

SIMULADORES PARA ESTUDIO EN AULAS DE LAS DEFORMACIONES ELÁSTICAS EN CERCHAS EN ESTRUCTURA METÁLICA*

Fecha de recepción: 26 de enero de 2018
Fecha de aceptación: 26 de febrero de 2018
Páginas: 70-75

Aldemaro Gulfo Mendoza**

Resumen

El presente proyecto se formuló desde un enfoque práctico en el estudio de conceptos teóricos fundamentales para entender el comportamiento elástico de las estructuras tipo cerchas, basados en las propiedades de los materiales con los cuales se construye. La propuesta se centró en brindar la posibilidad de comparar resultados reales con resultados teóricos, mediante la medición de cargas y deformaciones a través de instrumentos de precisión en modelos de cerchas seleccionados. A partir de lo anterior se formulan diferentes pruebas que facilitarán y enriquecerán el estudio del análisis de estructuras en el aula, específicamente en el campo de las cerchas. La metodología utilizada para el desarrollo de este proyecto es del tipo descriptiva experimental, bajo un enfoque cuantitativo desarrollado mediante la técnica de la sistematización de observaciones y el método del ensayo-error.

Palabras clave: Análisis estructural, cerchas, deformaciones elásticas, prototipos.

* Artículo de investigación.

** Ingeniero civil. Profesor del programa de Ingeniería Civil de la Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO.
Correo electrónico: aldemaro.gulfo@uniminuto.edu

STUDY SIMULATORS IN CLASSROOMS OF ELASTIC DEFORMATIONS IN TRUSSES IN METAL STRUCTURE

Abstract

This project was created from a practical approach in the study of fundamental theoretical concepts to understand the elastic behavior of truss-like structures, based on the properties of the materials with which it is built. The proposal focused on offering the possibility to compare real results with theoretical results, by measuring loads and deformations through precision instruments in models of selected trusses. Based on this, different tests are formulated that will facilitate and enrich the study of the analysis of structures in the classroom, specifically in the field of trusses. The methodology used to develop this project is of the experimental descriptive type, under a quantitative approach developed through the technique of systematization of observation and the trial-error method.

Key words: Structural analysis, trusses, elastic deformations, prototypes.

SIMULADORES PARA ESTUDO EM SALA DE AULAS DAS DEFORMAÇÕES ELÁSTICAS EM TRELIÇAS EM ESTRUTURA METÁLICA

Resumo

O presente projeto formulou-se desde uma focagem prática no estudo de conceitos teóricos fundamentais para entender o comportamento elástico de estruturas-as tipo treliças, baseados nas propriedades dos materiais com os quais se constrói. A proposta centrou-se em brindar a possibilidade de comparar resultados reais com resultados teóricos, mediante a medição de cargas e deformações através de instrumentos de precisão em modelos de treliças selecionados. A partir do anterior formulam-se diferentes provas que facilitarão e enriquecerão o estudo da análise de estruturas na sala de aulas, especificamente no campo das treliças. A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste projeto é do tipo descritiva experimental, baixo uma focagem quantitativa desenvolvido mediante a técnica da sistematização de observações e o método do ensaio-erro.

Palavras-chave: Análise estrutural, treliças, deformações elásticas, protótipos.

INTRODUCCIÓN

El análisis de estructuras es la teoría sobre la que se basan los ingenieros para el cálculo y desarrollo de sus diseños. Al igual que las matemáticas y las físicas, es parte inamovible de cualquier pènsum de ingeniería, siendo catalogada en la mayoría de los casos como una asignatura de obligatorio cumplimiento. Su desarrollo en el aula es principalmente teórico, lleno de metodologías de solución de tipo iterativo, con largos procesos de solución manual.

La idea de dinamizar el desarrollo de esta asignatura dentro del aula llevó a la propuesta de utilización de modelos de cerchas de tamaño reducido, con las cuales el estudiante pudiera interactuar y tener la opción de visualizar los resultados obtenidos en los análisis teóricos realizados. Como valor agregado a la propuesta se implementó un modelo de solución basado en hojas electrónicas para facilitar los procesos de soluciones teóricas.

