

Tema A1a. Diseño mecánico: Estructuras triangulares isostáticas.

“Modelado numérico y evaluación de una nueva estructura de techo, con características mecánicas significativas”

José Ramón Quiñonez Osuna^a, Brandon Joel García Lizárraga^a

^aInstituto Tecnológico de Mazatlán, Corsario 1° #203, Col.Urias, Mazatlán, Sinaloa 82070, México.

*Autor contacto. Dirección de correo electrónico: jrquinonez@itmazatlan.edu.mx

RESUMEN

El trabajo presenta el modelado mediante elemento finito de una nueva armadura triangular para techo a dos aguas y su evaluación. Se presenta un análisis comparativo con las armaduras de este tipo más empleadas actualmente, tanto para cargas internas en miembros, como para desplazamientos en nodos. Algunas características sobresalientes de la nueva armadura en relación con las consideradas son: la menor cantidad de barras y nodos, que los desplazamientos máximo vertical y máximo resultante son menores, lo mismo que el desplazamiento del nodo central superior, además de que el porcentaje de elementos con carga interna fuera de rango estadístico resulta inferior.

Palabras Clave: Estructura para techo a dos aguas, diseño estructural, armaduras.

ABSTRACT

The work presents the finite element modeling of a new triangular roof truss and its evaluation. A comparative analysis is presented with the most commonly structures used of this type, both for internal loads and for node displacements. Some outstanding features with respect the trusses currently used are: the smaller number of bars and nodes required, than the maximum vertical displacement and the maximum displacement are found to be smaller, as well as the displacement of the central superior node, and that the percentage of elements with internal load outside the statistical range is less.

Keywords: Gable roof structure, structural design, trusses.

1. Introducción

Se presenta una nueva armadura triangular para techo a dos aguas, cuyos fuerzas internas, desplazamientos en nodos y cantidad de barras, resultan mejorados en relación con las más empleadas actualmente de este tipo, considerando iguales condiciones de frontera.

La estructura se obtiene al intentar mejorar la armadura Howe (Figura 1) en el laboratorio de diseño mecánico del Instituto Tecnológico de Mazatlán, con el propósito de reducir deformaciones. Se optó por modelar diferentes arreglos de las barras en vez de optimizar el arreglo original, siendo cada uno evaluado para las mismas condiciones de frontera, empleando análisis de elemento finito (FEA).

Las armaduras triangulares de techo a dos aguas más usadas actualmente son las Howe, Pratt y Fink. Las Pratt y Howe representan a su vez los tipos más comunes, y se fabrican con luces máximas de 27 a 30 m [1].

La armadura Howe (Figura 1), en su forma típica está compuesta por trece elementos, los cuales están unidos por ocho nodos, de tal forma que los elementos verticales están tensionados, mientras que los diagonales, están comprimidos.

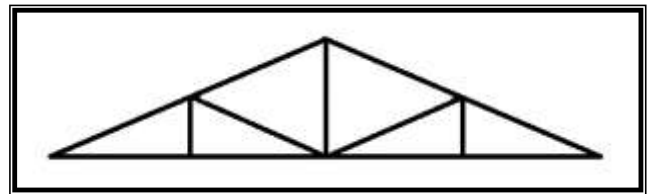


Figura 1. Armadura Howe

La armadura Fink (Figura 2), está compuesta por un arreglo similar a la Howe aunque invertido. En su arreglo típico consta de veintisiete elementos y quince nodos. Suele emplearse para techos de pendientes mayores a 15° y para claros del orden de los 37 m. Puede ser dividida en un gran número de triángulos y coincidir casi con cualquier espaciamiento de largueros. El acero se prefiere para la

construcción de esta armadura a causa de que en sus nodos se ensamblan múltiples barras, lo cual dificulta el uso de la madera [2-3].

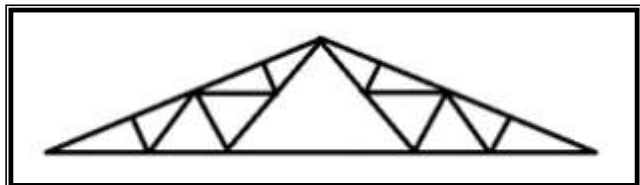


Figura 2. Armadura Fink.

