



DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3940

Aplicación de herramientas tecnológicas en la enseñanza de la ingeniería estructural

Mario González-Durán

gonzalezduranmario@uabc.edu.mx,

<https://orcid.org/0000-0003-0391-5313>

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología,
Unidad Valle de las Palmas
Tijuana, Baja California, México.

Talía I. Hernández-Sánchez

Talia.hernandez@uabc.edu.mx,

<https://orcid.org/0000-0003-0288-675X>

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología,
Unidad Valle de las Palmas
Tijuana, Baja California, México.

Ofelia Candolfi Arballo

ocandolfi@uabc.edu.mx,

<https://orcid.org/0000-0001-8687-2915>

Facultad de Ciencias de la Salud, Unidad Valle de las Palmas
Tijuana, Baja California, México.

Luis Velasco Enriquez

Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México,
Ciudad de México

Daniela Ortega Medrano

ortegad@uabc.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-7846-0045>

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología,
Unidad Valle de las Palmas
Tijuana, Baja California, México.

Correspondencia: miguelaranda2009@hotmail.com

Artículo recibido 19 octubre 2022 Aceptado para publicación: 19 noviembre 2022

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

Cómo citar: González-Durán, M., Hernández-Sánchez, T. I., Candolfi Arballo, O., Velasco Enriquez, L., & Ortega Medrano, D. (2022). Aplicación de herramientas tecnológicas en la enseñanza de la ingeniería estructural. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 7175-7190. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3940

RESUMEN

Tradicionalmente se ha concebido que el aprendizaje significativo en los estudiantes se logra mediante la comprensión de conceptos o definiciones a través de la teoría, prácticas de laboratorio y campo, además de un componente enriquecedor que se denomina creatividad. Con este antecedente el presente artículo tiene como objetivo resaltar que además de los elementos del aprendizaje significativo ya enunciados, este proceso debe estar acompañado del uso de herramientas tecnológicas, tales como, software, hardware, sistemas del manejo del aprendizaje, la conectividad a internet, con el propósito agilizar las actividades que comprenden cada una de las metas involucradas en los Programas de las Unidades Académicas (PUA) o también conocidas como cartas descriptivas. En particular este manuscrito desarrolla un caso de estudio en el área de ingeniería estructural, el cual es analizado por los autores aplicando las tres Leyes de Newton o también denominadas de equilibrio, el cual es validado mediante el lenguaje de programación Opensees, reconocido por ser Opensource desarrollado por la Universidad de California Berkeley, el software de análisis y diseño estructural Midas Gen. Los resultados obtenidos son aproximados en la determinación de reacciones y fuerzas internas, con diferencia significativa en tiempos de solución y disponibilidad de herramientas digitales.

Palabras clave: enseñanza; ingeniería estructural; herramientas tecnológicas; análisis estructural; lenguaje de programación; software de análisis estructural

Application of technological tools in the teaching of structural engineering

ABSTRACT

Traditionally it has been conceived that meaningful learning in students is achieved by understanding concepts or definitions through theory, laboratory, and field practices, as well as an enriching component, called creativity. With this background, this article aims to highlight that in addition to the elements of meaningful learning already mentioned, this process must be accompanied using technological tools, such as software, hardware, learning management systems, and internet connectivity, to expedite the activities that comprise each one of the goals involved in the Programs of the Academic Units (PUA) or also known as descriptive letters. This manuscript develops a case study in the area of structural engineering, which is analyzed by the authors applying the three Laws of Newton or also called equilibrium, which is validated through the Openses programming language, recognized for being Opensource. developed by the University of California Berkeley, the Midas Gen structural design and analysis software. The results obtained are approximate in the determination of reactions and internal forces, with a significant difference in solution times and availability of digital tools.

Keywords: *teaching; structural engineering; technological tools; structural analysis; programming language; structural analysis software.*

INTRODUCCIÓN

El empleo de la tecnología en varios escenarios está ligada a dar soporte a estudiantes en la realización de sus estudios y profesionales durante la práctica (Sampaio et al., 2010). En el caso particular de la enseñanza del área de la ingeniería estructural, las herramientas tecnológicas son de gran utilidad en la validación de resultados obtenidos a través de procesos analíticos, facilitando además la comprensión de definiciones y conceptos propios del campo. Es debido a estas ventajas que los autores consideran que las herramientas tecnológicas, como lenguajes de programación o softwares, son capaces de fortalecer el aprendizaje significativo de largo plazo.

