

# **ACUSTICA ARQUITECTONICA**

## **DEFINICIONES, FORMULAS Y TABLAS**

**CURSO DE ACONDICIONAMIENTO ACUSTICO**  
**FACULTAD DE ARQUITECTURA**  
UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA – MONTEVIDEO

Profesor Titular (G4): Arq. Ricardo Estellés Díaz

Colaboradores: Arq. Alejandro Fernández Rodeiro

Arq. Beatriz Bezón

### Velocidad de propagación del sonido (c) [ ]

$$c = c_0 + 0.6 t$$

donde:

$c$  = velocidad de propagación del sonido (m/s)

$c_0$  = velocidad de propagación del sonido a 0 °C = 331.6 m/s

$t$  = temperatura (°C)

nota: a los efectos del curso se toma  $c = 345$  m/s, que corresponde a 20 °C

### Período (T) [ ]

$$T = \frac{1}{f}$$

donde:

$T$  = periodo (s)

$f$  = frecuencia (Hz)

### Longitud de onda ( $\lambda$ ) [ ] [ ]

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

$$\lambda = c \cdot T$$

donde:

$\lambda$  = longitud de onda (m)

$c$  = velocidad de propagación del sonido (m/s)

$f$  = frecuencia (Hz)

$T$  = período (s)

### Impedancia acústica ( $Z_c$ ) [ ]

$$Z_{ci} = \rho \times c_i$$

donde:

$Z_{ci}$  = impedancia característica del medio  $i$  (kg/m<sup>2</sup>.s)

$\rho_i$  = densidad del medio  $i$  (kg/m<sup>3</sup>)

$c_i$  = velocidad de propagación del sonido en el medio  $i$  (m/s)

$Z_{c(\text{aire})}$ : 415 rayls  $Z_{c(\text{agua})}$ :  $14 \times 10^{15}$  rayls  $Z_{c(\text{acero})}$ :  $4 \times 10^7$  rayls

**Bandas de frecuencia**

[ ] [ ]

bandas de octava \_\_\_\_\_  $f_2 / f_1 = 2$  ó  $f_2 = 2 \cdot f_1$   
 bandas de 1/2 octava \_\_\_\_\_  $f_2 / f_1 = \sqrt{2} = 1,41$   
 bandas 1/3 octava \_\_\_\_\_  $f_2 / f_1 = \sqrt[3]{2} = 1,25$

donde:

$f_1$  = frecuencia inferior o inicial (Hz)

$f_2$  = frecuencia superior o final (Hz)

**Bandas de frecuencias normalizadas de octava y 1/3 de octava**

OCTAVA		
f. inferior	f. central	f. superior
22,0	31,5	44,0
44,0	63,0	88,0
88,0	125	177
117	250	355
355	500	710
710	1.000	1.420
1.420	2.000	2.840
2.840	4.000	5.680
5.680	8.000	11.360
11.360	16.000	22.720

TERCIO DE OCTAVA		
f. inferior	f. central	f. superior
17,8	20,0	22,4
22,4	25,0	28,2
28,2	31,5	35,5
35,5	40,0	44,7
44,7	50,0	56,2
56,2	63,0	70,8
70,8	80,0	89,1
89,1	100	112
112	125	141
141	160	178
178	200	224
224	250	282
282	315	355
355	400	447
447	500	562
562	630	708
708	800	891
891	1.000	1.122
1.122	1.250	1.413
1.413	1.600	1.778
1.778	2.000	2.239
2.239	2.500	2.818
2.818	3.150	3.548
3.548	4.000	4.467
4.467	5.000	5.623
5.623	6.300	7.089
7.089	8.000	8.913
8.913	10.000	11.220
11.220	12.500	14.130
14.130	16.000	17.780
17.780	20.000	22.3

## Intensidad sonora (I)

[ ]

$$I = \frac{W}{S}$$

donde:

$I$  = intensidad sonora ( $W/m^2$ )

$W$  = potencia sonora (W)

$S$  = superficie ( $m^2$ )

## Intensidad sonora (I) para distintos frentes de onda

[ ] [ ] [ ]

superficie esférica:

superficie semi-esférica:

superficie cilíndrica

$$I = \frac{W}{4 \cdot \pi \cdot d^2}$$

$$I = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot d^2}$$

$$I = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot d \cdot l}$$

donde:

$I$  = intensidad sonora ( $W/m^2$ )

$W$  = potencia sonora (W)

$d$  = radio de la esfera o cilindro (m)

$l$  = longitud de la fuente lineal (m)

## Presión sonora (P)

[ ] [ ]

$$P = \sqrt{I \cdot \rho \cdot c}$$

$$P = \sqrt{I} \cdot Z_c$$

donde:

$P$  = presión sonora (Pa)

$I$  = intensidad sonora ( $W/m^2$ )

$\rho$  = densidad del medio ( $kg/m^3$ )

$c$  = velocidad de propagación del sonido (m/s)

$Z_c$  = impedancia característica del medio ( $kg/m^2 \cdot s$ )

## Rango audible

[ ]

$$10^{-12} \text{ W/m}^2 < I < 10 \text{ W/m}^2 \quad (\text{intensidad sonora})$$

$$2 \times 10^{-5} \text{ Pa} < P < 2 \times 10 \text{ Pa} \quad (\text{presión sonora})$$

**Nivel de potencia sonora** [ ]

$$L_w = 10 \log (W/W_0)$$

donde:

$L_w$  = nivel de potencia sonora (dB)

$W$  = potencia sonora considerada (W)

$W_0$  = potencia sonora de referencia ( $10^{-12}$  W)

**Nivel de intensidad sonora** [ ]

$$L = 10 \log (I/I_0)$$

donde:

$L$  = nivel de intensidad sonora (dB)

$I$  = intensidad sonora considerada ( $W/m^2$ )

$I_0$  = Intensidad sonora de referencia ( $10^{-12}$   $W/m^2$ )

**Nivel de presión sonora** [ ]

$$L_p = 20 \log (P/P_0)$$

donde:

$L_p$  = nivel de presión sonora (dB)

$P$  = presión sonora considerada (Pa)

$P_0$  = presión sonora de referencia ( $2 \times 10^{-5}$  Pa)

**Composición de niveles** [ ]

$$L_{(1-2)} = 10 \log (I_1 + I_2) / I_0$$

donde:

$L_{(1-2)}$  = nivel compuesto de intensidad sonora (dB)

$I_1$  = intensidad sonora a componer ( $W/m^2$ )

$I_2$  = intensidad sonora a componer ( $W/m^2$ )

$I_0$  = intensidad sonora de referencia ( $10^{-12}$   $W/m^2$ )

**Procedimientos para la composición de niveles sonoros**

[ ] [ ]

$$L_{(1+2+\dots+n)} = 10 \log ( 10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10} )$$

donde:

$L_{(1+2+\dots+n)}$  = nivel compuesto de intensidad sonora (dB)

$L_i$  = nivel de intensidad sonora  $i$  (dB)

$L_n$  = nivel de intensidad sonora  $n$  (dB)

$$L_{(1-2)} = L_1 + \Delta$$

donde:

$L_{(1-2)}$  = nivel compuesto de intensidad sonora (dB)

$L_1$  = nivel sonoro mayor a componer ( $L_1 \geq L_2$ ) (dB)

$\Delta$  = incremento del nivel sonoro debido a composición (dB)

INCREMENTO DECIMAL DE DIFERENCIA ENTRE NIVELES A COMPONER (dB)

		.00	.20	.40	.50	.60	.80
0	0	3.00	2.91	2.81	2.77	2.72	2.63
	1	2.54	2.45	2.37	2.32	2.28	2.20
	2	2.12	2.05	1.97	1.94	1.90	1.83
	3	1.76	1.70	1.63	1.60	1.57	1.51
	4	1.46	1.40	1.35	1.32	1.29	1.24
	5	1.19	1.15	1.10	1.08	1.06	1.01
	6	0.97	0.93	0.90	0.88	0.86	0.82
	7	0.79	0.76	0.73	0.71	0.70	0.67
	8	0.64	0.61	0.59	0.58	0.56	0.54
	9	0.51	0.49	0.47	0.46	0.45	0.43
	10	0.41	0.40	0.38	0.37	0.36	0.35
	11	0.33	0.32	0.30	0.30	0.29	0.28
	12	0.27	0.25	0.24	0.24	0.23	0.22
	13	0.21	0.20	0.19	0.19	0.19	0.18
	14	0.17	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14

incremento  $\Delta$  (dB) a sumar al nivel sonoro mayor debido a la composición de niveles

