

Propagación sonora exterior

TEMA 7: PROPAGACIÓN SONORA EN EL EXTERIOR



Propagación sonora exterior

CONCEPTO DE PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS EN EL EXTERIOR

- ✓ La propagación del sonido en exteriores, a través de la atmósfera, genera una disminución de nivel según aumenta la distancia entre la fuente y el receptor
 - ✓ divergencia esférica,
 - ✓ absorción del aire,
 - ✓ propagación cerca de la superficie del suelo,
 - ✓ condiciones ambientales,
 - ✓ obstáculos a la propagación

Propagación sonora exterior

ECUACIÓN BÁSICA DE LA PROPAGACIÓN:

El nivel de presión sonora en un receptor situado a una distancia r de una fuente puntual es:

$$L_P(r) = L_W + ID_{rec} - 10 \lg \left(\frac{\Omega}{4\pi} \right) - A$$

Siendo:

- ✓ L_W : nivel de potencia emitido por la fuente
- ✓ ID_{rec} : índice de directividad de la fuente en la dirección del receptor
- ✓ A : atenuación combinada de todos los mecanismos de propagación.
- ✓ Ω : ángulo sólido de la fuente sobre el que se puede realizar la propagación sonora.

Propagación sonora exterior

ECUACIÓN BÁSICA DE LA PROPAGACIÓN:

✓ Ω : Sus valores son función de la situación de la fuente:

✓ Fuente en el aire:

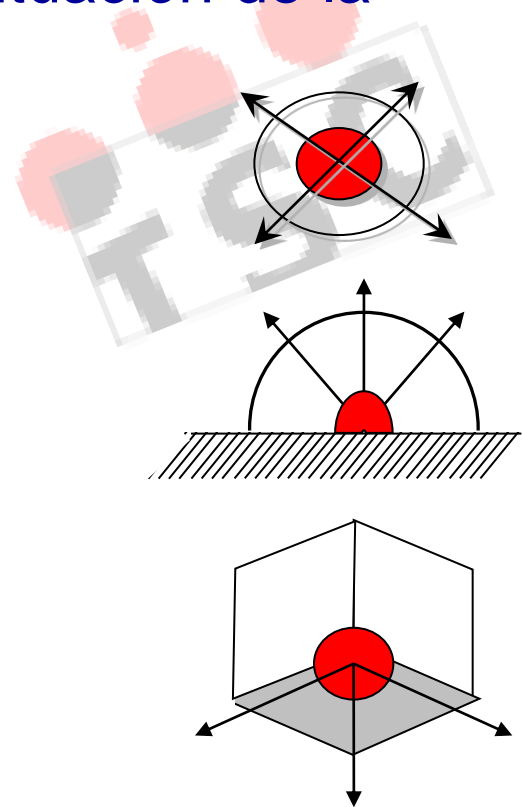
$$\Omega = 4\pi \text{ str}$$

✓ Fuente en el suelo:

$$\Omega = 2\pi \text{ str}$$

✓ Fuente en esquina:

$$\Omega = \frac{\pi}{2} \text{ str}$$



Propagación sonora exterior

CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN:

La atenuación global (A) viene dada por:

