

# Calibración de una herramienta didáctica simplificada para análisis dinámico de estructuras

Julián Carrillo, Carlos Díaz & Luis Parra

*Grupo Estructuras y Sísmica, Programa de Ingeniería Civil, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.*  
[julian.carrillo@unimilitar.edu.co](mailto:julian.carrillo@unimilitar.edu.co), [asistente.estructuras.sismica@unimilitar.edu.co](mailto:asistente.estructuras.sismica@unimilitar.edu.co),  
[estructuras.sismica@unimilitar.edu.co](mailto:estructuras.sismica@unimilitar.edu.co)

**Resumen**— Las herramientas didácticas han demostrado su efectividad en la comprensión, interpretación y aprendizaje de conceptos fundamentales relacionados con el campo de la ingeniería sismo-resistente. En este artículo se presenta el diseño, construcción, calibración y secuencia pedagógica para la implementación de un instrumento didáctico para la enseñanza de conceptos fundamentales de análisis dinámico de estructuras. El instrumento es un dispositivo con tres péndulos invertidos que muestra el comportamiento oscilatorio y el estado de resonancia de elementos. En el artículo se propone una secuencia didáctica simplificada para el uso del instrumento en una práctica de laboratorio en el área de estructuras. La realización de esta práctica permite la participación activa del estudiante en la construcción del conocimiento asociado al análisis dinámico básico de estructuras.

**Palabras Clave**— herramienta didáctica, dinámica estructural, ingeniería sismo-resistente.

Recibido: 12 de enero de 2020. Revisado: 3 mayo de 202. Aceptado: 15 de julio de 2020.

## Calibration of a simplified teaching tool for dynamic analysis of structures

**Abstract**— Education tools have demonstrated their effectiveness in the understanding, interpretation and learning of fundamental concepts related to the field of earthquake-resistant engineering. This article presents the design, construction, calibration and pedagogical sequence for the implementation of a didactic instrument for teaching fundamental concepts of structural dynamic analysis. The instrument is a device with three inverted pendulums that shows the oscillatory behavior and the resonance phase of elements. The article proposes a simplified teaching sequence for using the instrument in a laboratory practice in the area of structures. The realization of this practice allows the active participation of the student in the construction of knowledge associated with the basic dynamic analysis of structures.

**Keywords**— education tool, structural dynamics, earthquake-resistant engineering.

## 1 Introducción

El conocimiento técnico de la ingeniería está fundamentado por el aprendizaje de la teoría y su posterior aplicación en casos prácticos; es decir, la relación teórico-práctica [1]. Sin embargo, la asociación de conceptos básicos de ciencias físicas y mecánicas de materiales tales como periodo y frecuencia de vibración, momentos de inercia, rigidez, amortiguamiento y resonancia, etc. en temas de asignaturas más avanzadas tales como análisis y dinámica estructural, representa cierta dificultad en los estudiantes de ingeniería, quienes pueden

presentar falencias en cuanto a pensamiento abstracto y espacial. Por tanto, la dificultad en el aprendizaje de temas de ingeniería estructural y la necesidad de la conceptualización adecuada por parte del estudiante para la aplicación de conceptos como rigidez, resonancia, amortiguamiento en estructuras, promueve el uso de instrumentos y herramientas didácticas que mejoren el proceso de enseñanza-aprendizaje en este campo. Se ha demostrado que las herramientas didácticas han obtenido niveles adecuados de aceptación y efectividad en la comprensión, interpretación y aprendizaje de conceptos fundamentales relacionados con el campo de la ingeniería sismo-resistente [2]. En consecuencia, en este estudio se propone el diseño, construcción, calibración y secuencia pedagógica para la implementación de un instrumento didáctico que se basa en el modelo de simulación BOSS (*Building Oscillation Seismic Simulation*, en inglés), el cual fue propuesto originalmente por la *American Geophysical Union* [3]. El modelo de simulación BOSS permite simular el fenómeno de resonancia en edificaciones debido a efectos sísmicos, a partir de un péndulo invertido donde un elemento esbelto con masa concentrada en el extremo superior oscila con una frecuencia cercana a la frecuencia de resonancia, la cual depende de la longitud y masa del péndulo invertido. Cuando la longitud del péndulo cambia, el instrumento permite simular el comportamiento de diferentes estructuras ante excitaciones con frecuencias cercanas a la frecuencia natural de vibración natural del sistema.

