



Universidad
LOYOLA

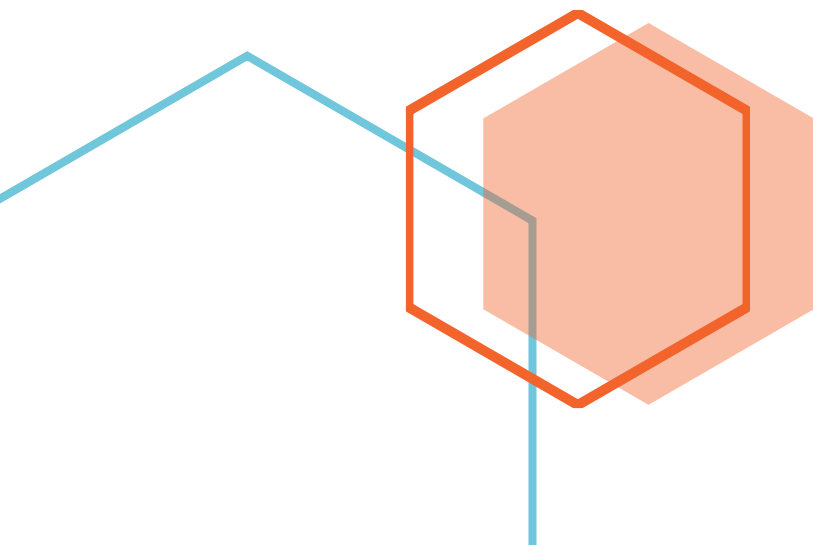


TRABAJO DE CURSO

Simulación de materiales y
estructuras

Realizado por:

María José González Rey



índice

Tabla de ilustraciones	1
Introducción.....	2
Instrucciones	3
Representación inicial	3
a. Representar la estructura, indicando gráficamente los tres tipos de barra	3
b. Identificar debidamente los nodos y elementos de la estructura.	4
Barras biarticuladas, y asumiendo la hipótesis de pequeños desplazamientos.....	5
c. Calcular los desplazamientos nodales de la estructura	5
d. Determinar las reacciones en los apoyos y comprobar que los resultados cumplen equilibrio. 5	
e. Representar la estructura deformada, utilizando una escala de colores para la tensión.....	7
f. Identificar la barra con mayor tensión, y pruebe si alguna falla.....	7
Nudos rígidos.....	9
g. Calcular los desplazamientos nodales de la estructura	9
h. Determinar las reacciones en los apoyos y comprobar que los resultados cumplen equilibrio. 10	
i. Representar la estructura deformada, utilizando una escala de colores para la tensión.....	11
j. Identificar la barra con mayor tensión, y pruebe si alguna falla.....	12
Conclusión	13

Tabla de ilustraciones

Figure 1: Estructura asignada	2
Figure 2: Apartado a	3
Figure 3: Apartado b	4
Figure 4: Apartado c	5
Figure 5: Apartado d	6
Figure 6: Código apartado d	6
Figure 7: Resultado equilibrio apartado d.....	6
Figure 8: Apartado e	7
Figure 9: Apartado f	7
Figure 10: Resultado apartado f mayor tensión	8
Figure 11: Código apartado f	8
Figure 12: Resultado apartado f	8
Figure 13: Apartado g	9
Figure 14: Apartado h	10
Figure 15: Código apartado h	11
Figure 16: Resultado apartado h equilibrio	11
Figure 17: Apartado i.....	11
Figure 18: Apartado j.....	12
Figure 19: Resultado apartado f	12
Figure 20: Código apartado j.....	12
Figure 21: Resultado apartado j.....	13

Introducción

El análisis estructural es fundamental en ingeniería para predecir el comportamiento de las estructuras bajo diversas condiciones de carga. Este proyecto se centra en el desarrollo de un código capaz de simular cualquier estructura, partiendo de un fichero de datos de entrada.

El trabajo utiliza el método matricial de rigidez, que permite calcular desplazamientos, tensiones y reacciones en los apoyos de forma eficiente. El programa desarrollado en Matlab se compone de módulos para la lectura de datos, preprocesamiento, solución del sistema de ecuaciones y representación gráfica. Además, se analizan escenarios con diferentes configuraciones estructurales, como nudos rígidos y grandes desplazamientos, ampliando las capacidades del código.