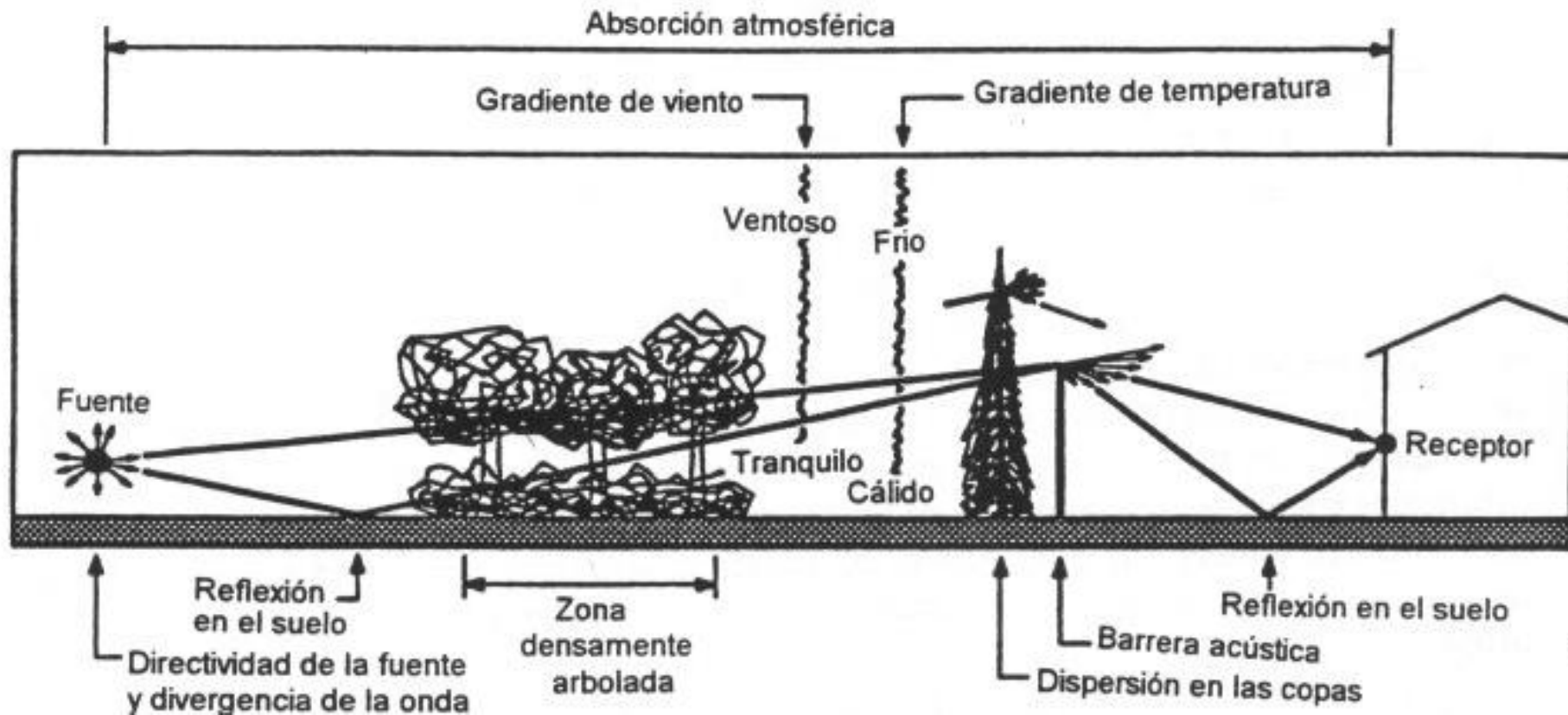
$$A_{total} = A_{div} + A_{aire} + A_{suelo} + A_{misc} \quad dB$$

Siendo:

- ✓ A_{div} : debida a la divergencia geométrica
- ✓ A_{aire} : debida a la absorción del aire
- ✓ A_{suelo} : debida al efecto del suelo
- ✓ A_{misc} : debida a mecanismos adicionales (edificios, vegetación, etc.)

Propagación sonora exterior

CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN:



Propagación sonora exterior

CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN:

- ✓ Si no se especifica lo contrario, el cálculo de la atenuación debe hacerse término a término, de forma independiente.
- ✓ Y cada atenuación se calculará banda a banda, pues su valor depende de la frecuencia
- ✓ Los resultados de cada término pueden ser tanto positivos como negativos

Propagación sonora exterior

ATENUACIÓN POR DIVERGENCIA GEOMÉTRICA (A_{div}):

- ✓ La divergencia es la expansión esférica de la energía acústica en campo libre a partir de una fuente puntual
- ✓ A_{div} : es la absorción debida a la dispersión (divergencia) de las ondas sonoras en un campo libre
- ✓ Este parámetro no depende de la frecuencia

