



Jornadas Nacionales de Acústica

## **ANÁLISIS DEL S.E.A. COMO HERRAMIENTA PARA PREDECIR EL AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO AÉREO**

Sobreira M., Recuero M.

E.U.I.T. Telecomunicación, U.P.M.  
Dpto. Ing. Audiovisual y Comunicaciones  
Carretera de Valencia Km. 7, 28031 Madrid

### **INTRODUCCIÓN**

En este trabajo se realiza un breve análisis sobre la aplicabilidad del método S.E.A. (Statistical Energy Analysis) a la predicción del aislamiento acústico a ruido aéreo y su posible utilización en una herramienta de diseño de sistemas acústicos para aislamiento acústico. En la comunicación se describirá brevemente en qué consiste S.E.A. y los errores que caben esperar en su aplicación al aislamiento. La discusión de las desviaciones entre los resultados que proporciona S.E.A., se apoyarán en la presentación de su aplicación a la predicción del aislamiento de paneles simples de yeso. Así mismo se presenta una posible mejora del método, presentando los resultados de dicha mejora sobre el mismo tipo de tabiques simples.

### **APLICACIÓN DEL DEL S.E.A. AL CÁLCULO DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO AÉREO**

#### **Introducción al método:**

Como contrapartida a los métodos determinísticos, S.E.A. es un método que trata con la respuesta media de sistemas. Muchos sistemas vibratorios están constituidos por diferentes subsistemas que admiten, disipan y transfieren energía. La formulación básica del S.E.A. parte de la ecuación del balance de energías para cada uno de los subsistemas [1,2]. S.E.A trata directamente con sistemas vibratorios con gran número de modos. En la actualidad, el método es utilizado desde dos puntos de vista:

- 1.- Como herramienta de análisis cuyo principal objetivo es la comprensión del flujo de la energía entre sistemas vibratorios.
- 2.- Como herramienta para predicción de los coeficientes de acoplamiento entre subsistemas, como combinación entre predicción teórica y medidas experimentales.

La utilización del S.E.A como herramienta de predicción está fuertemente condicionada por una buena evaluación de las energías puestas en juego y de los coeficientes de amortiguamiento en las estructuras.

El análisis estadístico del flujo de energía entre sistemas vibratorios acoplados sólo es posible si se verifican unos supuestos básicos:

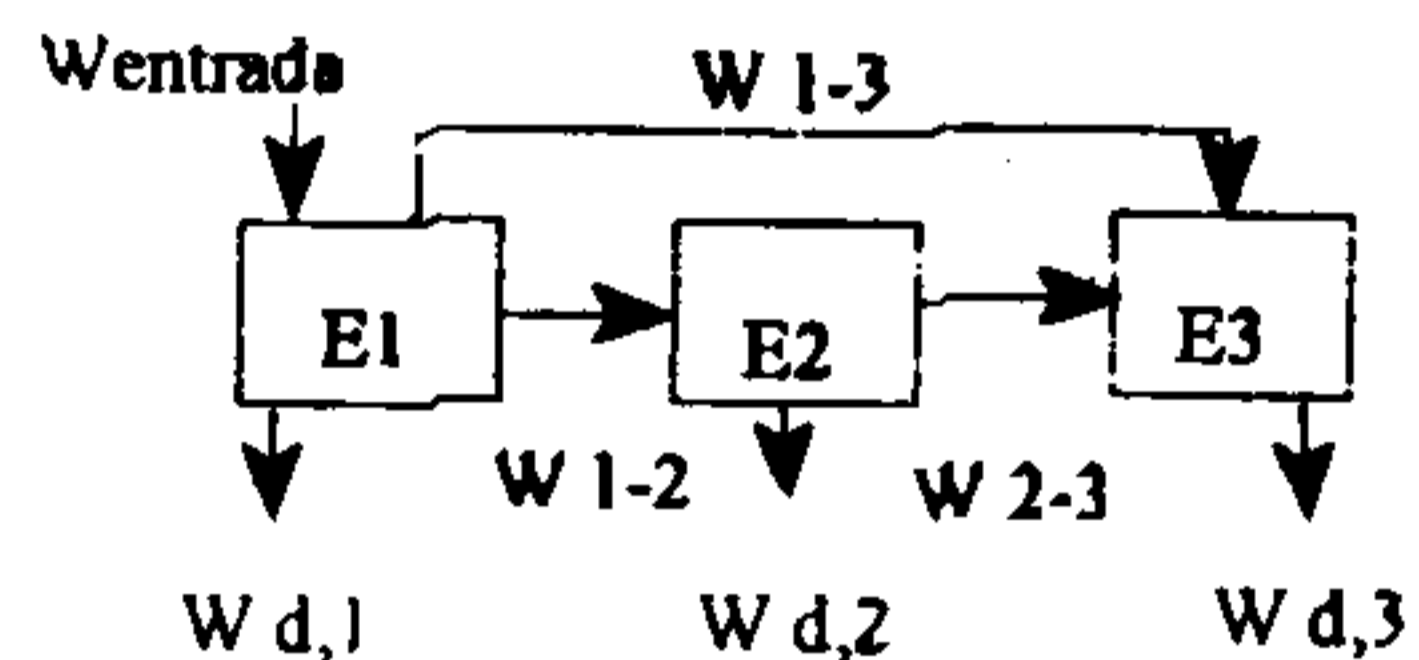
- i) las energías de todos los modos en cada uno de los subsistemas son iguales.
- ii) las ondas que suministran la energía vibratoria a cada subsistema son incorreladas con las que hacen ganar energía a cada sistema mediante su acoplamiento con el otro.
- iii) igual grado de acoplamiento entre los diferentes grupos de modos.

