

## La influencia de la disimetría en el aislamiento acústico de paredes dobles en la zona debajo de la frecuencia crítica

Higini Arau

Estudi Acústic H.Arau .C/Travesera de Dalt 118, 3<sup>o</sup>1<sup>a</sup> Barcelona

### Sumario

En esta publicación desarrollamos, a partir del modelo análogo eléctrico de una cavidad, la influencia de la disimetría de las paredes sobre el aislamiento acústico de una pared doble. Se demuestran importantes conclusiones de interés para mejorar el aislamiento acústico de paredes dobles que ponen en crisis a las emitidas por L.Cremer(1971),creemos basado en el modelo de Kosten.

### Summary

In this paper is analyzed the disymmetry effect above TL of a double panel system. With this theory is shown that the TL of the asymmetry case, for the zone below the critical frequency, is improved in relation to the symmetry case of the same unity mass and air cavity depht.

### 1. Introducción

En el análisis que a continuación desarrollaremos, estudiaremos el aislamiento acústico de una pared doble en la región por debajo de la frecuencia crítica. Para ello utilizaremos el modelo de análogo eléctrico de una cavidad de aire<sup>1,2</sup>, que hemos deducido a través de las expresiones de una línea de transmisión. Observaremos que cuanto mayor es la disimetría de la pared, es decir cuanto mayor es la asimetría del sistema respecto al caso simétrico, de igual masa unitaria total e igual cavidad, mayor también será el aislamiento acústico conseguido. Por lo que demostraremos la conveniencia de tener paredes distintas, no sólo por lo que ya sabemos de los problemas de coincidencia del sonido que afectan en la zona de la frecuencia crítica, sino porque veremos que la asimetría, cuanto mayor mejor, afecta también la zona de frecuencia por debajo de la frecuencia crítica.

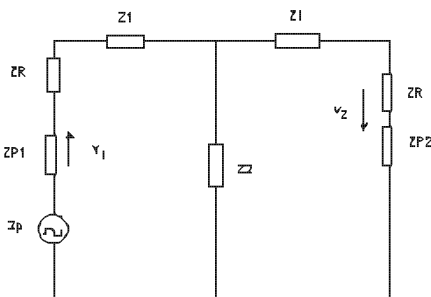


Figure 1 : Circuito eléctrico que representa un sistema de pared doble

## 2. Análisis del problema

Esbozaremos a continuación de forma abreviada el caso del cálculo del aislamiento acústico de una pared doble asimétrica utilizando los conocimientos adquiridos en nuestros anteriores trabajos de investigación<sup>1,2</sup>. En nuestro tratamiento distinguimos, tres zonas de la frecuencia: 1) Zona de resonancia y control por masa. 2) Zona de coincidencia: Frecuencias críticas, o zona de amortiguamiento. 3) Por encima de las frecuencias críticas, o zona de rigidez de las placas y amortiguamiento.

Consideremos ahora el esquema eléctrico representado en la figura 1, donde  $Z_{p1} \approx j\omega m_1$  y  $Z_{p2} \approx j\omega m_2$  corresponden a las impedancias de las dos paredes respectivamente, en la zona de la frecuencia inferior a la crítica, en adición a la impedancia de radiación del aire de cada panel:  $Z_r = \rho c / \cos \phi$ , junto con las impedancias de cavidad correspondientes al esquema análogo eléctrico de una cavidad de aire:  $Z_1, Z_2$ .

En el que sabemos se cumple:

$$\begin{aligned} Z_1 &= j\rho c \operatorname{tg} \beta \\ Z_2 &= -j\rho c / \operatorname{sen} 2\beta \\ \beta &= (\omega L / 2c) \cos \phi \end{aligned}$$

A partir de todos estos datos es posible deducir la siguiente expresión del factor de transmisividad del sistema de la pared doble, para la región de la frecuencia inferior a la crítica<sup>1</sup>:

$$\tau = 2\Delta^2 \int_0^1 x \, dx \{ (1 + A \Delta x / 2 - Cx^2)^2 + (Ax - \Delta)^2 \}^{-1}, \quad (1)$$

donde es:  $x = \cos \phi$ ,  $A = \omega(m_1 + m_2) / \rho c$ ,  $C = \omega^2 m_1 m_2 / (\rho c)^2$ ,  $\Delta = 2c / \omega L$