## DIAGRAMA PARA LA COMPOSICIÓN DE NIVELES SONOROS

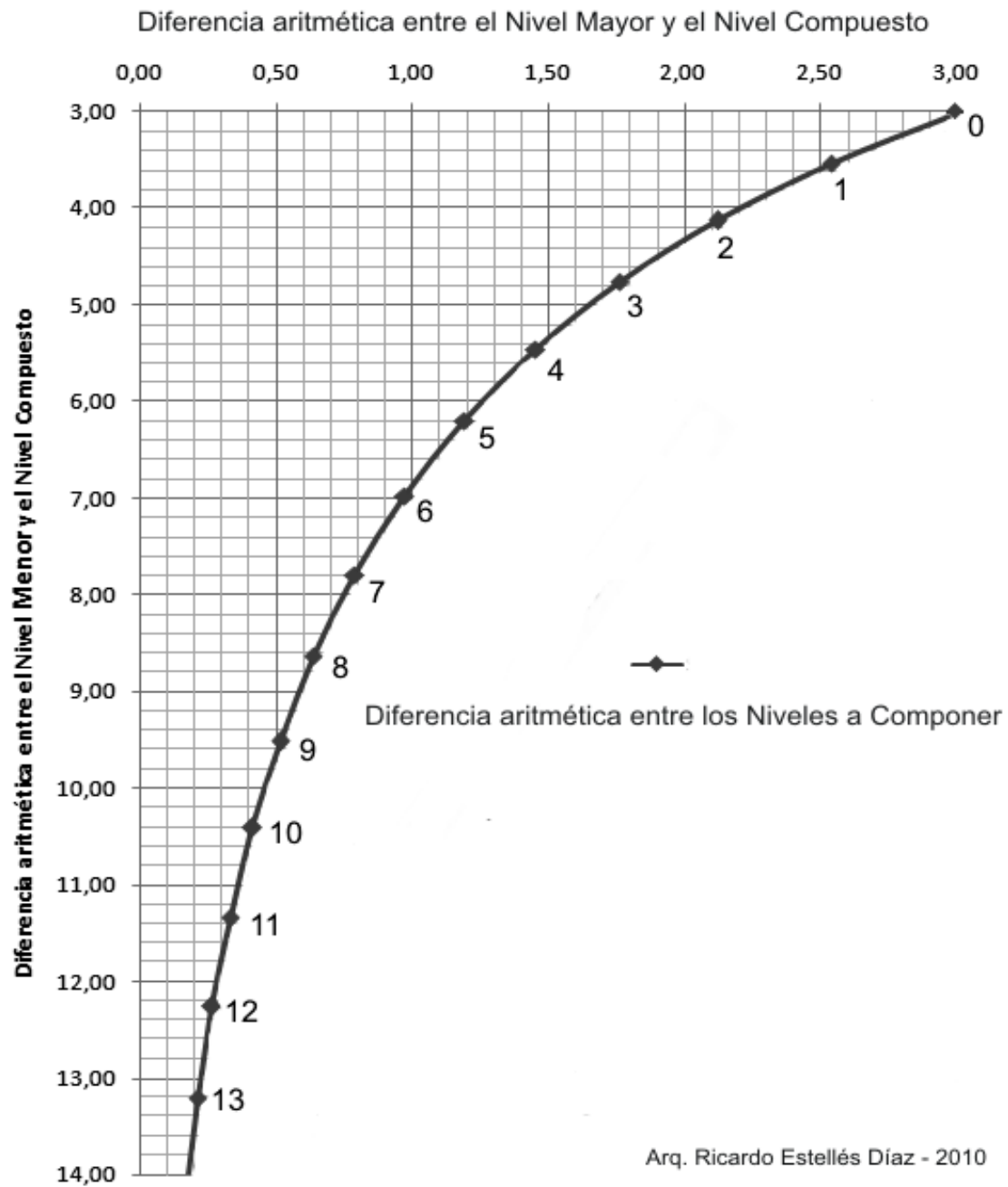


tabla 01\_03: ábaco para la composición y descomposición de niveles sonoros

**Nivel de intensidad sonora ( $L$ ) de una fuente puntual adireccional** [ ]

$$L = L_w - 20 \log d - 11$$

donde:

$L$  = nivel de intensidad sonora para una fuente puntual adireccional (dB)

$L_w$  = nivel de potencia sonora de la fuente (dB)

$d$  = distancia a la fuente desde el punto considerado (m)

nota: si la fuente sonora posee índice de directividad  $\neq 0$  ver formula [2.7]

**Debilitamiento ( $D$ ) de una fuente puntual adireccional** [ ]

$$D = 20 \log (d_2 / d_1)$$

donde:

$D$  = debilitamiento sonoro por distanciamiento (fuente puntual adireccional) (dB)

$d_2$  = distancia final a la fuente (m)

$d_1$  = distancia inicial a la fuente (m)

**Nivel de intensidad sonora ( $L$ ) de una fuente lineal adireccional** [ ]

$$L = L_w - 10 \log d - 8$$

donde:

$L$  = nivel de intensidad sonora para una fuente lineal adireccional (dB)

$L_w$  = nivel de potencia sonora de la fuente (dB)

$d$  = distancia a la fuente desde el punto considerado (m)

nota: si la fuente sonora posee índice de directividad  $\neq 0$  ver formula [2.8]

**Debilitamiento ( $D$ ) de una fuente lineal adireccional** [ ]

$$D = 10 \log (d_2 / d_1)$$

donde:

$D$  = debilitamiento sonoro por distanciamiento (fuente lineal adireccional) (dB)

$d_2$  = distancia final a la fuente (m)

$d_1$  = distancia inicial a la fuente (m)

**Factor de directividad ( $Q_d$ )** [ ]

$$Q_d = \frac{I_{ij}}{I_0}$$



donde:

$Q_d$  = factor de directividad

$l_{ij}$  = intensidad sonora en la dirección considerada ( $W/m^2$ )

$l_0$  = intensidad sonora de referencia ( $10^{-12} W/m^2$ )

### Índice de directividad (ID) [ ]

$$ID = 10 \log ( l_{ij} / l_0 )$$

ID = índice de directividad

$l_{ij}$  = intensidad sonora en la dirección considerada ( $W/m^2$ )

$l_0$  = intensidad sonora de referencia ( $10^{-12} W/m^2$ )

$$Q_d = 2$$

$$ID = 3$$

fuente ubicada  
en plano

$$Q_d = 4$$

$$ID = 6$$

fuente ubicada  
en diedro recto

$$Q_d = 8$$

$$ID = 9$$

fuente ubicada  
en triedro recto

### Nivel de intensidad sonora (L) de una fuente puntual adireccional [ ]

$$L = L_w - 20 \log d - 11 + ID$$

donde:

$L$  = nivel de intensidad sonora para una fuente puntual adireccional con ID (dB)

$L_w$  = nivel de potencia sonora de la fuente (dB)

$d$  = distancia a la fuente desde el punto considerado (m)

ID = índice de directividad de la fuente

### Nivel de intensidad sonora (L) de una fuente lineal adireccional [ ]

$$L = L_w - 20 \log d - 8 + ID$$

donde:

$L$  = nivel de intensidad sonora para una fuente lineal adireccional con ID (dB)

$L_w$  = nivel de potencia sonora de la fuente (dB)

$d$  = distancia a la fuente desde el punto considerado (m)

ID = índice de directividad de la fuente

Banda de Octava (Hz)	Temperatura (°C)	Atenuación en dB/100m Humedad relativa (%)						
		0	5	10	15	20	25	30
63	0-30	0	0	0	0	0	0	0
125	0-30	0	0	0	0	0	0	0
250	0-30	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
500	0-15	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
	15-30	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1.000	0	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,1
	10	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
	15	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
	20	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	25	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	30	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
2.000	0	2,6	2,1	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0
	5	2,0	1,6	1,2	1,1	0,9	0,8	0,7
	10	1,5	1,2	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
	15	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4
	20	0,8	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3
	25	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2
	30	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
4.000	0	7,4	6,8	6,0	5,3	4,6	4,1	3,7
	5	7,1	6,3	5,3	4,6	4,0	3,6	3,3
	10	6,9	5,4	4,6	3,9	3,4	3,1	2,8
	15	5,6	4,4	3,6	3,0	2,6	2,3	2,1
	20	3,2	2,6	2,1	1,7	1,5	1,3	1,2
	25	2,5	2,0	1,6	1,3	1,2	1,1	0,9
	30	2,0	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8
8.000	0	14,0	15,5	16,0	15,0	14,5	14,0	13,0
	5	17,5	17,0	15,0	14,0	12,5	11,5	10,5
	10	17,5	15,0	13,0	11,0	9,8	8,8	7,9
	15	15,0	12,5	10,5	8,9	7,5	6,6	6,0
	20	12,0	9,8	8,1	6,8	5,9	5,2	4,6
	25	9,5	7,8	6,5	5,3	4,6	4,1	3,7
	30	7,5	6,0	5,0	4,3	3,8	3,3	3,0

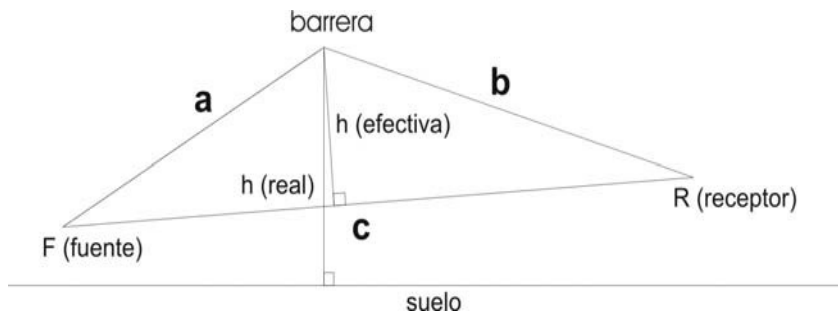
Atenuación del sonido debido al aire en función de la temperatura y la humedad relativa

Tipo de vegetación	Atenuación en dB/100m					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1.000 Hz	2.000 Hz	4.000 Hz
hierba escasa	-	-	-	-	-	-
0.1 a 0.2 mts	0,5	-	-	3	-	-
hierba espesa	-	-	-	-	-	-
0.4 a 0.5 mts	0,5	-	-	12	-	-
árboles hoja perenne	7	11	14	17	19	20
árboles hoja caduca	2	4	6	9	12	16