En la primera parte de este artículo se presentan los conceptos relacionados con el instrumento didáctico, junto con el diseño, construcción y calibración de esta herramienta. Luego se presenta una secuencia de instrucciones didácticas para la aplicación del instrumento propuesto en una práctica de laboratorio de un curso del área de estructuras. En esta práctica de laboratorio se presenta el instrumento a los estudiantes, quienes podrán identificar y medir los parámetros de sección transversal, longitud y masa de cada uno de los péndulos que comprende el instrumento didáctico, con el fin de calcular la inercia, rigidez y periodo de estos péndulos a partir de las ecuaciones básicas de dinámica estructural. La realización de esta práctica a partir de la secuencia de actividades de la

herramienta didáctica propuesta en este artículo permite la participación activa del estudiante en la construcción del conocimiento asociado al análisis dinámico básico de estructuras.

## 2 Diseño del instrumento didáctico

El instrumento propuesto en este estudio se basa en el modelo BOSS planteado originalmente por el *American Geophysical Union* [3]. En este modelo, los elementos oscilatorios que representan las estructuras pueden entrar en resonancia cuando se inducen en estos elementos movimientos sísmicos u oscilatorios simulados. Los elementos oscilatorios son péndulos invertidos y tienen diferentes alturas, de tal modo que pueden entrar en resonancia al experimentar movimientos sísmicos simulados con frecuencias cercanas a las frecuencias naturales de los elementos. Para el instrumento construido en este estudio se utilizaron tres elementos oscilatorios tal como se muestra en la Fig. 1.

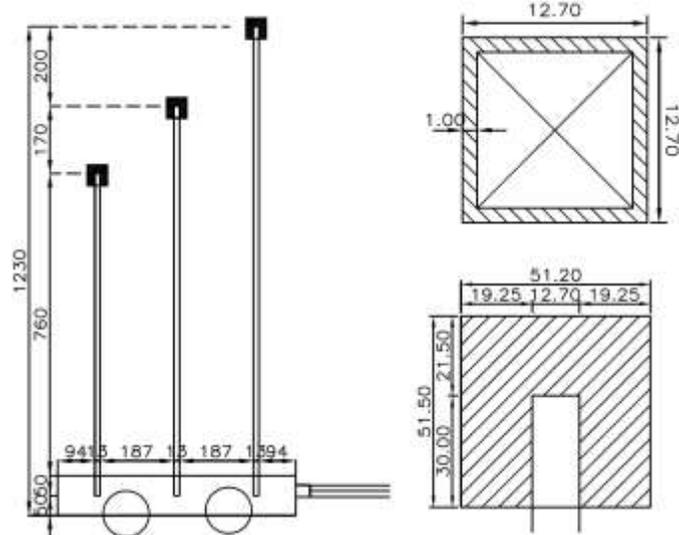


Figura 1. Dimensiones de los elementos oscilatorios, en mm.  
Fuente: Los autores

Los elementos se planearon para emular el comportamiento de una casa de un nivel con periodo fundamental ( $T$ ) cercano a 0.05 s, una edificación de mediana altura con  $T \approx 1$  s y estructura de mayor altura con  $T \approx 2$  s. Las frecuencias de vibración ( $f$ ) correspondientes de estas edificaciones son 20 Hz, 1 Hz y 0.5 Hz, respectivamente. Estas frecuencias se encuentran dentro del intervalo de operación del simulador uniaxial disponible en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Militar Nueva Granada, el cual induce los movimientos ondulatorios en los elementos. Cada elemento oscilatorio consiste de una barra de aluminio de sección cuadrada hueca empotrada en la base y un cubo de 1 kg de acero en el extremo superior de la barra. Como se muestra en la Fig. 1b, las barras de aluminio tienen sección transversal de 12.7 mm de lado y 1 mm de espesor, y se empotraron en la base a una profundidad de 50 mm. Adicionalmente, para la sujeción de la masa concentrada en el extremo superior, se dispuso de 30 mm de la longitud total de cada barra. Para representar las edificaciones de baja, mediana

