Plataforma Web de Análisis Estructural por Elementos Finitos de Código Abierto Conforme a la Norma Ecuatoriana de la Construcción para Proyectos de Edificación

Moreira Manrique, Doris[1,*]; **Molina Moreira, John**[2]; **Zambrano Mendoza, Dámaso**[3]

[1]*Universidad San Gregorio de Portoviejo, Carrera de Ingeniería Civil, Portoviejo, Ecuador;* [2]*Universidad San Gregorio de Portoviejo, Maestría en Ingeniería Civil, Portoviejo, Ecuador;* [3]*Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador*

***Autor de correspondencia:** diis.thiago@gmail.com

Resumen: El cálculo estructural con software comercial enfrenta tiempos elevados, altos costos de licenciamiento y limitada trazabilidad. Este trabajo presenta Hekatan Struct, una plataforma web de análisis estructural por el método de los elementos finitos (MEF), de código abierto y conforme a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15-SE), ejecutable íntegramente en el navegador sin instalación ni servidor. El núcleo de cálculo se implementó en C++ con la biblioteca de álgebra lineal Eigen 3.4 y el solver disperso SimplicialLDLT, compilado a WebAssembly; la visualización tridimensional se realiza con Three.js y la interfaz reactiva con VanJS y Tweakpane. La plataforma integra los parámetros sísmicos de la NEC-15-SE (factor de zona Z, tipo de suelo, región, factores de reducción R e importancia I) y verifica automáticamente criterios normativos como la participación de masa modal mínima del 90 %. La precisión numérica se validó mediante un sistema estructural dual (pórtico, losa y muros) sometido a análisis modal, tomando SAP2000 como programa de referencia sobre la misma malla nodo a nodo, con ETABS y OpenSees como comprobaciones complementarias. Los modos principales de vibración presentaron diferencias inferiores al 1,3 % frente a SAP2000, junto con una reducción considerable de tiempos y costos y una mejora de la trazabilidad del proceso de cálculo. Se concluye que una plataforma de código abierto ejecutada en el navegador alcanza una precisión equivalente a la del software comercial y constituye una alternativa técnicamente sólida y económicamente accesible para el cálculo estructural conforme a la normativa ecuatoriana.

Palabras clave: análisis estructural, método de elementos finitos, código abierto, NEC-15, análisis modal, WebAssembly.

Open-Source Web Platform for Finite Element Structural Analysis Compliant with the Ecuadorian Construction Code for Building Projects

Abstract: Structural calculation with commercial software faces long turnaround times, high licensing costs and limited traceability. This work presents Hekatan Struct, an open-source web platform for structural finite element method (FEM) analysis, compliant with the Ecuadorian Construction Code (NEC-15-SE), running entirely in the browser with no installation or server. The computational core was implemented in C++ with the Eigen 3.4 linear algebra library and the SimplicialLDLT sparse solver, compiled to WebAssembly; 3D visualization relies on Three.js and the reactive interface on VanJS and Tweakpane. The platform integrates the NEC-15-SE seismic parameters (zone factor Z, soil type, region, response-reduction R and importance I factors) and automatically verifies code criteria such as the 90 % minimum modal mass participation. Numerical accuracy was validated through a dual structural system (frame, slab and walls) under modal analysis, using SAP2000 as the reference program on a node-by-node identical mesh, with ETABS and OpenSees as complementary checks. The principal vibration modes showed differences below 1.3 % against SAP2000, together with a considerable reduction in time and cost and improved traceability of the calculation process. It is concluded that an open-source platform running in the browser achieves accuracy equivalent to that of commercial software and constitutes a technically sound and economically accessible alternative for structural analysis in compliance with the Ecuadorian code.

Keywords: structural analysis, finite element method, open source, NEC-15, modal analysis, WebAssembly.

1. INTRODUCCIÓN

El análisis estructural por el método de los elementos finitos (MEF) representa la herramienta central en el diseño de edificaciones, al resolver de forma aproximada las ecuaciones de equilibrio de sistemas continuos complejos mediante su discretización en elementos (Zienkiewicz et al., 2013; Bathe, 2014). Su aplicación al cálculo sismorresistente exige, además, la determinación de las propiedades dinámicas de la estructura —periodos y modos de vibración— sobre las que se fundamenta el análisis modal espectral (Chopra, 2017).

Ecuador se encuentra en una de las regiones de mayor peligrosidad sísmica de Sudamérica, debido a su localización en el borde de subducción de la placa de Nazca. La provincia de Manabí, severamente afectada por el terremoto de Pedernales de 2016 (Mw 7,8), concentra una intensa actividad constructiva que exige el estricto cumplimiento de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15-SE) en el diseño sismorresistente. En este contexto, disponer de herramientas de cálculo accesibles, precisas y verificables adquiere una relevancia particular.

El dinamismo del sector de la construcción en Manabí, sumado a la exigencia normativa, aumenta la demanda de verificaciones estructurales ágiles y confiables. La disponibilidad de una herramienta de cálculo de bajo costo y fácil acceso puede contribuir a que un mayor número de profesionales realice análisis conformes a la NEC-15, en beneficio de la seguridad de las edificaciones.

En el ejercicio profesional ecuatoriano, y particularmente en la provincia de Manabí, los ingenieros estructurales dependen de