

**Informe de desarrollo del software de análisis y diseño de cerchas
estructurales Zenit Trusses**

Karen García Ramos & Diego Llanos Fajardo

Octubre 2020.

Universidad Santo Tomas.

Ingeniería civil.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	7
OBJETIVOS	8
DESARROLLO	9
Análisis de Estructuras.	12
Método Matricial.	12
Método del Trabajo Virtual.	13
Programación Orientada a Objetos (POO).	14
Modelo Lineal Secuencial	15
Etapas de Desarrollo del Software:	15
Zenit Trusses Versión 0 (cero):	15
Zenit Trusses Versión 1 (uno):	19
Zenit Trusses Versión 2 (dos):	20
Zenit Trusses Versión 3 (Tres):	22
Zenit Trusses Versión 4 (Cuatro):	23
Zenit Trusses versión 5 (Final):	24
Resultados	27
Ejemplo 1	28
Ejemplo 2	36
Ejemplo 3	45

Lista de tablas

Tabla 1 Resultados de la armadura 1 en el software Zenit Trusses.	29
Tabla 2 Comparación de resultados de la armadura 1 en Zenit Trusses y SkyCiv.	31
Tabla 3 Resultados armadura 2 en el software Zenit Trusses.	38
Tabla 4 Comparación de resultados de la armadura 2 en Zenit Trusses y SkyCiv	41
Tabla 5 Resultados para la armadura 3 en el software Zenit Trusses.	48
Tabla 6 Comparación de resultados de la armadura 3 en Zenit Trusses y SkyCiv	51

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1 Modelo lineal secuencial	14
Ilustración 2 etapa inicial software Zenit Trusses	15
Ilustración 3 Muestra de matrices de la versión 0.	16
Ilustración 4 : Planteamiento de la armadura de seguimiento de las versiones.	16
Ilustración 5 Resultados de la versión 0 de Zenit Trusses.	17
Ilustración 6 Planteamiento de la armadura en el software SkyCiv.	17
Ilustración 7 Resultados Software Skyciv.	18
Ilustración 8 Primera versión de interfaz gráfica de Zenit Trusses.	19
Ilustración 9 Catálogos	20
Ilustración 10 Ingreso de Elementos y Materiales	20
Ilustración 11 Combinaciones de carga.	20
Ilustración 12 Renovación de la ventana inicial.	21
Ilustración 13 Carpetas creadas en windows para almacenar resultados y condiciones iniciales.	21
Ilustración 14 Matriz de coordenadas con botón de ayuda.	22
Ilustración 15 Variedad de Materiales.	22
Ilustración 16 Catálogos de Materiales.	23
Ilustración 17 Botón de Búsqueda.	24
Ilustración 18 Botón de ejemplo en menú principal.	24
Ilustración 19 Convenciones de elementos a tensión y compresión.	25
Ilustración 20 Convenciones de elementos desplazados con respecto al planteamiento inicial.	26
Ilustración 21 estructura de techo a base de celosías planas. tomada de https://es.wikipedia.org/wiki/Armadura_(estructura)	27
Ilustración 22 Planteamiento de la armadura, fuente propia	27
Ilustración 23 Condiciones iniciales de la armadura. Fuente Propia.	28
Ilustración 24 Combinación de carga.	29
Ilustración 25 Planteamiento inicial de la armadura. Fuente propia.	29
Ilustración 26 Elementos a tensión y compresión de la armadura. Fuente propia.	30
Ilustración 27 Deformación de la armadura con amplificación x10. Fuente propia.	30
Ilustración 28 Matriz detallada de elementos. Fuente Propia.	31
Ilustración 29 índices de sobre esfuerzos.	31
Ilustración 30 Planteamiento inicial de la armadura. Fuente: SkyCiv.	33
Ilustración 31 Elementos a tensión y compresión de la armadura. Fuente: SkyCiv	33
Ilustración 32: puente en armadura metálica tipo Pratt tomada de https://es.wikipedia.org/wiki/Armadura_(estructura)	35
Ilustración 33: Planteamiento de la armadura 2, Fuente Propia.	35
Ilustración 34: Condiciones iniciales de la armadura 2. Fuente Propia.	36
Ilustración 35: Planteamiento inicial de la armadura 2. Fuente propia.	37
Ilustración 36: Elementos a tensión y compresión de la armadura 2. Fuente propia.	38
Ilustración 37: Deformación de la armadura 2 con amplificación x10. Fuente propia.	39
Ilustración 38: Matriz detallada de elementos 2. Fuente Propia.	40
Ilustración 39: índices de sobre esfuerzos 2.	40
Ilustración 40: Planteamiento inicial de la armadura 2. Fuente: SkyCiv.	42
Ilustración 41: Elementos a tensión y compresión de la armadura. Fuente: SkyCiv.	43

Ilustración 42: Armadura para el apoyo de puentes tomada de https://es.wikipedia.org/wiki/Armadura_(estructura)	44
Ilustración 43: Planteamiento de la armadura 3.	45
Ilustración 44: Condiciones iniciales de la armadura 3. Fuente Propia.	46
Ilustración 45: Planteamiento inicial de la armadura 3. Fuente propia.	47
Ilustración 46: Elementos a tensión y compresión de la armadura 3. Fuente propia.	48
Ilustración 47: Deformación de la armadura 3 con amplificación x10. Fuente propia.	49
Ilustración 48: Matriz detallada de elementos 3. Fuente Propia.	50
Ilustración 49: Índices de sobreesfuerzos 3.	51
Ilustración 50: Planteamiento inicial de la armadura 3. Fuente: SkyCiv.	52
Ilustración 51: Elementos a tensión y compresión de la armadura 3. Fuente: SkyCiv.	53

INFORME DE DESARROLLO DEL SOFTWARE DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE CERCHAS ESTRUCTURALES ZENIT TRUSSES

RESUMEN

En este documento se podrá encontrar el planteamiento del desarrollo del software de análisis y diseño de armaduras planas Zenit Trusses, para el cual se abordaron las condiciones iniciales, el ingreso de matrices, el análisis con gráficos, el diseño y sus correspondientes resultados.

También se tratarán temas como el método matricial y su incidencia en el programa desarrollado, el análisis de estructuras, la deformación de las mismas, el método del trabajo virtual, la programación orientada objetos y por último el modelo del cual se rige, en este caso llamado modelo lineal secuencial, seguido a esto se evidencian las diferentes etapas de desarrollo del software, desde su versión 0 hasta su versión final.

Se abordarán los resultados de análisis y diseño de tres ejemplos de armaduras convencionales y a su vez la comparación del análisis con el software web SkyCiv con el fin de corroborar los resultados del programa desarrollado.

Por último, se evidencia que el análisis de los tres tipos de armadura, determinan que el software tiene un error del 0% con respecto a los resultados comparativos, lo que indica que estos son confiables al momento de plantear el diseño de cualquier armadura metálica. Cabe resaltar que Zenit Trusses tiene la capacidad de agregar distintos tipos de secciones metálicas con diferentes propiedades geométricas, a partir de las cuales se determina la capacidad de cierto elemento y, por tanto, si este soporta o no la solicitación exigida por el análisis.

ABSTRACT

In this document, can be found the software development of Zenit Trusses where it is addressed the initial conditions, the main matrices, the analysis with graphics, the design, and results.

Also, there will be topics like the matrix method and its importance for the software, the structural analysis, deformations, the virtual work method, the object-oriented programming, and lastly, the model of the software called the sequential linear model. After this, there will be shown the different development stages of the software from version 0 to its final.

There will be addressed the analysis results and design of three conventional trusses and the comparison of the results with the web software SkyCiv to validate the results of the developed software.

Lastly, it is shown that the analysis of the three types of trusses has a 0% error from the comparative results, which indicates that they are trustworthy when designing any metallic structure. Zenit Trusses also has the capacity to work with different kinds of metallic sections with various geometric properties from which it is determined the element capacity and if it is capable to bear the solicitations from the analysis.

INTRODUCCIÓN

Las academias universitarias, han enseñado durante décadas la ingeniería de sistemas, una carrera basada en el estudio y comprensión de la realidad para la optimización de procesos complejos, dicha formación enfoca una parte de su enseñanza en las adquisiciones de conocimientos básicos para la creación de software, según Alexander Torre negra, un

ingeniero de sistemas colombiano llega a estudiar el 70% de las clases de un ingeniero de software de otras regiones, siendo esta una de las principales razones por las cuales Colombia es uno de los países con menos creación de código fuente de programas de ordenador.

Las compañías desarrolladoras de software se encuentran en países como China, India, Francia, Alemania, Reino Unido, Estados Unidos entre otros, indicando que cualquier país que busque ser competitivo deberá formar ingenieros capaces de desarrollar programas computacionales que ayuden al progreso de la nación en distintos ámbitos de la economía.

Debido a la escasa cantidad de producción de software nacionales e institucionales, capaces de facilitar la labor del ingeniero civil en el análisis y diseño de cerchas metálicas, para la ejecución de proyectos estructurales, se decide desarrollar un trabajo conjunto entre el conocimiento del diseño de estructuras y el lenguaje de programación de Matlab por estudiantes de ingeniería civil de la universidad Santo Tomás ; dicha colaboración, da origen a ZENIT TRUSSES, una herramienta computacional capaz de realizar el análisis y diseño estructural de una cercha en dos dimensiones, utilizando el método matricial y el trabajo virtual. Adicionalmente, tiene la capacidad de analizar gráfica y numéricamente cualquier cercha metálica en 2 dimensiones y determinar desplazamientos debido a cargas externas según las características del material utilizado.

A partir de esto, se abordará el desarrollo del software y su correcto funcionamiento, comparando los resultados arrojados para una misma cercha entre el programa SkyCiv y la ejecución de la estructura en el software **ZENIT TRUSSES**.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Mostrar las etapas de desarrollo del software Zenit Trusses el cual tiene la capacidad de diseñar, analizar y graficar cerchas metálicas en dos dimensiones a partir de la programación orientada a objetos en Matlab.

Objetivo específicos

- Comparar los resultados de tres diferentes planteamientos de armaduras entre los softwares Zenit Trusses y SkyCiv.
- Presentar los resultados de la implementación de los diferentes métodos de análisis y diseño de armaduras, de los cuales se obtienen los elementos a tensión, compresión, las fuerzas resultantes en los elementos y sus respectivos desplazamientos.
- Enseñar las capacidades finales de análisis, diseño, portabilidad y velocidad del software Zenit Trusses.

DESARROLLO

Una de las preocupaciones actuales más apremiantes de la industria del software es crear sistemas confiables y de mayor calidad con menor inversión de tiempo y costo, que resuelvan problemas cada vez más complejos. Es preciso utilizar técnicas avanzadas de la ingeniería de software que ayuden a aliviar el esfuerzo en las diferentes etapas de un proyecto.

La Programación Orientada a Objetos ha demostrado ser una excelente herramienta para resolver problemas de gran envergadura y complejidad, permitiendo obtener sistemas interoperables, modulares y evolutivos. Por tales motivos Zenit Trusses es desarrollado en Matlab a partir de esta metodología, la cual se lleva a cabo con el fin de estructurar y organizar de una manera más adecuada y entendible para el programador, a la hora de progresar en el desarrollo del software. Haciendo uso de los mismos principios de programación, se implementó una interfaz gráfica la cual servirá de guía al usuario final para moverse por todas las funcionalidades del software.

Zenit Trusses se plantea de la siguiente forma:

Condiciones iniciales: Para desarrollar la fase inicial, el software requiere del ingreso de unas condiciones iniciales y básicas de toda cercha como lo son: La cantidad de nodos, el número de elementos, las reacciones y la dimensión en la que se desea trabajar.

Ingreso de matrices: Después de tener las condiciones iniciales, se generarán unas matrices a partir de ellas, cuya finalidad es proporcionar la descripción de coordenadas en los nodos, el nodo inicial y final de cada elemento, las fuerzas externas a las que será sometida la estructura y las reacciones para cada apoyo. También será posible agregar combinaciones de carga para analizar el elemento desde distintas perspectivas exigidas por la normativa colombiana.

Análisis: El análisis de la estructura se realiza a través del método matricial, el cual se vale de las matrices ingresadas al inicio del software para crear una matriz de geometría, a esta, se le calcula su inversa y se multiplica por la matriz de fuerzas externas para finalmente obtener las fuerzas que actúan en los elementos.

Secciones metálicas: Al haber ingresado las matrices al sistema, el software preguntará si el diseñador desea agregar alguna sección metálica a la estructura para su diseño, si el usuario no desea utilizar ninguna sección, se mostrará únicamente el análisis de la estructura a partir del método matricial. Si el usuario desea agregar alguna sección a la estructura, se abrirá un catálogo el cual pedirá el ingreso de un código para determinar las características de la sección que desea el usuario, en las cuales se encuentran el área de la sección deseada tanto en metros cuadrados como en centímetros cuadrados y el esfuerzo máximo de fluencia del material en Mega Pascales.

Diseño: El diseño de la estructura se hace a partir del método de la carga virtual, el cual propone añadir una carga unitaria en cada nodo y analizarlo de tal forma que la sumatoria de los desplazamientos de un solo nodo debido a las cargas de este mismo y del resto de los nodos, será el desplazamiento total del nodo en el sistema original.

Gráficos y Resultados: Una parte muy importante para el análisis de todo elemento estructural, es poder evidenciar como diseñador el comportamiento de la estructura a partir de gráficos que puedan ser interpretados de la manera correcta, esto con el fin de facilitar las decisiones finales que el ingeniero tomará a criterio propio basándose en los resultados proporcionados. El software tiene la capacidad de mostrar el planteamiento inicial del problema con un gráfico que lo representa, también mostrará los elementos a tensión en color verde y a compresión en color rojo en un segundo gráfico, finalmente muestra un gráfico que evidencia el desplazamiento de la estructura debido a las cargas externas aplicadas. Los resultados más importantes del software, son exportados a documentos de excel para facilitar su análisis en herramientas externas al software.

Los principales beneficiados del desarrollo del software ZENIT TRUSSES serán los ingenieros civiles en formación de la universidad Santo Tomás, sin dejar de lado aquellos que

son profesionales y se encuentran relacionados con la rama de la ingeniería civil permitiéndoles realizar el análisis y diseño de cerchas en diferentes materiales. En general el programa será de ayuda a quien requiera el análisis y diseño de cerchas estructurales.

Análisis de Estructuras.

Al ser aplicadas diferentes cargas a una estructura se ocasiona que esta se deforme, debido a la acción que producen diversas fuerzas en los diversos componentes que conforman la estructura, es por esto que en el campo de la ingeniería civil se establece como análisis estructural a la determinación de esfuerzos, deformaciones y desplazamientos en una estructura. Dicho análisis se plantea mediante diferentes métodos, como lo es la mecánica de materiales, análisis matricial, análisis estático, la resistencia de materiales entre otros.

