

IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS DEL MODELO DE INTERACCIÓN ESPECTADOR-GRADA

Javier Fernando Jiménez Alonso

Dpto. Estructuras de Edificación e Ingeniería del Terreno. Universidad de Sevilla

Javier Naranjo Pérez

Andrés Sáez

Dpto. Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras. Universidad de Sevilla

Felipe García Sánchez

Dpto. de Ingeniería Civil, de Materiales y Fabricación. Universidad de Málaga

Dpto. de Ingeniería Civil, de Materiales y Fabricación

Universidad de Málaga

6 de junio 2018



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



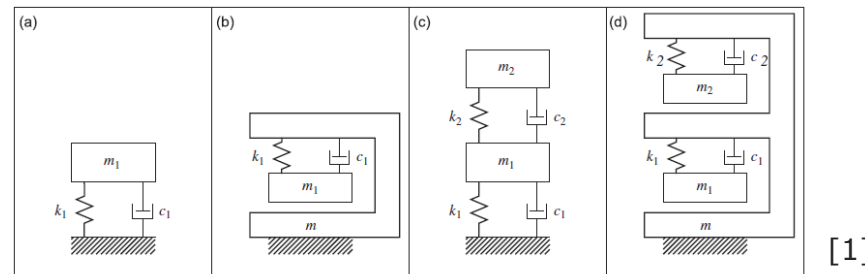
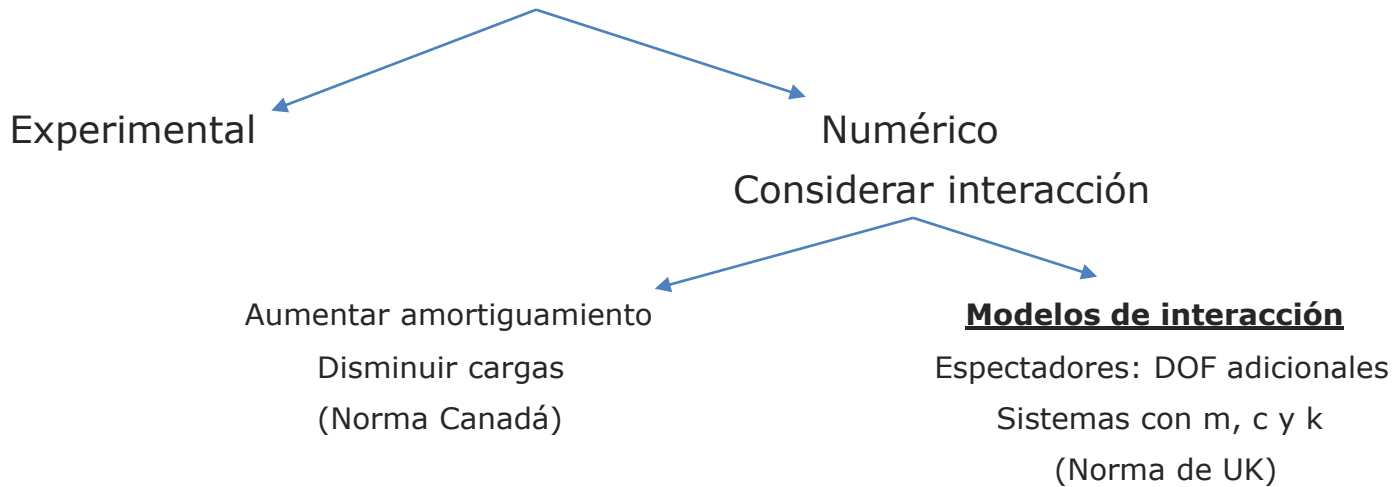


TABLA DE CONTENIDOS

1. Modelo de interacción espectador-estructura
2. Modelo de Elementos Finitos (EF) de la grada
3. Actualización modelo EF
4. Identificación numérica parámetros espectadores

INTRODUCCIÓN

- ¿Por qué hacer un modelo de interacción?
- Parámetros modales estructura *varían* con la presencia de personas



[1] Jones C, Reynolds P and Pavic A (2011) Vibration serviceability of stadia structures subjected to dynamic crowd loads: A literature review. Journal of Sound and Vibration 330(8): 1531–1566.