La Armadura Pratt (Figura 3) presenta también un arreglo similar a Howe pero con las barras diagonales invertidas, las cuales ahora se encuentran sometidas a tensión, mientras que las verticales a compresión.

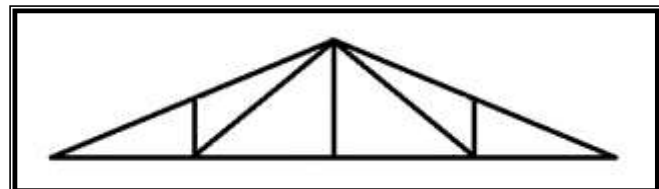


Figura 3. Armadura Pratt.

El armazón de techo ha sufrido una revolución silenciosa en el último medio siglo. Las cerchas están reemplazando gradualmente a las vigas convencionales, hasta el punto de que hoy en día más del 80% de la nueva construcción residencial hace uso de cerchas para sostener el techo [4].

En la construcción comercial e industrial, cerchas de acero se están convirtiendo en la norma, y sus éxitos en ese sector están haciendo ganar popularidad en el mercado residencial de la construcción metálica [5].

Las cerchas de madera son ampliamente utilizadas en la construcción residencial, institucional, agrícola y comercial. Sus altas relaciones resistencia-peso permiten grandes luces, ofreciendo una mayor flexibilidad en los diseños de planta. Pueden ser diseñadas en casi cualquier forma o tamaño, restringiéndose solamente por la capacidad de fabricación, las limitaciones de envío y consideraciones de manipulación [6].

Los constructores de casas actuales desean un diseño más sofisticado de techo y buscan maximizar el espacio habitable, para lo cual las cerchas resultan la mejor opción. Una armadura hecha a la medida ofrece la flexibilidad para construir tejados complejos y requiere menos paredes de soporte de carga, creando más espacio vital para cada familia o negocio [7].

En los últimos años se han realizado estudios para optimizar el diseño en estructuras con la ayuda de algoritmos genéticos, es decir, experimentan con distintos

materiales, área de la sección transversal y perfiles, para el mismo tipo de armadura, comparando resultados.

Pathat y Garg (2015) presentaron un análisis de optimización y racionalización del diseño de armaduras. En su trabajo muestran la comparación de peso total de las armaduras Howe, Pratt y Fink para tres perfiles diferentes (tubular, angular y cuadrado hueco), la armadura con mayor peso resulta ser la Fink con un perfil angular [8].

Arfiadi y Frans (2014) demuestran que es posible optimizar forma, tamaño y topología de las armaduras para techo haciendo uso de algoritmos genéticos [9]. Por su parte Fiore et al. (2016), realizaron un estudio para reducir el peso en armaduras de acero planas y concluyen que el área de la sección transversal de la cuerda superior debe ser mayor que el de la cuerda inferior, así como la sección transversal de las diagonales internas debe ser menor con respecto a la cuerda superior e inferior [10].

Kewate y Kolate (2015) concluyen en su investigación que las estructuras de acero prefabricado resulta un 23% más liviano que el acero convencional y el costo de fabricación un 18% menor [11].

2. Descripción de la nueva armadura.

La nueva armadura se muestra en la Figura 4. Está compuesta por doce miembros y siete nodos. Al igual que las armaduras Howe, Fink y Pratt, las barras superiores externas operan a compresión mientras las inferiores externas a tensión, y de igual manera que la Howe, los elementos verticales operan a tensión.

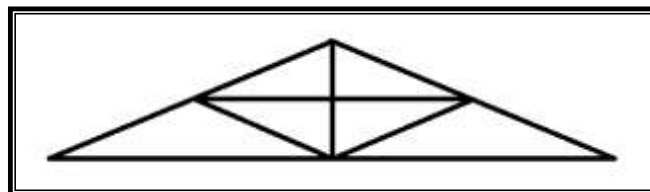


Figura 4. Nueva armadura

3. Análisis comparativo.

3.1 Modelado numérico.

El modelado de las cuatro armaduras se realizó mediante el programa Mechanical APDL de ANSYS 12, empleando un elemento finito que permite únicamente tensión uniaxial (como corresponde al elemento tipo barra) y que posee 3 grados de libertad en cada nodo, los cuales coinciden con las direcciones de los tres ejes coordenados. Las consideraciones para el modelado de las cuatro armaduras se presentan en la Tabla 1. Las condiciones fueron las siguientes: una luz de 18 m por 4.5 m. de altura, una carga vertical de 7 KN., distribuida uniformemente en todos los

los nodos del cordón superior, ambos desplazamientos restringidos en el nodo de la esquina izquierda y desplazamiento vertical restringido en el nodo de la esquina derecha.

