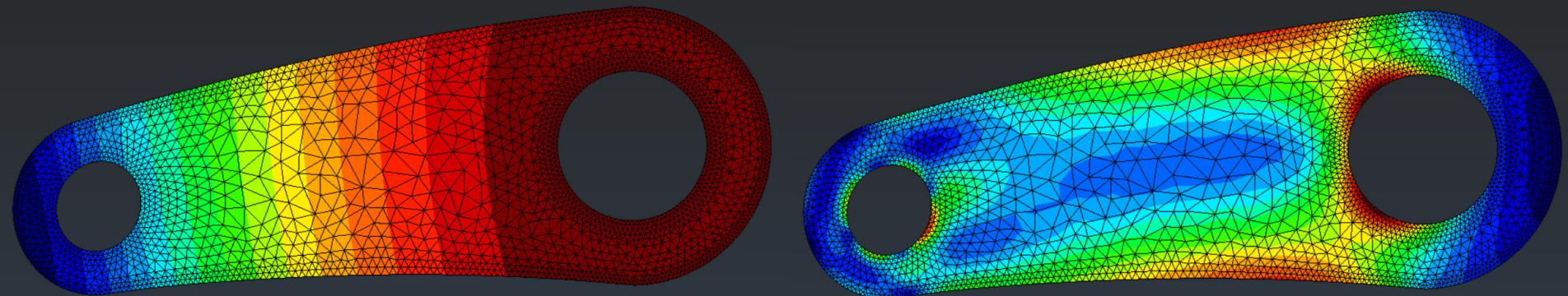


# MECÁNICA ESTÁTICA

## ME3130



Alejandro Ortiz Bernardin

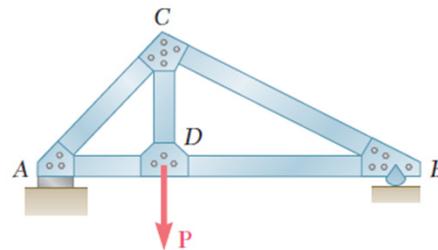
aortizb@uchile.cl

[www.camlab.cl/alejandro](http://www.camlab.cl/alejandro)

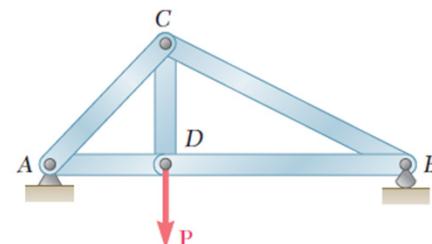
- I. Armaduras Simples
- II. Tipos de Armaduras
- III. Armaduras Compuestas
- IV. Restricción Completa, Parcial e Impropia
- V. Método de los Nodos
- VI. Método Matricial
- VII. Programa FEALAB/Truss
- VIII. Método de las Secciones
- IX. Tarea

## Armadura

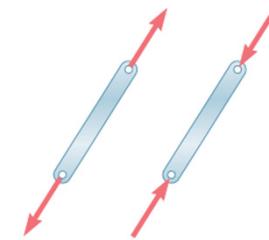
- Elementos/barras/miembros rectos se conectan entre sí por medio de nodos.
- Los nodos representan **pasadores o pernos sin fricción** que idealizan las conexiones reales que son remachadas o soldadas.
- Los pasadores solo pueden transmitir fuerzas. Por lo tanto, cada barra es un elemento sometido a dos fuerzas y se analizan como tal. En otras palabras, cada barra solo puede estar sometida a **cargas axiales de tracción o de compresión**. Como consecuencia, **los apoyos no pueden contener restricciones de rotación**.
- Por lo anterior, las cargas externas deben aplicarse en los nodos. Esto incluye el peso propio de las barras (se supone mitad del peso en cada nodo).



Armadura real



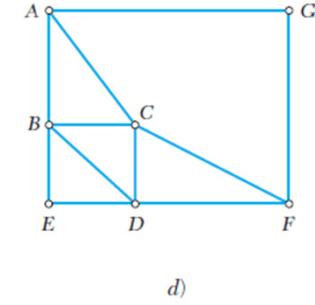
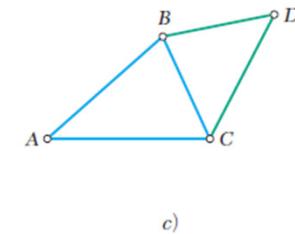
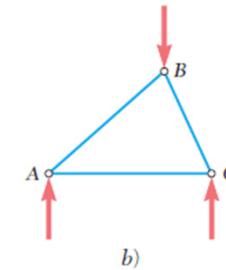
Armadura idealizada



Tracción/Compresión

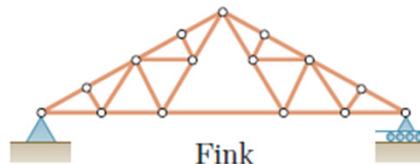
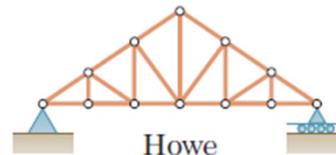
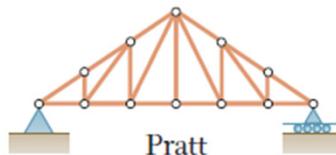
## Armaduras Simples

- Una armadura formada por tres barras **formando un triángulo** es una armadura rígida pues esta no colapsará cuando sea cargada.
- Una estructura simple es una estructura que **se forma por expansión de un triángulo base**: se sacan dos nuevas barras desde los nodos B y C del triángulo base, y se unen en D. Luego, desde dos nodos de la armadura existente se sacan dos nuevas barras y se unen en un nuevo nodo. El proceso se repite hasta donde se desee.
- Las **armaduras simples** son automáticamente **armaduras rígidas**.
- Las armaduras que no pueden ser construidas mediante el procedimiento descrito anteriormente no son armaduras simples.

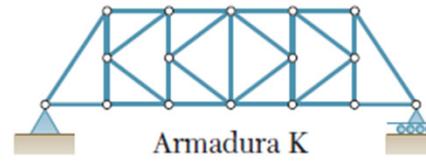
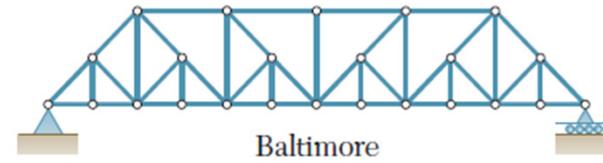
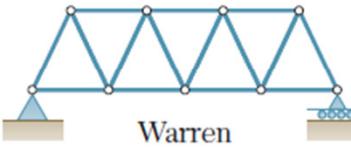
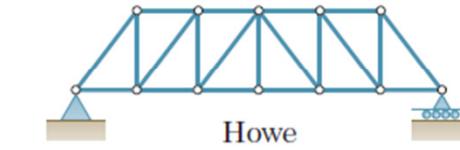
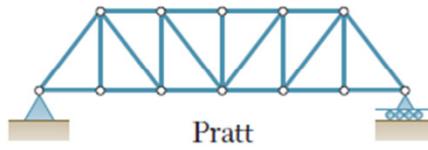


Procedimiento de construcción de armadura simple por expansión de un triángulo base.

# Tipos de Armaduras



Armaduras típicas para techo

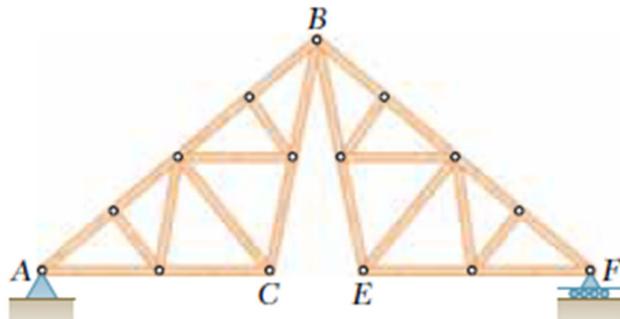


Armaduras típicas para puentes

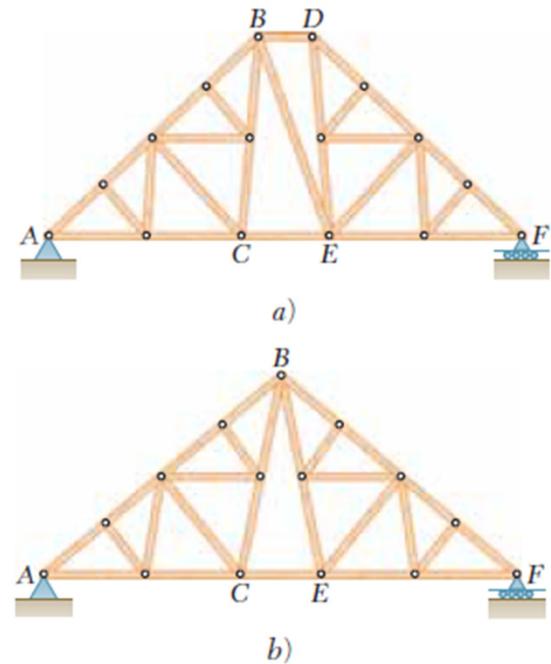
Las armaduras **Baltimore** y **Fink** no son armaduras simples pues no pueden ser obtenidas por el proceso de expansión de un triángulo base. No obstante, son rígidas.

