

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/369171481>

TECNOLOGÍAS EMERGENTES PARA LA COMPRENSIÓN TEÓRICO-DIDÁCTICA DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL SÍSMICO

Chapter · February 2023

CITATIONS

0

READS

171

5 authors, including:



Nahúm Gamalier Cayo Chileno

Federal University of Rio de Janeiro

31 PUBLICATIONS 134 CITATIONS

SEE PROFILE



Giovana Silvia Cachaca Tapia

Universidad Privada del Valle

6 PUBLICATIONS 18 CITATIONS

SEE PROFILE



Joaquin H. Aquino Rocha

University of San Simón

88 PUBLICATIONS 534 CITATIONS

SEE PROFILE

TECNOLOGÍAS EMERGENTES PARA LA COMPRENSIÓN TEÓRICO-DIDÁCTICA DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL SÍSMICO

Nahúm Gamalier Cayo Chileno

Universidad Privada del Valle, Bolivia
nahum.cayo.chileno@gmail.com

Valeria Coral Rodríguez García

Universidad Privada del Valle, Bolivia
rgv2019964@est.univalle.edu

Giovana Silvia Cachaca Tapia

Universidad Privada del Valle, Bolivia
ctg0027896@est.univalle.edu

Alam Villarroel Zurita

Universidad Privada del Valle, Bolivia
avillarroelz@univalle.edu

Joaquín Humberto Aquino Rocha

Universidad Federal de Rio de Janeiro, Brasil
joaquinaquinorocha@gmail.com

Los eventos sísmicos son aquellos fenómenos naturales que ocurren sin precedente alguno que, ante mayores magnitudes, involucran una serie de consecuencias negativas para las obras civiles (Peralta-Abadía y Castillo-Barahona, 2013; Cicese, 2022). Ante ello, los profesionales del área realizan múltiples estudios relacionados a la ingeniería sismorresistente, esto a fin de garantizar la estabilidad y seguridad de las estructuras. Sin embargo, es necesario conocer determinados conceptos teóricos: frecuencia natural, periodo, resonancia, cortante basal, etc., los cuales requieren de un pensamiento abstracto y espacial, dificultando su comprensión en estudiantes de ingeniería (Carrillo et al., 2020).

Álvarez (2012) señala la importancia de la relación teórico-práctica que debe existir dentro de los conocimientos técnicos adquiridos en la ingeniería, especialmente la sismorresistente, donde las herramientas didácticas han demostrado niveles aceptables de comprensión, interpretación y aprendizaje de los conceptos fundamentales (Guerrero et al., 2014). En la literatura se observa que países como Taiwan (Crewe et al., 2008), Reino Unido

(Daniell y Crewe, 2005), entre otros (Braile, 2004; Vassiliou et al., 2021), desarrollan actividades académicas didácticas relacionadas a la comprensión de la ingeniería sísmica. En este sentido, el presente trabajo relata las experiencias relacionadas al uso de tecnologías emergentes, a fin de lograr una mejor comprensión teórico-didáctica del análisis estructural sísmico, para esto se realizó una competición de estructuras sismorresistentes con estudiantes de pregrado de la Universidad Privada del Valle, Cochabamba – Bolivia, utilizando un simulador sísmico desarrollado en la misma institución (SHEKER GAMNA).

En base al estudio realizado por Ricaldi Yarvi (2015) sobre los registros de los eventos sísmicos recolectados por el Observatorio de San Calixto, señala a Bolivia como un país de actividad sísmica moderada. Sin embargo, existe la posibilidad de que ocurran eventos sísmicos extremos, como el caso de Iturrealde - La Paz (1994) y Aiquile - Cochabamba (1998), los cuales presentaron una magnitud de 8.6 y 6.5 en la escala de Richter, respectivamente (Opinión, 2011; Baptista Noya, 2013; Vega, 2021).

