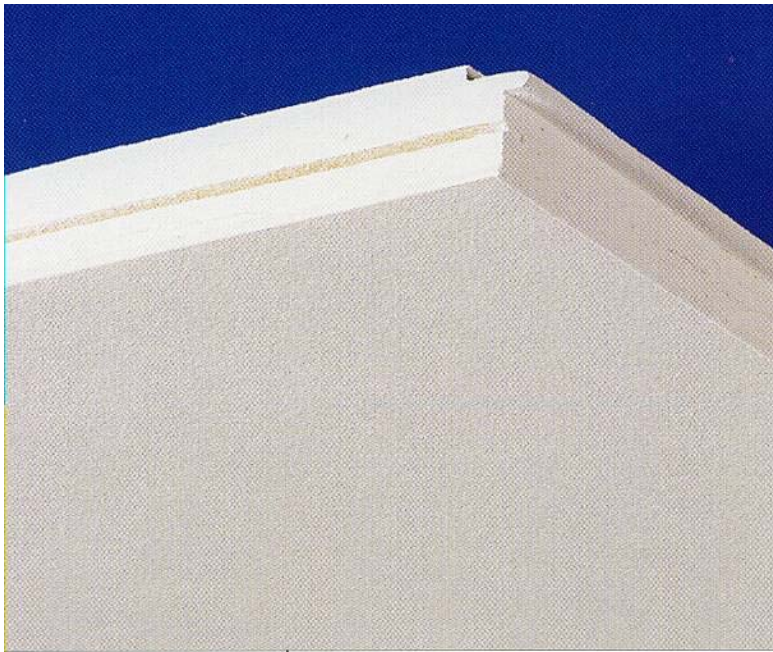
RESTAURANTE



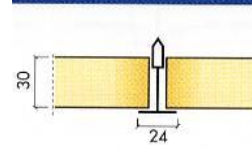
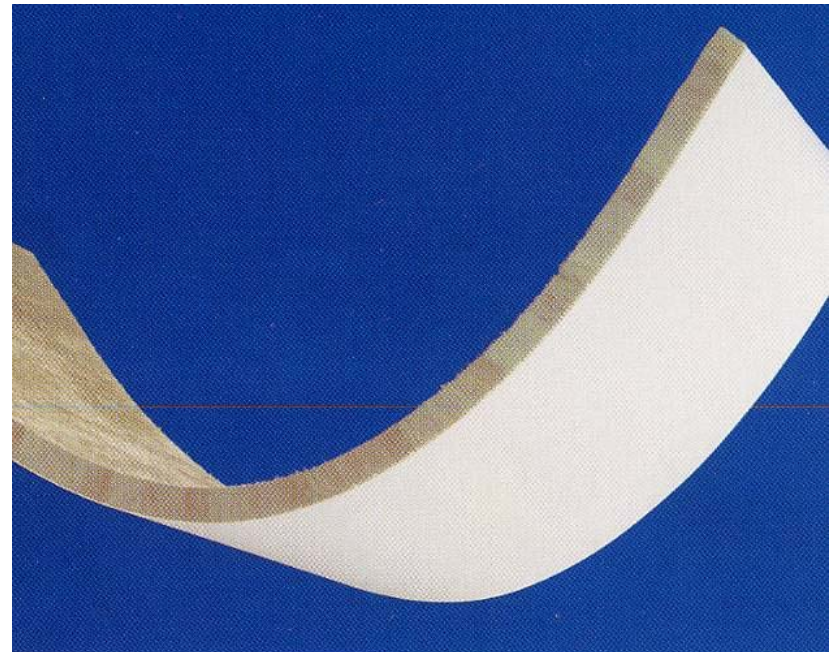
SALA CONFERENCIAS



PIEZAS SINGULARES

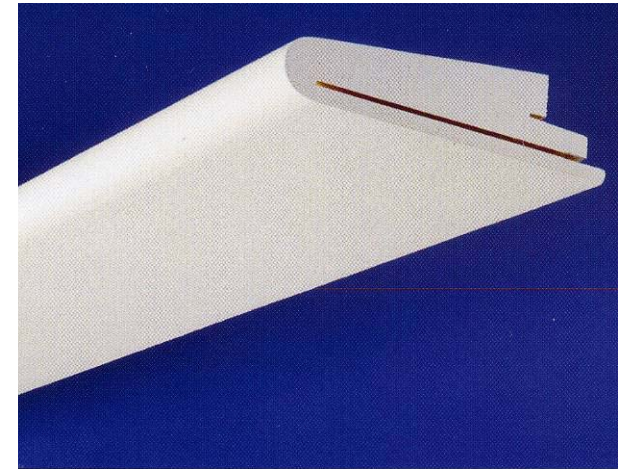
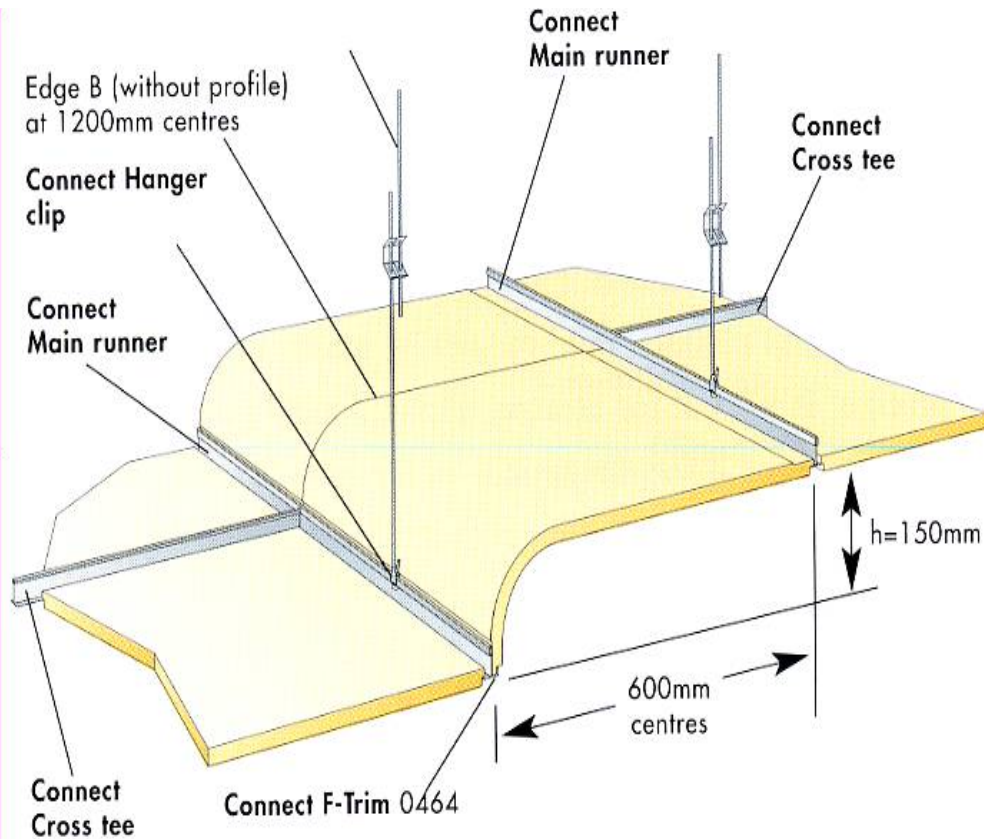


alpha beta gamma

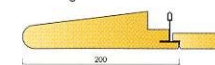


White	Light grey	Medium grey	Dark grey	Yellow	Red	Green	Blue
010	965	966	967	364	263	563	463