y mayor altura, las longitudes libres ( $l$ ) de los elementos fueron 700 mm, 900 mm y 1100 mm, respectivamente. Como se observa en la Fig. 1c, la masa concentrada está representada por cubo de acero de aproximadamente 51 mm de lado. El cubo cuenta con una perforación cuadrada de 12.7 mm de lado y 30 mm de profundidad para ser acoplada a la barra de aluminio. El aluminio fue el material seleccionado para las barras de los elementos debido a que es un material que brinda rigidez, masa y durabilidad apropiada para la herramienta didáctica.

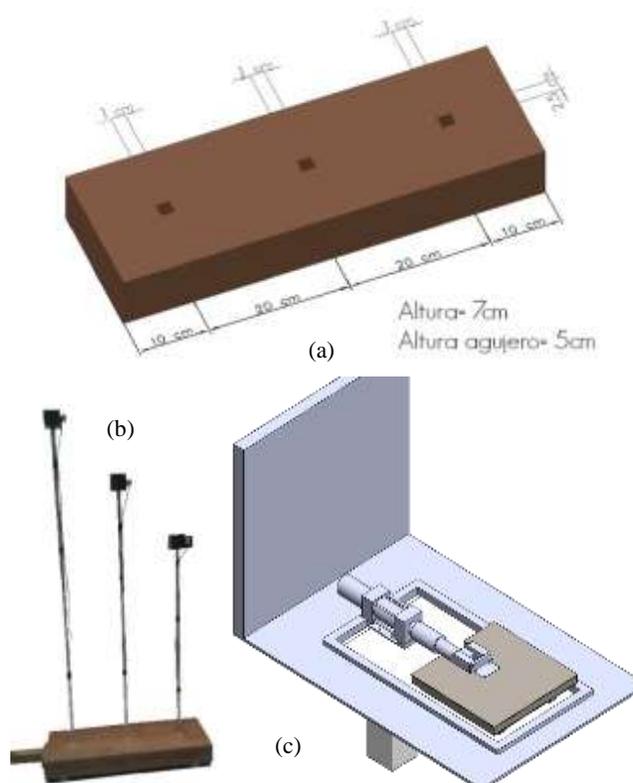


Figura 2. Componentes del instrumento didáctico: (a) dimensiones de la base, (b) herramienta terminada, (c) equipo de simulación de vibraciones.  
Fuente: Los autores.

La base para sujetar los elementos oscilatorios fue elaborada en madera y tiene dimensiones de 200 mm de ancho, 600 mm de largo y 70 mm de altura. En la Fig. 2a se muestra que esta base cuenta con perforaciones en la parte superior para el empotramiento de cada una de las barras. La sección transversal de estas perforaciones es igual a la sección de los elementos oscilatorios cuadrados, y la profundidad es de 50 mm. En la parte lateral de la base del instrumento se realizaron perforaciones circulares de 12.7 mm de diámetro para conectar la base del instrumento a la mesa vibratoria del laboratorio de Estructuras de la UMNG. Como se observa en la Fig. 2b, la base también cuenta con una palanca para generar el movimiento oscilatorio de manera manual y 3 ruedas removibles en sus costados laterales para trasladar el instrumento. Para utilizar el simulador uniaxial y así tener una operación mecánica del instrumento didáctico, la base de madera se debe atornillar a la base del simulador y generar la señal dinámica a través del

equipo de control del simulador. El simulador uniaxial es propulsado por un actuador neumático de marca NUMATICS [4] y una plataforma en forma de “U” con dimensión cuadrada de 1.1 m de lado y espesor de 80 mm [5], tal como se muestra en Fig. 2c. El simulador uniaxial puede generar frecuencias en el intervalo de 0 a 20 Hz.