Atenuación del sonido debido al tipo de suelo

**Atenuación por barrera**

**(estudio de Maeckawa)**



	<i>Ruido de Tránsito</i>	frecuencias centrales de banda de octavas (hz)								
<b>a+b-c (m)</b>	<b>L10 Global</b>	32	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
0,03	8,5	5	5,5	6	7	8	9	10	12	14,5
0,06	10	5,5	6	7	8	9	10	12	14,5	17,5
0,12	11,5	6	7	8	9	10	12	14,5	17,5	21
0,24	13,5	7	8	9	10	12	14,5	17,5	21	23,5
0,5	16	8	9	10	12	14,5	17,5	21	23,5	24
1	18,5	9	10	12	14,5	17,5	21	23,5	24	24
2	23	10	12	14,5	17,5	21	23,5	24	24	24
4	24	12	14,5	17,5	21	23,5	24	24	24	24
8	24	14,5	17,5	21	23,5	24	24	24	24	24

Estudio de Maeckawa, según Número de Fresnel

**a+b-c** es la diferencia de recorrido entre la trayectoria por encima de la barrera y el camino directo.

**Atenuación del sonido debido a la presencia de barreras en dB**

**Nivel equivalente ( $L_{eq}$ )**

[ ]

$$L_{eq} = 10 \log \left( \frac{10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10}}{n} \right)$$

donde:

$L_{eq}$  = nivel de intensidad sonora equivalente (dBA)  $L_i$  =

nivel de intensidad sonora  $i$  (dBA)

$L_n$  = nivel de intensidad sonora  $n$  (dBA)

$n$  = numero de mediciones o lecturas en el intervalo considerado

### Curvas de Ponderación

Frecuencia (Hz)	Curva A Corrección (dB)	Curva B Corrección (dB)	Curva C Corrección (dB)
10	- 70,4	- 38,2	- 14,3
12,5	- 63,4	- 33,2	- 11,2
<b>16</b>	<b>- 56,7</b>	<b>- 28,5</b>	<b>- 8,5</b>
20	- 50,5	- 24,2	- 6,2
25	- 44,7	- 20,4	- 4,4
<b>31,5</b>	<b>- 39,4</b>	<b>- 17,1</b>	<b>- 3,0</b>
40	- 34,6	- 14,2	- 2,0
50	- 30,2	- 11,6	- 1,3
<b>63</b>	<b>- 26,2</b>	<b>- 9,3</b>	<b>- 0,8</b>
80	- 22,5	- 7,4	- 0,5
100	- 19,1	- 5,6	- 0,3
<b>125</b>	<b>- 16,1</b>	<b>- 4,2</b>	<b>- 0,2</b>
160	- 13,4	- 3,0	- 0,1
200	- 10,9	- 2,0	0
<b>250</b>	<b>- 8,6</b>	<b>- 1,3</b>	<b>0</b>
315	- 6,6	- 0,8	0
400	- 4,8	- 0,5	0
<b>500</b>	<b>- 3,2</b>	<b>- 0,3</b>	<b>0</b>
630	- 1,9	- 0,1	0
800	- 0,8	0	0
<b>1000</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
1250	+ 0,6	0	0
1600	+ 1,0	0	- 0,1
<b>2000</b>	<b>+ 1,2</b>	<b>- 0,1</b>	<b>- 0,2</b>
2500	+ 1,3	- 0,2	- 0,3
3150	+ 1,2	- 0,4	- 0,5
<b>4000</b>	<b>+ 1,0</b>	<b>- 0,7</b>	<b>- 0,8</b>
5000	+ 0,5	- 1,2	- 1,3
6300	- 0,1	- 1,9	- 2,0
<b>8000</b>	<b>- 1,1</b>	<b>- 2,9</b>	<b>- 3,0</b>
10000	- 2,5	- 4,3	- 4,4
12500	- 4,3	- 6,1	- 6,2
<b>16000</b>	<b>- 6,6</b>	<b>- 8,4</b>	<b>- 8,5</b>
20000	- 9,3	- 11,1	- 11,2

Correcciones en dB para curvas de ponderación A, B y C

### TABLAS DE FUENTES SONORAS USUALES (INTERIORES Y EXTERIORES)

	Niveles de Presión Sonora (dB)								dB(A)
	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz	Global
<b>Interior</b>									
Alarma de reloj a 1-2 m (sonando)		46	48	55	62	62	70	80	<b>80</b>
Afeitadora eléctrica a 50 cm	59	58	49	62	60	64	60	59	<b>68</b>
Aspiradora a 1 m	48	66	69	73	79	73	73	72	<b>81</b>
Depósito de basura a 1 m	64	83	69	56	55	50	50	49	<b>69</b>
Lavarropas automático (ciclo de lavado)	59	65	59	59	58	54	50	46	<b>62</b>
Toilet (cargando el tanque)	50	55	53	54	57	56	57	52	<b>63</b>
Lavarropas semi-automático (ciclo de carga)	68	65	68	69	71	71	68	65	<b>74</b>
Unidad de aire acondicionado	64	64	65	56	53	48	44	37	<b>59</b>
Teléfono a 1-2 m (sonando)		41	44	H	68	73	69	93	<b>83</b>
TV a 3 m	49	62	64	67	70	68	63	39	<b>74</b>
Stereo (nivel de escucha personas adolescentes)	60	72	83	82	82	80	75	60	<b>86</b>
Stereo (nivel de escucha personas adultas)	56	66	75	72	70	66	64	48	<b>75</b>
Violín a 1,5 m (fortissimo)			91	91	87	83	79	66	<b>92</b>
Conversación normal a 1 m		57	62	63	57	49	40		<b>63</b>
Amplificación en concierto de rock	116	117	119	116	118	115	109	102	<b>121</b>
Salón para audiovisuales	85	89	92	90	89	87	85	80	<b>94</b>
Aplauso en auditorio	60	68	75	79	85	84	75	65	<b>88</b>
Salón de clase	60	66	72	77	74	68	60	50	<b>78</b>
Centro de atención telefónica a clientes	78	75	73	78	80	78	74	70	<b>84</b>
Jauría			90	104	106	101	89	79	<b>108</b>
Gimnasio	72	78	64	89	86	80	72	64	<b>90</b>
Cocina	86	85	79	78	77	72	65	57	<b>81</b>
Laboratorio en centro educativo	65	70	73	75	72	69	65	61	<b>77</b>
Biblioteca pública	60	63	66	67	64	58	50	40	<b>68</b>
Sala de máquinas (edificio de vivienda)	87	66	es	84	83	82	80	78	<b>88</b>
Sala de práctica musical	90	94	96	96	96	91	91	90	<b>100</b>
Cancha de Pádel	82	85	80	85	83	75	68	62	<b>86</b>
Área de recepción de hotel	60	66	72	77	74	68	60	50	<b>78</b>
Teleconferencia	65	74	78	80	79	73	68	60	<b>83</b>
<b>Niveles de Presión Sonora (dB)</b>									
	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz	dB(A)
<b>Exterior</b>									
Pájaros a 3 m						50	52	54	<b>57</b>
Grillo					35	51	54	48	<b>57</b>
Perro grande a 15 m (ladrando)		50	58	68	70	64	52	48	<b>72</b>
Cortadora de pasto a 1,5 m	85	87	86	84	81	74	70	72	<b>86</b>
Disparo de pistola a 75 m (niveles pico)				83	91	99	102	106	<b>106</b>
Oleaje de 3 a 5 m (mar moderado)	71	72	70	71	67	64	58	54	<b>78</b>
Viento entre arbolado (15 km/h)				33	35	37	37	35	<b>43</b>
<b>Transportes</b>									
Camión grande a 15 m (90 km/h)	83	85	83	85	81	76	72	65	<b>86</b>
Automóvil de pasajeros a 15 m (90 km/h)	72	70	67	66	67	66	M	54	<b>71</b>
Motocicleta a 15 m (a toda marcha)	95	95	91	91	91	87	87	85	<b>95</b>
Tren a 30 m (a toda marcha)	95	102	91	90	86	87	83	79	<b>94</b>
Sirena de tren a 50 pies	88	90	110	110	107	100	91	78	<b>109</b>
Bocina da auto a 5 m				92	85	90	80	60	<b>97</b>
Avión comercial pequeño a 150 m (despegue)	77	82	82	78	70	56			<b>79</b>
Helicóptero mediano a 150 m (monomotor)	92	89	83	81	76	72	62	51	<b>80</b>

**Gama de niveles de intensidad**

Emisión	Intensidad (w/m <sup>2</sup> )	Nivel sonoro (dB)
Nivel mínimo de la voz humana	10 <sup>-10</sup>	20
Mujer conversando en voz baja	3.16x10 <sup>-10</sup>	25
Hombre conversando en voz baja	10 <sup>-9</sup>	30
Mujer conversando en voz normal	10 <sup>-7</sup>	50
Hombre conversando en voz normal	3.16x10 <sup>-7</sup>	55
Mujer hablando en público	10 <sup>-6</sup>	60
Hombre hablando en público	3.16x10 <sup>-6</sup>	65
Mujer hablando esforzándose	10 <sup>-5</sup>	70
Hombre hablando esforzándose	3.16x10 <sup>-5</sup>	75
Mujer cantando	10 <sup>-4</sup>	80
Hombre cantando	3.16x10 <sup>-4</sup>	85
Nivel máximo de la voz humana	10 <sup>-3</sup>	90

**Gama de frecuencias fundamentales**

Voz	Extensión (Hz)	Resitura
Soprano	247-1056	SI <sub>3</sub> -DO <sub>6</sub>
Mezzosoprano	220-900	LA <sub>3</sub> -SI <sub>5</sub>
Contralto	176-840	FA <sub>3</sub> -LAB <sub>5</sub>
Tenor	132-528	DO <sub>3</sub> -DO <sub>5</sub>
Baritono	110-440	LA <sub>2</sub> -LA <sub>4</sub>
Bajo	82-396	MI <sub>2</sub> -SOL <sub>4</sub>

