

Análisis comparativo de métodos para la determinación de la impedancia acústica específica de materiales fibrosos

M. P. Gil Tornos, A. Uris Martínez, J. Ramis Soriano, J. Alba Fernández.
Escuela Universitaria de Gandía. Dpto. de Física Aplicada.
Carretera Nazaret-Oliva s/n. 46730, Grao de Gandía (VALENCIA).

Abstract

This communication deals about the validity of a theoretical model to calculate the specific acoustic impedance of fibrous materials. So, it is realized a comparison with the results that are offered by an acceptable and checked model.

Introducción

La determinación de las propiedades acústicas de los materiales fibrosos, como es la impedancia acústica específica, $Z_o = R + jX$, y el coeficiente de propagación, $\gamma = \alpha + j\beta$, se realiza en base a diversos métodos que utilizan como parámetros de entrada el diámetro de las fibras que constituyen el material, d , y de la densidad volumétrica de éste, ρ_m . En la presente comunicación se considera el modelo teórico de Voronina (1) y se comparan sus resultados con los obtenidos a través del modelo aceptado y comprobado de Delany y Bazley (2).

Descripción de los modelos

En el modelo de Voronina se definen la impedancia característica y la constante de propagación mediante funciones analíticas en función de la porosidad (H) del material y del diámetro de la fibra. Para un material homogéneo la porosidad viene dada por :

$$H = 1 - \frac{\rho_m}{\rho_f}$$

siendo ρ_f la densidad de la fibra del material.

Para simplificar el modelo se introduce la característica estructural (Q) como :

$$Q = \frac{(1-H)q_0}{Hd} \sqrt{\frac{8\mu}{k\xi\rho\xi c}}$$

siendo μ el coeficiente dinámico de viscosidad, ρ la densidad del gas (en este caso el medio utilizado es el aire), c la velocidad del sonido en dicho gas y

$$q_0 = 1 + 0.25 \xi 10^{-4} (1-H)^{-2}$$

con lo que se puede definir los parámetros acústicos Z_o y γ en función de Q de la siguiente manera :

$$\frac{Z_o}{\rho\xi c} = R_0 + jX_0 = 1 + Q - jQ$$

$$\gamma = \alpha + \beta = k \frac{Q(2+Q)}{(1-Q)} + jk(1+Q)$$

Por otro lado, del modelo de Delany & Bazley se obtiene la siguiente relación para las componentes de la impedancia de un material absorbente:

$$\frac{R}{\rho \xi_c} = 1 + 0.0571 \frac{-\rho \xi f}{\sigma} \sqrt{\frac{f}{d}}^{-0.754}$$

y

$$\frac{X}{\rho \xi_c} = -0.087 \frac{-\rho \xi f}{\sigma} \sqrt{\frac{f}{d}}^{-0.732}$$

siendo ρ la densidad del gas, f la frecuencia y σ la resistencia específica al flujo.

La expresión correspondiente para la constante de propagación es :

$$\frac{\alpha}{k} = 0.189 \frac{-\rho \xi_c}{\sigma} \sqrt{\frac{f}{d}}^{-0.595}$$

$$\frac{\beta}{k} = 1 + 0.0978 \frac{-\rho \xi f}{\sigma} \sqrt{\frac{f}{d}}^{-0.7}$$

donde k es el número de ondas, ρ la densidad del gas, f la frecuencia y σ la resistencia específica al flujo. La resistencia específica al flujo, σ , puede obtenerse experimentalmente (método de Ingard & Dear (3)) mediante el Tubo de Kundt, siendo su terminación y sus paredes rígidas. Se mide el nivel de presión sonora en dos puntos tal y como se muestra en la Figura 1:

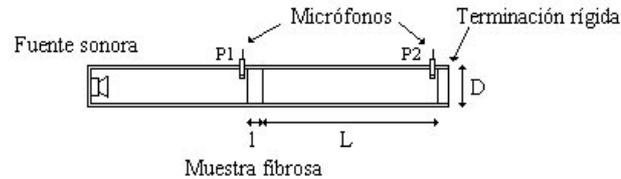


Figura 1.- Método experimental de Ingard & Dear para determinar la resistencia al flujo.

Para que se cumpla la condición de una onda incidente plana sobre el material fibroso, la sección del tubo debe ser pequeña comparada con la longitud de onda, λ , por lo que $\lambda \gg 1.7 D$, donde D es el diámetro del tubo y L la distancia entre la muestra de material y la terminación rígida, debiendo ser esta distancia de $L = (2n-1) \lambda / 4$, para $n=1,2,\dots$. Ingard & Dear eligen esta distancia como $L = \lambda / 4$ para la frecuencia de 100 Hz.

Las medidas se han realizado de 100 Hz a 4 KHz en tercios de octava, verificando las dos condiciones establecidas por Ingard & Dear.

Con este método se determina la resistencia específica al flujo, σ , a partir de la caída de presión a través del material cuando incide un flujo ininterrumpido sobre este, utilizando la relación :

$$\sigma = \frac{\rho \xi_c}{l} 10^{(Lp_1 - Lp_2)/20}$$

Otra forma de obtener la resistencia específica al flujo es la que proporciona el modelo teórico de Bies (4), donde :

$$\frac{\sigma \xi l}{\rho \xi_c} = 27.3 \frac{\bar{\rho}_m}{\rho_f} \sqrt{\frac{f}{d}}^{1.53} - \frac{\mu}{d \rho \xi_c} \sqrt{\frac{f}{d}}$$

siendo ρ la densidad del gas, ρ_m la densidad del material absorbente, ρ_f la densidad de la fibra del material, μ la viscosidad del gas, l el espesor de la muestra y d el diámetro de la fibra del material absorbente.

