

TÉCNICAS EXPERIMENTALES DE ANÁLISIS DINÁMICO: CARACTERIZACIÓN DINÁMICA Y CANCELACIÓN DE VIBRACIONES

Iván M. Díaz ^{1*}, Jaime H. García-Palacios ², Carlos M. C. Renedo ¹, José M. Soria ¹ y Carlos Zanuy ¹

1: Departamento de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras

ETSI Caminos, Canales y Puertos

Universidad Politécnica de Madrid

e-mail: ivan.munoz@upm.es, carlos.martindelaconcha@upm.es, jm.soria@upm.es, carlos.zanuy@upm.es, web: <http://ingstruct.mecanica.upm.es/>

2: Ingeniería Civil: Hidráulica, Energía y Medio Ambiente

ETSI Caminos, Canales y Puertos

Universidad Politécnica de Madrid

e-mail: jaime.garcia.palacios@upm.es

Resumen. Dentro de este proyecto de innovación educativa se han desarrollado diversas herramientas con el objeto de facilitar el aprendizaje de los alumnos en las asignaturas: Análisis Experimental de Estructuras y Análisis Dinámico y Sísmico, que se imparten en el Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos y en el Máster en Ingeniería de Estructuras, Cimentaciones y Materiales en ETSI Caminos Canales y Puertos. Ambas asignaturas se imparten en inglés y tratan de forma aplicada conocimientos de la dinámica estructural, tanto numéricos como experimentales. En el marco de este proyecto se han desarrollado dos herramientas: 1) Una aplicación móvil para la medición experimental y análisis dinámico de estructuras en servicio, y 2) Una herramienta interactiva enfocada al análisis dinámico en el dominio de la frecuencia. Además se ha contruido una maqueta de un edificio para la implementación de ambas herramientas y para el aprendizaje de técnicas de cancelación de vibraciones.

Estas herramientas han sido desarrolladas para potenciar el aprendizaje activo de los alumnos y suponen un avance importante en la docencia del análisis dinámico.

Palabras clave: Aprendizaje Basado en Problemas; Aprendizaje Experiencial; Aprendizaje Orientado a Proyectos; Autoaprendizaje; Interdisciplinariedad/multidisciplinariedad; Trabajo en Equipo/Grupo; Material Docente Interactivo

1. Introducción

El análisis experimental y dinámico de estructuras son dos de las disciplinas más complicadas y abstractas de la ingeniería estructural debido a la complejidad de los fundamentos que se manejan y al conocimiento multidisciplinar necesario para llevar a cabo el proceso completo de análisis (desde la toma de datos hasta la interpretación final de los resultados). En particular, el análisis de Fourier (análisis en el dominio de la frecuencia), el cual se usa continuamente en el análisis dinámico, no siempre se entiende adecuadamente e incluso a veces no se aplica correctamente en el dominio discreto. Con frecuencia los estudiantes pierden la motivación intentando comprender los desarrollos matemáticos asociados a estos conceptos, lo que no les permite interpretar adecuadamente conceptos más profundos e importantes como: la transformada de Fourier, "aliasing", "leakage", filtrado, ventanas de ponderación, etc. Por ello, los miembros de este Proyecto de Innovación Educativa (PIE) han decidido

desarrollar una nueva herramienta basada en la experimentación numérica y en métodos interactivos, permitiendo así que el proceso de aprendizaje por parte del alumno sea mucho más llevadero y ameno. Así, herramientas recientemente desarrolladas como “MATLAB Live Editor” permiten que los profesores creen clases interactivas mientras que los estudiantes pueden de forma sencilla, y en tiempo real, seguir, modificar y ejecutar nuevas modalidades de documentos inteligentes, que les permiten acceder a un conocimiento más intuitivo del problema [1]. Los miembros del PIE han aplicado esta herramienta exitosamente al análisis dinámico de estructuras en el dominio de la frecuencia con muy buenos comentarios por parte de los estudiantes. En el apartado 2 se aportan más detalles sobre esta herramienta.

Por otro lado, el avance continuo de la tecnología en los teléfonos móviles ha facilitado el desarrollo de aplicaciones más complejas y especializadas. En la actualidad se pueden encontrar aplicaciones móviles sencillas para el cálculo de estructuras. Así, el equipo ha trabajado intensamente en el desarrollo de una nueva herramienta móvil, creando una nueva aplicación para análisis dinámico experimental, DynApp [2]. Más concretamente, se ha desarrollado una aplicación móvil que permite valorar el estado de servicio de vibraciones en estructuras y que puede ser utilizada tanto por profesionales como en la docencia del análisis dinámico. En el apartado 3 se muestran algunos resultados obtenidos con la aplicación desarrollada en diversas pasarelas peatonales de la ciudad de Madrid.

Ambas herramientas son novedosas, ayudan al aprendizaje activo de los estudiantes y están centradas en el llamado “easy learning”, concepto sobre el que se apoyan los desarrollos de este PIE. Estas herramientas han sido utilizadas por los alumnos de dos cursos de máster de la ETSI de Caminos, Canales y Puertos de la UPM: Análisis Experimental de Estructuras y Análisis Dinámico y Sísmico de Estructuras, que se imparten en el Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos y en el Máster en Ingeniería de Estructuras, Cimentaciones y Materiales. Ambas asignaturas se imparten en inglés y tratan de forma aplicada conocimientos de la dinámica estructural, tanto numéricos como experimentales.

