



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA  
INGENIERÍA  
INSTITUTO DE ACÚSTICA

## **CONTROL DE RUIDO EN EDIFICIOS**

### **LABORATORIO N°1**

#### **MEDICIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDA DE UN PANEL**

### **MARCO TEÓRICO**

Para un sistema mecánico compuesto de una masa, un resorte y una amortiguación, se define Factor de Pérdida  $\eta$  como la razón entre la energía disipada por ciclo y la energía potencial máxima que el sistema puede almacenar en un ciclo de vibración, este factor es adimensional.

$$\eta = \frac{D}{2\pi * E_{pot.m} x}$$

Donde D es la energía disipada por ciclo y está definida como:

$$D = \int_0^T C X^2 dt$$

Donde :

T es el periodo de la oscilación [seg.]

C es el Coeficiente de amortiguamiento viscoso [Nseg/m]

**X**

es la velocidad de vibración de la masa del sistema mecánico [m/seg]

Ahora si consideramos que la respuesta del sistema mecánico a la excitación es de la forma:

$$X = X_0 \cos(\omega t + \Phi)$$

Mediante un simple desarrollo matemático podemos demostrar que:

$$D = CXo^2 \omega \int_0^{2\pi} \sin^2(\omega t + \Phi) d(\omega t) = Xo^2 \omega \pi C$$

Sabemos también por la física clásica que:

$$E_{pot} = \frac{1}{2} K X^2(t) = \frac{K X_o^2}{2} \cos^2(\omega t + \Phi)$$

$$E_{potmax.} = \frac{K X_o^2}{2}$$

Así podemos llegar a un valor del factor de pérdida en términos fácilmente obtenibles mediante mediciones y tablas, para un sistema vibratorio de un grado de libertad

$$\eta = \frac{D / 2\pi}{E_{pot.max}} = \frac{(X_o^2 \omega \pi C) / 2\pi}{\frac{K X_o^2}{2}} = 2\xi \frac{\omega}{\omega_n}$$

$$= 2 \frac{C}{C_c} \frac{\omega}{\omega_n} = \frac{2C}{2m\omega_n} \frac{\omega}{\omega_n}$$

Definimos ahora el Tiempo de Reverberación Mecánico (MT60) como el lapso de tiempo que debe transcurrir, una vez que ha cesado la excitación mecánica, para que el desplazamiento X(t) de la masa de un sistema vibratorio de un grado de libertad con amortiguamiento, disminuya a la milésima parte de su valor inicial.

En términos de nivel de desplazamiento Lx, el MT60 de un sistema vibratorio de un grado de libertad corresponderá al tiempo que tarda el nivel de desplazamiento en decaer 60dB.

$$L_x = 10 \log [X(t)/X_{ref}]$$

Considerando que una vez que ha cesado la excitación del sistema mecánico, el desplazamiento de la masa decae en la forma dada por la siguiente ecuación:

$$X(t) = X_o e^{-\xi \omega_n t} \cos(\omega_d t + \Phi)$$

$$\text{con } \xi = C/C_c = C/2m\omega_n$$

que es la fracción de amortiguamiento crítico, que es un término adimensional.

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2}$$

que es la frecuencia angular natural amortiguada [rad/seg]

Se puede determinar la tasa de decaimiento t, es decir, cuántos dB por segundo decae la vibración y evaluando la expresión anterior en la expresión para Lx y derivando temporalmente:

$$\Delta t = -\frac{dLx}{dt} = -\frac{d}{dt} 20 \log \frac{X(t)}{X_{ref}} = -20 \frac{d}{dt} (\log e \ln X(t))$$

$$= -8.69 \frac{1}{X(t)} \frac{dX(t)}{dt} = 8.69 \xi \omega_n = 54.6 \xi f_n$$

Calculando ahora el intervalo  $t$  para un decaimiento de 60 dB, se obtiene la expresión para MT60.

$$MT_{60} = \frac{60}{\Delta t} = \frac{1.1}{\xi f_n} = \frac{2.2}{\eta \frac{\omega_n}{\omega}}$$

(n)

Usualmente es de interés el amortiguamiento en resonancia, o el decaimiento de vibración libre que ocurre en resonancia. Para  $\omega = \omega_n$  se obtiene que la ecuación anterior adopta la forma:

$$MT_{60} = \frac{2.2}{\eta f_n}$$

### **AMORTIGUAMIENTO EN RESONANCIA**

A partir de esto nos es posible determinar el factor de pérdida de un sistema mecánico de un grado de libertad mediante la ecuación

$$\eta = \frac{2.2}{MT_{60} f_n}$$

### **FACTOR DE PERDIDA DE UN PANEL**

Un panel es un sistema mecánico que posee infinitas frecuencias de resonancias  $\omega_n$  que están determinadas por las características mecánicas de masa y rigidez del panel. Si el panel es excitado con una sola frecuencia, tal que  $\omega = \omega_n$ , entonces puede ser considerado como un sistema mecánico de un grado de libertad excitado en resonancia y es posible, entonces, utilizar la ecuación anterior para determinar el Factor de Pérdida del panel para tal frecuencia.

### **Descripción del Montaje.**

El experimento se llevó a cabo en el Instituto de Acústica, montando el panel en las Sala Anecoica.

### **Esquema del Montaje**

**Fig.1:** Diagrama del Montaje del Laboratorio

Incluimos, además, en el montaje, una cámara de vídeo. Está fue montada por la necesidad de observar las lecturas del medidor de vibraciones, por no contar con una extensión del cable que une el medidor de vibraciones con el acelerómetro.

