

XII JORNADAS DE REDES DE INVESTIGACIÓN EN DOCENCIA UNIVERSITARIA

El reconocimiento docente: innovar e investigar con criterios de calidad

ISBN: 978-84-697-0709-8



Diseño: Gabinete de Imagen y Comunicación Gráfica de la Universidad de Alicante

XII JORNADES DE XARXES D'INVESTIGACIÓ EN DOCÈNCIA UNIVERSITÀRIA

El reconeixement docent: innovar i investigar amb criteris de qualitat

Coordinadores

María Teresa Tortosa Ybáñez

José Daniel Álvarez Teruel

Neus Pellín Buades

© **Del texto: los autores**

© **De esta edición:**

Universidad de Alicante

Vicerrectorado de Estudios, Formación y Calidad

Instituto de Ciencias de la Educación (ICE)

ISBN: 978-84-697-0709-8

Revisión y maquetación: Neus Pellín Buades

Uso de señales pseudoaleatorias en aplicaciones para el estudio de la dinámica de vibraciones

J. Ramis Soriano; J. Torres Romero; P. Molina Larrosa; P. Poveda Martínez; J. Carbajo San Martín

*Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal
Universidad de Alicante*

RESUMEN

El estudio de la propagación de una perturbación en un medio elástico es un contenido de relevancia en una carrera técnica. En los laboratorios docentes no es fácil llevar a cabo experimentos en los que el alumnado visualice fácilmente la dinámica de vibraciones. Además, la ejecución de prácticas demostrativas de análisis modal exige la utilización de configuraciones en las que son necesarios dispositivos excitadores como los Shaker o los martillos de impacto. En este trabajo se presenta una metodología experimental basada en la utilización de señales pseudoaleatorias tipo MLS (Maximum Length Sequence) y actuadores de tipo electrodinámico, de fácil acceso al profesorado, en aplicaciones para el estudio de la dinámica de vibraciones y que ha sido ensayada con éxito en diferentes titulaciones. La base experimental sobre la que se proponen las aplicaciones consiste en barras y estructuras tipo “L” construidas a partir de piedra arenisca tipo Bateig.

Palabras clave: barras, dinámica de vibraciones, MLS.

1. INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO

1.1 Problema/cuestión.

El estudio de la propagación de una perturbación en un medio elástico es un contenido de relevancia en una carrera técnica. En los laboratorios docentes no es fácil llevar a cabo experimentos en los que el alumnado visualice fácilmente la dinámica de vibraciones y en muchas ocasiones se recurre a simulaciones en distintos soportes y con distintos métodos numéricos. Alguno de los métodos más extendidos son las Diferencias Finitas en el Dominio del Tiempo (FDTD, en inglés) [1], el Método de los Elementos de Contorno (BEM, en inglés) [2] o el Método de los Elementos Finitos (FEM, en inglés) [3], entre otros. Esta estrategia conlleva el riesgo de cierta pérdida de contacto con la realidad, que debe ser evitada especialmente cuando el problema que se plantea se hace en el contexto de una carrera técnica.

1.2 Revisión de la literatura

Efectivamente, existen distintas metodologías experimentales para llevar a cabo un análisis modal experimental de una estructura [4]. La configuración básica consiste en el uso de un martillo de impactos o de un Shaker para excitar la estructura bajo estudio - debiendo éste último estar debidamente amplificado - y uno o varios sensores, normalmente acelerómetros de tipo piezoeléctrico, que se colocan en el/los punto/s de medida adecuado/s. En el extremo del martillo de impactos o del Shaker se ubica un sensor de fuerza. Las señales del sensor de fuerza y del acelerómetro se registran con una plataforma de adquisición de datos y se procesan para obtener la información modal de la estructura, que depende de la frecuencia.

1.3 Propósito.

En este trabajo se presenta una metodología experimental basada en la utilización de señales pseudoaleatorias tipo MLS (Maximum Length Sequence) [5] y actuadores de tipo electrodinámico, de fácil acceso al profesorado, para el estudio de la dinámica de vibraciones y que ha sido ensayada con éxito en diferentes titulaciones. La base experimental sobre la que se proponen las aplicaciones consiste en barras y estructuras tipo “L” construidas a partir de piedra arenisca tipo Bateig [6].

2. METODOLOGÍA

Se describe a continuación el procedimiento que se seguiría en una clase práctica para llevar a cabo la experiencia

2.1. Descripción del contexto y de los participantes

La experiencia planteada está dirigida a alumnado de tercer curso de una carrera técnica y para una materia con contenidos de mecánica estructural y/o acústica. Se suponen conocimientos básicos de teoría de la señal y cierta experiencia en el manejo de acelerómetros o cualquier otro sensor de vibración, así como en el procesado de los datos registrados por una plataforma de adquisición.