Finalmente, se ha construido una maqueta de un edificio que ha servido para evaluar las herramientas desarrolladas e introducir el control de vibraciones en estructuras civiles.

2. Apuntes interactivos para el aprendizaje del análisis dinámico

Los conceptos teóricos en los que se apoya el análisis dinámico en el dominio de la frecuencia son complicados de entender y más aún cuando se trata de señales digitales/discretas. El análisis en el dominio continuo solo sirve para adquirir conceptos básicos que hay que reinterpretar en el dominio discreto. Una herramienta interactiva como la presentada (basada en la implementación de Live scripts con MATLAB) permite la experimentación numérica y la evaluación de las reglas habituales de procesamiento de datos. En resumen, esta herramienta permite que los estudiantes conozcan y valoren las implicaciones de los diversos parámetros que intervienen en el análisis y su influencia en el resultado final obtenido. En la Figura 1 se muestra un ejemplo en el que los estudiantes experimentan y lidian con el problema del “leakage” con el objetivo de buscar soluciones que lo eliminen o lo mitiguen.

3. Una aplicación móvil para el aprendizaje del análisis dinámico

DynApp se ha concebido inicialmente con fines educativos, aunque finalmente también podrá ser empleada profesionalmente dadas sus capacidades (Figura 2). DynApp permite la obtención de un registro fiable de señales de vibración, la evaluación del servicio de las estructuras, y el análisis en el dominio de la frecuencia, mediante aplicación de filtros, etc. Todo ello, con un simple gesto. Los estudiantes están muy familiarizados con el uso de aplicaciones móviles rápidas y ágiles, por lo que suelen

disfrutar de la inmediatez que proporciona DynApp a la hora de proporcionar resultados de forma gráfica y clara. El desarrollo y las múltiples especificaciones de la aplicación han sido detallados con anterioridad en [2].

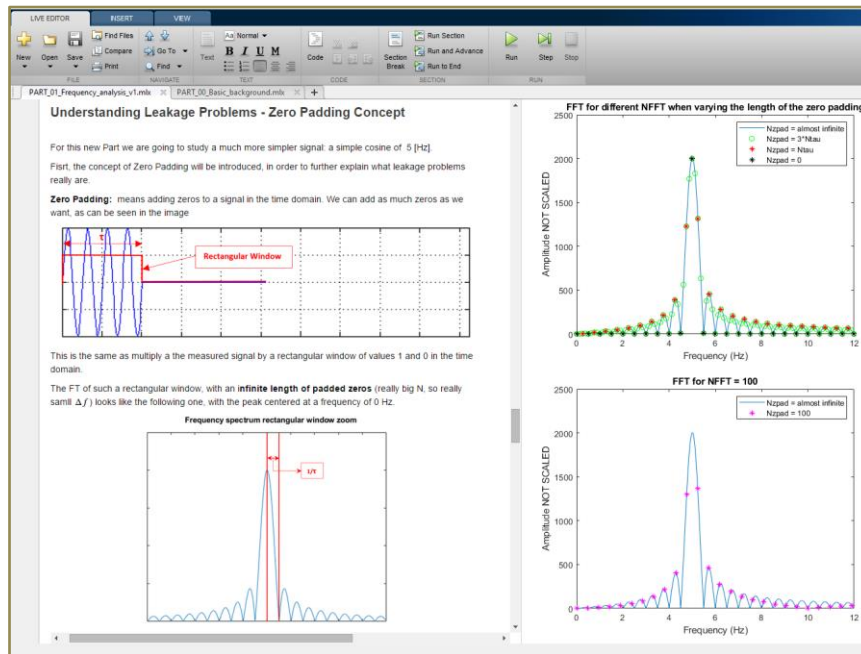


Figura 1. Ejemplo de notas interactivas creadas con Live script de MATLAB.

All this with just a Mobile Phone

- Measure data
- Load file
- Trim data
- Interpolate at constant interval times
- Remove unnecessary columns
- Detrend data
- Filter data
- Decimate data
- Fast Fourier transform (FFT)
- Identify frequencies
- Save preprocessed series

Figura 2. DynApp, página principal, ejemplo de medida y capacidades.

4. Modelo de edificio para control de vibraciones y el aprendizaje del análisis dinámico

Se ha construido un modelo de edificio de dos grados de libertad que los alumnos utilizan para analizar tanto numérica como experimentalmente su respuesta dinámica (Figura 3). Además, los alumnos diseñan y visualizan el efecto de un amortiguador pendular. Las mediciones experimentales se realizan tanto empleando sus propios teléfonos móviles (usando la propia DynApp) como con acelerómetros de última generación disponibles en el grupo de investigación (Figura 4). Adicionalmente, se muestra como a través del procesado de señal de las imágenes capturadas por un cámara convencional, se puede obtener el desplazamiento de diversos puntos de la estructura, permitiendo un análisis completo y detallado de las propiedades dinámicas de la estructura [3].