Tradicionalmente la enseñanza en el área de ingeniería estructural ha estado limitada a la comprensión de conceptos y análisis numéricos debido a la dificultad de estudiar sistemas funcionales en condiciones reales. Para superar estas limitantes, es posible utilizar una gran variedad de herramientas tecnológicas que le permiten a los estudiantes adquirir conocimientos técnicos y desarrollar diferentes competencias transversales (Hernandez-de-Menendez & Morales-Menendez, 2019). Adicionalmente, existen estudios que plantean que con sólo agregar un elemento de la tecnología innovadora se logra un cambio significativo y positivo en el conocimiento de largo plazo, favoreciendo además la creatividad y la motivación de los estudiantes. Por ejemplo, se ha evidenciado que con solo agregar un pizarrón electrónico los estudiantes consideran que se contribuye a comprender conceptos abstractos y generar un mayor compromiso con la clase, es decir, se traslada a un aprendizaje activo dinámico alentando al alumno a comprometerse (Reguera & Lopez, 2021).

Diferentes enfoques se han propuesto para mejorar los planes de estudio universitario por medio de la implementación de herramientas tecnológicas. Una de las estrategias pedagógicas más interesantes en la actualidad es la denominada como Aprendizaje Colaborativo Apoyado por Computadora (CSCL) el cual utiliza diferentes herramientas tecnológicas para promover la interacción entre los estudiantes (Dillenbourg et al., 2009); (Jeong et al., 2019). En áreas como la administración de la construcción se ha propuesto la asociación de técnicas de Modelado de Información para la Construcción (BIM) con innovaciones en Métodos de la Ruta Crítica (CPM). Gracias a la realización de mediciones del aprendizaje durante y después de la implementación de esta estrategia de enseñanza, se puede afirmar que permitió un efectivo incremento de la mejora del aprendizaje (Hall

et al., 2022). En otras áreas de la ingeniería se ha propuesto utilizar inteligencia artificial para crear recomendaciones de aprendizaje basadas en datos de la demanda laboral y ofertas educativas disponibles, esto con la finalidad de ayudar a los estudiantes a alcanzar metas de aprendizaje de una forma más eficiente (Tavakoli et al., 2022). Otras estrategias implementadas para que el estudiante se comprometa con su aprendizaje es mediante la creación de herramientas en línea. Por ejemplo, la introducción de conceptos de ingeniería estructural y sísmica en alumnos de secundaria realizado a través de prototipos de estructuras denominados como “recursos web con todo incluido”, desarrollados para asistir a los profesores y auxiliar en la comprensión de las aplicaciones de las matemáticas y la ciencia a través de la soluciones de la ingeniería para mejorar la calidad de vida, a través de actividades interdisciplinarias con la elaboración de proyectos, ayudan con la comprensión de la solución de problemas reales (Mosqueda et al., 2011). En la tabla I, citamos algunos otros esfuerzos de complementar el aprendizaje a través de herramientas tecnológicas en diversas partes del mundo.

Es requerido que lo anterior sea asociado al cuestionamiento ¿cómo aprende el estudiante?, es decir, hay alumnos que su aprendizaje lo conciben solo observando, algunos escuchando, y otros haciendo. El aprendizaje a través del hacer, en algunos casos se propone sea a través de prácticas de laboratorio, este último rubro en ocasiones no es posible llevarlo a cabo debido a que no existe el equipo necesario, bajo este marco e incluso existiendo la viabilidad de llevar a cabo las practicas, es el momento oportuno para el empleo de lenguajes de programación y softwares que complementen el aprendizaje. En estas herramientas tecnológicas es requerido concebir que debe declararse un material, sus propiedades, la geometría de la estructura, sistemas de unidades, elementos que la integran, cargas actuantes, tipos de apoyos, criterios de análisis e interpretación de resultados.