FORMULACIÓN

- Ecuación equilibrio estructura:

$$M_i \ddot{z}_i + C_i \dot{z}_i + K_i z_i = 0$$

- Ecuación equilibrio espectador:

$$m_a \ddot{z}_a + c_p (\dot{z}_a - \dot{z}_s) + k_p (z_a - z_s) = 0$$

$$m_s \ddot{z}_s + c_p (\dot{z}_s - \dot{z}_a) + k_p (z_s - z_a) = 0$$

- Condiciones de contorno:

$$z_s = w(x_p, y_p)$$

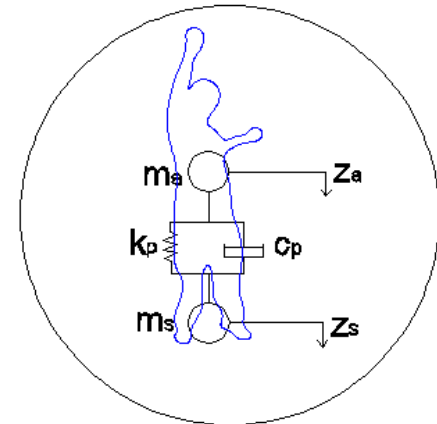
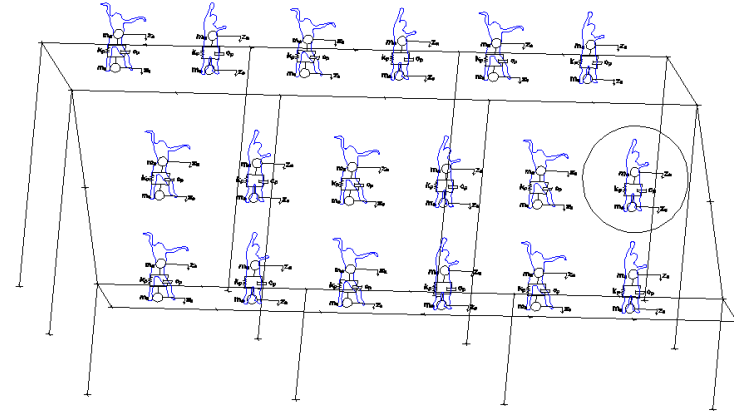
$$w(x_p, y_p) = \sum_{i=1}^n z_i \cdot \phi_{\text{num}_i}(x_p, y_p)$$

