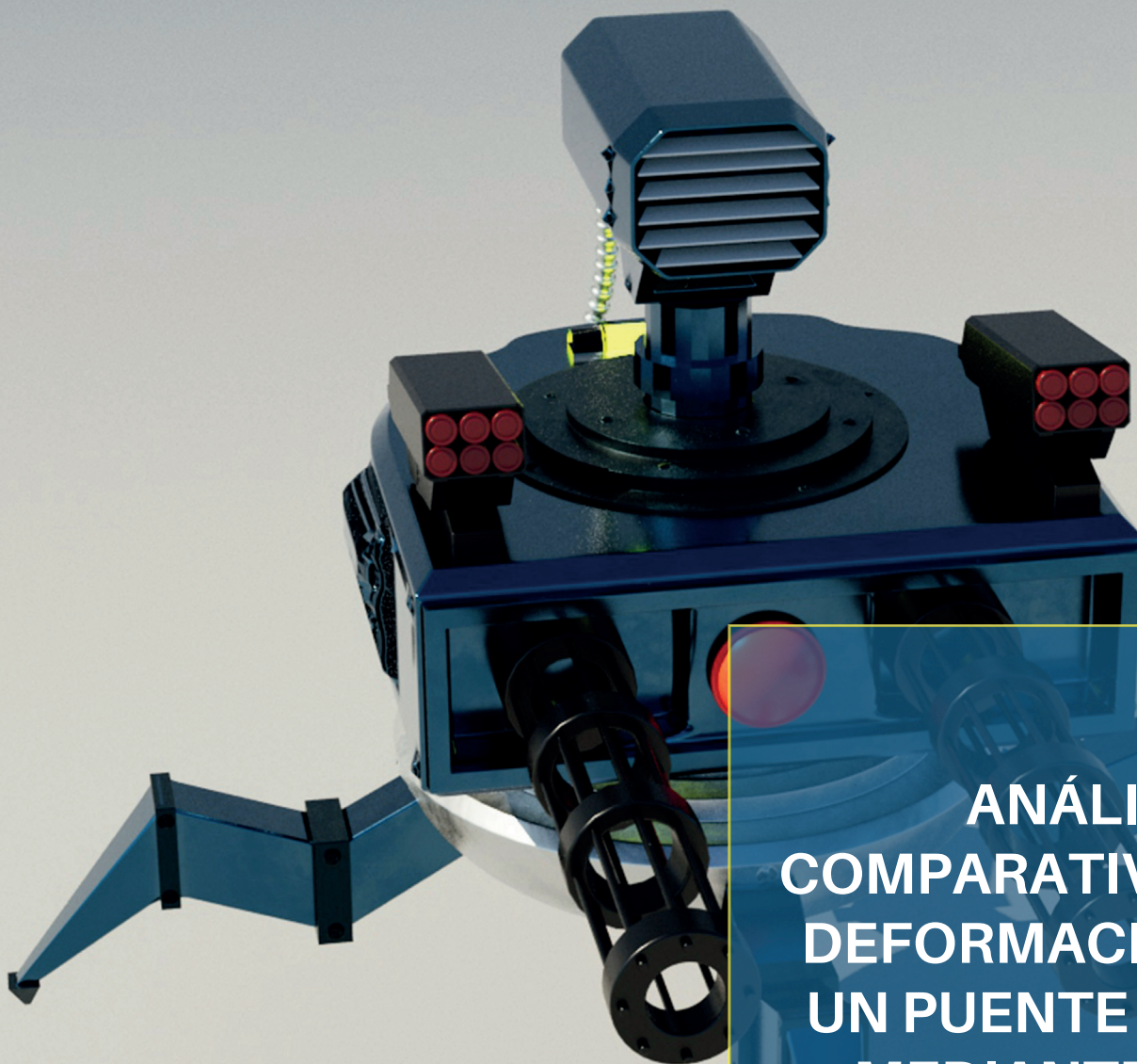


INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

Volumen 7 · Número 1 · Junio 2025 · Publicación semestral



**ANÁLISIS
COMPARATIVO DE LAS
DEFORMACIONES DE
UN PUENTE CELOSÍA
MEDIANTE EL KIT
MOLA Y SAP 2000**

Comparative analysis of the deformations of a truss bridge using the MOLA KIT and SAP 2000.

