

## ETAPA 1 DEL LABORATORIO ITINERANTE PARA LA DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS DE VIBRACIÓN: DESARROLLO DE UNA MESA VIBRADORA ESTUDIANTIL

*Adrián Pozos Estrada<sup>(1)</sup>, Rigoberto Nava González<sup>(1)</sup>, Miguel A. Hernández Martínez<sup>(1)</sup>, Carlos Daniel García Rodríguez<sup>(1)</sup>, Erick López Roldan<sup>(2)</sup>*

<sup>1</sup> Instituto de Ingeniería, UNAM. Circuito Escolar, Ingeniería S/N, C.U., Coyoacán, Ciudad de México, 04510, [apozose@iingen.unam.mx](mailto:apozose@iingen.unam.mx); [rnavag@iingen.unam.mx](mailto:rnavag@iingen.unam.mx); [mhernandezma@iingen.unam.mx](mailto:mhernandezma@iingen.unam.mx); [cgarciar@iingen.unam.mx](mailto:cgarciar@iingen.unam.mx).

<sup>2</sup> Especialista en Ingeniería Mecánica, Ciudad de México, [erick.unam20@gmail.com](mailto:erick.unam20@gmail.com)

### XII. Docencia en ingeniería sísmica y disciplinas afines

#### RESUMEN

Con la finalidad de coadyuvar en la formación de recursos humanos con conocimientos en sistemas mecánicos y vibración, diversos autores han elaborado material didáctico para cursos de nivel licenciatura y posgrado. Aunado a lo anterior, otros autores han desarrollado programas de computadora para la enseñanza de diversos conceptos. Los esfuerzos anteriores se han basado en el desarrollo de programas de cómputo que permiten difundir los conceptos fundamentales y aplicados de diversas ingenierías para estudiantes, investigadores, profesionales o usuarios interesados en estas áreas; sin embargo, las tendencias actuales de aprendizaje promueven la interacción física con el objeto en estudio. Hasta el momento en la UNAM no se cuenta con información documentada de la implementación de un laboratorio itinerante para la demostración de conceptos básicos de vibración, en donde sean los mismos estudiantes los encargados de experimentar. Si bien otras instituciones como el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y la Facultad de Ingeniería de la UNAM cuentan con una mesa vibradora para demostraciones, la desventaja que se identifica es que los estudiantes tienen que asistir al sitio y existen protocolos rígidos que inhiben a los estudiantes “poner manos a la obra”. La intención de este proyecto es llevar el laboratorio a los estudiantes. El principal objetivo de este trabajo es dar a conocer la primera etapa del proyecto del laboratorio itinerante para la demostración de conceptos de vibración, el cual consiste en el desarrollo de una mesa vibradora estudiantil. Los detalles de la conceptualización de la mesa vibradora, su diseño, construcción y puesta en funcionamiento son descritos con detalle. Además, se presenta la estrategia de integración de este desarrollo en el plan de enseñanza del laboratorio itinerante.

#### 1 ANTECEDENTES

Un objetivo de la enseñanza de materias como “Análisis Estructural”, “Edificación” o “Diseño Estructural” es proporcionar a los estudiantes las condiciones favorables para adquirir un conjunto de conceptos necesarios, que pueden ser muy complicados de transmitir en el pizarrón, para comprender el funcionamiento de una estructura (p. ej., casa, edificio) y plantear o resolver problemas relacionados. De acuerdo con el documento “Innovaciones en la educación científica y tecnológica” (UNESCO, 1986), los objetivos que buscan lograr es un nivel aceptable de comprensión de conceptos y su aplicación no siempre se logra.

Si bien la enseñanza clásica, en donde el Profesor es el protagonista, ha tenido sus frutos en años pasados, parece que la enseñanza activa puede contribuir a mejorar la comprensión de ciertos conceptos, como los que se desea abordar en este trabajo.

