

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

## EXPERIENCIA EDUCATIVA SOBRE DINÁMICA DE ESTRUCTURAS

PACS: 43.10.Sv

Lima-Rodriguez, Antonia<sup>1a</sup>; Lopez-Taboada, Carlos<sup>1b</sup>; Jimenez-Alonso, Javier Fernando<sup>2c</sup>;  
Gonzalez-Herrera, Antonio<sup>1d</sup>; Garcia-Manrique, Jose<sup>1e</sup>.

<sup>1</sup> Universidad de Málaga. Escuela de Ingenierías Industriales. Departamento de Ingeniería Civil, de Materiales y Fabricación. Calle Dr. Ortiz Ramos s/n. Campus de Teatinos. C.P. 29071 Málaga. España.

<sup>2</sup> Universidad de Sevilla. Departamento de Estructuras de Edificación. Avda. Reina Mercedes, 2 C.P. 41012 Sevilla. España.

Tel: +34 952951441, +34 951952442

E-Mail: tlima@uma.es<sup>a</sup>; clopezt@uma.es<sup>b</sup>; jfjimenez@us.es<sup>c</sup>; agh@uma.es<sup>d</sup>; josegmo@uma.es<sup>e</sup>.

**Palabras Clave:** educación, dinámica, ruido blanco, PIE

### ABSTRACT

An educational experience in the Degree in Mechanical Engineering of the University of Malaga about the dynamic characterization of structures is going to be presented in this work.

The ambient vibration, white noise, excites the structure, being possible the characterization of the dynamic parameters of the same.

In this experience students have participated in the excitement of a structure, causing changes in their dynamic response and being protagonists of the test.

Through the test and feedback received from the students, we conclude that this methodology resulted in a better understanding of the phenomenon and a greater interest in the subject taught.

### RESUMEN

Se va a presentar una experiencia educativa realizada en el Grado de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Málaga sobre la caracterización dinámica de estructuras.

La vibración ambiente, ruido blanco, excita la estructura, siendo posible la caracterización de los parámetros dinámicos de la misma.

En esta experiencia los alumnos han participado en la excitación de una estructura, provocando cambios en su respuesta dinámica y siendo protagonistas del ensayo.

A través de pruebas tipo test y del retorno recibido por los alumnos, concluimos que esta metodología ha supuesto una mejor comprensión del fenómeno y un mayor interés sobre la temática impartida.

## FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

### 1. INTRODUCCIÓN

La organización de los nuevos grados en ingeniería han implicando, en términos generales, una reducción neta del número de horas dedicadas a la docencia, pero con unos objetivos de aprendizaje iguales e incluso mayores. Este objetivo solo puede ser alcanzado si se es capaz de estructurar las actividades docentes de manera que se integren en cada una de ellas dimensiones que tradicionalmente se han ido impartiendo de manera separada (división entre teoría y práctica) [1].

El trabajo que se presenta forma parte de un proyecto de innovación educativa financiado por la Universidad de Málaga (PIE 17-111). En él se propone la integración de una serie de prácticas y actividades académicas que permitan mejorar el aprendizaje de uno de los bloques de conocimiento clásico e imprescindible en el diseño estructural como es el análisis dinámico de estructuras.

Se trata de una materia, que de acuerdo a nuestra experiencia, resulta difícil de asimilar por el alumnado que viene acostumbrado a un enfoque del diseño estructural fundamentalmente estático. La importancia del diseño y no tanto del análisis tensional posterior a la sollicitación, se vuelve clave cuando estudiamos la respuesta de una estructura frente a una acción dinámica (modos naturales de vibración).

Desde el punto de vista de la innovación docente se pretende establecer una estructura básica y lógica que permita el autoaprendizaje de los alumnos en la materia. Esto es de especial importancia en una disciplina como el cálculo de estructuras donde la variedad de formas de resolver un diseño implica, además de unos sólidos conocimientos de la materia, un factor de ingenio y de pensamiento creativo unido a la capacidad de trabajo en un grupo multidisciplinar. Esto debe convertirse en una cualidad inherente a todo buen ingeniero estructural.

En esta experiencia hemos contado con la colaboración de los profesores responsables de dos asignaturas de estructuras del Grado de Mecánica. Se ha tratado de una actividad completamente voluntaria para los alumnos y algunas de las acciones se han realizado fuera del horario de la asignatura. Se ha contado también con la participación de un profesor de la Universidad de Sevilla que ha colaborado tanto en las charlas como en la realización de los ensayos.