$$\dot{z}_s = \dot{w}(x_p, y_p)$$

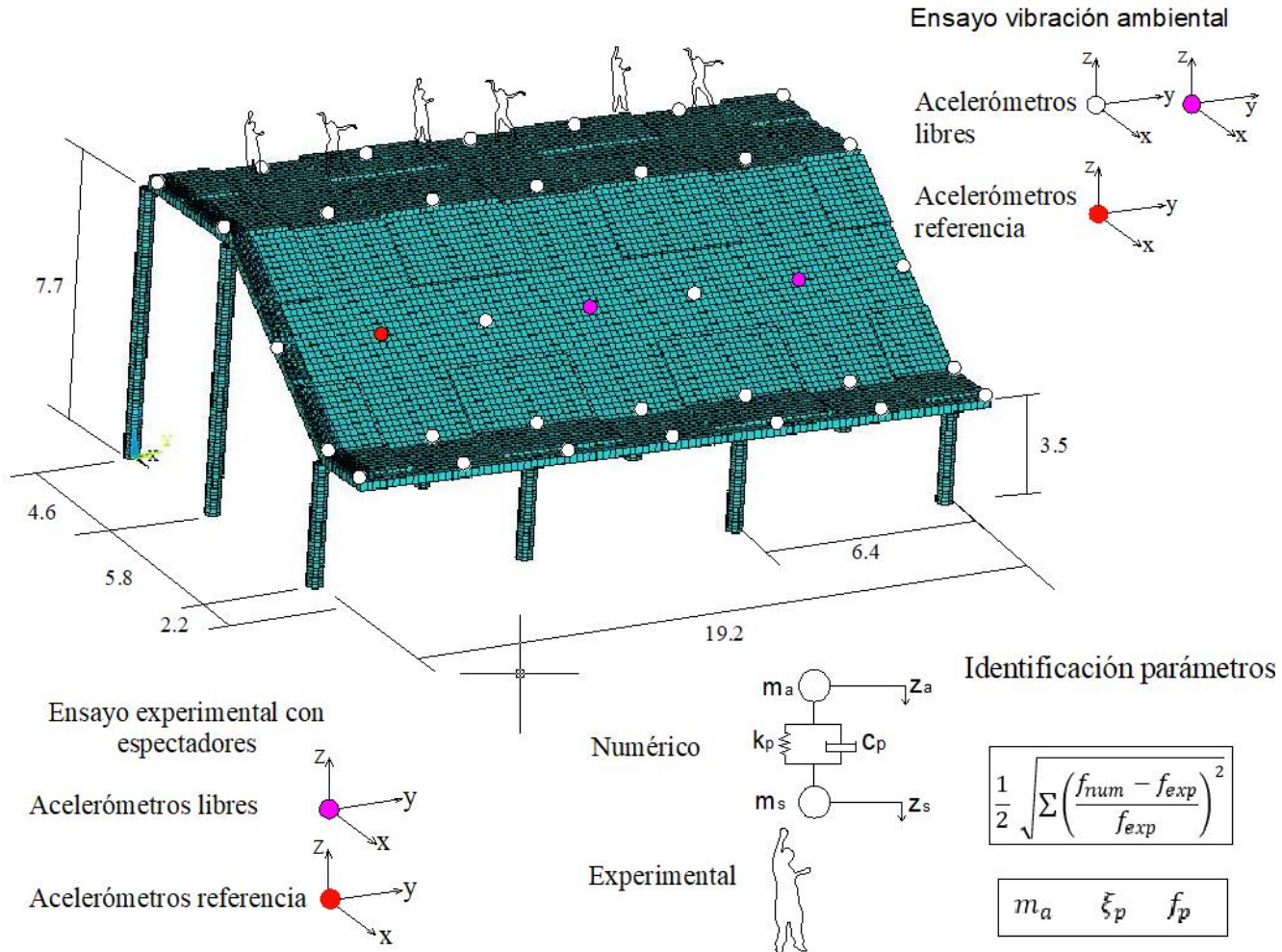
$$\dot{w}(x_p, y_p) = \sum_{i=1}^n \dot{z}_i \cdot \phi_{\text{num}_i}(x_p, y_p)$$

$$\ddot{z}_s = \ddot{w}(x_p, y_p)$$

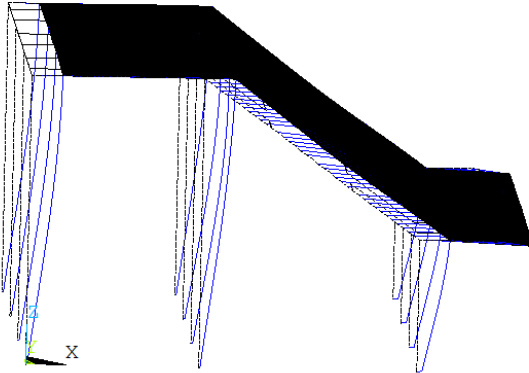
$$\ddot{w}(x_p, y_p) = \sum_{i=1}^n \ddot{z}_i \cdot \phi_{\text{num}_i}(x_p, y_p)$$