(Estrada. M, 2016, P.10)

El análisis de una estructura es parte en dos procesos fundamentales, el primero envuelve el análisis de la distribución de las fuerzas y los momentos que actúan en cada miembro estructural; el segundo se enfoca en el conocimiento de la capacidad de carga de cada elemento para resistir las fuerzas y momentos que se ejercen sobre ellos. *(Chen. W.F, 2008, P.1)*

Método Matricial.

Este método se basa en la organización de la información por medio de matrices, dando lugar a un sistema de ecuaciones, con diferentes variables, sin perder ni suponer algún tipo de información, el planteamiento por medio de este sistema permite que la solución del análisis pueda ser ejecutada de forma automática mediante programas de computación.

(Blanco J.L, 2012, p10).

Los resultados precisos del sistema matricial dependen de la solución adecuada del gran número de ecuaciones lineales, difíciles de resolver manualmente por lo cual se pretende que este método se solucione mediante software, permitiendo así reemplazar una estructura real por un modelo matemático de elementos donde sus propiedades pueden representarse de forma matricial.

Para dar solución a el análisis de una estructura mediante el método matricial se deberá:

- Definir la geometría del elemento.
- Las condiciones de los apoyos.
- Enumerar los nodos y determinar la dirección de los elementos.
- Calcular los momentos de empotramiento de los nodos de la estructura.
- ensamblar la matriz de rigidez.
- calcular las diferentes reacciones.
- verificar el equilibrio general de la estructura.
- cálculo de las fuerzas internas (UC.Vallejo, 2013, p.152).
- verificar el equilibrio de los nudos.

Método del Trabajo Virtual.

El concepto de trabajo virtual nace desde la época de Galileo(1564-1642) quien utiliza dicho método en el diseño y cálculo de mecanismos de forma matemática utilizando la teoría de Lagrange, que después sería adoptada por Bernoulli quien daría a conocer dos razones sobre el sistema, la primera de ellas es que “Si una estructura, estando en equilibrio, sufre una deformación virtual debido a la acción de una carga adicional , el trabajo virtual externo de la carga en cuestión, es igual al trabajo virtual interno, desarrollado por las tensiones causadas por la carga”. En segundo lugar, propone que los cuerpos rígidos no sufren

deformaciones sino desplazamientos refiriéndose así de la siguiente forma; “Dado un cuerpo rígido mantenido en equilibrio por un sistema de fuerzas, el trabajo virtual efectuado por este sistema, durante un desplazamiento virtual, es nulo”. (*Mroginiski. J, 2013, p1*)

Es de esta forma como se contempla que dicho método brinda la capacidad de calcular desplazamientos de uno o varios puntos de un cuerpo en estado rígido, además de plantear las incógnitas para diferentes tipos de estructuras que no son determinadas a partir del cálculo del equilibrio de la armadura.

El trabajo virtual se ve directamente relacionado con el trabajo de las diferentes cargas exteriores, que se convierten en las solicitaciones como lo son los esfuerzos; normales, cortantes, flectores y tensores. (*Ojeda. J, 2013, p1*)

Programación Orientada a Objetos (POO).

La programación orientada a objetos permite la organización de códigos. Los programas constan de un conjunto de diferentes elementos que representan objetos del mundo real, dicha técnica se basa en módulos de diferentes funciones, considerándose de forma separada.

Los modelos orientados a objetos se centran en la visualización de la realidad en un conjunto de objetos, relacionados entre sí y en acciones que activan las operaciones, modificando los estados de dichos objetos, siendo este último una entidad que da representación a un concepto real, convirtiéndose a su vez en una clase, especificando una estructura de datos, y asimismo contemplando la forma operativa permitida para cada objeto (*Rozaningo Z B. 2014*)

Modelo Lineal Secuencial

Para la ejecución del programa es necesario utilizar el modelo lineal secuencial el cual sugiere un enfoque sistemático, secuencial, para el desarrollo del software que comienza en un nivel de sistemas y progresa con el análisis, diseño, codificación, pruebas y mantenimiento. Es un ciclo de vida en sentido amplio, que incluye no sólo las etapas de ingeniería sino toda la vida del producto: las pruebas, el uso la vida útil del software y el mantenimiento. (Rozaningo Z B. 2014)

Funcionamiento del modelo lineal

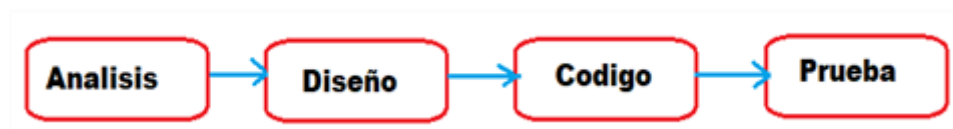


Ilustración 1: Modelo lineal secuencial

Etapas de Desarrollo del Software:

El software Zenit Trusses consta de 6 etapas de desarrollo desde la versión 0 (cero) a la 5 (cinco). A continuación, se mostrarán algunas ilustraciones de la optimización del software con el pasar del tiempo.

Zenit Trusses Versión 0 (cero):

El software en su versión 0 (cero), no contaba con una interfaz gráfica con la cual interactuar con el usuario, por tanto, se hacía uso de la consola de Matlab para dejar en claro a partir de instrucciones escritas qué datos se debían ingresar y cómo se debían ingresar de la siguiente manera:

```

¿Que desea hacer?
  Trabajar en dos dimensiones (2D)= 2
  Trabajar en tres dimensiones (3D)= 3
D= 2
Número de elementos? e= 3
Número de reacciones? R= 3
Número de nudos? n= 3
OK, Estaticamente determinado
De qué manera desea ingresar los datos
1. Manual
2. Usando un txt
3. Ya tengo las matrices precargadas en los txt por defecto
4. Ver Matrices
5. Salir
1
Llenado Manual
Ingrese matriz de COORDENADAS X,Y,Z DE LOS NODOS de la armadura teniendo en cuenta:
-- Cada fila corresponde a un nodo
-- Así trabaje en 2D o 3D ingrese coordenadas X, Y, Z
-- Cuatro columnas en las que se consigna:
-- Se deben ingresar los nodos de manera consecutiva
[Nº Nodo, Coord X, Coord Y, Coord Z]
[1,0,0,0;2,3,0,0;3,1.5,2,0]
Ingrese matriz de ELEMENTOS de la armadura teniendo en cuenta:
-- Cada fila corresponde a un elemento
-- Tres columnas en las que se consigna:
-- Se deben ingresar los elementos de manera consecutiva
[Nº Elemento, Nº Nodo inicial, Nº Nodo final]

```

Ilustración 2: etapa inicial software Zenit Trusses

Después de ingresadas las matrices, el software tenía la capacidad de mostrarlas al usuario y continuar con el proceso:

```
[1,1,1,0;2,0,1,0]
Ingrese matriz de FUERZAS EXTERNAS en la armadura teniendo en cuenta:
-- Ingrese las fuerzas X, Y, Z únicamente de los nodos en los que estas están aplicadas
-- Cada fila corresponde a un nodo
-- Cuatro columnas en las que se consigna:
[Nº Nodo, Fuerza X, Fuerza Y, Fuerza Z]
[3,0,-50,0]
De qué manera desea ingresar los datos
1. Manual
2. Usando un txt
3. Ya tengo las matrices precargadas en los txt por defecto
4. Ver Matrices
5. Salir
4
VER MATRICES
Matriz de Coordenadas [NODO X Y Z]
1.0000 0 0 0
2.0000 3.0000 0 0
3.0000 1.5000 2.0000 0

Matriz de Elementos (Conectividad) [ELEMENTO NODO1 NODO2]
1 1 2
2 1 3
3 3 2

Matriz de Reacciones [NODO uRx uRy uRz]
1 1 1 0
2 0 1 0

Matriz de Fuerzas externas [NODO Fx Fy Fz]
3 0 -50 0

¿Los datos son correctos?
Si=1
No=0
```

Ilustración 3: Muestra de matrices de la versión 0.

La armadura mostrada a continuación, es la que se ingresó al software para la finalidad del ejemplo.

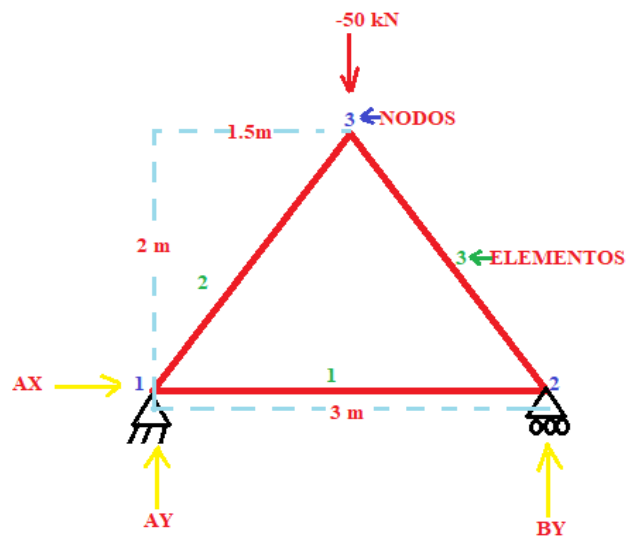


Ilustración 4: Planteamiento de la armadura de seguimiento de las versiones.

Finalmente, se desarrollaba una armadura estáticamente determinada haciendo uso del método matricial el cual arroja como resultado las fuerzas en los elementos y las reacciones

en los apoyos debido a la carga externa aplicada. A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos por esta etapa inicial del software y una comparativa con el software SkyCiv.

Elementos/Reacciones	-	Fuerzas
1.0000		18.7500
2.0000		-31.2500
3.0000		-31.2500
4.0000		0
5.0000		25.0000
6.0000		25.0000

Ilustración 5: Resultados de la versión 0 de Zenit Trusses.

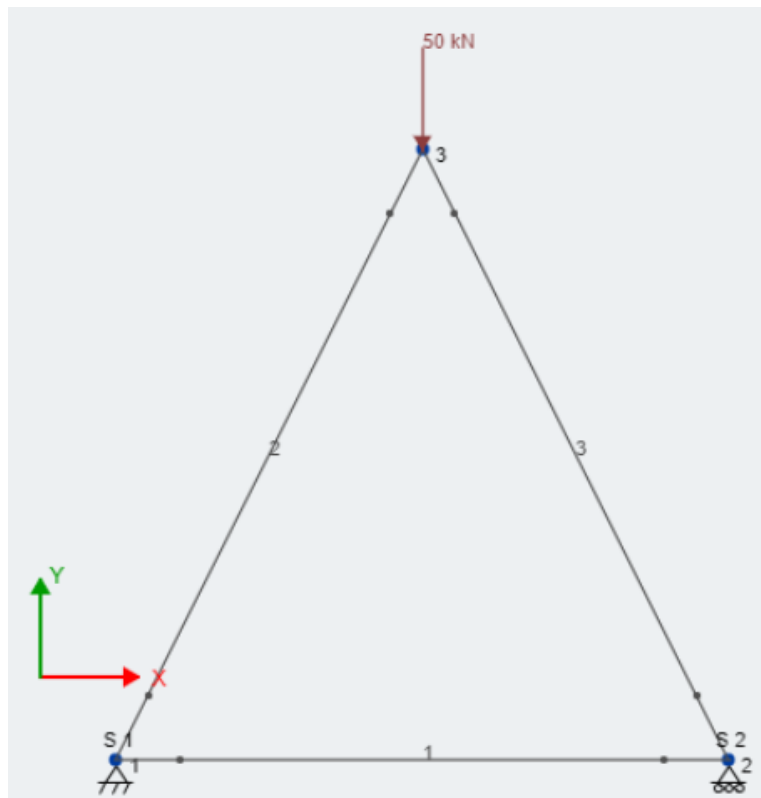


Ilustración 6: Planteamiento de la armadura en el software SkyCiv.

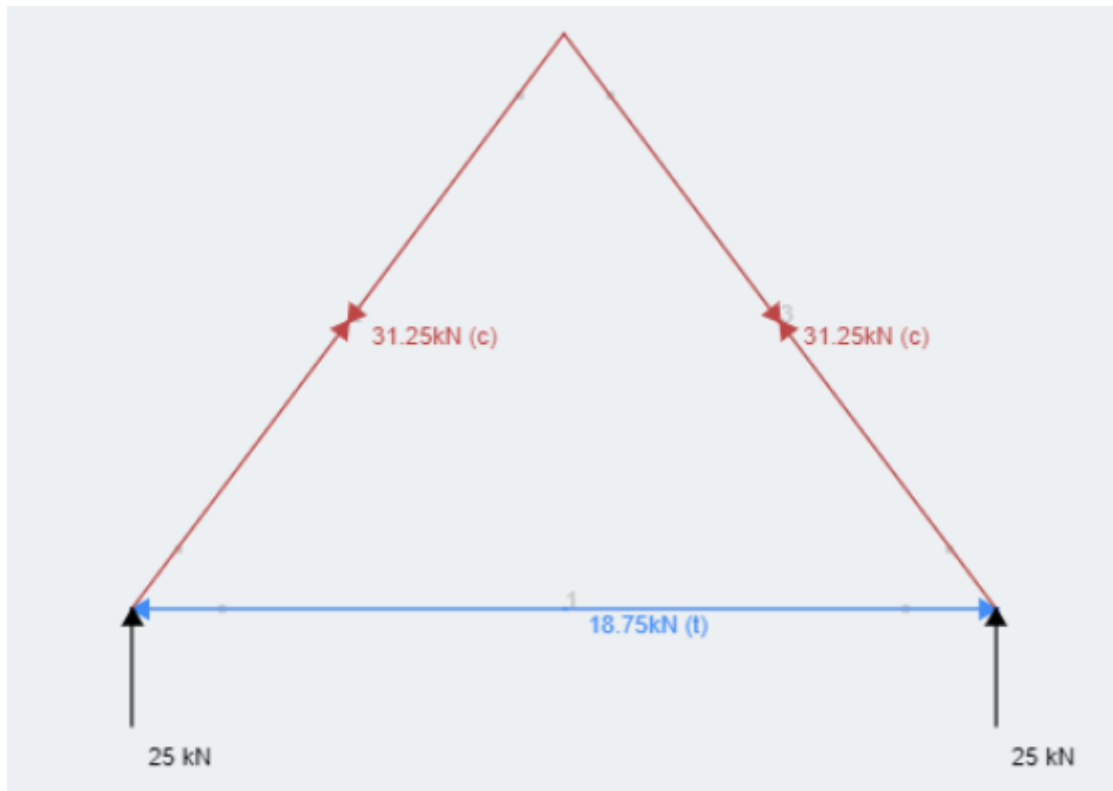


Ilustración 7: Resultados Software SkyCiv.

