EIEI ACOFI 2025
5º Congreso Latinoamericano de Ingeniería
Más Información: www.acofi.edu.co/eiei
Ingeniería de impacto para cuidar y transformar la vida
ACOFI: 50 años por la excelencia de la educación en ingeniería.

Desarrollo de una mesa sísmica portátil IoT de bajo costo para simulación y análisis en ingeniería civil

Eliú Pineda Argel, Albert Ortiz Lasprilla

P Sensors Labs
Cali, Colombia

Resumen

El estudio del comportamiento estructural frente a eventos sísmicos es fundamental para la ingeniería civil y la gestión del riesgo. Sin embargo, el acceso a equipos de simulación sísmica es limitado en muchas instituciones debido a su alto costo, lo que impide el desarrollo de experimentos que complementen el desarrollo conceptual. Este trabajo presenta un avance en investigación sobre el desarrollo de una mesa sísmica portátil de bajo costo, diseñada para la simulación de movimientos telúricos y accesible para laboratorios de investigación y enseñanza. La plataforma está basada en un microcontrolador y un motor paso a paso, lo que permite una reproducción de señales sísmicas reales. Se emplea un sistema de control de movimiento optimizado mediante una función sinusoidal y para garantizar la precisión en la simulación, el sistema utiliza procesamiento digital de señales. La mesa sísmica cuenta con una biblioteca de sismos precargados, permitiendo reproducir registros históricos sin necesidad de conexión externa. Esto facilita su uso en entornos educativos y experimentales, ya que los usuarios pueden seleccionar y ejecutar diferentes escenarios sísmicos de manera inmediata. Además, el sistema incorpora Internet de las Cosas (IoT) al permitir conexión inalámbrica para la gestión remota de la mesa sísmica mediante el navegador web. Esto facilita el control de los experimentos sin necesidad de una conexión física, permitiendo a los usuarios modificar parámetros y ejecutar simulaciones de manera eficiente.

Actualmente, la mesa sísmica se encuentra en proceso de pruebas, donde se están validando la precisión del movimiento mediante sensores de aceleración y desplazamiento. Se comparan los datos obtenidos con registros sísmicos originales para asegurar la fidelidad en la simulación. Se espera que la mesa pueda reproducir frecuencias sísmicas desde 0.5 Hz hasta 10 Hz y amplitud máxima de 60 mm, abarcando un rango útil para la simulación de distintos tipos de sismos. El diseño se caracteriza por su portabilidad, gracias a su tamaño permite transportarla fácilmente. Es ideal para aplicaciones educativas y de investigación en entornos con recursos limitados. Su implementación en universidades permitirá a los estudiantes realizar pruebas experimentales que complementen sus estudios teóricos en dinámica estructural. Además, puede ser utilizada en el

DOI: https://doi.org/10.26507/paper.4275

desarrollo de modelos de mitigación de riesgos sísmicos, contribuyendo al diseño de infraestructuras más resilientes. La mesa sísmica desarrollada representa un avance en la democratización de la investigación en ingeniería sísmica, ofreciendo una solución de bajo costo, conectividad digital, capacidad de reproducción de sismos precargados y portabilidad sin precedentes. Su diseño modular permite futuras mejoras e integraciones con otros sistemas de monitoreo estructural, haciendo de esta una herramienta versátil para la innovación en el campo de la ingeniería civil.

Palabras clave: mesa sísmica; IoT; simulación sísmica

Abstract

The study of structural behavior in response to seismic events is fundamental for civil engineering and risk management. However, many institutions have limited access to seismic simulation equipment due to its high cost, preventing the development of experiments that complement conceptual learning. This work presents research advancements on developing a low-cost portable seismic table, designed for simulating ground movements and accessible for research and educational laboratories. The platform is based on a microcontroller and a stepper motor, enabling the reproduction of real seismic signals. A motion control system optimized with a sinusoidal function is employed, and to ensure simulation accuracy, the system uses digital signal processing. The seismic table includes a library of preloaded earthquakes, allowing users to replay historical records without requiring an external connection. This feature facilitates its use in educational and experimental environments, as users can select and execute different seismic scenarios instantly. Additionally, the system incorporates the Internet of Things (IoT), enabling wireless connectivity for remote management of the seismic table through a web browser. This feature simplifies experiment control without requiring a physical connection, allowing users to modify parameters and execute simulations efficiently.