2.2. Materiales

En las Figuras 1 y 2 se muestran una barra y una estructura tipo “L”, respectivamente, construidas a partir de piedra arenisca tipo *Bateig*. Se ha escogido este tipo de piedra por su facilidad de corte. En la Tabla 1 se resumen sus propiedades físicas más importantes. En ambas estructuras se puede apreciar que se han adherido unas arandelas que facilitan la colocación de los sensores para la medida de vibraciones.

Tabla 1. Características de la piedra Bateig

Parámetro	Valor
Velocidad de las ondas longitudinales (m/s)	3700
Módulo de Young (GPa)	32
Coefficiente de Poisson	0.23
Densidad (Kg/m ³)	2300

Figura 1. Barra bajo estudio. Se pueden apreciar las arandelas adheridas para facilitar las medidas de vibraciones.

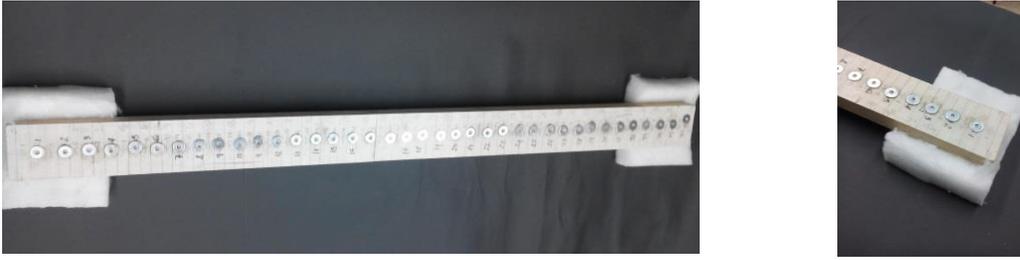
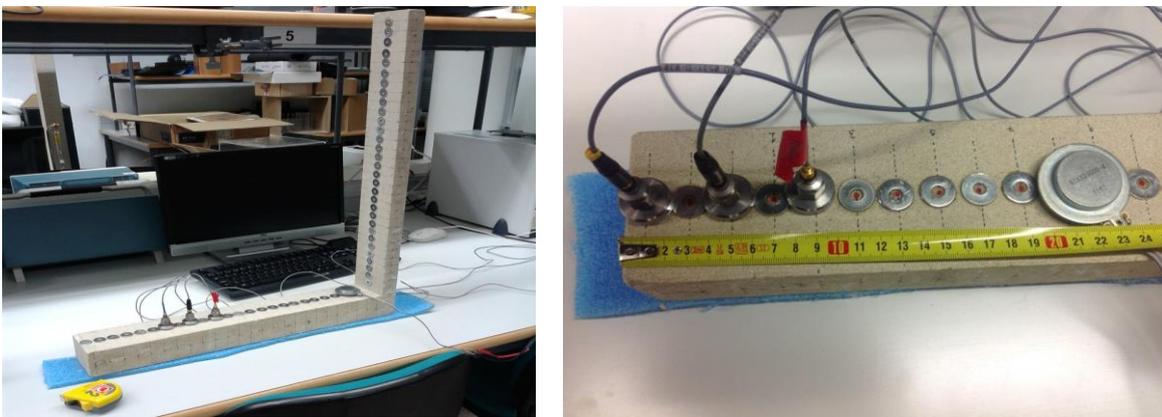


Figura 2. Estructura tipo L bajo estudio. Izquierda: Se pueden apreciar los acelerómetros, las arandelas pegadas y el actuador ubicado cerca de la esquina.

Derecha: Vista en detalle con el actuador centrado en la parte inferior.



2.3. Instrumentación

En la Figura 3 se muestra un actuador de tipo electrodinámico como los que se utilizan en Altavoces de Modos Distribuidos (DML, en inglés) [7] y que servirá como excitador de la estructura. En la Figura 4 se muestra un acelerómetro piezoeléctrico al que se le ha acoplado un imán para facilitar su adhesión a las estructuras.

Figura 3. Actuador utilizado para excitar las estructuras bajo estudio.



Figura 4. Acelerómetro piezoeléctrico con imán acoplado utilizado como sensor de vibraciones.