Zenit Trusses Versión 1 (uno):

Para la versión 1 del software se implementó por primera vez la interfaz gráfica con el fin de facilitar los cálculos repetitivos y ayudar al usuario a entender de una manera más sencilla el uso del software. También se implementaron las gráficas de planteamiento del problema, elementos a tensión y compresión de la armadura y el desplazamiento de los elementos. A su vez, se implementó un catálogo por primera vez para tener las características mecánicas del material y así calcular los desplazamientos haciendo uso de este.

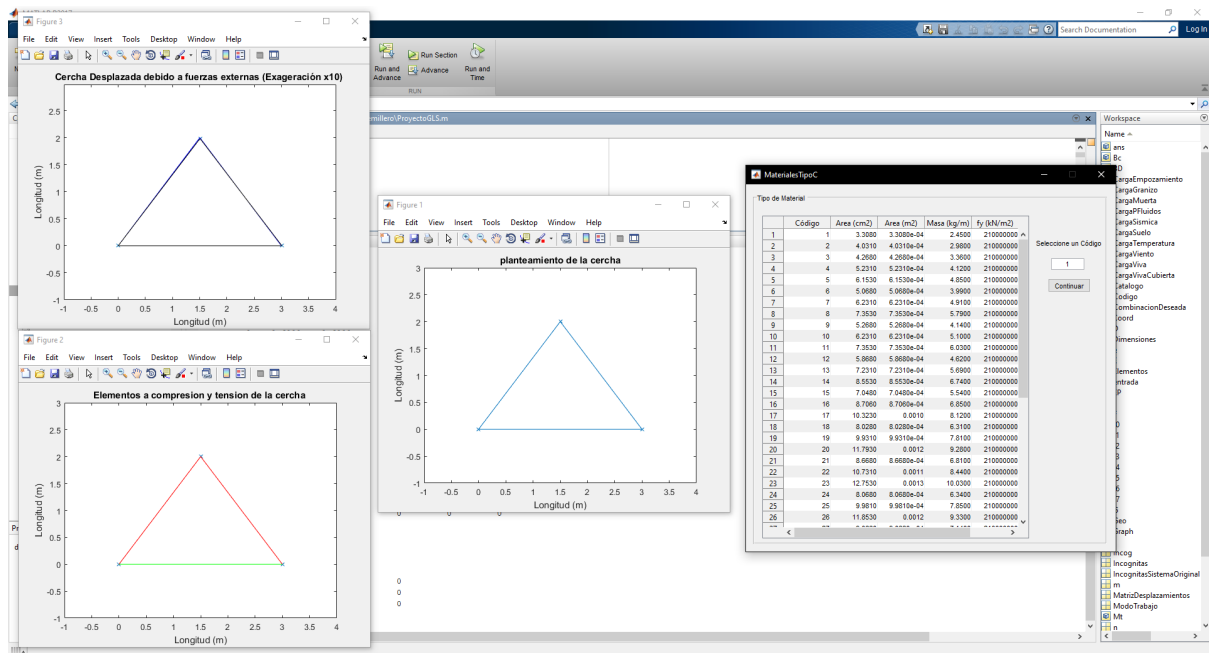


Ilustración 8: Primera versión de interfaz gráfica de Zenit Trusses.

Zenit Trusses Versión 2 (dos):

Para la segunda versión del software, se seguía optimizando la interfaz gráfica, en esta, se implementaron 2 nuevos catálogos con los cuales trabajar (Ver ilustración 9). A su vez, se agregaron botones desplegables en el ingreso de la matriz de elementos con el fin de que el usuario pudiera escoger con variedad y al instante qué sección requería para el análisis de la armadura (Ver ilustración 10). Finalmente se agregó el uso de combinaciones de carga para solucionar el problema a partir de las combinaciones de diseño dadas por la NSR-10. (Ver ilustración 11).

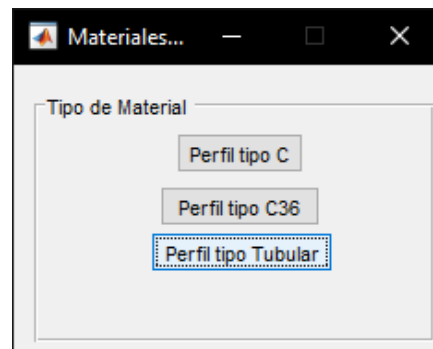


Ilustración 9: Catálogos.

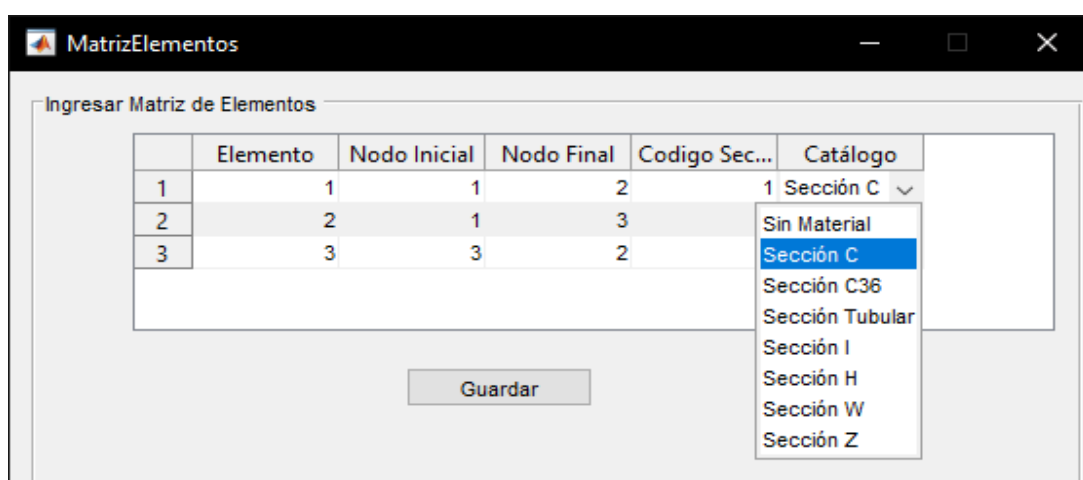


Ilustración 10: Ingreso de Elementos y Materiales.

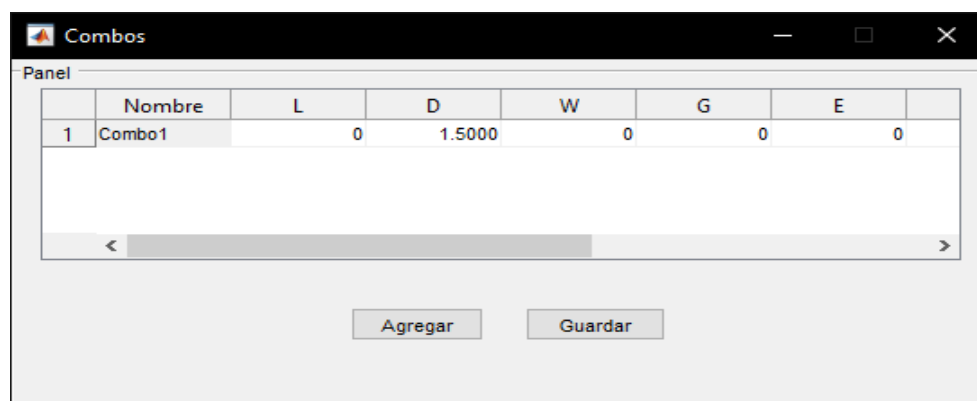


Ilustración 11: Combinaciones de carga.

Zenit Trusses Versión 3 (Tres):

Para esta versión, ya se le daba la opción al usuario de crear una carpeta con el nombre del proyecto que albergará los resultados y las condiciones iniciales del software en formato de Excel con el fin de que se facilite su consulta después de la ejecución del programa (Ver ilustración 12 y 13).



Ilustración 12: Renovación de la ventana inicial.

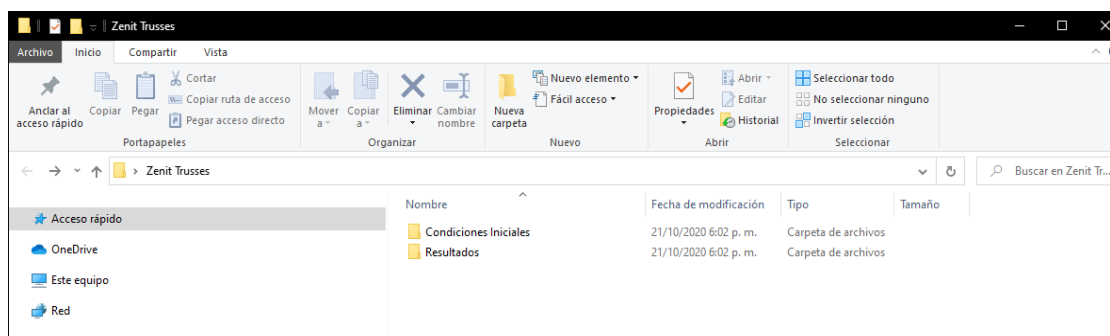


Ilustración 13: Carpetas creadas en Windows para almacenar resultados y condiciones iniciales.

Zenit Trusses Versión 4 (Cuatro):

En la versión 4 del software se agregaron botones de ayuda en algunas ventanas que funcionan como un hipervínculo al manual de usuario en la sección requerida por el usuario para aclarar dudas sobre el uso de cierta ventana y el ingreso de los datos (Ver ilustración 14). A su vez, se agregaron los catálogos faltantes en la ventana de la matriz de elementos, así como también una ventana con los tipos de secciones soportadas por el software para consultar cada una de ellas y así facilitar el diseño de la estructura (Ver ilustración 15 y 16). Ahora el planteamiento inicial de la armadura se muestra justo después de ingresar la matriz de elementos.

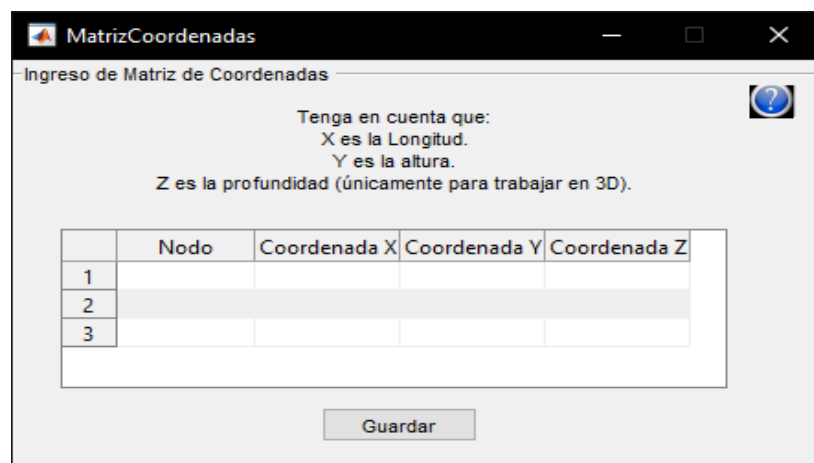


Ilustración 14: Matriz de coordenadas con botón de ayuda.

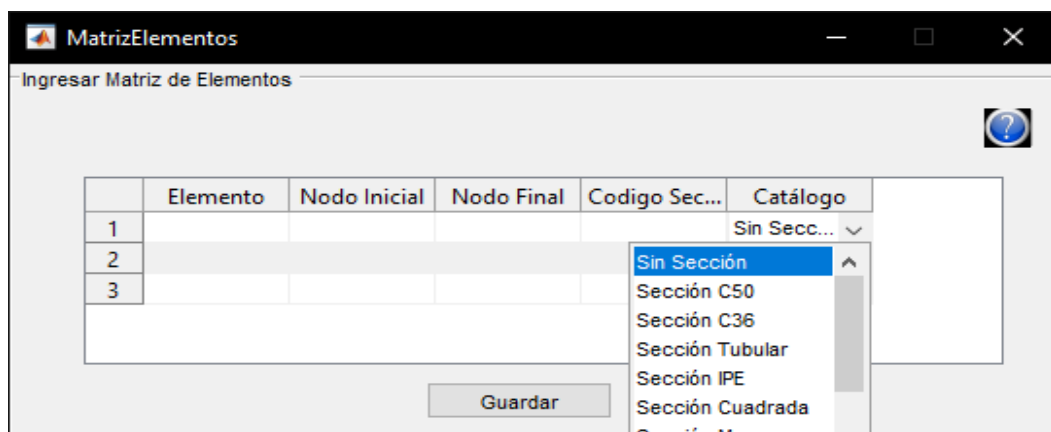


Ilustración 15: Variedad de Materiales.

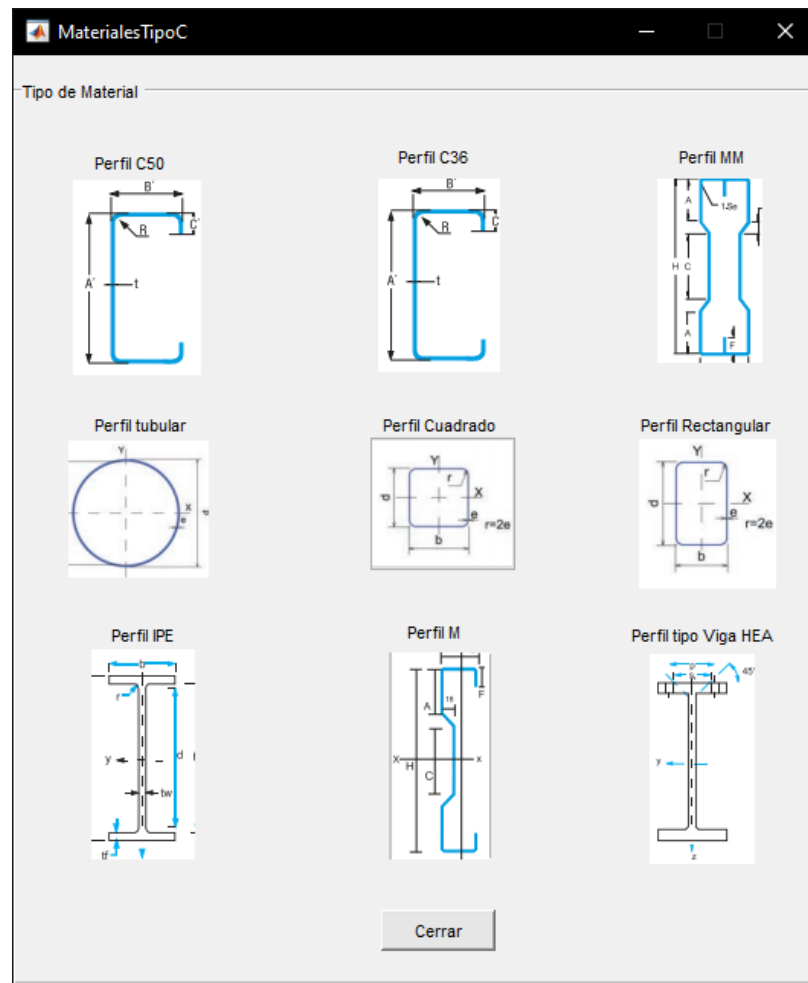


Ilustración 16: Catálogos de Materiales.