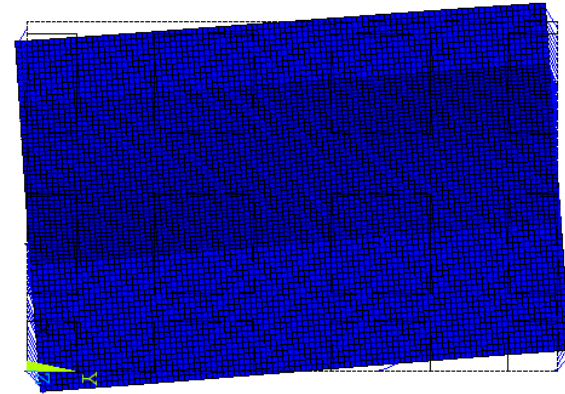
PROCESO DE IDENTIFICACIÓN



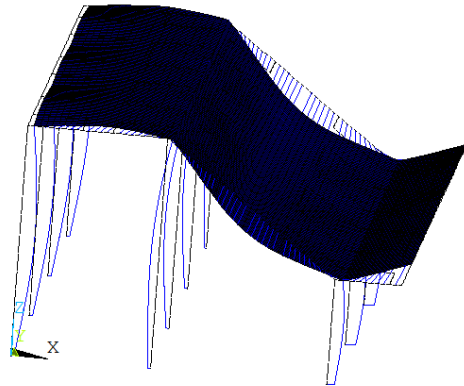
ANÁLISIS MODAL



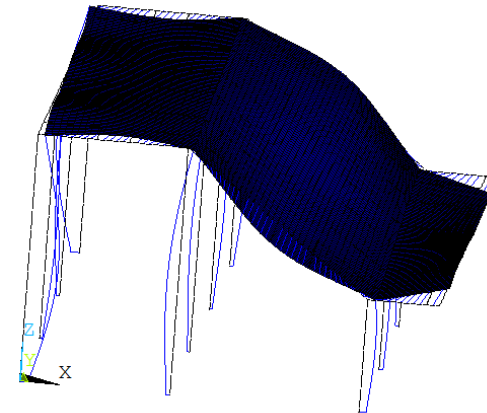
Longitudinal $f_1 = 3.70 \text{ Hz}$



Torsión $f_2 = 7.64 \text{ Hz}$



Vertical 1 $f_3 = 9.07 \text{ Hz}$



Vertical 2 $f_3 = 10.54 \text{ Hz}$



ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

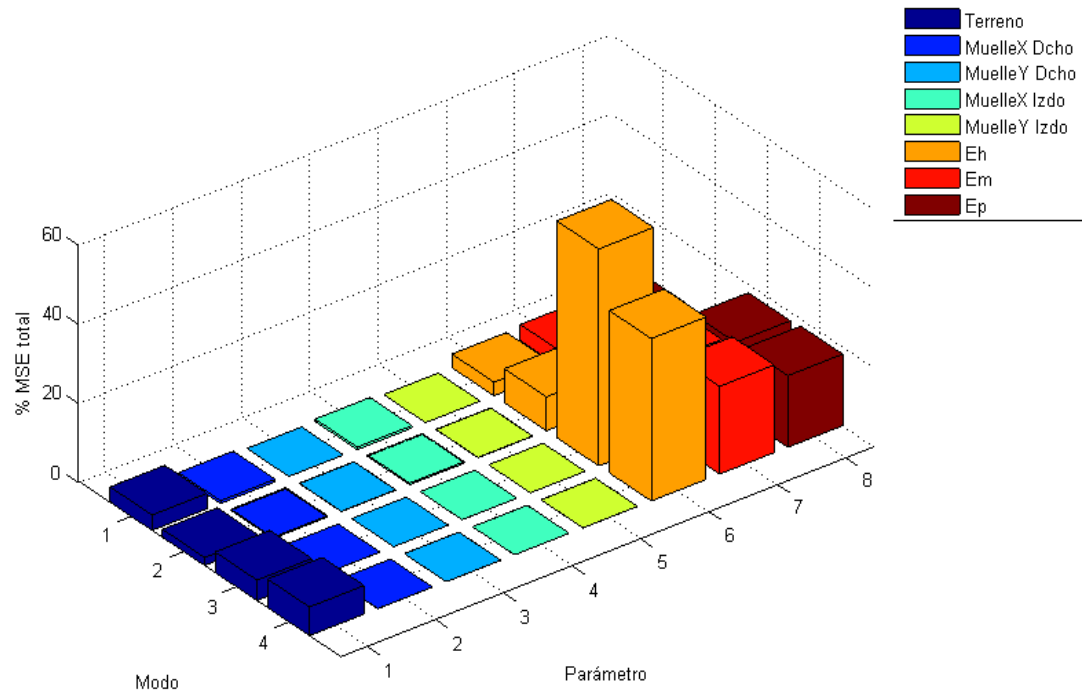
○ Fórmula Fox and Kapoor (1968)