PIEZAS SINGULARES



cus Wing Down D2



Focus Wing Down D1

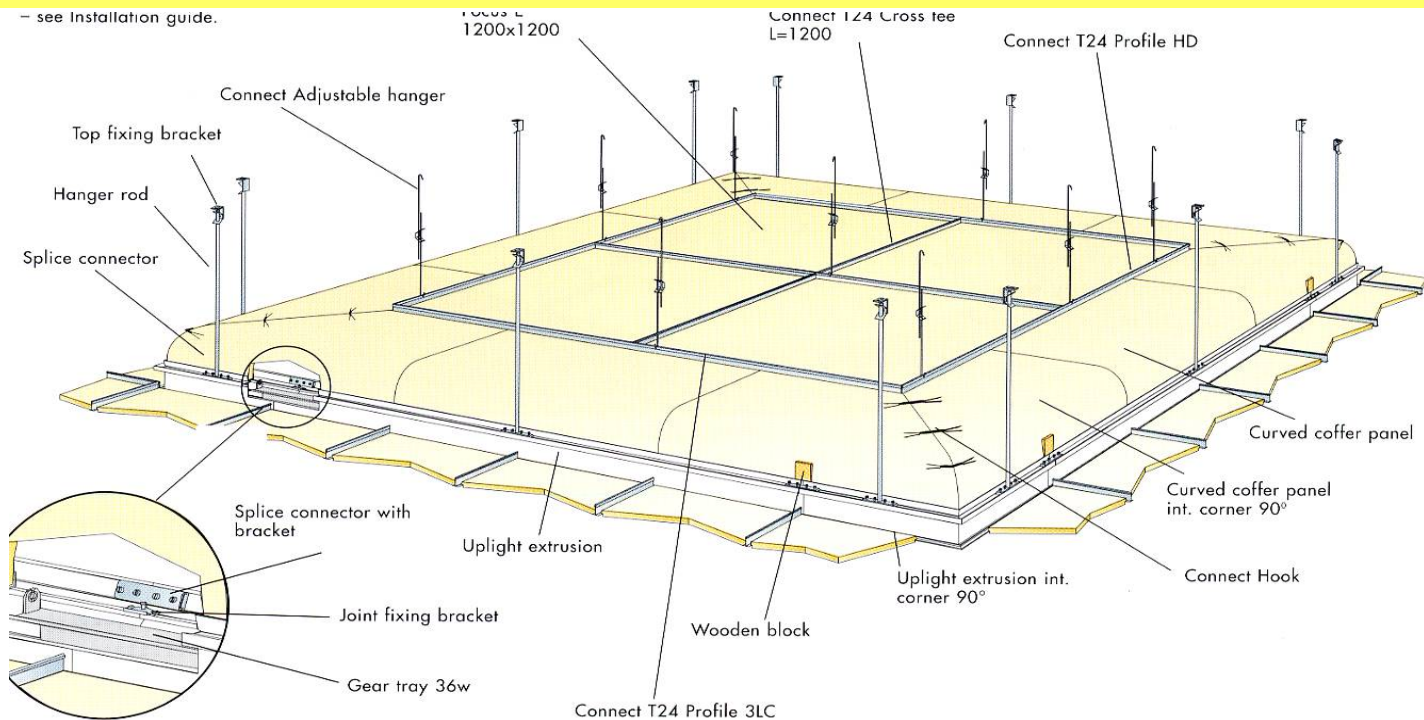


Blanco

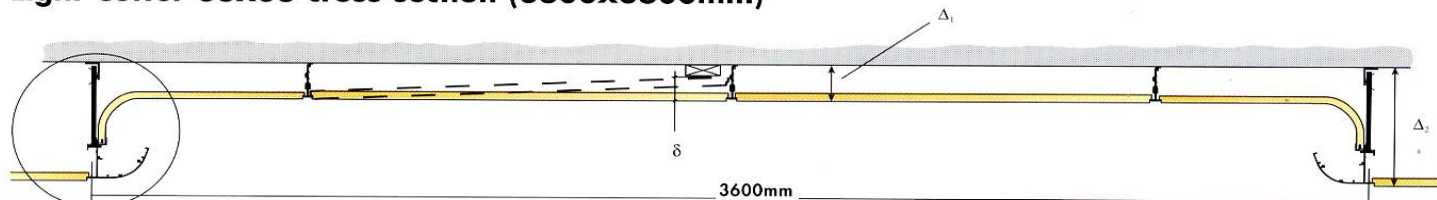


DISEÑO SINGULAR

- see Installation guide.

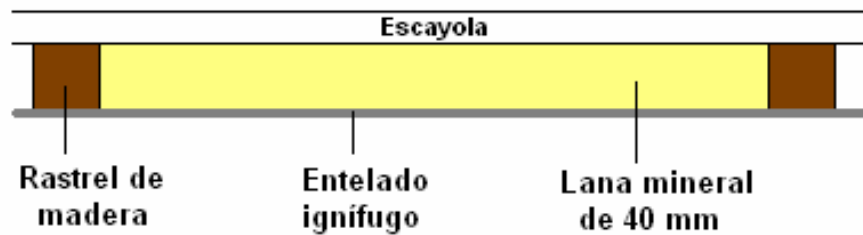


Light Coffer 36x36 cross section (3600x3600mm)



FORMAS GEOMÉTRICAS

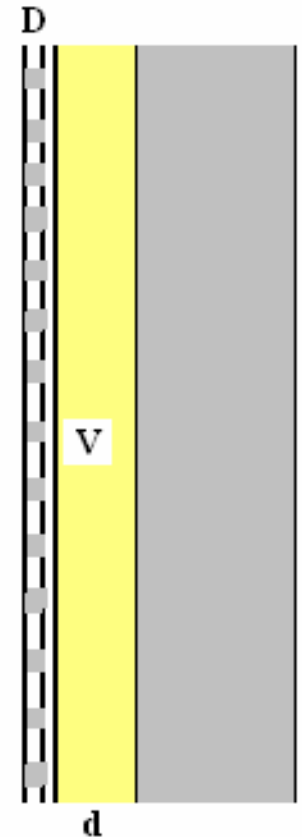
SALA REUNIONES



RESONADOR MÚLTIPLE

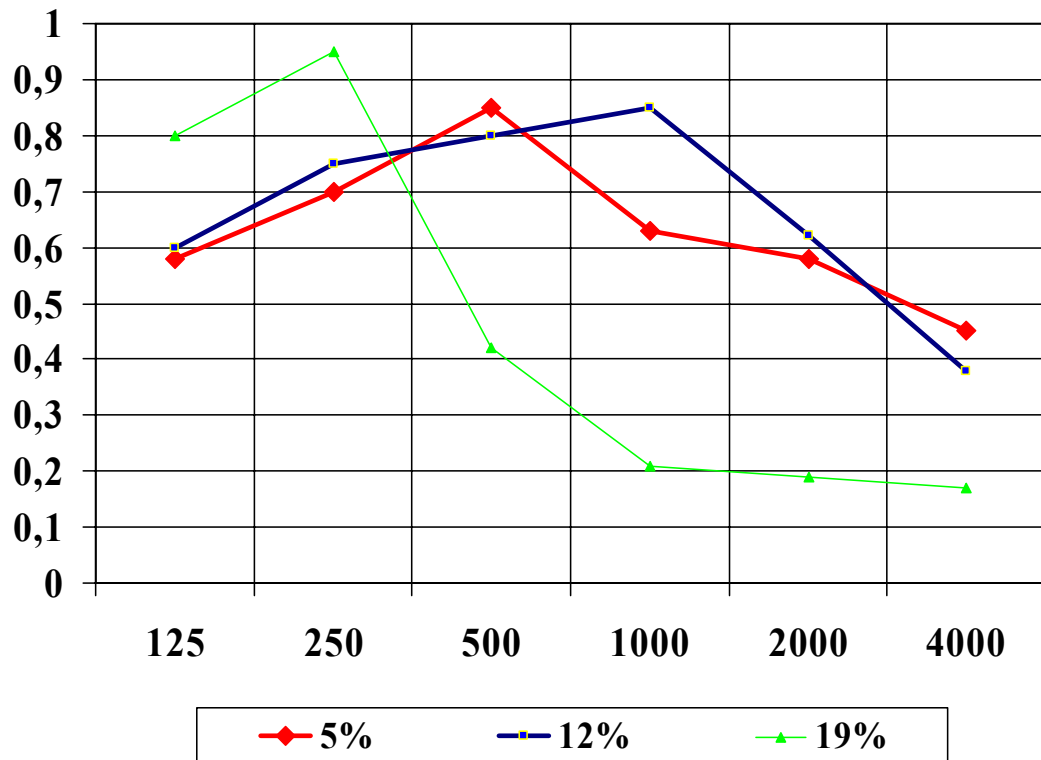
$$F_o = 5480 \times (S / D \cdot S_p \cdot d)^{1/2}$$