Lo anterior pone en evidencia la necesidad de complementar la enseñanza tradicional con elementos que permitan a los estudiantes interactuar con lo que desean aprender. Lo anterior se puede lograr mediante la inclusión de modelos físicos que permitan al estudiante construir su propio aprendizaje. Con la finalidad de coadyuvar en la formación de recursos humanos con conocimientos en sistemas mecánicos y vibración (Pozos Estrada & Gómez Martínez, 2010) elaboraron material didáctico para un curso de Ingeniería de Viento a nivel licenciatura y posgrado. Aunado a lo anterior, un primer intento para desarrollar un programa para la enseñanza de conceptos de ingeniería de viento fue realizado por (Pozos Estrada et al., 2010), este programa, denominado @SimVT, se desarrolló en el programa Microsoft Excel e ilustra los conceptos básicos de turbulencia atmosférica en términos de espectros de densidad de potencia espectral e índices de turbulencia y la evaluación de vibración en estructuras. Posteriormente (Ortegón Esparza & Pozos Estrada, 2016) desarrollaron los programas de cómputo Génesis SimVT/SVTpro que consiste en el análisis de los efectos del viento en estructuras y la simulación de velocidades turbulentas del viento.

Los esfuerzos anteriores se han basado en el desarrollo de programas de cómputo que permiten difundir los conceptos fundamentales y aplicados de la Ingeniería de Viento a estudiantes, investigadores, profesionales y usuarios interesados en esta área; sin embargo, las tendencias actuales de aprendizaje promueven la interacción física con el objeto en estudio.

Hasta el momento en la UNAM no se cuenta con información documentada de un proyecto similar al planteado, en donde se desarrolle un laboratorio itinerante para la demostración de conceptos básicos de vibración, en donde sean los mismos estudiantes los encargados de experimentar. Si bien otras instituciones como el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) o la Facultad de Ingeniería de la UNAM, también han instalado mesas vibratorias para demostraciones, pero el inconveniente que se identifica es que los estudiantes tienen que asistir al sitio y existen protocolos estrictos que interfiere con que ellos mismos puedan interactuar con los modelos físicos. Una de las intenciones de este proyecto es llevar el laboratorio a los estudiantes.

El proyecto denominado “Laboratorio itinerante para la demostración de conceptos de vibración” se compone de tres bloques, uno de ellos involucra el diseño y construcción de una mesa vibradora estudiantil, cuyos detalles se presentan en este trabajo.

El laboratorio itinerante se acercará a los estudiantes de bachillerato y licenciatura para realizar demostraciones de modelos físicos representativos de estructuras reales. La demostración incluirá, a manera de introducción, explicaciones de conceptos básicos de vibración. Una vez explicados los conceptos básicos se iniciará con la actividad “manos a la obra” que involucra al estudiante con el manejo de los modelos. Durante la interacción del estudiante con los modelos físicos se complementará su aprendizaje con cuestionamientos relacionados con el tema de vibración y se le apoyará para que encuentre sus respuestas. Al finalizar la interacción, se discutirá grupalmente los descubrimientos y observaciones de los estudiantes brindándoles una retroalimentación.

## **2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MESA VIBRADORA ESTUDIANTIL**

Para el desarrollo del proyecto se consideran tres grandes bloques, el primero es el diseño, construcción y puesta en marcha de una mesa vibradora portátil que permita inducir vibración en los modelos a escala a desarrollar.

El segundo bloque plantea el desarrollo de modelos matemáticos en software para diseñar y validar el comportamiento buscado en los modelos propuestos. Finalmente, el tercer bloque contempla la construcción de los modelos y su integración con el bloque uno.

Con los desarrollos completos, se realizarán demostraciones itinerantes para estudiantes de las asignaturas de interés y público general con la finalidad de enseñar a través de la práctica.

Para el desarrollo del bloque uno, que incluye el diseño, construcción y puesta en marcha de una mesa vibradora portátil, se realizarán las siguientes acciones mostradas en la figura 1



Figura 1 Acciones programadas para el desarrollo de la mesa vibradora.