El valor del aislamiento acústico R deberá calcularse por integración numérica a partir de la expresión (1) y aplicando:

$R = 10 \log 1 / \tau$ . El caso más disimétrico sería la pared simple de igual masa unitaria total que la pared asimétrica considerada, siendo en este caso particular el factor de transmisividad  $\tau$  y el aislamiento acústico R los que a continuación escribimos<sup>3</sup>:

$$\tau = 2\Delta^2 \int_0^1 x \, dx \{ (1 + A^2 x^2)^{-1} = (1/A^2) \ln (A^2 + 1) \}, \quad (2a)$$

$$R = 20 \log A - 10 \log (\ln (A^2 + 1)) \quad (2b)$$

Expresión que es coincidente a la deducida por London<sup>4</sup> por otra vía de análisis diferente a la utilizada por nosotros<sup>1</sup>.

También de las exoresiones previas<sup>1</sup> utilizadas para demostrar la expresión (1) es posible calcular la frecuencia de resonancia, que a incidencia normal es:

$$f_0 = 1 / 2\pi (\rho c^2 (m_1 + m_2) / L m_1 m_2)^{1/2}, \quad (3)$$

Como demostramos en una anterior investigación<sup>5</sup>, debe practicarse en la proximidad de la frecuencia crítica, desde una octava por debajo de la misma, la siguiente corrección de la masa: Por la que es preciso reemplazar la  $m_i$  ( $i=1,2$ ) de los términos A and C de la expresión (1) por:  $m_i [1 - (f / f_{ci})^2]$

## 3. Conclusiones prácticas para el diseño arquitectónico

Los resultados que pueden calcularse por la vía teórica expuesta demuestra que se cumplen las siguientes conclusiones de interés en el diseño arquitectónico:

En el campo de frecuencias inferiores a la crítica:

1. Para frecuencias inferiores a la límite  $f_1 = c/2L$  el aislamiento acústico R en relación a la frecuencia presenta una curva de pendiente de 9 a 10 dB/octava.

2. Por encima de la frecuencia límite la pendiente es del orden de 12 dB/octava.
3. Si la masa unitaria de la pared doble es duplicada entonces R es incrementado 6 dB para una misma frecuencia.
4. Si el espesor de la cavidad es doblado, manteniendo la misma masa unitaria de cada panel, entonces R es incrementado desde 3 a 6 dB a medida que aumenta la frecuencia.

#### 4. Efecto de la disimetría del sistema de doble pared

Fenómeno de la disimetría: Demostraremos, a igualdad de masa unitaria total y espesor de cavidad de aire, que a medida que aumentamos la masa unitaria de una pared en la misma proporción que disminuimos la otra entonces el aislamiento acústico R incrementará, respecto al caso simétrico, en la región de las bajas frecuencias. Veamos los siguientes casos:

Para L= 5 cm		R dB versus Frecuencia						
$m^1$	$m^2(\text{kg/m}^2)$	31.5	63	125	250	500	1000	$f_0$
30	30	17.6	17.4	15.6	24.4	33.7	44.2	68.61
40	20	17.6	18.8	16	24.7	34	44.4	72.77
50	10	17.9	20.7	17.1	25.7	34.8	44.8	92.05
59	1	18.2	22.1	26.4	28.9	35	44.4	267.98
59.9	0.1	18.2	22.3	26.9	32	37	44.6	841.03
60	0	18.3	22.3	26.9	31.9	37.2	42.6	Pared simple

Para L= 10 cm		R dB versus Frecuencia						
$m^1$	$m^2(\text{kg/m}^2)$	31.5	63	125	250	500	1000	$f_0$
30	30	16.6	10.2	18.7	27.9	38.3	50.3	48.5
40	20	16.9	10.7	19.1	28.2	38.5	50.4	51.5
50	10	17.4	15.7	20	29	38.9	50.3	65.1
59	1	18.1	22	25.8	29.4	38.5	49.2	189.5
59.9	0.1	18.2	22.2	26.9	32.4	39.2	48.2	594.7