Zenit Trusses versión 5 (Final):

En la última versión del software, se agregó un botón de búsqueda en la ventana principal para que el usuario seleccione directamente en la carpeta en la cual desea guardar los resultados (ver ilustración 17). En el menú principal, se agregó un botón con ícono de bombillo, el cual dirigirá al usuario a un ejemplo paso por paso de cómo utilizar el software (Ver ilustración 18). A los gráficos de desplazamiento y elementos a tensión y compresión, se agregaron convenciones con el fin de ser más claros en la muestra de resultados. (Ver ilustración 19 y 20). Finalmente se agregó una ventana adicional con los índices de sobre esfuerzos para mostrar el desempeño del elemento y si la solicitud es mayor o menor a la

capacidad de este, a su vez, un botón que redirige al usuario a la matriz de elementos en caso de querer cambiar el diseño de la estructura.

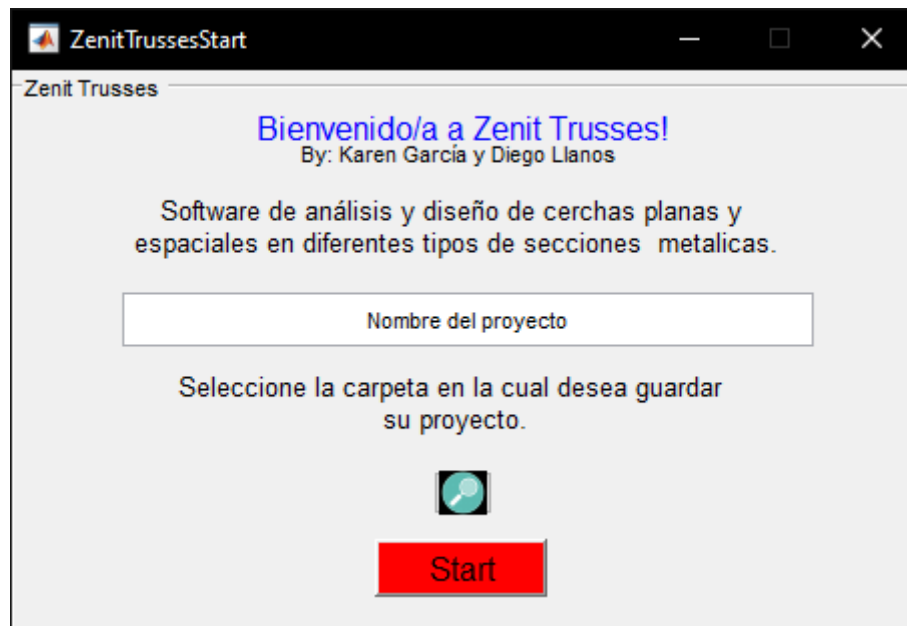


Ilustración 17: Botón de Búsqueda.

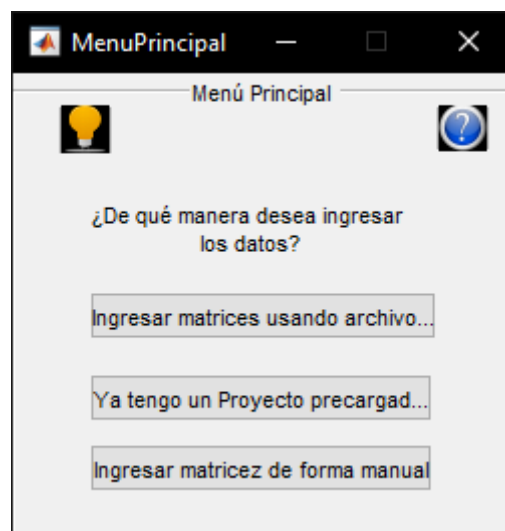


Ilustración 18: Botón de ejemplo en menú principal.

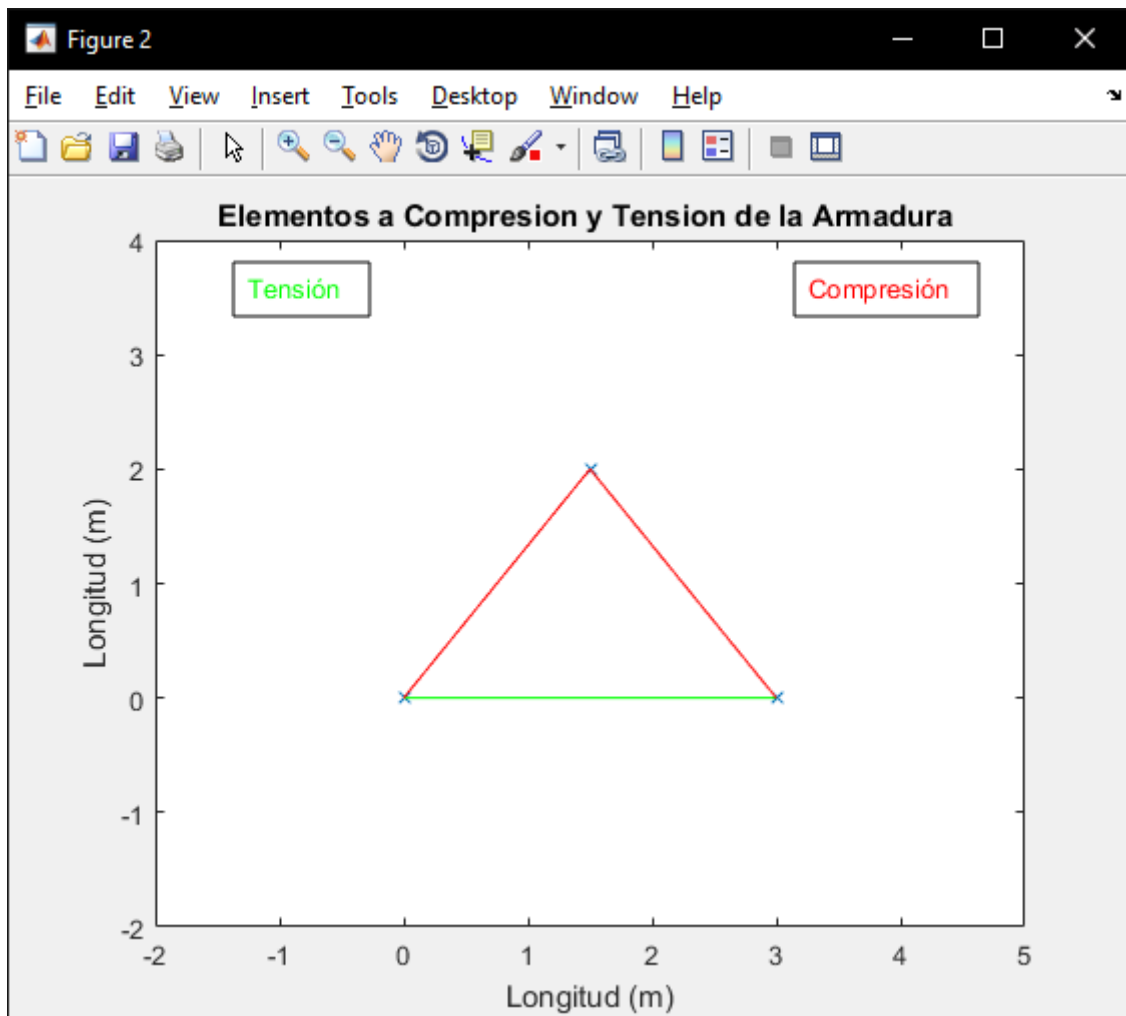


Ilustración 19: Convenciones de elementos a tensión y compresión.

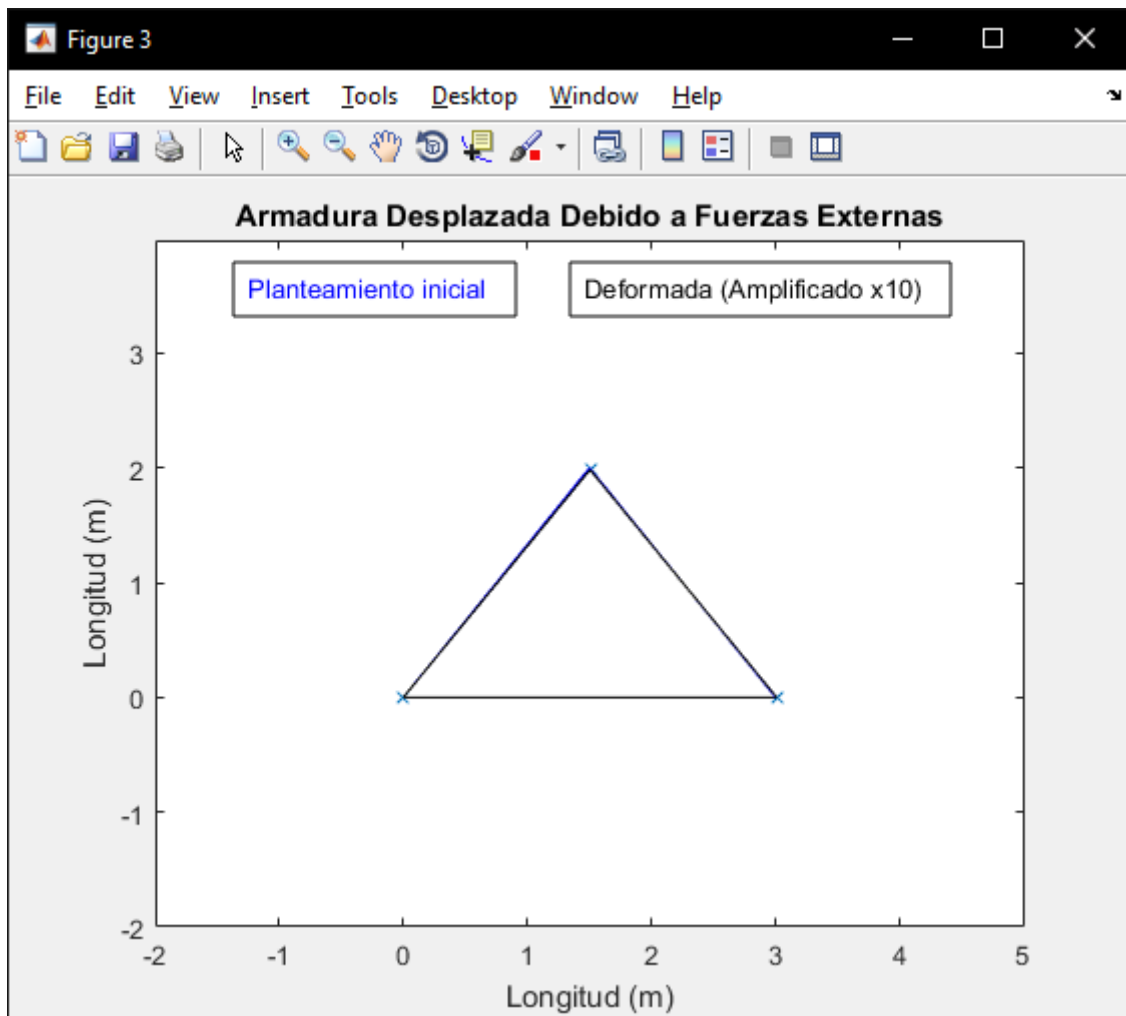


Ilustración 20: Convenciones de elementos desplazados con respecto al planteamiento inicial.

Resultados

Para la comprobación del correcto funcionamiento del programa ZENIT TRUSSES Se presentan tres ejemplos en los cuales se desarrollarán las armaduras plateadas en los softwares ZENIT TRUSSES y SkyCiv, los cuales arrojarán los resultados de los elementos a tensión y compresión permitiendo así realizar la respectiva comparación entre los diferentes análisis de los programas.

Ejemplo 1

Se plantea una armadura tipo pendolón utilizado comúnmente en techos como se muestra a continuación

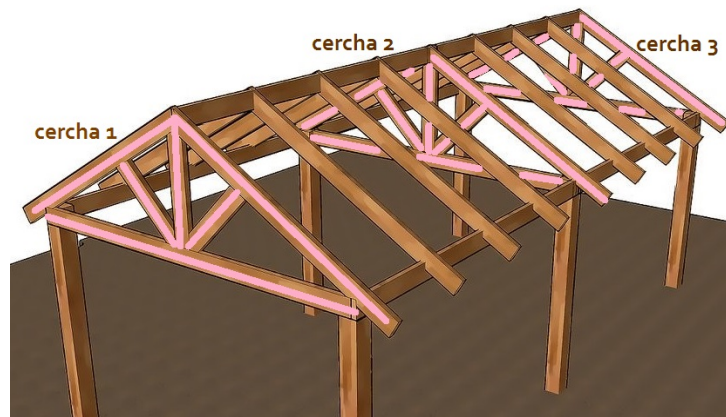


Ilustración 21 estructura de techo a base de celosías planas. tomada de [https://es.wikipedia.org/wiki/Armadura_\(estructura\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Armadura_(estructura))

En el planteamiento de la cercha se podrán observar 9 elementos, 6 nodos, 3 reacciones y una carga de -50 KN en el nodo 6, como se muestra a continuación.