Este enfoque combina teoría y simulación computacional, con el objetivo de ofrecer una herramienta versátil para el análisis de estructuras en proyectos de ingeniería.

En concreto, estaremos analizando la siguiente estructura (11):

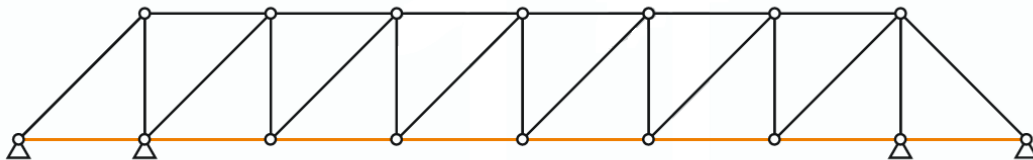


Figure 1: Estructura asignada

Mide 50m de ancho y 5m de alto. Sobre la barra coloreada en naranja actúa una carga vertical con sentido descendente de 2-MN, que se reparte uniformemente entre todos los nodos de la banda de rodadura del Puente.

Se distinguen tres tipos de barra:

1. Los elementos horizontales están formados por barras de tipo 1.
2. Los elementos verticales están formados por barras de tipo 2.
3. El resto de los elementos son de tipo 3.

BARRA TIPO	SECCIÓN	DIMENSIONES	E	Sy
1	Rectangular	15x10 cm	200 GPa	250 MPa
2	Cuadrada	12 x 12 cm	160 GPa	250 Mpa
3	Circular	180 mm (diámetro)	160 GPa	210 MPa

* Sy: valor máximo que puede tener la tensión sin que la barra se rompa.

Instrucciones

- Las dimensiones de la figura para calcular su área se pedirán al principio del programa por pantalla. Deben ponerse en metros.
- El input se ha mantenido como el que tuvimos al principio, a excepción de añadirle una columna más a los apoyos y a las cargas.
 - Nodos: coord. X, coord. Y.
 - Apoyos: nº nodo, eje x, eje, eje z (eje z solo para rígidos).
 - Material en Pa(un único valor).
 - Área en metros(un único valor).
 - Elementos: nodos conectados (nodo 1, nodo 2), material, área.
 - Cargas: nodo, carga eje x, carga eje y, carga eje z (eje z solo para rígidos).
- Los valores de la inercia están declarados en el preprocesador (línea 52-62). Para el caso de nudos rígidos (buscar "Determinar el momento de inercia según el material").
- El límite del valor de la tensión para que se rompa está en el main en la línea 44 para los nodos articulados y en la 46 para el caso de los nodos rígidos (buscar "limite_tension = [250e6, 250e6, 210e6]").

Representación inicial

a. Representar la estructura, indicando gráficamente los tres tipos de barra

Nuestro código comienza con un menú en el que seleccionamos la opción que nos interesa representar. Para este apartado seleccionamos la 1:

1: Representar la estructura, indicando gráficamente los tres tipos de barra.

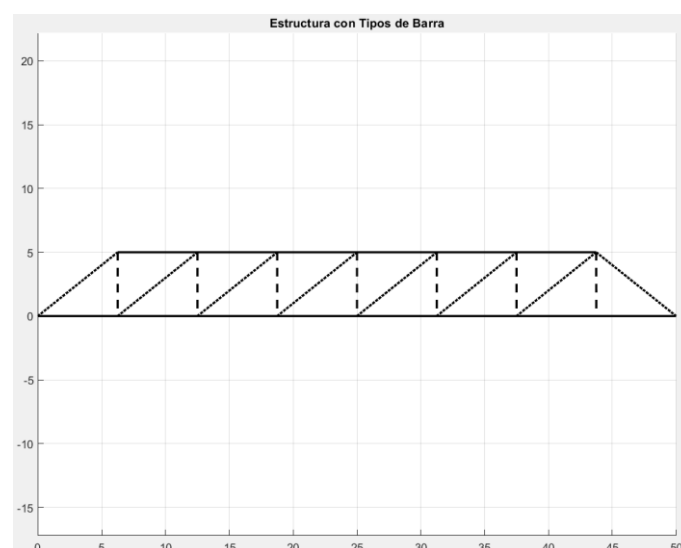


Figure 2: Apartado a

Observamos como aparece la estructura con los distintos tipos de barra representados de forma distinta:

1. Los elementos horizontales están formados por barras de tipo 1 (_____) .
2. Los elementos verticales están formados por barras de tipo 2 (- - - - -) .
3. El resto de los elementos son de tipo 3 (- - - - -) .

b. Identificar debidamente los nodos y elementos de la estructura.