- S = Suma de las secciones transversales de los orificios.
- D = Espesor panel
- V = Volumen de la cavidad = $S_p \cdot d$
- S_p = Superficie panel
- d = Distancia entre panel y pared
- S / S_p porcentaje de perforación



PANEL MADERA PERFORADO

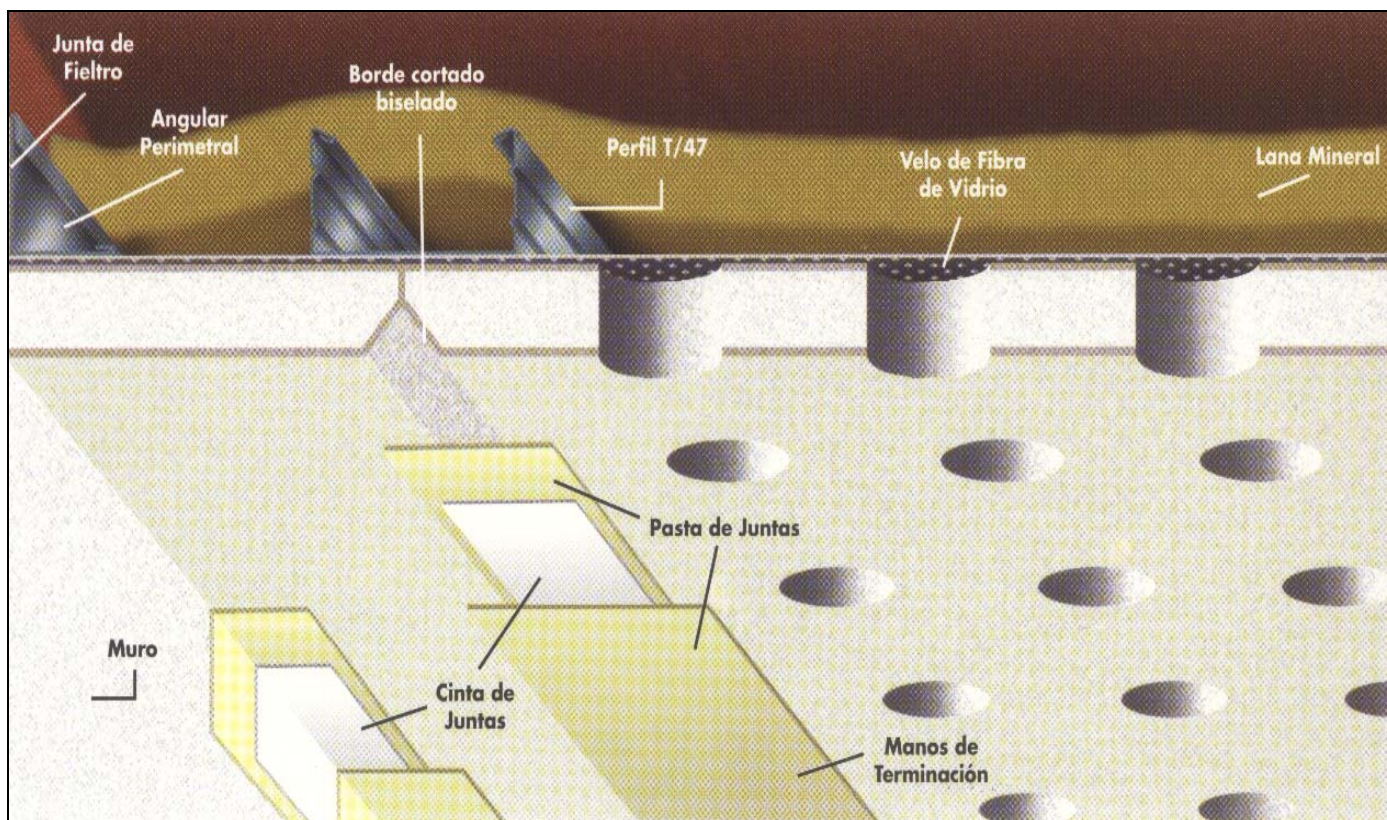
$e=17$ mm; lana de 60mm; $d=100$ mm



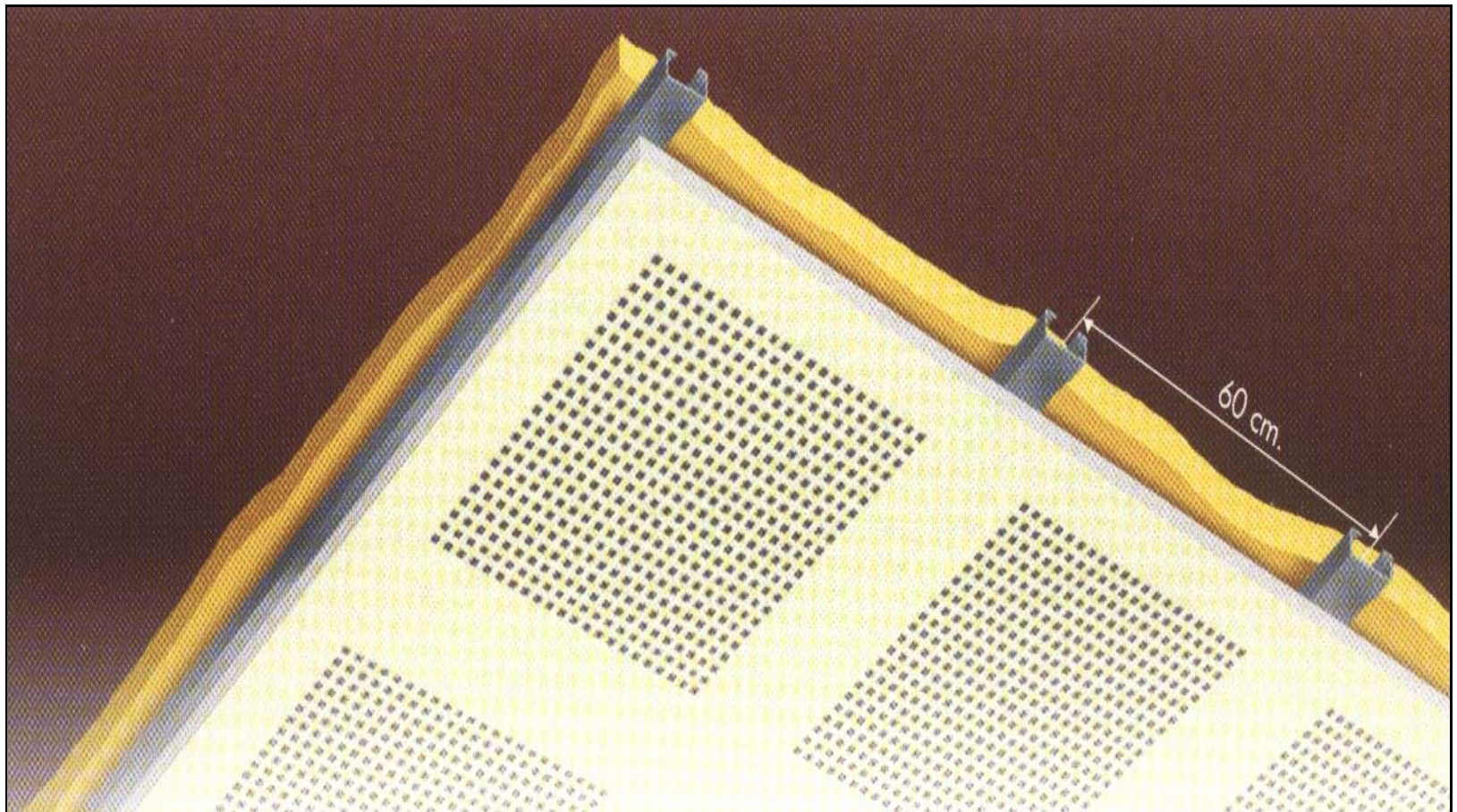
- A mayor porcentaje de perforación, f_0 aumenta

SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO

PLACAS DE YESO LAMINADO PERFORADAS



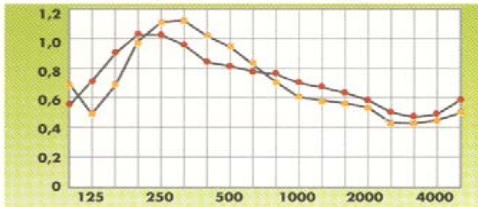
PLACA DE YESO LAMINADO PERFORADA



YESO LAMINADO PERFORADO

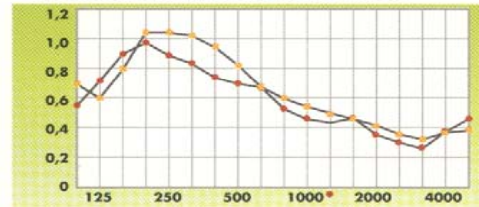
PV. CSTB nº713-960-0084

PLADUR®FON R15 n°1 (Pf=16,1%)



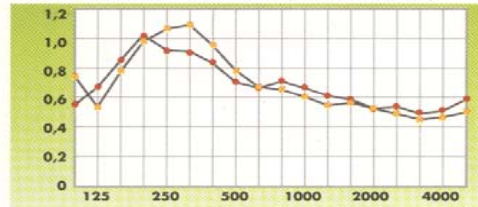
Frecuencias (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	
α _w (plénium 100mm)	0,63	1,09	0,94	0,65	0,53	0,47	α _w = 0,60 LM
α _w (plénium 300mm)	0,72	1,01	0,82	0,72	0,56	0,50	α _w = 0,60 LM

PLADUR®FON R15 n° 8 (Pf = 11%)



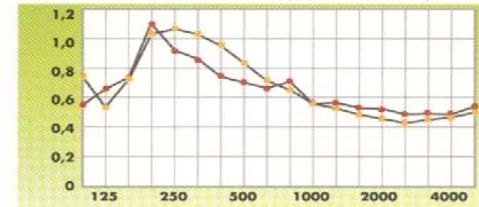
Frecuencias (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	
α _w (plénium 100mm)	0,71	1,03	0,83	0,54	0,43	0,39	α _w = 0,50 LM
α _w (plénium 300mm)	0,71	0,93	0,73	0,56	0,42	0,39	α _w = 0,50 LM

PLADUR®FON R12 n° 2 (Pf = 13,9%)



Frecuencias (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	
α _w (plénium 100mm)	0,69	1,04	0,87	0,62	0,51	0,48	α _w = 0,60 LM
α _w (plénium 300mm)	0,67	0,96	0,81	0,66	0,53	0,49	α _w = 0,60 L

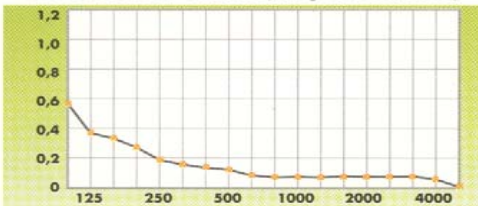
PLADUR®FON C10 n° 8 (Pf = 13,4%)



Frecuencias (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	
α _w (plénium 100mm)	0,68	1,02	0,84	0,58	0,47	0,46	α _w = 0,56 LM
α _w (plénium 300mm)	0,62	0,96	0,72	0,60	0,49	0,46	α _w = 0,56 L

PV. CSTB nº713-950-0052

PLADUR® N BA 13 MM (sin perforaciones)

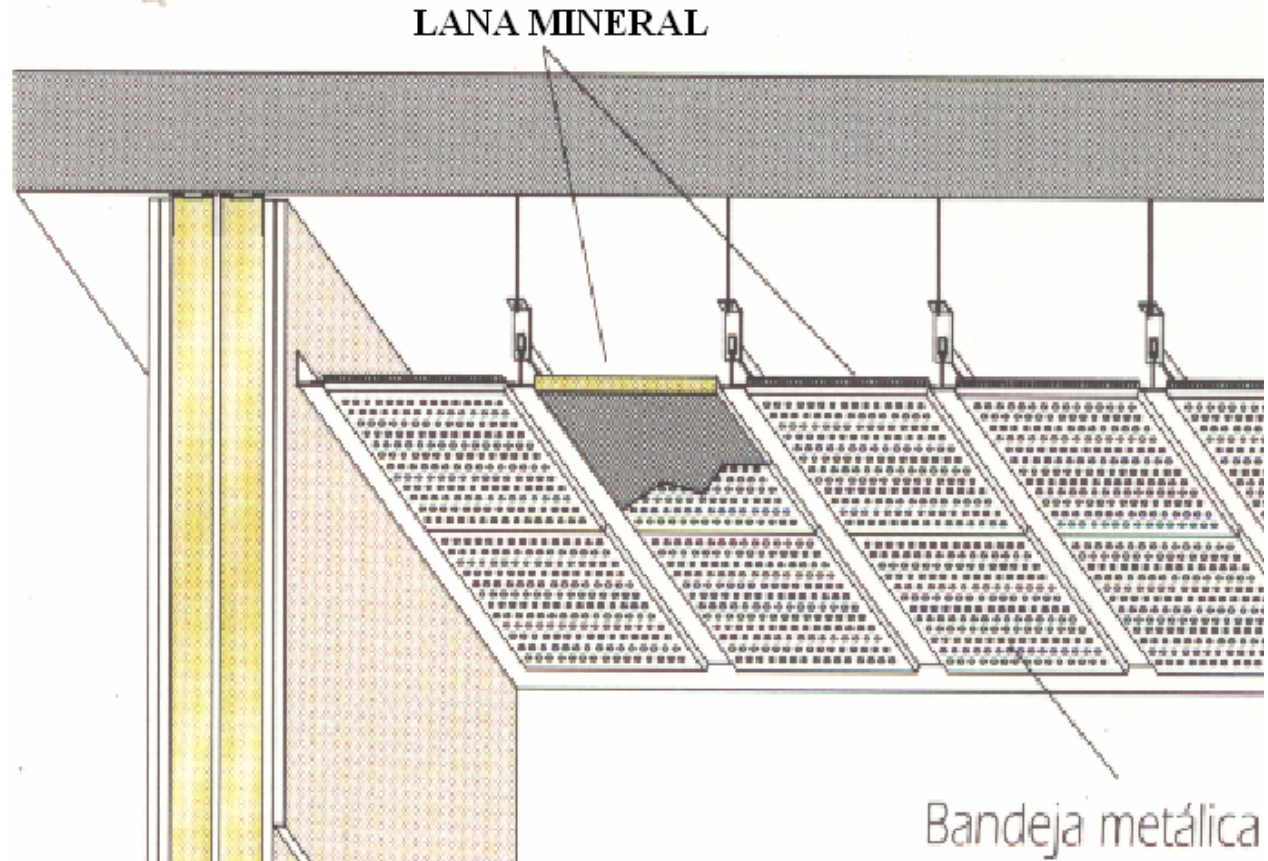
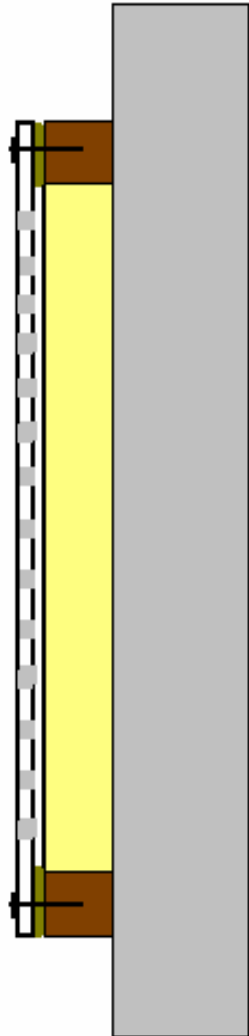