FUENTES MUSICALES	Potencia Pico en w	Lw en dB (Res 10 <sup>-12</sup> w)
Clarinete	5x10 <sup>-2</sup>	107
Violoncelo	16x10 <sup>-2</sup>	112
Piano	27x10 <sup>-2</sup>	114
Trompeta	31x10 <sup>-2</sup>	115
Tambor	25	134
Orquesta (75 instrumentos)	10 a 70	130 a 138
Vocalista	10 <sup>-4</sup> a 5x10 <sup>-3</sup>	80 a 97

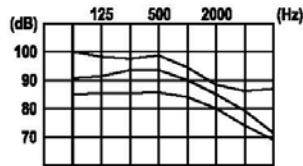
<b>FUENTES DE RUIDOS</b>	<b>Potencia en w</b>	<b>Lw en dB (Res <math>10^{-12}</math> w)</b>
<b>Auto a Gran Velocidad</b>	<b><math>10^{-2}</math></b>	<b>110</b>
<b>Voz Normal</b>	<b><math>10^{-4.3}</math></b>	<b>87</b>
<b>Murmullo</b>	<b><math>10^{-9}</math></b>	<b>40</b>

**NIVELES SONOROS DE POTENCIAS Lw (Res 10-12 w)**

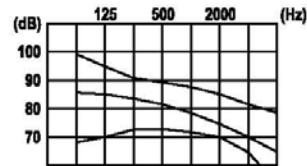
<b>Bandas de Octava</b>	<b>63</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>	<b>8000</b>	<b>Hz</b>
<b>Orquesta (75 instrumentos)</b>	<b>86</b>	<b>88</b>	<b>94</b>	<b>95</b>	<b>92</b>	<b>91</b>	<b>89</b>	<b>83</b>	<b>dB</b>
<b>Orquesta (15 instrumentos)</b>	<b>76</b>	<b>78</b>	<b>84</b>	<b>85</b>	<b>91</b>	<b>81</b>	<b>79</b>	<b>73</b>	<b>dB</b>
<b>Voz Fuerte</b>	<b>68</b>	<b>73</b>	<b>76</b>	<b>80</b>	<b>81</b>	<b>76</b>	<b>67</b>	<b>54</b>	<b>dB</b>
<b>Voz Alta</b>	<b>62</b>	<b>66</b>	<b>71</b>	<b>74</b>	<b>75</b>	<b>70</b>	<b>61</b>	<b>48</b>	<b>dB</b>
<b>Voz Normal</b>	<b>56</b>	<b>61</b>	<b>64</b>	<b>67</b>	<b>69</b>	<b>64</b>	<b>55</b>	<b>42</b>	<b>dB</b>

## Ruidos de Maquinas - Herramientas Usuales

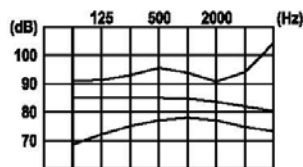
Medidos en el lugar del operario  $Re 10^{12} w/m^2$



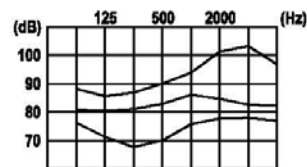
HORNOS



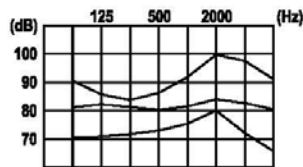
MEZCLADORAS



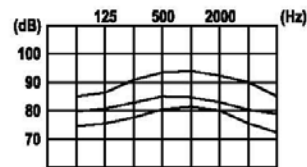
MOLINOS



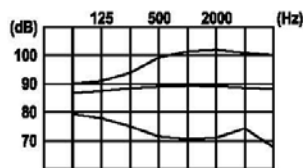
SOLDADORAS



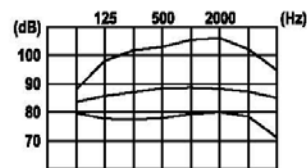
TORNOS



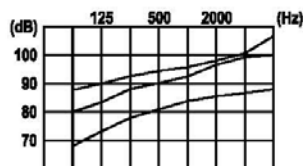
TALADROS



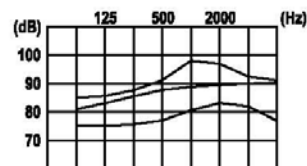
SIERRAS



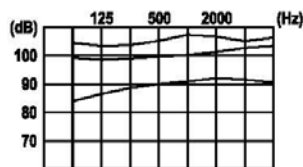
CEPILLADORAS



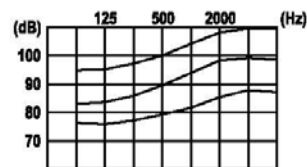
HERR. AIRE COMP.



VOLCADORAS



REMACHADORAS

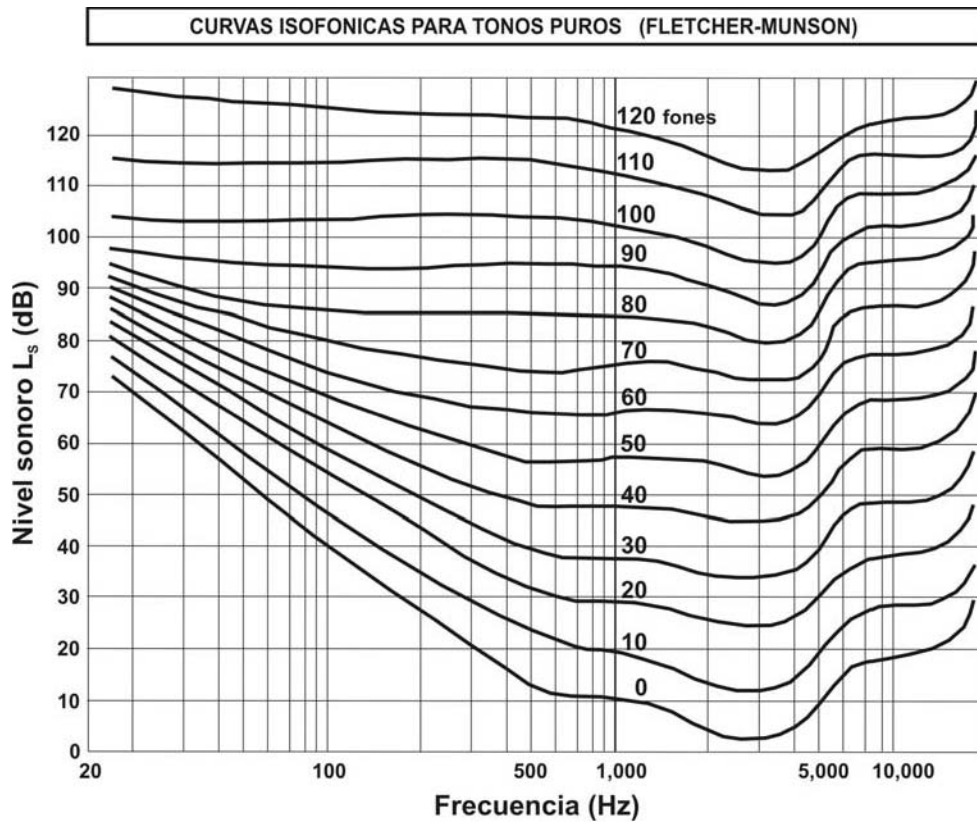


REMACH. PEQUEÑAS

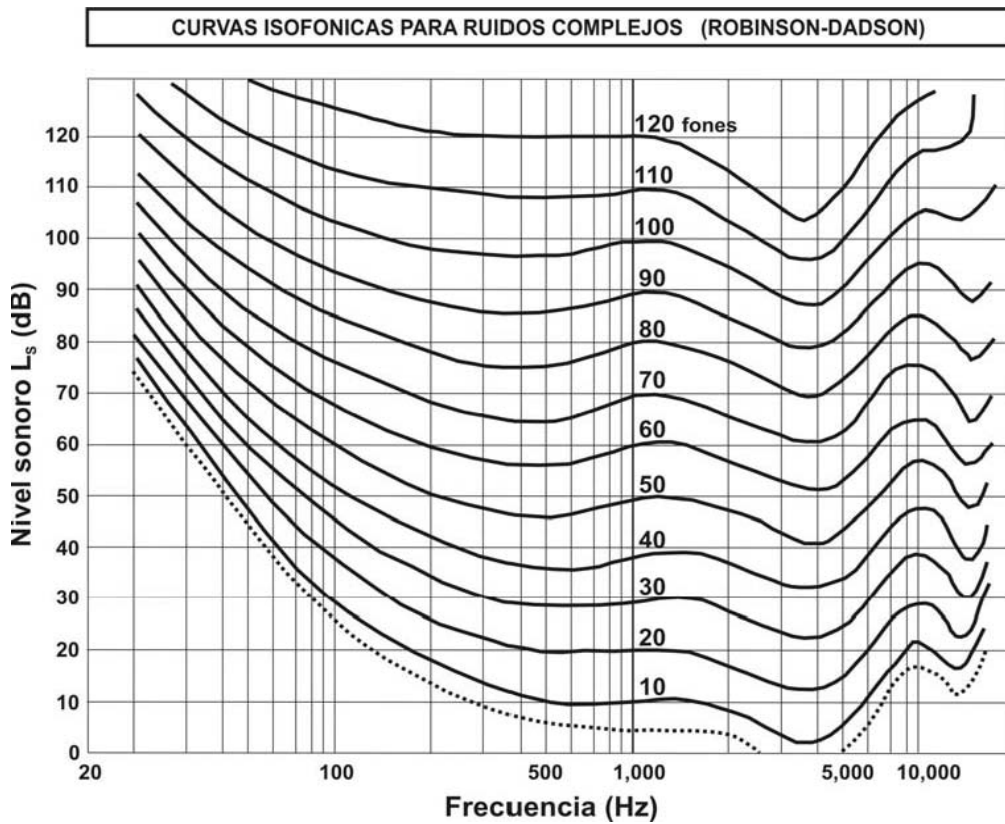
——— MAXIMO  
 ——— MEDIO  
 ——— MINIMO

Para el Curso de Acond.  
 Acústico  
 Arq. Ricardo Estellés Díaz (2010)