En los últimos años, los profesionales del sector han denotado la mala práctica en el diseño y la construcción de estructuras sismorresistentes en Bolivia; por tanto, se conforma el comité de la Guía Boliviana de Diseño Sísmico (GBDS), el cual es consciente sobre la necesidad de fomentar la investigación en el área del diseño estructural sísmico y, de esta forma, mejorar las posteriores versiones de la GBDS (ANF, 2020). Por tanto, surge el desarrollo de simuladores sísmicos, siendo herramientas útiles para realizar ensayos estructurales dinámicos (Bertero y Bertero, 2014).

Descripción de la innovación

El simulador sísmico "SHEKER GAMNA" fue desarrollado por la Universidad Privada del Valle, Cochabamba - Bolivia, es un equipo didáctico para la realización de ensayos físicos en estructuras a escala. Este simulador es capaz de desplazar 10 kg de carga, alcanzando una frecuencia natural máxima de 2 Hertz con un 5% de error. También es posible replicar eventos sísmicos registrados con un error promedio de 0.125 cm (en desplazamiento). En la Figura 1 se observa el simulador y sus elementos, tales como:

- Una placa inferior de aluminio (1), encargada de arriostrar todos los elementos en la parte superior.

- Un soporte para el motor (2) y otro para el sistema de engranajes (3), alineados en base al eje del motor.

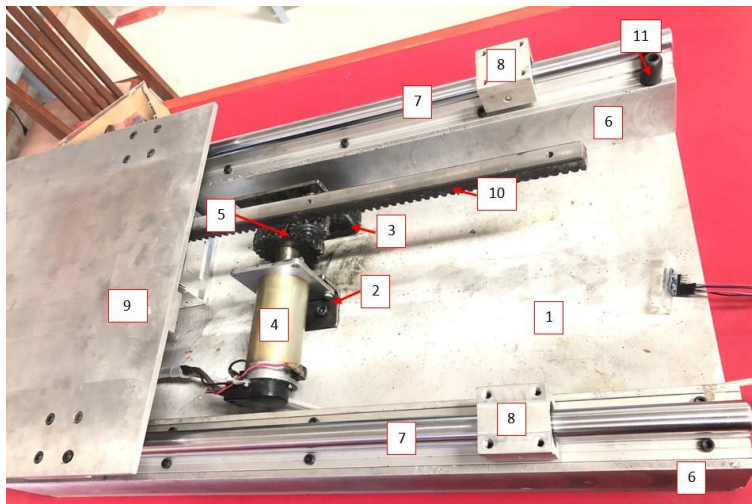
- Un motor DC de 24 V (4), conectado al eje de un engranaje de 28 dientes que a la vez se conecta a uno más pequeño, 14 dientes. Este sistema de engranajes (5), permite generar un accionamiento de mayores velocidades, pero con la solicitud de una mayor potencia.

- Dos soportes de aluminio (6), encargados de sostener a las guías lineales (7). Sobre estas, se acomodan cuatro rodamientos lineales (8) sujetos a la placa superior de aluminio (9). A la vez, esta placa sostiene una cremallera (10) que se conecta al sistema de engranajes y, de este modo, completa los desplazamientos deseados.

- Finalmente, para que la placa superior del simulador no se desprenda de las guías lineales, se acomodan dos topes mecánicos (11), uno en cada extremo del soporte de aluminio.