La primera acción de la figura 1 incluye la recopilación, revisión y organización de literatura para el diseño y construcción de una mesa vibradora. La segunda acción involucra la propuesta de dimensionamiento y caracterización de elementos de la mesa vibradora. Para esta actividad se elaborarán planos para definir dimensiones y el proceso constructivo. Finalmente, la última acción incluye la construcción y prueba de la mesa vibradora. Se plantea que sea una mesa vibradora con dimensiones tales que tenga la capacidad de ser desplazada a cualquier sitio, sin perder la capacidad de representar las fuerzas actuantes y dimensiones de los modelos a estudiarse.

## 2.1 Revisión de la literatura

El comportamiento estructural de los edificios depende directamente de las características dinámicas del sistema global, así como de las características de los eventos que lo excitan. Usualmente el empleo de análisis numéricos para estimar las características dinámicas de un edificio resulta en una herramienta muy prometedora, ya que se pueden obtener aproximaciones bastante robustas de su comportamiento. Para comprender a fondo el comportamiento de las estructuras, es muy recomendable el uso de pruebas experimentales. Hay varios métodos que parten desde pruebas de vibración ambiental, vibración forzada, mesa vibradora, etc. para caracterizar un sistema. (Romero & Museros, 2002) presentan los resultados de experiencias educativas con modelos a escala reducida y su gran impacto en el aprendizaje de los alumnos, al generar en un principio los modelos numéricos de las estructuras en software comercial (CSI, Sap2000) a construir con elementos de madera, su posterior construcción y ensayo de estos. (Dyke et al., 2003) desarrollaron una mesa vibradora de manera conjunta con más de 50 universidades en los Estados Unidos de Norte América y el consorcio

universitario de mesas vibratoras (UCIST, por sus siglas en inglés), con el cual se fomenta la instrucción en dinámica estructural a estudiantes de pregrado y posgrado. (Elgamal et al., 2005) implementaron una plataforma de experimentos educativos en línea con mesas vibratoras en el cual se permite a los estudiantes realizar pruebas de modelos estructurales simples en una mesa vibradora unidireccional, con la cual se puede medir la respuesta de la estructura ante demanda sísmica. (Inamdar, 2010) desarrolló una estructura modular a escala reducida con el fin de caracterizar su comportamiento lineal y no lineal en una mesa vibradora educacional. (Buonopane et al., 2014) presentan el desarrollo de un modelo físico a escala reducida de un muro a corte construido con elementos formados en frío, (CFS, por sus siglas en inglés) en el cual se expone a los alumnos los principios de dinámica estructural al someter el sistema a demanda sísmica en una mesa vibradora, del cual demuestran que gran parte del comportamiento no-lineal del sistema se genera debido a los movimientos relativos entre el marco de CFS y su revestimiento, lo cual resulta en daño progresivo de este.

## 2.2 Diseño y dimensionamiento de la mesa vibradora estudiantil

Con base en la revisión de la literatura realizada, se procedió a establecer los requisitos mínimos de la mesa vibradora, los cuales incluyen el peso a soportar, el desplazamiento máximo (i.e., carrera), el tipo de motor (p. ej., paso a paso), el tipo de movimientos a reproducir (i.e., senoidal, aleatorio). Posteriormente se identificaron los componentes básicos para la construcción de la mesa vibradora. Un resumen de los requisitos mínimos y de los elementos básicos se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Resumen de requisitos mínimos y de los elementos básicos para la construcción de la mesa vibradora estudiantil.