Análisis comparativo de las deformaciones de un puente celosía mediante el kit MOLA y SAP 2000

Kerly Dayana Ríos Trávez¹, Henry Joel Carrera Erazo², Leonardo Francisco Beltrán Venegas³,
Elva Gioconda Lara Guijarro⁴ [0000-0003-3025-4792]

³ Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: kdriostravez@istct.edu.ec

²¹ Instituto Superior Universitario Sucre, Quito, Ecuador
E-mail: hjcarreraerazo@istct.edu.ec

³ Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: lbeltran@istct.edu.ec
E-mail: hjcarreraerazo@istct.edu.ec

⁴ Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: elvalara@istct.edu.ec

Recibido: 10/03/2025

Aceptado: 28/05/2025

Publicado: 30/06/2025

RESUMEN

En el campo de la ingeniería estructural, el análisis y diseño de puentes ha evolucionado significativamente gracias al desarrollo de herramientas físicas y digitales que permiten comprender el comportamiento de las estructuras. Las maquetas físicas, como las proporcionadas por el Kit Mola 2, facilitan una experiencia tangible y visual de los principios estructurales básicos. Por otro lado, herramientas computacionales como SAP2000 ofrecen simulaciones detalladas que permiten explorar diferentes escenarios en un entorno virtual. Se realizó un análisis comparativo visual de las deformaciones experimentadas por un puente de celosía mediante la utilización del Kit Mola 2 y el software SAP2000, con el objetivo de evaluar la eficacia de ambas herramientas para la representación estructural. El estudio empleó el Kit Mola para construir un modelo físico del puente, simulando diferentes condiciones de carga y observando su comportamiento estructural bajo deformaciones específicas. Paralelamente, se

Ríos, K., Carrera, H., Beltrán, L., & Lara, E. (2025). COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DEFORMATIONS OF A TRUSS BRIDGE USING THE MOLA KIT AND SAP 2000.

llevaron a cabo simulaciones computacionales en SAP2000, aplicando conocimientos técnicos para obtener resultados comparables.

Palabras clave: deformaciones, puente de celosía, Kit Mola, SAP2000, análisis estructural.

ABSTRACT

In the field of structural engineering, the analysis and design of bridges have significantly evolved thanks to the development of physical and digital tools that allow for a better understanding of structural behavior. Physical models, such as those provided by the Mola 2 Kit, offer a tangible and visual experience of basic structural principles. On the other hand, computational tools like SAP2000 provide detailed simulations that enable the exploration of different scenarios in a virtual environment. A visual comparative analysis of the deformations experienced by a truss bridge was conducted using the Mola 2 Kit and SAP2000 software to evaluate the effectiveness of both tools in structural representation. The study used the Mola Kit to build a physical model of the bridge, simulating different load conditions and observing its structural behavior under specific deformations in parallel, computational simulations were performed in SAP2000, applying technical knowledge to obtain comparable results.

Index terms: deformations, truss bridge, Mola Kit, SAP2000, structural analysis.

1. INTRODUCCIÓN

La celosía fue una de las principales protagonistas en las estructuras del siglo XIX. La incorporación del hierro marcó un cambio significativo en las técnicas de construcción, introduciendo nuevos tipos de estructuras, métodos constructivos innovadores y superando límites antes inalcanzables. Impulsada por el desarrollo del ferrocarril, la celosía se consolidó como una solución resistente y eficiente, ya que permitía construir grandes estructuras a partir de piezas pequeñas, resolviendo el problema de la flexión al dividirlo en elementos sometidos a compresión y tracción (Gómez Vera, 2021). Además, las primeras celosías surgieron de patentes americanas de carácter empírico, como las de Town, Howe y Burr. Los avances en tratados analíticos, como los de Bowd, Ritcher, Culman, Maxwell y Cremona, facilitaron el análisis y diseño de estas estructuras, lo que consolidó la celosía como la solución predominante en la construcción metálica durante más de un siglo.

Sin embargo, tras la Segunda Guerra Mundial, el uso de la celosía comenzó a disminuir con la llegada de las chapas laminadas y los avances en soldadura eléctrica. En Europa Occidental, los puentes de celosía prácticamente desaparecieron durante más de tres décadas, mientras que en Estados Unidos se mantuvieron en mayor medida. Este cambio estuvo influido no solo por la preferencia industrial hacia las chapas laminadas, sino también por una percepción visual desfavorable de las celosías, que eran consideradas soluciones industriales complicadas y sobrecargadas de barras y diagonales. Además, los problemas de corrosión en los nudos y los

Rios, K., Carrera, H., Beltrán, L., & Lara, E. (2025). COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DEFORMATIONS OF A TRUSS BRIDGE USING THE MOLA KIT AND SAP 2000.

altos requerimientos de mantenimiento contribuyeron a su abandono (Escobar García, 2022; Gómez Vera, 2021).