Tabla 1. Consideraciones de modelado

Material	
Modelo	Lineal, elástico e isotrópico
Especificación	Acero estructural (ASTM-36)
Elemento	
	Barra (link 3D finit stn 180)

Cabe señalar que las consideraciones de la Tabla 1 han sido aplicadas repetidamente para realizar modelados avalados tanto con cálculos basados en el método de la rigidez como con resultados presentados en el texto de Análisis Estructural de R.C. Hiebeler (Editorial Pearsons).

La identificación considerada en el modelado de cada estructura se presenta en las Figuras 5-8 y los resultados individuales pueden consultarse en el Apéndice A.

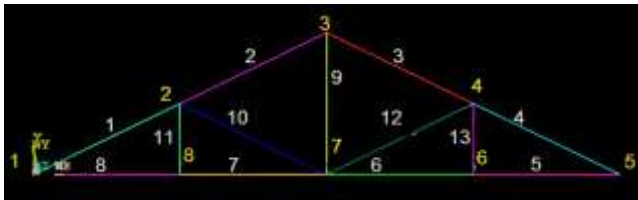


Figura 5. Número de elementos y nodos considerados en el modelado de la armadura Howe.



Figura 6. Número de elementos y nodos considerados en el modelado de la armadura Fink.

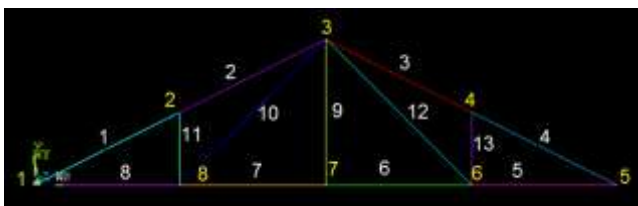


Figura 7. Número de elementos y nodos considerados en el modelado de la armadura Pratt.

3.2 Resultados.

Las Tablas 2-5 muestran respectivamente para las cuatro armaduras, los resultados de desplazamiento máximo en

los nodos, carga interna máxima en miembros, desplazamientos en los nodos de la esquina superior (nodo 3 para la propuesta, la Howe y la Pratt, y nodo 5 para la Fink) y de la esquina derecha (nodo 5 para la propuesta, la Howe y la Pratt, y nodo 9 para la Fink), así como los porcentajes de nodos y barras con desplazamientos y cargas internas respectivamente, fuera del rango de la desviación estandar (rango estadístico).

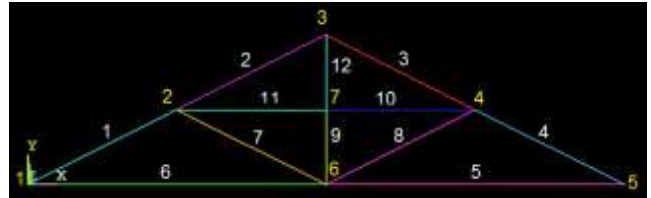


Figura 8. Número de elementos y nodos considerados en el modelado de la nueva armadura.

Tabla 2. Desplazamiento máximo en nodos.

Armadura	Número de nodo		Desplazamiento (m)	
	X	Y	X	Y
Nueva	5	6	0.35327E-06	-0.72227E-06
Howe	5	7	0.35327E-06	-0.79414E-06
Pratt	5	2	0.29439E-06	-0.82721E-06
Fink	9	6	0.33324E-06	-0.10492E-05

Tabla 3. Magnitud de carga interna máxima.

Armadura	Número de elemento	Carga interna (N)
Propuesta	5 y 6	4200
Howe	5, 6, 7 y 8	4200
Pratt	5 y 8	4200
Fink	9 y 13	5250

Tabla 4. Desplazamientos en los nodos superior central y lateral derecho.