Además de los actuadores y sensores mencionados, es necesario disponer de una configuración básica para el registro de señales que conste de una plataforma de adquisición y un soporte software. La tarjeta de adquisición utilizada es el modelo NI-PCI 6120, que dispone de 4 entradas y 2 salidas analógicas y que permite trabajar con tasas de muestreo de 1 MS/s y 4 Ms/s, respectivamente, con 16 bits de resolución. El soporte software o aplicación ha sido implementada en lenguaje de programación visual LabVIEW y permite, entre otras opciones, enviar una señal de ruido al actuador y adquirir la señal de vibración de los acelerómetros de forma sincronizada y simultánea. La Figura 5 muestra la interfaz gráfica de la aplicación implementada.

Figura 5. Interfaz gráfica de la aplicación software implementada.



Para la adecuada realización del ensayo, se establecen como parámetros de ajuste el tiempo de captura o adquisición, el tipo de señal a emitir, la amplitud de la señal de salida y el rango de tensión de entrada (éste último permitirá ajustar la resolución de la

tarjeta al rango de entrada previsto). Como señal de excitación, el programa permitirá seleccionar entre tres tipos: ruido blanco, ruido rosa y MLS. Los dos primeros tipos se generarán directamente por el programa mientras que el último, se cargará desde un archivo de audio tipo .wav almacenado en la carpeta audio del programa. La tasa de muestreo empleada para el envío y adquisición de señales es de 96 ks/s. Una vez llevado a cabo el proceso de medida, se almacenarán los datos correspondientes a cada registro en archivos de texto, facilitando así su tratamiento o posterior análisis en plataformas como MATLAB.

2.4. Procedimientos

El procedimiento de adquisición consiste en ubicar el actuador o excitador en los puntos seleccionados y registrar los niveles de vibración de los acelerómetros en los puntos donde haya arandelas colocadas. Una vez hecho esto se procede al procesado de los ficheros de datos. Se pueden diferenciar los siguientes pasos.

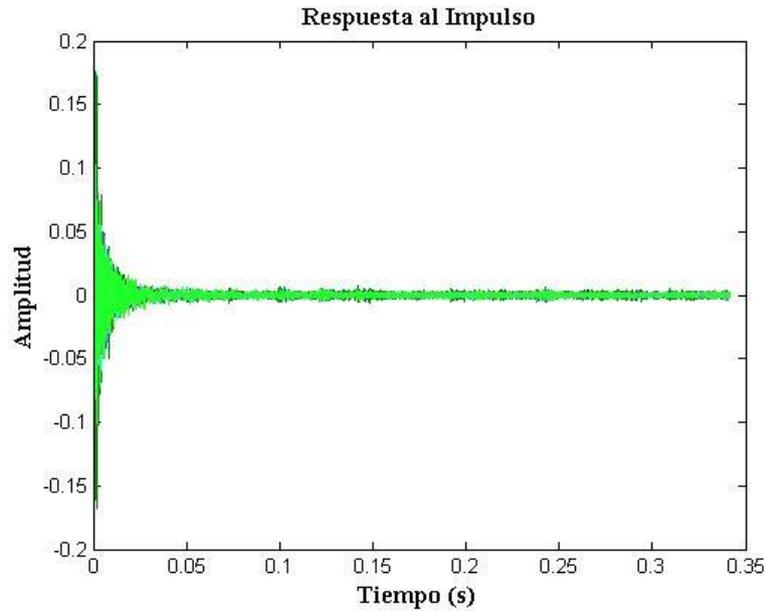
1. Ordenación de una matriz de datos.
2. Obtención de la respuesta al impulso (para cada posición).
3. Obtención de la respuesta en frecuencia (para cada posición).

En este punto hay que señalar que el uso de la metodología MLS permite obtener la Respuesta al Impulso (IR, en inglés) de un sistema lineal realizando la correlación cruzada de las señales de excitación y de medida anteriormente mencionadas. Además, este tipo de técnica permite preservar la información de fase y presenta una alta inmunidad al ruido de fondo.

3. RESULTADOS

Aunque los resultados que se pueden obtener de los registros son muchos, nos centraremos en los más importantes.

Figura 6. Respuestas al impulso correspondientes a todas las posiciones de medida.



A partir de las respuestas al impulso se puede obtener la respuesta en frecuencia para la aceleración (Figura 7). Integrando dicha respuesta se obtiene la respuesta en frecuencia en velocidad (Figura 8). Una nueva integración permitiría obtener el desplazamiento.

Figura 7. Amplitud de la aceleración de cada uno de los puntos de medida y su valor promedio (línea gruesa) en función de la frecuencia. Se aprecia la respuesta modal en baja frecuencia.