## Armaduras Compuestas

- Se construyen a partir de conectar dos o más armaduras simples.
- Se deben construir con precaución pues no son necesariamente rígidas (dependerá de cómo se conecten y/o de las condiciones de soporte).
- La armaduras de **Fink** y **Baltimore** son dos ejemplos de **armaduras compuestas**.



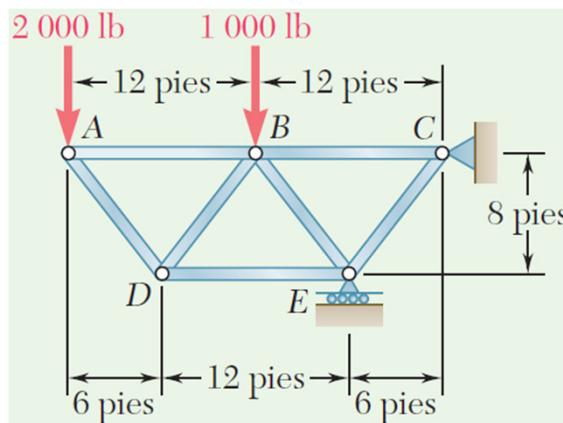
Armadura compuesta que no es rígida



**Figura 6.16** Armaduras compuestas.  
a) Dos armaduras simples ABC y DEF conectadas por tres barras. b) Dos armaduras simples ABC y DEF conectadas por un nodo y una barra (una armadura Fink).

# Restricción Completa, Parcial e Impropia

- Una barra de la armadura al estar sometida solo a dos cargas, aporta solo una incógnita al problema: su carga axial.
- Las armaduras se suelen resolver mediante DCLs de sus nodos (método de los nodos).
- Cada nodo aporta con 2 ecuaciones provenientes de la sumatoria de fuerzas sobre el nodo en los dos ejes coordenados.
- En dos dimensiones, la relación entre número de ecuaciones que aportan los nodos y la cantidad de incógnitas que aportan las barras está dada por:  $m + 3 = 2n$ , donde  $m$  es el número de barras y  $n$  es el número de nodos. El número 3 proviene de las 3 incógnitas que aportan los apoyos.



$$m = 7, n = 5$$

$$m + 3 = 10$$

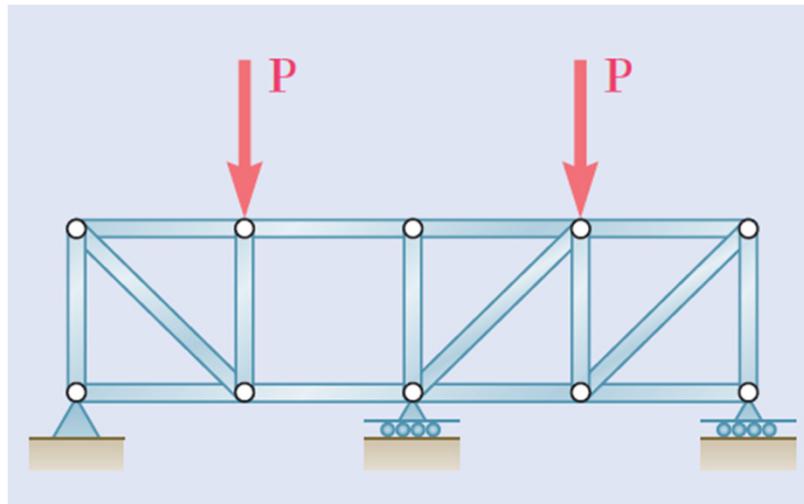
$$2n = 10$$

$$\rightarrow m + 3 = 2n = 10$$

El problema puede ser resuelto por estática (estáticamente determinado).

# Restricción Completa, Parcial e Impropia

- En ocasiones, puede darse la situación en que una barra de la armadura ha sido eliminada y en reemplazo se ha agregado una incógnita mediante un soporte adicional. Sea  $r > 3$  la cantidad de incógnitas que aportan los soportes. En dos dimensiones, la relación entre número de ecuaciones que aportan los nodos y la cantidad de incógnitas que aportan las barras está dada por:  $m + r = 2n$ , donde  $m$  es el número de barras y  $n$  es el número de nodos.



$$m = 16, n = 10, r = 4$$

$$m + r = 20$$

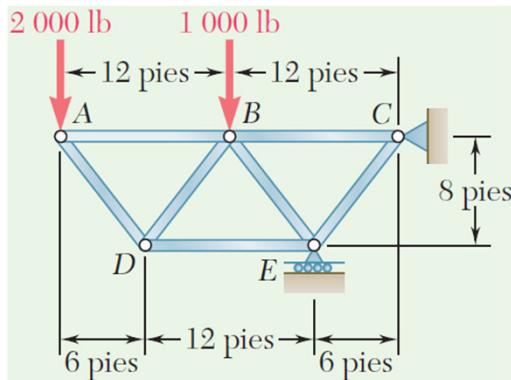
$$2n = 20$$

El problema puede ser resuelto por estática (estáticamente determinado) aún cuando la cantidad de incógnitas aportadas por los apoyos es  $> 3$ .

**Definición:** El problema es completamente restringido y estáticamente determinado si todas reacciones en los soportes y fuerzas en las barras pueden determinarse estáticamente para estados de carga generales.

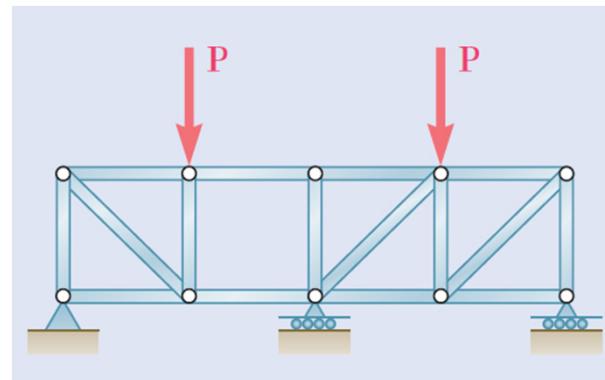
# Restricción Completa, Parcial e Impropia

## Armadura completamente restringida



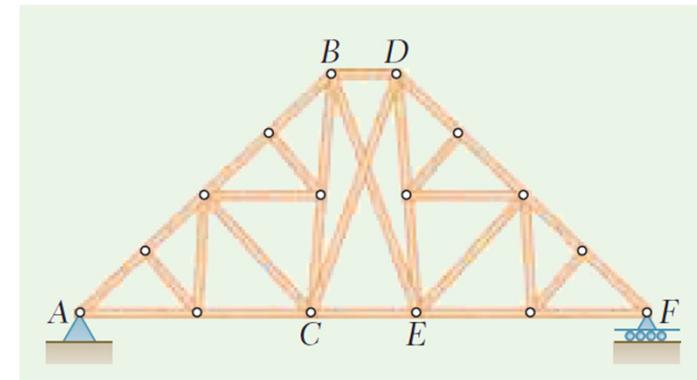
$$\begin{aligned}m &= 7, n = 5 \\m + 3 &= 10 \\2n &= 10 \\-> m + 3 &= 2n\end{aligned}$$

La armadura está completamente restringida y es estáticamente determinada (armadura isostática)



$$\begin{aligned}m &= 16, n = 10, r = 4 \\m + r &= 20 \\2n &= 20 \\-> m + r &= 2n\end{aligned}$$

La armadura está completamente restringida y es estáticamente determinada (armadura isostática).

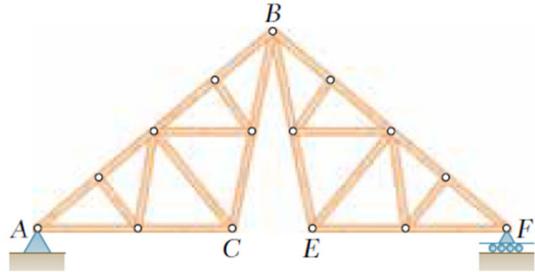


$$\begin{aligned}m &= 30, n = 16 \\m + 3 &= 33 \\2n &= 32 \\-> m + 3 &> 2n\end{aligned}$$

La armadura está completamente restringida y es estáticamente indeterminada (armadura hiperestática).

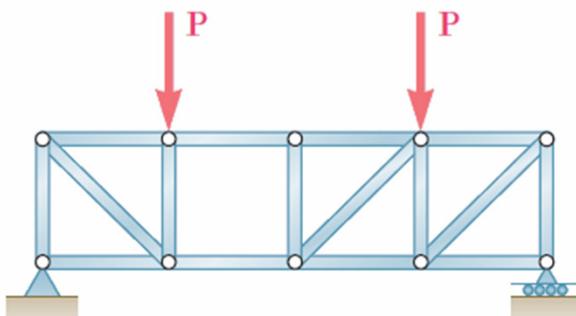
# Restricción Completa, Parcial e Impropia

## Armadura parcialmente restringida



$$\begin{aligned}m &= 26, r = 3, n = 15 \\m + r &= 29 \\2n &= 30 \\-> m + r &< 2n\end{aligned}$$

La armadura colapsará porque falta una restricción o una barra que impida que la armadura colapse (**la armadura no es rígida**): armadura parcialmente restringida.