Además de las actividades presenciales que se describen en apartados posteriores, se han realizado entrevistas personales con alumnos seleccionados y un test general a través del campus virtual a todos los alumnos involucrados. Los resultados de estas consultas han sido de gran interés para los profesores que imparten esta docencia y han evidenciado la necesidad de repetir actuaciones de este tipo.

### 2. RESUMEN DE LOS FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA LA ACTIVIDAD

Al considerar un análisis dinámico de una estructura, frente a uno puramente estático, podemos obtener mucha más información sobre la misma (frecuencias naturales, formas modales, factores de amortiguamiento, etc.) [2]. Para ello calibramos un modelo de elementos finitos de la estructura mediante su correlación con una campaña de ensayos experimentales de la misma.

La estructura a tratar es una grada de hormigón armado localizada entre dos juntas de dilatación (Figura 1). Es una estructura bidireccional. La acción dinámica a considerar puede ser conocida pero también podemos trabajar con una señal en principio desconocida, que en

### FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

nuestro caso va a ser tanto la vibración ambiental como la excitación aleatoria de los estudiantes.

Para llevar a cabo el experimento se necesita una aparamenta muy precisa. En concreto se contó con acelerómetros de fuerza balanceada, un equipo de adquisición de señal, cable apantallado, un ordenador portátil y un metrónomo (Figura 2).

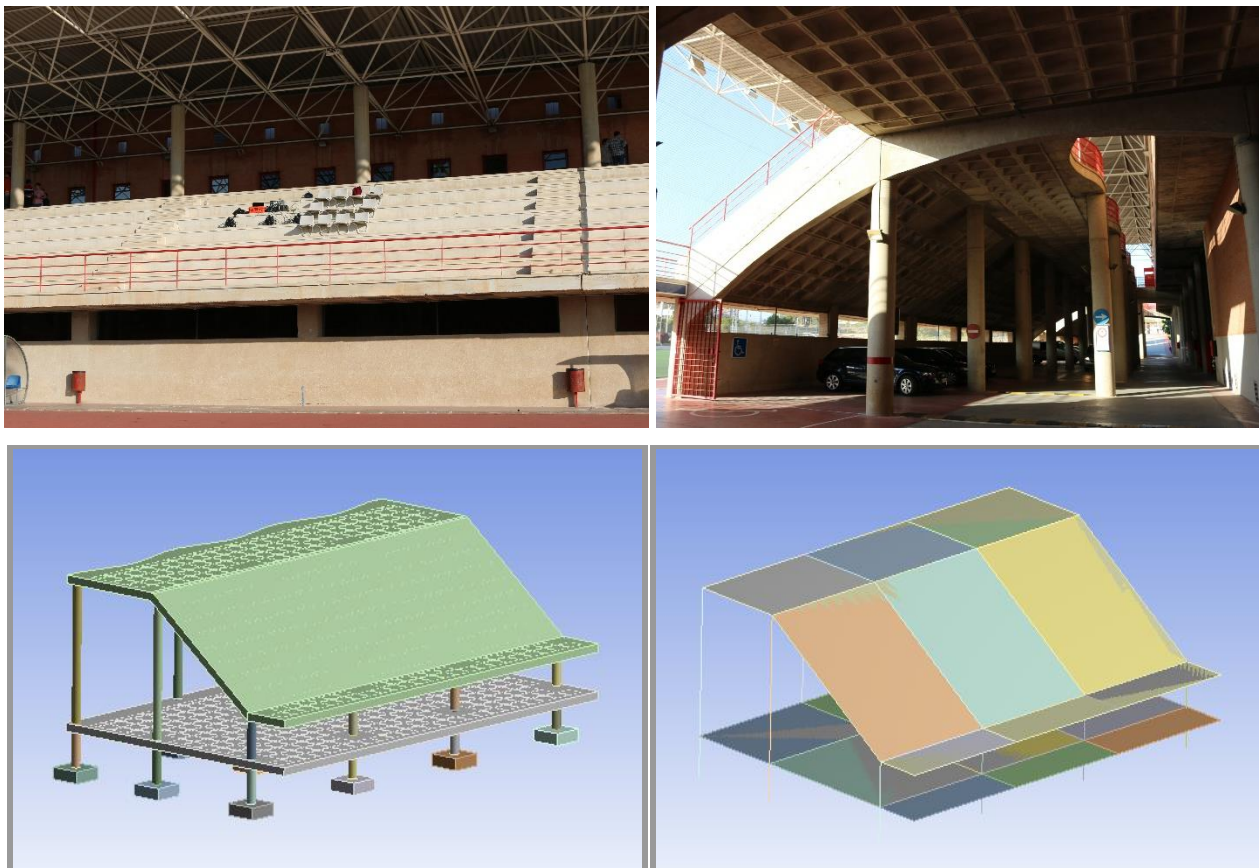


Figura 1: Imágenes de la grada objeto de estudios y algunos modelos números (elementos finitos) simulados.