El análisis de las deformaciones en estructuras representa un pilar fundamental en la ingeniería estructural, especialmente en el diseño de puentes. Estas deformaciones no solo permiten evaluar la capacidad de una estructura para soportar las cargas aplicadas, sino también identificar posibles fallas que comprometan su estabilidad y funcionalidad. En el caso de los puentes de celosía, su diseño modular, basado en triángulos, ha demostrado ser una solución eficiente desde su implementación en el siglo XIX, al permitir una distribución equitativa de las fuerzas. Sin embargo, el avance tecnológico en las últimas décadas ha transformado la manera en que se estudian y diseñan estas estructuras, integrando herramientas tanto físicas como digitales para su análisis (Larena, 2021).

Este trabajo realiza un análisis comparativo visual de las deformaciones observadas en un puente de celosía mediante dos enfoques distintos: el Kit Mola 2 y el software SAP2000. El Kit Mola es un sistema modular que permite construir modelos tridimensionales a escala, proporcionando una representación tangible de los principios estructurales y permitiendo observar de manera directa fenómenos como el pandeo y los desplazamientos. Por otro lado, SAP2000, un software avanzado de análisis estructural utiliza métodos computacionales como el análisis por elementos finitos para modelar y predecir con precisión el comportamiento de estructuras bajo diversas condiciones de carga (CSI, 2023). La comparación entre estas herramientas busca comprender cómo cada una representa las deformaciones y qué limitaciones o ventajas ofrecen en el contexto del diseño estructural.

Uno de los principales desafíos en este estudio es la discrepancia entre los resultados obtenidos mediante un modelo físico y uno digital. Mientras que el Kit Mola utiliza materiales flexibles que pueden amplificar ciertas deformaciones, SAP2000 idealiza las propiedades de los materiales, proporcionando resultados más ajustados a la realidad normativa, pero sin el componente visual práctico. Según Timoshenko & Gere (1961), los fenómenos como el pandeo dependen de la relación entre rigidez, longitud efectiva y carga crítica, factores que pueden ser más difíciles de interpretar visualmente en una simulación computacional. Por tanto, la integración de ambas herramientas podría enriquecer tanto la enseñanza como el análisis profesional.

Además de su aplicación en el ámbito profesional, ambas herramientas tienen un gran potencial como recursos didácticos. El Kit Mola, gracias a su enfoque práctico, permite que los estudiantes interactúen físicamente con modelos tridimensionales, comprendiendo de manera visual conceptos como la estabilidad estructural, el pandeo y las deformaciones. Por otro lado, SAP2000 complementa esta experiencia al ofrecer un análisis cuantitativo más profundo, permitiendo a los estudiantes modelar diversas configuraciones estructurales y analizar cómo las propiedades de los materiales y las cargas afectan el comportamiento de una estructura. La integración de estas herramientas en la enseñanza fomenta un aprendizaje integral, combinando la exploración intuitiva con el rigor técnico necesario para enfrentar problemas complejos en la práctica profesional.

El puente de celosía, como objeto de estudio, se elige debido a su relevancia histórica y su

Rios, K., Carrera, H., Beltrán, L., & Lara, E. (2025). COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DEFORMATIONS OF A TRUSS BRIDGE USING THE MOLA KIT AND SAP 2000.

continua aplicación en ingeniería moderna. Estas estructuras han sido reconocidas por su eficiencia en la utilización de materiales y su capacidad para soportar altas cargas, características que las convierten en un modelo ideal para el análisis de deformaciones. Tal como lo indican Salmon, Johnson y Malhas (2008), los triángulos que conforman estas estructuras permiten minimizar los momentos flectores en sus elementos, favoreciendo una distribución uniforme de las fuerzas.

Este trabajo plantea la pregunta: ¿Cómo varían las deformaciones de un puente de celosía entre el Kit Mola 2 y SAP2000? Para responderla, se propone un enfoque que compara las observaciones realizadas con ambas herramientas. El objetivo principal es evaluar las deformaciones visuales y establecer las semejanzas y diferencias en el comportamiento de los modelos analizados. Además, se busca determinar la aplicabilidad de estas herramientas en el ámbito del diseño estructural y proponer su integración como parte de una metodología combinada para la enseñanza y el análisis estructural.

La importancia de esta investigación radica en su capacidad para demostrar cómo herramientas físicas y digitales pueden complementarse en el análisis estructural. Por un lado, el Kit Mola ofrece una experiencia visual y práctica que facilita la comprensión de conceptos fundamentales, como la estabilidad estructural y el comportamiento bajo carga. Por otro lado, SAP2000 permite un análisis técnico detallado, siguiendo normativas internacionales como ANSI/AISC 360-16 (2016) y Eurocode 3 (2005). Esta combinación no solo mejora la precisión del diseño estructural, sino que también fomenta un aprendizaje más integral para estudiantes y profesionales.