Figura 1

Estructura del simulador

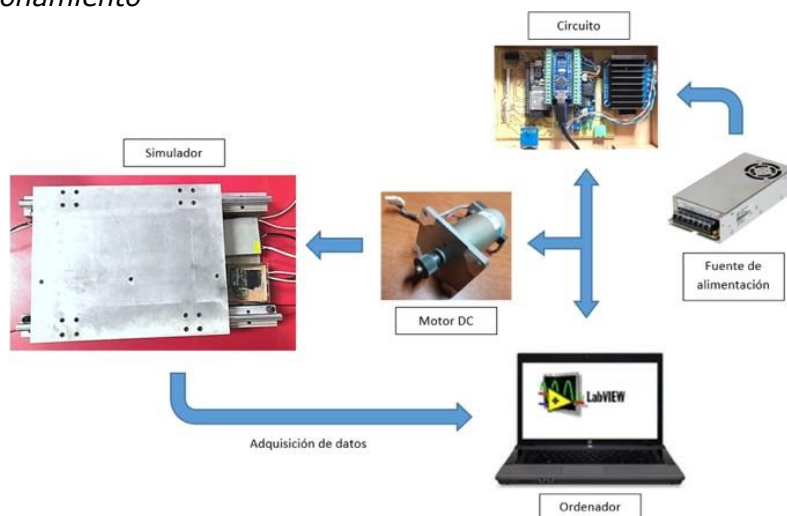


Fuente: Elaboración propia, 2022

El funcionamiento del simulador sigue el esquema de la Figura 2. Inicia con la fuente de alimentación, la cual se encarga de suministrar energía regulada (3.3 V). A la vez, este se conecta con el ordenador y, por medio del software Labview, se controla el funcionamiento del motor.

Figura 2

Esquema de funcionamiento



Fuente: Elaboración propia, 2022

Proceso de implementación de la innovación

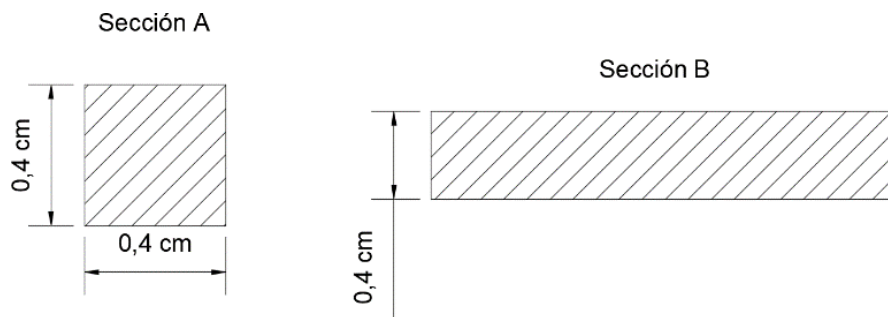
La asignatura de Ingeniería Sismorresistente de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Privada del Valle, se basaba solamente en la comprensión teórica; sin embargo, ya con el equipo SHEKER GAMNA, se permitió a los estudiantes de la disciplina desarrollar una comprensión más completa y didáctica sobre el comportamiento de las estructuras ante eventos sísmicos.

Para ello, se desarrolló el “1er concurso de Ingeniería Sismorresistente con estructuras de madera sometidos a eventos sísmicos”. La actividad se limitó a estudiantes de la asignatura y consistió en observar el grado de resistencia que puede alcanzar una estructura de madera balsa en el simulador, bajo los siguientes parámetros:

- a) Los equipos estuvieron conformados por un máximo de 3 estudiantes (total: 9 modelos).
- b) El pegamento fue aplicado solo en las uniones (no existió restricción en el tipo de pegamento).
- c) La estructura estuvo conformada en base a las secciones detalladas en la Figura 3 y empleadas bajo la descripción de la Tabla 1.