Currently, the seismic table is undergoing testing, where motion accuracy is being validated using acceleration and displacement sensors. The obtained data is compared with original seismic records to ensure simulation fidelity. The table is expected to reproduce seismic frequencies from 0.5 Hz to 10 Hz and a maximum amplitude of 60 mm, covering a useful range for simulating various types of earthquakes. The design is characterized by its portability, allowing for easy transportation due to its compact size. It is ideal for educational and research applications in resource-limited environments. Its implementation in universities will enable students to conduct experimental tests that complement their theoretical studies in structural dynamics. Moreover, it can be used in the development of seismic risk mitigation models, contributing to the design of more resilient infrastructure. The developed seismic table represents a breakthrough in democratizing seismic engineering research, offering a low-cost solution with digital connectivity, preloaded earthquake reproduction capabilities, and unprecedented portability. Its modular design allows for future enhancements and integrations with other structural monitoring systems, making it a versatile tool for innovation in civil engineering.

Keywords*: seismic table; IoT; seismic simulation*

1. Introducción

La simulación de eventos sísmicos es una herramienta clave en la enseñanza y la investigación de la ingeniería civil, especialmente para el análisis del comportamiento estructural ante cargas dinámicas. Sin embargo, el alto costo de los equipos de simulación limita su implementación en instituciones educativas, particularmente en regiones con recursos restringidos. Esto ha motivado el desarrollo de soluciones accesibles que democratizan el acceso a herramientas tecnológicas. Este trabajo presenta el desarrollo de una mesa sísmica portátil de bajo costo con conectividad IoT. Su diseño se enfoca en la portabilidad, facilidad de uso y la capacidad de simular registros sísmicos reales, lo cual la convierte en una herramienta ideal para la enseñanza de la dinámica estructural y la investigación aplicada en contextos educativos.

2. Diseño del sistema

La mesa sísmica P-Shaker consiste en una base fija y una plataforma móvil desplazada mediante un sistema husillo-tuerca acoplado a un motor paso a paso. El movimiento lineal de la plataforma es generado por el giro del husillo, el cual está directamente acoplado al motor paso a paso, permitiendo un control preciso del desplazamiento mediante uso de la activación secuencial de bobinas y microsteeping (Solectro, 2021).

Ilustración 1. Diseño y ejecución de la p-shaker en PLA. Fuente: Elaboración propia.

El sistema de control está conformado por un microcontrolador (Espressif Systems, 2016) que coordina la ejecución de las simulaciones, realiza el procesamiento de las señales y aloja una interfaz web para el control remoto. Desde esta interfaz, accesible desde cualquier dispositivo conectado a la red Wi-Fi local, los usuarios pueden seleccionar diferentes tipos de simulación, configurar parámetros y ejecutar experimentos de forma inalámbrica.

La P-Shaker está diseñada para reproducir tres tipos principales de señales:

Barrido frecuencial: permite explorar la respuesta estructural frente a variaciones en la frecuencia de excitación, útil para identificar frecuencias naturales de vibración.

Control sinusoidal: el usuario puede ajustar manualmente frecuencia, amplitud y aceleración para generar movimientos oscilatorios personalizados.

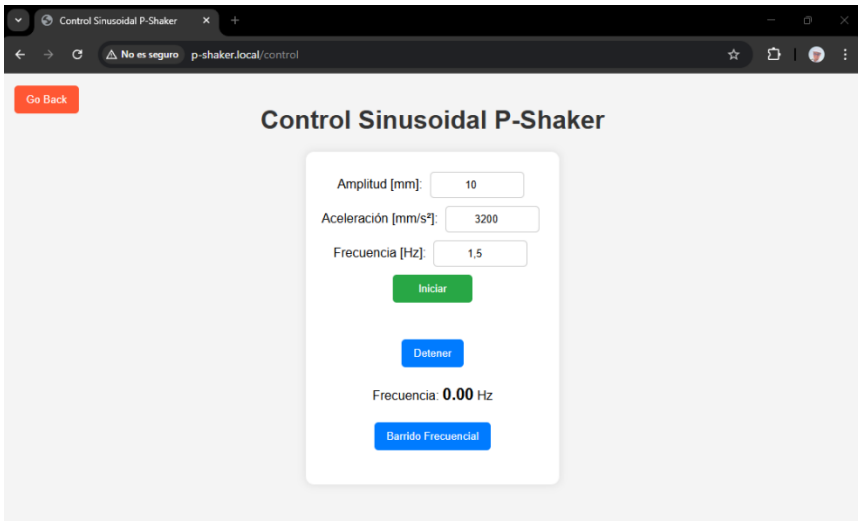

Ilustración 2. Acceso web al control de barrido frecuencial y control sinusoidal de la p-shaker. Fuente: Elaboración propia.