2. MATERIALES Y MÉTODO

Para realizar el análisis comparativo de las deformaciones de un puente de celosía mediante el Kit Mola y SAP2000, se propone una metodología que permita garantizar la comparabilidad de los resultados obtenidos con ambas herramientas. En primer lugar, se define el objetivo del estudio, estableciendo los parámetros específicos a analizar, como las deformaciones, la rigidez estructural y el comportamiento del puente bajo cargas estáticas. Además, se identifican las similitudes y diferencias entre los resultados proporcionados por el modelo físico y el digital.

Luego, se diseña el modelo de estudio. Para el Kit Mola 2, se construye un modelo físico del puente de celosía, siguiendo una configuración estructural estándar. En paralelo, se desarrolla un modelo digital equivalente en SAP2000, asegurando que las dimensiones, materiales y configuración sean idénticas en ambos casos. En ambos modelos se aplican las mismas cargas estáticas en puntos específicos para garantizar la comparabilidad de los resultados.

Finalmente, se realiza el análisis de los resultados obtenidos con ambas herramientas. Se comparan las deformaciones registradas, evaluando las diferencias en precisión, ventajas y limitaciones de cada método. Este análisis permite determinar la utilidad del Kit Mola 2 como herramienta educativa y práctica, contrastándola con la capacidad de SAP2000 para ofrecer resultados técnicos más precisos y detallados.

Rios, K., Carrera, H., Beltrán, L., & Lara, E. (2025). COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DEFORMATIONS OF A TRUSS BRIDGE USING THE MOLA KIT AND SAP 2000.

En este estudio se utilizaron los siguientes materiales:

Kit Mola 2: Un sistema modular físico diseñado para representar modelos tridimensionales de estructuras (Mola Design Lab, 2023). El Kit Mola 2 incluye los siguientes componentes:

Barras flexibles y rígidas: Estas barras, de diferentes longitudes, simulan los elementos estructurales del puente, permitiendo visualizar cómo se comportan bajo cargas de compresión y tensión.

Nodos o conectores: Piezas que permiten unir las barras entre sí para formar los nodos de la estructura, representando los puntos de intersección de los elementos del puente.

Bases ajustables: Sirven de soporte para la estructura y permiten fijarla de manera estable durante las pruebas de carga.

Pesos y elementos de carga: Pequeños pesos incluidos para aplicar cargas distribuidas de manera controlada sobre la estructura modelada.

Plataforma de montaje: Una superficie donde se construyen las estructuras para asegurar la estabilidad durante el proceso de modelado.

Software SAP 2000: Herramienta de análisis estructural utilizada para simular el comportamiento del mismo puente de celosía modelado con el Kit Mola 2. El software permitió realizar simulaciones detalladas bajo las mismas condiciones de carga aplicadas al modelo físico.

Para la obtención de los elementos estructurales se utilizará el código AISC 360-16 mediante el método LRFD (ANSI/AISC 360-16, 2016).

2.1. Recolección de datos

Se realizará un puente celosía de 15m de largo y 7,5m de ancho, con tres secciones de 5m cada una. En la tabla 1, se muestra las medidas generales de los elementos del kit mola y la escala para la simulación en SAP2000.

Tabla 1

Medidas de los Materiales en los dos enfoques

Materiales	Kit Mola	SAP 200
Barras Cortas	45mm	3 500 mm
Barras Medianas	75mm	5 000 mm
Base magnética	D: 45mm	X
Tensores	93 mm	7 000 mm
Nodos, conectores	D: 15 mm	X
Placas o Lozas	L: 83 mm	25000 mm
	A: 83 mm	

Rios, K., Carrera, H., Beltrán, L., & Lara, E. (2025). COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DEFORMATIONS OF A TRUSS BRIDGE USING THE MOLA KIT AND SAP 2000.

En la tabla 2, se muestra los materiales que se utilizó en el SAP200 para la simulación sacados del informe que da SAP2000.

Tabla 2

SAP 2000 Materiales

Nombre del Área	Material	Forma
Ángulo	A36	Ángulo
Columna	A36	Tubo Cuadrado
Viga I	A36	Viga I
Viga C	A36	Canal C
Loza 1,2 3		Loza

Para la simulación el software SAP2000 se realizará un prediseño estructural mediante el método LRFD presentado en el manual AISC 360-16.