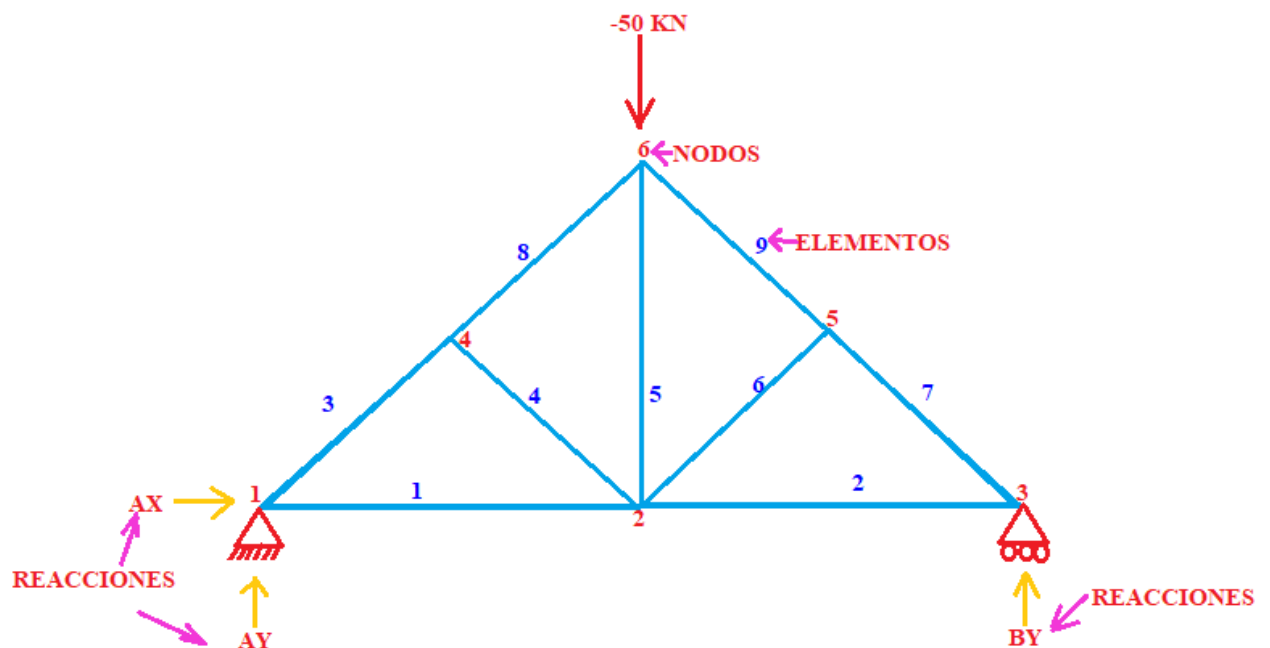


Ilustración 22: Planteamiento de la armadura, fuente propia

Solución de la cercha planteada mediante el software ZENIT TRUSSES

En la siguiente imagen se plantean las condiciones iniciales de la cercha, las cuales son la matriz de nodos, elementos, reacciones y fuerzas externas.

MostrarMatrices

Panel

Matriz De Coordenadas

	Nodo	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z
3	3	4	0	0
4	4	1	3	0
5	5	3	3	0
6	6	2	6	0

Matriz De Elementos

	Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final
1	1	1	2
2	2	2	3
3	3	1	4
4	4	4	2

Matriz De Reacciones

	Nodo	Reaccion X	Reaccion Y	Reaccion Z
1	1	1	1	0
2	3	0	1	0

Matriz De Fuerzas Externas

	Nodo	Fuerza X	Fuerza Y	Fuerza Z
3	3	0	0	0
4	4	0	0	0
5	5	0	0	0
6	6	0	-50	0

Atrás

Ilustración 23: Condiciones iniciales de la armadura. Fuente Propia.

Cabe resaltar que se aplicará una combinación de carga que amplificará la carga muerta 1.5 veces (1.5 D).

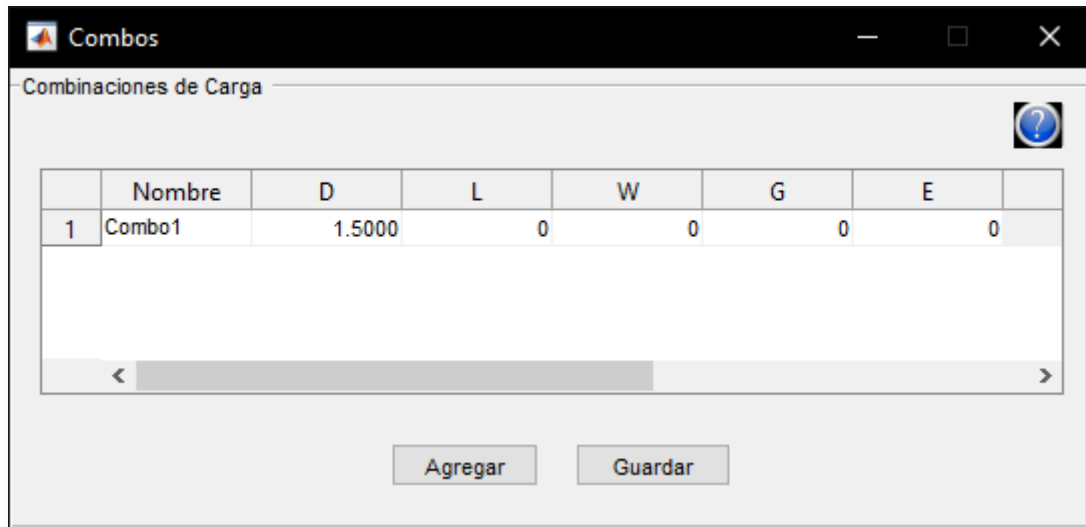


Ilustración 24: Combinación de carga.

A continuación, se mostrarán los gráficos de resultados después del análisis realizado por el software:

Planteamiento de la armadura en programa:

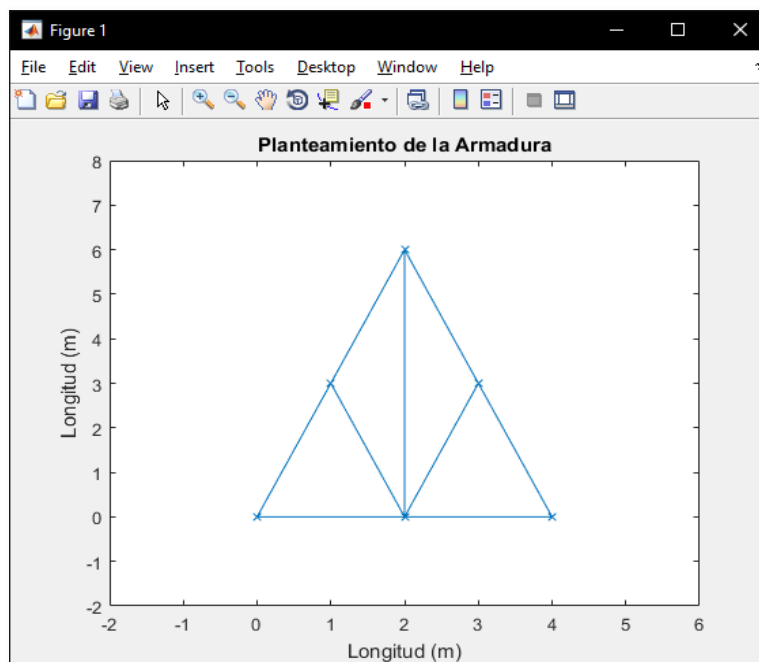


Ilustración 25: Planteamiento inicial de la armadura. Fuente propia.

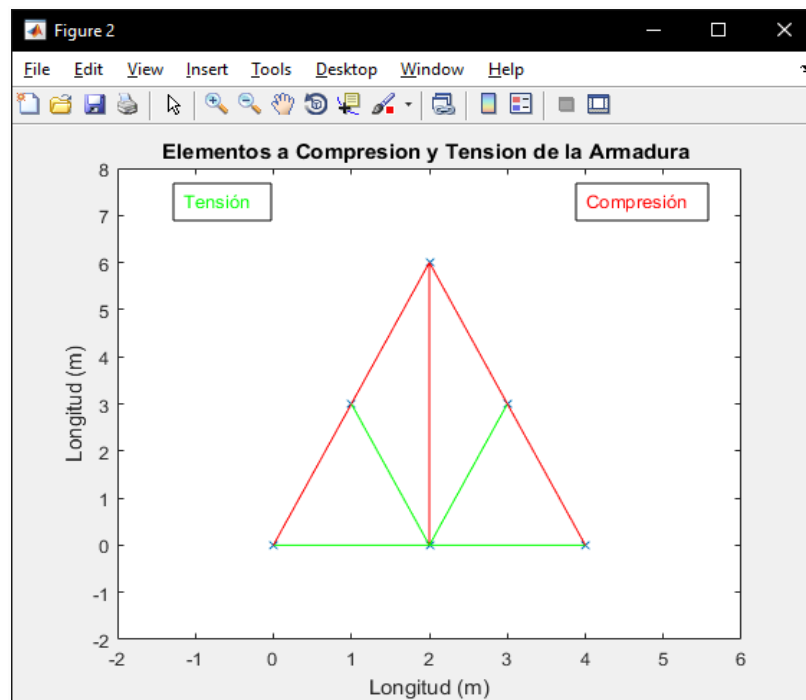


Ilustración 26: Elementos a tensión y compresión de la armadura. Fuente propia.

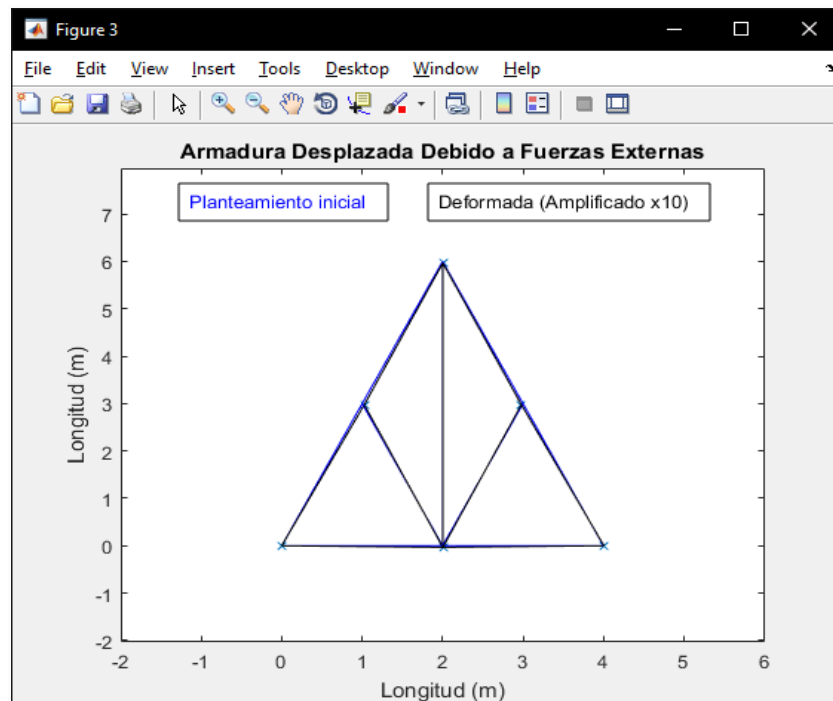


Ilustración 27: Deformación de la armadura con amplificación x10. Fuente propia.

Finalmente, el software muestra un gráfico avanzado de elementos donde se muestra a detalle la descripción de cada elemento y las características del material anteriormente escogido.

MostrarMatrizEP
Matriz Avanzada de Elementos

	OrdFx	CoordFy	CoordFz	Longitud(m)	PesoUnitario(kg/m)	Area(m2)	Masa Total(kg)	Peso Total(kN)	Carga a Nodos(kN)	E (kN/m2)
1	2	0	0	2	2.9800	4.0310e-04	5.9600	3.9544e-06	-2.9800	210000000
2	4	0	0	2	2.9800	4.0310e-04	5.9600	3.9544e-06	-2.9800	210000000
3	1	3	0	3.1623	2.9800	4.0310e-04	9.4236	3.9544e-06	-4.7118	210000000
4	2	0	0	3.1623	2.9800	4.0310e-04	9.4236	3.9544e-06	-4.7118	210000000
5	2	6	0	6	2.9800	4.0310e-04	17.8800	3.9544e-06	-8.9400	210000000
6	3	3	0	3.1623	2.9800	4.0310e-04	9.4236	3.9544e-06	-4.7118	210000000
7	4	0	0	3.1623	2.9800	4.0310e-04	9.4236	3.9544e-06	-4.7118	210000000
8	2	6	0	6	2.9800	4.0310e-04	17.8800	3.9544e-06	-8.9400	210000000

Barras seleccionadas para cada elemento.

Elemento	Sección
1	1 Sección C50
2	2 Sección C50
3	3 Sección C50
4	4 Sección C50
5	5 Sección C50
6	6 Sección C50
7	7 Sección C50

Mostrar índices de Sobre-esfuerzos

Ilustración 28: Matriz detallada de elementos. Fuente Propia.

Adicionalmente, se muestra una ventana en la que se hace un chequeo de la capacidad de los elementos y la solicitud. Si la solicitud no supera el 95% de la capacidad del elemento, este cumplirá la especificación, si la supera, no se cumplirá y el usuario tendrá la opción de realizar un rediseño para adaptar la cercha a la solicitud.

SobreEsfuerzos

Si la columna de "Cumple" tiene un cero (0), la capacidad del elemento es inferior a la solicitud.
Si en la misma columna, hay un uno (1), la capacidad del elemento es superior a la solicitud (Recomendado)

Elemento	Solicitud (kN)	Capacidad (kN)	Índice (x100%)	¿Cumple?
3	-39.5284	169.3020	0.2335	1
4	6.2525e-06	169.3020	3.6931e-08	1
5	-3.1635e-05	169.3020	1.8686e-07	1
6	6.2525e-06	169.3020	3.6931e-08	1
7	-39.5284	169.3020	0.2335	1
8	-39.5284	169.3020	0.2335	1
9	-39.5284	169.3020	0.2335	1

Cerrar Cambiar Diseño de la Estructura

Ilustración 29: Índices de sobreesfuerzos.

Incógnitas Sistema Original

En la tabla que se mostrará a continuación, se encuentran las fuerzas de los elementos sometidos a tensión (Positivos) y compresión (Negativos) siendo enumerados los resultados por elemento desde la primera fila de la tabla (primeras 9 filas) y las últimas 3 indican los resultados de las reacciones siendo la primera fila después de los elementos la primera restricción asignada (A_x), la segunda (A_y) y la última (B_y).

12.500
12.500
-39.528
0,00E+00
0,00E+00
0,00E+00
-39.528
-39.528
-39.528
0 (A_x)
37.500 (A_y)
37.500 (B_y)

Tabla 1: Resultados de la armadura 1 Zenit Trusses.

Para comprobar los resultados del Software Zenit Trusses, se desarrolló la armadura anteriormente planteada, la cual ha sido ingresada en el software web SkyCiv con el objetivo de obtener los resultados y así realizar la respectiva comparación. Cabe resaltar que la carga aplicada en este software, ya fue amplificada 1.5 veces (1.5 D).

En la siguiente tabla se podrá apreciar los resultados obtenidos mediante el desarrollo de la armadura planteada en los softwares Zenit Trusses y SkyCiv. de esta comparación se obtiene que los resultados son iguales y no presentan diferencia alguna.