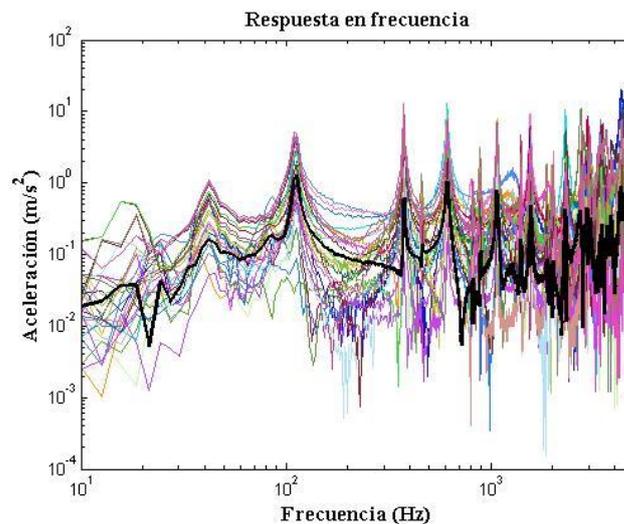
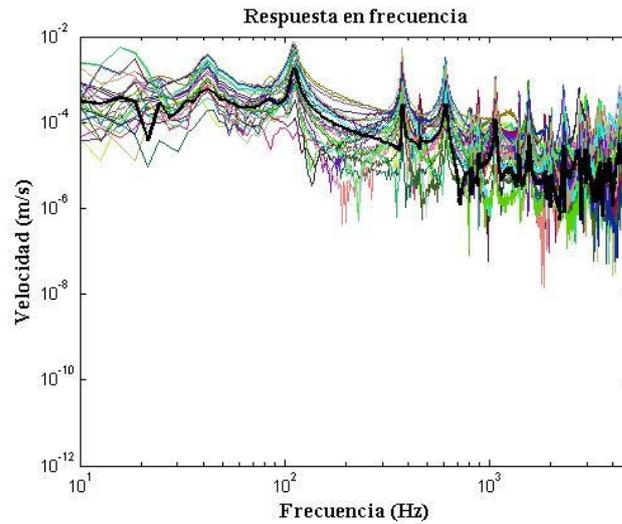


Figura 8. Amplitud de la velocidad de cada uno de los puntos de medida y su valor promedio (línea gruesa) en función de la frecuencia.



Al utilizar señales de tipo MLS y tener referencia de fase para cada uno de los puntos de medida, es posible visualizar la propagación de la perturbación a través de la estructura.

Figura 9. Arriba: Representación del desplazamiento relativo de la barra cuando está sometida a una excitación en el centro de la parte inferior para la frecuencia de 110 Hz.

Abajo: Respuesta en frecuencia de aceleración media en la estructura.

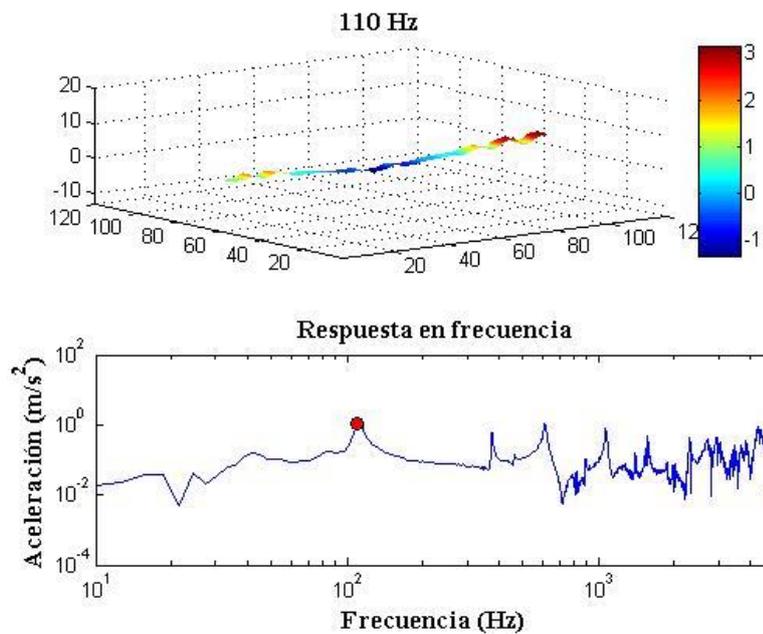
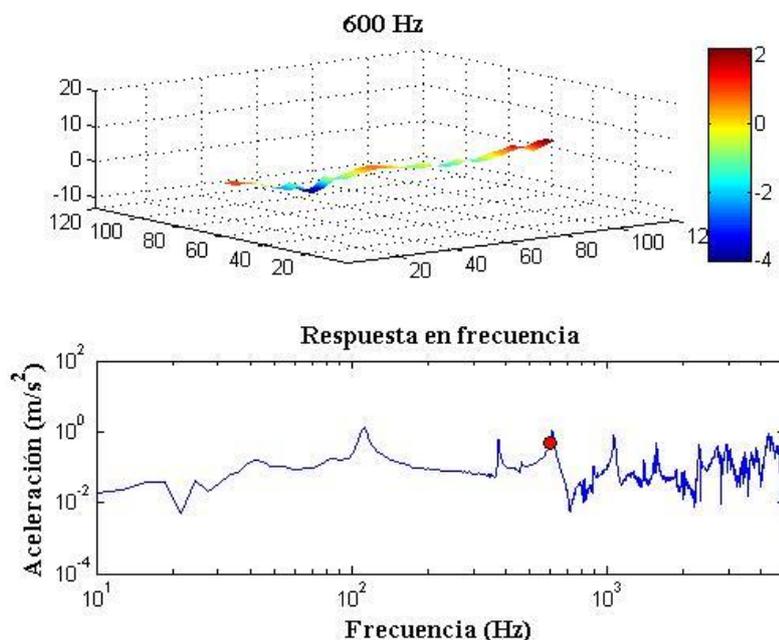