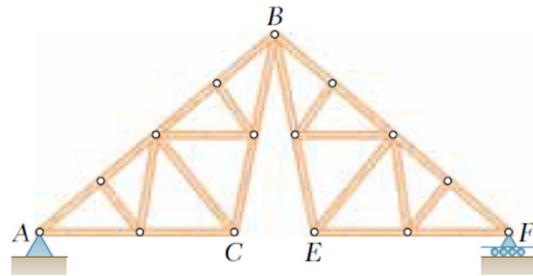


$$\begin{aligned}m &= 16, r = 3, n = 10 \\m + r &= 19 \\2n &= 20 \\-> m + r &< 2n\end{aligned}$$

Falta una restricción en la armadura: armadura parcialmente restringida.  
¿Colapsará?: verificar si es posible calcular las reacciones.

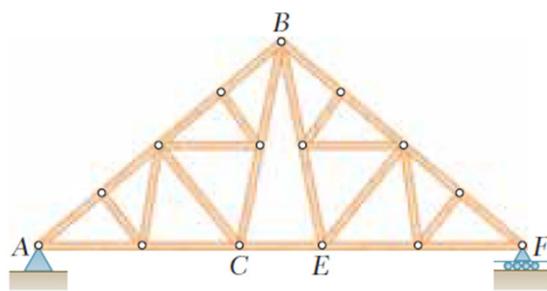
# Restricción Completa, Parcial e Impropia

## Rigidizando una armadura que no es rígida



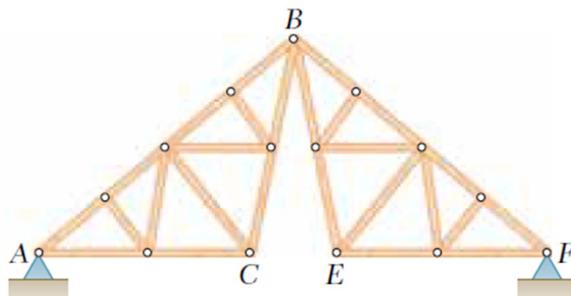
$$\begin{aligned}m &= 26, r = 3, n = 15 \\m + r &= 29 \\2n &= 30 \\-> m + r &< 2n\end{aligned}$$

La armadura colapsará porque falta una restricción o una barra que impida que la armadura colapse (**la armadura no es rígida**): armadura parcialmente restringida.



$$\begin{aligned}m &= 27, r = 3, n = 15 \\m + r &= 30 \\2n &= 30 \\-> m + r &= 2n\end{aligned}$$

Se agrega la barra *CE*. Entonces, la armadura queda completamente restringida y estáticamente determinada: **armadura es rígida**.

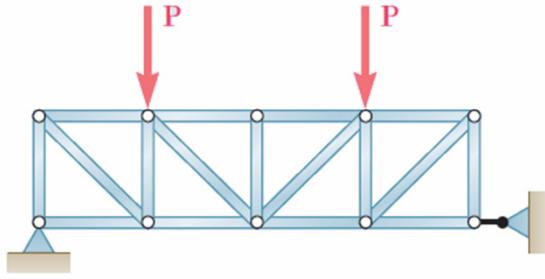


$$\begin{aligned}m &= 26, r = 4, n = 15 \\m + r &= 30 \\2n &= 30 \\-> m + r &= 2n\end{aligned}$$

La rotación se impide agregando una restricción horizontal en *F*. La armadura queda completamente restringida y estáticamente determinada: **armadura es rígida**.

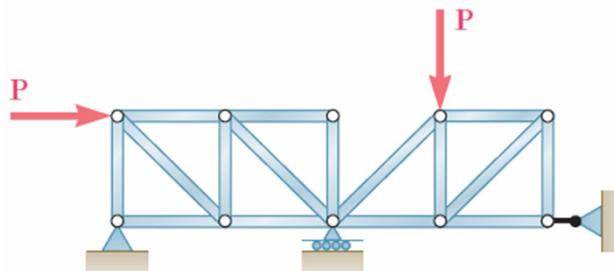
# Restricción Completa, Parcial e Impropia

## Armadura impropriamente restringida



$$\begin{aligned}m &= 17, r = 3, n = 10 \\m + r &= 20 \\2n &= 20 \\-> m + r &= 2n\end{aligned}$$

La reacción del apoyo de eslabón pasa por el punto de apoyo de pasador.  $M = 0$  no puede satisfacerse y la armadura rotará: **armadura impropriamente restringida**.

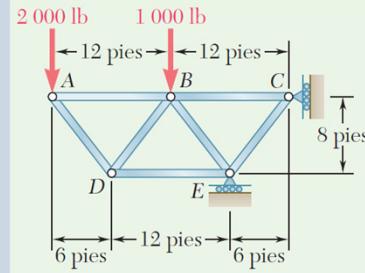
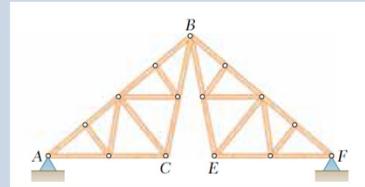


$$\begin{aligned}m &= 16, r = 4, n = 10 \\m + r &= 20 \\2n &= 20 \\-> m + r &= 2n\end{aligned}$$

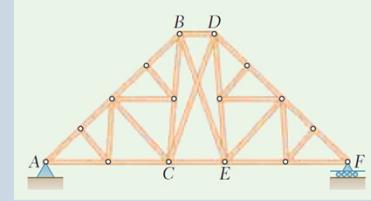
La reacción del apoyo de eslabón pasa por el punto de apoyo de rodillo.  $M = 0$  no puede satisfacerse en el rodillo y la armadura izquierda rotará: **armadura impropriamente restringida**.

# Restricción Completa, Parcial e Impropia

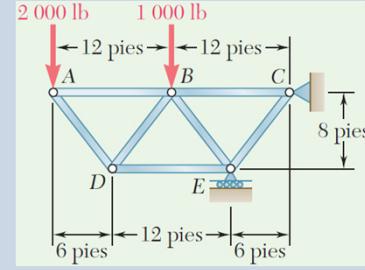
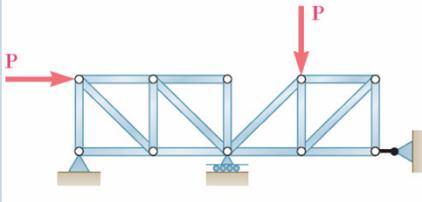
## Resumen

Condición	Análisis	Consecuencias	Ejemplo
$m + r < 2n$	<p>Hay menos incógnitas que ecuaciones. Por lo tanto, algunas de las ecuaciones no se cumplen.</p>	<p>La armadura está <b>parcialmente restringida</b>.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Si la armadura es simple, entonces es rígida y la armadura, en ciertos casos, podría incluso poder resolverse.</li> <li>Si la armadura es compuesta, entonces no es rígida y colapsará.</li> </ol>	 <p><math>m = 7, n = 5, r = 2</math>  <math>m + r = 9; 2n = 10</math>  <math>\rightarrow m + r &lt; 2n</math></p>  <p><math>m = 26, r = 3, n = 15</math>  <math>m + r = 29; 2n = 30</math>  <math>\rightarrow m + r &lt; 2n</math></p>

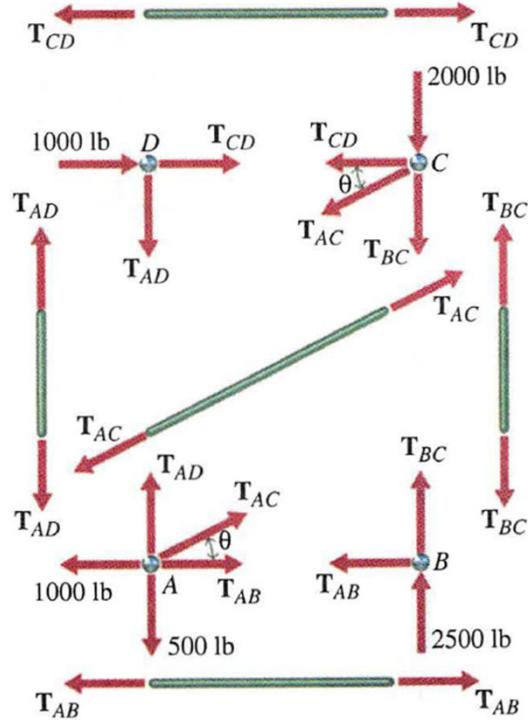
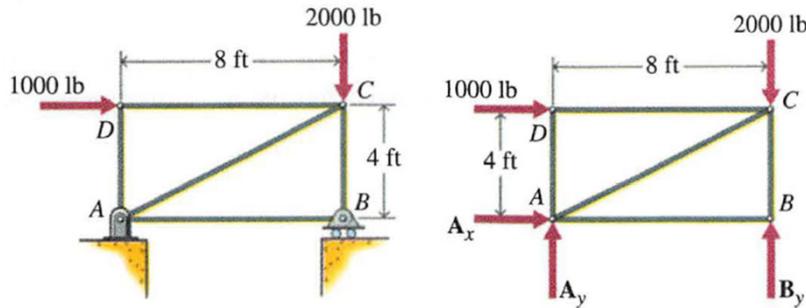
# Restricción Completa, Parcial e Impropia

Condición	Análisis	Consecuencias	Ejemplo
$m + r > 2n$	Hay más incógnitas que ecuaciones. Por lo tanto, no se pueden determinar algunas de las incógnitas.	La armadura está <b>completamente restringida</b> , pero es <b>estáticamente indeterminada</b> (armadura hiperestática).	 <p><math>m = 30, n = 16, r = 3</math> <math>m + r = 33; 2n = 32</math> <math>\rightarrow m + r &gt; 2n</math></p>