Elemento	Fuerza (kN)	
	Zenit Trusses	SkyCiv
1	12.500	12.500
2	12.500	12.500
3	-39.528	-39.520
4	0.000	0.000
5	0.000	0.000
6	0.000	0.000
7	-39.528	-39.528
8	-39.528	-39.528
9	-39.528	-39.528
Ax	0.000	0.000
Ay	37.500	37.500
By	37.500	37.500

Tabla 2 Comparación de resultados de la armadura 1 en Zenit Trusses y SkyCiv.

Ejemplo 2

Se plantea una armadura tipo Pratt comúnmente empleada en puentes que permiten el paso de ferrocarriles o peatones como se muestra en la siguiente imagen



Ilustración 32: puente en armadura metálica tipo Pratt tomada de [https://es.wikipedia.org/wiki/Armadura_\(estructura\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Armadura_(estructura))

Planteamiento de la cercha

A continuación, se presenta el planteamiento de la armadura tipo cruz san Andrés que se desea analizar, esta cuenta con las siguientes características: 6 nodos, 11 elementos, 3 reacciones y una carga puntual de -100 kN en el nodo 5.

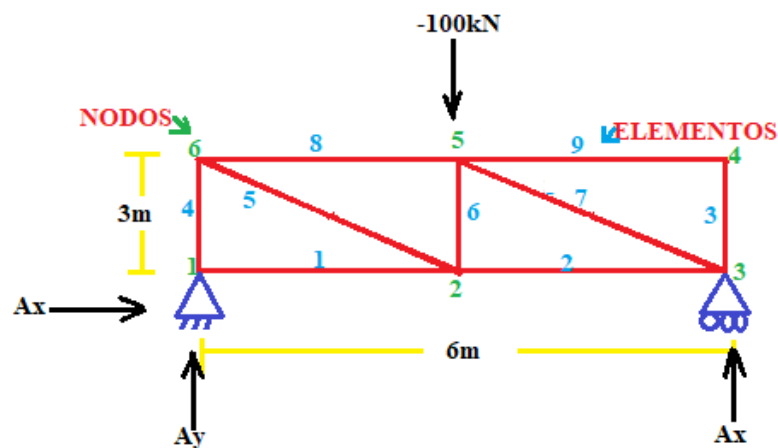


Ilustración 33: Planteamiento de la armadura 2, Fuente Propia.

Solución de la cercha planteada mediante el software ZENIT TRUSSES

En la siguiente imagen se plantean las condiciones iniciales de la cercha, las cuales son la matriz de nodos, elementos, reacciones y fuerzas externas

MostrarMatrices

Panel

Matriz De Coordenadas

	Nodo	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z
3	3	6	0	0
4	4	6	3	0
5	5	3	3	0
6	6	0	3	0

Matriz De Elementos

	Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final
6	6	2	5
7	7	5	3
8	8	6	5
9	9	5	4

Matriz De Reacciones

	Nodo	Reaccion X	Reaccion Y	Reaccion Z
1	1	1	1	0
2	3	0	1	0

Matriz De Fuerzas Externas

	Nodo	Fuerza X	Fuerza Y	Fuerza Z
3	3	0	0	0
4	4	0	0	0
5	5	0	-100	0
6	6	0	0	0

Atrás

Ilustración 34: Condiciones iniciales de la armadura 2. Fuente Propia.

A continuación, se mostrarán los gráficos de resultados después del análisis realizado por el software:

Planteamiento de la armadura en el programa Zenit Trusses

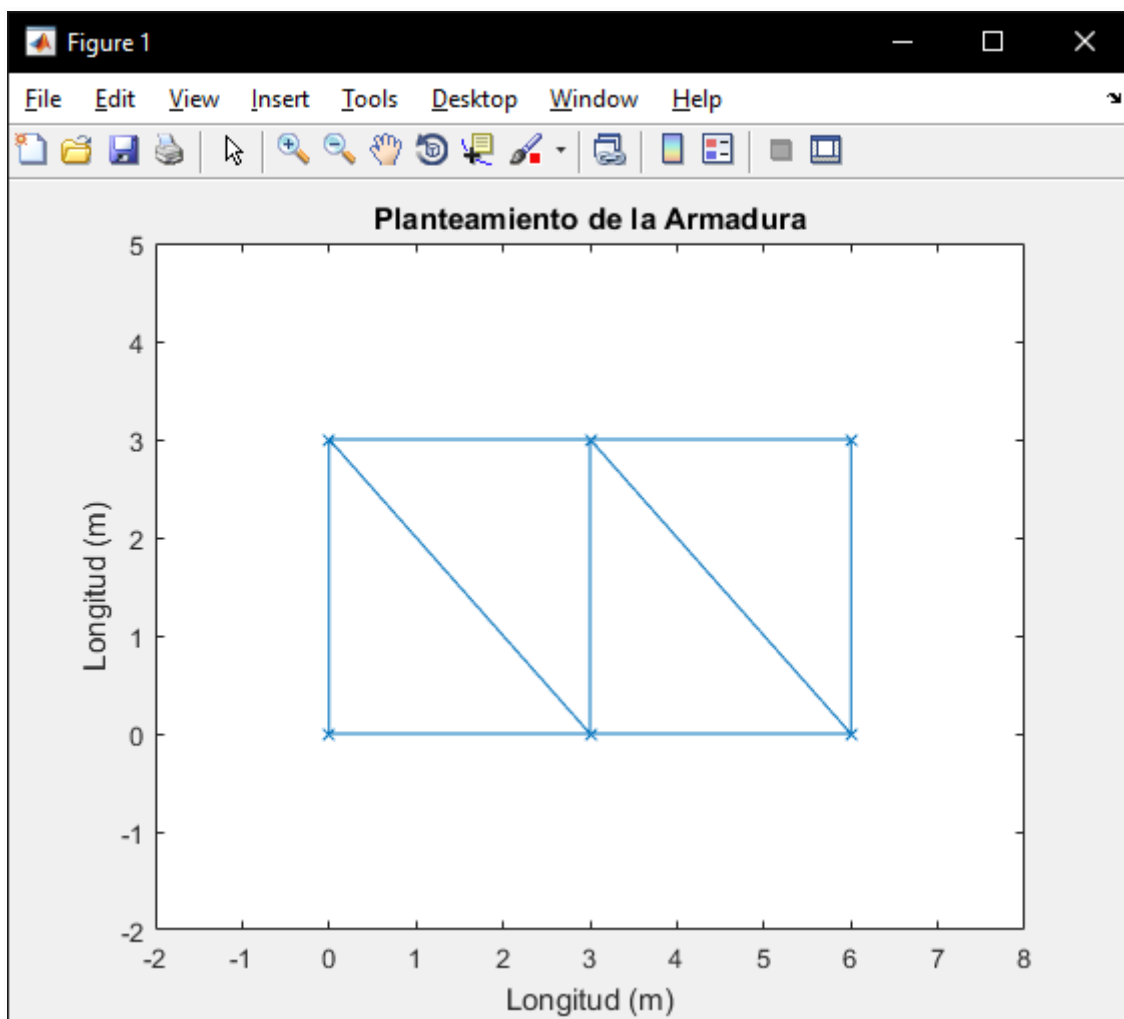


Ilustración 35: Planteamiento inicial de la armadura 2. Fuente propia.

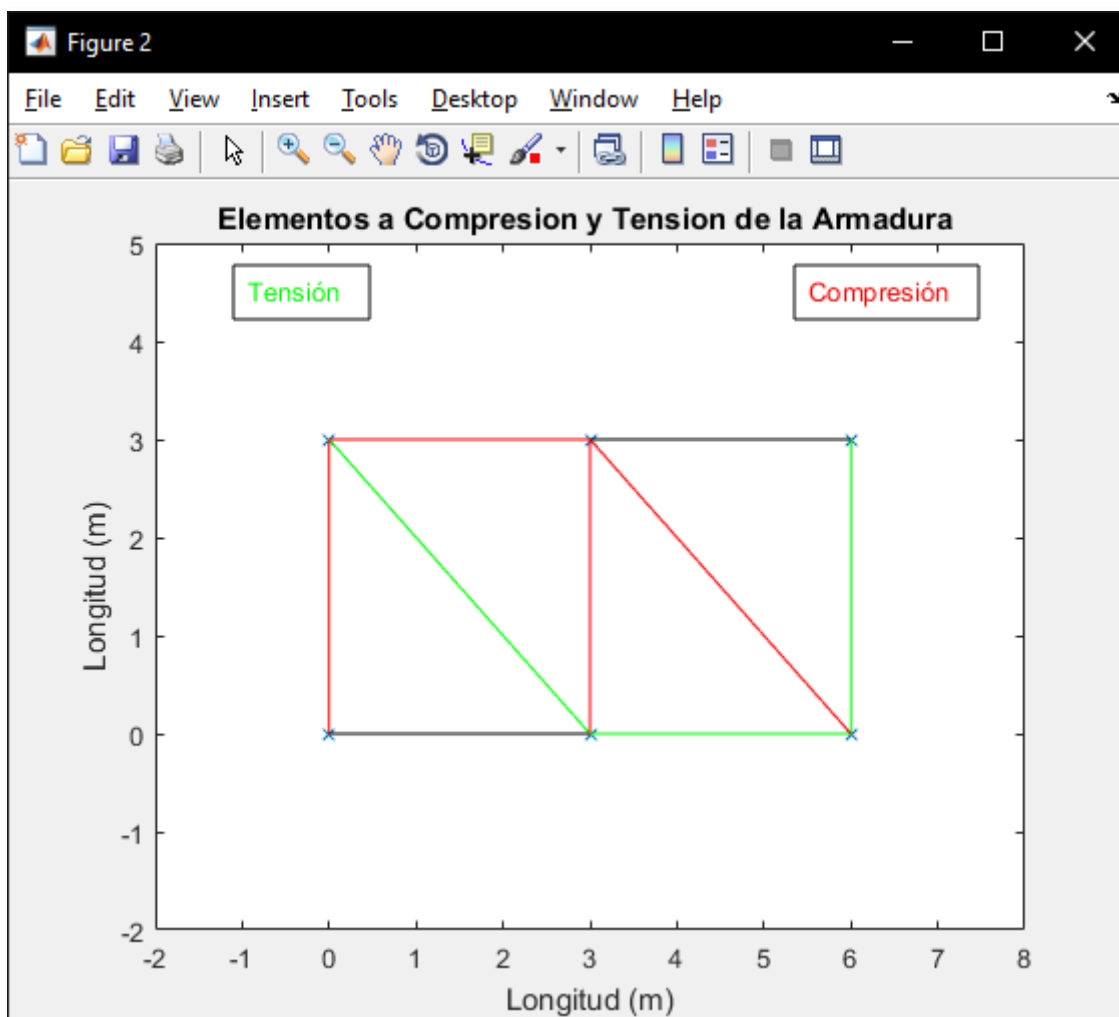


Ilustración 36: Elementos a tensión y compresión de la armadura 2. Fuente propia.

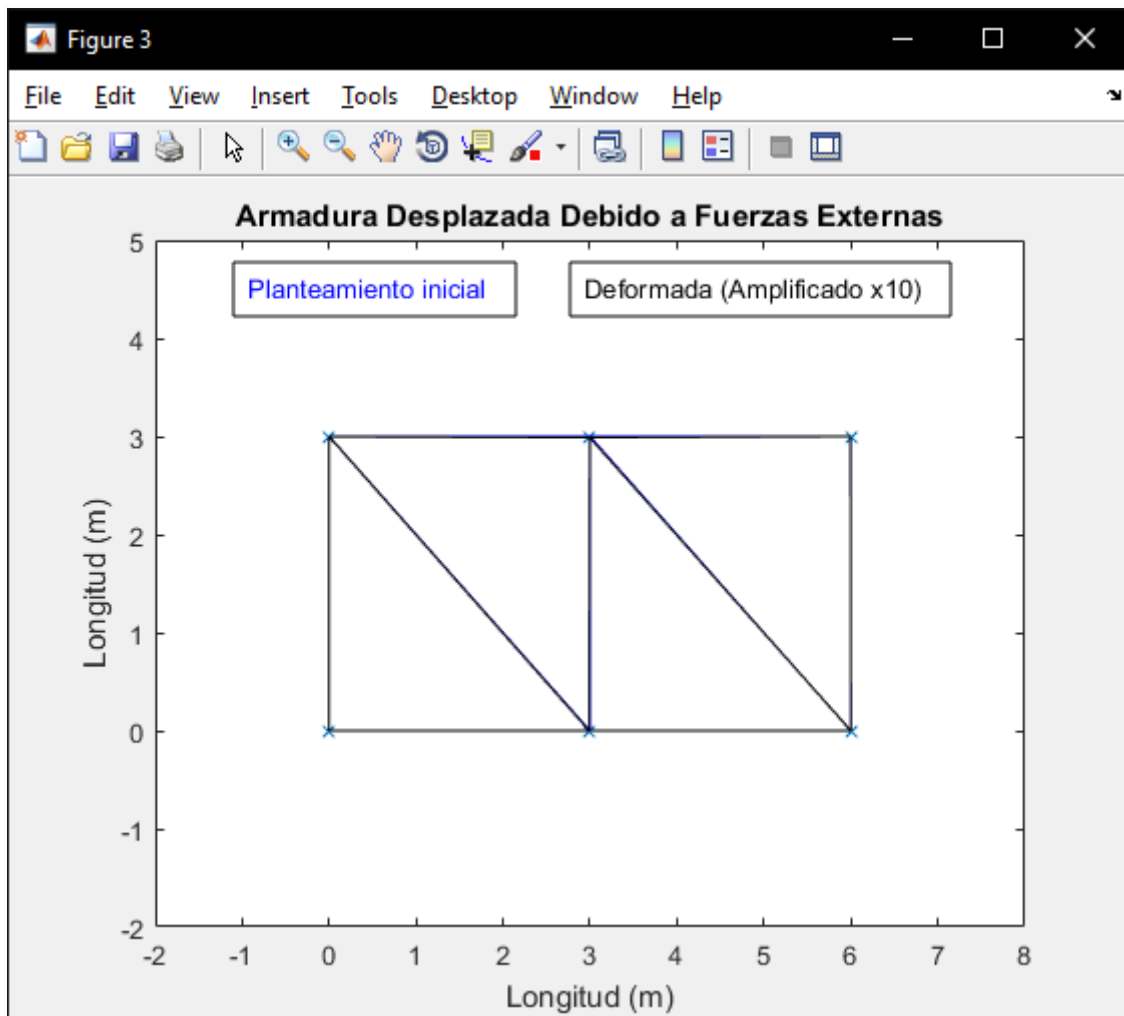


Ilustración 37: Deformación de la armadura 2 con amplificación x10. Fuente propia.