Propagación sonora exterior

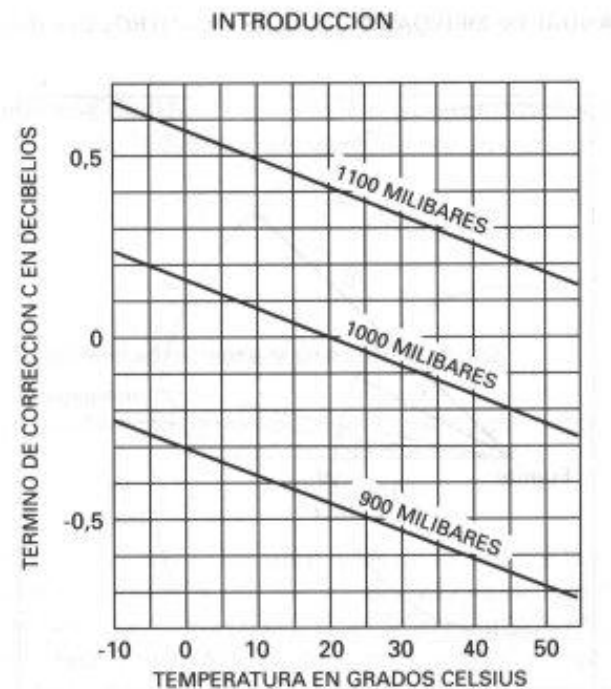
ATENUACIÓN POR DIVERGENCIA GEOMÉTRICA (A_{div}):

✓ Su ecuación es:

$$A_{div} = 20 \text{Log}(r) + 10.9 - C \quad \text{dB}$$

Siendo:

- ✓ r: Distancia en metros entre fuente y receptor
- ✓ C: término de corrección obtenible según tabla adjunta para una presión atmosférica dada



Propagación sonora exterior

ATENUACIÓN POR ABSORCIÓN DEL AIRE (Aaire):

✓ Es el resultado de la conversión de la energía sonora en calor, cuando una onda sonora se propaga a través de la atmósfera

✓ La atenuación debido al aire depende en gran medida de:

La frecuencia

La humedad relativa

✓ Y en menor medida de:

La temperatura

La presión ambiental

Propagación sonora exterior

ATENUACIÓN POR ABSORCIÓN DEL AIRE (A_{aire}):

✓ Su ecuación es:

$$A_{\text{aire}} = \frac{\alpha \times d}{100} \text{ dB}$$

Siendo:

✓ α : Coeficiente de atenuación del aire (dB / km)

(*)

✓ d : distancia entre fuente y receptor (m)

Propagación sonora exterior

ATENUACIÓN POR ABSORCIÓN DEL AIRE (Aaire):

(*)

Temperatura	Humedad relativa, %	Frecuencia, Hz					
		125	250	500	1000	2000	4000
30 °C (86 °F)	10	0,96	1,8	3,4	8,7	29	96
	20	0,73	1,9	3,4	6,0	15	47
	30	0,54	1,7	3,7	6,2	12	33
	50	0,35	1,3	3,6	7,0	12	25
	70	0,26	0,96	3,1	7,4	13	23
	90	0,20	0,78	2,7	7,3	14	24
20 °C (68 °F)	10	0,78	1,6	4,3	14	45	109
	20	0,71	1,4	2,6	6,5	22	74
	30	0,62	1,4	2,5	5,0	14	49
	50	0,45	1,3	2,7	4,7	9,9	29
	70	0,34	1,1	2,8	5,0	9,0	23
	90	0,27	0,97	2,7	5,3	9,1	20
10 °C (50 °F)	10	0,79	2,3	7,5	22	42	57
	20	0,58	1,2	3,3	11	36	92
	30	0,55	1,1	2,3	6,8	24	77
	50	0,49	1,1	1,9	4,3	13	47
	70	0,41	1,0	1,9	3,7	9,7	33
	90	0,35	1,0	2,0	3,5	8,1	26
0 °C (32 °F)	10	1,3	4,0	9,3	14	17	19
	20	0,61	1,9	6,2	18	35	47
	30	0,47	1,2	3,7	13	36	69
	50	0,41	0,82	2,1	6,8	24	71
	70	0,39	0,76	1,6	4,6	16	56
	90	0,38	0,76	1,5	3,7	12	43