Requisitos mínimos/elementos básicos	Características												
Capacidad carga horizontal	55 kg												
Carrera máxima pico a pico	15 cm												
Tipo de motor	Motor a paso (Nema 34)												
Placas lisas de aluminio (2)	9.53 mm de espesor, dimensiones: (60 cm x 60 cm) y (70 cm x 60 cm)												
Driver o accionamiento	2DM860												
Fuente de poder (para alimentar el driver)	Input: 125 [V] ~AC; Output: 36 [V] ~DC												
Controlador	Arduino UNO												
Guía de eje de riel lineal	45 mm de altura x 600 mm de largo												
Ángulos LI de acero	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Elemento</th> <th>Perfil</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LI-1</td> <td>LI 38.1 mm x 3.17 mm x 80 cm</td> </tr> <tr> <td>LI-2</td> <td>LI 38.1 mm x 3.17 mm x 59 cm</td> </tr> <tr> <td>LI-3</td> <td>LI 38.1 mm x 3.17 mm x 80 cm</td> </tr> <tr> <td>LI-4</td> <td>LI 38.1 mm x 3.17 mm x 96 cm</td> </tr> <tr> <td>LI-5</td> <td>LI 38.1 mm x 3.17 mm x 81 cm</td> </tr> </tbody> </table>	Elemento	Perfil	LI-1	LI 38.1 mm x 3.17 mm x 80 cm	LI-2	LI 38.1 mm x 3.17 mm x 59 cm	LI-3	LI 38.1 mm x 3.17 mm x 80 cm	LI-4	LI 38.1 mm x 3.17 mm x 96 cm	LI-5	LI 38.1 mm x 3.17 mm x 81 cm
	Elemento	Perfil											
	LI-1	LI 38.1 mm x 3.17 mm x 80 cm											
	LI-2	LI 38.1 mm x 3.17 mm x 59 cm											
	LI-3	LI 38.1 mm x 3.17 mm x 80 cm											
	LI-4	LI 38.1 mm x 3.17 mm x 96 cm											
LI-5	LI 38.1 mm x 3.17 mm x 81 cm												

Definidos los requisitos y los elementos básicos, se procedió al dimensionamiento de la mesa vibradora. La figura 2 muestra las dimensiones y elementos de la mesa vibradora.