Figura 2: Imágenes del equipo de adquisición de datos utilizado.

Se lleva a cabo, en primer lugar, una serie de mediciones sin espectadores al objeto de conocer los parámetros modales de la estructura en vacío. El procesamiento de la señal medida a través del software Artemis [3] ha permitido una aplicación sencilla de un algoritmo de análisis modal operacional en el dominio de la frecuencia (EFDD). Como resultado de dicho análisis, las frecuencias naturales experimentales y los modos de vibración asociados son identificados. La discriminación de los posibles solapamientos de las distintas formas modales

## FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

experimentales se corrige aplicando como criterio el valor de un determinado ratio (MAC -Modal Assurance Criterion-) a los resultados obtenidos.

### 3. METODOLOGÍA DE LA ACTIVIDAD

Se ha estructurado en dos sesiones presenciales en la Escuela de Ingenierías y de una jornada completa en las instalaciones del campus deportivo de la Universidad para materializar el ensayo. Todas ellas parte de una experiencia piloto y por tanto de carácter voluntario. No se ofreció ninguna contraprestación al alumnado por su participación a nivel de evaluación de la asignatura. Los objetivos de cada una de las sesiones fueron los siguientes:

Sesión 1 (Salón de actos de la Escuela de Ingenierías Industriales de Málaga): presentación de los conceptos teóricos, exposición de objetivos de la práctica, descripción de las tareas de los participantes, respuestas de dudas sobre la misma y primeras entrevistas con alumnos (Figura 3).

En esta sesión se presentaron dos ponencias. La primera de ella titulada “*Caracterización Experimental del Comportamiento Peatonal sobre las Gradass Exteriores del Pabellón Deportivo de la Universidad de Málaga*” donde se justifica el método, y una segunda “*Comportamiento dinámico de estructuras: modelización numérica y aplicación de técnicas de análisis modal operacional*” (OMA) donde un exalumno exponía su TFG, en el cual había modelado numéricamente la grada objeto de la práctica a través del método de los elementos finitos (ANSYS [4]).



Figura 3: Sesión1.

Los objetivos planteados a los alumnos fueron:

- Determinar las propiedades modales experimentales de la grada en vacío.
- Determinar las propiedades modales experimentales de la grada con peatones sentados (pasivos).
- Determinar las propiedades modales experimentales de la grada con peatones levantados (activos). Realizando diferentes actividades a diferentes frecuencias.
- Estimar las propiedades modales de los peatones en los diferentes escenarios.

Sesión 2 (Gradass del campo descubierto junto al polideportivo del campus de la Universidad de Málaga): cercado de la zona de ensayo, instalación de apareamiento en el graderío, ensayo de vibración ambiental, ensayo de vibración forzada de la grada bajo la acción de los alumnos, respuestas de dudas sobre la misma y nuevas entrevistas con alumnos (Figura 4).

## FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

En esta sesión los alumnos pudieron observar los equipos de adquisición y los acelerómetros de fuerza balanceada necesarios. Se llevaron a cabo mediciones con la grada vacía (excitación natural – ruido blanco) y con los alumnos tanto en reposo como a distintas frecuencias (0-4 Hz). Para conseguir un movimiento coordinado se recurrió a un metrónomo.



Figura 4: Sesión 2 en la grada. Mediciones con alumnos en reposo y en movimiento (2Hz).

Sesión 3 (Salón de grados de la Escuela de Ingenierías Industriales de Málaga): presentación a los alumnos de los resultados obtenidos y consulta de dudas.

Para poder presentar los resultados fue necesario un trabajo paralelo de investigación donde obtener las correlaciones entre los datos numéricos y experimentales. La actividad no podía incluir este tipo de cálculo avanzado fuera del alcance de los alumnos. Sin embargo la línea de investigación desarrollada por parte de los investigadores participantes en la experiencia [5] permite poder acercar los conceptos básicos vistos en la asignatura a una aplicación real de vanguardia. Los resultados de la actividad pueden ser utilizados para continuar dicha línea de investigación y a la vez pueden ser utilizados para trasladar los conceptos fundamentales descritos al alumnado. Dicha transferencia de conocimiento fue realizada en las dos clases magistrales anteriormente descritas.