Así, los datos los obtuvimos de la siguiente forma:

Primero se buscarán los primeros diez modos normales de vibración de la plancha de Masisa, en un barrido de frecuencias a partir de los 20 Hz. Para ello, el oscilador le entrega al Shaker señales senoidales haciendo vibrar el panel. Teniendo conectado el Osciloscopio, tanto al Medidor de vibraciones como al Oscilador, observamos las figuras de Lissajous para encontrar los modos normales, debido a que en resonancia el panel vibra **en fase** con la señal entregada por el Oscilador y entonces el osciloscopio registra una recta de pendiente positiva en su pantalla.

Una vez detectado un modo normal de vibración, éste es almacenado en la memoria del PC a través del software **Spectra Plus**. Con este programa en el modo **serie de tiempo** se analiza el decaimiento de la señal en función del tiempo. Una vez grabado el decaimiento podemos situar una recta que mejor se aproxime al decaimiento de la curva. Extrapolando, podemos obtener el Tiempo de Reverberación de esa frecuencia y así también el **Factor de Pérdida** .

### **Mediciones.**

A continuación se muestra una tabla con las frecuencias de los modos normales, el tiempo de reverberación obtenido con el **Spectra Plus** y el factor de pérdida calculado.

| Frecuencias | MT60 | $\delta$ |
|-------------|------|----------|
| 33          | 1.37 | 0.0487   |
| 62          | 0.46 | 0.0771   |
| 79          | 0.9  | 0.0309   |
| 146         | 0.51 | 0.0295   |
| 233         | 0.27 | 0.0350   |
| 255         | 0.37 | 0.0233   |
| 332         | 1.7  | 0.0039   |
| 351         | 0.27 | 0.0232   |
| 501         | 0.12 | 0.0366   |
| 575         | 0.49 | 0.0078   |

**Tabla N°1:** Resultados obtenidos en las mediciones y cálculo de .

El siguiente gráfico muestra la frecuencia del modo normal v/s el factor de pérdida.

**Gráfico N°1:**Factor de pérdida en función de la frecuencia del respectivo modo normal

### **Comparación con Antecedentes Bibliográficos.**

Para poder comparar los resultados, utilizamos como datos más fidedignos los extraídos de la Tesis de Titulación del Ingeniero Acústico Alfio Yori, *Factor de Pérdida, Teoría y Método de Medición*, página 38, donde se encuentran algunos modos normales de una plancha de Masisa enchapada de determinadas dimensiones. Solo nos es posible comparar aquellos modos de vibración cercanos, de la Tesis, con los obtenidos experimentalmente por nosotros. La siguiente tabla muestra además el porcentaje de error estimado.

| Frec. Exp | $\delta$ exp | Frec. Biblio. | $\delta$ Biblio. | Porc. Error |
|-----------|--------------|---------------|------------------|-------------|
| 79        | 0.0309       | 73            | 0.0109           | 184%        |
| 233       | 0.0350       | 223           | 0.0139           | 152%        |
| 351       | 0.0232       | 400           | 0.0620           | 63%         |
| 575       | 0.0078       | 547           | 0.0400           | 80%         |

**Tabla N°2:** Comparación entre los datos obtenidos por nuestro experimento y los obtenidos por el Sr. Alfio Yori

### **Discusión de las Fuentes de Error**

El porcentaje de error que se aprecia en la tabla 2 puede deberse a situaciones como:

–Las mediciones hechas por Alfio Yori fueron sobre placas de dimensiones adecuadas para que pudieran ser consideradas como barras, por lo que el tipo de ondas que se desplazan por la barra son longitudinales. En nuestro caso las dimensiones son las de un panel, lo que implica la existencia de ondas de pliegue. Además el tipo de material no era exactamente el mismo, por lo que el coeficiente de amortiguamiento viscoso tampoco es el mismo.

–La forma de excitar la placa utilizada por Alfio Yori fue a través de un Woofer de 12 pulgadas, al cual se le adhirió un cilindro de plástico liviano junto con un tornillo de 5 cm de largo. Este tornillo fue puesto en forma perpendicular y rígidamente unido a la muestra, transmitiendo la oscilación del cono como una onda de flexión. Nosotros utilizamos un excitador mecánico o shaker PASCO SF-9324.

–El método de obtención del Tiempo de Reverberación es en sí una considerable fuente de error ya que la extrapolación de la recta que mejor se asemeja al decaimiento de la señal, puede ser ubicada de distintas maneras, dependiendo del criterio de quién lo haga. Además debemos agregar que el software utilizado no es de una óptima calidad y tiene una mala respuesta en frecuencias bajas. Quizás producto de esto el decaimiento de varias señales grabadas en Spectra Plus no tenía una sola pendiente, sino dos como se muestra en la siguiente serie de tiempo:

Debido a estas dos pendientes quizá deba sacarse el tiempo de reverberación en dos pendientes también.

–El acelerómetro fue ubicado en un solo lugar de la placa lo que naturalmente induce a un resultado erróneo, producto de la parcialidad espacial en la toma de datos, pues con una mayor cantidad de ubicaciones del acelerómetro en el panel se hubiera obtenido un promedio espacial que sin duda se acercaría mucho más a los datos de bibliografía.

–Otra fuente de error que estimamos puede ser considerable, es la deficiente aislación, tanto de ruido como de vibraciones de la sala anecoica, lo que indudablemente se puede traducir en una medición distorsionada de los datos, aunque en nuestro caso se tomaron las providencias necesarias al colgar el panel de resortes para disminuir el traspaso de energía por vía estructural al panel.

### **Bibliografía.**

**Arenas, Jorge** *Apuntes del Curso ACUS-231 Control de Ruido en Edificios*, junio de 1997.

**Yori, Alfio** *Factor de Pérdida Teoría y Método de Medición*, Tesis de Licenciado en Acústica UACH.

7

8