La aceleración, en función del tiempo, experimentada por la masa concentrada en la parte superior de cada péndulo invertido, es registrada por un acelerómetro de alta sensibilidad marca TML de referencia ARS-10A, el cual se encuentra adherido a una cara del cubo de acero que representa la masa del oscilador. Adicionalmente, en la base de la herramienta, junto a los cuerpos oscilantes, es posible adaptar acelerómetros que registren el movimiento real de la base de los elementos oscilantes. Los transductores de aceleración se conectan a un sistema de adquisición de datos (SAD) marca *National Instruments* de referencia NI PXIe-1078, el cual registra la respuesta de los elementos oscilantes durante la prueba. El periodo de vibración de cada péndulo invertido se puede obtener a partir del valor promedio del tiempo transcurrido entre picos sucesivos de la respuesta registrada por los transductores, tal como se muestra en la sección 3.2.

Los registros de aceleración pueden ser procesados con el software DEGTRA [6] o similar. Por ejemplo, esta herramienta permite generar el espectro de amplitudes de Fourier de cada uno de los registros asociados a cada elemento oscilante. En la Fig. 3 se muestran los espectros de amplitud de Fourier de los sismos de Tauramena ocurrido en el año 1995, Armenia en el año 1999 y Mesa de los Santos en el año 2015. En el intervalo de frecuencias bajas de 0 a 10 Hz se presentan movimientos sísmicos con grandes amplitudes porque los registros sísmicos corresponden a sitios cercanos del epicentro [7]. En la Fig. 3 se observa que el intervalo de frecuencia predominante de los sismos de Tauramena, Armenia y Mesa de los Santos está comprendido entre 0.5 Hz y 20 Hz.

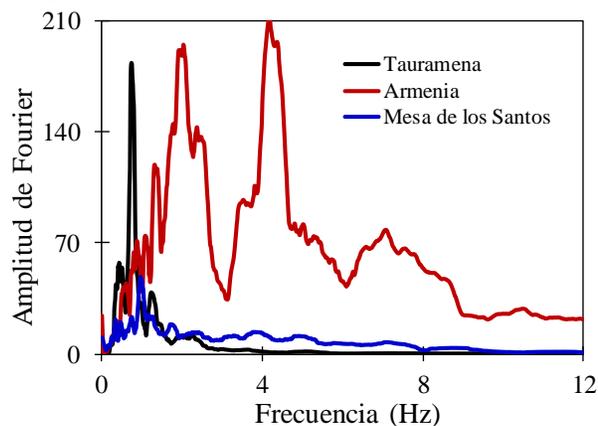


Figura 3. Espectros de amplitud de Fourier de sismos representativos en Colombia.

Fuente: Los autores.

### 3 Secuencia de instrucciones didácticas

En esta sección se propone una secuencia de actividades para el desarrollo de una práctica de laboratorio del área de estructuras, en la cual se utiliza el instrumento didáctico

propuesto en este estudio. El procedimiento propuesto busca facilitar el análisis e interpretación del comportamiento dinámico de distintas estructuras bajo condiciones críticas de resonancia.

#### 3.1 Actividades de exploración

Con el fin de lograr que los estudiantes alcancen y/o desarrollen un aprendizaje adecuado de los conceptos fundamentales del análisis y/o dinámica estructural, es necesario partir de las ideas previas que los estudiantes tienen con respecto a los conceptos tales como periodo y frecuencia de vibración, amplitud de onda, amortiguamiento, resonancia y rigidez, y adicionalmente, generar la participación activa de los estudiantes en la construcción de su propio conocimiento.