Reproducción de sismos precargados: el sistema cuenta con una biblioteca de sismos históricos reales obtenidos de la base de datos de IRIS. Estas señales se procesan previamente en Python mediante integración numérica y técnicas de suavizado para evitar vibraciones mecánicas no deseadas. El resultado se almacena como archivos .¡son que contienen las posiciones objetivo del motor, asegurando la fidelidad en la trayectoria y la precisión del movimiento.

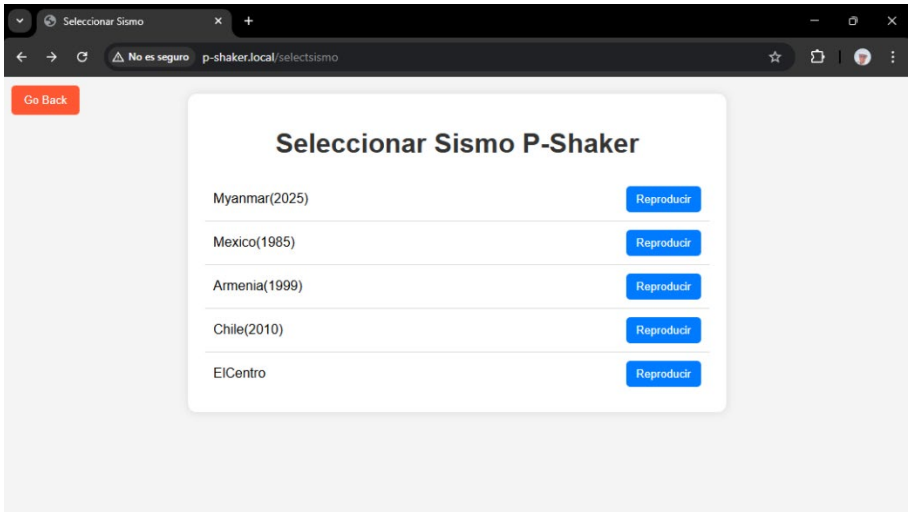

Ilustración 3. Acceso web al dashboard de reproduccion de sismos precargados de la p-shaker. Fuente: Elaboracion propia.

3. Resultados y discusión

Simulaciones preliminares: Para validar el comportamiento dinámico de la mesa, se realizaron simulaciones con señales sísmicas sintéticas y reales. El sistema fue capaz de ejecutar una función sinusoidal con frecuencias desde 0.5 Hz hasta 10 Hz, demostrando estabilidad en todo el rango operativo, se comparó la frecuencia ingresada con la obtenida mediante FFT en la app acelerometer de Android (Plaincode, s.f.). La amplitud máxima alcanzada fue de 60 mm, con buena linealidad en el desplazamiento.

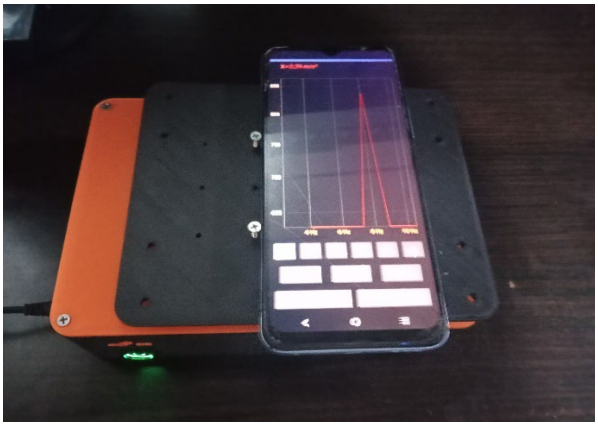

Ilustración 4. Ensayo de respuesta a frecuencia de la función sinusoidal comparada con el análisis de las señales en tiempo real usando FFT de la app Acelerometer de Android, ingreso en app p-shaker 8Hz y análisis en Acelerometer 8.01Hz. Fuente: Imagen propia.

Se ensayaron registros obtenidos del IRIS (NSF,2013), como el sismo de Myammar (2025). Las trayectorias fueron reproducidas satisfactoriamente, especialmente en las frecuencias dominantes.

Ilustración 5. Conexión a IRIS, descarga de información de Myanmar y conversión a formato leído por p-shaker. Fuente: Elaboración propia.

Aplicaciones educativas y de investigación: La P-Shaker actualmente se encuentra en el mercado y ha sido utilizada en sesiones de laboratorio universitario para visualizar respuestas estructurales en modelos a escala. Estudiantes de ingeniería pudieron interactuar directamente con el sistema, configurando parámetros y observando fenómenos como resonancia. Su uso también se proyecta para investigaciones sobre refuerzo estructural y pruebas de control activo en estructuras reducidas incursionando en áreas de simulación estudiadas en (Chopra, et al., 2017).