METODOLOGÍA

El enfoque de este artículo es cuantitativo, de tipo explicativo y de aplicación, en el que se plantea que el aprendizaje significativo se logre complementando con el empleo de herramientas tecnológicas en la enseñanza de la ingeniería estructural, en este caso de estudio se propone el empleo además del análisis numérico manual, el empleo del lenguaje de programación de análisis estructural denominado Opensees®, desarrollado para simular desempeños de sistemas estructurales y geotécnicos sujetos a ser afectados

por sismos desarrollado por la Universidad de California en Berkeley; otro software propuesto es Midas Gen®, desarrollado y comercializado por la empresa Midas Soft®, Con relación a este último párrafo, este artículo propone el análisis de una estructura isostática, tipo armadura, la cual puede ser resuelta con las tres ecuaciones de equilibrio, las cuales se desprenden de las tres Leyes de Newton, ecuaciones 1,2,3; y con un criterio de análisis lineal, bajo un enfoque clásico. En sí mismo, este método de solución no es novedoso, lo que proponen los autores en este artículo es validar los resultados analíticos obtenidos con Opensees y Midas Gen, figura 1.

$\sum F_h = 0$ Ec. 1, sumatoria de todas las fuerzas horizontales son iguales a cero.

$\sum F_v = 0$ Ec. 2, suma de las fuerzas verticales son igual a cero.

$\sum M = 0$ Ec. 3, suma de los momentos mecánicos son igual a cero.

El ejercicio desarrollado en este artículo es una armadura isostática obtenida del libro de Mecánica para Ingenieros(estática) (Hibbeler, 2016), con dos apoyos, una articulación en el apoyo A, y un apoyo tipo rodillo en el nodo C, figura 2,

Análisis numérico estructural manual

Determinación de reacciones (figura 3).

$$+\curvearrowright \sum M = 0$$

$$R_4 (8) + 60(3) - 120(4) = 0$$

$$R_4 (8) + 180 - 480 = 0$$

$$R_4 = \frac{300}{8}$$

$$R_4 = 37.5 \text{ kN} \uparrow$$

$$+\uparrow \sum F_v = 0$$

$$R_1y - 120 + 37.5 = 0$$

$$R_1y = 82.5 \text{ kN} \uparrow$$

$$+\rightarrow \sum F_H = 0$$

$$R_1x + 60 = 0$$

$$R_1x = -60 \text{ kN}$$

$$R_1x = 60 \text{ kN} \leftarrow$$

Análisis del nodo 1 (figura 4)

$$+\rightarrow \Sigma F_H = 0$$

$$-60 - \frac{4}{5}F_{13} + \frac{4}{\sqrt{17}}F_{12} = 0$$

$$+\downarrow \Sigma F_V = 0$$

$$82.5 + \frac{3}{5}F_{13} - \frac{1}{\sqrt{17}}F_{12} = 0$$

Sistema de Ecuaciones

$$-\frac{4}{5}F_{13} + \frac{4}{\sqrt{17}}F_{12} = 60 \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\frac{3}{5}F_{13} - \frac{1}{\sqrt{17}}F_{12} = 82.5 \quad \text{Ecuación 2}$$

$$-0.8 F_{13} + \frac{4}{4.12} F_{12} = 60$$

$$0.6 F_{13} - \frac{1}{4.12} F_{12} = -82.5$$

$$-0.8 F_{13} + 0.97 F_{12} = 60$$

$$0.6 F_{13} - 0.24 F_{12} = -82.5$$

$$F_{13} = -168.26 \text{ kN}$$

$$F_{12} = -76.92 \text{ kN}$$

Solución de ecuaciones

$$F_{13} = 168.26 \text{ kN (T)}$$

$$F_{12} = 76.92 \text{ kN (c)}$$

Análisis del nodo 4 (figura 5)

$$+\uparrow \Sigma F_V = 0$$

$$\frac{1}{\sqrt{17}}F_{24} - \frac{3}{5}F_{34} + 37.5 = 0$$

$$+\rightarrow \Sigma F_H = 0$$

$$\frac{4}{\sqrt{17}}F_{24} - \frac{4}{5}F_{34} = 0$$

Sistema de Ecuaciones

$$\frac{1}{4.12}F_{24} - \frac{3}{5}F_{34} = -37.5$$

$$\frac{4}{4.12}F_{24} - \frac{4}{5}F_{34} = 0$$

$$0.242 F_{24} - 0.6 F_{34} = 37.5 \quad \text{ecuación 3}$$

$$0.969 F_{24} - 0.8 F_{34} = 0 \quad \text{ecuación 4}$$

Solución de sistemas de ecuaciones

$$F_{24} = 77.35 \text{ kN (c)}$$

$$F_{34} = 93.70 \text{ kN (T)}$$

Análisis del **nodo 3** (figura 6)

$$+\uparrow \Sigma F_v = 0$$

$$-120 + \frac{3}{5}(168.26) + \frac{3}{5}(93.70) - F_{23} = 0$$

$$-120 + 100.956 - 56.22 - F_{23} = 0$$

$$37.176 - F_{23} = 0$$

$$F_{23} = 37.176 \text{ kN (c)}$$

El resumen del valor de las fuerzas internas esta en la figura 7

Análisis numérico estructural con Midas Gen

Los insumos del modelo son:

Material: acero A36, tipo ASTM09(S), Sección: 2L 152 x 152 x 15.9

Módulo de elasticidad (E): 1.999×10^8

Tipo de estructura X-Z

Sistema de unidades: Sistema internacional

El modelo numérico y su solución están descritos en la figura 8,

Análisis numérico estructural con Opensees

La utilización de Opensees es mediante librerías de Python, tales como: openseespy, yvfo.vfo, en el algoritmo del script se deben borrar los modelos anteriores, declarar los nodos, las restricciones, el tipo de material, los elementos, asignación de cargas, definición de los archivos de salida, parámetros de análisis estático, figura 9, se muestran los resultados obtenidos de reacciones y fuerzas internas de los elementos de la armadura, en las tablas II, III. El código está disponible en el repositorio de GitHub, disponible en el apartado de conclusiones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de cada una de las tres metodologías, tanto en las reacciones como en los elementos internos, se muestran en las tablas IV, V, los valores negativos en el caso de las reacciones significan que son sentidos contrarios a los asumidos en el sistema global de coordenadas, para el valor de las fuerzas internas son fuerzas que se encuentran en compresión.

Lo que se observa son resultados aproximados, en el caso de las reacciones no hay variación, para el valor en las fuerzas internas de los elementos es intrascendente la variación, resaltando que la diferencia en tiempo de ejecución en los softwares es en segundos, a diferencia de realizar el proceso manual, sin embargo, no debe optarse en el proceso enseñanza-aprendizaje por despreciar este último, dado que el alumno debe comprender la metodología, los insumos requeridos, el procedimiento y los conceptos a los que haya lugar e interpretación de los resultados.

ILUSTRACIONES, TABLAS, FIGURAS.