Nuestro código comienza con un menú en el que seleccionamos la opción que nos interesa representar. Para este apartado seleccionamos la 2:

2: Identificar debidamente los nodos y elementos de la estructura.

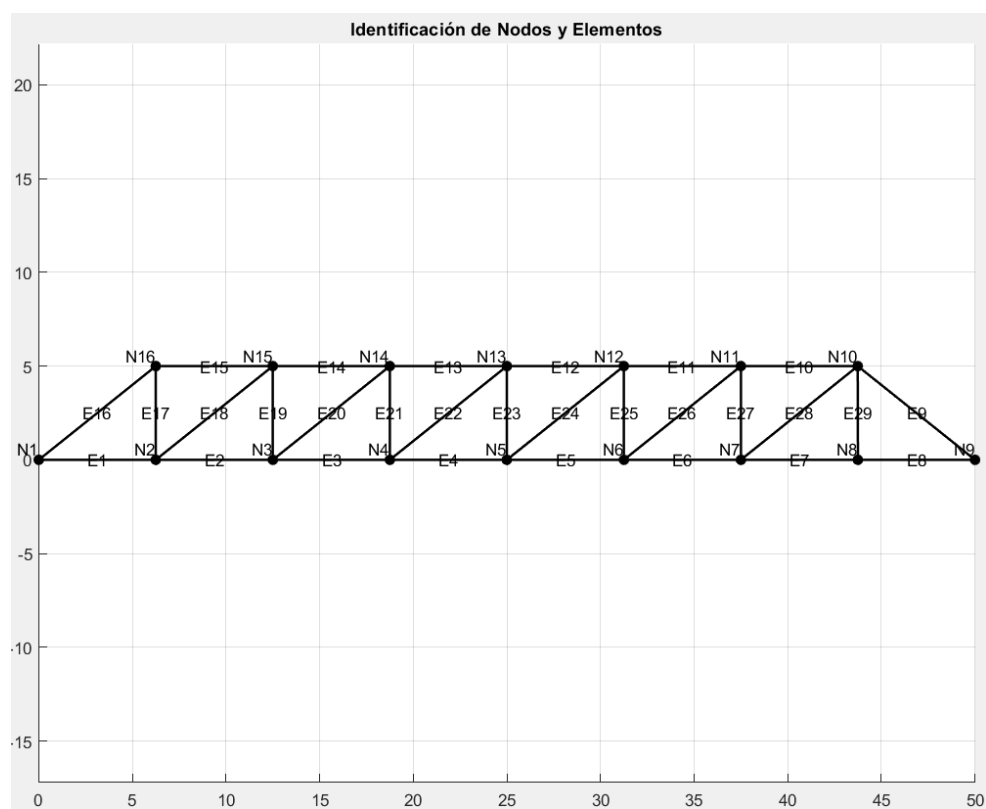


Figure 3: Apartado b

Barras biarticuladas, y asumiendo la hipótesis de pequeños desplazamientos

c. Calcular los desplazamientos nodales de la estructura

Obtenemos los siguientes desplazamientos nodales:

DESPLAZAMIENTOS NODALES:

1.0e-03 *

0
0
0
0
-0.0031
-0.4823
0.0037
-0.7886
0.0139
-0.8939
0.0210
-0.7897
0.0186
-0.4838
0
0
0
0
-0.0458
-0.0150
-0.0315
-0.4919
-0.0075
-0.7923
0.0196
-0.8910
0.0432
-0.7803
0.0570
-0.4686
0.0542
-0.0023

Figure 4: Apartado c

d. Determinar las reacciones en los apoyos y comprobar que los resultados cumplen equilibrio.