Resultados obtenidos

Para comparar los dos modelos se ha tomado una muestra de lana de roca cuyas características son: densidad del material, $\rho_m = 120 \text{ Kg/m}^3$; densidad de la fibra, $\rho_f = 2500 \text{ Kg/m}^3$; diámetro de la fibra, $d = 8 \times 10^{-6} \text{ m}$; espesor del material, $l = 3 \text{ cm}$; viscosidad del gas, $\mu = 1.85 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ y densidad del gas, $\rho = 1.2 \text{ Kg/m}^3$. Se han aplicado las expresiones del modelo de Voronina y las de Delany & Bazley calculando la resistencia específica al flujo a través de la expresión de Bies. Los resultados se presentan en las siguientes Tablas:

f	Modelo de VORONINA		Modelo de DELANY & BAZLEY (σ a través de Bies)		Modelo de DELANY & BAZLEY (σ medida)	
	R	X	R	X	R	X
100	3,82	-2,82	8,38	-9,76	9,92	-11,73
125	3,52	-2,52	7,24	-8,29	8,54	-9,97
160	3,23	-2,23	6,18	-6,92	7,26	-8,32
200	2,99	-1,99	5,38	-5,87	6,29	-7,07
250	2,78	-1,78	4,70	-4,99	5,47	-6,00
315	2,59	-1,59	4,11	-4,21	4,76	-5,07
400	2,41	-1,41	3,59	-3,54	4,14	-4,25
500	2,26	-1,26	3,19	-3,00	3,65	-3,61
630	2,12	-1,12	2,84	-2,54	3,23	-3,05
800	2,00	-1,00	2,54	-2,13	2,86	-2,56
1000	1,89	-0,89	2,30	-1,81	2,57	-2,18
1250	1,80	-0,80	2,10	-1,54	2,33	-1,85
1600	1,71	-0,71	1,91	-1,28	2,10	-1,54
2000	1,63	-0,63	1,77	-1,09	1,93	-1,31
2500	1,56	-0,56	1,65	-0,92	1,79	-1,11
3150	1,50	-0,50	1,55	-0,78	1,66	-0,94
4000	1,45	-0,45	1,46	-0,66	1,55	-0,79

Tabla I.- Resultados obtenidos de la impedancia acústica específica de un material fibroso.

f	Modelo de VORONINA		Modelo de DELANY & BAZLEY (σ a través de Bies)		Modelo de DELANY & BAZLEY (σ medida)	
	α	β	α	β	α	β
100	6,52	7,00	16,05	18,18	18,65	21,33
125	7,42	8,07	17,57	19,77	20,41	23,14
160	8,56	9,47	19,42	21,75	22,56	25,39
200	9,75	10,97	21,25	23,79	24,69	27,67
250	11,11	12,75	23,26	26,10	27,03	30,25
315	12,71	14,94	25,55	28,83	29,68	33,28
400	14,62	17,66	28,14	32,10	32,70	36,89
500	16,67	20,72	30,80	35,65	35,79	40,76
630	19,08	24,51	33,83	39,93	39,30	45,41
800	21,94	29,27	37,26	45,16	43,29	51,05
1000	24,98	34,66	40,79	50,93	47,39	57,23
1250	28,43	41,17	44,64	57,77	51,87	64,50
1600	32,79	49,98	49,34	66,86	57,32	74,11
2000	37,28	59,75	54,00	76,79	62,75	84,54
2500	42,36	71,64	59,11	88,73	68,68	97,02
3150	48,31	86,71	64,91	103,72	75,42	112,60
4000	55,29	105,96	71,51	122,71	83,08	132,25

Tabla II.- Resultados obtenidos de la constante de propagación de un material fibroso.

Conclusiones

El modelo de Delany & Bazley, calculando la resistencia específica al flujo, σ , mediante el modelo de Bies, proporciona resultados que concuerdan con los obtenidos, si se calcula dicha resistencia a partir al método experimental de Ingard & Dear, lo cual facilita enormemente la labor. Por tanto, conociendo el espesor y la densidad del material a estudiar y la densidad y el diámetro de la fibra es posible obtener la impedancia acústica específica de este material sin necesidad de recurrir a métodos experimentales que siempre son más laboriosos.

Por otro lado, también se observa que el modelo de Voronina también proporciona resultados coherentes para medias y altas frecuencias, aproximándose los resultados a los obtenidos a partir del modelo de Delany & Bazley.

Referencias

- (1) Voronina N., "Acoustic Properties of Fibrous Materials". Applied Acoustics 42, 1994.
- (2) Delany M. E. & Bazley E. N., "Acoustical Properties of Fibrous Absorbent Materials". Applied Acoustics 3, 1970.
- (3) Ingard K. U. & Dear T. A., "Measurement of Acoustic Flow Resistance". Journal of Sound and Vibration 103(4), 1985.
- (4) Bies, D & Hansen, C., "Flow Resistance Information for Acoustic Design". Applied Acoustics 2, 1981.