Para L= 20 cm		R dB versus Frecuencia						
$m^1$	$m^2(\text{kg/m}^2)$	31.5	63	125	250	500	1000	$f_0$
30	30	12.3	13.3	22.2	32.5	44.4	57.2	34.41
40	20	14	13.7	22.5	32.7	44.5	57.1	36.39
50	10	16.4	14.7	23.3	33.1	44.1	56.8	46.03
59	1	18	21.7	25.2	32.7	43.1	55	133.99
59.9	0.1	18.2	22.2	27.3	33.9	42.8	53.5	420.51

Para L= 40 cm		R dB versus Frecuencia						
$m^1$	$m^2(\text{kg/m}^2)$	31.5	63	125	250	500	1000	$f_0$
30	30	8.4	16.8	26.8	38.6	51.3	63.9	24.26
40	20	8.9	17.1	27	38.6	51.2	63.8	25.73
50	10	12.1	17.9	27.4	38.6	50.9	63.3	32.55
59	1	17.9	21.6	27.3	37.5	49.1	61.2	94.74
59.9	0.1	18.2	22.6	28.8	37.5	48	59.4	297.35

Para L= 80 cm		R dB versus frecuencia						
m <sup>1</sup>	m <sup>2</sup> (kg/m <sup>2</sup> )	31.5	63	125	250	500	1000	f <sub>0</sub>
30	30	11.9	21.4	32.9	45.5	58	70.4	17.15
40	20	12.2	21.6	32.9	45.4	57.9	70.2	18.19
50	10	13.1	22	32.9	45	57.4	69.7	23.01
59	1	17.9	22.9	31.9	43.3	55.3	67.4	66.99
59.9	0.1	18.5	24	32.3	42.7	53.9	65.4	210.26

Disim R = Rmaxasim - Rsim							
L	31.5	63	125	250	500	1000	
5	0.7	4.9	11.3	7.6	3.3	0.4	
10	1.6	12	8.2	4.5	0.9	-2.1	
20	5.9	8.9	5.1	1.4	-1.6	-3.7	
40	9.8	5.8	2	-1.1	-3.3	-4.5	
80	6.6	2.6	-0.6	-2.8	-4.1	-5	

## 5. Conclusiones

La teoría aquí expuesta contradice los resultados emitidos por L.Cremer<sup>6</sup>, que basado en el modelo que cita Kosten<sup>7</sup>, deduce una expresión del factor de transmisividad  $\tau$  y del aislamiento acústico R que sólo recoge el primer factor  $\Delta$  de delante de la integral y el término C de la expresión (1), que le llevó a calcular, a incidencia normal, los siguientes resultados:

$$\tau = \Delta^2 C^2 \quad , (4)$$

$$\begin{aligned} R &= 20 \log < (\omega^2 m_1 m_2 / (\rho c)^2) / (2c / \omega L) > = \\ &= 20 \log (\omega^3 m_1 m_2 L / 2 \rho^2 c^3) = \\ &= 20 \log (\omega (m_1 + m_2) / 2 \rho c) + 20 \log (\omega^2 m_1 m_2 L / \rho c^2 (m_1 + m_2)) \quad , (5) \end{aligned}$$

Expresiones que, a causa de la excesiva simplificación de la formulación que expuso, le condujeron a emitir una opinión en su figura 1 del efecto de la disimetría, llamada por él ley de masa de las pared doble, que se halla en contradicción con nuestros resultados y con la experiencia de la pared simple que representa el caso de máxima disimetría.

## Referencias

1. H.Arau. (1984) Contribución al estudio de la atenuación sonora de dobles y triples paredes homogéneas, isotrópicas y viscoelásticas. Tesis Doctoral . Universidad de Barcelona.
2. H.Arau. (1996) Modelo análogo eléctrico de una cavidad de aire. *Tecniacústica* 96 Barcelona.
3. H.Arau (1982). A new contribution to the study of the sound transmission loss of single walls. *Fortschritte der Akustik-FASE/DAGA* 82. Teil I, 267-270.
4. London.A(1950) Transmssion of Reverberant Sound through Double walls. *JASA* Vol 22 n°2 270-279.
5. H.Arau (1987) Valor límite del factor de pérdidas de un panel en la región de la frecuencia crítica. *Rev. de Acústica* Vol XVIII pag 57-60.
6. L.Cremer (1971) Puentes sonoros en paredes dobles. *Rev. de Acústica* 3er Trimestre Vol II Num.3 pag 246-254.
7. A.Kosten-Richardson (1953) *Technical Aspects of the Sound* Elsevier Publ. Co.pag 115.