Frecuencias (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	
α _w (plénium 100mm)	0,42	0,21	0,10	0,06	0,05	0,02	α _w = 0,10 L

NOTAS:

- Pf= Porcentaje de perforación
- Los resultados reflejados de las placas **PLADUR®FON** corresponden al ensayo PV.CSTB/n° 713-960.0084
- Los resultados reflejados de las placas **PLADUR® N** corresponden al ensayo PV.CSTB/n° 713-950.0052

CHAPA PERFORADA: TECHO

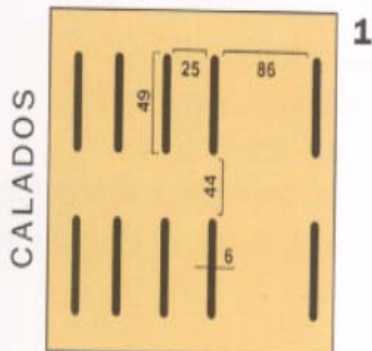


DISEÑO DE TECHO



MADERA RANURADA

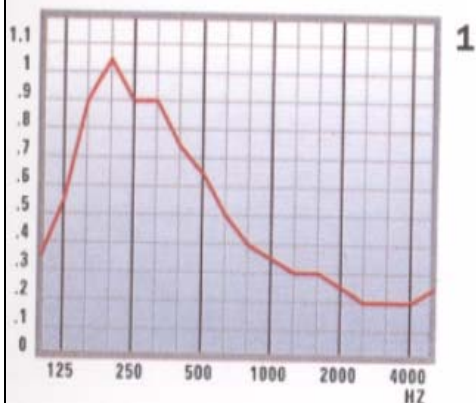
VENUS R-41



1

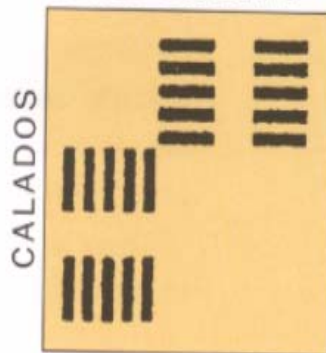
Perforación

Ranuras: Anchura 6 mm
 Longitud 49 mm
 Distancia entre centros 25 mm
 Separación 44 mm



1

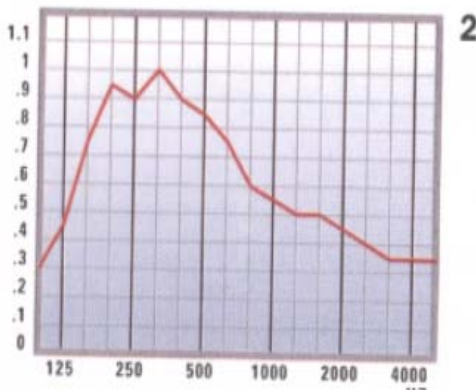
VENUS CUADRI C



2

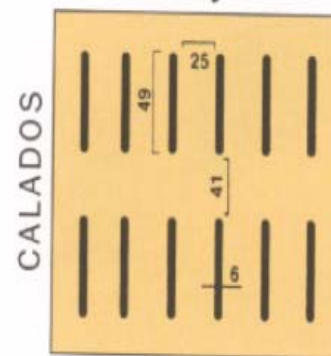
Perforación

Ranuras: Anchura 6 mm
 Longitud 44 mm
 Distancia entre centros 50 mm
 Separación 20 mm



2

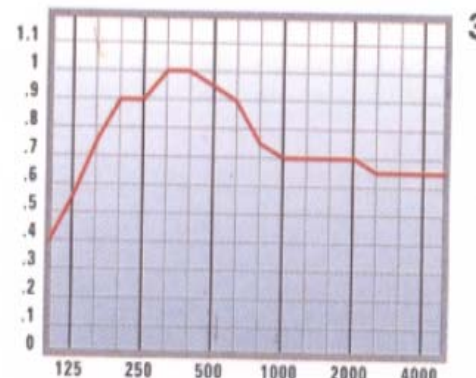
JUPITES C y R



3

Perforación

Ranuras: Anchura 8 mm
 Longitud 49 mm
 Distancia entre centros 25 mm
 Separación 25 mm