# Restricción Completa, Parcial e Impropia

Condición	Análisis	Consecuencias	Ejemplo
$m + r = 2n$	<p>Hay tantas incógnitas como ecuaciones. Sin embargo, esto no significa que pueda determinarse todas las incógnitas y cumplirse todas las ecuaciones, ya que la armadura podría estar impropriamente restringida. Por lo tanto, se debe tratar de determinar las reacciones en los apoyos y las fuerzas en sus elementos.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Si todas las reacciones y todas las fuerzas en las barras fueron encontradas, entonces la armadura está <b>completamente restringida</b> y es <b>estáticamente determinada</b> (armadura isostática).</li> <li>Si alguna reacción o fuerza en alguna barra no pudo ser determinada, entonces la armadura está <b>impropriamente restringida</b>.</li> </ol>	 <p><math>m = 7, n = 5; m + 3 = 10;</math>  <math>2n = 10 \rightarrow m + 3 = 2n</math>. Todas las reacciones y fuerzas en las barras pueden determinarse.</p>  <p><math>m = 16, n = 10, r = 4</math>  <math>m + r = 20; 2n = 20</math>  <math>\rightarrow m + r = 2n</math>  <math>M = 0</math> no puede satisfacerse en el rodillo y la armadura rotará por lo que está impropriamente restringida.</p>

# Método de los Nodos



- La armadura se analiza mediante el equilibrio de cada nodo.
- Para cada nodo se dibuja un diagrama de cuerpo libre.
- Cada nodo representa un sistema de fuerzas concurrentes por lo que solo intervienen las ecuaciones de equilibrio de fuerzas:

$$\sum F_x = 0, \quad \sum F_y = 0$$

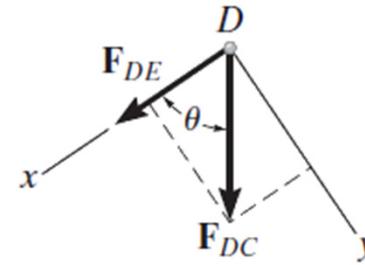
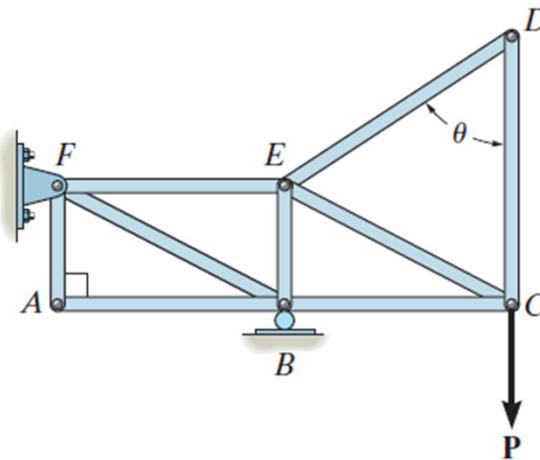
en 2D, y

$$\sum F_x = 0, \quad \sum F_y = 0, \quad \sum F_z = 0$$

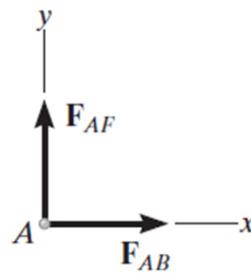
en 3D.

# Método de los Nodos: Miembros de Fuerza Nula

- Cuando en un nodo lleguen 2 barras no colineales, y siempre y cuando no exista soporte o carga sobre el nodo, las 2 barras tendrán fuerza nula.

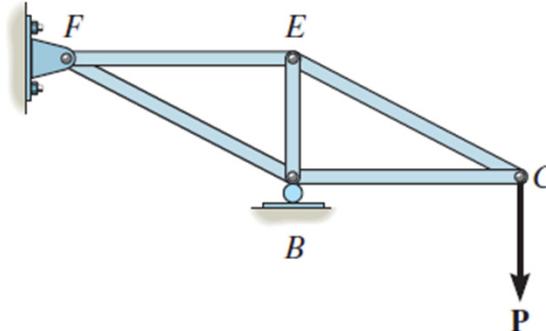


$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0; F_{DC} \sin \theta = 0; \quad F_{DC} = 0 \quad \text{ya que } \sin \theta \neq 0 \\ \sum F_x &= 0; F_{DE} + 0 = 0; \quad F_{DE} = 0\end{aligned}$$



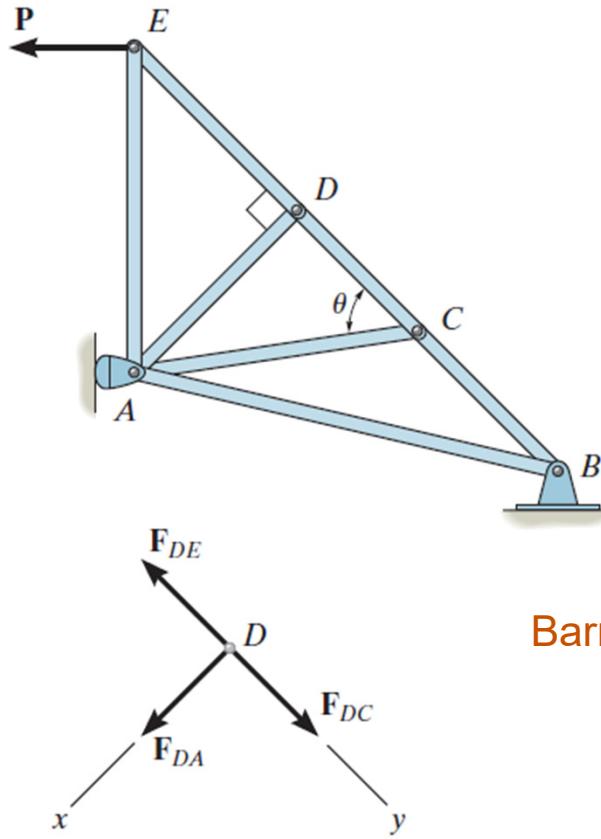
$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0; F_{AB} = 0 \\ \sum F_y &= 0; F_{AF} = 0\end{aligned}$$

Barras soportantes



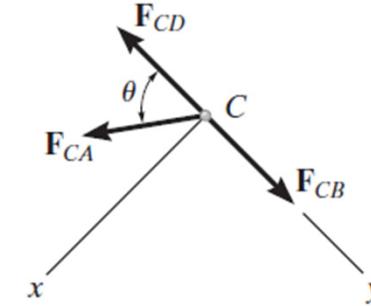
# Método de los Nodos: Miembros de Fuerza Nula

- Cuando en un nodo lleguen 3 barras (2 de ellas colineales), y siempre y cuando no exista soporte o carga sobre el nodo, la tercera barra tendrá fuerza nula.

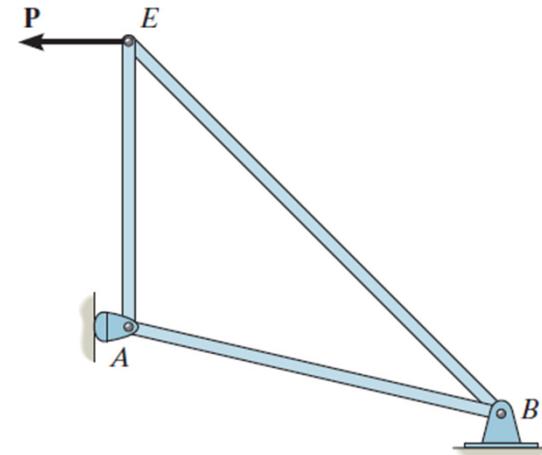


$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0; \quad F_{DA} = 0 \\ \sum F_y &= 0; \quad F_{DC} = F_{DE}\end{aligned}$$

Barras soportantes

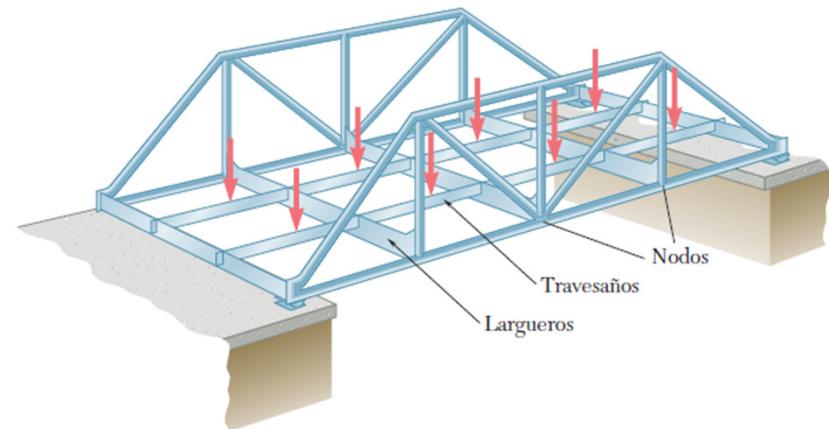
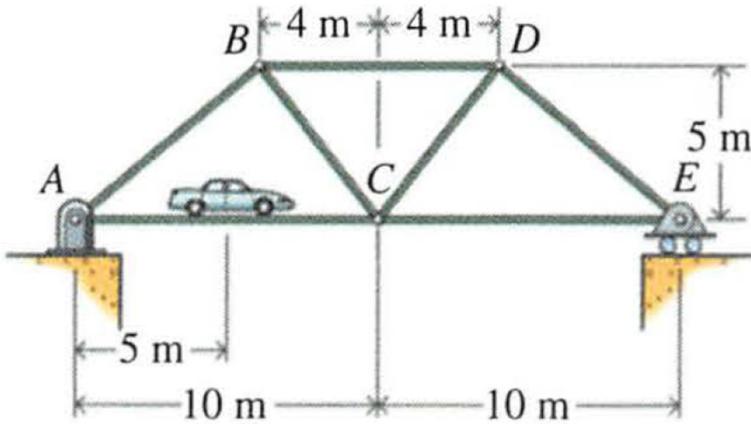