Obtenemos las siguientes reacciones en los apoyos:

REACCIONES EN LOS APOYOS:

1.0e+05 *

-1.3013

-1.0410

9.3865

7.3527

0

-2.5000

0

-2.5000

0

-2.5000

0

-2.5000

0

-2.5000

-8.9252

6.8592

0.8400

-0.6709

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

Figure 5: Apartado d

Para comprobar que se cumpla el equilibrio hemos sumado las reacciones en x y en y, y hemos comprobado que su suma de 0:

```

suma_fx = sum(PROB.P(1:2:end));
suma_fy = sum(PROB.P(2:2:end));

% Verificar el equilibrio
if abs(suma_fx) <= tolerancia && abs(suma_fy) <= tolerancia
    disp('EL SISTEMA CUMPLE CON EL EQUILIBRIO.');
```

disp('Suma de fuerzas en X: %.6f\n', suma_fx);
fprintf('Suma de fuerzas en Y: %.6f\n', suma_fy);

```

else
    disp('EL SISTEMA NO CUMPLE CON EL EQUILIBRIO.');
```

fprintf('Suma de fuerzas en X: %.6f\n', suma_fx);
fprintf('Suma de fuerzas en Y: %.6f\n', suma_fy);

```

end
```

Figure 6: Código apartado d

Obteniendo el siguiente resultado por pantalla:

```

EL SISTEMA CUMPLE CON EL EQUILIBRIO.
Suma de fuerzas en X: -0.000000
Suma de fuerzas en Y: -0.000000
```

Figure 7: Resultado equilibrio apartado d

e. Representar la estructura deformada, utilizando una escala de colores para la tensión.

Nuestro código comienza con un menú en el que seleccionamos la opción que nos interesa representar. Para este apartado seleccionamos la 3:

3: Representar la estructura deformada, utilizando una escala de colores para la tensión.

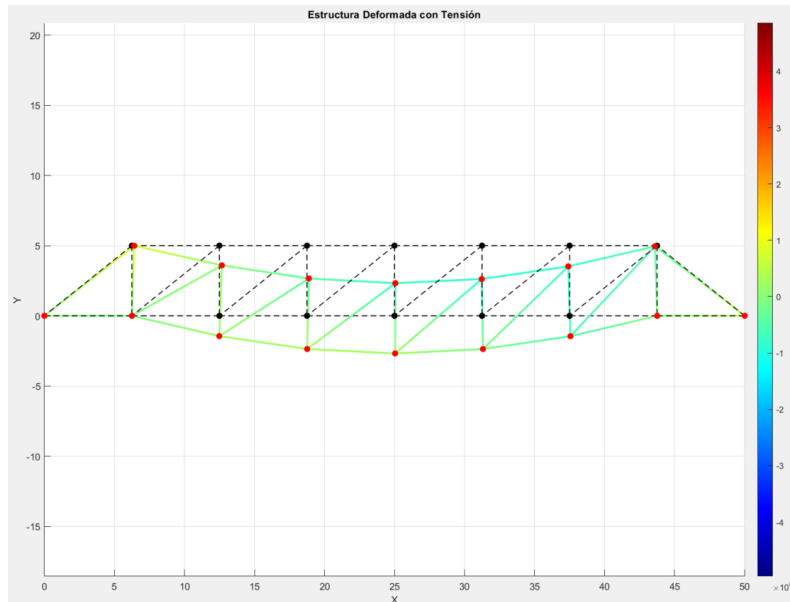


Figure 8: Apartado e

f. Identificar la barra con mayor tensión, y pruebe si alguna falla.

Nuestro código comienza con un menú en el que seleccionamos la opción que nos interesa representar. Para este apartado seleccionamos la 4:

4: Representar la estructura, con la barra con mayor tensión identificada.

