

CiviLAB-VR: Laboratorio Inmersivo para el aprendizaje de Estática en Ingeniería Civil

CiviLAB-VR: Immersive Laboratory for Learning Statics in Civil Engineering

Sebastián Delgado¹, Sandra Villamizar², Diego Loaiza³, Diego Gomez⁴

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Santiago de Cali, Colombia,

jose.delgado04@usc.edu.co

²Facultad de Ingeniería, Universidad Santiago de Cali, Colombia,

sandravillamizar00@usc.edu.co

³Facultad de Ingeniería, Universidad Santiago de Cali, Colombia,

diego.loaiza02@usc.edu.co

⁴Escuela de Ingeniería Civil y Geomática, Universidad del Valle, Colombia,

daniel.gomez@correounivalle.edu.co

Resumen

Este estudio presenta el desarrollo de *CiviLAB-VR*, un laboratorio de realidad virtual interactivo orientado a fortalecer el aprendizaje del curso de Estática en Ingeniería Civil en la Universidad Santiago de Cali. El entorno, diseñado en Unity 3D para visores Meta Quest 3, ofrece cinco prácticas interactivas con retroalimentación en tiempo real, que permiten a los estudiantes visualizar y analizar estructuras estáticas en tres dimensiones. Estas simulaciones facilitan la comparación entre cálculos manuales y resultados virtuales, reforzando la comprensión conceptual y promoviendo un aprendizaje activo e intuitivo. El laboratorio incluye ejercicios prácticos sobre equilibrio tridimensional de cuerpos rígidos, cables con cargas concentradas, análisis de armaduras, vigas y sistemas de poleas, acompañados de guías didácticas y retos que reproducen situaciones reales. Para evaluar el impacto, se aplicaron cuestionarios enfocados en usabilidad, carga cognitiva, inmersión y motivación, así como pruebas diagnósticas y registros de interacción. Los resultados evidencian alta motivación e inmersión (con el 100% de los estudiantes ubicados en niveles altos de motivación), junto con una baja carga de frustración y mejoras significativas en la comprensión de los principios de equilibrio y distribución de fuerzas.

Palabras clave: Realidad virtual; Laboratorios Virtuales; Estática; Ingeniería civil; Herramienta educativa.

Introducción

La enseñanza de la Estática en Ingeniería Civil enfrenta el desafío de lograr que los estudiantes comprendan y visualicen conceptos teóricos relacionados con equilibrio de fuerzas y la interacción de diferentes elementos estructurales, creando una brecha significativa entre la teoría y la práctica [1], [2]. Estas limitaciones pueden superarse

mediante entornos inmersivos que favorecen la percepción espacial y fortalecen el aprendizaje activo. En este marco se desarrolla CiviLAB-VR, un laboratorio de realidad virtual interactivo orientado a cursos de la línea de estructuras y construcciones en la Universidad Santiago de Cali. Aunque incluye módulos para Estática, Mecánica de Sólidos y Construcción de Viviendas y Edificaciones, este artículo se centra en el módulo de Estática, diseñado para que los estudiantes exploren y experimenten principios fundamentales mediante simulaciones tridimensionales con retroalimentación visual en tiempo real. Con el desarrollo de este entorno se busca potenciar la comprensión conceptual y la motivación estudiantil, consolidándose como una herramienta pedagógica que complementa los métodos tradicionales de enseñanza [1], [3].