$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0; \quad F_{CA} \sin \theta = 0; \quad F_{CA} = 0 \text{ ya que } \sin \theta \neq 0; \\ \sum F_y &= 0; \quad F_{CB} = F_{CD}\end{aligned}$$



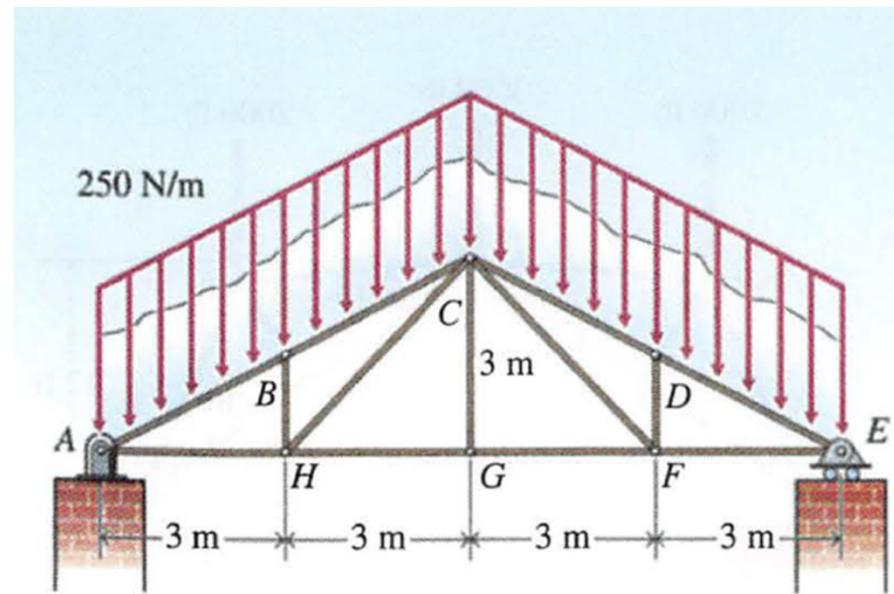
# Método de los Nodos

**Problema:** La armadura que muestra un auto detenido representa un lado del puente; otra armadura igual representa el otro lado del puente. Un sistema de piso permite transmitir el peso del auto detenido a los nodos de la armadura. La masa del auto es de 2000 kg. Calcular la fuerza sobre cada barra de la armadura utilizando el método de los nodos.

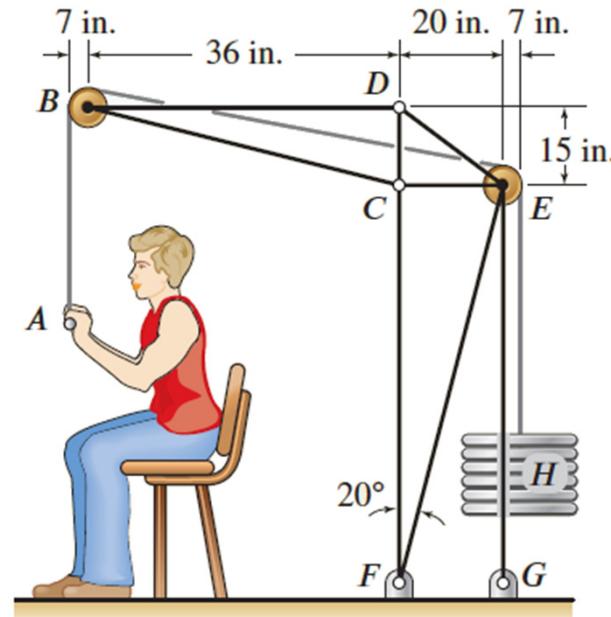


**Observación:** Un sistema de piso de armadura utiliza travesaños y largueros para transmitir una carga aplicada a los nodos de dicha armadura.

**Problema:** La armadura Pratt mostrada en la figura soporta una carga de nieve que puede aproximarse a una carga distribuida de 250 N/m. Determinar la fuerza en los miembros *BC*, *CH* y *CG*.

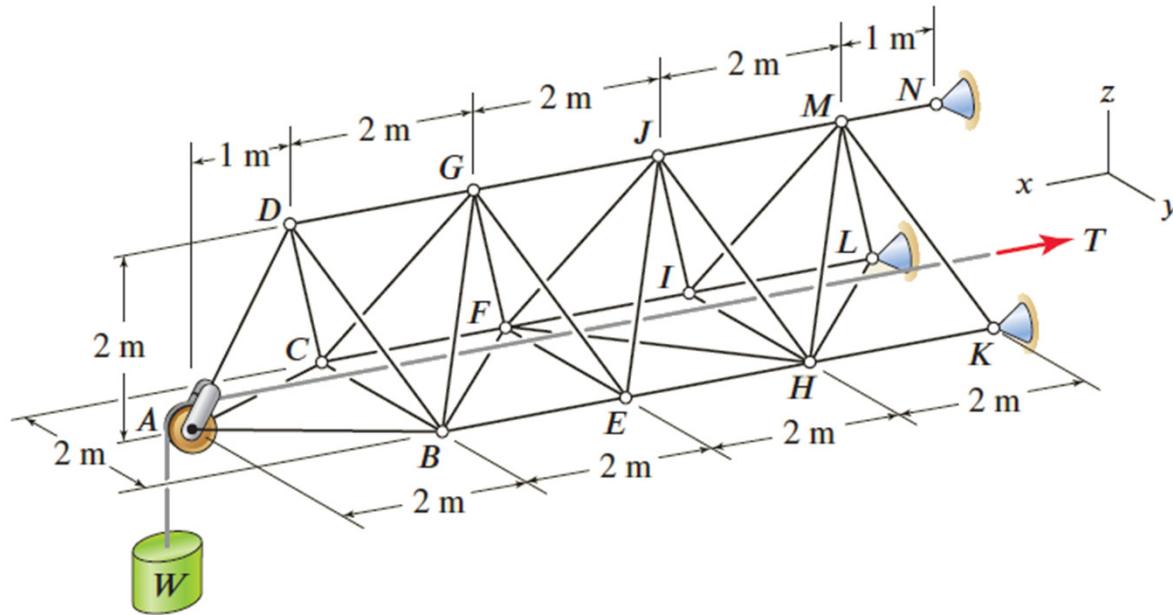


**Problema:** En la máquina de ejercicios que se muestra en la figura, el peso es de  $H = 50$  lbf. Si el segmento de cable  $AB$  es vertical, determinar la fuerza en cada barra de la máquina.

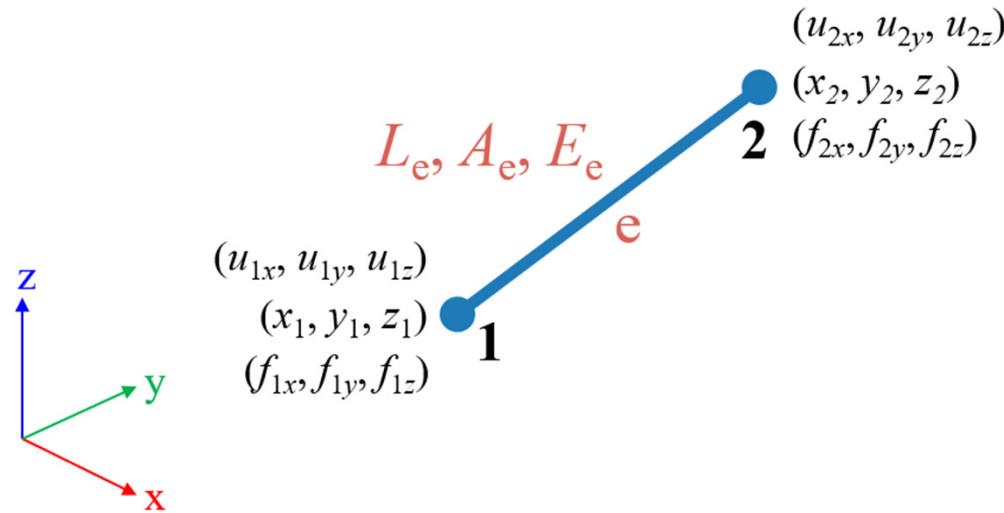


# Método de los Nodos

**Problema:** La pluma de una grúa está en una posición horizontal. Si  $W = 1$  kN, determine la fuerza en la barra  $DG$ .



**Formulación basada en el método del elemento finito [FEM1].** A las barras se les denomina **elemento**. Un elemento genérico, que se denota mediante la letra  $e$ , tiene un largo  $L_e$ , un área transversal  $A_e$  y su material posee un módulo de Young  $E_e$ . Los dos nodos del elemento se enumeran localmente como 1 y 2, respectivamente. El **nodo 1** de coordenadas  $(x_1, y_1, z_1)$  posee grados de libertad (desplazamientos) incógnitas representados por  $(u_{1x}, u_{1y}, u_{1z})$  y fuerzas externas  $(f_{1x}, f_{1y}, f_{1z})$ . Similarmente, para el **nodo 2** de coordenadas  $(x_2, y_2, z_2)$  se tiene  $(u_{2x}, u_{2y}, u_{2z})$  y  $(f_{2x}, f_{2y}, f_{2z})$ .