Figura 3

Secciones de la madera



Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla 1

Descripción de la sección y los elementos estructurales

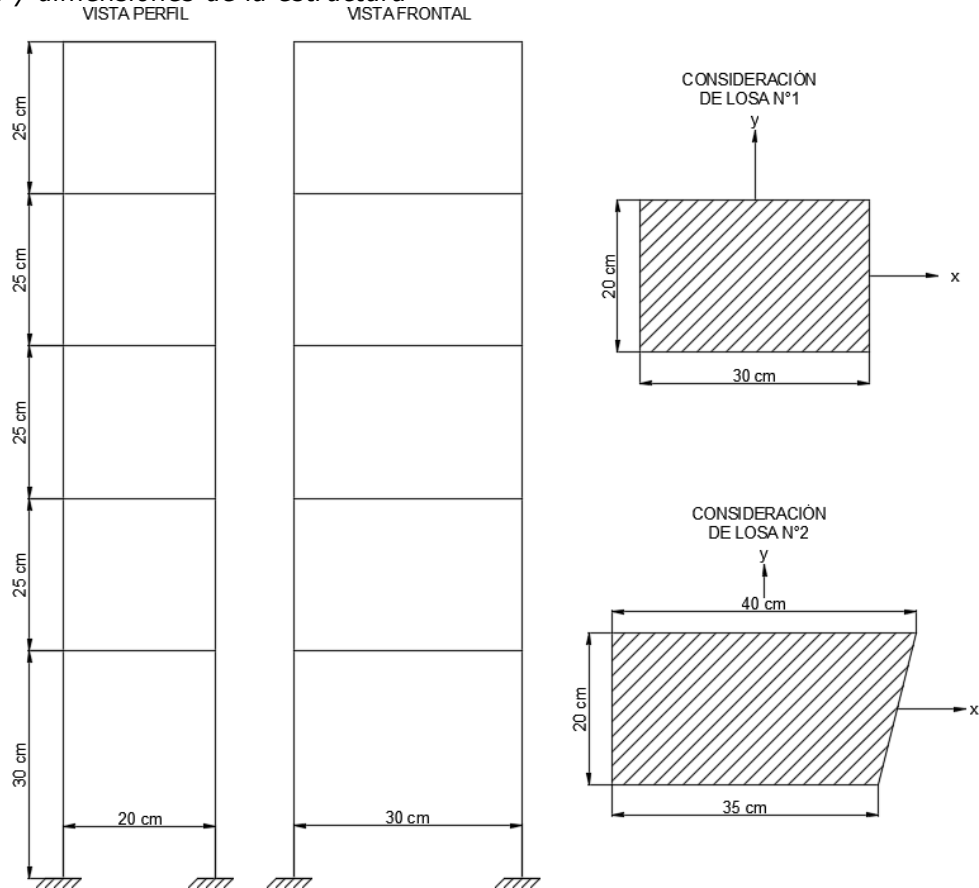
Sección A	Sección B
Columnas	Losa
Vigas peraltadas	Muro estructural
Riostras	Ábaco

Fuente: Elaboración propia, 2022

- d) La estructura se fabricó en base a la geometría y dimensiones de la Figura 4.

Figura 4

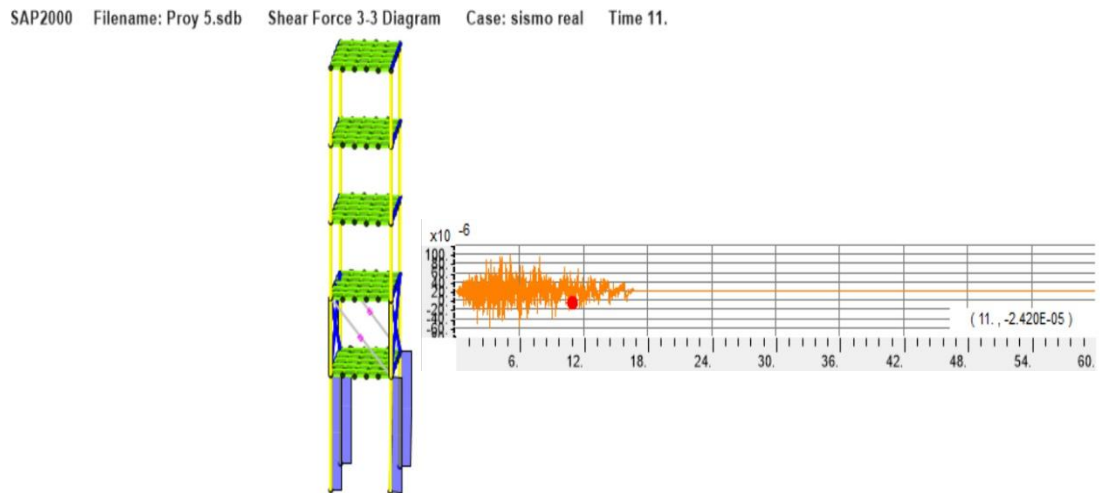
Geometría y dimensiones de la estructura



Fuente: Elaboración propia, 2022

- e) Finalmente, la estructura fue rigidizada en tan solo una de sus plantas, haciendo el uso de dos elementos estructurales.