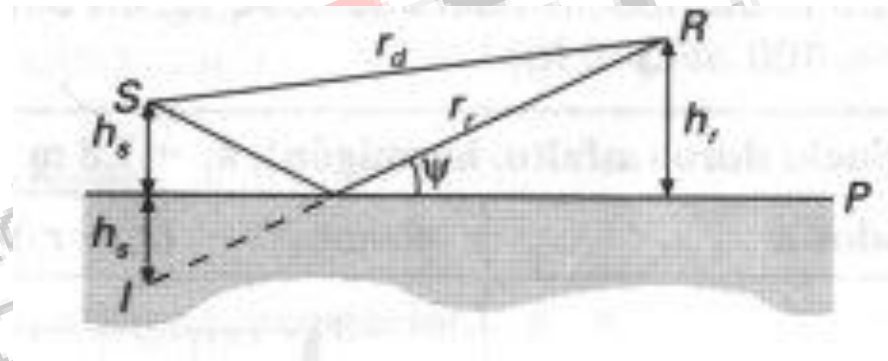
Propagación sonora exterior

ATENUACIÓN DEBIDA AL SUELO (Asuelo):

- ✓ El sonido llega a un receptor desde la fuente por 2 caminos:

Camino directo

Reflexión en el suelo



- ✓ La interferencia de ambos caminos genera este tipo de atenuación

Propagación sonora exterior

ATENUACIÓN DEBIDA AL SUELO (Asuelo):

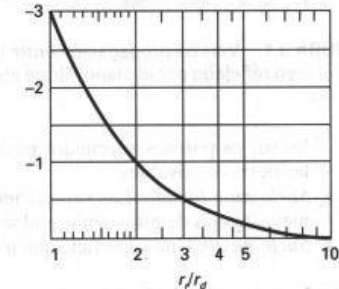
- ✓ SE DEFINEN LOS SIGUIENTES “SUELOS ACÚSTICOS”
1. **Suelo duro:** superficies de poca porosidad (agua, hormigón, etc.)
 2. **Suelo blando:** superficies porosas (vegetación, tierra cultivable, etc.)
 3. **Suelo muy blando:** superficies muy porosas (nieve, agujas de pino, etc.)
 4. **Suelo mixto:** incluye áreas duras y blandas

Propagación sonora exterior

ATENUACIÓN DEBIDA AL SUELO (Asuelo):

✓ PARA DISTANCIAS CORTAS ($r < 100\text{m}$):

1. Los rayos pueden aproximarse a líneas rectas
2. El resultado depende de las bandas de frecuencia; del tipo de suelo, y de la distancia
3. Se usan tablas de cálculo. Los cálculos de posiciones intermedias a las especificadas en la tabla se hacen mediante interpolación

Suelo duro (asfalto, hormigón), $h_r = 1,8\text{ m}$							
$(r_r - r_d) \ll \text{todos } \lambda$		$(r_r - r_d) \gg \text{todos } \lambda$					
-6,0							
Altura de la fuente, m	Distancia, m	Frecuencia, Hz					
		125	250	500	1000	2000	4000
Suelo duro (asfalto, hormigón)							
0,01	10	-5,7	-5,0	-3,6	-1,4	1,1	4,1
	20	-5,6	-4,6	-1,8	1,9	5,1	8,5
	40	-5,5	-3,9	-1,4	6,7	10,1	13,7
	60	-5,4	-3,3	4,2	9,8	13,2	16,9
	80	-5,4	-2,7	6,8	12,2	15,5	19,3
	100	-5,3	-2,2	9,2	14,0	17,4	21,1
0,3	10	-5,4	-4,3	-0,9	5,9	-2,5	-1,9
	20	-5,4	-4,0	-0,1	6,3	-0,1	-3,0
	40	-5,4	-3,4	2,9	10,2	4,1	-2,9
	60	-5,3	-2,8	5,8	13,1	7,1	-0,4
	80	-5,2	-2,2	8,4	15,3	9,3	1,7
	100	-5,2	-1,7	10,8	17,1	11,1	3,4
1,2	10	-4,0	2,0	0,1	-3,0	-3,0	-3,0
	20	-4,8	-1,9	7,5	-2,7	-3,0	-3,0
	40	-4,9	-2,1	6,9	0,5	-3,0	-3,0
	60	-4,9	-1,6	9,1	2,9	-3,0	-3,0
	80	-4,8	-1,0	11,6	4,8	-2,8	-3,0
	100	-4,8	-0,5	13,8	6,4	-1,5	-3,0