[FEM1] O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor and J.Z. Zhu. The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals, Seventh Edition, Butterworth-Heinemann, 2013.

## PROCEDIMIENTO:

- **Paso 1:** En cada barra se iguala la fuerza interna con las fuerzas externas:

$$\mathbf{f}_e^{\text{int}} = \mathbf{f}_e^{\text{ext}}$$

- La fuerza interna en cada barra se obtiene del producto entre una matriz cuadrada, llamada **matriz de rigidez elemental ( $K_e$ )**, y un vector que contiene los grados de libertad de los dos nodos de la barra, llamado **vector elemental de desplazamientos nodales ( $\mathbf{u}_e$ )**:

$$\mathbf{f}_e^{\text{int}} = \mathbf{K}_e \mathbf{u}_e$$

- La fuerza externa en una barra es representado por un vector llamado **vector elemental de fuerzas nodales ( $\mathbf{f}_e$ )** que contiene las fuerzas externas asociadas con los grados de libertad de cada nodo de la barra:

$$\mathbf{f}_e^{\text{ext}} = \mathbf{f}_e$$

## Expresiones de las matrices elementales

$$K_e = \frac{A_e E_e}{L_e} \begin{bmatrix} m^2 & mn & ml & -m^2 & -mn & -ml \\ mn & n^2 & nl & -mn & -n^2 & -nl \\ ml & nl & l^2 & -ml & -nl & -l^2 \\ -m^2 & -mn & -ml & m^2 & mn & ml \\ -mn & -n^2 & -nl & mn & n^2 & nl \\ -ml & -nl & -l^2 & ml & nl & l^2 \end{bmatrix},$$

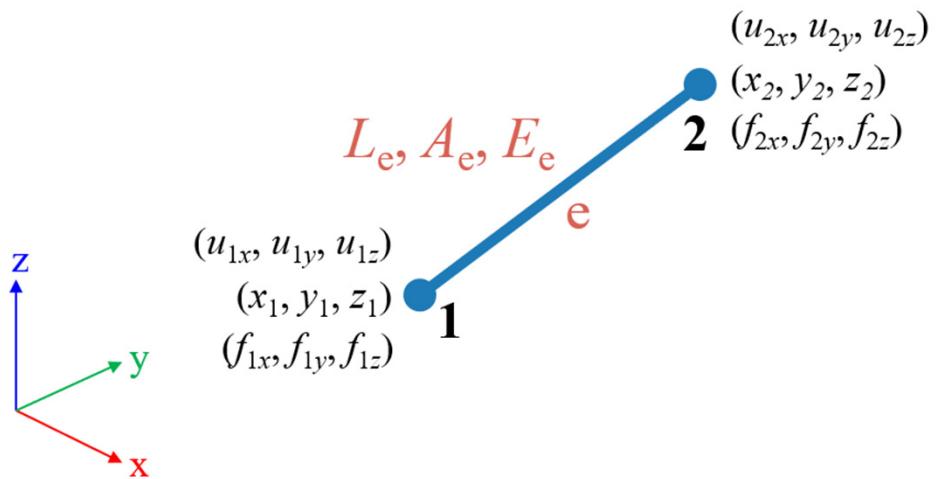
$$\mathbf{u}_e = \begin{bmatrix} u_{1x} \\ u_{1y} \\ u_{1z} \\ u_{2x} \\ u_{2y} \\ u_{2z} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{f}_e = \begin{bmatrix} f_{1x} \\ f_{1y} \\ f_{1z} \\ f_{2x} \\ f_{2y} \\ f_{2z} \end{bmatrix}$$

donde

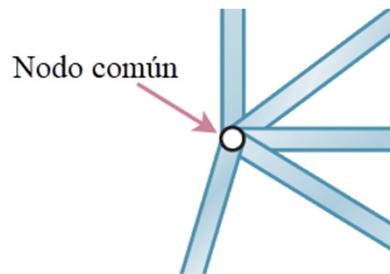
$$m = (x_2 - x_1)/L_e,$$

$$n = (y_2 - y_1)/L_e,$$

$$l = (z_2 - z_1)/L_e.$$



- **Paso 2: Ensamble de matrices elementales.** Los sistemas elementales (matriz  $K_e$  y vector  $f_e$ ) se ensamblan en un sistema global ( $K$  y  $F$ ) que contiene a todos los elementos del dominio.
- El ensamble se lleva a cabo en cada nodo del dominio utilizando los grados de libertad compartidos por las barras que se conectan al nodo (nodo común).



- Como el vector  $f_e$  solo contiene fuerzas nodales externas, en la práctica este vector no se ensabla sino que las fuerzas externas se aplican directamente en el vector global de fuerzas nodales  $F$ .
- El sistema global ensamblado, que representa el equilibrio global de la armadura queda del siguiente modo, donde  $u$  es un vector que contiene todos los grados de libertad (desplazamientos) **incógnitas** del dominio:

$$Ku = F$$

- **Paso 3: Imposición de condiciones de soporte.** Se identifican los nodos que contienen algún soporte. Los soportes se aplican restringiendo (se igualan a 0) los grados de libertad (o desplazamientos) en las filas correspondientes a dichos nodos en el vector  $\mathbf{u}$ . En 3D, cada nodo contiene 3 grados de libertad o desplazamientos ( $u_x, u_y, u_z$ ). Por ejemplo, si en el dominio hay 10 nodos, el vector  $\mathbf{u}$  tendrá 30 filas.
- **Paso 4: Aplicación de cargas externas.** Se identifican los nodos donde hay alguna carga externa y estas cargas se aplican en las filas correspondientes a dichos nodos en el vector  $\mathbf{F}$ . En 3D, cada nodo tiene 3 componentes de fuerza ( $F_x, F_y, F_z$ ). Por ejemplo, si en el dominio hay 10 nodos, el vector  $\mathbf{F}$  tendrá 30 filas.
- **Paso 5: Solución de los desplazamientos nodales.** Se resuelven los desplazamientos nodales incógnitas del dominio mediante la inversión del sistema global:

$$\mathbf{u} = \mathbf{K}^{-1} \mathbf{F}$$

- **Paso 6: Postproceso de deformaciones.** La **deformación axial ( $\varepsilon_e$ )** en cada barra se obtiene a través del vector solución  $\mathbf{u}$ . Para ello, se extraen desde la solución  $\mathbf{u}$  los grados de libertad  $(u_x, u_y, u_z)$  de cada nodo de la barra. Los grados de libertad extraídos se denotan  $(u_{1x}, u_{1y}, u_{1z})$  para el nodo 1 de la barra y  $(u_{2x}, u_{2y}, u_{2z})$  para el nodo 2. La **deformación axial** de la barra se obtiene como:

$$\varepsilon_e = \frac{1}{L_e} [ -m \quad -n \quad -l \quad m \quad n \quad l ] [ u_{1x} \quad u_{1y} \quad u_{1z} \quad u_{2x} \quad u_{2y} \quad u_{2z} ]^T$$

- **Paso 7: Postproceso de esfuerzos.** El **esfuerzo axial ( $\sigma_e$ )** en cada barra se obtiene multiplicando la **deformación axial ( $\varepsilon_e$ )** por el **módulo de Young ( $E_e$ )** del material de la barra:

$$\sigma_e = E_e \varepsilon_e$$

- **Paso 8: Postproceso de fuerzas en las barras.** La **fuerza axial ( $P_e$ )** en cada barra se obtiene multiplicando el **esfuerzo axial ( $\sigma_e$ )** por el **área transversal ( $A_e$ )** de la barra:

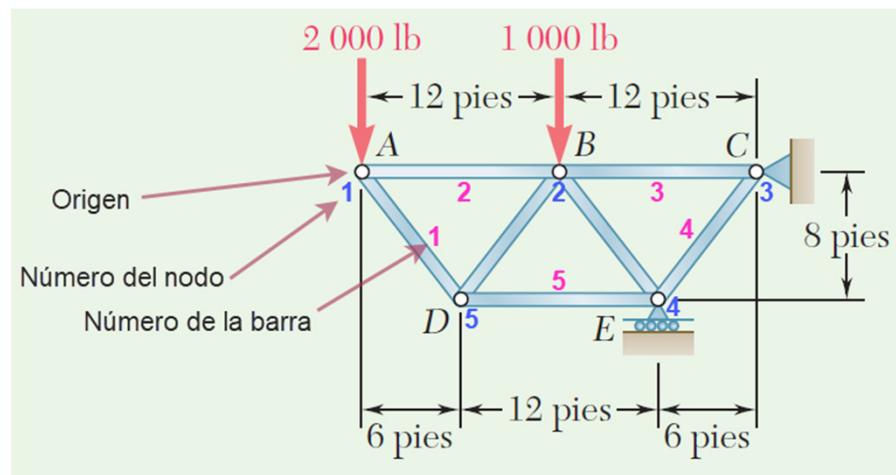
$$P_e = \sigma_e A_e$$

## FEALAB/Truss

- Programa creado en MATLAB App Designer para resolver armaduras en 2D y 3D.
- Basado en el método matricial por elementos finitos.
- Posee un instalador ejecutable por lo que no se requiere tener instalado MATLAB.
- El instalador instala algunas librerías necesarias de MATLAB si es que MATLAB no está instalado en el PC.
- Si el ejecutable tuvo que instalar las librerías de MATLAB, podría ser necesario instalar el programa una segunda vez mediante el ejecutable.