**Fundamentos de la Aplicación del S.E.A. a la Predicción del Aislamiento Acústico a Ruido Aéreo.**

El Análisis Estadístico del flujo de Energía (S.E.A) está siendo aplicado en la predicción del aislamiento acústico de ruidos aéreos de paramentos simples y múltiples [3,4]. En general los autores coinciden en resaltar que presenta una buena estimación aunque en ocasiones presenta desviaciones serias. Analicemos la aplicabilidad del método al problema, aplicándolo a la predicción del aislamiento de paramentos simples (paneles de yeso).

En el problema de la transmisión del sonido a través de una partición podemos identificar claramente tres subsistemas (figura 1):

- 1.- El recinto emisor, que es excitado mediante una fuente de ruido aleatorio con densidad espectral constante. En el caso de que dicho recinto sea una cámara reverberante (durante la realización de medidas de aislamiento en laboratorio) podemos suponer que en su interior se constituye un campo suficientemente difuso.
- 2.- Una partición, que podrá estar constituida por uno (tabiques simples) o varios (particiones múltiples) subsistemas.
- 3.- Una cámara receptora donde será radiado el sonido transmitido a través del subsistema 2.



**Símbolos:**

$W_{entrada}$ : energía suministrada a la cámara emisora.

$E_i$ : Energía almacenada en el subsistema  $i$ .

$W_{i-j}$ : Flujo de energía neto del subsistema  $i$  al  $j$ .

$W_{d,i}$ : Energía disipada en el subsistema  $i$

Una vez establecido qué subsistemas se pueden identificar en el problema, se pasa a ver qué sucede con las hipótesis básicas que se deben verificar para poder aplicar el método de análisis estadístico de la energía:

i) Igual energía de los modos de vibración. En los sistemas 1 y 3, en el caso de trabajar con cámaras de pérdidas por transmisión en condiciones de laboratorio, el campo tiende a ser difuso lo que implica que la energía dentro de un grupo de modos tiende a ser uniforme. En el caso en que dentro de un subsistema no se pueda suponer que dentro de una banda  $\Delta\omega$  existe igualdad de energía modal, los modos resonantes dentro de la banda estarán acoplados por amortiguamiento (mayor amortiguamiento, mayor ancho de banda). Por lo tanto, existirá cierta tendencia a que la energía de los modos resonantes dentro de una banda estrecha de frecuencias se iguale. Esta hipótesis se mantendrá válida siempre que se trate con bandas de frecuencia con suficiente número de modos (a efectos prácticos,  $n > 10$ ). En bajas frecuencias, sobre todo para el subsistema 2 donde la densidad modal será menor, puede no verificarse esta hipótesis. Este hecho acarreará una mayor desviación entre el comportamiento real del sistema y los resultados predichos mediante S.E.A., pero como se verá posteriormente los resultados se mantienen dentro de unos márgenes razonables de error, desde el punto de vista práctico.