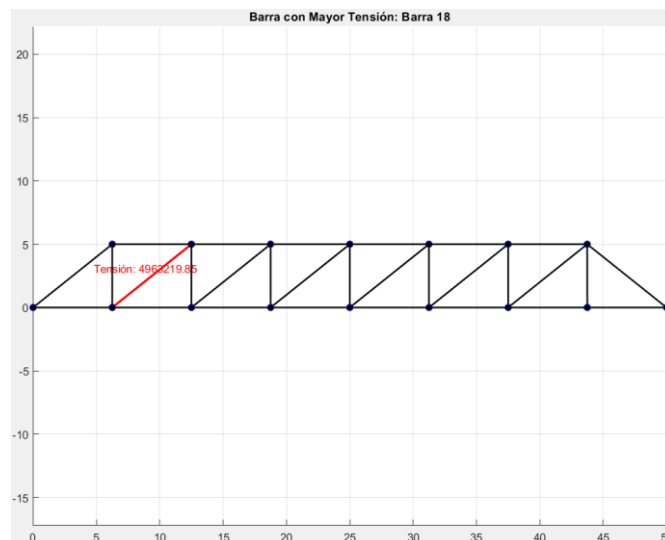


Figure 9: Apartado f

Además de representarlo gráficamente, también se muestra por pantalla:

```
LA BARRA CON MAYOR TENSIÓN ES LA 18.
La tensión máxima es 4963219.85 Pa.
Los nodos que conforman la barra son N15 y N2.
```

Figure 10: Resultado apartado f mayor tensión

Para comprobar si alguna falla se usan los índices Sy dados:

```
%% Determinar si las barras se rompen:
limite_tension = [250e6, 250e6, 210e6]; % Límites de tensión para los tipos 1, 2 y 3
% Inicializar un vector para almacenar el estado de las barras
estado_barras = cell(size(PROB.elem, 1), 1);

for i = 1:size(PROB.elem, 1)
    tipo_barra = PROB.elem(i, 4);
    tension = PROB.tensiones(i);

    if abs(tension) > limite_tension(tipo_barra)
        estado_barras{i} = 'Se rompe';
    else
        estado_barras{i} = 'No se rompe';
    end
end

fprintf('Resultados de las barras:\n');
for i = 1:size(PROB.elem, 1)
    fprintf('Barra %d (Tipo %d): Tensión = %.2f Pa -> %s\n', ...
        i, PROB.elem(i, 4), PROB.tensiones(i), estado_barras{i});
end
```

Figure 11: Código apartado f

Resultado obtenido por pantalla:

```
Resultados de las barras:
Barra 1 (Tipo 1): Tensión = 0.00 Pa -> No se rompe
Barra 2 (Tipo 1): Tensión = -99717.65 Pa -> No se rompe
Barra 3 (Tipo 1): Tensión = 217713.95 Pa -> No se rompe
Barra 4 (Tipo 1): Tensión = 326943.72 Pa -> No se rompe
Barra 5 (Tipo 1): Tensión = 227980.19 Pa -> No se rompe
Barra 6 (Tipo 1): Tensión = -79182.17 Pa -> No se rompe
Barra 7 (Tipo 1): Tensión = -593738.04 Pa -> No se rompe
Barra 8 (Tipo 1): Tensión = 0.00 Pa -> No se rompe
Barra 9 (Tipo 3): Tensión = 527696.24 Pa -> No se rompe
Barra 10 (Tipo 1): Tensión = -459510.59 Pa -> No se rompe
Barra 11 (Tipo 1): Tensión = -766669.15 Pa -> No se rompe
Barra 12 (Tipo 1): Tensión = -865626.64 Pa -> No se rompe
Barra 13 (Tipo 1): Tensión = -756390.88 Pa -> No se rompe
Barra 14 (Tipo 1): Tensión = -438955.65 Pa -> No se rompe
Barra 15 (Tipo 1): Tensión = 86704.30 Pa -> No se rompe
Barra 16 (Tipo 3): Tensión = 818045.86 Pa -> No se rompe
Barra 17 (Tipo 2): Tensión = -72328.97 Pa -> No se rompe
Barra 18 (Tipo 3): Tensión = -4960662.89 Pa -> No se rompe
Barra 19 (Tipo 2): Tensión = 438157.37 Pa -> No se rompe
Barra 20 (Tipo 3): Tensión = -2995662.24 Pa -> No se rompe
Barra 21 (Tipo 2): Tensión = 264618.61 Pa -> No se rompe
Barra 22 (Tipo 3): Tensión = -1030853.45 Pa -> No se rompe
Barra 23 (Tipo 2): Tensión = 91086.25 Pa -> No se rompe
Barra 24 (Tipo 3): Tensión = 933905.31 Pa -> No se rompe
Barra 25 (Tipo 2): Tensión = -82445.96 Pa -> No se rompe
Barra 26 (Tipo 3): Tensión = 2898709.40 Pa -> No se rompe
Barra 27 (Tipo 2): Tensión = -255984.06 Pa -> No se rompe
Barra 28 (Tipo 3): Tensión = 4858908.25 Pa -> No se rompe
Barra 29 (Tipo 2): Tensión = -476206.14 Pa -> No se rompe
```