Basada en energía
 deformación modal

$$M_{ij} = \frac{\sum_{e=1}^{n_e} MSE_i^e}{N \sum_{j=1}^{m_\theta} MSE_j^e} \cdot 100$$

$i = 1, 2, \dots, m_\theta$
 $j = 1, 2, \dots, m_f$

- MSE : energía deformación modal
- M_{ij} : matriz de sensibilidad
- n_e : número elementos afectados al mod
- N : número elementos total
- m_θ : número parámetros considerados
- N : número de modos de vibración considerados



ENSAYO EXPERIMENTAL CON ESPECTADORES

| | Primera | Segunda | Tercera |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| Grada vacía | 4,231 | 11,117 | 13,580 |
| Pasivos | 4,368 | 10,609 | 13,182 |
| Hacer la ola (2 Hz) | 4,226 | 11,262 | 13,451 |
| Bailar | 4,282 | 11,166 | 13,507 |
| Saltar (2 Hz) | 4,152 | 10,912 | 13,108 |
| Saltar (4 Hz) | 3,963 | 10,851 | 13,200 |
| Bouncing (2 Hz) | 4,017 | 11,135 | 13,514 |
| Bouncing (4 Hz) | 3,986 | 11,147 | 13,534 |

- **Análisis de los resultados**

- Influencia de la actividad
- Influencia frecuencia de la actividad



Parámetros espectadores distintos para
las distintas actividades

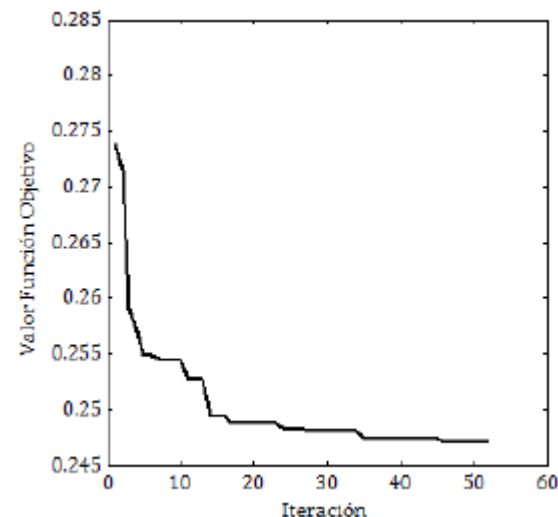
IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS

- Algoritmo genético

- Función objetivo:

$$f = \frac{1}{2} \left[\sum_i \left(\frac{f_{num} - f_{exp}}{f_{exp}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

- Frecuencias naturales amortiguadas
 - Población inicial: 100 vectores solución
 - Máx. iteraciones = 60
 - Convergencia solución-nº iteraciones





IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS

| | m_a [%] | f_p [Hz] | ξ_p [%] |
|---------------------|-----------|------------|-------------|
| Pasivos | 0,903 | 4,958 | 0,678 |
| Hacer la ola (2 Hz) | 1,000 | 5,000 | 0,670 |
| Bailar | 0,939 | 4,190 | 0,271 |
| Saltar (2 Hz) | 0,900 | 4,255 | 0,614 |
| Saltar (4 Hz) | 0,900 | 4,243 | 0,530 |
| Bouncing (2 Hz) | 1,000 | 4,243 | 0,619 |
| Bouncing (4 Hz) | 1,000 | 4,245 | 0,679 |

Misma actividad



Mismos parámetros

- Frecuencia actividad **no** es significativa
- El problema de interacción puede ser definido con mayor detalle para una mayor variedad de escenarios de carga.



COMPARACIÓN NORMA INGLESA

| | | Frecuencia Natural [Hz] | Factor amortiguamiento [%] |
|---------------|----------------------|-------------------------|----------------------------|
| Norma inglesa | Espectadores pasivos | 5 | 40 |
| | Espectadores activos | 2,3 | 25 |

| | | Frecuencia Natural [Hz] | Factor amortiguamiento [%] |
|-----------|----------------------|-------------------------|----------------------------|
| Numéricos | Espectadores pasivos | 4,96 | 67 |
| | Espectadores activos | 4,36 | 55 |

GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Dpto. de Ingeniería Civil, de Materiales y Fabricación

Universidad de Málaga

6 de junio 2018