2.2. Diseño de las Vigas del puente celosía:

$$[Pn = F_{cr}A_s] \quad (1)$$

Donde 1 es:

$Pn =$ Carga nominal

$F_{cr} =$ esfuerzo critico

$A_s =$ Area de acero

$$\left[F_{cr} = \left(0.658 \frac{f_y}{f_e} \right) f_e \right] \quad (2)$$

Donde 2 es:

$f_y =$ esfuerzo de fluencia del acero

$f_e =$ esfuerzo de Euler

$$\left[f_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{kL}{r} \right)^2} \right] \quad (3)$$

Donde 3 es:

$E =$ modulo de elasticidad del acero

$k =$ constante de apoyos

$L =$ longitud de la columna

$r =$ radio de giro del perfil

En base a la ecuación se determina dos perfiles para columnas, lo que se coloca en la siguiente tabla.

Rios, K., Carrera, H., Beltrán, L., & Lara, E. (2025). COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DEFORMATIONS OF A TRUSS BRIDGE USING THE MOLA KIT AND SAP 2000.

Tabla 3
Diseño Vigas

PERFIL	b(m)	h(m)	e(m)
COLUMNA	0,3	0,3	0,008

2.3. Diseño de vigas:

$$[Mn = Mp = 0.9fyZ_x] \quad (4)$$

Donde 4 es:

Mn = Momento nominal
Mp = Momento plastico
fy = esfuerzo de fluencia
Zx = modulo de resistencia plastico

$$M_p = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7fyS_x) \left(\frac{(L_b - L_p)}{(L_r - L_p)} \right) \right] \quad (5)$$

Donde 5 es:

Cb = 1
Sx = modulo de resistencia elastico
Lb = longiyud de la viga
Lp = longitud no soportada lateralmente maxima
Lr = Longitud no soportada por la cual falla

Tabla 4
Diseño Viga I

PERFIL	bf(m)	tf (m)	tw(m)	h(m)
VIGAS I	0.12	0.003	0.006	0.2

Tabla 5
Diseño Viga C

PERFIL	Profun. Ext(m)	Ancho(m)	tf(m)	tw(m)
VIGAS C	0.08	0.02	0.0008	0.0008

Tabla 6
Diseño Ángulo

PERFIL	Pierna Vert.(m)	Pierna Hori(m)	tf(m)	tw(m)
Ángulo	0.050	0.050	0.0127	0.0127

3. RESULTADOS

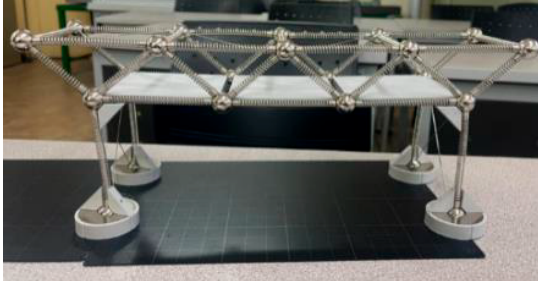
Se compara visualmente, el comportamiento de un puente celosía, utilizando dos enfoques: por

Rios, K., Carrera, H., Beltrán, L., & Lara , E. (2025). COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DEFORMATIONS OF A TRUSS BRIDGE USING THE MOLA KIT AND SAP 2000.

un lado, el modelo construido con el Kit Mola se puede observar en la figura 1, que permite una simulación manual y didáctica de las deformaciones.

Figura 1.

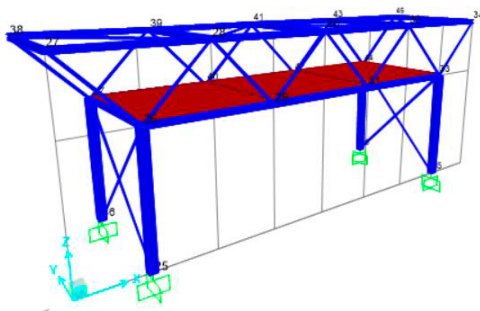
Puente Celosía en Kit Mola



Por otro lado, en la figura 2 el modelo simulado en el software SAP2000, el cual aplica principios matemáticos y computacionales para obtener resultados precisos.

Figura 2.

Puente Celosía en el SAP2000



3.1. Primera Deformación

Para esta primera prueba se aplicó carga viva y carga muerta en el puente celosía, para observar cómo se comporta. En el Kit Mola, como se observa en la Figura 3, se empleó un objeto de prueba para simular las cargas

Figura 3.