Figura 1. Metodología de análisis de armadura isostática

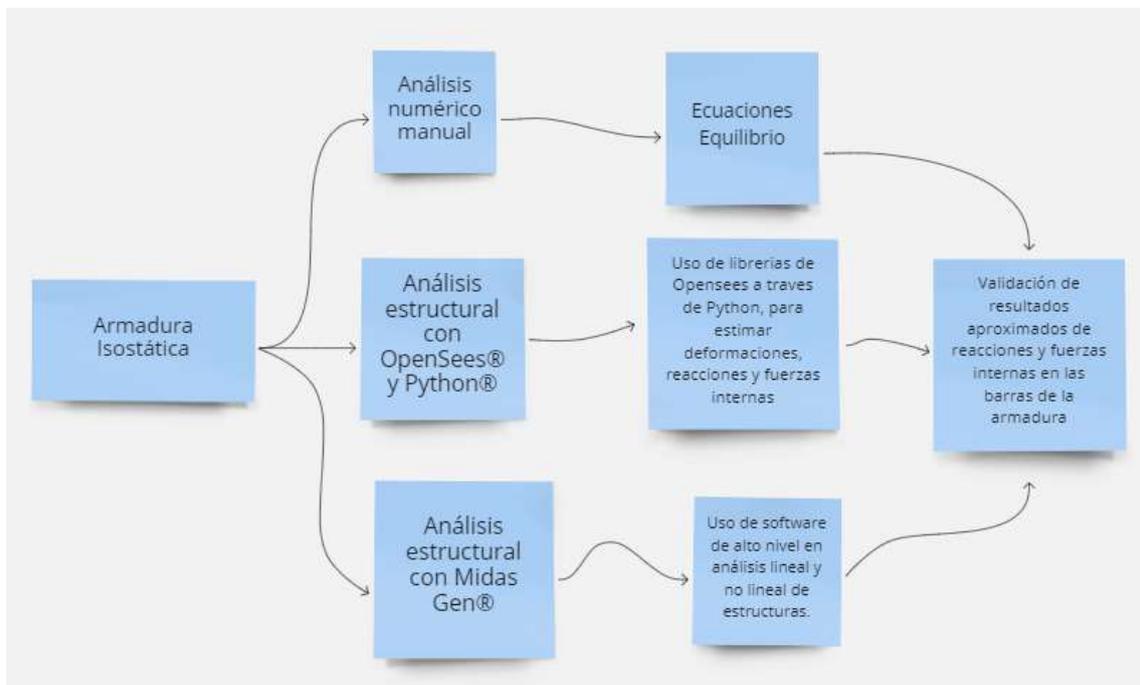


Figura 2. Armadura isostática con apoyos articulado y rodillo

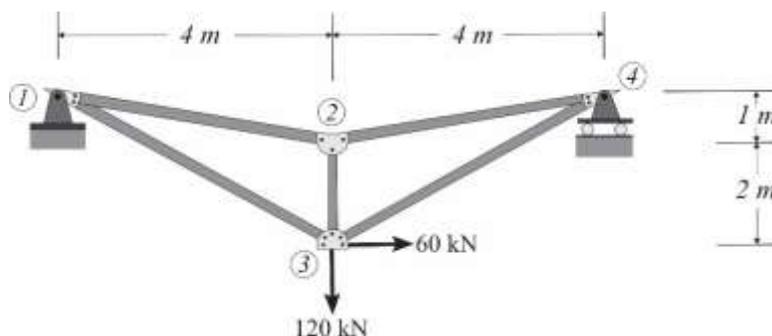


Figura 3. Reacciones por determinar en la armadura

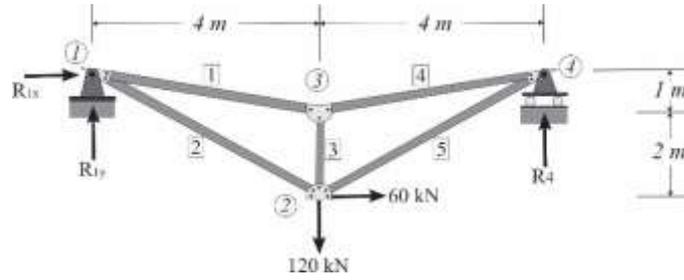


Figura 4. Análisis del nodo 1



Figura 5. Análisis de nodo 4

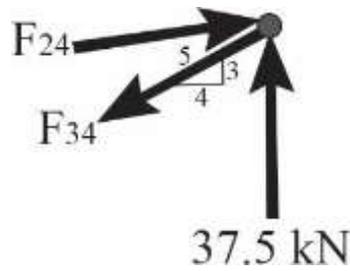