En este punto podemos decir que la predicción mediante S.E.A. será más precisa cuanto menor sea el grosor de los paneles que constituyen el subsistema 2, debido a la mayor densidad modal de estos.

ii) Incorrelación entre las ondas. En el problema que estamos analizando sólo uno de los sistemas es excitado. La señal de excitación, como se ha señalado anteriormente, es ruido aleatorio. Se puede suponer que la energía que retorna a cada sistema está suficientemente retardada y aleatorizada en fase como para que haya incorrelación entre  $W'_{i,j}$  y  $W'_{j,i}$  (flujo de energías entre dos subsistemas).

iii) Igual acoplamiento entre modos. Para que esto se verifique deben agruparse modos de naturaleza análoga.

### Resultados Prácticos y Discusión

En una fase inicial en la elaboración de una herramienta software para la predicción del aislamiento acústico a ruido aéreo se aplicó el método S.E.A. según la formulación clásica, manejando un único valor medio de amortiguamiento para cada caso. Se encontraron grandes desviaciones en altas frecuencias (por encima de la frecuencia crítica). Estas desviaciones se atribuyeron desde el principio a los valores de amortiguamiento empleados [5].

La figura 2 muestra un ejemplo de los resultados obtenidos cuando se aplica S.E.A con un único valor medio para el factor de amortiguamiento (panel de yeso de 10 mm de grosor y  $7.2 \text{ Kg/m}^2$ ).