## Ejemplo de resolución de armadura:

- Se debe enumerar los nodos y elementos.
- Se debe conocer las coordenadas de los nodos con respecto a un origen.
- Se debe conocer los nodos que forman cada barra (conectividad elemental).



# FEALAB/Truss: Opciones del Programa

The screenshot shows the FEALAB/Truss v1.1 software interface. At the top, there is a navigation bar with tabs: Pre, Post/Static, About, Model Defi..., and Settings. The Settings tab is active. On the right side, there is a sidebar with buttons for Load from file, Save to a file, TAB Snapshot, and Run analysis.

The main area contains several sections:

- Font Sizes**: A group of input fields for element numbers (12), legends (11), loads (12), node numbers (12), and reactions (12).
- Symbol Sizes**: Input fields for markers (6) and supports (8).
- Model space**: A group of checkboxes for Plot axis (checked), Plot grid (checked), and Show global coordinate system (checked). Below these are options for Background (White selected) and Colormap (Turbo selected).
- Messages**: A section displaying system statistics: Number of nodes = 5, Number of elements = 7, Number of supported nodes = 2, and Number of loaded nodes = 2.

A red box highlights the "Font Sizes" and "Symbol Sizes" sections. A red arrow points from the text "Opciones gráficas generales del programa" to the top-left corner of this highlighted area.

# FEALAB/Truss: Creación del Modelo de Análisis

FEALAB/Truss v1.1

Pre Post/Static About

Model Defi... Settings

**Node coordinates**

Node	x	y	z
0	0	8	
12	12	8	
24	24	8	
6	6	0	
18	18	0	

**Element connectivity**

Element	Node 1	Node 2
1	1	2
2	2	3
3	1	4
4	4	5
5	5	3
6	4	2
7	2	5

**Element properties**

Element	Area	Young's Modulus
1	2	1000000
2	2	1000000
3	2	1000000
4	2	1000000
5	2	1000000
6	2	1000000
7	2	1000000

**Support data**

Ingresar valores

Node	x-disp	x-fix?	y-disp	y-fix?	z-disp	z-fix?
3	0	1	0	1	0	0
5	0	0	0	1	0	0

**Load data**

Ingresar valores

Node	x-load	y-load	z-load
1	0	-2000	0
2	0	-1000	0

**Create model**

Off  On

**Run analysis**

Messages Summary Nodes Elements Supports Loads Displacements Internal variables Nodal forces

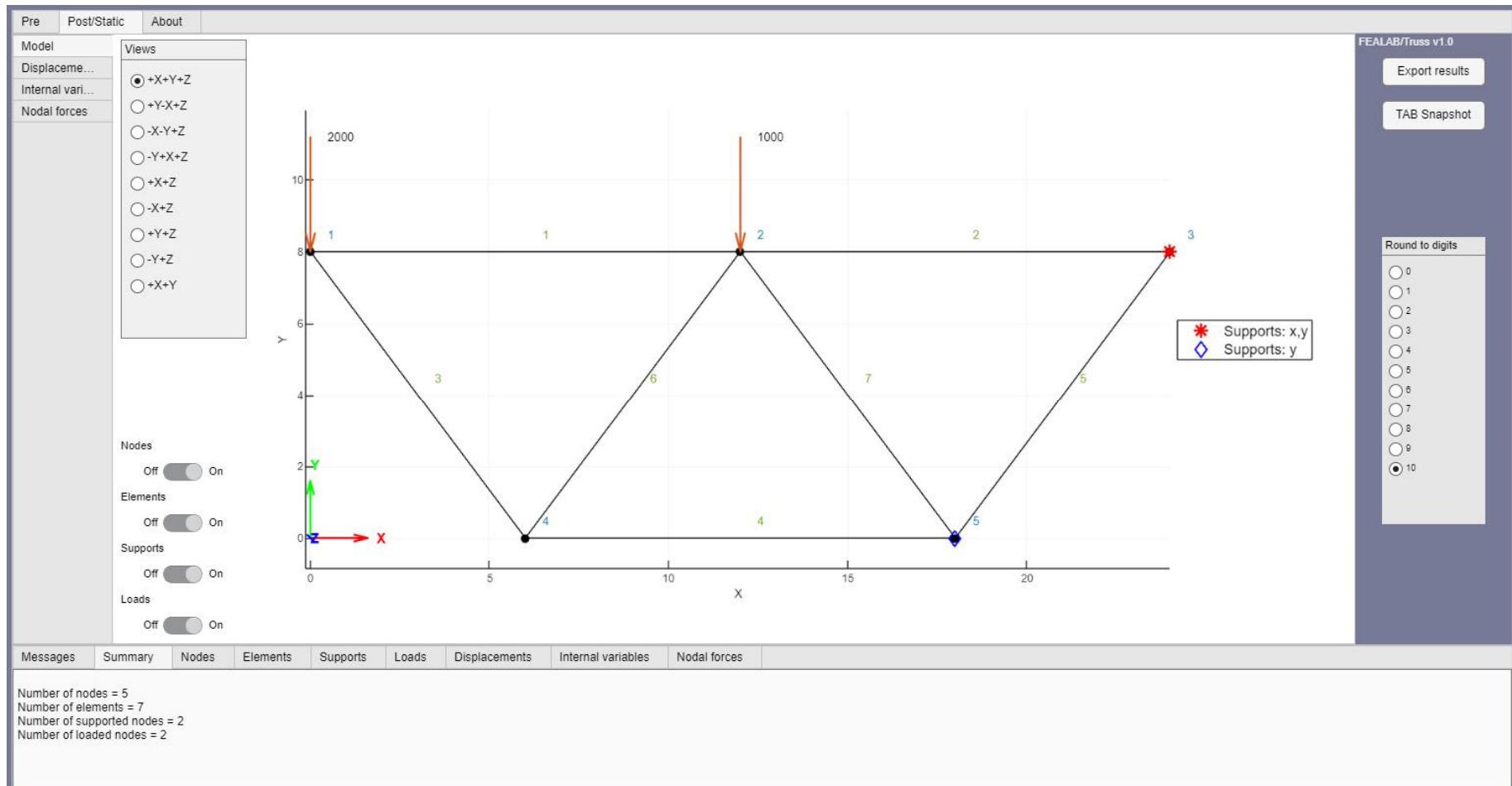
Number of nodes = 5  
Number of elements = 7  
Number of supported nodes = 2  
Number of loaded nodes = 2

Una vez que los nodos, conectividad de elementos, propiedades de los elementos, datos de los soportes y datos de las cargas han sido ingresados, se debe generar el modelo de análisis (Activar "On" en Create model)

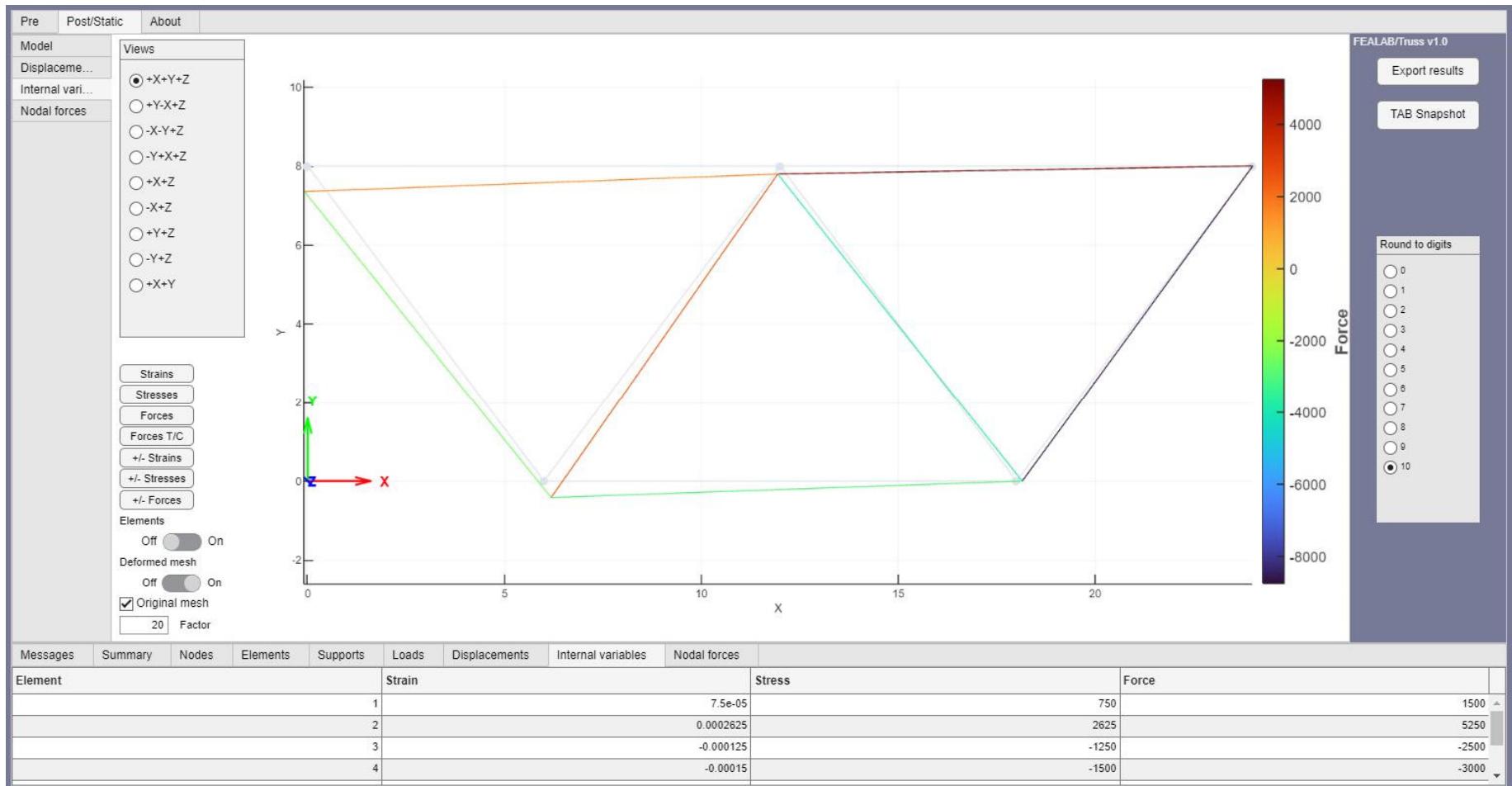
Para resolver las fuerzas en las barras y las reacciones, los valores numéricos del área seccional y el módulo de Young son irrelevantes. Solo se requieren para obtener los esfuerzos y deformaciones en las barras.