El proceso de selección de planta fue en base al análisis realizado por medio del software estructural SAP2000 (Figura 5). A través de la simulación, los participantes identificaron la planta que presentaba un comportamiento riesgoso para la estructura y, con el criterio particular de cada equipo, se realizó la respectiva elección de los elementos estructurales.

Figura 5*Análisis tiempo-historia*

Fuente: Elaboración propia, 2022

El proceso constructivo de las estructuras de madera se realizó dentro de los ambientes de la institución, de este modo, se controló la transparencia y originalidad en las estructuras (Figura 6).

Figura 6*Construcción de estructuras de madera*

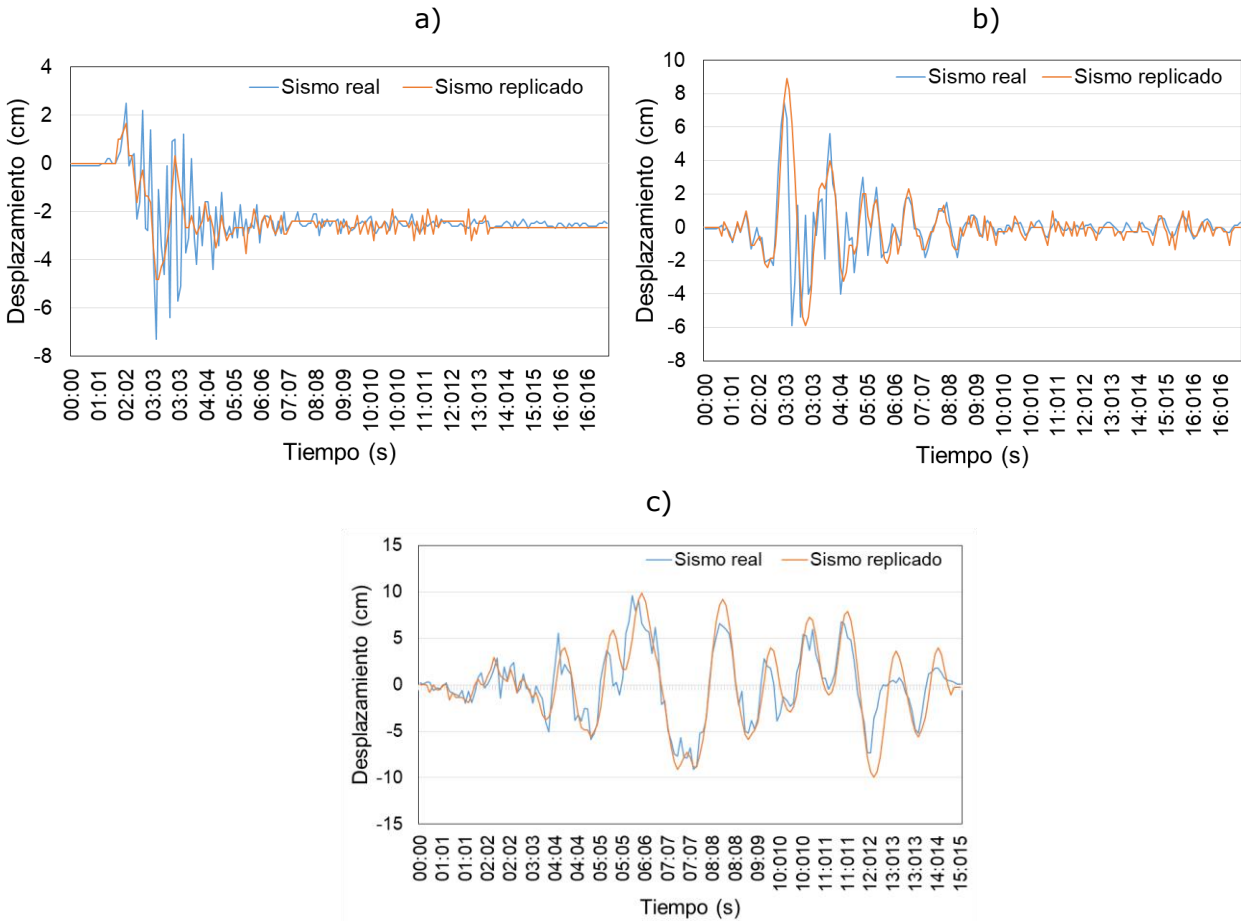
Fuente: Elaboración propia, 2022

La evaluación del concurso consideró que las estructuras se sometían a tres eventos sísmicos de forma gradual: a) 6.6 M ocurrido el 6 de octubre del año 2000 en Tottori – Japón, b) 7.0 M ocurrido el 3 de septiembre del 2010 en Christchurch Resthaven – Nueva Zelanda y c) 7.9 M evento del 3 de noviembre del 2002 ocurrido en Denali – Alaska.

La precisión alcanzada por el simulador y los sismos se presentan en la Figura 7.

Figura 7

Eventos sísmicos simulados: a) 6.6 M – Japón, b) 7.0 M – Nueva Zelanda, y c) 7.9 M Alaska



Fuente: Elaboración propia, 2022

La carga inicial fue de 680 gramos para cada estructura y esta fue incrementándose de forma gradual hasta alcanzar tres veces el peso inicial. Bajo estos parámetros el comité evaluador del concurso de sismos ponderó la calificación en base a la Ec. 1.