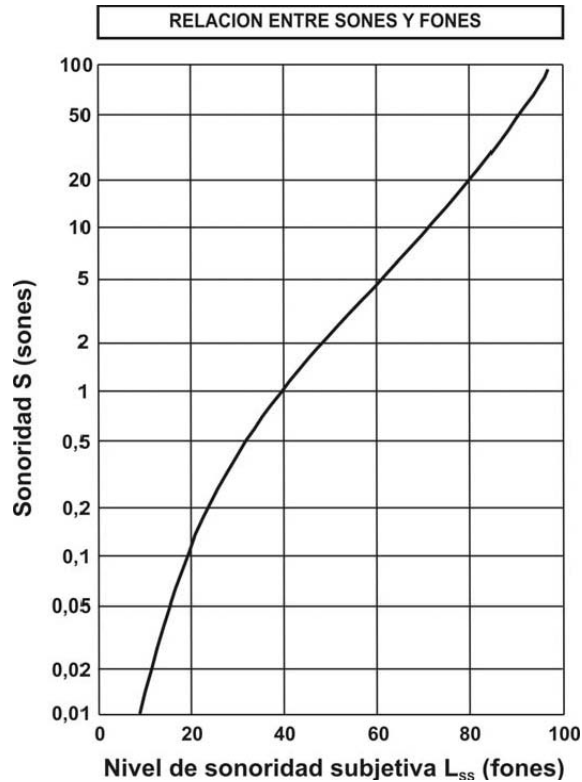


**Curvas de igual sonoridad (Isufónicas)**



## Sonoridad (S)

Nivel Sonoro (dB)	Ambiente Típico	Nivel Sonoro Subjetivo
140	Despegue avión militar (a 30m)	Intolerable
130	Martillo neumático (operario)	
120	Sala de máquinas de un buque	Muy ruidoso
110	Prensas automáticas (operario)	
100	Sala de imprenta	
90	Camión pesado (a 6m)	Ruidoso
80	Calle con mucho tráfico	
70	Aparato de audio a volumen elevado	
60	Restaurante	
50	Conversación normal (a 1m)	Poco ruidoso
40	Área residencial durante la noche	
30	Aula silenciosa	
20	Nivel de fondo en estudios de TV	Silencioso
10	Crujido de hojas	
0	Umbral de audición	



$$S = 10^{(L_s - 40)/30} \quad \text{donde } S = \text{sonoridad (sones)} \quad L_s = \text{nivel sonoro (dB)}$$

### Método de Stevens

$$S_{tot} = S_{mayor} + 0.30 \cdot S_{restantes}$$

Lss = Nivel Sonoro Subjetivo

donde:

$S$  = sonoridad (son)  $N_s$  = nivel de sonoridad (fon)

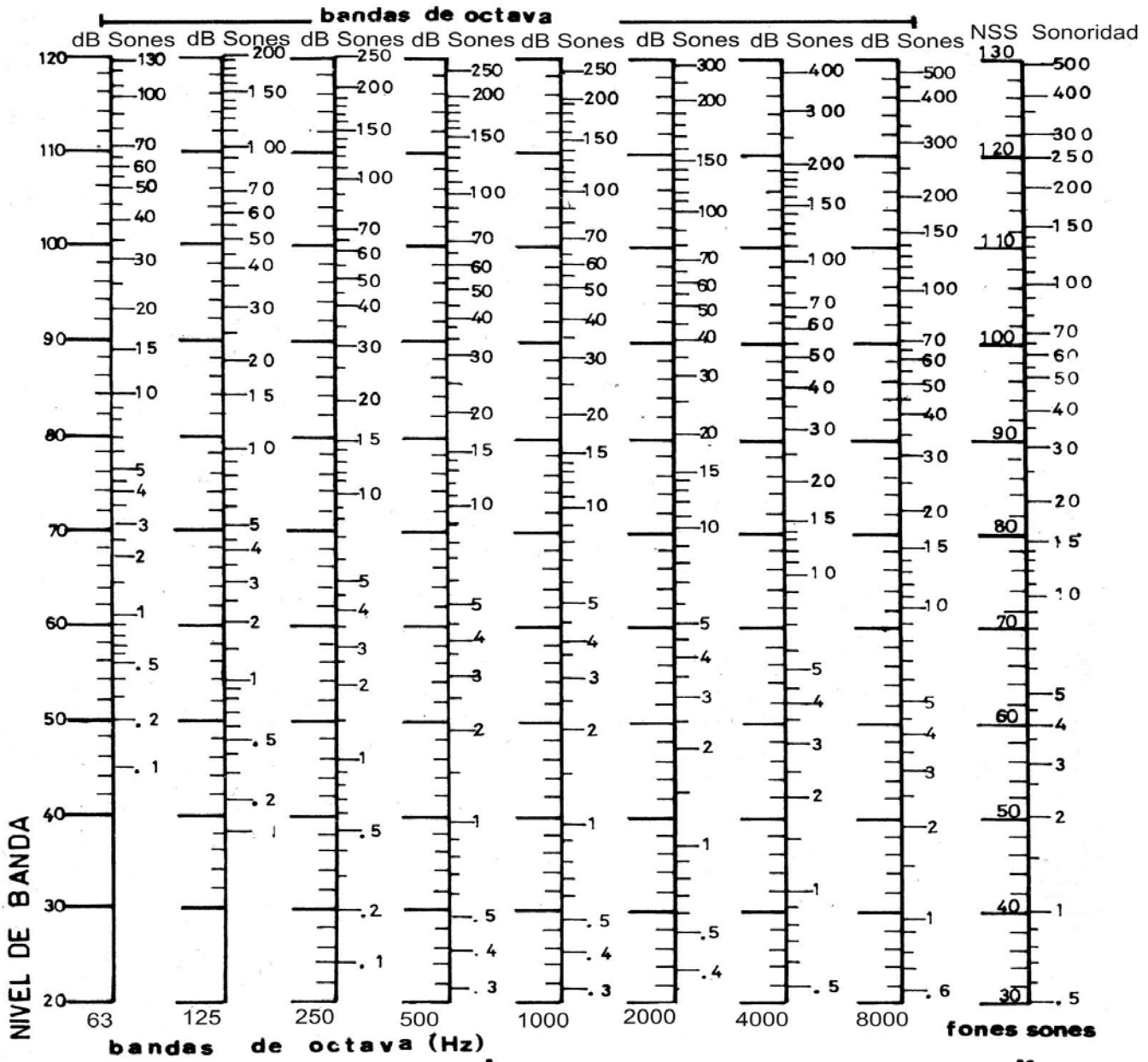
$S_{tot}$  = sonoridad total para banda de octava (son)

$S_{mayor}$  = sonoridad mayor (son)  $S_{restantes}$  = sonoridades restantes (son)