A modo de ejemplo se presentan algunos de los modos de vibración identificados en los ensayos experimentales de entre los modos previstos en la simulación numérica (Figura 5). Los resultados finales mostraron también variaciones entre los modos de la grada con y sin alumnos, y variaciones de alguna de las frecuencias. Estos resultados forman parte de una investigación en curso y se publicará en otros ámbitos.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

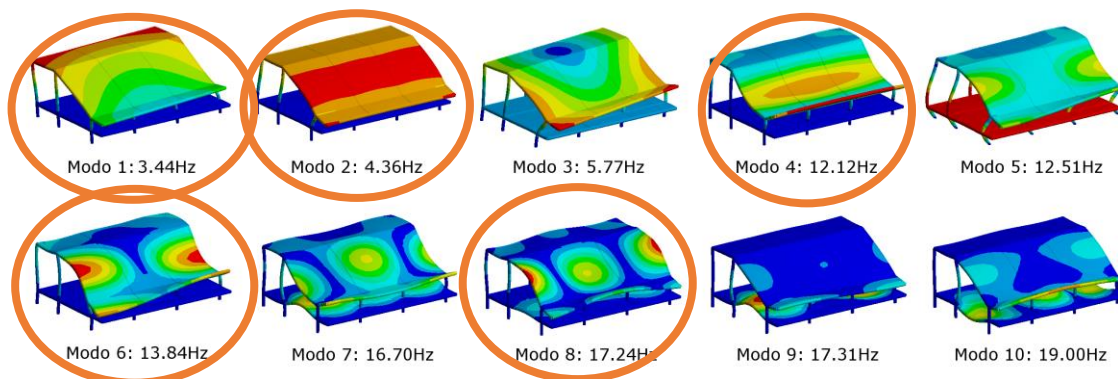


Figura 5: Modos de vibración identificados en el ensayo experimental (OMA) frente a los simulados numericamente (FEM [4]).

#### 4. RESULTADOS OBTENIDOS

Como se ha comentado, una vez finalizada cada sesión, se tuvieron entrevistas con algunos de los alumnos asistentes para conocer sus impresiones. En general la aceptación de las actividades fue muy buena. Una de las observaciones que más nos llamaron la atención fue la sorpresa que les generaba la aplicabilidad real de los conceptos teóricos estudiados e incluso el interés demostrado por más adelante en su formación acometer el TFG o TFM sobre estas materias.

A continuación se resumen las respuestas al test realizado algunos días después de finalizada la práctica en el campus virtual (Tabla 1). Creemos necesario poner de relevancia algunos aspectos preliminares:

- Voluntariedad: como se ha comentado la realización de las actividades no tenía influencia en la nota de este año de la asignatura.
- Fechas: las actividades se realizaron la semana antes de navidad y la semana posterior, épocas con exámenes extraordinarios y entrega de trabajos. No pudimos concretar fechas hasta una semana antes de su inicio debido a problemas de disponibilidad de equipos.
- Asistencia: los alumnos matriculados en la asignatura eran 210 (tres grupos). El índice de asistencia a clase era aproximadamente de un 42% (90 alumnos). No obstante la asistencia a las sesiones se registró y ascendió a 110 alumnos y 10 docentes.
- El número de alumnos que realizaron la encuesta fue de 81. La encuesta se facilitó a través de las herramientas que ofrece el campus virtual de la Universidad de Málaga. Se contestó en un plazo de cuatro días durante la última semana de docencia antes de los exámenes ordinarios.

Los resultados fueron:

Resumen respuestas seleccionadas del test realizado en el campus virtual de la asignatura					
Alumnos participantes: 81					
Fecha: 31-01-2018					
(1- valoración mínima / 5- valoración máxima)					
		2	3	4	5
1	Considero que las conferencias fueron de interés para mi formación.	1%	14%	48%	36%