MostrarMatrizEP

Matriz Avanzada de Elementos

	OrdFx	CoordFy	CoordFz	Longitud(m)	PesoUnitario(kg/m)	Area(m2)	Masa Total(kg)	Peso Total(kN)	Carga a Nodos(kN)	E (kN/m2)
2	6	0	0	3	24.7000	0.0031	74.1000	3.0823e-05	-37.0500	210000000
3	6	3	0	3	24.7000	0.0031	74.1000	3.0823e-05	-37.0500	210000000
4	0	3	0	3	24.7000	0.0031	74.1000	3.0823e-05	-37.0500	210000000
5	3	0	0	4.2426	24.7000	0.0031	104.7932	3.0823e-05	-52.3966	210000000
6	3	3	0	3	24.7000	0.0031	74.1000	3.0823e-05	-37.0500	210000000
7	6	0	0	4.2426	24.7000	0.0031	104.7932	3.0823e-05	-52.3966	210000000
8	3	3	0	3	24.7000	0.0031	74.1000	3.0823e-05	-37.0500	210000000
9	6	3	0	3	24.7000	0.0031	74.1000	3.0823e-05	-37.0500	210000000

Barras seleccionadas para cada elemento.

Elemento	Sección
1	1 Viga HEA
2	2 Viga HEA
3	3 Viga HEA
4	4 Viga HEA
5	5 Viga HEA
6	6 Viga HEA
7	7 Viga HEA

Mostrar índices de Sobre-esfuerzos

Ilustración 38: Matriz detallada de elementos 2. Fuente Propia.

SobreEsfuerzos

Si la columna de "Cumple" tiene un cero (0), la capacidad del elemento es inferior a la solicitación.
Si en la misma columna, hay un uno (1), la capacidad del elemento es superior a la solicitación (Recomendado)

Elemento	Solicitación (kN)	Capacidad (kN)	Índice (x100%)	¿Cumple?
3	0.1040E+03	87.7800	7.0220E-01	1
4	-49.9998	87.7800	0.5696	1
5	70.7105	87.7800	0.8055	1
6	-50	87.7800	0.5696	1
7	-70.7105	87.7800	0.8055	1
8	-49.9999	87.7800	0.5696	1
9	0	87.7800	0	1

Cerrar Cambiar Diseño de la Estructura

Ilustración 39: Índices de sobreesfuerzos 2.

Incógnitas Sistema Original

En la tabla que se mostrará a continuación, se encuentran las fuerzas de los elementos sometidos a tensión (Positivos) y compresión (Negativos) siendo enumerados los resultados por elemento desde la primera fila de la tabla (primeras 9 filas) y las últimas 3 indican los resultados de las reacciones siendo la primera fila después de los elementos la primera restricción asignada (Ax), la segunda (Ay) y la última (By).

Fuerza (kN)
0.000
50.000
0.000
-50.000
70.711
-50.000
-70.711
-50.000

0.000
0.000 (Ax)
50.000 (Ay)
50.000 (By)

Tabla 3 Resultados armadura 2 en el software Zenit Trusses.

Para comprobar los resultados del Software Zenit Trusses, se desarrolló la armadura anteriormente planteada, la cual ha sido ingresada en el software web SkyCiv con el objetivo de obtener los resultados y así realizar la respectiva comparación. Cabe resaltar que la carga aplicada en este software.

Solución de la cercha planteada mediante el software SkyCiv

Planteamiento inicial en SkyCiv

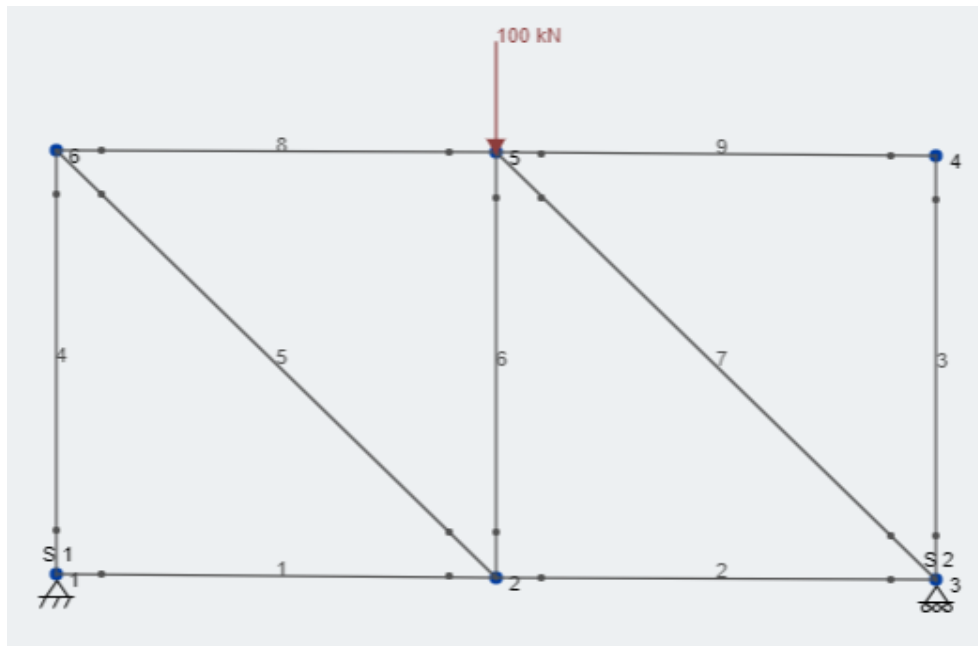


Ilustración 40: Planteamiento inicial de la armadura 2. Fuente: SkyCiv.

En el siguiente gráfico se presentan los datos de los elementos a tensión y compresión arrojados por el programa SkyCiv.

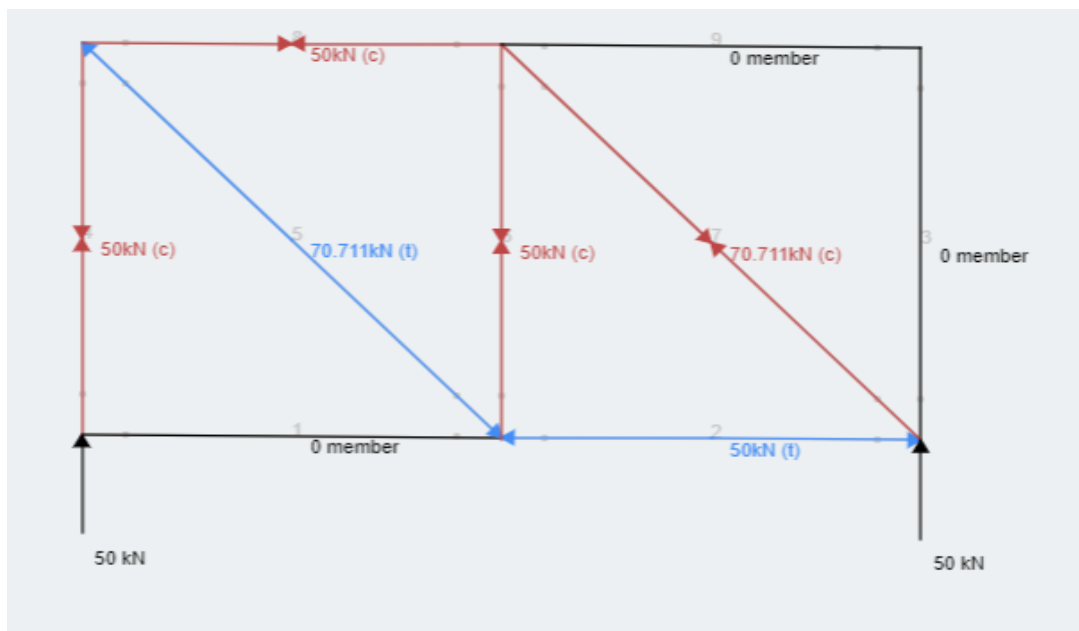


Ilustración 41: Elementos a tensión y compresión de la armadura. Fuente: SkyCiv.

En la siguiente tabla se podrá apreciar los resultados obtenidos mediante el desarrollo de la armadura planteada en los softwares Zenit Trusses y SkyCiv. de esta comparación se obtiene que los resultados son iguales y no presentan diferencia alguna.

Elemento	Fuerza (kN)	
	Zenit Trusses	SkyCiv
<i>1</i>	0	0
<i>2</i>	50	50
<i>3</i>	0	0
<i>4</i>	-50	-50
<i>5</i>	70.711	70.711
<i>6</i>	-50	-50
<i>7</i>	-70.711	-70.711
<i>8</i>	-50	-50
<i>9</i>	0	0
<i>Ax</i>	0	0
<i>Ay</i>	50	50
<i>BY</i>	50	50

Tabla 4 Comparación de resultados de la armadura 2 en Zenit Trusses y SkyCiv

Ejemplo 3

Se plantea una armadura tipo Warren implementada como red de celosías para el apoyo de construcción de puentes



Ilustración 42: Armadura para el apoyo de puentes tomada de [https://es.wikipedia.org/wiki/Armadura_\(estructura\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Armadura_(estructura))

Planteamiento de la cercha

A continuación, se presenta el planteamiento de una armadura tipo Warren la cual se desea analizar en los diferentes programas, esta cercha cuenta con las siguientes características: 5 nodos, 7 elementos, 3 reacciones y dos cargas puntuales de -40 kN en el nodo 4 y -20 kN en el nodo 5.

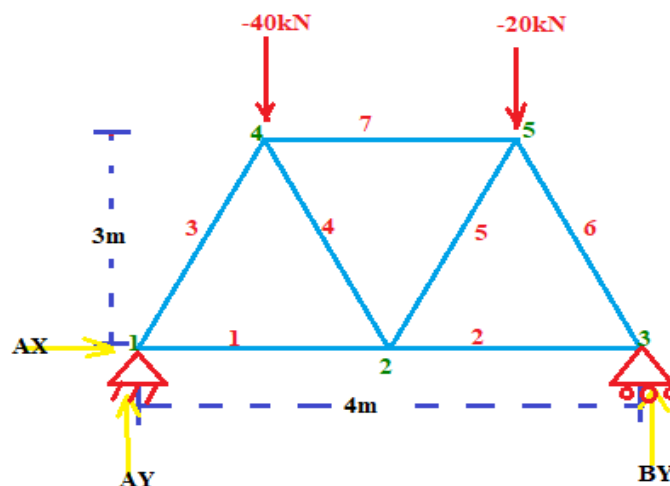


Ilustración 43: Planteamiento de la armadura 3.

Solución de la cercha planteada mediante el software ZENIT TRUSSES

En la siguiente imagen se plantean las condiciones iniciales de la cercha, las cuales son la matriz de nodos, elementos, reacciones y fuerzas externas

MostrarMatrices

Panel

Matriz De Coordenadas

	Nodo	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z
2	2	2	0	0
3	3	4	0	0
4	4	1	3	0
5	5	3	3	0

Matriz De Elementos

	Elemento	Nodo Inicial	Nodo Final
4	4	4	2
5	5	2	5
6	6	5	3
7	7	4	5

Matriz De Reacciones

	Nodo	Reaccion X	Reaccion Y	Reaccion Z
1	1	1	1	0
2	3	0	1	0

Matriz De Fuerzas Externas

	Nodo	Fuerza X	Fuerza Y	Fuerza Z
2	2	0	0	0
3	3	0	0	0
4	4	0	-40	0
5	5	0	-20	0

Atrás

Ilustración 44: Condiciones iniciales de la armadura 3. Fuente Propia.

A continuación, se mostrarán los gráficos de resultados después del análisis realizado por el software:

Planteamiento de la armadura en el programa zenit Trusses

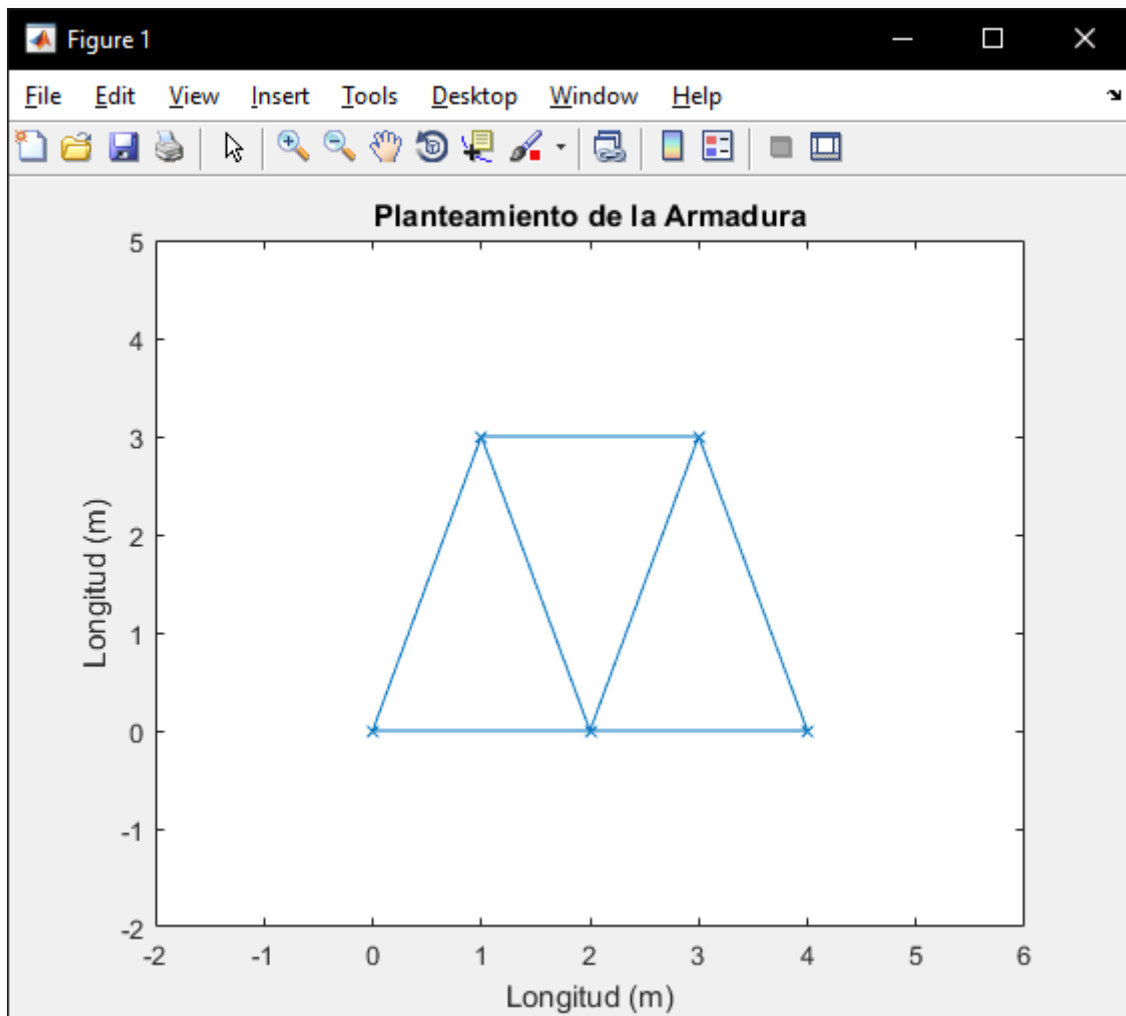


Ilustración 45: Planteamiento inicial de la armadura 3. Fuente propia.