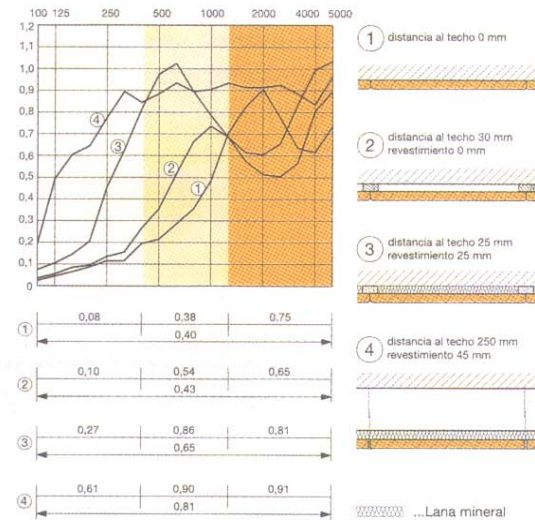
3

PUERTAS

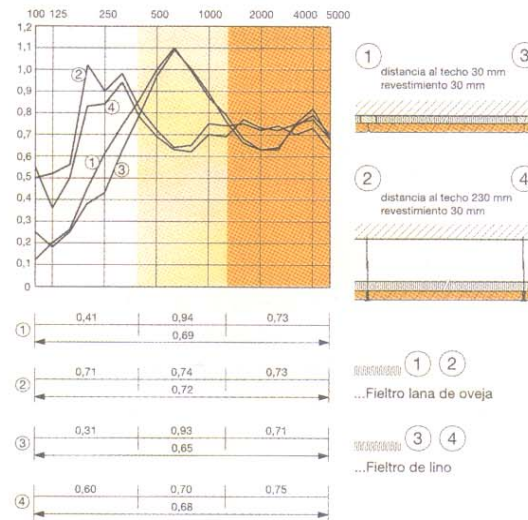


VIRUTA DE MADERA + CEMENTO

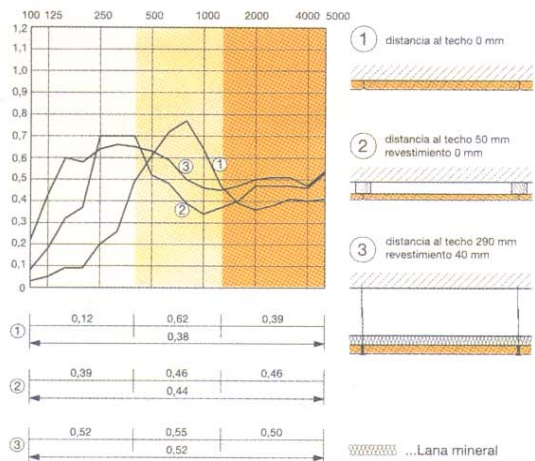
Herakustik F, espesor 25 mm



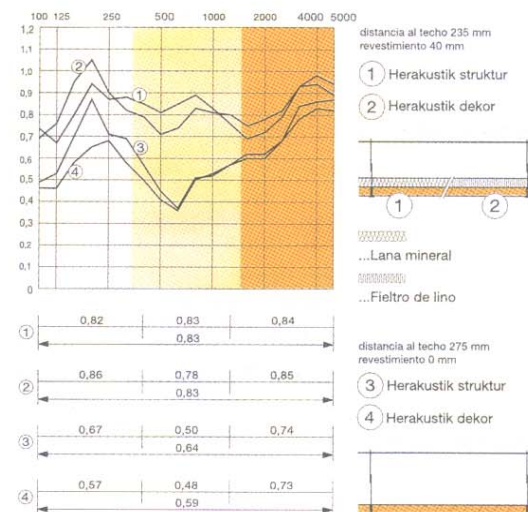
Herakustik F, espesor 25 mm Lana de oveja y lino



Travertin micro, espesor 25 mm



Herakustik dekor, espesor 25 mm Herakustik struktur, espesor 25 mm



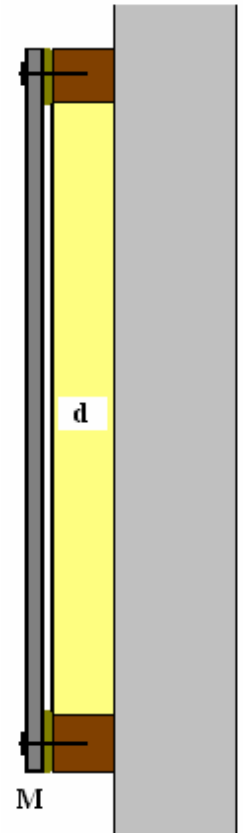
CONFORT ACÚSTICO EN RESTAURANTE



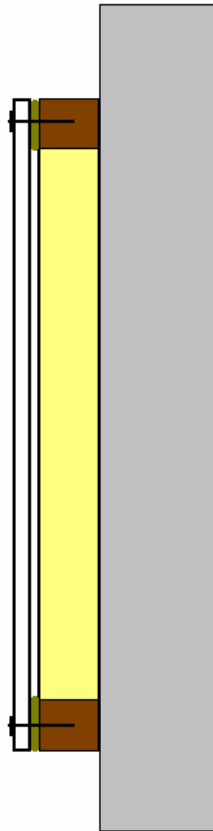
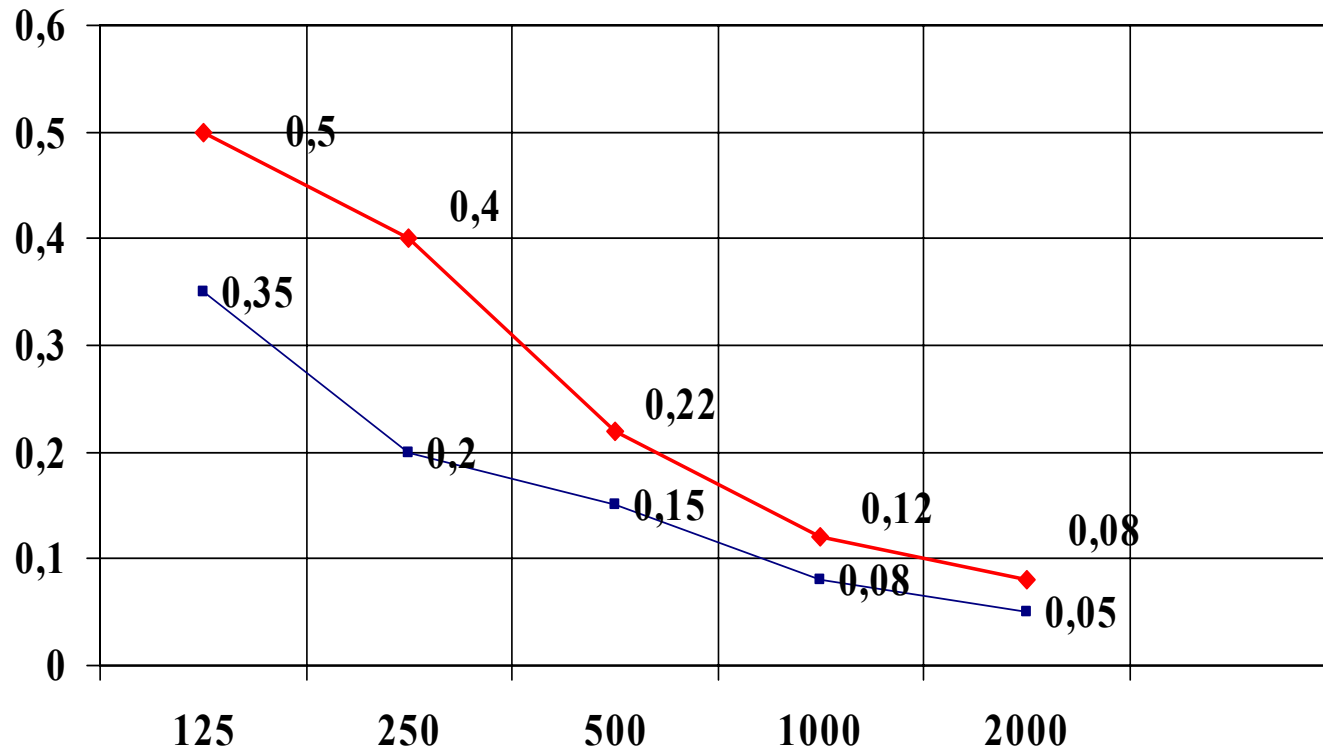
RESONADOR DE MEMBRANA

$$F_o = 600 / \sqrt{(Md)}$$

- M del panel (kg/m²)
- D = distancia de separación
- Espesor < 20 mm
- Separación bastidor > 80 cm



Tr PANEL LISO DE MADERA: RESONADOR DE MEMBRANA



• Masa = 2 kg/m²

d = 4,5 cm

FIBRA DE VIDRIO MOLDEADA



ABORCIÓN DE LAS PERSONAS

$$A_p = n \times A_{p_i}$$

$$A_{tot} = \sum S_i \times \alpha_i + A_p$$

Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Persona de pie sin abrigo	0,12	0,24	0,59	0,98	1,13	1,12
Persona de pie con abrigo	0,17	0,41	0,91	1,3	1,43	1,47