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

Resumen respuestas seleccionadas del test realizado en el campus virtual de la asignatura Alumnos participantes: 81 Fecha: 31-01-2018					
(1- valoración mínima / 5- valoración máxima)					
		2	3	4	5
2	Considero que las conferencias fueron de interés para aplicar los conocimientos y competencias adquiridas en la asignatura	3%	19%	43%	34%
3	Los conocimientos recibidos en clase han sido suficientes para el seguimiento de las conferencias	1%	23%	41%	35%
4	La conferencia y el ensayo propician relacionar aprendizajes de la asignatura con el campo profesional	2%	10%	34%	53%
5	La conferencia y la práctica ha aumentado mi interés por la dinámica de estructuras	6%	22%	45%	26%
6	Considero adecuada la temporalización de la actividad	3%	15%	27%	55%
7	Considero adecuada esta actividad para la asignatura	5%	11%	42%	41%
8	Considero que debe ser una actividad obligatoria o voluntaria	76% voluntaria		24% obligatoria	
9	Recomendaría a otros alumnos/as participar en futuras ediciones	2%	10%	39%	48%
10	El profesor invitado a impartir la conferencia explica con claridad	4%	12%	30%	54%
11	El profesor invitado a impartir la conferencia muestra dominio sobre la materia	1%	5%	28%	65%
12	Considero interesante la aportación de alumno invitado a exponer su TFG	7%	16%	42%	35%
13	Estoy interesado en desarrollar mi TFG en aplicaciones de dinámica de estructuras	40%	23%	19%	6%
14	Satisfacción general con la conferencia	0%	13%	68%	19%
15	Satisfacción general con el ensayo en la grada	10%	25%	42%	22%
16	Satisfacción general con la coordinación de los profesores de la asignatura durante la práctica	7%	18%	43%	33%
17	Considero la dinámica una materia de aprendizaje sencillo	22%	27%	43%	9%
18	Considero que el aprendizaje de dinámica en mi grado necesita de más actividades prácticas ligadas en diferentes asignaturas	3%	17%	28%	53%
19	Considero que la formación en dinámica de estructuras es adecuada en mi grado	7%	23%	29%	41%

Tabla 1: Resumen del test realizado en el campus virtual

El análisis de estos datos nos permiten destacar los siguientes aspectos de la experiencia:

- La actividad ha sido bien acogida y ha cumplido con las expectativas de los participantes. Un 87% (4-5) se siente muy satisfecho con la conferencia y un 64% con la actividad de campo.

## FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

- Los profesores encargados han sabido transmitir los conceptos y captar la atención de los alumnos. También ha sido bien valorada la participación del alumno con su TFG (87%).
- Las actividades, aunque englobadas en un tema de investigación de complejidad, son percibidas positivamente como un medio para visualizar la funcionalidad de la formación de dinámica de la asignatura. Son consideradas como muy adecuadas para la asignatura (83%), permiten ver una aplicación de los conceptos de la asignatura (77%) y relacionan la asignatura con el campo profesional (87%).
- Animan a mantener este tipo de actividades para aumentar el número de prácticas en la formación de dinámica a lo largo del grado. Aunque proponen que siga siendo de carácter voluntario.

## 5. CONCLUSIONES

Se ha presentado un resumen de una actividad educativa donde hemos sido capaces de implementar una práctica compleja, tanto conceptual como de aplicación práctica, en una asignatura donde se imparten los conceptos teóricos básicos de la dinámica de estructuras. Pero al mismo tiempo, la visualización de los resultados aplicado a un caso real ha mejorado el entendimiento de lo explicado en clase y han aumentado el interés del alumnado por esta materia.

La inclusión de prácticas de este tipo parece de interés para la mejora de la actividad docente en el Grado de Mecánica donde se ha impartido. Se han identificado no obstante mejoras que implementar sobre todo en la temporización de las actividades como en la velocidad de presentación de los resultados.

Entendemos que el hecho de no ser una práctica básica de detección de modos de vibración ha redundado en el interés suscitado. Por tanto creemos que es necesario trasladar las experiencias e investigaciones a nuestro alcance (proyectos de investigación, actividades profesionales, etc.) a actividades docentes en las asignaturas pertinentes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Camas Peña, Daniel; Blanco Claraco, José Luis; García-Manrique Ocaña, José Manuel; González Herrera, Antonio. Integración de actividades docentes en la materia Teoría de Estructuras: entre la teoría y el ejercicio profesional. III Jornadas sobre Innovación Docente y Adaptación al EEES en las Titulaciones Técnicas. Universidad de Granada. 20-21 de septiembre de 2012.
- [2] Ewins, D.J. (1984). *Modal Testing: Theory and Practice*. England: Research Studies Press Ltd.
- [3] ARTeMIS Modal Pro. 2016.
- [4] Ansys Mechanical Release 19.0.
- [5] Jimenez Alonso, Javier Fernando; Sáez, Andrés; Caetano, Elsa; Magalhães, Filipe. Vertical crowd-structure interaction model to analyze the change of the modal properties of a footbridge. *Journal of Bridge Engineering*. 2016. Vol. 21. 10.1061/(ASCE)Be.1943-5592.0000828.
- [6] Jimenez Alonso, Javier Fernando; Sáez, Andrés; Caetano, Elsa; Cunha, Alvaro. A crowd-structure interaction model to analyze the lateral lock-in phenomenon on footbridges. *International Journal of Computational Methods*. 2018. Pag. 764-771.