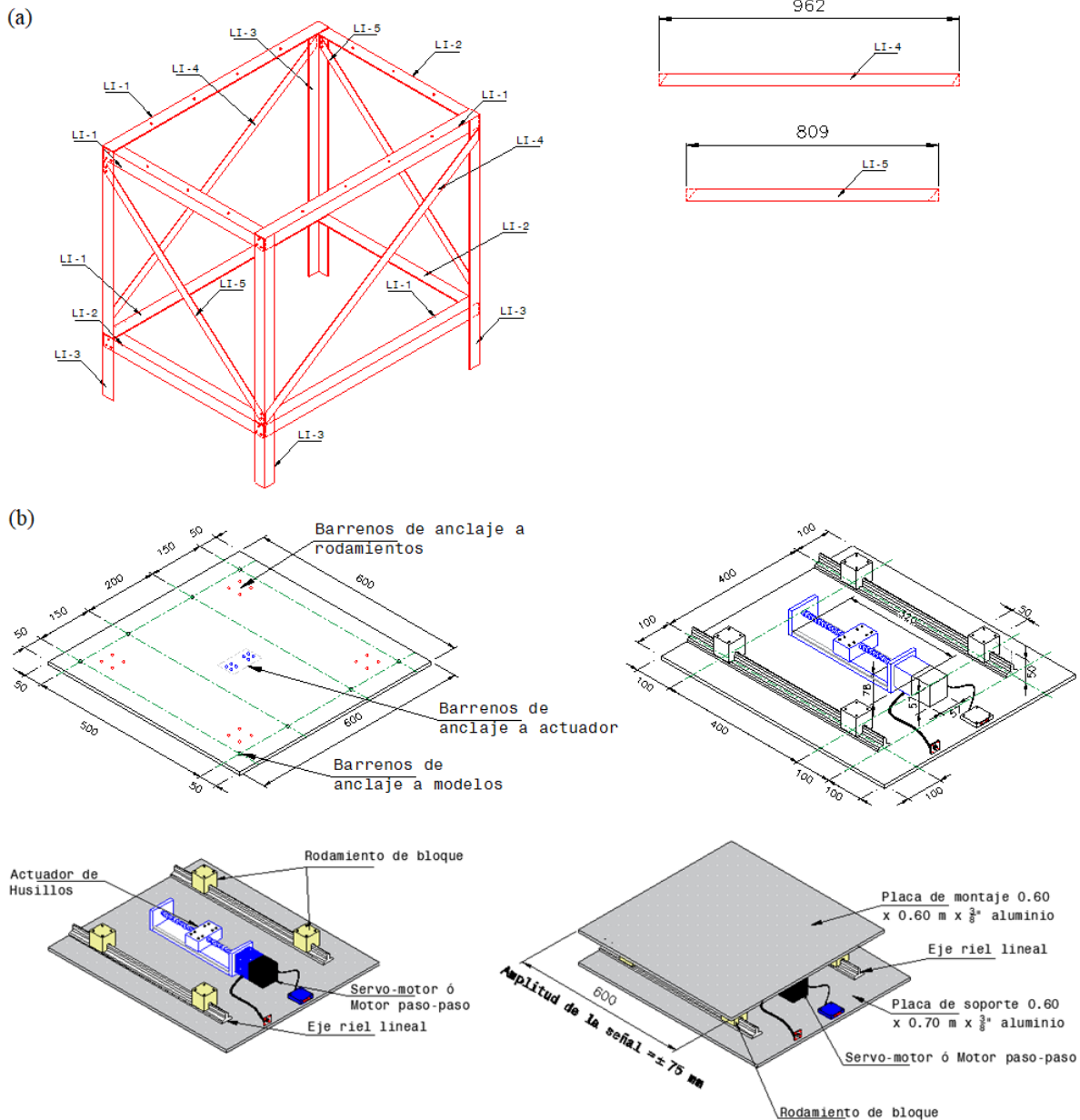


Figura 2. Dimensiones y elementos de la mesa vibradora en mm: (a) Elementos de la mesa de soporte; (b) características de la mesa vibradora estudiantil.

### 2.3 Construcción de la mesa vibradora estudiantil

Una vez definidas las características de la mesa vibradora, se procedió a su construcción. La figura 3 presenta algunas imágenes del proceso constructivo de la mesa y el ensamble de los elementos para el dispositivo móvil.



Figura 3. Construcción de la mesa vibradora estudiantil: (a) Mesa de soporte; (b) Elementos de la mesa vibradora.

Como se observa en la figura 3b, los dispositivos electrónicos a emplear consideran una tarjeta Arduino, la cual permitirá desarrollar el código de programación para controlar el motor paso a paso. En la figura 3b también se observa un modelo didáctico y un acelerómetro inalámbrico. Algunos detalles de la implementación del código de programación para controlar el motor se presentan en la siguiente sección.

### 3 ASPECTOS GENERALES PARA EL CONTROL DEL MOTOR A PASOS DE LA MESA VIBRATORIA ESTUDIANTIL

#### 3.1 Aspectos básicos de un motor a pasos

Un motor paso a paso se puede definir como un convertidor electromagnético incremental que transforma pulsos electromagnéticos en movimientos angulares sobre un eje. Este movimiento angular, se realiza con cada pulso sucesivo que el circuito de control manda al motor (Berti et al., 2021); como resultado, los motores paso a paso poseen una elevada capacidad para posicionarse en una ubicación requerida. Esta característica los hace ideales para sistemas que requieran un control exacto de posicionamiento, dirección y velocidad. En la Figura 4 se presenta un esquema del principio de funcionamiento de este tipo de motor; en donde si se energiza la bobina 1, el rotor del motor llega a una posición de equilibrio alineándose con el campo magnético generado por dicha bobina como lo muestra la figura 4a. Al excitar la bobina 2, el rotor realiza un desplazamiento angular igual al paso “P” del motor, alineándose al flujo magnético de los campos magnéticos de las bobinas, como se muestra en la figura 4b. Así excitando las dos bobinas en forma simultánea, el rotor intentará alinearse con los dos campos magnéticos generados y, debido a la naturaleza vectorial de los mismos, encontrará una posición de equilibrio en dirección al vector resultante de los dos campos, como se muestra en la figura 4c.