Armadura	Componente rectangular del desplazamiento (m)			
	Nodo superior central		Nodo lateral derecho	
	X	Y	X	Y
Nueva	0.17664E-06	-0.71177E-06	0.35327E-06	0
Howe	0.17664E-06	-0.76470E-06	0.35327E-06	0
Pratt	0.29018E-06	-0.82721E-06	0.29439E-06	0
Fink	0.16662E-06	-0.89427E-06	0.33324E-06	0

Tabla 5. Cantidad de nodos y barras con valores de desplazamiento y fuerza interna respectivamente, fuera de rango estadístico.

Armadura	Nodos (%)	Barras (%)
Nueva	14.28	33.33
Howe	12.5	46.15
Pratt	12.5	46.15
Fink	33.33	44.44

3.3 Análisis de Resultados.

De acuerdo con los resultados presentados puede señalarse que la nueva armadura muestra las siguientes características mecánicas sobresalientes en relación con las estructuras Howe, Fink y Pratt:

1. Emplea menor cantidad de barras y nodos, como lo muestran las Figuras A1-A4.
2. Los desplazamientos máximo vertical y máximo resultante en nodos, resultan ser menores, como puede apreciarse en Tabla 2 y en las Figuras A1-A4.
3. El valor de la carga interna máxima es mínimo al igual que en la Howe y la Pratt, según la Tabla 3.
4. El desplazamiento vertical del nodo de la esquina superior es menor, de acuerdo con la Tabla 4.
5. El porcentaje elementos con carga interna fuera del rango estadístico es menor, como se aprecia en la Tabla 5.

Así mismo, se señala que el porcentaje de nodos con desplazamiento fuera del rango estadístico es ligeramente mayor que el mínimo, en 1.78 puntos, como lo muestra la Tabla 5, y que el desplazamiento horizontal del nodo central superior, también es ligeramente mayor que el mínimo, en un 5.9 %, de acuerdo con la Tabla 4.

4. Conclusión

De acuerdo con lo señalado en la sección 3.3 puede concluirse que la nueva armadura presenta características mecánicas sobresalientes en relación con la cantidad de nodos y barras, con el desplazamiento de sus nodos y con la magnitud de la carga interna en sus miembros

En relación con la factibilidad económica, se señala que la nueva armadura, por su menor cantidad de elementos constitutivos, su armado se facilita, y por lo tanto el precio de construcción se reduce. En relación con la cantidad lineal de material requerido para las barras, se tiene que la nueva armadura requiere 7.56 m. menos que la Fink, 1.84 m. más que la Pratt y 4.5 m. más que la Howe, si se considera una sección uniforme para todas las barras.

Apéndice A.

Resultados individuales del modelado numérico para las cuatro armaduras.

Las Figuras A1- A4 presentan respectivamente para las armaduras Howe, Fink, Pratt y la nueva estructura, los resultados individuales entregados por el programa, tanto de desplazamiento en nodos (tabla superior), como de carga interna en miembros (tabla inferior). Los desplazamientos se dan en metros y las cargas en Newtons. Puede observarse que cada tabla en su parte inferior presenta así mismo, los valores críticos obtenidos para cada caso.