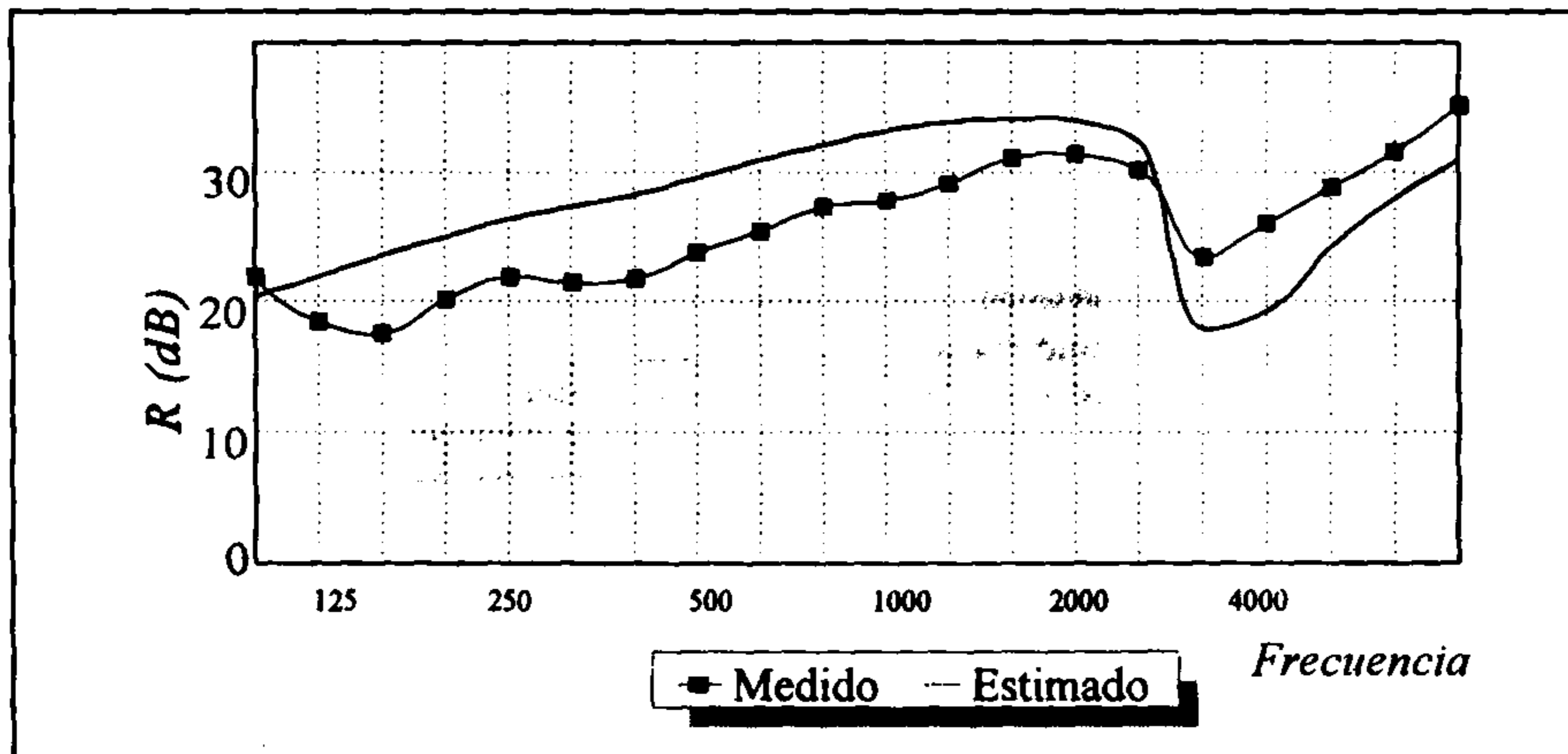


Figura 2: Índice de Aislamiento predicho utilizando un valor medio de amortiguamiento.

En [5] se utiliza un método de modelado de la respuesta vibratoria a ruido aéreo de banda ancha presentado en [6]. Se parte de una serie de medidas reales de la respuesta vibratoria media de las estructuras a un ruido blanco de banda ancha. Para ello se mide el valor cuadrático medio de la velocidad de vibración a ambos lados de los paneles y se promedia espacialmente. A partir de estos resultados se puede estimar el amortiguamiento de las estructuras medidas en función de la frecuencia, y estos resultados introducirlos en los cálculos realizados en el método S.E.A. La figura 3 muestra los resultados obtenidos mediante este método para el mismo caso que se presenta en la figura 2.

Se puede comprobar la influencia de la realización de una buena estimación del factor de amortiguamiento en la obtención de una buena predicción.

Se puede observar también una considerable mejora en el comportamiento del método en bajas frecuencias (donde el S.E.A. se muestra limitado por definición). Esta mejora se debe a una mejor estimación de la transmisión no resonante (influencia de los modos excitados fuera de la banda de análisis). Esta transmisión no resonante no puede ser despreciada al hacer la estimación en bajas frecuencias.