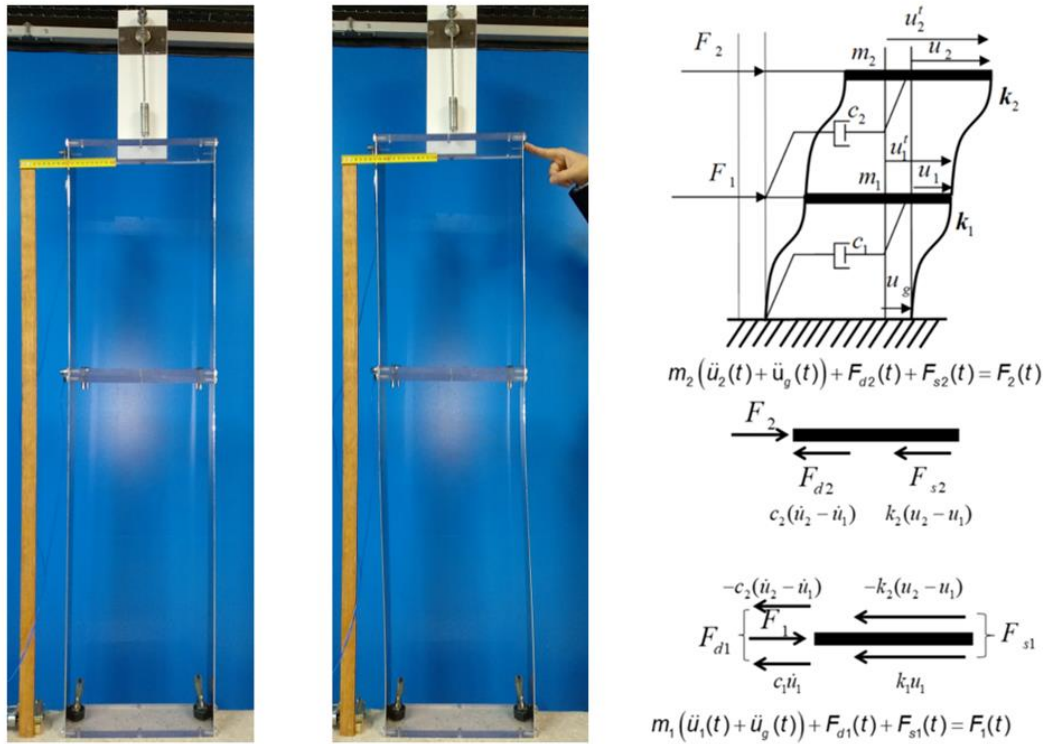


Figura 3. Modelo de edificio y análisis dinámico.

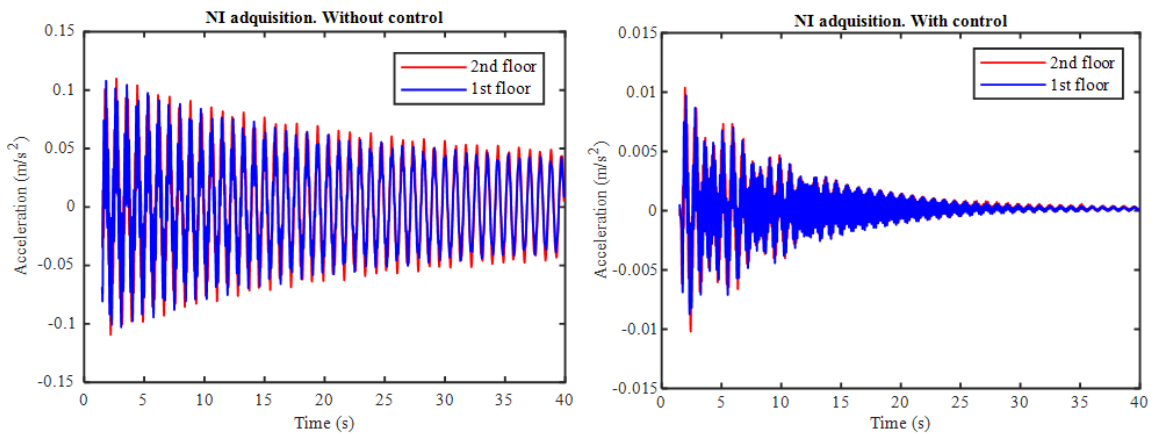


Figura 4. Respuesta del edificio sin control y con control.

Referencias

- [1] Iván M. Díaz et al (2019) Interactive lecture notes for structural Dynamic analysis in Frequency domain. Advances in Building Education (ABE). (Aceptado y en proceso de publicación)
- [2] Iván M. Díaz et al (2019) A mobile tool for teaching advanced dynamic analysis. Advances in Building Education (ABE). Vol 3.
- [3] Ignacio Embid et al (2018) Dynamic test and vibration control of a two-story building model. Dynamic test and vibration control Conference, Madrid, Junio. pp 92-95.