## NIVELES SONOROS SUBJETIVOS

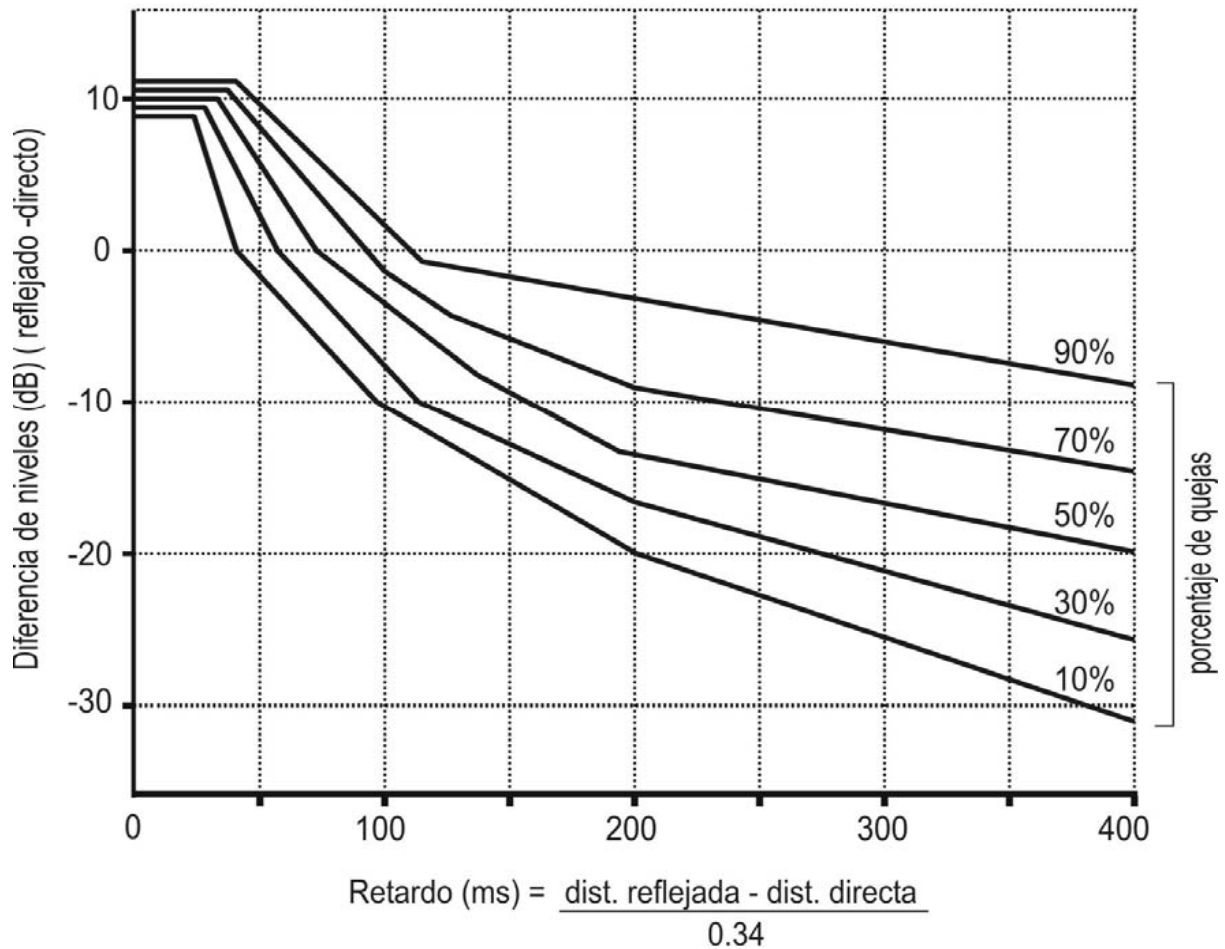
### RUIDOS CONTINUOS

METODO DEL RUIDO EQUIVALENTE  
de S. S. STEVENS



$$\text{Sonoridad Total } S_t = S_m + 0,3 \sum (S_i)$$

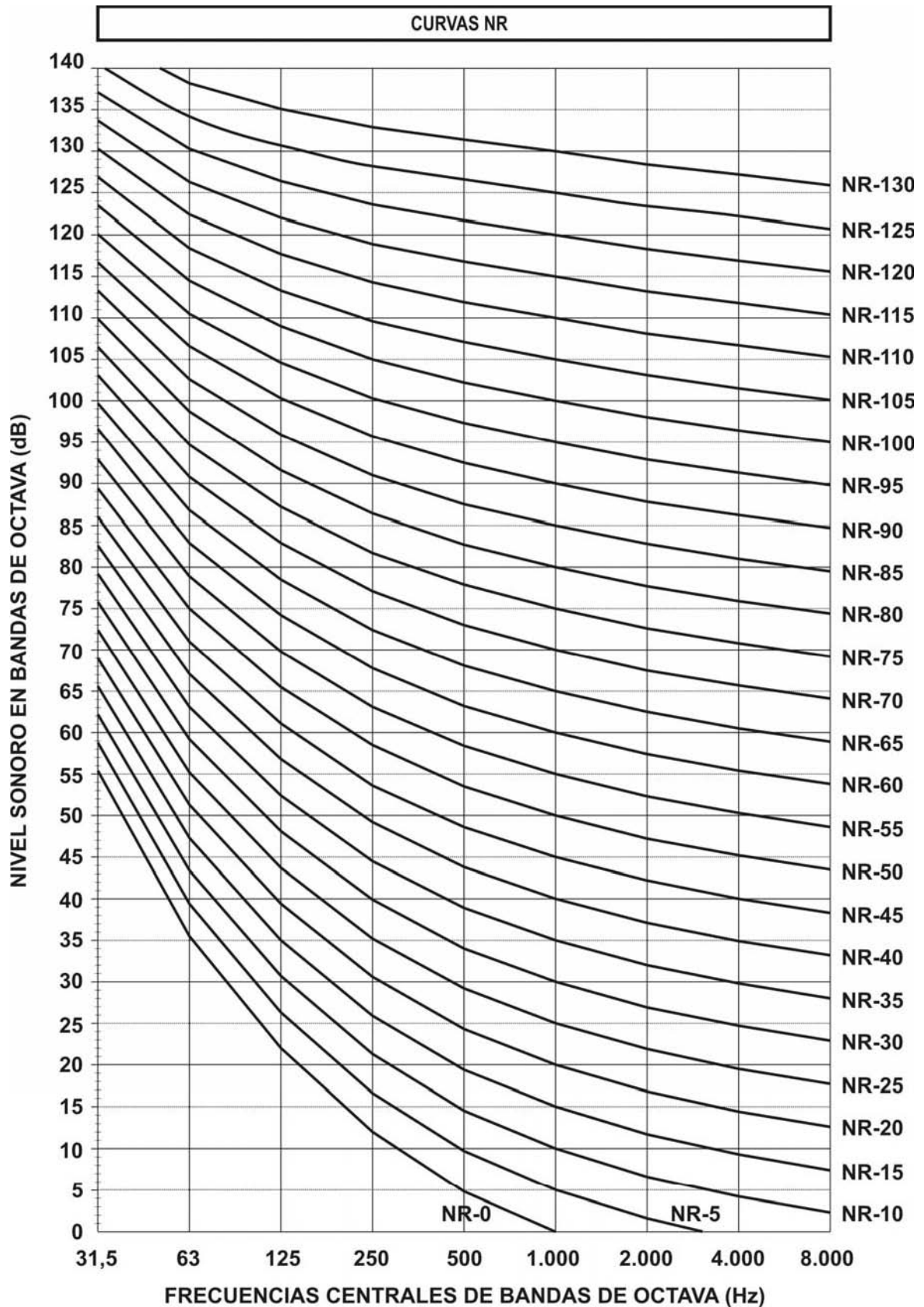
## CRITERIO DE HAAS



**Molestia del sonido reflejado en función del retardo y diferencia de niveles**

## CRITERIO DE RUIDO DE FONDO RECOMENDANDOS POR ISO

Ambiente	NR
Estudios de Radio y Televisión	15-20
Residencias urbanas	30-40
Salas de concierto	20-25
Quirófanos	30-40
Teatros	20-25
Restaurantes, bares, comedores	35-45
Residencias suburbanas	25-35
Oficinas públicas	35-45
Salas de conferencias	25-35
Piscinas	40-55
Cines	25-35
Salones de venta comerciales	40-50
Aula de escuela	25-35
Grandes tiendas	50-55
Salas de lectura de escuela	25-30
Talleres	60-70
Habitaciones de hospital	25-35



Para cumplir con este criterio, el nivel del ruido de fondo debe de ser menor o igual a la curva de referencia NR correspondiente en todas las bandas de octava

**Energía incidente, reflejada y absorbida** [ ]

$$E_i = E_r + E_a$$

donde:

$E_i$  = energía incidente (W)

$E_r$  = energía reflejada (W)

$E_a$  = energía absorbida (W)

**Coefficiente de reflexión (r)** [ ]

$$r = E_r / E_i$$

donde:

$r$  = índice o coeficiente de reflexión del material

$E_r$  = energía reflejada (W)

$E_i$  = energía incidente (W)

**Coefficiente de absorción ( $\alpha$ )** [ ]

$$\alpha = E_a / E_i$$

donde:

$\alpha$  = índice o coeficiente de absorción del material

$E_a$  = energía absorbida (W)

$E_i$  = energía incidente (W)

**Relación entre (r) y ( $\alpha$ )**

$$r + \alpha = 1 \quad 0 \leq r \leq 1 \quad 0 \leq \alpha \leq 1$$

**Absorción (A)** [ ]

$$A_i = \alpha_i \cdot S_i$$

donde:

$A_i$  = absorción del material  $i$  (Sabines)

$\alpha_i$  = coeficiente de absorción del material  $i$

$S_i$  = superficie del material  $i$

### Absorción de un local ( $A_t$ )

[ ]

$$A_t = \sum \alpha_i \cdot S_i + A_e + A_a$$

donde:

$A_t$  = absorción total de la sala (Sab)

$\alpha_i$  = coeficiente de absorción del material  $i$

$S_i$  = superficie total del material  $i$  ( $m^2$ )

$A_e$  = absorción de espectadores o audiencia (Sab)  $A_a$

= absorción del aire (Sab)

### Ejemplo computo de absorción y calculo de TR

Absorción en función de la frecuencia									
Volumen 72 m3	Frecuencia	250		500		1000		2000	
	Superficie m2	a	Sa	a	Sa	a	Sa	a	Sa
Paredes	50.56	0.01	0.50	0.02	1.00	0.02	1.00	0.02	1.00
Techo	24	0.01	0.24	0.02	0.48	0.03	0.72	0.04	0.96
Suelo	24	0.01	0.24	0.02	0.48	0.03	0.72	0.04	0.96
Puertas	3.44	0.22	0.75	0.17	0.58	0.09	0.31	0.10	0.34
Ventanas	6	0.25	1.50	0.18	1.08	0.12	0.72	0.07	0.42
Absorción "A" expresado en m2		3.23		3.62		3.47		3.68	
$T = 0,16 \times V/A \text{ ---->}$		3.50		3.20		3.30		3.10	

Reducción del tiempo de reverberación (TR) Mediante la aplicación de un falso techo de lana mineral									
Volumen 72 m3	Frecuencia	250		500		1000		2000	
	Superficie m2	a	Sa	a	Sa	a	Sa	a	Sa
Paredes	50.56	0.01	0.50	0.02	1.00	0.02	1.00	0.02	1.00
Techo	24	0.37	8.88	0.84	20.16	0.73	17.52	0.64	15.36
Suelo	24	0.01	0.24	0.02	0.48	0.03	0.72	0.04	0.96
Puertas	3.44	0.22	0.75	0.17	0.58	0.09	0.31	0.10	0.34
Ventanas	6	0.25	1.50	0.18	1.08	0.12	0.72	0.07	0.42
Absorción "A" expresado en m2		11.87		23.20		20.27		18.08	
$T = 0,16 \times V/A \text{ ---->}$		0.90		0.40		0.50		0.60	