Propagación sonora exterior

ATENUACIÓN DEBIDA AL SUELO (Asuelo):

✓ PARA DISTANCIAS LARGAS:

- ✓ Este método también es válido para distancias emisor receptor largas
- ✓ Se suponen condiciones favorables a la propagación (rayo de fuente a receptor refractado hacia abajo)
- ✓ El rayo curvado hace que la interferencia entre rayo directo y reflejado se de, sobre todo, en las superficies cercanas a fuente y receptor

ATENUACIÓN DEBIDA AL SUELO (Asuelo):

✓ PARA DISTANCIAS LARGAS:

ZONAS:

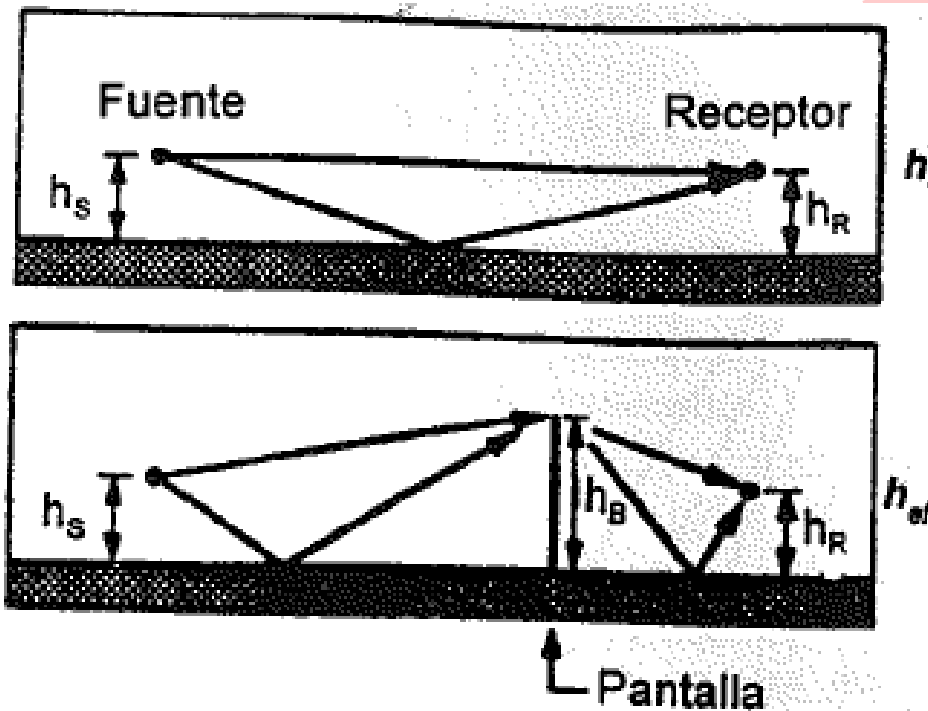
1. **Zona de la fuente:** distancia de $30h_s$ de fuente 'S' a receptor 'R' con un máximo de 'r'
2. **Zona del receptor:** distancia de $30h_r$ de fuente a receptor hacia atrás con un máximo de 'r'
3. **Zona media:** sita entre zona de fuente y receptor.
 - ✓ Si $r < 30(h_s + h_r)$ no existe zona media