Las ideas previas que los estudiantes tienen sobre algunos de los conceptos del movimiento ondulatorio generalmente van desde asociar la velocidad de onda con la forma y velocidad con la que se genera la onda, hasta la aplicación correcta de la relación fundamental de las ondas [8] dada por la ecuación (1), donde  $v$  es la velocidad de onda y  $\lambda$  es la longitud de onda.

$$v = \lambda f \quad (1)$$

De esta manera, en este estudio se propone como actividad de exploración que el docente indague por las ideas previas que tienen los estudiantes sobre periodo y frecuencia de vibración, amplitud de onda, amortiguamiento, resonancia y rigidez, con ayuda del instrumento didáctico. Por ejemplo, se pueden generar el movimiento de cada uno de los péndulos para el mismo desplazamiento inicial y realizar preguntas tales como: ¿cuál péndulo oscilará más?, ¿cuál péndulo se desplazará más durante el movimiento?, ¿cuál péndulo tendrá mayor frecuencia?, ¿cuál péndulo tendrá mayor periodo?, ¿cuál péndulo tendrá mayor energía? Por tanto, el docente puede utilizar el instrumento para indagar, mostrar, ilustrar, ejemplificar y, en general, explicar y orientar las ideas de los estudiantes hacia las definiciones básicas de los conceptos de periodo y frecuencia de vibración, amplitud de onda, amortiguamiento, resonancia y rigidez.

Las definiciones de los conceptos básicos de dinámica que se proporcionan en libros de física y mecánica a nivel universitario generalmente se presentan de manera aislada del contexto del análisis o dinámica estructural. Sin embargo, en este estudio se considera que son definiciones básicas que los estudiantes pueden manejar para avanzar en la práctica de aplicación del instrumento didáctico. Las definiciones de estos conceptos que comúnmente se encuentran en libros de física o mecánica a nivel universitaria se resumen a continuación. La frecuencia de vibración ( $f$ ) es el número de veces que se repite un movimiento (oscilaciones) por unidad de tiempo y tiene relación directa con la energía con la que se produce el movimiento oscilatorio [9]. El periodo de vibración ( $T$ ) es el tiempo que tarda un sistema o elemento en realizar una oscilación; es decir, representa el tiempo que una estructura tarda en recorrer una distancia determinada y pasar por su posición de equilibrio [10]. El periodo se calcula como el inverso de  $f$ . La amplitud de una señal es la diferencia entre los

valores máximo y mínimo de un fenómeno oscilatorio y tiene relación directa con la energía del movimiento ondulatorio. El amortiguamiento es el fenómeno que produce la reducción de los desplazamientos de un cuerpo en movimiento en el tiempo, como resultado de la pérdida de energía [11]. La resonancia está relacionada con el incremento de la amplitud de oscilación de un sistema físico cuando la frecuencia de la fuerza oscilatoria aplicada al sistema es aproximadamente igual a la frecuencia natural del sistema [12].

El periodo de la estructura es un concepto que le permite al estudiante entender la relación entre la rigidez y masa de una estructura con el fenómeno de resonancia que se pueda presentar en ésta por eventos sísmicos. La comprensión de la relación entre la frecuencia y rigidez de la estructura le permitirá al estudiante adquirir criterios básicos de análisis sísmico de una estructura; por ejemplo, le facilitará al estudiante asociar periodos de vibración largos con el periodo de vibración de estructuras de mediana y gran altura. Por tanto, el docente puede utilizar el instrumento didáctico para explorar las ideas previas sobre el modelo y comportamiento del péndulo invertido. El docente también puede indagar en los estudiantes de manera intuitiva sobre los conceptos de rigidez del péndulo y su efecto en la frecuencia y periodo de oscilación. De este modo, se pretende que el estudiante identifique las relaciones entre variables dadas por las ecuaciones (2) a (5), las cuales definen las principales propiedades del péndulo invertido.

$$K = \frac{3EI}{l^3} \quad (2)$$

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (3)$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}} \quad (4)$$

$$T = \frac{1}{f} \quad (5)$$

donde  $K$  es la rigidez de la barra de aluminio en la dirección del movimiento,  $E$  es el módulo de elasticidad del material,  $I$  es el segundo momento de inercia de la sección transversal del elemento oscilante en la dirección del movimiento,  $b$  y  $h$  son la base de la sección transversal y altura, respectivamente, de la barra de aluminio; y  $m$  es la masa concentrada en el extremo superior de la barra de aluminio.