Puente Celosía en Kit Mola Primera deformación

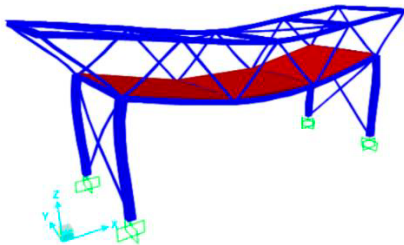


Ríos, K., Carrera, H., Beltrán, L., & Lara, E. (2025). COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DEFORMATIONS OF A TRUSS BRIDGE USING THE MOLA KIT AND SAP 2000.

En el SAP, se aplicó carga viva y muerta como simulación en la vida real, se observa en la figura 4.

Figura 4.

Puente Celosía en SAP 200 Primera deformación.



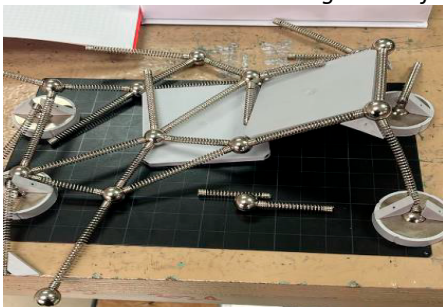
3.2. Segunda Deformación:

Para esta segunda prueba se aplicaron las mismas cargas, pero ahora se removieron los tensores para observar el comportamiento:

- En Kit Mola:

Figura 5.

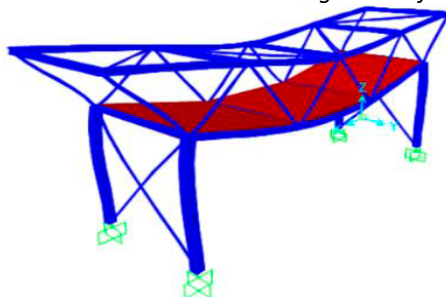
Puente Celosía en Kit Mola Segunda deformación



- En el SAP:

Figura 6.

Puente Celosía en SAP 200 Segunda deformación.



Rios, K., Carrera, H., Beltrán, L., & Lara, E. (2025). COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DEFORMATIONS OF A TRUSS BRIDGE USING THE MOLA KIT AND SAP 2000.

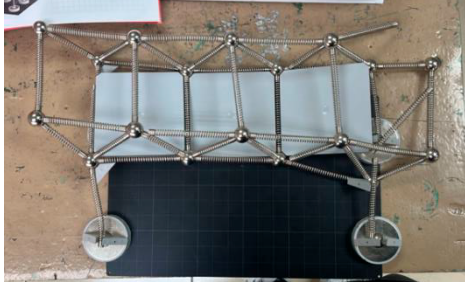
3.3. Tercera Deformación:

Para esta prueba se generó un sismo en X con las mismas cargas.

En Kit Mola:

Figura 7.

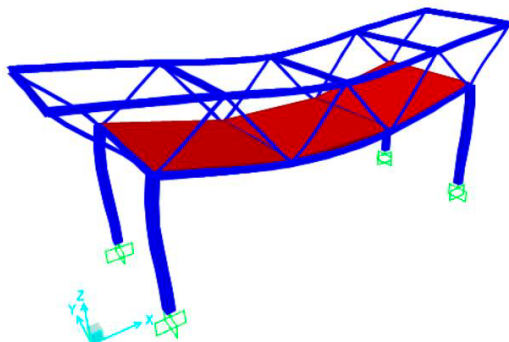
Puente Celosía en Kit Mola, Tercera deformación



En el SAP:

Figura 8.

Puente Celosía en SAP 200 Tercera deformación



3.4. Cuarta Deformación:

Para esta prueba se generó un sismo en Y con las mismas cargas, y observar el comportamiento

En Kit Mola:

Figura 9.

Puente Celosía en Kit Mola Cuarta deformación.

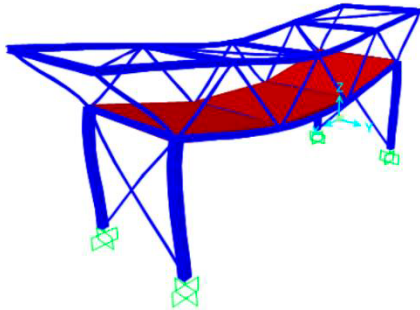


Rios, K., Carrera, H., Beltrán, L., & Lara, E. (2025). COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DEFORMATIONS OF A TRUSS BRIDGE USING THE MOLA KIT AND SAP 2000.

En el SAP:

Figura 10.

Puente Celosía en SAP 200 Cuarta deformación.