REVISIÓN DOCUMENTAL

La consulta de información sobre modelos para pruebas de carga en bases de datos y repositorios institucionales da como resultado estudios centrados en dimensiones de magnitudes propias de una estructura a escala real, más que en magnitudes de modelos o prototipos a escala, como el que pretende desarrollarse en este estudio. No se encontraron antecedentes similares a esta propuesta de diseño e implementación de un simulador de deformaciones en cerchas. En el tema de desarrollo de software o ayudas informáticas para la solución teórica de estas deformaciones sí se encuentra amplia información.

Teniendo en cuenta lo anterior, por ejemplo, Mestas (2010) desarrolló como tesis de grado de ingeniería mecánica el trabajo *Optimización estructural evolutiva: desarrollo de una aplicación de cómputo para el diseño óptimo de elementos bajo deformación plana*, utilizando análisis matricial

para desarrollar una herramienta capaz de obtener solución al problema de deformación y que resulte ser la más cercana a la óptima. Por su parte, Flores (2011), en su trabajo *Método sin malla como alternativa al método de elementos finitos*, de la Universidad Nacional del Perú, desarrolló una metodología orientando una comparación entre los resultados del método libre de mallas escogido, con soluciones matriciales y analíticas como las propuestas en el libro de teoría de la elasticidad. De igual modo, Toro (2007), desde su investigación *Vigas y marcos planos analizados por el método de elementos finitos*, realizó un trabajo donde explicó las diferentes herramientas a utilizar para el desarrollo del software a través de una serie de matrices que hacen llegar a resultados confiables, cumpliendo con las condiciones del problema que se desea solucionar.

Se concluyó de la revisión documental que varios trabajos utilizan la solución matricial para crear softwares que permiten hacer cálculos para medir comportamientos estructurales teóricos. Ninguno, en efecto, pasa al terreno práctico de la comparación de ese tipo de resultados con situaciones reales controladas con instrumentos de precisión. Esta es, justamente, la novedad de este trabajo.

MARCO TEÓRICO

Las cerchas son estructuras conformadas por un entramado de elementos cortos, cuya dimensión transversal es mucho menor que su dimensión longitudinal. Esto garantiza que todos sus elementos trabajen en forma axial, ya sea compresión o tracción, y a la vez permite que todo el conjunto pueda soportarse en dos apoyos separados por grandes luces.

Los elementos teóricos para su estudio lo integran los conceptos de estabilidad y determinación (Uribe, 2000), la proporcionalidad entre esfuerzo y deformación o ley de Hooke (Gere & Goodno, 2016), la flexibilidad producida por una carga unitaria y el método de análisis de desplazamientos (McCorman, 2010).

METODOLOGÍA

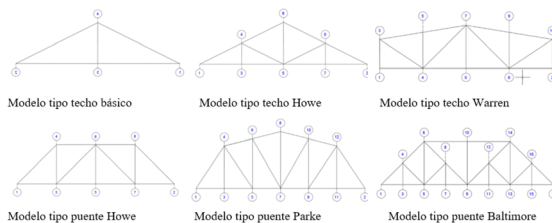
La metodología utilizada para el desarrollo de este proyecto es del tipo descriptiva experimental, bajo un enfoque cuantitativo desarrollado mediante la técnica de la sistematización de observaciones y el método del ensayo-error. Con el objeto de dar respuesta a las necesidades del proyecto se buscó la manera de lograr que el prototipo contemplara las condiciones más reales posibles. Los modelos se implementaron y probaron en el laboratorio de materiales del Programa de Ingeniería Civil, Centro Regional Girardot, Universidad Minuto de Dios.

DESARROLLO DE PROTOTIPOS

Se diseñaron dos columnas con un perfil de acero estructural cuadrado empotradas en su base mediante una placa base anclada con pernos a una placa de contrapiso en concreto con resistencia conocida y totalmente nivelada. Su cálculo se realizó con factores de carga y resistencia (LRFD) y diseño por esfuerzos admisibles (ASD).