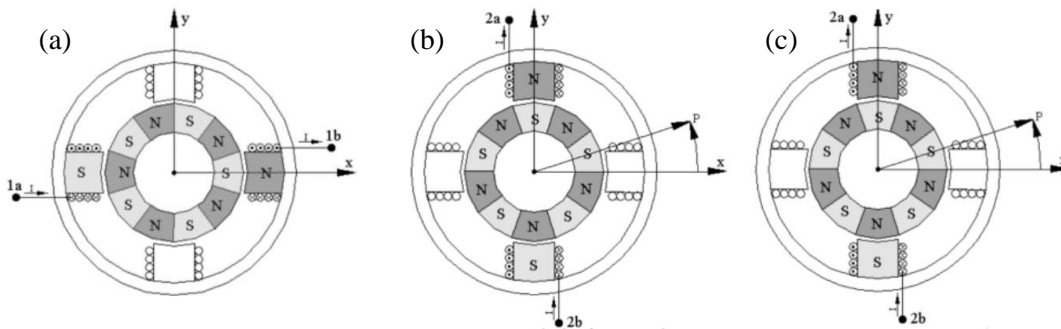


Figura 4. Funcionamiento de un motor paso a paso: (a) Bobina 1 energizada; (b) Bobina 2 energizada; (c) Bobinas 1 y 2 energizadas.

#### 3.2 Control de posicionamiento

El eje de un motor paso a paso gira en incrementos discretos cuando se energizan sus bobinas en la secuencia correcta. La secuencia de los pulsos para energizar las bobinas se relaciona directamente con la dirección de rotación del eje del motor.

El eje de un motor paso a paso gira en incrementos discretos cuando se energizan sus bobinas en la secuencia correcta. La secuencia de los pulsos para energizar las bobinas se relaciona directamente con la dirección de rotación del eje del motor. La velocidad de la rotación del eje está directamente relacionada con la frecuencia de los pulsos de entrada y la duración de la rotación depende del número de pulsos de entrada aplicada. Una de las ventajas más importantes de un motor paso a paso es su capacidad para ser controlado con mucha precisión en un sistema de lazo abierto, esto significa que no requiere de ninguna información de retroalimentación, por lo que este tipo de control elimina la necesidad de añadir sensores para conocer su posición. Lo único que se requiere es transmitir un número exacto de pasos para llevarlo a una posición exacta y repetible. De esta manera se programó el código en Arduino que se muestra en la Figura 5 en el cual se generó un tren de pulsos para el motor a pasos con el fin de poder desplazar hacia diferentes sentidos la mesa vibradora (López Roldan, 2022).

<pre> //Se declaran los pines digitales de Arduino #define STEP 2 #define DIR 3 #define ENABLE 6 #define SLEEP 8 //Se declaran las variables para las funciones char orden_usuario; int estado; void setup() { pinMode(STEP, OUTPUT); // pin 2 como salida pinMode(DIR, OUTPUT); // pin 3 como salida pinMode(SLEEP, OUTPUT); // pin 12 como salida . . . </pre>	<pre> //Muestra la lista de funciones de comando Serial.println("Ingrese el numero de la opcion de control:"); Serial.println("1. Girar hacia adelante."); Serial.println("2. Girar hacia atras."); Serial.println(); } . . . } delay(1000); // demora de 1 segundos void setup() Serial.println(); Serial.println("Ingrese nueva opción"); Serial.println(); } </pre>
--	--

Figura 5. Extracto del código de Arduino

#### 4 ESTRATEGIA DE INTEGRACIÓN DE LA MESA VIBRADORA ESTUDIANTIL EN EL PLAN DE ENSEÑANZA DEL LABORATORIO ITINERANTE

Los elementos que integran el plan de enseñanza del laboratorio itinerante para la demostración de conceptos de vibración se resumen en la figura 6 de la misma manera que se indica la integración de la mesa vibradora estudiantil en este plan de enseñanza. Se observa en la figura 6 que los bloques a los que se asocia el empleo de la mesa vibradora estudiantil son: Aspectos básicos de dinámica estructural y vibración de estructuras ocasionada por fuerzas.