$$Puntuación = 0.05 A1 + 0.05 A2 + 0.1 A3 \text{ (Ec. 1)}$$

Donde:

A1 = Magnitud del evento sísmico

A2 = Carga máxima (g)

A3 = Tiempo de falla (s)

La puntuación alcanzada por los grupos se presenta en la Tabla 2, cabe señalar que estos fueron ponderados en relación con los máximos valores alcanzados para cada consideración.

Tabla 2

Puntaje de los modelos presentados

Modelo	Magnitud del evento soportado	Carga (g)	Tiempo de falla (s)	Puntuación
1	7.90	1360.00	8.63	14.75
2	7.90	1360.00	14.00	16.67
3	7.90	2040.00	7.69	17.75
4	7.90	1360.00	12.52	16.14
5	7.00	1360.00	3.65	12.40
6	7.00	2040.00	9.15	17.70
7	7.90	2040.00	Sin falla	20.00
8	7.90	2040.00	Sin falla	20.00
9	6.60	2040.00	8.87	17.35

Fuente: Elaboración propia, 2022

Para determinar al modelo ganador, el comité evaluador realizó una evaluación adicional a la estructura presentada, controlando detalladamente la precisión de las dimensiones asignadas, distribución de empalmes y uso del pegamento. En la Figura 8, se observa al modelo que fue seleccionado, como ganador del concurso.

Figura 8*Estructura ganadora (Modelo 7)*

Fuente: Elaboración propia, 2022

Los participantes del concurso de Ingeniería Sismorresistente de la Universidad Privada del Valle señalan que la simulación de estructuras físicas ante eventos sísmicos favoreció a la comprensión teórico-didáctica del análisis estructural sísmico. Adicionalmente, el comité evaluador puntualiza la importancia del simulador sísmico SHEKER GAMNA para el desarrollo del concurso.