ABSORCIÓN SILLAS

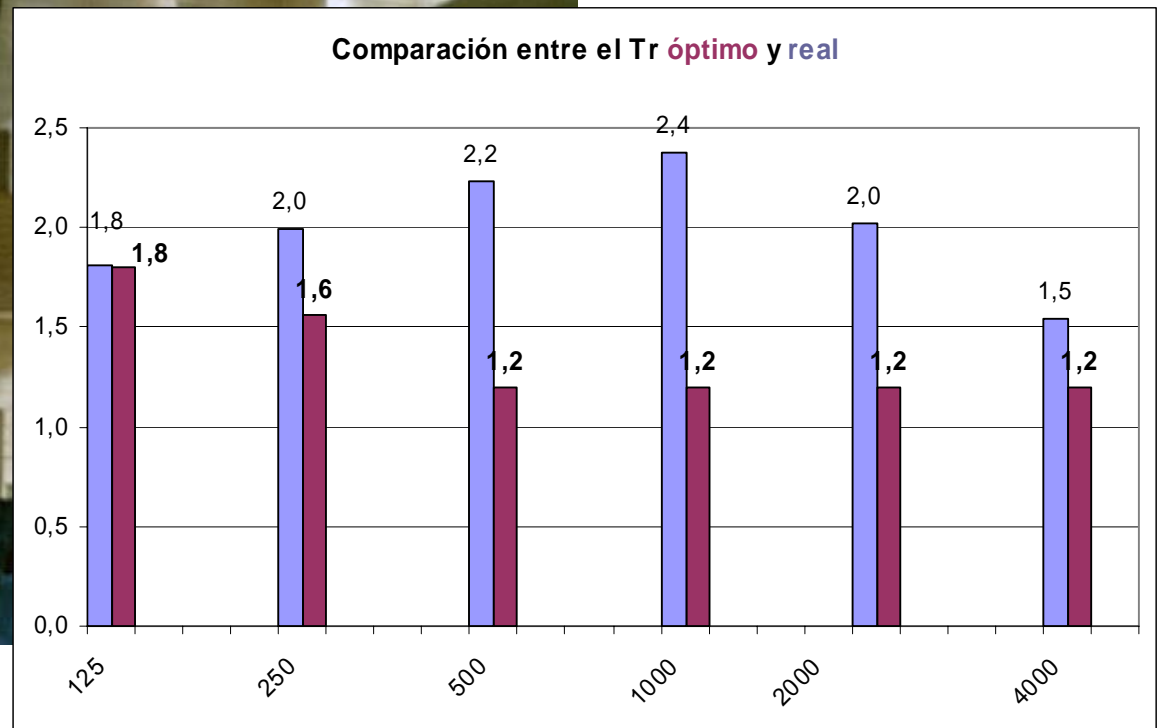
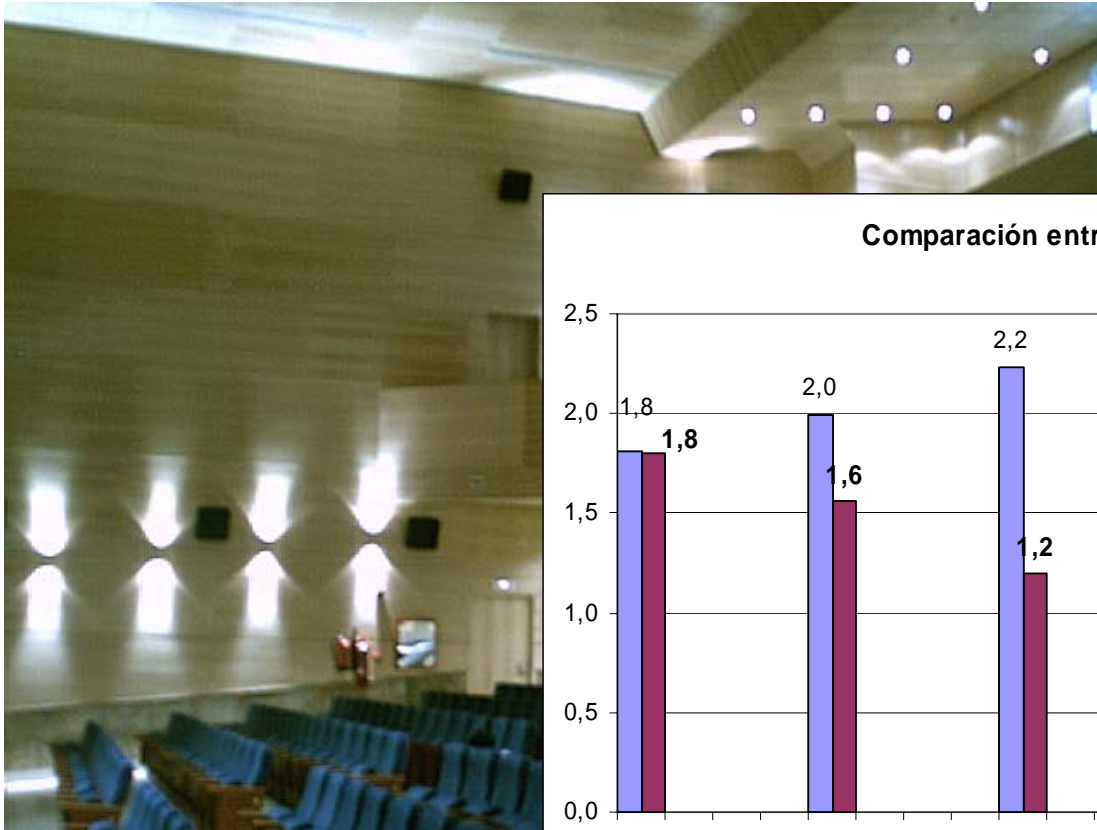
ABSORCIÓN SILLA VACIA SEGÚN % TAPIZADO (Beranek 1.996)

Hz	125	250	500	1000	2000	4000
BAJO	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
MEDIO	0,56	0,64	0,7	0,72	0,68	0,62
ALTO	0,72	0,79	0,83	0,84	0,83	0,79

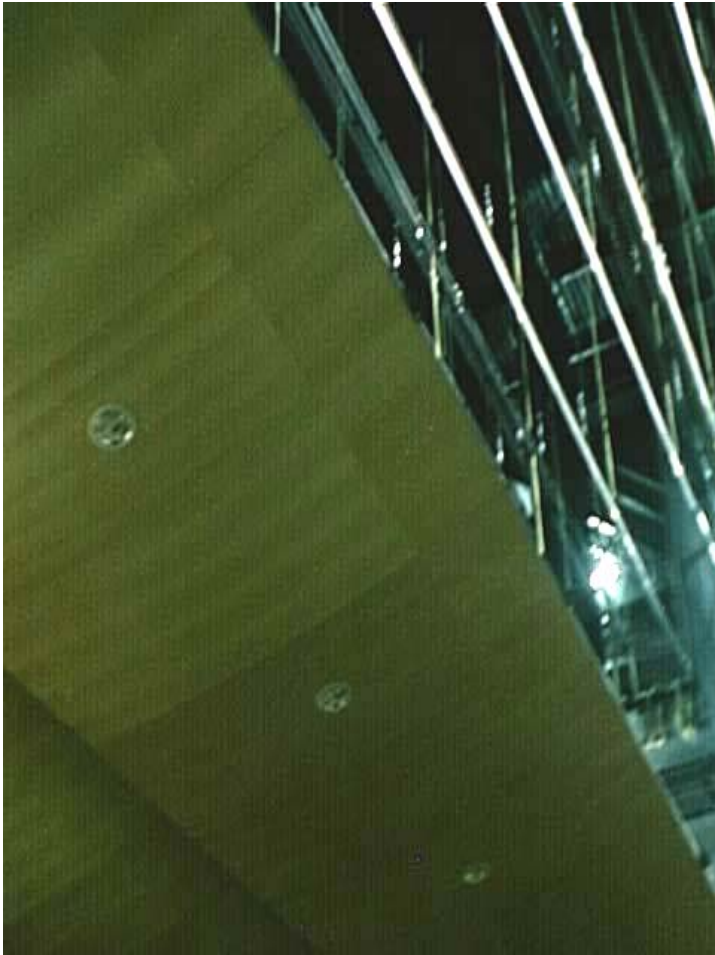
ABSORCIÓN SILLA OCUPADA SEGÚN % TAPIZADO (Beranek 1.996)