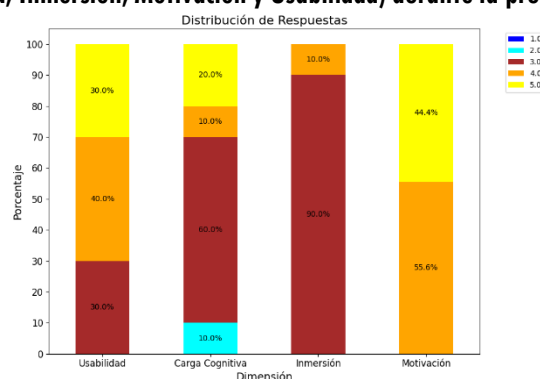
Metodología

El laboratorio CiviLAB-VR se desarrolló utilizando Unity 3D (C#), integrando modelos estructurales en 3D para cinco principios clave de Estática y habilitando la interacción tridimensional con visores Meta Quest 3. Para validar su funcionamiento, se realizó una prueba preliminar con 15 estudiantes de los semestres intermedios de Ingeniería Civil, quienes cursaban la asignatura de Estática. El objetivo fue evaluar la claridad de los instrumentos de medición, enfocados en usabilidad, inmersión, motivación y carga cognitiva, utilizando el System Usability Scale (SUS) como instrumento principal. El análisis descriptivo de los resultados confirmó la viabilidad técnica y funcional del sistema, garantizando las condiciones necesarias para su aplicación en un estudio comparativo posterior.

Resultados

Los resultados iniciales se orientaron a la validación preliminar de CiviLAB-VR, resaltando las percepciones positivas de los estudiantes. La Motivación es el factor más sólido, con el 100% de los estudiantes reportando niveles de respuesta altos (4.0 y 5.0), lo que confirma el alto engagement generado por el laboratorio (Ver Figura 1).

Figura 1. Distribución porcentual de las respuestas por nivel (1.0 a 5.0) en cada dimensión evaluada (Carga Cognitiva, Inmersión, Motivación y Usabilidad) durante la prueba piloto.



La Inmersión también fue altamente valorada. Estos altos niveles de compromiso son consistentes con la literatura sobre Realidad Virtual en ingeniería, que reporta una mejor retención del conocimiento debido al sentido de presencia. Además, la Carga Cognitiva fue percibida como baja, lo cual es un hallazgo clave que contrasta favorablemente con la preocupación común de que la navegación en entornos 3D complejos sobrecargue al usuario [4]. Los resultados descriptivos de Usabilidad sugieren áreas menores de mejora en la interfaz. Estos hallazgos confirman la viabilidad y el potencial pedagógico del sistema para la fase de evaluación comparativa..

Conclusiones

Los resultados alcanzados mediante la validación preliminar del módulo de Estática en el Laboratorio CiviLAB-VR confirman el cumplimiento del objetivo principal del estudio: el diseño e implementación de una herramienta viable y eficaz para mejorar la comprensión conceptual de la Estática en Ingeniería Civil. La novedad y relevancia del trabajo radican en la integración exitosa de la realidad virtual para transformar el proceso de aprendizaje de temas tradicionalmente abstractos. Los hallazgos demuestran que el entorno es altamente motivador e inmersivo, con un 100% de los estudiantes reportando niveles de alta motivación, lo cual es fundamental para el aprendizaje activo y el compromiso sostenido. La contribución de este trabajo es doble: ofrece una solución tecnológica que facilita la visualización tridimensional y la experimentación en tiempo real (contribución pedagógica) y establece un modelo escalable para la creación de laboratorios virtuales en otras disciplinas de la ingeniería (contribución tecnológica). En definitiva, CiviLAB-VR constituye una alternativa de alto impacto que potencia la formación de ingenieros civiles, preparándolos con herramientas innovadoras que acercan la teoría a la práctica y fortalecen sus competencias profesionales.

Referencias

- [1] D. M. Barry y H. Kanematsu, “Virtual reality enhances active student learning”, en *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2022, pp. 408–415. doi: 10.1016/j.procs.2022.09.075.
- [2] F. P. Beer, E. Russell Johnston, D. F. Mazurek, y E. R. Eisenberg, “Mecánica Vectorial para ingenieros Estática”. [En línea]. Disponible en: www.FreeLibros.me
- [3] V. Potkonjak *et al.*, “Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review”, *Comput Educ.*, vol. 95, pp. 309–327, abr. 2016, doi: 10.1016/j.compedu.2016.02.002.
- [4] M. Y. Rafiq y D. J. Easterbrook, “Using the Computer to Develop a Better Understanding in Teaching Structural Engineering Behavior to Undergraduates”, *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 19, núm. 1, pp. 34–44, ene. 2005, doi: 10.1061/(asce)0887-3801(2005)19:1(34).