Figura 10. Arriba: Representación del desplazamiento relativo de la barra cuando está sometida a una excitación en el centro de la parte inferior para la frecuencia de 600 Hz.

Abajo: Respuesta en frecuencia de aceleración media de la estructura



4. CONCLUSIONES

Se ha presentado un procedimiento para facilitar el aprendizaje del alumnado la asimilación de contenidos relacionados con la medida de vibraciones y al análisis modal experimental de estructuras tipo barra y con forma de L que puede ampliarse a otros tipos de estructuras. La propuesta facilita el procesado y la visualización de resultados experimentales rápidamente.

Esto es muy importante cuando se trata de contenidos cuya enseñanza se aborda principalmente mediante simulaciones o con experiencias de cátedra. La experiencia se presenta de forma que el alumnado pueda realizar participar en la mejora del material docente facilitado por el profesor. De esta forma se consigue una motivación extra además de consolidar una metodología constructivista del proceso enseñanza-aprendizaje en esta temática que suele ser percibida como muy árida por el alumnado.

La práctica se ha ensayado con éxito en grupos de prácticas de tercer curso en asignaturas relacionadas con la mecánica y la acústica, con resultados muy satisfactorios. El trabajo podría completarse en otras sesiones con simulaciones en elementos finitos o cualquier otra herramienta numérica para comprobar que los

resultados experimentales coinciden los numéricos y acabar de consolidar los conceptos relacionados.

Conviene asimismo resaltar la peculiaridad del equipamiento que se ha utilizado. Normalmente, como se ha señalado en texto, para llevar a cabo experimentos de análisis modal se utilizan bien martillos de impacto, bien Shakers con un sensor de fuerza incorporado. Estos dispositivos son caros y por tanto, no están al alcance de un laboratorio docente. Los actuadores que se proponen están, desde el punto de vista económico, al alcance de cualquier laboratorio

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Von Neumann, J., Richtmyer, R. D. (1950). A Method for the Numerical Calculation of Hydrodynamic Shocks. *Journal of Applied Physics*, 21, pp. 232-237.
- [2] Wu, T. W. (2000). *Boundary Element Acoustics: Fundamental and Computer Codes (Advances in Boundary Codes)*. WIT Press.
- [3] Zienkiewicz, O. C., Taylor, R. L., Zhu, J. Z. (2013). *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals*. Elsevier.
- [4] Chopra, A. K. (2001). *Dynamics of Structures: Theory and applications to earthquake engineering*. Prentice Hall.
- [5] Schroeder, M. R. (1965) New Method of Measuring Reverberation Time. *Journal of the Acoustical Society of America*, 37 (1), pp. 409-412.
- [6] Torres, J., Cárdenas, W., Carbajo, J., Segovia, E., Ramis, J. (2012). Estudio de la radiación en vigas utilizando la técnicas de medición de holografía de campo cercano. *VIII Congreso Ibero-americano de acústica*. Évora, Portugal.
- [7] Harris, N. Hawksford, M. O. (1997). The Distributed-Mode Loudspeaker (DML) as a Broad-Band Acoustic Radiator. 103rd Convention of the Audio Engineering Society, 4526, New York, USA