Figure 12: Resultado apartado f

Nudos rígidos

g. Calcular los desplazamientos nodales de la estructura

Obtenemos los siguientes desplazamientos nodales:

DESPLAZAMIENTOS NODALES:

1.0e-03 *

```

0
0
0
0
0
0
0
-0.0031
-0.4821
0
0.0037
-0.7881
0
0.0139
-0.8934
0
0.0210
-0.7893
0
0.0186
-0.4836
0
0
0
0
0
0
0
-0.0458
-0.0150
0
-0.0314
-0.4916
0
-0.0075
-0.7919
0
0.0196
-0.8905
0
0.0432
-0.7799
0
0.0569
-0.4684
0
0.0542
-0.0023
0

```

Figure 13: Apartado g

En comparación con el apartado c, observamos como en este apartado los desplazamientos son algo menores. Esta reducción en los desplazamientos nodales confirma el efecto de las restricciones adicionales de los nudos rígidos sobre la deformación de la estructura. La comparación también destaca cómo el comportamiento estructural cambia al pasar de un sistema más flexible (articulado) a uno más rígido, lo cual debe considerarse en el diseño dependiendo de los requerimientos de carga y deformación.

h. Determinar las reacciones en los apoyos y comprobar que los resultados cumplen equilibrio.

Obtenemos las siguientes reacciones en los apoyos:

REACCIONES EN LOS APOYOS:

1.0e+05 *

-1.3004
-1.0402
0.0003
9.3807
7.3519
0.0076
0
-2.5000
0.0092
0
-2.5000
0.0045
0
-2.5000
-0.0007
0
-2.5000
-0.0058
0
-2.5000
-0.0103
-8.9197
6.8587
-0.0045
0.8394
-0.6704
-0.0003
0
0
-0.0079
0
0
-0.0091
0
0
-0.0044
0
0
0.0008
0
0
0.0059
0
0
0.0102
0
0
0.0047

Figure 14: Apartado h

Para comprobar que se cumpla el equilibrio hemos sumado las reacciones en x y en y, y hemos comprobado que su suma de 0:

```

suma_fx = sum(PROB.P(1:3:end));
suma_fy = sum(PROB.P(2:3:end));
suma_mz = sum(PROB.P(3:3:end));

% Verificar el equilibrio
if abs(suma_fx) <= tolerancia && abs(suma_fy) <= tolerancia && abs(suma_mz) <= tolerancia
    disp('EL SISTEMA CUMPLE CON EL EQUILIBRIO EN FUERZAS Y MOMENTOS.');
```

```

    fprintf('Suma de fuerzas en X: %.6f\n', suma_fx);
    fprintf('Suma de fuerzas en Y: %.6f\n', suma_fy);
    fprintf('Suma de momentos en Z: %.6f\n', suma_mz);
else
    disp('EL SISTEMA NO CUMPLE CON EL EQUILIBRIO EN FUERZAS Y/O MOMENTOS.');
```

```

    fprintf('Suma de fuerzas en X: %.6f\n', suma_fx);
    fprintf('Suma de fuerzas en Y: %.6f\n', suma_fy);
    fprintf('Suma de momentos en Z: %.6f\n', suma_mz);
end
```

Figure 15: Código apartado h

Obteniendo el siguiente resultado por pantalla:

```

EL SISTEMA CUMPLE CON EL EQUILIBRIO EN FUERZAS Y MOMENTOS.
Suma de fuerzas en X: 0.000000
Suma de fuerzas en Y: -0.000000
Suma de momentos en Z: -0.000000
```

Figure 16: Resultado apartado h equilibrio

i. Representar la estructura deformada, utilizando una escala de colores para la tensión.

Nuestro código comienza con un menú en el que seleccionamos la opción que nos interesa representar. Para este apartado seleccionamos la 3:

3: Representar la estructura deformada, utilizando una escala de colores para la tensión.