3.5. Quinta Deformación:

Para esta prueba se hará sismo en X y Y, con las mismas cargas para observar el comportamiento

En Kit Mola:

Figura 11.

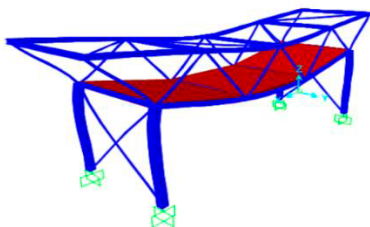
Puente Celosía en Kit Mola Quinta deformación



En el SAP:

Figura 12.

Puente Celosía en SAP 200 Quinta deformación.



Rios, K., Carrera, H., Beltrán, L., & Lara, E. (2025). COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DEFORMATIONS OF A TRUSS BRIDGE USING THE MOLA KIT AND SAP 2000.

4. DISCUSIÓN

4.1. En la primera deformación

Se aplicó carga viva y carga muerta.

Teniendo en cuenta eso, en el Kit Mola se utilizó el objeto de prueba para simular las cargas, se pudo observar que el modelo sufrió una leve deformación de las columnas, es decir se pandearon. Esto se debe a las propiedades de los materiales del Kit Mola, que son más flexibles y tienen una menor capacidad para resistir compresión en comparación con materiales reales.

En contraste, en el modelo SAP2000, donde se aplicaron cargas reales basadas en los estándares normativos, las columnas se pandearon hacia adentro, mientras que las secciones del puente presentaron deformaciones leves hacia abajo. Esto refleja la capacidad del software para modelar de manera precisa la interacción entre fuerzas internas y externas, así como la rigidez de los materiales ideales.

4.2. En la segunda deformación

Al aplicar carga viva y carga muerta y retirar los tensores (ángulos en SAP2000) que proporcionaban soporte adicional, el Kit Mola mostró un colapso inmediato del puente.

Esto se explica por la dependencia crítica de los tensores en un modelo físico donde los conectores (bolas) añaden grados de libertad adicionales, debilitando la estructura. Por otro lado, en SAP2000, el puente se dobló hacia adentro y los tensores virtuales (ángulos) presentaron una ligera deformación, pero no un colapso completo, debido al modelado más rígido de las uniones.

4.3. En la tercera deformación

Correspondiente a un sismo en el eje X, se estableció un tiempo de simulación de cuatro segundos. En el Kit Mola, el puente colapsó en los primeros segundos, con tres de las cuatro columnas cayendo hacia la base del soporte y una columna permaneciendo adherida al conector esférico (bola), manteniéndose parcialmente en posición vertical. Este comportamiento refleja las limitaciones del kit para representar movimientos sísmicos complejos debido a la falta de propiedades elásticas y amortiguadoras en sus materiales.

Por su parte, en SAP2000, la simulación del sismo mostró una leve caída de la parte superior del puente y deformaciones menores en las columnas, que se doblaron ligeramente. Este resultado se atribuye a la capacidad del software para incorporar factores como el amortiguamiento y las propiedades dinámicas de los materiales modelados.

4.4. En la cuarta deformación

Simulando un sismo en el eje Y, el Kit Mola presentó un colapso total, con todas las columnas cayendo y únicamente dos permaneciendo unidas a sus respectivos conectores. En SAP2000, el puente mostró una deformación hacia abajo en forma de U, lo que evidencia una mayor estabilidad estructural gracias al modelado más preciso de las propiedades materiales y las fuerzas distribuidas.

Rios, K., Carrera, H., Beltrán, L., & Lara, E. (2025). COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DEFORMATIONS OF A TRUSS BRIDGE USING THE MOLA KIT AND SAP 2000.