### 3.2 Actividades de desarrollo

Las actividades de desarrollo propuestas en esta secuencia didáctica pretenden involucrar al estudiante en las actividades básicas de la práctica y afianzar habilidades en el campo experimental. Por tanto, una vez el docente haya presentado y explicado las ecuaciones (2) a (5), los estudiantes pueden identificar y medir las dimensiones necesarias para calcular la inercia  $I$ , rigidez  $K$ , frecuencia  $f$  y periodo de vibración  $T$  de los elementos oscilantes del instrumento. En la Tabla 1 se presentan los resultados de estas variables, las cuales se calcularon con las propiedades geométricas de los elementos, con el fin de tener

valores de referencia de las mediciones que realicen los estudiantes en la práctica.

Tabla 1.

Resultados de frecuencia natural y periodos de vibración de los elementos oscilatorios.

Elemento No.	$L$ (m)	$b$ (mm)	$m$ (g)	$I$ (mm <sup>4</sup> )	$K$ (N/m)	$f$ (Hz)	$T$ (s)
1	0.7	12.7	88.5	2167.87	659.0	4.0	0.3
2	0.9	12.7	113.7	2167.87	310.0	2.7	0.4
3	1.1	12.7	139.0	2167.87	170.0	2.0	0.5

Fuente: Los autores.

Luego de realizar los cálculos preliminares, el técnico de laboratorio puede sujetar los transductores de aceleración en cada una de las masas de los elementos oscilatorios y conectar los transductores al sistema de adquisición de datos para así registrar las aceleraciones durante las oscilaciones generadas. Inicialmente, la operación del instrumento se puede realizar de forma manual por los estudiantes. El registro medido de la aceleración en función del tiempo puede proyectarse en una pantalla, de tal modo que los estudiantes visualicen el efecto de aceleración en la respuesta de los elementos oscilantes al cambiar la intensidad y velocidad de la señal que se induce en éstos, a través de movimiento en la palanca manual del instrumento. En este momento de la práctica se considera pertinente que el docente oriente la discusión de los resultados observados de manera conceptual y cualitativa, para así reforzar en los estudiantes los conceptos de frecuencia, periodo y amplitud de onda, y su relación con los conceptos de masa, inercia y rigidez, a través de preguntas tales como: ¿cuál péndulo osciló más y en qué condición?, ¿cómo se podría medir y/o calcular el periodo y frecuencia a partir de las gráficas? o ¿cuál péndulo registró la mayor intensidad y en qué condición?

A continuación, se debe proceder a inducir movimientos con frecuencias cada vez mayores y cercanas a las mostradas en la Tabla 1, de tal modo que se produzca el fenómeno de resonancia en cada uno de los elementos. Este fenómeno podrá ser evidenciado por los estudiantes para cada uno de los elementos cuando la amplitud de la aceleración registrada por los transductores se incremente hasta la mayor amplitud de oscilación de cada elemento. Una vez que cada uno de los elementos haya experimentado un fenómeno de resonancia, los registros de aceleración obtenidos de los transductores pueden ser compartidos con los estudiantes para que identifiquen el intervalo de tiempo para el cual se registró la máxima amplitud de oscilación de cada elemento y, de esta manera, calcular aproximadamente el periodo y frecuencia de resonancia de cada uno de los péndulos invertidos. Por ejemplo, en la Fig. 4 se muestran los registros de aceleración de cada uno de los elementos. Estos registros se obtuvieron para un movimiento simulado de manera manual en el instrumento. En esta figura se indican los intervalos de tiempo en los cuales se observó la máxima amplitud de aceleración de cada elemento. El periodo se calculó a partir del promedio del tiempo entre dos valores máximos sucesivos de aceleración. En la Tabla 2 se muestran los valores de periodo y frecuencia de vibración de cada uno de los elementos calculados con esta metodología, junto con el error porcentual relativo.