### Frecuencia de resonancia de un resonador de membrana

[ ]

$$f_0 = 600 / \sqrt{M \cdot d}$$

donde:

$f_0$  = frecuencia de resonancia del resonador (Hz)

$M$  = masa por unidad de superficie del panel ( $kg/m^2$ )

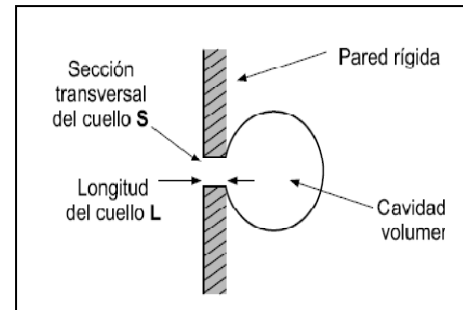
$d = \text{distancia del panel a la pared rígida (cm)}$

### Frecuencia de resonancia de un resonador de cámara [ ]

$$f_0 = 5480 / \sqrt{(S / l \cdot V)}$$

donde:

$f_0 = \text{frecuencia de resonancia del resonador (Hz)}$   
 $S = \text{sección transversal del cuello (cm}^2\text{)}$   
 $l = \text{longitud del cuello (cm)}$   
 $V = \text{volumen de la cavidad (cm}^3\text{)}$



### Frecuencia de resonancia de resonadores asociados [ ] [ ]

$$f_0 = 5480 / \sqrt{(p / D' \cdot d)}$$

donde:

$f_0 = \text{frecuencia de resonancia (Hz)}$   
 $p = \text{porcentaje de perforación del panel}$   
 $D' = \text{longitud efectiva de las perforaciones (cm)}$   
 $d = \text{distancia del panel a la pared rígida (cm)}$

$$p = S / S_p$$

donde:

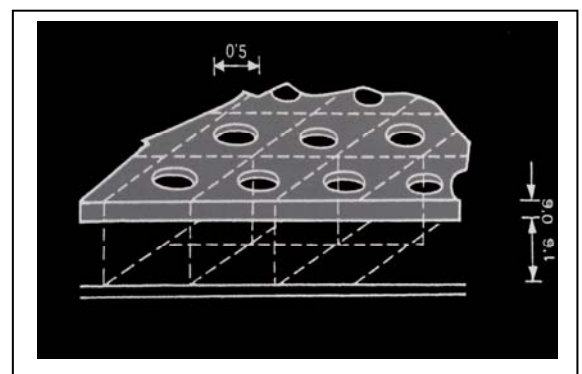
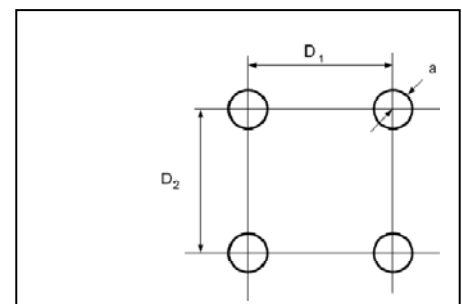
$p = \text{porcentaje de perforación del panel}$   
 $S = \text{superficie perforada (cm}^2\text{)}$   
 $S_p = \text{superficie del panel (cm}^2\text{)}$

$$p = \pi \cdot a^2 / D_1 \cdot D_2$$

donde:

$p = \text{porcentaje de perforación del panel}$   
 $a = \text{diámetro de la perforación (cm)}$   
 $D_1 = \text{distancia en x entre centros de perforaciones (cm)}$   
 $D_2 = \text{distancia en y entre centros de perforaciones (cm)}$

$$D' = D + 1.6 a$$





donde:

$D'$  = longitud efectiva de las perforaciones (cm)

$a$  = diámetro de la perforación (cm)

$D$  = distancia entre centros de perforaciones (cm)

## Tiempo de Reverberación

$T_r$  o  $T_{60}$  es el lapso de tiempo en que el nivel sonoro  $L_p$ , existente de un espacio, tarda en decaer **60 dB**, luego de cesada la emisión de la fuente.

Formula de Sabine

$$T_r = 0,16 \cdot Vol / Ab \quad \text{o} \quad T_r = 0,16 \cdot Vol / S \cdot \alpha_m$$

donde:

$T_r$  = tiempo de reverberación (s)

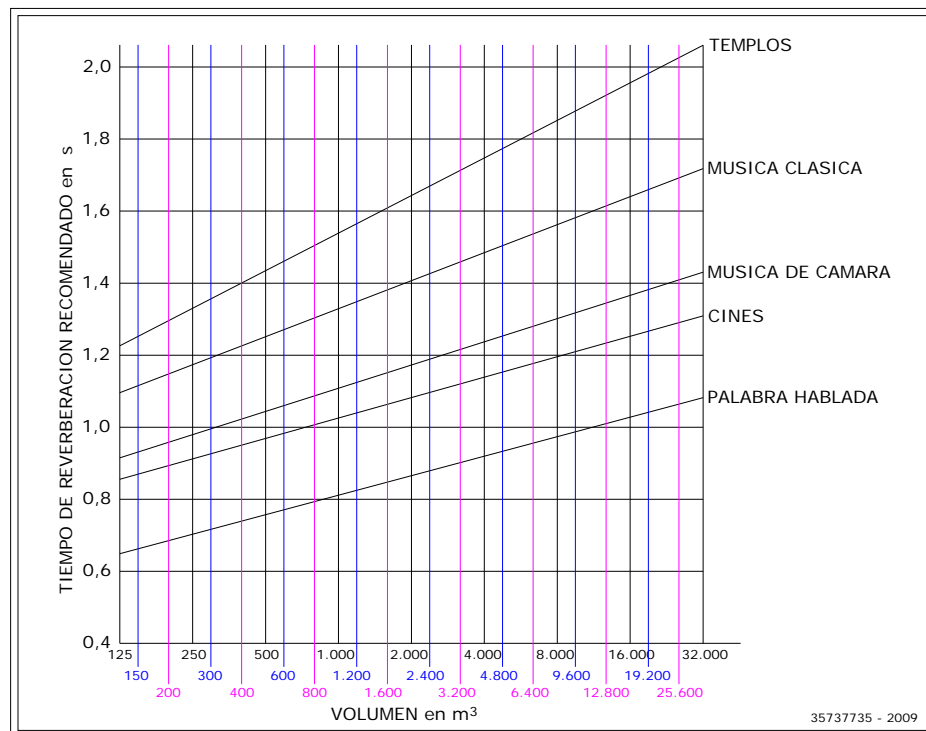
$Vol$  = volumen del espacio ( $m^3$ )

$S$  = área total de los cerramientos de la sala

$\alpha_m$  = coeficiente de absorción medio

$Ab$  = absorción total del espacio (Sabines)

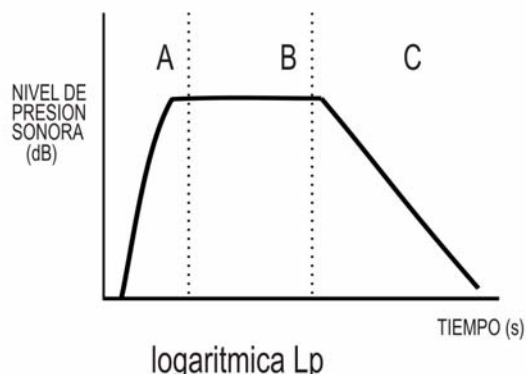
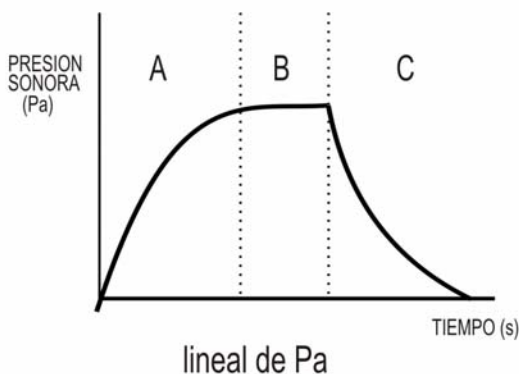
## Tiempos de Reverberación recomendados



Tiempos óptimos de reverberación en función del tipo de sala y el volumen

**Reverberación**

**REGIMEN TRANSITORIO**



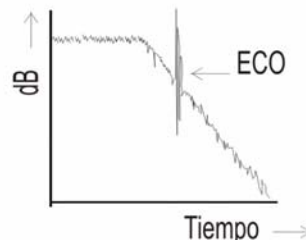
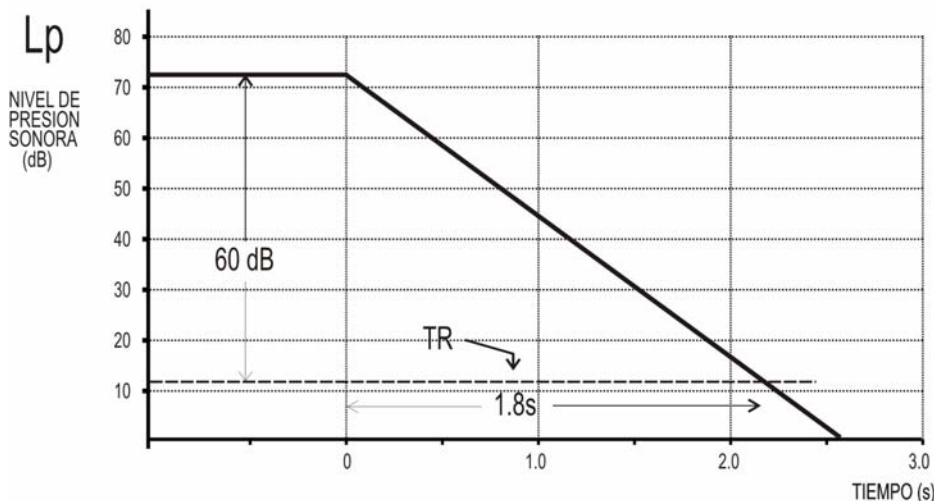
- DECREMENTO DEL SONIDO
- ESTUDIOS DE SABINE