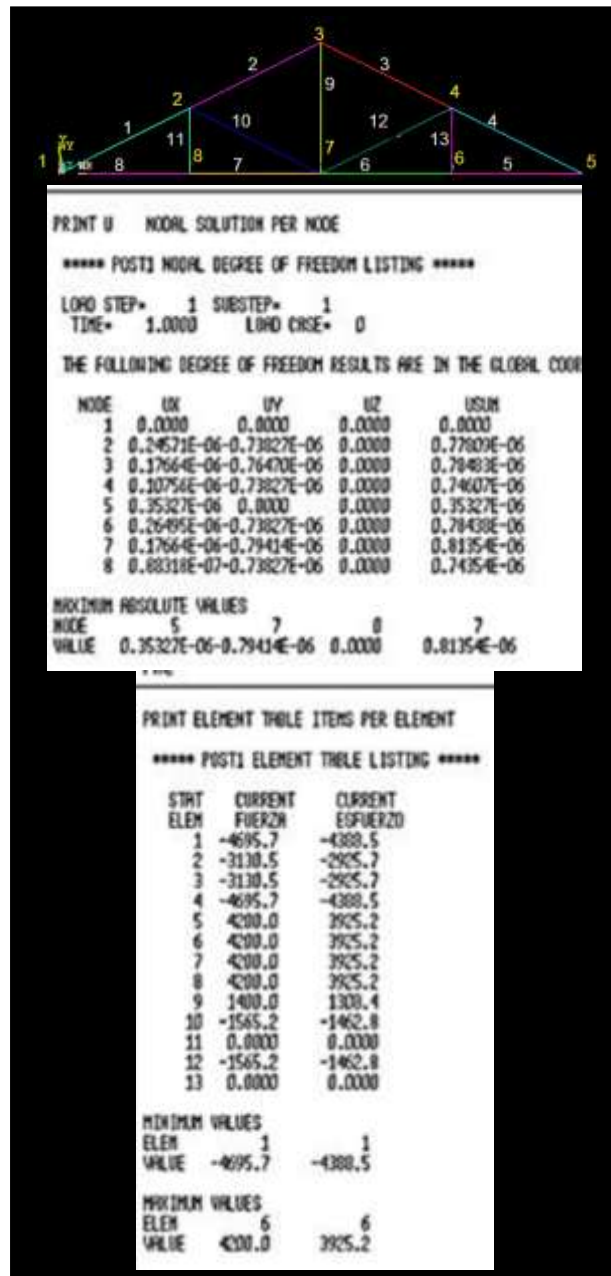


Figura A1. Resultados individuales de la armadura Howe.

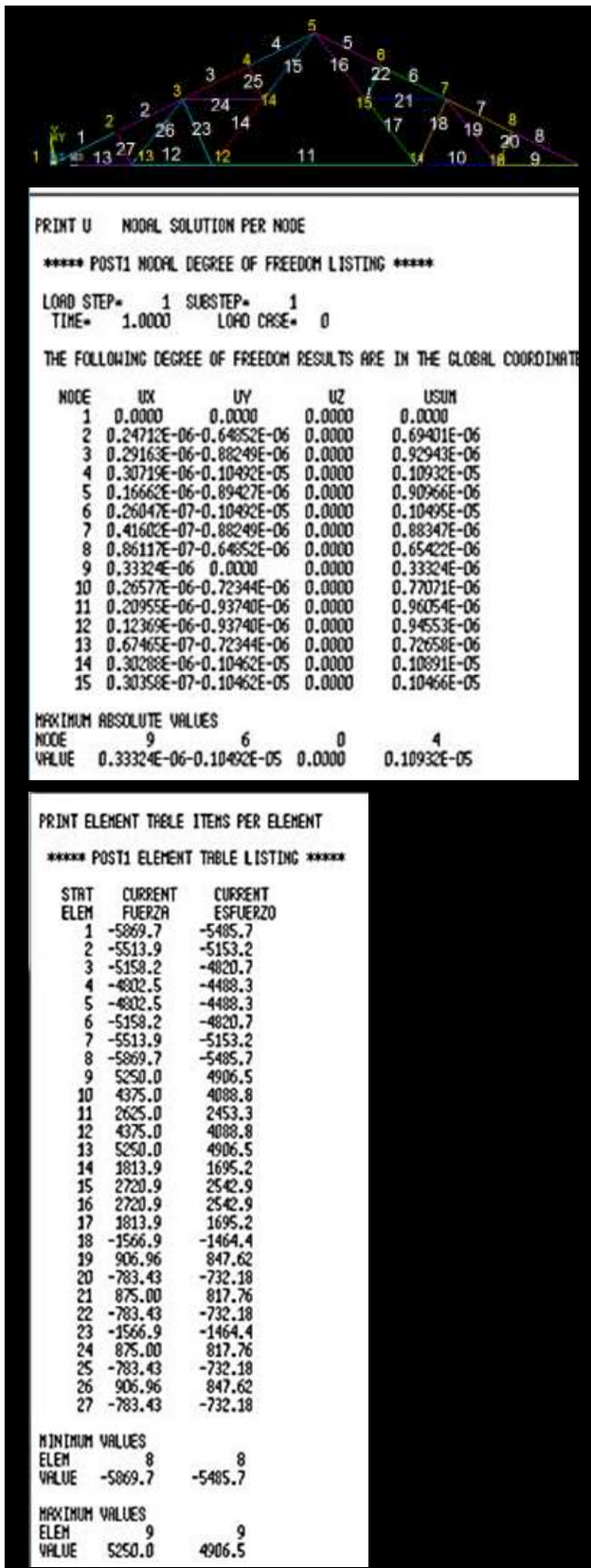


Figura A2. Resultados individuales de la armadura Fink.