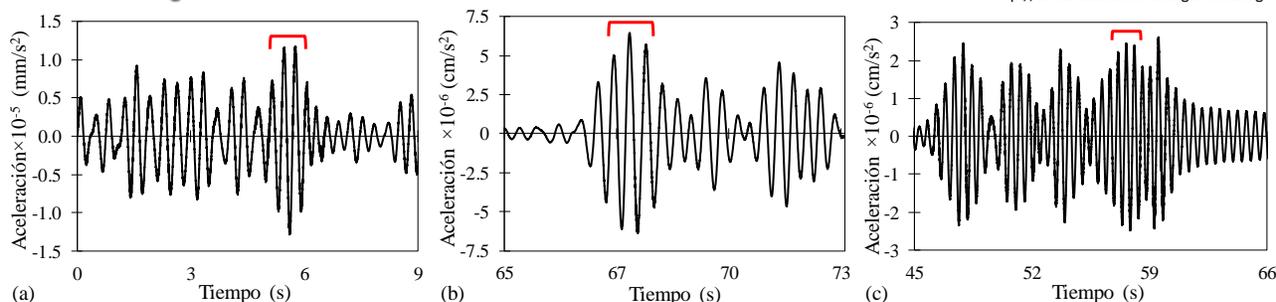


Figura 4. Registros de aceleración medidos por el acelerómetro en cada uno de los elementos oscilantes.  
Fuente: Los autores.

Tabla 2.  
Valores de periodo y frecuencia medidos en los elementos.

Elemento No.	Medidos		% Error
	Frecuencia $f$ (Hz)	Periodo $T$ (s)	
1	3.3	0.3	18.2
2	2.5	0.4	6.6
3	2.0	0.5	2.4

Fuente: Los autores.

### 3.3 Actividades de síntesis

La herramienta didáctica desarrollada en este estudio ayuda a demostrar que los elementos con mayor altura presentan oscilaciones con mayor amplitud cuando el elemento se somete a movimientos con frecuencias bajas. Si se realiza una analogía del comportamiento de las edificaciones con los elementos de la herramienta didáctica, se puede deducir que los edificios de gran altura presentan mayor movimiento ante los sismos de bajas frecuencias (mayor periodo de vibración), y los edificios de menor altura experimentarán mayor movimiento cuando están sometidos a sismos con mayores frecuencias (menor periodo de vibración)

## 4 Conclusiones

El uso de instrumentos formativos no tradicionales tales como las nuevas tecnologías o herramientas tecnológicas ha facilitado la enseñanza y aprendizaje de los estudiantes de ingeniería. El efecto que tienen los sismos en las estructuras es un problema principalmente de la dinámica estructural y, por tanto, el aprendizaje de los conceptos básicos de esta disciplina es fundamental para comprender el comportamiento de estructuras sismo-resistentes y resilientes. La herramienta propuesta en este estudio es un instrumento de uso didáctico que le ayuda a los docentes para que los estudiantes generen el conocimiento sobre el efecto de los sismos en sistemas estructurales dinámicos. Con la ayuda de esta herramienta, los estudiantes pueden predecir la respuesta de diferentes estructuras, principalmente en función de la altura, ante los eventos sismos.

Las variables dinámicas medidas y calculadas con la herramienta didáctica presentaron errores porcentuales menores a 20%, lo cual se considera aceptable teniendo en cuenta que la

operación del instrumento la realiza el estudiante, quien carece de experiencia en el manejo de estas herramientas. Si la prueba se realiza por un técnico calificado o un estudiante con experiencia, se pueden obtener resultados con un mayor grado de precisión.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigaciones de la UMNG por el apoyo financiero del Proyecto IMP-ING-2933. Los autores también agradecen al Ing. Felipe Riveros por el apoyo durante la realización de las pruebas.