Figura 6. Análisis de nodo 3

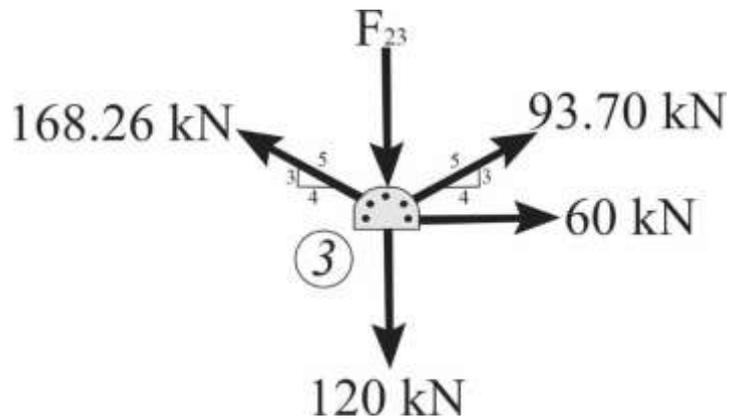


Figura 7. Fuerzas en los elementos internos en la armadura

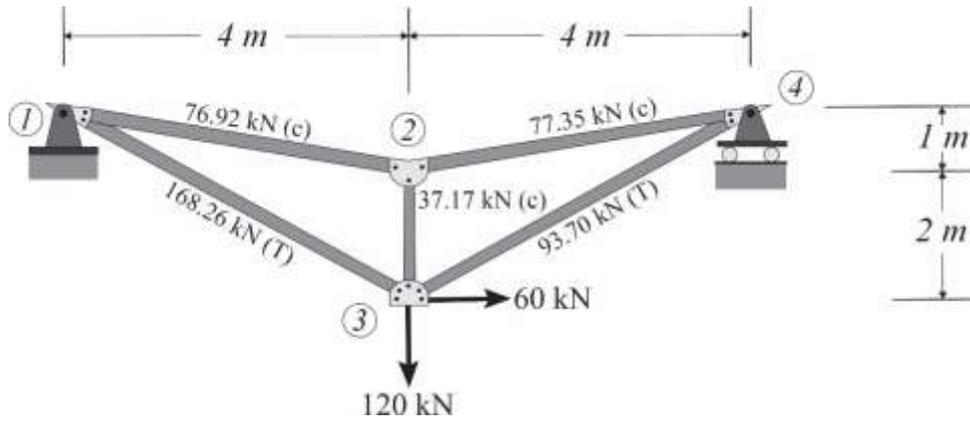


Figura 8. Modelo y resultados de ejecución realizado en Midas Gen

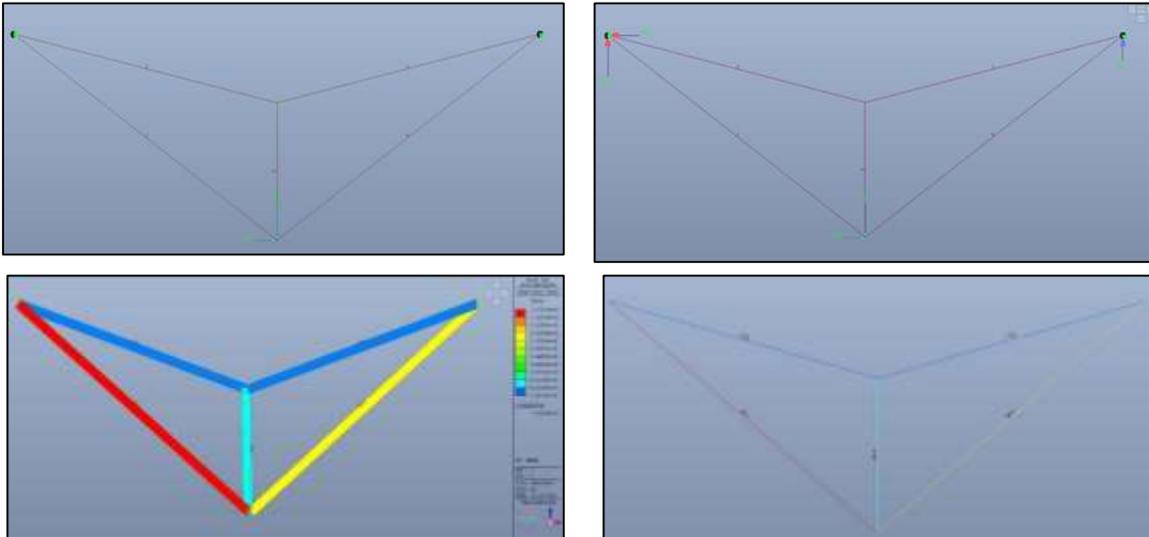
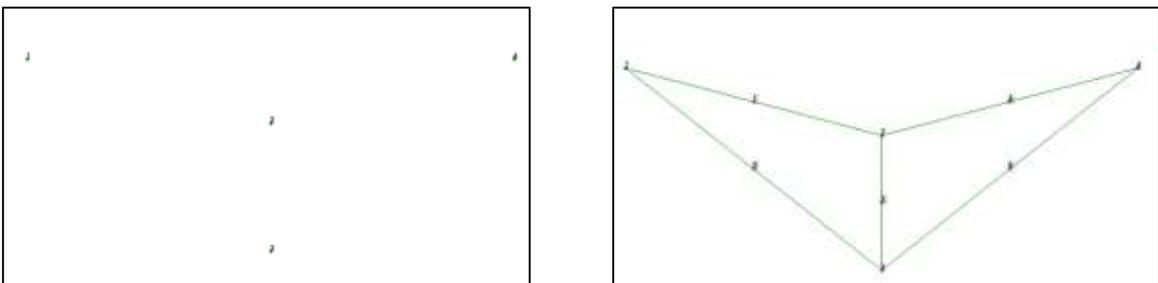


Figura 9. Modelos de la armadura realizados en Opensees.