A pesar de que el concurso se limitó a la participación de los estudiantes de la asignatura de Ingeniería Sismorresistente, se recomienda desarrollar actividades similares que posibiliten la intervención de la comunidad universitaria en general y, de este modo, se logre demostrar la importancia del diseño estructural sismorresistente. Por otra parte, dentro de los parámetros considerados, no se calificó la aplicación de ideas innovadoras, lo que es necesario considerarlo en futuras versiones.

Finalmente, con el proyecto desarrollado se espera que los futuros profesionales del sector concienticen sobre la importancia de un buen diseño sísmico e impulsen la investigación dentro de la ingeniería sismorresistente.

Referencias

- Agencia de Noticias Fides ANF, (2020). La nueva Guía de Diseño Sísmico posiciona a Bolivia a la par con países de la región. La Paz, 28 de octubre 2020. Recuperado de <https://www.noticiasfides.com/nacional/sociedad/la-nueva-guia-de-diseno-sismico-posiciona-a-bolivia-a-la-par-con-paises-de-la-region--406870>. 02/02/2022.
- Álvarez, C. Á. (2012). La relación teoría-práctica en los procesos de enseñanza-aprendizaje. *Educatio Siglo XXI*, 30(2), 383-402.
- Baptista Noya, W. C. (2013). Necesidad de implementar una normativa antisísmica que regule los requerimientos mínimos de construcción en la ciudad de La Paz (Doctoral dissertation). Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia.
- Bertero, A., y Bertero, R. (2014). Ensayos dinámicos sobre una columna de hormigón armado a escala en mesa vibradora. *Ensayos Dinámicos Sobre Una Columna de Hormigón Armado a Escala En Mesa Vibradora*, 1(1), 1-20.
- Braile, L. (2004). Earthquake Shaking-Building Contest and Shake Table Testing Activity.
- Carrillo, J., Díaz, C., & Parra, L. (2020). Calibración de una herramienta didáctica simplificada para análisis dinámico de estructuras. *Revista Educacion en Ingenieria*, 15(30), 54-59.
- Crewe, A. J., Yang, Y. S., Lin, C. C. J., & Daniell, W. E. (2008). Earthquake engineering public engagement activities in Taiwan. In *Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering* (pp. 12-17).
- Daniell, W., & Crewe, A. (2005, May). Selling earthquake engineering to young people. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering* (Vol. 158, No. 2, pp. 73-79). Thomas Telford Ltd.
- Guerrero M, L. F., Gómez P, D., Sandoval V, E., Thomson, P., & Marulanda Casas, J. (2014). *SISMILAB, un laboratorio virtual de ingeniería sísmica, y su impacto en la educación*.
- Opinión (2011). Bolivia ya registró sismo de 8.9. Recuperado de <https://www.opinion.com.bo/articulo/informe-especial/bolivia-registro-sismo-89/20110521203800661074.amp.html>. 02/02/2022.
- Ricaldi Yarvi, Edgar Liborio. (2015). Condicionamientos a la sismicidad en Bolivia. *Revista Boliviana de Física*, 26(26), 17-29.
- Vassiliou, M. F., Broccardo, M., Cengiz, C., Dietz, M., Dihoru, L., Gunay, S., ... & Stojadinovic, B. (2021). Shake table testing of a rocking podium: Results of a blind prediction contest. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 50(4), 1043-1062.

Vega, E. M. F. (2021). Evaluación del desempeño sismorresistente de una edificación mediante Análisis Estático No lineal Pushover: Estudio de caso. *Journal Boliviano de Ciencias*, 17(50), 56-90. Doi: <https://doi.org/10.52428/20758944.v17i50.20>

Reconocimientos

Los autores agradecen a la Universidad Privada del Valle y reconocen el apoyo recibido por parte de la Dirección Nacional de Investigación, Departamento de Ingeniería Civil, Departamento de Electrónica y particularmente de los estudiantes de la asignatura de Ingeniería Sismorresistente de la Gestión I-2022, quienes fueron fundamentales para el desarrollo de este proyecto.