Con los bloques desarrollados en su totalidad, el laboratorio itinerante, que incluirá la mesa vibradora y los modelos físicos a escala, realizará las siguientes actividades:

- 1) Realizar demostraciones a grupos de estudiantes de bachillerato o licenciatura.
- 2) Aportar explicaciones de conceptos básicos de vibración.
- 3) Involucrar a los estudiantes mediante el manejo de los modelos físicos (“manos a la obra”).
- 4) Complementar el aprendizaje de los estudiantes con cuestionamientos relacionados con el tema de vibración.
- 5) Apoyar a los estudiantes a focalizar sus respuestas.
- 6) Promover debates grupales de los descubrimientos y observaciones de los estudiantes.
- 7) Brindar retroalimentación a los estudiantes para fortalecer su aprendizaje.



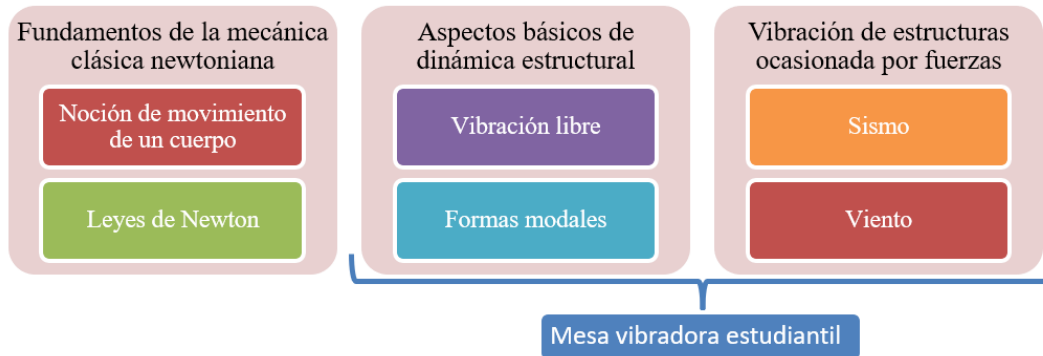


Figura 6. Integración de la mesa vibradora estudiantil en este plan de enseñanza.

#### 4.1 Estrategias didácticas sugeridas

Uno de los objetivos principales del laboratorio itinerante es la demostración de conceptos básicos de vibración a través de modelos físicos. Para lograrlo, se emplearán las estrategias didácticas resumidas en la tabla 2.

Tabla 2. Estrategias didácticas resumidas.

Actividad	Estrategia didáctica
Fundamentos de la mecánica clásica newtoniana	<b>Proyección de videos a través de pantalla táctil</b> Se proyectarán videos en 2 pantallas táctiles para demostrar la noción de movimiento de un cuerpo y las leyes de Newton. Adicionalmente se incluirá un glosario de términos y un cuestionario de autoevaluación a ser resuelto por los estudiantes.
Aspectos básicos de dinámica estructural	<b>Involucrar a los estudiantes mediante el manejo de los modelos físicos (“manos a la obra”)</b> Se solicitará a los estudiantes a manipular los modelos físicos de diferentes edificios con la intención de que se familiaricen con éstos. Posteriormente se dará una explicación de por qué estos edificios vibran y se dará una explicación breve del concepto de vibración libre. Con la explicación anterior, se empleará la mesa vibradora estudiantil para ocasionar movimiento en los modelos con la finalidad de demostrar las formas modales.
Vibración de estructuras ocasionada por fuerzas	<b>Involucrar a los estudiantes mediante el manejo de la mesa vibradora (“manos a la obra”)</b> Después de una explicación breve de los mecanismos que ocasionan sismos y vientos extremos, se les enseñará a los estudiantes a manipular la mesa vibradora. Posteriormente se solicitará a los estudiantes a colocar diversos modelos de edificios sobre la mesa vibradora y activarla para observar el movimiento que presentan los modelos bajo diferentes condiciones de movimiento. Al finalizar la demostración, se promoverá un debate grupal acerca de los descubrimientos y observaciones de los estudiantes. Durante esta discusión se apoyará a los estudiantes a encontrar sus respuestas y se brindará retroalimentación a los estudiantes para fortalecer su aprendizaje.