CALIDAD SONORA  
EFECTO ENMASCARANTE

**MEDIDA DEL DECREMENTO**

TASA DE DECREMENTO  
TIEMPO DE DECREMENTO  
DE UNA CANTIDAD FIJA

**TR (T<sub>60</sub>)**



$$60 \text{ dB} \rightarrow 10^6 = \frac{I}{I_0}$$

**Efecto de la absorción en el nivel sonoro en un recinto**

**a - REDUCCION del LSr**

**R<sub>CL</sub>**

$$CL = \frac{A}{(1-a_m)}$$

$$R_{CL} = 10 \lg \frac{C_{L f}}{C_{L i}} \quad (\text{dB})$$

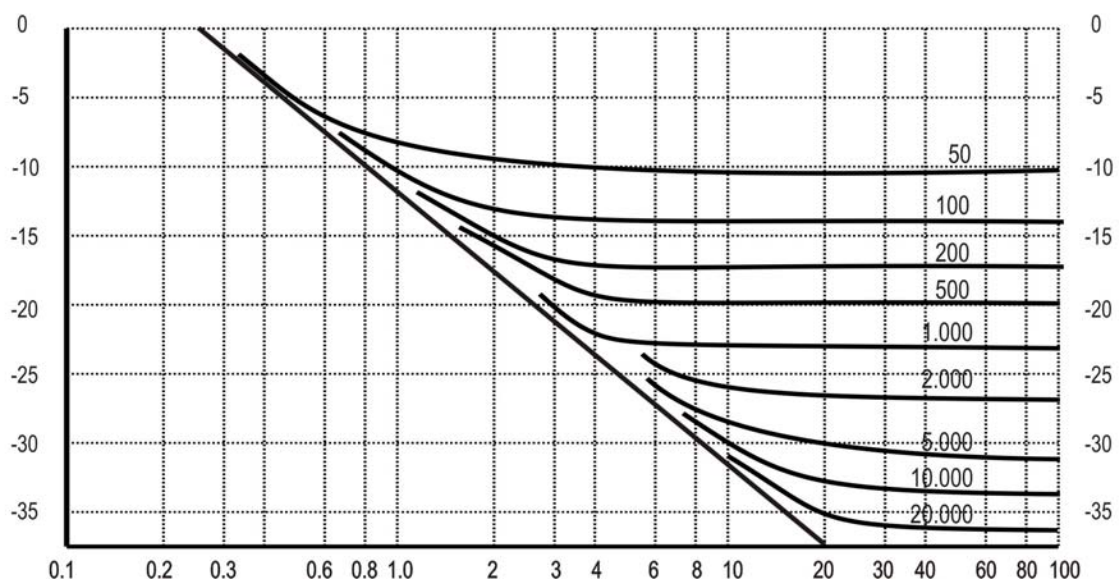
$$(LSr = LSw - 10 \lg CL + 6)$$

**b - REDUCCIÓN del LSm**

**R<sub>A</sub>**

$$R_A = 10 \lg \frac{A_F}{A_i} \quad (\text{dB})$$

$$(LSm = LSw - 10 \lg A + 6)$$



Donde:

*LSr = Nivel sonoro reverberado = Lr = LSr*

*CL = Constante del local*

*RCL = Reducción CL*

*LSm = Nivel sonoro medio = Lm = LSr*

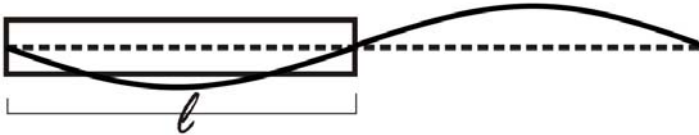
*A = Absorción del local*

*RA = Reducción A*

**Modos normales de resonancia en recintos**

RECINTO DE 1 DIMENSION PREDOMINANTE

(TUBO CERRADO)



$$f_n = \frac{c}{2} \frac{n}{l}$$

ONDAS AXIALES

RECINTO DE 3 DIMENSIONES

$a \geq b \geq c$

$$f_n = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{n_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{n_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{n_c}{c}\right)^2}$$

Donde:

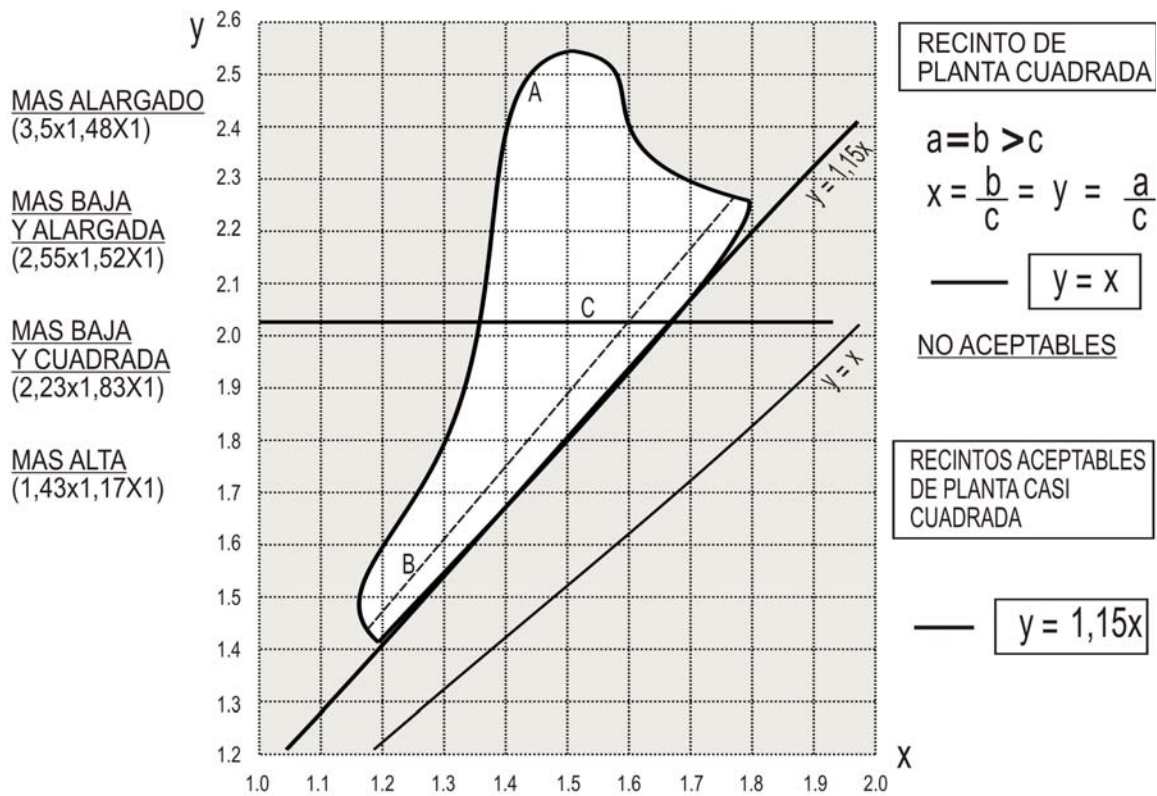
$f_n$  = frecuencia de resonancia correspondiente a cada terna  $n_a, n_b, n_c$

$n_a, n_b, n_c$  = números enteros positivos

$a \geq b \geq c$  = dimensiones del recinto (m)

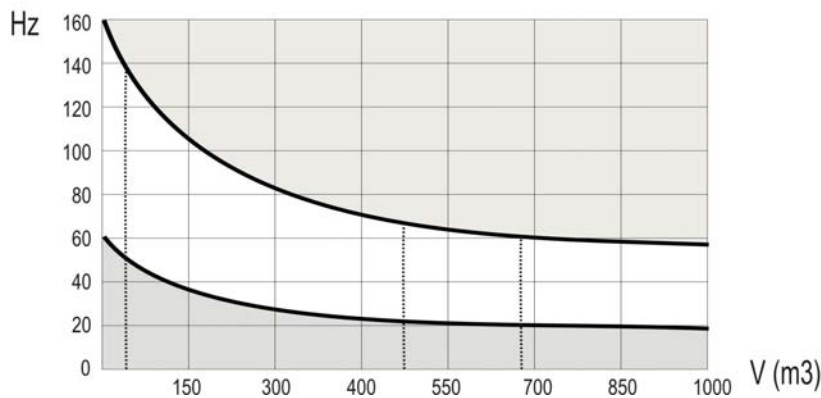
$C$  = velocidad del sonido 345 m/s

## Criterio de Bolt



- **GRAFICO DE BOLT**: SI LAS PROPORCIONES DE UN LOCAL QUEDAN EN EL INTERIOR DEL ENTORNO, SUS PRIMERAS 25 FRECUENCIAS OFRECERAN UN ESPACIAMIENTO DE  $E=1,5$

$$a > b > c ; y = \frac{a}{c} ; x = \frac{b}{c}$$



REGULAR  $E=1,5$   
ALAZAR  $E=2$   
CUBO  $E=3,5$

Distribución regular de los modos normales de resonancia en locales paralelepédicos.

Se indican algunas proporciones notables para espacios paralelepédicos rectos, con aceptable distribución de modos normales.

Se deben elegir puntos interiores a la zona dentro del grafico de Bolt para obtener proporciones adecuadas.

*Continúa en DEFINICIONES, FORMULAS Y TABLAS II*