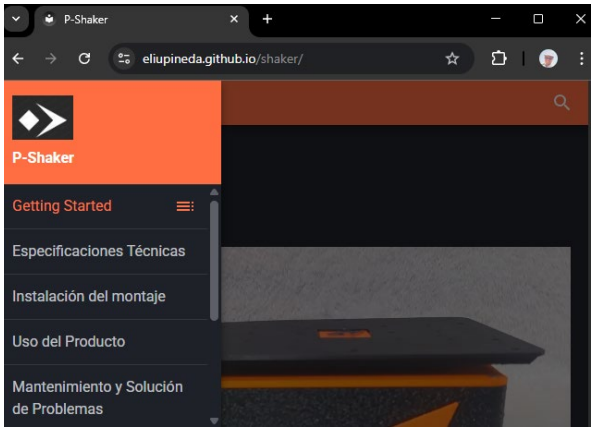

Ilustración 6. Documentación de p-shaker (P-Shaker, 2025) para educación. Fuente: Elaboración propia.

4. Conclusiones y trabajos futuro

El desarrollo de la mesa sísmica P-Shaker representa un avance significativo hacia la democratización del acceso a herramientas de simulación estructural en entornos educativos y de investigación. Su diseño de bajo costo, portabilidad y conectividad remota hacen posible su implementación en laboratorios universitarios, colegios técnicos y centros de formación con recursos limitados. Los resultados experimentales han demostrado que la P-Shaker es capaz de reproducir de forma precisa diferentes tipos de señales, desde funciones sinusoidales hasta sismos reales, lo cual permite estudiar fenómenos como la resonancia, amortiguamiento y respuesta dinámica de estructuras a escala, se espera seguir mejorado la fidelidad. Además, el uso de una interfaz web facilita el aprendizaje interactivo y permite que múltiples usuarios operen el sistema sin necesidad de experiencia en programación o electrónica.

Como líneas futuras de trabajo se destacan: La extensión a dos grados de libertad (X-Y), que permitirá simular trayectorias bidimensionales y fenómenos de torsión en estructuras; La implementación de control en lazo cerrado con retroalimentación de sensores, lo cual mejorará la precisión del sistema frente a perturbaciones externas; La integración de visualización de datos en tiempo real para análisis inmediato de las pruebas realizadas y la publicación del proyecto como código abierto, fomentando la colaboración académica, la mejora continua y la posibilidad de ser replicado por otras instituciones.

Asimismo, se prevé el desarrollo de guías didácticas y manuales de laboratorio para que docentes y estudiantes puedan implementar prácticas experimentales con la mesa sísmica en cursos de dinámica estructural, ingeniería sísmica o diseño sismo-resistente. Esta visión educativa, combinada con la tecnología accesible y conectividad, convierte a la P-Shaker en una herramienta versátil y de alto impacto en la formación de ingenieros más preparados frente a los desafíos del riesgo sísmico.

5. Referencias

Libros

- Chopra, A. K. (2017). Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering. Pearson Education, Boston, pp. 944.

Fuentes electrónicas

- NSF. (2013, June). Final report: NSF Seismological Facility for the Advancement of Geoscience (SAGE). Consultado el 15 de Junio de 2024 en https://www.iris.edu/hq/
- Espressif Systems. (2016, September). Final report: ESP32 Datasheet. Consultado el 3 de diciembre de 2022 en https://www.espressif.com/
- Solectro. (2021, June). Final report: ¿Cómo funcionan los motores PAP? ¿Qué son los microsteps?. Consultado el 10 de enero de 2023 en https://solectroshop.com/es/blog/como-funcionan-los-motores-pap-que-son-los-microsteps-n90?srsltid=AfmBOorfeu7jQPmuX7yBfbNlXXUbgS7cRo-yMOahgfOrKmr7bhe_jshQ

- Plaincode. (s.f.). Final report: Accelerometer - Sensor App for Android. Consultado el 15 de febrero de 2024 en https://play.google.com/store/apps/details?id=de.ralf.android.accelerometer
- P-Shaker. (2025, Marzo). Final report: Documentación p-shaker. Consultado el 11 de abril de 2025 en https://eliupineda.github.io/shaker/

Sobre los autores

- **Eliu Pineda**: Ingeniero Civil de la Universidad del Norte. Investigador. epargel@gmail.com
- **Albert R. Ortiz**: Ingeniero Civil, B.S. en Geografía, PhD en Ingeniería Civil University of South Carolina. Director Escuela de Ingeniería Civil y Geomática Universidad del valle. albert.ortiz@correounivalle.edu.co

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2025 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)