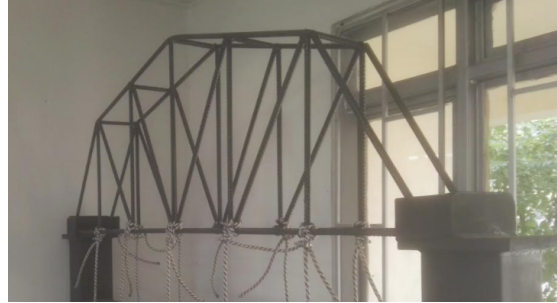
El proyecto contempló un total de seis modelos diferentes de cerchas. Basados en la revisión documental y los conceptos de indeterminación y estabilidad, se determinó que los seis modelos son una muestra representativa de los tipos de cerchas más usados en la actualidad. Se escogieron tres modelos tipo puente y tres tipos techo.

Figura 1. Modelos de cerchas propuestos



Fuente: el autor.

Figura 2. Prototipo de cercha construido



Fuente: el autor.

Instrumentos de medición de masa y deformaciones

Se usaron aquellos que fueran tan precisos como fáciles de interpretar, adquiriendo para esto tres dinamómetros digitales que permiten calcular la masa de las cargas aplicadas antes de ser puestas en el modelo de cercha escogido para el análisis, y un comparador de carátula digital con su respectiva base magnética, el cual mide las deformaciones presentadas en el nodo donde se ubique para realizar el análisis comparativo. Para poder fijar la base magnética se utilizó un perfil de acero rectangular soldado horizontalmente entre las columnas; este no trabajará como elemento estructural.

Cargas estáticas puntuales

Se realizaron varios conjuntos de pesas en concreto con dimensiones y masas lo más similares posibles, con ganchos embebidos en cada extremo que permitieran enlazar una con otra, aumentando el valor de la carga aplicada. Estas pesas son puestas en la cercha en sus nodos mediante cuerdas resistentes aseguradas con perros.

HOJAS DE CÁLCULO

Se desarrolló una hoja para cada uno de los modelos de cerchas propuestos utilizando métodos matriciales. Todos los modelos

tienen como interfaz de información común tipo de material, área de la sección transversal, módulo elástico y carga por nodo. Se cargaron las hojas en un PC instalado junto al sitio de pruebas de los prototipos.

Figura 3. Interfaz de entrada de datos para cálculo de deformaciones

ANÁLISIS DE CERCHAS POR METODOS MATRICIALES		RESULTADOS DEL ANÁLISIS			
DATOS DE ENTRADA		REACCIONES EN LOS APOYOS			
MATERIAL	d = 9,000mm A = 63,617mm ² E = 200kN/mm ²	X1 = 0,000kN Y1 = 0,000kN X2 = 0,000kN Y2 = 0,000kN			
ACERO		DESPLAZAMIENTO EN LOS NUDOS LIBRES		FUERZA INTERNA EN LOS ELEMENTOS	ESFUERZO INTERNO
MASA POR NODO LIBRE	CARGA POR NODO LIBRE	u ₃ = 0,00mm v ₃ = 0,00mm u ₄ = 0,00mm v ₄ = 0,00mm	S1-3 = 0,000kN S1-4 = 0,000kN S3-4 = 0,000kN S3-2 = 0,000kN	σ1-3 = 0,000kN/mm ² σ1-4 = 0,000kN/mm ² σ3-4 = 0,000kN/mm ² σ3-2 = 0,000kN/mm ²	



Fuente: el autor.

PRUEBAS DE CARGA Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS TEÓRICOS Y REALES DE LAS DEFORMACIONES

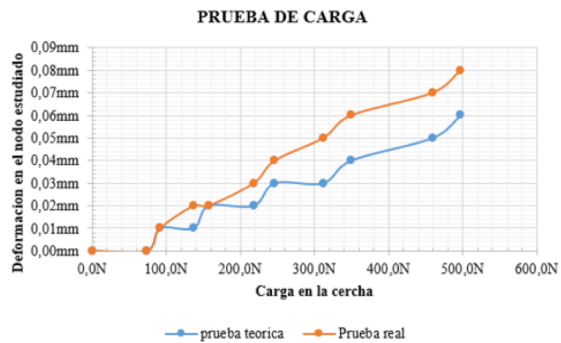
Se realizaron pruebas con diferentes intervalos de carga para recolectar datos y elaborar graficas que describan el comportamiento de cada cercha tanto en la imposición de cargas como en la descarga, mostrando el umbral de diferencia presentado entre los cálculos teóricos por métodos matriciales que realizan las hojas electrónicas y las mediciones hechas con el comparador de carátula digital. La secuencia de pasos a seguir es:

1. Escoger un modelo de cercha y el nodo el cual se pretende analizar.

2. Fijar la base magnética.
3. Instalar el comparador de carátula bajo el nodo, permitiendo que este tome un valor para asegurar el contacto con la cercha y posteriormente seriarlo.
4. Medir las masas de las cargas que se pretenden aplicar e ingresar los datos en la plantilla de cálculo.
5. Observar tanto el valor teórico como el real de la deformación y el esfuerzo interno presentado para cada incremento.
6. Calcular la deformación unitaria presentada en el elemento, utilizando la hoja electrónica.
7. Repetir los pasos tres, cuatro y cinco para cada incremento de carga.
8. Graficar esfuerzo vs. deformación unitaria teórica y la real.
9. Calcular el módulo elástico real y el teórico presentado. A modo de ilustración se muestran los datos para el modelo tipo techo Howe.

Figura 4. Resultados de la prueba de carga para cercha tipo Howe

INTERVALO DE CARGA	MASA EN LA ESTRUCTURA	CARGA EN LA ESTRUCTURA	DEFORMACION TEORICA EN EL NODO ESTUDIADO	DEFORMACION REAL EN EL NODO ESTUDIADO
0	0.00Kg	0.0N	0.00mm	0.00mm
1	7.48Kg	73.3N	0.00mm	0.00mm
2	9.37Kg	91.8N	0.01mm	0.01mm
3	13.98Kg	137.0N	0.01mm	0.02mm
4	16.05Kg	157.3N	0.02mm	0.02mm
5	22.24Kg	217.9N	0.02mm	0.03mm
6	25.15Kg	246.4N	0.03mm	0.04mm
7	31.82Kg	311.8N	0.03mm	0.05mm
8	35.67Kg	349.6N	0.04mm	0.06mm
9	46.87Kg	459.3N	0.05mm	0.07mm
10	50.75Kg	497.4N	0.06mm	0.08mm



Fuente: el autor.

Los resultados muestran correspondencia entre resultados teóricos y mediciones reales. Se observa que las gráficas tienen comportamientos similares, la diferencia en valores puede ser atribuible a la precisión decimal que utilizan los dos métodos empleados. Se logra así el objetivo de desarrollar y poner a disposición de la academia una herramienta que permite dinamizar el análisis de cerchas planas, confinado tradicionalmente a papel, lápiz y calculadora.

El comparador de carátula usado cuenta con un puerto para exportar el archivo digital con los datos registrados. Se puede utilizar esta ventaja, proponiéndose un trabajo interdisciplinario con las carreras del área de informática, que arroje como resultado la automatización del prototipo con el procesamiento de datos en la hoja de cálculo, la cual puede servir como base para el desarrollo de una aplicación en una plataforma más avanzada que relacione directamente los resultados teóricos con los medidos con el instrumento durante las pruebas de carga.

En el desarrollo de clases y la utilización de los modelos es posible ampliar el número de

pruebas a desarrollar, (cargas móviles, efecto de asimetría de cargas, vibraciones etc). Se recomienda su compilación en un manual de laboratorio. Estas pruebas enriquecerían el contenido del microcurrículo de la carrera, siendo esto una actualización generada por los mismos estudiantes.

REFERENCIAS

- Mestas, S. (2010). *Optimización estructural evolutiva: desarrollo de una aplicación de cómputo para el diseño óptimo de elementos bajo deformación plana*. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1213/Tesis.pdf?sequence=1>
- Flores, L. (2011). *Métodos sin malla como alternativa al método de elementos finitos*. Recuperado de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/835/1/flores_gl.pdf
- Toro, J. D. (2007). *Vigas y marcos planos analizados por el método de elementos finitos* [Tesis de grado]. Universidad Tecnológica de Pereira. Recuperado de repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/817/5156T686vm.pdf
- Uribe, Jairo. (2000). *Análisis de estructuras* (2ª ed.). Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Gere, J., Goodno B. (2016). *Mecánica de materiales*. México D.F.: Cengage Learning Editores.
- Mccorman, J. (2010). *Análisis de estructuras métodos matricial y modal* (4ª ed.). Ciudad de México: Alfaomega Grupo Editor.