## Referencias

- [1] C. Álvarez, La relación teoría-práctica en los procesos de enseñanza-aprendizaje, *Education Siglo XXI*, vol. 30, n° 2, pp. 383-402, 2012.
- [2] L. Guerrero-Mosquera, D. Gómez & P. Thomson, Desarrollo de un laboratorio virtual de ingeniería sísmica y su impacto en la educación, *DYNA*, vol. 85, n° 204, pp. 9-17, 2018.
- [3] American Geophysical Union, *Seismic Sleuths Earthquakes* (2nd ed.), Washington, DC., 1995
- [4] M. Bernal, J. Aponte & J. Carrillo, Sistemas de control para mesas vibratorias: una revisión crítica, *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 33, n° 2, pp. 331-355, 2015.
- [5] J. Carrillo, N. Bernal & P. Porras, Evaluación del diseño de una pequeña mesa vibratoria para ensayos en ingeniería sismo-resistente, *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 23, n° 1, pp. 89-105, 2013.
- [6] M. Ordaz, *Programa para computadora DEGTRA.NET, v1.0*, México D.F: Instituto de ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 2006.
- [7] R. Aztroza, Estudio de la respuesta sísmica de edificios mediante la dinámica de propagación de ondas, Universidad de Chile, Santiago de Chile, 2007.
- [8] E. Kennedy & J. de Bruyn, Understanding of mechanical waves among second-year physics majors, *Canadian Journal of Physics*, vol. 89, pp. 1155-1161, 2011.
- [9] R. Serway & J. Jewett, *Física para ciencias e ingeniería*, México: Cengage Learning, 2018.
- [10] P. Tipler, *Física para la ciencia y la tecnología*, Barcelona: Reverté, 2010.
- [11] E. García, *Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico*, Bogotá: Universidad de los Andes, 1998.
- [12] D. Halliday, R. Resnick & J. Walker, *Fundamentos de física*, México: Patria, 2009.

**J. Carrillo**, es Ingeniero Civil con Maestría en Estructuras y Sísmica, y con Doctorado en Estructuras. Es Profesor Titular en el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Militar Nueva Granada e Investigador Asociado en Colciencias. Es miembro de las Juntas Directivas de AIS y ACIES. A nivel internacional es miembro de ACI, ASCE, EERI, SMIS, SMIE y SCIEI. Es consejero para evaluación de las necesidades post-desastre del Programa de las

Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), y perito oficial del Centro de Arbitraje y Conciliación de la Cámara de Comercio de Bogotá (CCB). Es uno de los fundadores de la Red Colombiana de Investigación en Ingeniería Sísmica (CEER), y es miembro de la Red ARCA del Centro de Investigaciones y Altos Estudios Legislativos del Congreso de la República de Colombia. Es autor de 14 libros de investigación, 3 capítulos de libro, 90 artículos en revistas arbitradas, 6 reportes de investigación, 64 artículos en conferencias; y ha sido conferencista magistral en 14 congresos nacionales e internacionales en Colombia, Estados Unidos, Chile, México y Ecuador. Es inventor de 16 patentes otorgadas para aplicaciones en diseño sismo-resistente. Asimismo, ha desarrollado 10 programas de computador para uso en dinámica estructural e investigación experimental. Ha recibido varios premios nacionales e internacionales, tales como el 2009 Graduate Student Paper Award por el EERI-USA, 2013 Young Researcher Award por el Tokyo Institute of Technology - Japón, Premio a la Mejor Tesis de Doctorado en Ingeniería Sísmica del año 2010 por la SMIS-México, Premio José A. Cuevas por el CICM-México en los años 2012 y 2017, Premio al Mérito Pedagógico e Investigativo 2013 por REDIPE-Iberoamérica, y Premio ECIciencia 2010 por la ECI-Colombia. En la UMNG ha recibido la Medalla al Mérito Académico, el Premio al Profesor Distinguido del 2013 y el Premio al Investigador Distinguido del 2012.

**C. Díaz**, es Ingeniero Civil, estudiante de Maestría en Ingeniería Civil con énfasis en Estructuras, y asistente graduado del proyecto de alto impacto IMP-ING 2933 de la Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Experiencia en diseño estructural, docencia e investigación.

**L. Parra**, es estudiante de último semestre de Ing. Civil de la Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia, y miembro del semillero de investigación Estructuras y Sísmica.