## 5 COMENTARIOS FINALES

Se presentaron aspectos generales de la primera etapa del proyecto del laboratorio itinerante para la demostración de conceptos de vibración a estudiantes de las asignaturas de interés, el cual consiste en el desarrollo de una mesa vibradora estudiantil. Se presentaron los detalles de la conceptualización

de la mesa vibradora, su diseño y construcción. También se presentó un bosquejo de la estrategia de integración de este desarrollo en el plan de enseñanza del laboratorio itinerante.

## 6 AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue realizado gracias al Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME), con clave de proyecto PE100923.

## 7 REFERENCIAS

- Berti, S., Roitman, J., & Verrastro, C. (2021). *Controlador de motores paso a paso mediante técnica de micropasos por modulación de ancho de pulso*. <https://www.frba.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2021/02/SDC16.pdf>
- Buonopane, S. G., Burkhart, K., Puleo, J., Li, X., Earley, T., & Schafer, B. W. (2014). Educational shake table models of CFS shear walls. *NCEE 2014 - 10th U.S. National Conference on Earthquake Engineering: Frontiers of Earthquake Engineering*. <https://doi.org/10.4231/D3V40K066>
- CSI. (n.d.). *SAP2000 Integrated Software for Structural Analysis and Design* (24.0). Computers and Structures Inc. <https://www.csiespana.com/software/2/sap2000>
- Dyke, S. J., Martin Caicedo, J., & Soto-Fournier, M. (2003). *University consortium of instructional shake tables: Enhancing education in earthquake engineering*. <http://ucist.cive.wustl.edu/>
- Elgamal, A., Fraser, M., & McMartin, F. (2005). On-line educational shake table experiments. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 131(1), 41–49. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1052-3928\(2005\)131:1\(41\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1052-3928(2005)131:1(41))
- Inamdar, N. J. (2010). *Educational Shaking Table Modules for Earthquake Engineering*. <http://hdl.handle.net/2152/ETD-UT-2010-12-2464>
- López Roldan, E. (2022). *Sistema de registro de actividad neuronal* [Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2022/junio/0826673/Index.html>
- Ortegón Esparza, J. A., & Pozos Estrada, A. (2016). *Génesis SimVT / SVTpro Software Integrado de Análisis de Edificios de Cortante ante Viento Turbulento*. Ortegón Esparza Juan Abdel y Pozos Estrada Adrián. <https://proyectos.iingen.unam.mx/genessimvt-svtpro/es-mx/Paginas/default.aspx>
- Pozos Estrada, A., & Gómez Martínez, R. (2010). *Apuntes de clase: Ingeniería de Viento*.
- Pozos Estrada, A., Sánchez García, R., Gómez Martínez, R., & Escobar Sánchez, J. A. (2010). Programa para la enseñanza de conceptos de Ingeniería de viento. *XVII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*.
- Romero, M. L., & Museros, P. (2002). Structural Analysis Education through Model Experiments and Computer Simulation. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 128(4). <https://doi.org/10.1061/ASCE1052-39282002128:4170>
- UNESCO. (1986). *Innovaciones en la educación científica y tecnológica*.