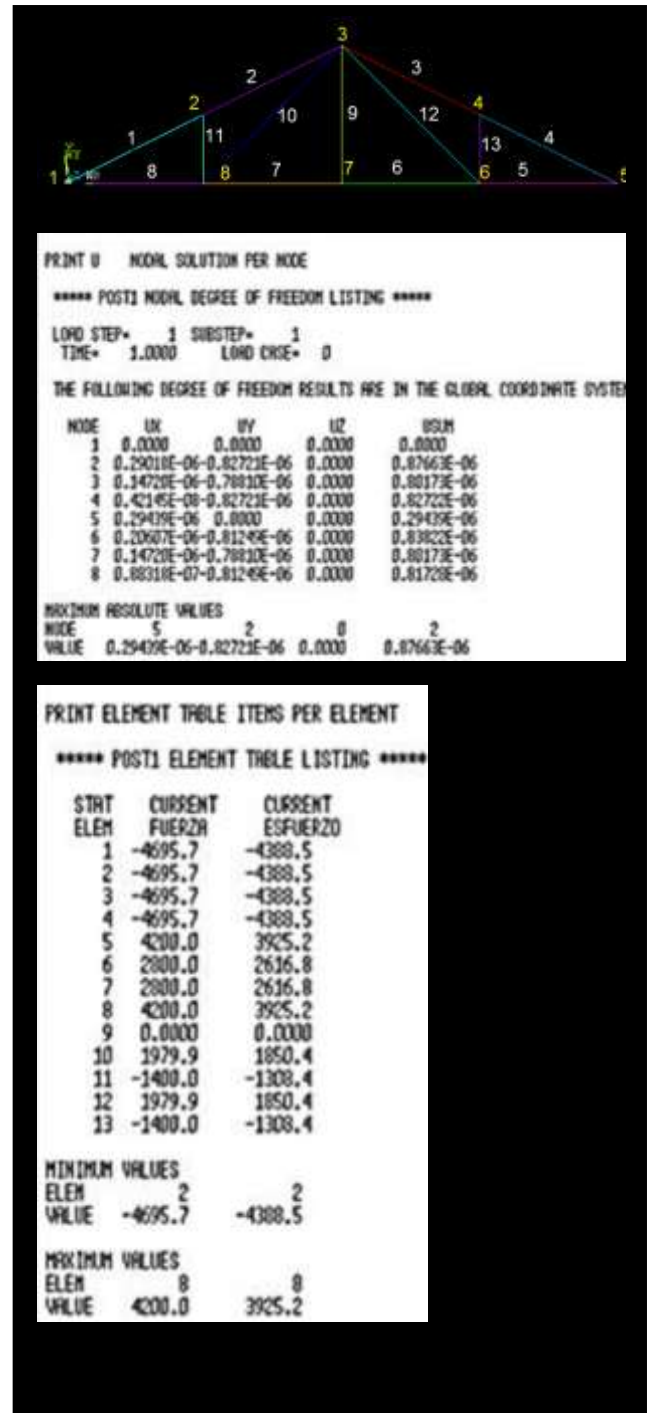


Figura A3. Resultados individuales de la armadura Pratt.