Propagación sonora exterior

ATENUACIÓN DEBIDA AL SUELO (Asuelo):

✓ PARA DISTANCIAS LARGAS:

ZONAS:

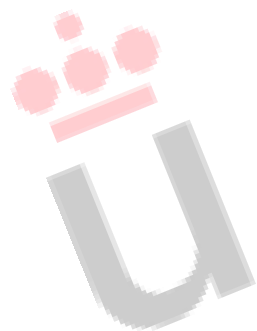


Propagación sonora exterior

ATENUACIÓN DEBIDA AL SUELO (Asuelo):

✓ PARA DISTANCIAS LARGAS:

- ✓ Factores de suelo **G** de cada zona:
 1. **Suelo duro:** $G=0$
 2. **Suelo blando:** $G=1$
 3. **Suelo mixto:** $G=\text{proporción de suelo blando}$



Universidad
Rey Juan Carlos



Propagación sonora exterior

ATENUACIÓN DEBIDA AL SUELO (A_{suelo}):

✓ PARA DISTANCIAS LARGAS:

✓ MÉTODO DE CÁLCULO:

- 1- CÁLCULO DE A_s PARA ZONA DE FUENTE USANDO FACTOR G CORRESPONDIENTE
- 2- SE CALCULA DE LA MISMA MANERA A_r Y A_m (SI $r > (30h_s + h_r)$)

2- LA ATENUACIÓN TOTAL SERÁ:

$$A_{suelo} = A_s + A_r + A_m$$

Propagación sonora exterior

OTRAS ATENUACIONES (A_{misc}):

REFLEXIONES DE LAS PAREDES DE EDIFICIOS O PANTALLAS PRÓXIMAS (A_{refl}):

Se evalúa igual que A_{suelo} , tomando como dato “superficie dura”

- ✓ La superficie ha de ser razonablemente plana
- ✓ A_{refl} tendrá signo negativo (pues aumenta nivel)
- ✓ Si hay varias superficies, pueden considerarse varios valores de A_{refl}

Propagación sonora exterior

OTRAS ATENUACIONES (A_{misc}):

ATENUACIÓN DEL SONIDO AL PASAR A TRAVÉS DE LA VEGETACIÓN (A_{veget})

- ✓ Árboles/arbustos desnudos no son buenos atenuadores de sonido. Solo aportan atenuación por efecto suelo, e inherente a A_{suelo}
- ✓ Vegetación densa si aporta atenuación adicional.

100 metros de cubierta densa atenúa 1 db

$$A_{bosque} = 0,01 \cdot f^{1/3} \cdot r$$

Propagación sonora exterior

OTRAS ATENUACIONES (A_{misc}):

ATENUACIÓN DEL SONIDO AL PASAR A TRAVÉS DE ZONAS EDIFICADAS (A_{casa})

✓ Se calcula mediante la fórmula:

$$A_{casa} = 0,1 \times B \times s_b$$

Donde:

✓ s_b = longitud del camino acústico a través de las viviendas

✓ B = densidad de la edificación, dado por:

$$B = \frac{\text{área total del suelo con casas}}{\text{área total del suelo}}$$

Propagación sonora exterior

OTRAS ATENUACIONES (A_{misc}):

ATENUACIÓN DEL SONIDO AL PASAR A TRAVÉS DE ZONAS EDIFICADAS (A_{casa})

✓ La atenuación debida a suelo sin casas, se calcula con la ecuación:

$$A_{suelo} = 4,8 - \left(\frac{2 \times h_m}{r} \right) \times \left(17 + \frac{300}{r} \right)$$

Donde:

✓ h_m = altura media del camino de propagación, Si el suelo es plano:

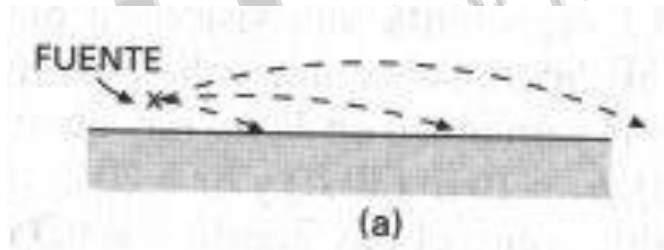
$$h_m = \frac{h_s + h_r}{2}$$

✓ Se compara A_{casa} y A_{suelo}, despreciando el de menor valor

Propagación sonora exterior

INFLUENCIA EL VIENTO Y LA TEMPERATURA EN LA PROPAGACIÓN

- ✓ El efecto principal de estos parámetros es la refracción, que es un cambio en la dirección de las ondas sonoras, producida por los gradientes verticales del viento y la temperatura
- ✓ **El sonido se refracta hacia abajo cuando:**
 1. El viento es descendente
 2. Hay condiciones de inversión de temperatura (la temperatura desciende según desciende la altura)



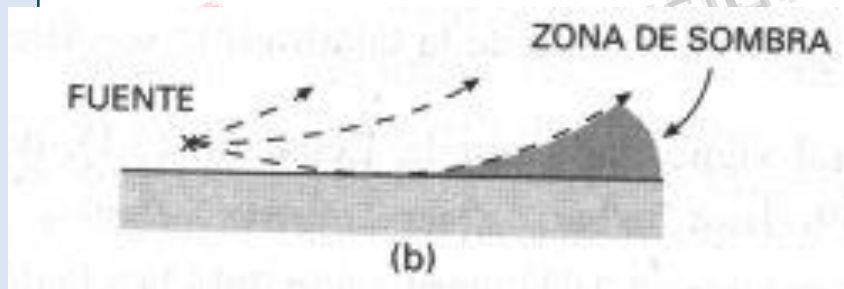
- ✓ Esta situación favorece la propagación y produce atenuación mínima

Propagación sonora exterior

INFLUENCIA EL VIENTO Y LA TEMPERATURA EN LA PROPAGACIÓN

✓ El sonido se refracta hacia arriba cuando:

1. El viento es ascendente
2. Hay condiciones de gradiente de temperatura (la temperatura desciende según aumenta la altura)



✓ Esta situación provoca una zona de sombra y atenuaciones de 20 dB o más

Propagación sonora exterior

Atenuación aproximada de 5 dB

MECANISMOS

Absorción Atmosférica

Suelo Blando

Pantalla Acústica

Edificios

Bosques Densos

Reverberación Urbana

Viento / Temperatura

CONDICIONES

10° C y 70 % de Humedad

Alturas "R" y "F" de 1,2 m

Sombra, sin Gradientes

Fila con 25 % de abertura

Árboles y matorrales densos

Altura ³ 10 m, 2 lados calle

Día soleado, alturas 1, 2 m

DISTANCIAS

800 m. - dBA
1500 m. - 500 Hz
250 m. - 4000 Hz

85 m. - dBA
10 m. - 250 y 500 Hz
50 m. - 125 y 1000 Hz

Cualquiera

Cualquiera

30 m. - dBA
100 m. - 500 Hz
50 m. - 4000 Hz

Cualquiera

150 m. - dBA
150 m. - 500 Hz
50 m. - 4000 Hz

Propagación sonora exterior

EFFECTIVIDAD EN FRECUENCIAS

	BAJAS	MEDIAS	ALTAS	P.I.
SILENCIADORES	débil	elevada	media	3 - 55 dB
PANTALLAS	muy débil	elevada	elevada	7 - 20 dB
CERRAMIENTO	débil/medio	elevada	elevada	15 - 35 dB

Propagación sonora exterior

□ Resumen:

- Variables en propagación:

$$A_{total} = A_{div} + A_{aire} + A_{suelo} + A_{misc} \text{ dB}$$

- Potencia sonora de la fuente.
- Directividad de la fuente.
- Superficies reflectantes cercanas.

Propagación sonora exterior

Referencias presentación:

- "Ingeniería Acústica", Recuero, M.
- "Noise Control Engineering", Beranek, L.
- ISO 9613
- "Apuntes Acústica", EUITT-UPM.
- Varios Internet sin clasificar.