Aplicación de herramientas tecnológicas en la enseñanza de la ingeniería estructural

Tabla I. Estrategias implementadas en diversas Universidades

Publicación	Aplicaciones tecnológicas	Referencias
Designing Experiments Using Digital Fabrication in Structural Dynamics.	Fabricación y modelación digital de experiencias experimentales asociado a la enseñanza de dinámica estructural.	(Chacón & Oller, 2017)
Effectiveness of VR-based training on improving construction workers' knowledge, skills, and safety behavior in robotic teleoperation.	Propuesta de la realidad virtual para el entrenamiento y mejora de los trabajadores de la construcción, habilidades, seguridad a través de teleoperación robótica.	(Adami et al., 2021)
Educational impact of an Augmented Reality (AR) application for teaching structural systems to non-engineering students.	Propuesta de uso de la realidad virtual y su impacto en la educación con conceptos básicos de sistemas estructurales en estudiantes que ni estudian ingeniería.	(Hu et al., 2021)
Mixed reality environment for learning sensing technology applications in Construction: A usability study Omobolanle.	Se propone un entorno de aprendizaje de realidad mixta mediante el uso de objetos de juego para desarrollar conocimientos procedimentales para abordar los desafíos de la industria de la construcción con tecnologías de detección.	(Ogunseiju et al., 2022)
Problem-solving processes in an educational construction simulation game.	Implementación de un juego denominado Simulador de Construcción Virtual 4 (VCS4), para fortalecer el aprendizaje en la solución de problemas complejos de construcción.	(Castronovo et al., 2022)
A matlab-based educational tool for the seismic design of flexibly supported RC buildings	Empleo de un software educacional desarrollado en Matlab, para comprender conceptos fundamentales de dinámica estructural y problemas de interacción suelo estructura.	(Katsanos et al., 2014)
Review on A big data-based innovative knowledge teaching evaluation system in universities	Proveer del manejo del comportamiento de la enseñanza mediante la planeación, implementación, evaluación y la retroalimentación bajo un contexto de Big Data.	(Xin et al., 2022)

Tabla II. Reacciones obtenidas con Opensees

$R_{1X}(KN)$	$R_{1Y}(KN)$	$R_4(KN)$
-6	8.25	3.75
-12	16.5	7.5
-18	24.75	11.25
-24	33	15
-30	41.25	18.75
-36	49.5	22.5
-42	57.75	26.25
-48	66	30
-54	74.25	33.75
-60	82.5	37.5

Tabla III. Fuerzas obtenidas en la armadura obtenidas con Opensees

Paso de análisis	Número de barra				
	1	2	3	4	5
0.1	-7.73082	16.875	-3.75	-7.73082	9.375
0.2	-15.4616	33.75	-7.5	-15.4616	18.75
0.3	-23.1925	50.625	-11.25	-23.1925	28.125
0.4	-30.9233	67.5	-15	-30.9233	37.5
0.5	-38.6541	84.375	-18.75	-38.6541	46.875
0.6	-46.3849	101.25	-22.5	-46.3849	56.25
0.7	-54.1158	118.125	-26.25	-54.1158	65.625
0.8	-61.8466	135	-30	-61.8466	75
0.9	-69.5774	151.875	-33.75	-69.5774	84.375
1	-77.3082	168.75	-37.5	-77.3082	93.75

Tabla IV. Comparativa de los valores de las reacciones obtenidas por las tres metodologías

Metodología	$R_{1X}(KN)$	$R_{1Y}(KN)$	$R_4(KN)$
Manual	-60.0	82.5	37.5
Midas Gen	-60.0	82.5	37.5
Opensees	-60.0	82.5	37.5

Tabla V. Comparativa de las fuerzas internas en la armadura obtenidas por las tres metodologías

Metodología	Fuerzas internas en los elementos (KN)				
	1	2	3	4	5
Manual	-76.92	168.26	-37.17	-77.35	93.70
Midas Gen	-76.3	167.7	-36.5	-76.5	92.9
Opensees con Python	-77.30	168.75	-37.5	-77.30	93.75

CONCLUSIONES

El uso de herramientas tecnológicas, son en definitiva un aliado en el proceso enseñanza-aprendizaje, para lograr el aprendizaje significativo, en algunos casos pueden sustituir las prácticas de laboratorio, desde luego que lo ideal es la realización de ejercicios o talleres de manera manual, prácticas de laboratorio y la realización de modelos numéricos utilizando herramientas digitales, para el desarrollo del temario, sin embargo, la disponibilidad de los equipos, su calibración y gestión del mantenimiento de los mismos, en general están ausentes en las Universidades, ante ello se debe propiciar el uso de la tecnología accesible, crear modelos numéricos y físicos de bajo costo, empujar esto último siempre será rentable en la enseñanza basado que mucho conceptos deben ser comprendidos para toda la vida práctica profesional de los estudiantes de ingeniería.