4.5. En la quinta deformación

Combinó sismos en los ejes X y Y, el Kit Mola mostró una caída completa de la parte izquierda del puente, mientras que dos columnas de la parte derecha permanecieron en pie, aunque muy pandeadas hacia adentro. Este comportamiento ilustra nuevamente las limitaciones materiales del kit. En SAP2000, la simulación reveló deformaciones significativas en las vigas centrales en forma de triángulos y pandeos menores en las columnas, lo que demuestra cómo el software permite identificar zonas críticas en la estructura bajo condiciones extremas.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El Kit Mola 2 permite visualizar de manera práctica y tangible las deformaciones estructurales de un puente de celosía, siendo una herramienta educativa eficaz para comprender conceptos básicos como la rigidez y el comportamiento bajo carga. Sin embargo, debido a sus limitaciones en precisión y propiedades materiales, resulta insuficiente para análisis detallados y cuantitativos.
- SAP2000, como plataforma técnica avanzada, complementa al Kit Mola 2 al proporcionar un análisis más preciso y realista de las deformaciones estructurales, siguiendo estándares normativos. La combinación de ambas herramientas enriquece tanto el aprendizaje práctico como el diseño profesional, integrando teoría y práctica de manera efectiva.
- En el Kit Mola 2, las deformaciones pueden visualizarse de manera tangible al aplicar cargas manuales, lo que facilita la comprensión conceptual de los efectos que tienen las cargas sobre las estructuras. Sin embargo, estas representaciones están limitadas por la escala y los materiales del kit, que no siempre replican con precisión las propiedades mecánicas de los materiales reales.
- Incorporar el Kit estructural Mola como una herramienta permanente en la clase de estructuras metálicas, permitiendo a los estudiantes experimentar de manera tangible los conceptos de análisis estructural. Este recurso facilitará el aprendizaje de principios básicos de diseño, análisis y comportamiento de estructuras, fortaleciendo la enseñanza práctica en la carrera de Mecánica Industrial.
- Utilizar el Kit Mola como complemento didáctico en las asignaturas relacionadas con estructuras metálicas, fomentando la interacción de los estudiantes con modelos físicos que representen los sistemas estructurales más comunes. Esto permitirá una mejor comprensión de las deformaciones y esfuerzos en las uniones y elementos de estructuras como puentes celosía, pilares y vigas.
- Proponer al Instituto Tecnológico la implementación de talleres específicos sobre el uso del Kit Mola para estudiantes de nuevo ingreso o en asignaturas iniciales de diseño

Ríos, K., Carrera, H., Beltrán, L., & Lara, E. (2025). COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DEFORMATIONS OF A TRUSS BRIDGE USING THE MOLA KIT AND SAP 2000.

estructural, con el fin de preparar a los alumnos para abordar herramientas computacionales más avanzadas, como SAP2000, de manera gradual.

- Integrar la comparación entre el Kit Mola y herramientas computacionales como SAP2000 en los proyectos finales de las asignaturas de estructuras, incentivando a los estudiantes a utilizar ambos enfoques para desarrollar una visión más integral y crítica en el análisis estructural. Esto también reforzará la vinculación de conocimientos teóricos y prácticos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CSI. (2023). SAP2000: Structural Analysis and Design. Computers and Structures, Inc. Recuperado de <https://www.csiamerica.com>
- Mola Structural Kits. (n.d.). *Mola 2 Structural Kit*. Recuperado de <https://www.molamodel.com>.
- Timoshenko, S. P., & Gere, J. M. (1961). *Theory of Elastic Stability*. McGraw-Hill.
- Salmon, C. G., Johnson, J. E., & Malhas, F. A. (2008). *Steel Structures: Design and Behavior* (5th ed.). Pearson.
- Eurocode 3. (2005). *Design of Steel Structures - Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings*. European Committee for Standardization (CEN).
- Chopra, A. K. (2019). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering* (5th ed.). Pearson Education.
- ANSI/AISC 360-16. (2016). *Specification for structural steel buildings*. AISC.
- Barker, R. M., & Puckett, J. A. (2020). *Design of Highway Bridges: An LRFD Approach* (3rd ed.). Wiley.
- Ghosh, S. K. (2016). *Practical Design of Steel Structures*. CRC Press.
- Computers and Structures, Inc. (2021). *SAP2000 Integrated Structural Analysis and Design Software*. Recuperado de <https://www.csiamerica.com/products/sap2000>
- IOS Press. (2024). *Bridge Structures: Assessment, Design, and Construction*. Recuperado de www.iospress.com.
- Hibbeler, R. C. (2020). *Engineering Mechanics: Statics and Dynamics* (14th ed.). Pearson Education.
- Computers and Structures, Inc. (2023). *SAP2000: Structural Analysis and Design Software*. Recuperado de <https://www.csiamerica.com>.
- Escobar García, S. (2022). *Puentes de concreto de viga cajón híbridos con paredes en celosía* [Trabajo de grado - Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/82370>
- Gómez Vera, L. (2021). *Revisión histórica de una actividad e innovación docente en el ámbito universitario: Concurso de Estructuras*. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/116645>
- Larena, B. (2021). *RECUPERACIÓN DE LA CELOSÍA EN LOS PUENTES DE FIN DE SIGLO*.

Rios, K., Carrera, H., Beltrán, L., & Lara, E. (2025). *COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DEFORMATIONS OF A TRUSS BRIDGE USING THE MOLA KIT AND SAP 2000*.