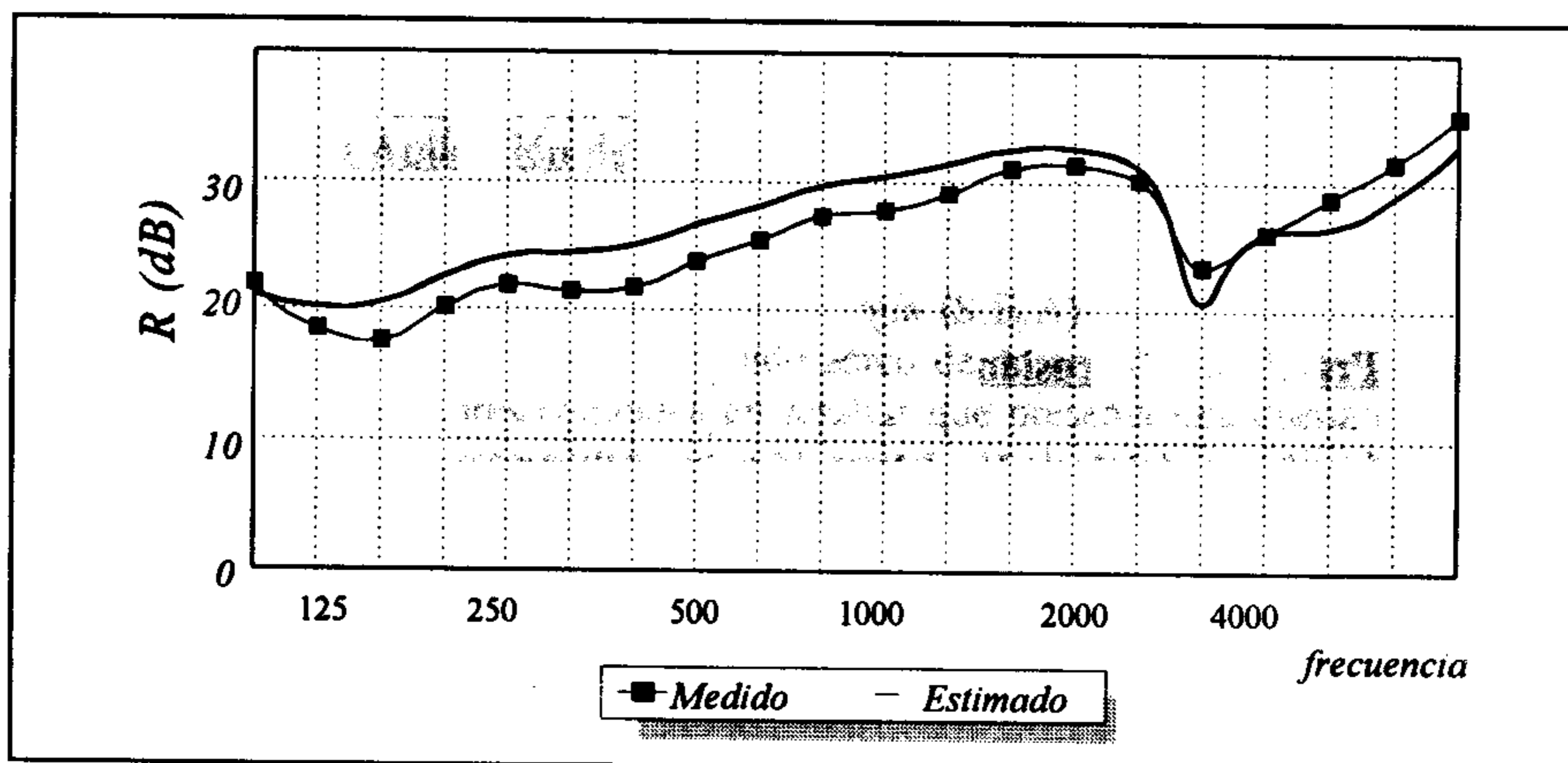


Figura 3: Índice de Aislamiento Acústico Estimado utilizando predicción de amortiguamiento mediante análisis espectral de la respuesta vibratoria.

## CONCLUSIONES

En esta comunicación se ha presentado una breve nota sobre la aplicación del S.E.A. como herramienta para predecir el aislamiento acústico a ruido aéreo. Se ha analizado los puntos básicos que permiten establecer la aplicabilidad del método al problema. Así mismo se han presentado los resultados particulares de un caso en el que se observa que para una buena aproximación entre los resultados de la predicción y los resultados de medidas experimentales, es imprescindible realizar una buena estima de los parámetros modales de las estructuras.

Del trabajo realizado en la predicción de aislamiento a ruido aéreo de diferentes estructuras (simples y múltiples) se puede decir que el S.E.A. es una buena herramienta de cálculo que puede ser utilizada como núcleo de un posible programa que permita predecir el aislamiento a ruido aéreo de diferentes estructuras.

## REFERENCIAS

- [1] I.L. Vér, C.I. Holmer. "Interaction of Sound Waves with Solid Structures". *Noise and Vibration Control, Cap 11*. Ed. McGraw Hill, 1988.
- [2] F. Fahy. "Sound and Structural Vibration". Academic Press, 1985.
- [3] A. Elmallawany. "Criticism of Statistical Energy Analysis for the Calculation of Sound Insulation - Part I: Single Partitions". *Applied Acoustics 12 (1978) pp 305-312*.
- [4] A. Brekke. "Calculation Methods for the Transmission Loss of Single Double and Triple Partitions". *Applied Acoustics 14 (1981) pp 225-240*.
- [5] M. Sobreira y M. Recuero. "Prediction of Airborne Noise Acoustic Insulation of Light Panels". *Proceedings Internoise 94*.
- [6] M. Sobreira, M. Recuero y Gil C. "Modelado de la Respuesta Vibratoria a Ruido Aéreo de Banda Ancha de Paneles de Yeso". *Actas del VIII Symposium Nacional de la U.R.S.I., 1993. pp 414-417*.