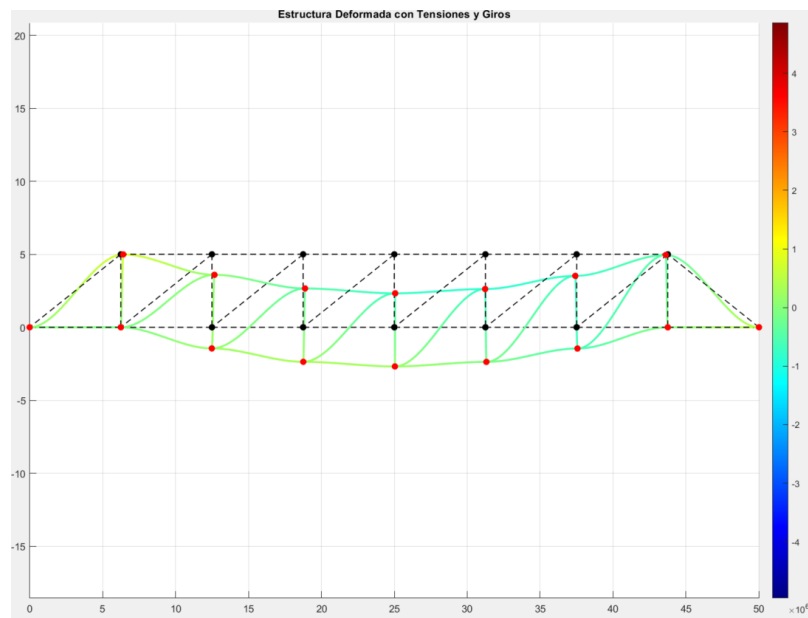


Figure 17: Apartado i

j. Identificar la barra con mayor tensión, y pruebe si alguna falla.

Nuestro código comienza con un menú en el que seleccionamos la opción que nos interesa representar. Para este apartado seleccionamos la 4:

4: Representar la estructura, con la barra con mayor tensión identificada.

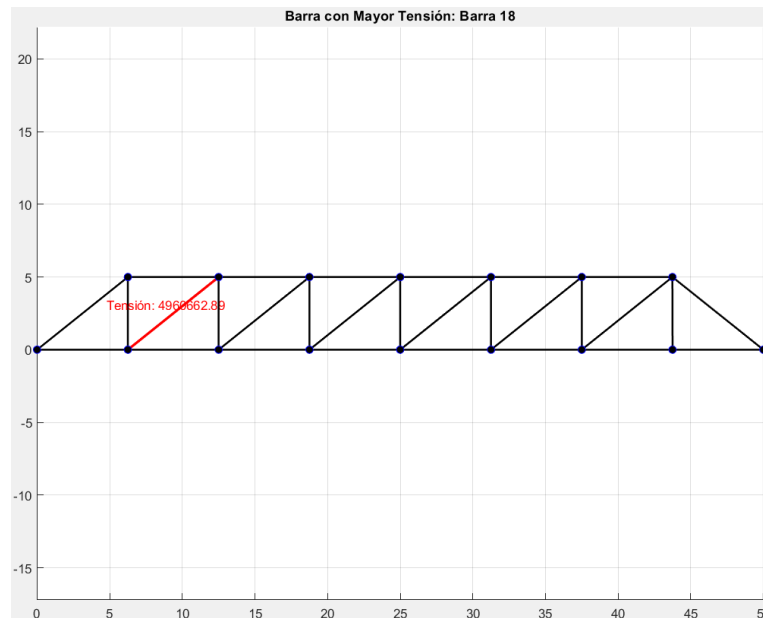


Figure 18: Apartado j

Además de representarlo gráficamente, también se muestra por pantalla:

```
LA BARRA CON MAYOR TENSIÓN ES LA 18.
La tensión máxima es 4960662.89 Pa.
Los nodos que conforman la barra son N15 y N20.
```