REPOSITORIO DE LOS INSUMOS UTILIZADOS

En este repositorio se encuentran alojados: el código realizado en Python y sus resultados y el modelo en Midas Gen, son de consulta pública,

https://github.com/mariogonzalezduran/armadura_opensees.git

LISTA DE REFERENCIAS

- Adami, P., Rodrigues, P. B., Woods, P. J., Becerik-Gerber, B., Soibelman, L., Copur-Gencturk, Y., & Lucas, G. (2021). Effectiveness of VR-based training on improving construction workers' knowledge, skills, and safety behavior in robotic teleoperation. *Advanced Engineering Informatics*, 50(August), 101431. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101431>
- Castronovo, F., Stepanik, N., Van Meter, P. N., & Messner, J. I. (2022). Problem-solving processes in an educational construction simulation game. *Advanced Engineering Informatics*, 52(January), 101574. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101574>
- Chacón, R., & Oller, S. (2017). Designing Experiments Using Digital Fabrication in Structural Dynamics. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 143(3), 1–9. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000315](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000315)
- Dillenbourg, P., Järvelä, S., & Fischer, F. (2009). The Evolution of Research on Computer-Supported Collaborative Learning. *Technology-Enhanced Learning*, 1–323.
- Hall, D. M., Čustović, I., Sriram, R., & Chen, Q. (2022). Teaching generative construction scheduling: Proposed curriculum design and analysis of student learning for the Tri-Constraint Method. *Advanced Engineering Informatics*, 51, 101455.

-
- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101455>
- Hernandez-de-Menendez, M., & Morales-Menendez, R. (2019). Technological innovations and practices in engineering education: a review. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 13(2), 713–728. <https://doi.org/10.1007/s12008-019-00550-1>
- Hibbeler, R. (2016). *Estática* (14 edición). Pearson Educación,. <http://148.231.10.114:2048/login?url=https://www.biblionline.pearson.com/AuthURLzProxyNew.aspx?i=ItOciuNrHoartk6%2BAQSoQA%3D%3D&ib=2790>
- Hu, X., Goh, Y. M., & Lin, A. (2021). Educational impact of an Augmented Reality (AR) application for teaching structural systems to non-engineering students. *Advanced Engineering Informatics*, 50, 101436. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101436>
- Jeong, H., Hmelo-Silver, C. E., & Jo, K. (2019). Ten years of Computer-Supported Collaborative Learning: A meta-analysis of CSCL in STEM education during 2005–2014. *Educational Research Review*, 28(April), 100284. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2019.100284>
- Katsanos, E. I., Taskari, O. N., & Sextos, A. G. (2014). A matlab-based educational tool for the seismic design of flexibly supported RC buildings. *Computer Applications in Engineering Education*, 22(3), 442–451. <https://doi.org/10.1002/cae.20568>
- Mosqueda, G., Ahmadizadeh, M., Tangalos, S., & Moore-Russo, D. (2011). Internet-based instructional resource exposing middle school students to structural and earthquake engineering. *Computer Applications in Engineering Education*, 19(4), 724–732. <https://doi.org/10.1002/cae.20357>
- Ogunseiju, O. R., Gonsalves, N., Akanmu, A. A., Bairaktarova, D., Bowman, D. A., & Jazizadeh, F. (2022). Mixed reality environment for learning sensing technology applications in Construction: A usability study. *Advanced Engineering Informatics*, 53(May), 101637. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101637>
- Reguera, E., & Lopez, M. (2021). Using a digital whiteboard for student engagement in distance education. *Computers & Electrical Engineering*, 93, 107268. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107268>
- Sampaio, A. Z., Ferreira, M. M., Rosário, D. P., & Martins, O. P. (2010). 3D and VR models in Civil Engineering education: Construction, rehabilitation and maintenance.

Automation in Construction, 19(7), 819–828.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.05.006>

Tavakoli, M., Faraji, A., Vrolijk, J., Molavi, M., Mol, S. T., & Kismihók, G. (2022). An AI-based open recommender system for personalized labor market driven education. *Advanced Engineering Informatics*, 52(February), 101508.
<https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101508>

Xin, X., Shu-Jiang, Y., Nan, P., ChenXu, D., & Dan, L. (2022). Review on A big data-based innovative knowledge teaching evaluation system in universities. *Journal of Innovation & Knowledge*, 7(3), 100197.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jik.2022.100197>