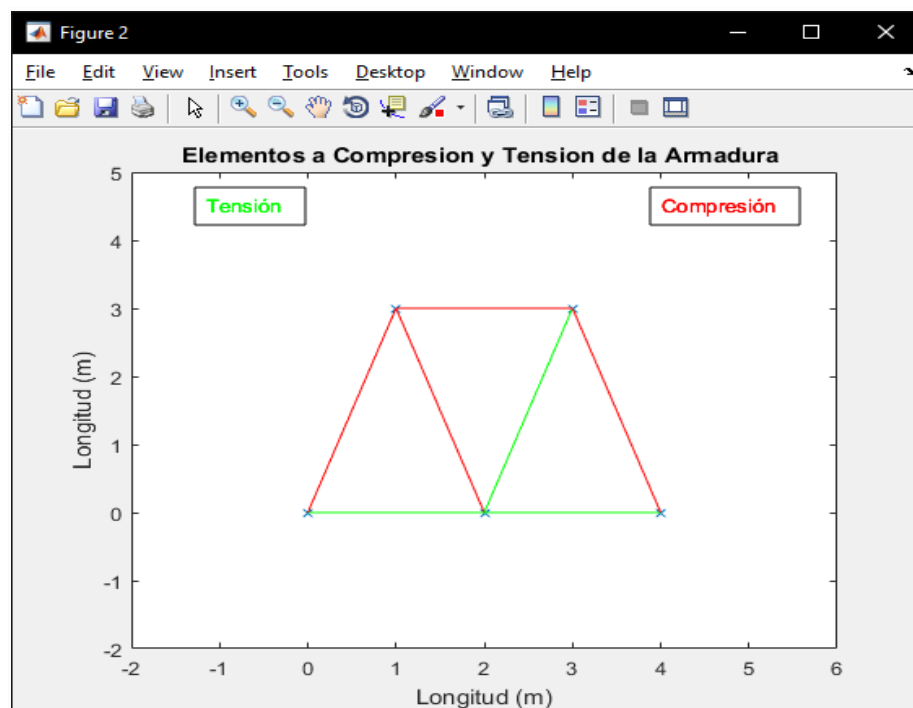


Ilustración 46: Elementos a tensión y compresión de la armadura 3. Fuente propia.

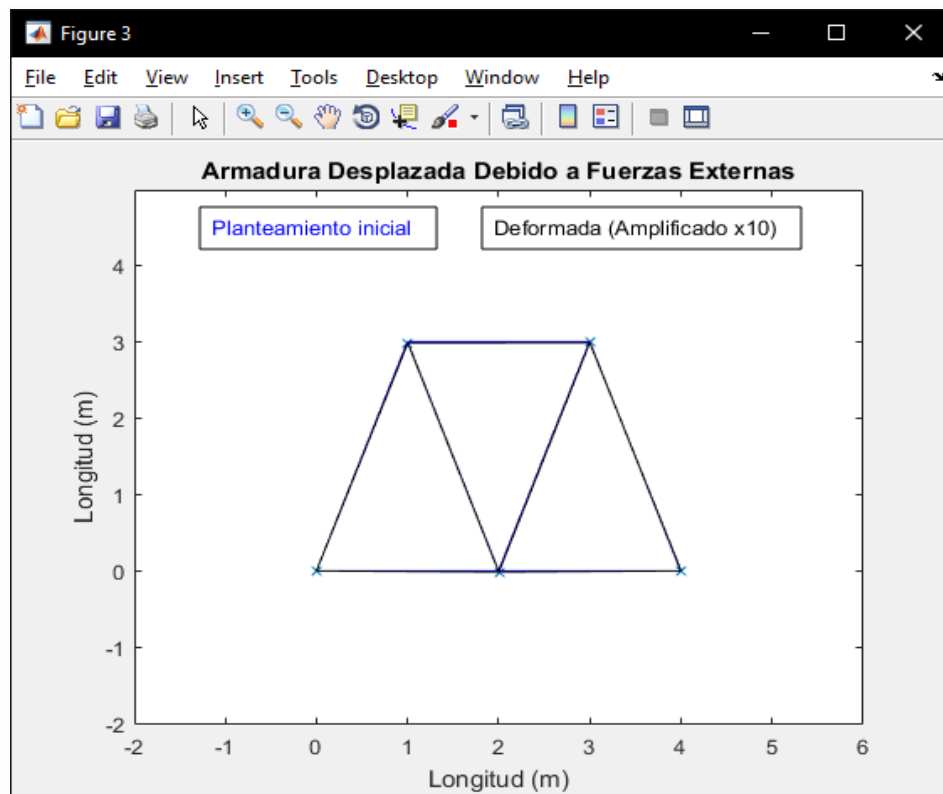


Ilustración 47: Deformación de la armadura 3 con amplificación x10. Fuente propia.

MostrarMatrizEP

Matriz Avanzada de Elementos

	CoordFx	CoordFy	CoordFz	Longitud(m)	PesoUnitario(kg/m)	Area(m2)	Masa Total(kg)	Peso Total(kN)	Carga a Nodos(kN)	E (kN/m2)
1	2	0	0	2	2.9800	4.0310e-04	5.9600	3.9544e-06	-2.9800	210000000
2	4	0	0	2	2.9800	4.0310e-04	5.9600	3.9544e-06	-2.9800	210000000
3	1	3	0	3.1623	2.9800	4.0310e-04	9.4236	3.9544e-06	-4.7118	210000000
4	2	0	0	3.1623	2.9800	4.0310e-04	9.4236	3.9544e-06	-4.7118	210000000
5	3	3	0	3.1623	2.9800	4.0310e-04	9.4236	3.9544e-06	-4.7118	210000000
6	4	0	0	3.1623	2.9800	4.0310e-04	9.4236	3.9544e-06	-4.7118	210000000
7	3	3	0	2	2.9800	4.0310e-04	5.9600	3.9544e-06	-2.9800	210000000

Barras seleccionadas para cada elemento.

Elemento	Sección
1	1 Sección C50
2	2 Sección C50
3	3 Sección C50
4	4 Sección C50
5	5 Sección C50
6	6 Sección C50
7	7 Sección C50

Mostrar índices de Sobre-esfuerzos

Ilustración 48: Matriz detallada de elementos 3. Fuente Propia.

SobreEsfuerzos

Si la columna de "Cumple" tiene un cero (0), la capacidad del elemento es inferior a la solicitud.
Si en la misma columna, hay un uno (1), la capacidad del elemento es superior a la solicitud (Recomendado)

	nto	Solicitud (kN)	Capacidad (kN)	Índice (x100%)	¿Cumple?
1	1	11.6667	169.3020	0.0689	1
2	2	8.3333	169.3020	0.0492	1
3	3	-36.8932	169.3020	0.2179	1
4	4	-5.2705	169.3020	0.0311	1
5	5	5.2705	169.3020	0.0311	1
6	6	-26.3523	169.3020	0.1557	1
7	7	10.0000	169.3020	0.0594	1

Cerrar Cambiar Diseño de la Estructura

Ilustración 49: Índices de sobreesfuerzos 3.

Incógnitas Sistema Original

En la tabla que se mostrará a continuación, se encuentran las fuerzas de los elementos sometidos a tensión (Positivos) y compresión (Negativos) siendo enumerados los resultados por elemento desde la primera fila de la tabla (primeras 9 filas) y las últimas 3 indican los resultados de las reacciones siendo la primera fila después de los elementos la primera restricción asignada (Ax), la segunda (Ay) y la última (By).

Fuerza (kN)
11.667

8.333
-36.893
-5.270
5.270
-26.352
-10
0 (Ax)
35 (Ay)
25 (By)

Tabla 5 Resultados para la armadura 3 Zenit Trusses.

Para comprobar los resultados del Software Zenit Trusses, se desarrolló la armadura anteriormente planteada, la cual ha sido ingresada en el software web SkyCiv con el objetivo de obtener los resultados y así realizar la respectiva comparación. Cabe resaltar que la carga aplicada en este software.

Solución de la cercha planteada mediante el software SkyCiv

Planteamiento inicial en SkyCiv

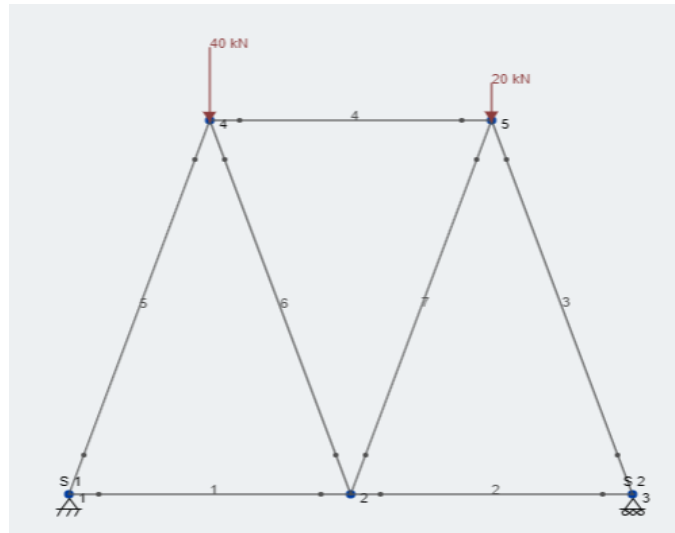


Ilustración 50: Planteamiento inicial de la armadura 3. Fuente: SkyCiv.

En el siguiente gráfico se presentan los datos de los elementos a tensión y compresión arrojados por el programa SkyCiv.

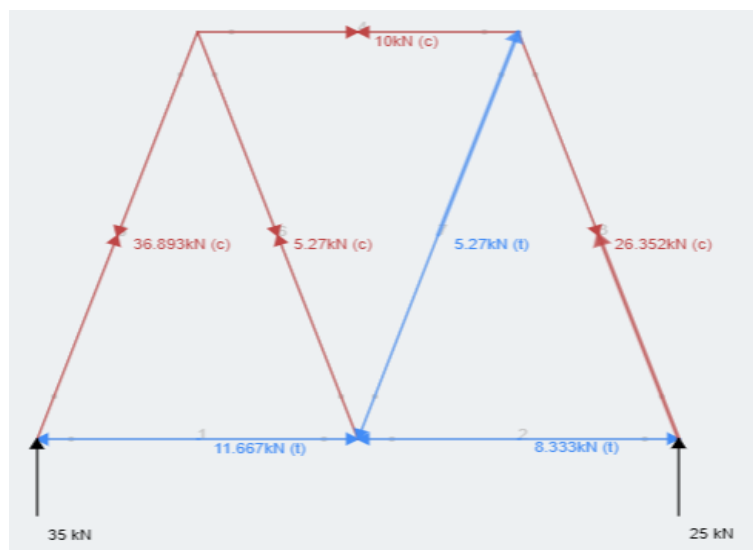


Ilustración 51: Elementos a tensión y compresión de la armadura 3. Fuente: SkyCiv.

En la siguiente tabla se podrá apreciar los resultados obtenidos mediante el desarrollo de la armadura planteada en los softwares Zenit Trusses y SkyCiv. de esta comparación se obtiene que los resultados son iguales y no presentan diferencia alguna.

Elemento	Fuerza (kN)
----------	-------------

	Zenit Trusses	SkyCiv
1	11.667	11.667
2	8.333	8.333
3	-36.893	-36.893
4	-5.270	-5.270
5	5.270	5.270
6	-26.352	-26.352
7	-10	-10
A_x	0	0
A_y	35	35
B_y	25	25

Tabla 6 Comparación de resultados de la armadura 3 en Zenit Trusses y SkyCiv.

CONCLUSIONES

- Con la comparación de los resultados arrojados por los programas Zenit Trusses y SkyCiv a la hora de solucionar los tres ejemplos, se determinó que el software Zenit Trusses presenta una diferencia de error del 0%. siendo comparados los datos de los elementos a compresión y tensión de los dos programas, los cuales dan como resultado los mismos valores sin ningún rango de diferencia entre ellos.
- Zenit Trusses posee una base de datos de materiales comerciales vigentes en el mercado, lo cual permite tener una ventaja sobre otros softwares.

- Es fundamental el conocimiento de la programación orientada a objetos con el fin de desarrollar un software que posea varios elementos en su análisis, esta metodología puede facilitar la construcción del código ya que hace posible solucionar el problema en varias partes.
- Al solucionar los diferentes ejemplos planteados en otros softwares como skyciv se determinó que los gráficos de planteamiento, análisis y desplazamiento de las estructuras se encontrar de forma correcta ya que estos no presentan ninguna discrepancia y sus resultados son iguales
- A partir de la implementación de la interfaz gráfica de usuario al software, se hizo más fácil entender el funcionamiento del mismo ya que da la posibilidad de abrir el manual y distintos ejemplos durante su ejecución lo cual mejora la interacción entre el software y el usuario.
- Una de las grandes ventajas que ofrece Zenit Trusses, es la posibilidad de analizar los datos resultantes en una hoja de cálculo, de esta manera el diseñador puede realizar cambios y ajustes en su diseño a criterio propio.
- Debido a que es un software liviano, no se requieren equipos con grandes capacidades para ejecutarlo. La velocidad de ejecución de sus procesos es óptima, por lo que se pueden hacer diseños de manera rápida y efectiva.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Chen, W.F. (2008). *Advanced analysis for structural steel building design*. *Front. Archit. Civ. Eng. China* 2, 189–<https://doi-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/10.1007/s11709-008-0024-8>

[2] Blanco, J. L. (2012). *Análisis estático de estructuras por el método matricial* (1.a ed., Vol. 1) [Libro electrónico]. Intercambio científico.

[3] Mroginski. Javier L. (2013). *Principio de Trabajos Virtuales* (N.o 7). Unne.
http://ing.unne.edu.ar/mecap/Apuntes/Estabilidad_1/TeoriaPTV.pdf

[4] OJEDA RUIZ. J (2010). *ANÁLISIS ESTRUCTURAL* (N.o 1). U Baja California.
http://ing.ens.uabc.mx/docencia/apuntes/civil/analisis_estructural.pdf

[5] Rozaningo Z B. (2014) *Maximizando reúso en software para Ingeniería Estructural*. La plata, Argentina. Revista Sedici.