Figure 19: Resultado apartado f

Para comprobar si alguna falla se usan los índices Sy dados:

```
%% Determinar si las barras se rompen:
limite_tension = [250e6, 250e6, 210e6]; % Límites de tensión para los tipos 1, 2 y 3
% Inicializar un vector para almacenar el estado de las barras
estado_barras = cell(size(PROB.elem, 1), 1);

for i = 1:size(PROB.elem, 1)
    tipo_barra = PROB.elem(i, 4);
    tension = PROB.tensiones(i);

    if abs(tension) > limite_tension(tipo_barra)
        estado_barras{i} = 'Se rompe';
    else
        estado_barras{i} = 'No se rompe';
    end
end

fprintf('Resultados de las barras:\n');
for i = 1:size(PROB.elem, 1)
    fprintf('Barra %d (Tipo %d): Tensión = %.2f Pa -> %s\n', ...
        i, PROB.elem(i, 4), PROB.tensiones(i), estado_barras{i});
end
```

Figure 20: Código apartado j

Resultado obtenido por pantalla:

```
Resultados de las barras:
Barra 1 (Tipo 1): Tensión = 0.00 Pa -> No se rompe
Barra 2 (Tipo 1): Tensión = -99717.65 Pa -> No se rompe
Barra 3 (Tipo 1): Tensión = 217713.95 Pa -> No se rompe
Barra 4 (Tipo 1): Tensión = 326943.72 Pa -> No se rompe
Barra 5 (Tipo 1): Tensión = 227980.19 Pa -> No se rompe
Barra 6 (Tipo 1): Tensión = -79182.17 Pa -> No se rompe
Barra 7 (Tipo 1): Tensión = -593738.04 Pa -> No se rompe
Barra 8 (Tipo 1): Tensión = 0.00 Pa -> No se rompe
Barra 9 (Tipo 3): Tensión = 527696.24 Pa -> No se rompe
Barra 10 (Tipo 1): Tensión = -459510.59 Pa -> No se rompe
Barra 11 (Tipo 1): Tensión = -766669.15 Pa -> No se rompe
Barra 12 (Tipo 1): Tensión = -865626.64 Pa -> No se rompe
Barra 13 (Tipo 1): Tensión = -756390.88 Pa -> No se rompe
Barra 14 (Tipo 1): Tensión = -438955.65 Pa -> No se rompe
Barra 15 (Tipo 1): Tensión = 86704.30 Pa -> No se rompe
Barra 16 (Tipo 3): Tensión = 818045.86 Pa -> No se rompe
Barra 17 (Tipo 2): Tensión = -72328.97 Pa -> No se rompe
Barra 18 (Tipo 3): Tensión = -4960662.89 Pa -> No se rompe
Barra 19 (Tipo 2): Tensión = 438157.37 Pa -> No se rompe
Barra 20 (Tipo 3): Tensión = -2995662.24 Pa -> No se rompe
Barra 21 (Tipo 2): Tensión = 264618.61 Pa -> No se rompe
Barra 22 (Tipo 3): Tensión = -1030853.45 Pa -> No se rompe
Barra 23 (Tipo 2): Tensión = 91086.25 Pa -> No se rompe
Barra 24 (Tipo 3): Tensión = 933905.31 Pa -> No se rompe
Barra 25 (Tipo 2): Tensión = -82445.96 Pa -> No se rompe
Barra 26 (Tipo 3): Tensión = 2898709.40 Pa -> No se rompe
Barra 27 (Tipo 2): Tensión = -255984.06 Pa -> No se rompe
Barra 28 (Tipo 3): Tensión = 4858908.25 Pa -> No se rompe
Barra 29 (Tipo 2): Tensión = -476206.14 Pa -> No se rompe
```

Figure 21: Resultado apartado j

Conclusión

El trabajo desarrollado permitió implementar un programa en Matlab capaz de simular cualquier estructura, partiendo de un archivo de entrada con los datos necesarios. Este código, dividido en módulos funcionales para lectura, preprocesamiento, solución y postprocesamiento, demostró ser eficiente y versátil, cumpliendo los objetivos establecidos.

La representación gráfica de las configuraciones deformadas, combinada con escalas de color para las tensiones, proporcionó una herramienta visual útil para interpretar el comportamiento estructural. Además, la identificación de las barras más solicitadas permitió evaluar posibles fallos estructurales, validando los resultados mediante las tensiones máximas admisibles.

En conclusión, el proyecto no solo logró los objetivos iniciales, sino que también proporcionó un marco sólido para futuras extensiones y aplicaciones en el análisis estructural. La integración de teoría, programación y simulación permitió consolidar los conceptos aprendidos en la asignatura y subrayó la relevancia de las herramientas computacionales en la ingeniería moderna.