Hz	125	250	500	1000	2000	4000
BAJO	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
MEDIO	0,68	0,75	0,82	0,85	0,86	0,86
ALTO	0,76	0,83	0,88	0,91	0,91	0,89

TEATRO “LA SOLANA”

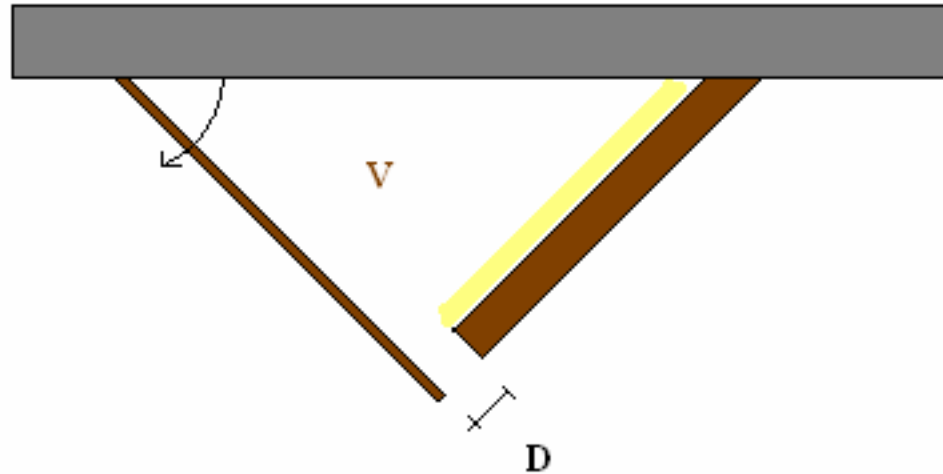


DIFUSORES CAJA ESCÉNICA



DIFUSOR + RESONADOR

Philarmónica de Berlín



- Resonador en forma de pirámide
- Frec. Resonancia < 250 Hz
- Abertura variable de 1 a 3 cm.

DIFUSORES

- ESTUDIOS DE GRABACIÓN Y SALAS DE CONCIERTO
- CAMPO REVERBERANTE
- DIFUSIÓN SONORA UNIFORME Y ALEATORIA EN TODAS LAS DIRECCIONES
- LONGITUD = $\frac{1}{2}$ long. Onda sonora
- PARTE SALIENTE = $\frac{1}{5}$ long. Onda sonora

TIPOS DE DIFUSORES

- Antiguamente: Balcones, estatuas, adornos
- Actualmente:

- Elementos en el techo
- Paredes tipo sierra
- Cuñas en la pared
- Difusores policilíndricos

R. Curvatura $< 5m$

- Difractores RPG o de Schröder (piezas de madera con diferentes ranuras)



REFLECTORES

- MATERIALES LISOS, RÍGIDOS Y NO POROSOS
- REFLECTOR = curvatura $> 5m$
- EJEMPLO: MADERA Y METAL
- FRECUENCIA ÓPTIMA = 500 Hz
- LA ONDA SONORA DEBE SER PERPENDICULAR A SU SUPERFICIE
- UN REFLECTOR CONVEXO = DIFUSOR

TIEMPO DE REVERBERACIÓN

CT HR Art 3,2:

- AULAS
- SALAS DE CONFERENCIA $V < 350 \text{ m}^3$
- RESTAURANTES
- COMEDORES

MÉTODOS DE CÁLCULO

OPCIÓN GENERAL

Art 3.2.2

CÁLCULO DEL (T) A PARTIR DE:

- VOLUMEN del recinto (m³)
- ABSORCIÓN ACÚSTICA.

$$T = 0,16 \times V / A$$

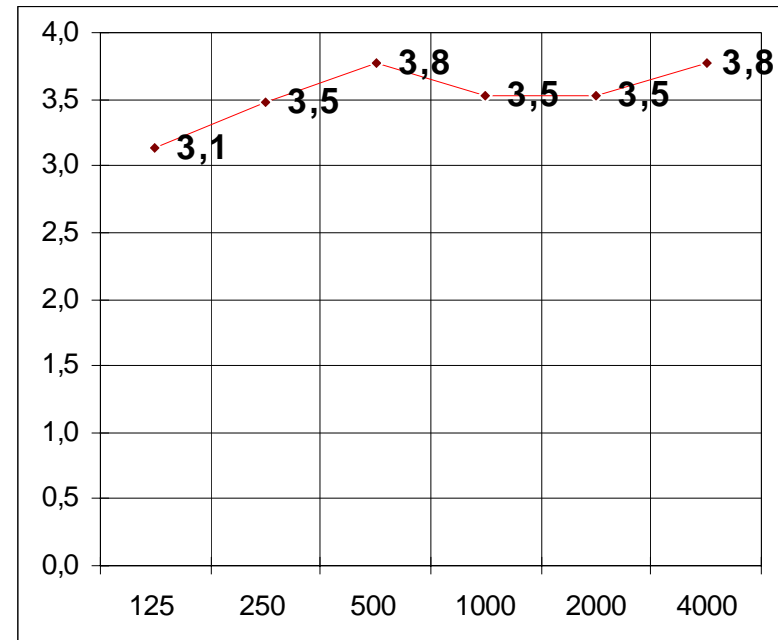
MÉTODOS DE CÁLCULO: DATOS NECESARIOS

- \bar{m}_f = Coef. de absorción acústica medio en el aire, (para 500, 1000 y 2000 Hz) = 0,003, 0,005 y 0,01 m^{-1}
- V = Volumen del recinto (m^3)
- NOTA: Si $V < 250 \text{ m}^3$, $4m_f V$ es despreciable

3 ABSORCIÓN TOTAL				
Elemento	Frecuencias	500	1000	2000
Techo	α	0,05	0,05	0,05
ST	152,24	7,612	7,612	7,612
Suelo	α	0,01	0,02	0,02
SS	152,24	1,5224	3,0448	3,0448
Pared	α	0,05	0,05	0,05
S1 front.	29,04	1,452	1,452	1,452
Pared	α	0,1	0,1	0,1
S2	29,04	2,904	2,904	2,904
Pared	α	0,05	0,05	0,05
S3 dcha.	53,09	2,65	2,65	2,65
Pared	α	0,1	0,1	0,1
S4 izq.	51,09	5,109	5,109	5,109
ABSORC. M2		21,454	22,9763	22,9763
		500	1000	2000
T.R. S		3,8	3,5	3,5

Cálculo T (s)

a= 17,3
b= 8,8
h= 3,3



MÉTODOS DE CÁLCULO

OPCIÓN SIMPLIFICADA

Art. 3.2.3

CÁLCULO DE α_t medio MÍNIMO EN
TECHO (tratamiento uniforme)

- AULAS ($V < 350 \text{ m}^3$)
- RESTAURANTES Y COMEDORES