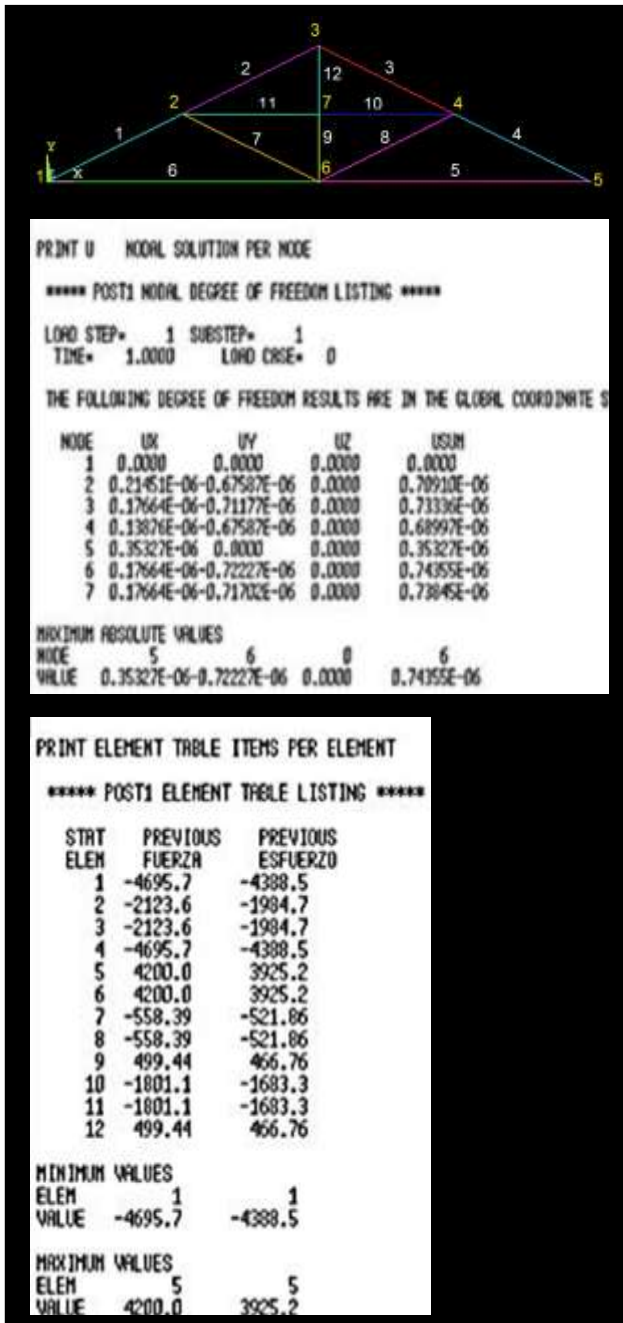


Figura A4. Resultados individuales de la nueva armadura.

REFERENCIAS

- [1]McCormac, J. C. (1990). *Diseño de estructuras metalicas*. Alfaomega.[2]Gañi Lasheras , R. (2007). COMO CONSTRUIR UN EDIFICIO-PUENTE. *Revista de Edificacion*, 31-36.
- [2] McCormac, J. (1975). *Diseño de estructuras metalicas*. Alfaomega.
- [3]Creixell M., J. (1992). *estabilidad de las construcciones*. D.F.: Reverte Ediciones.
- [4] Firszt, L. (21 de Abril de 2015). *Network*. Recuperado el 29 de Abril de 2017, de Network: <http://www.networx.com/article/why-roof-trusses-are-more-popular-than->

[5] Whirlwind Team. (28 de Diciembre de 2015). *WHIRLWIND STEEL*. Recuperado el 30 de Abril de 2017, de WHIRLWIND STEEL: <https://www.whirlwindsteel.com/blog/bid/407704/the-lowdown-on-building-with-steel-roof-trusses>

[6]Cross, P. (5 de Septiembre de 2014). *ALLIANCE TRUSS*. Recuperado el 29 de Abril de 2017, de ALLIANCE TRUSS: <http://alliancetruss.ca/history-trusses-article/>

[7] Fischer Lumber Company. (21 de Abril de 2017). *Fischer Lumber Company*. Recuperado el 29 de Abril de 2017, de Fischer Lumber Company: <http://fischerlumber.com/news-articles/35-a-roof-truss-you-can-trust>

[8]Pathak, U., & Gark, V. (2015). OPTIMIZATION AND RATIONALIZATION OF TRUSS DESIGN. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 624-636.

[9]Frans, R., & Arfiadi, Y. (2014). Sizing, shape, and topology optimizations of roof trusses using. *ScienceDirect*, 185-195.

[10] Fiore, A., Marano, G. C., Greco, R., & Mastromarino, E. (2016). Structural optimization of hollow-section steel trusses by differential evolution algorithm. *International Journal of Steel Structures*.

[11] Kolate, N., & Kewate, S. (2015). Economizing Steel building using Pre-Engineered Steel. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 69-74.