Después que el modelo haya sido creado, se puede realizar el análisis estructural presionando "Run analysis"

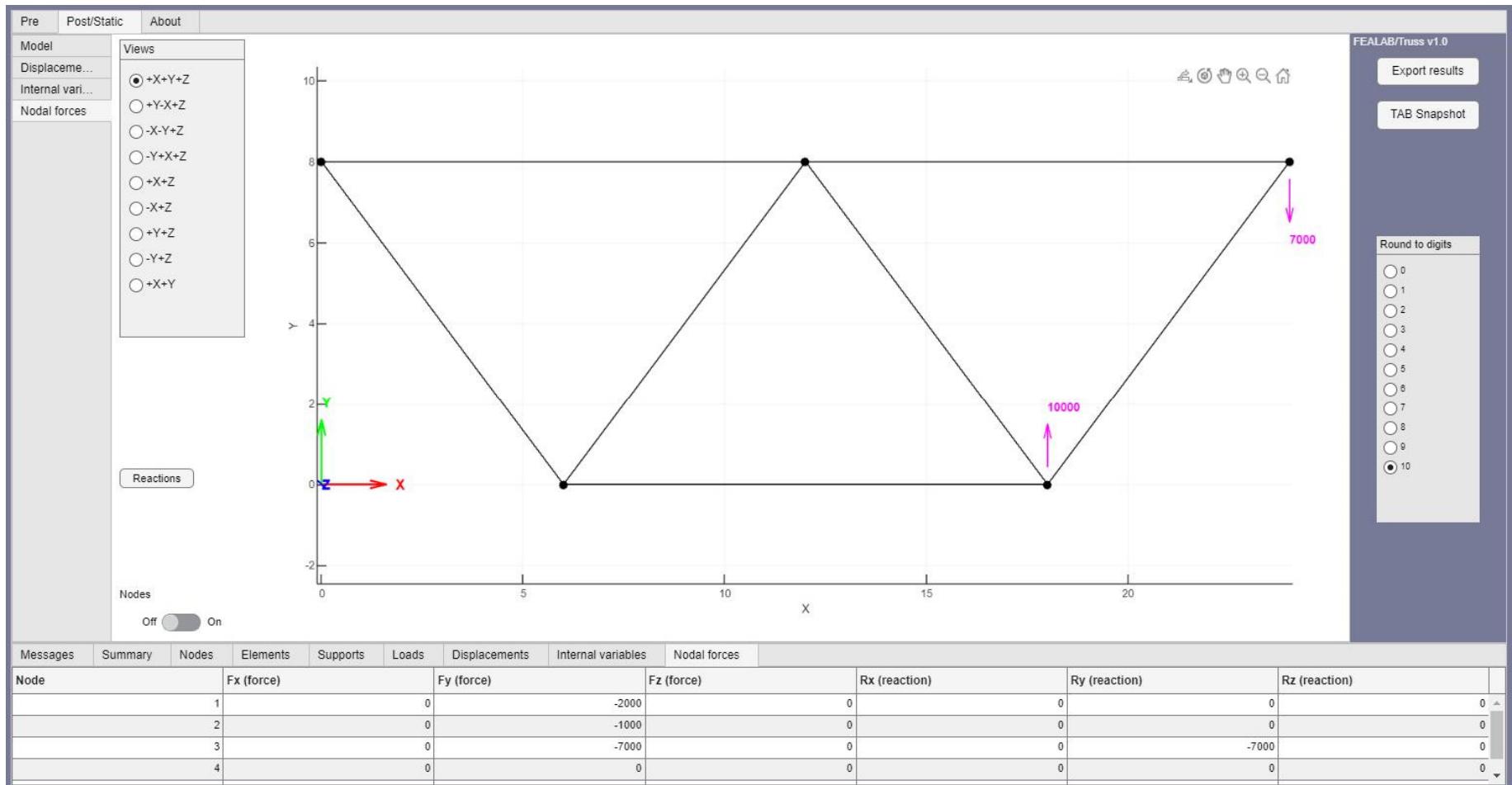
# FEALAB/Truss: Visualización del Modelo Creado



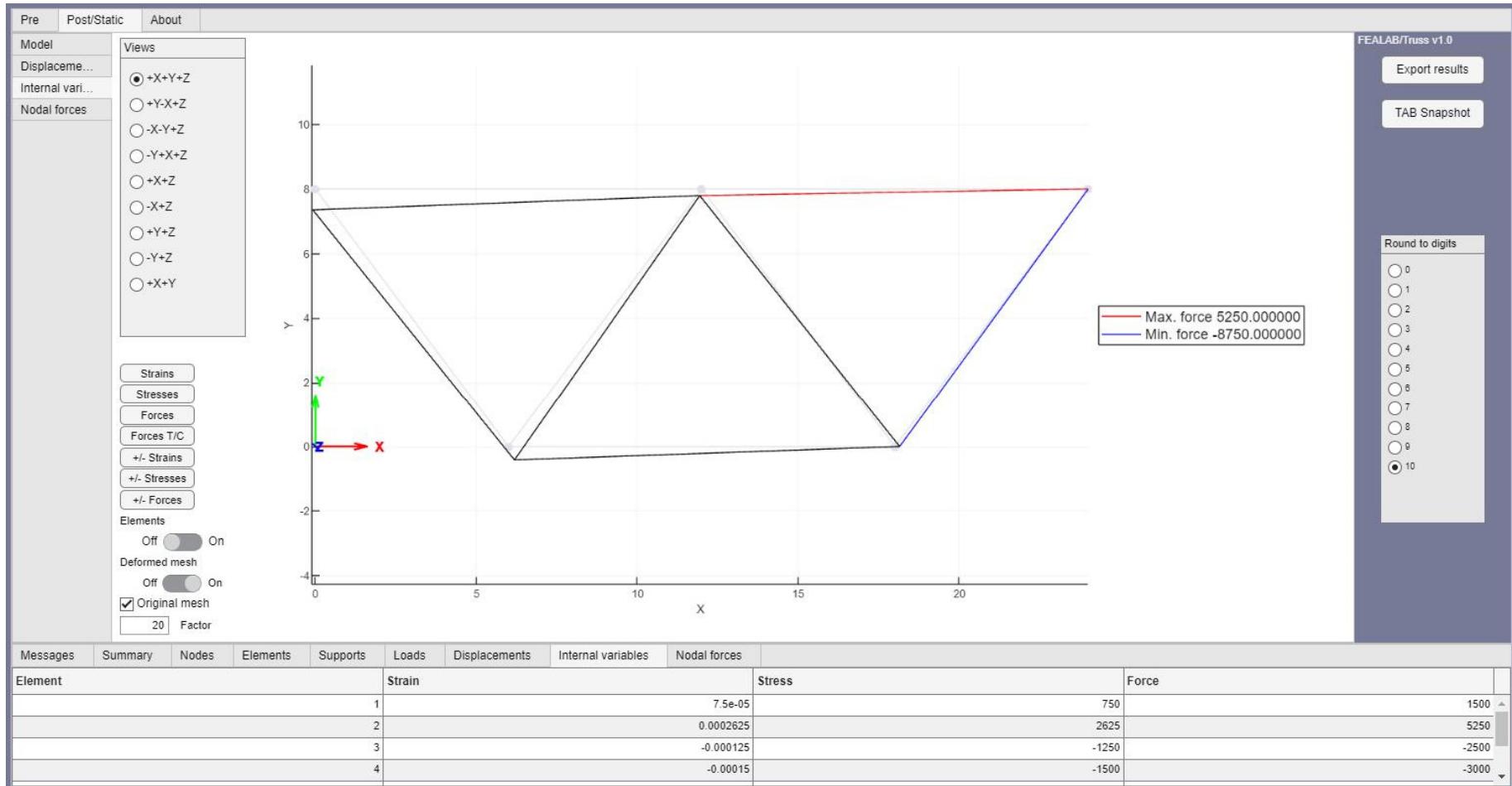
# FEALAB/Truss: Resultados Fuerzas en Barras



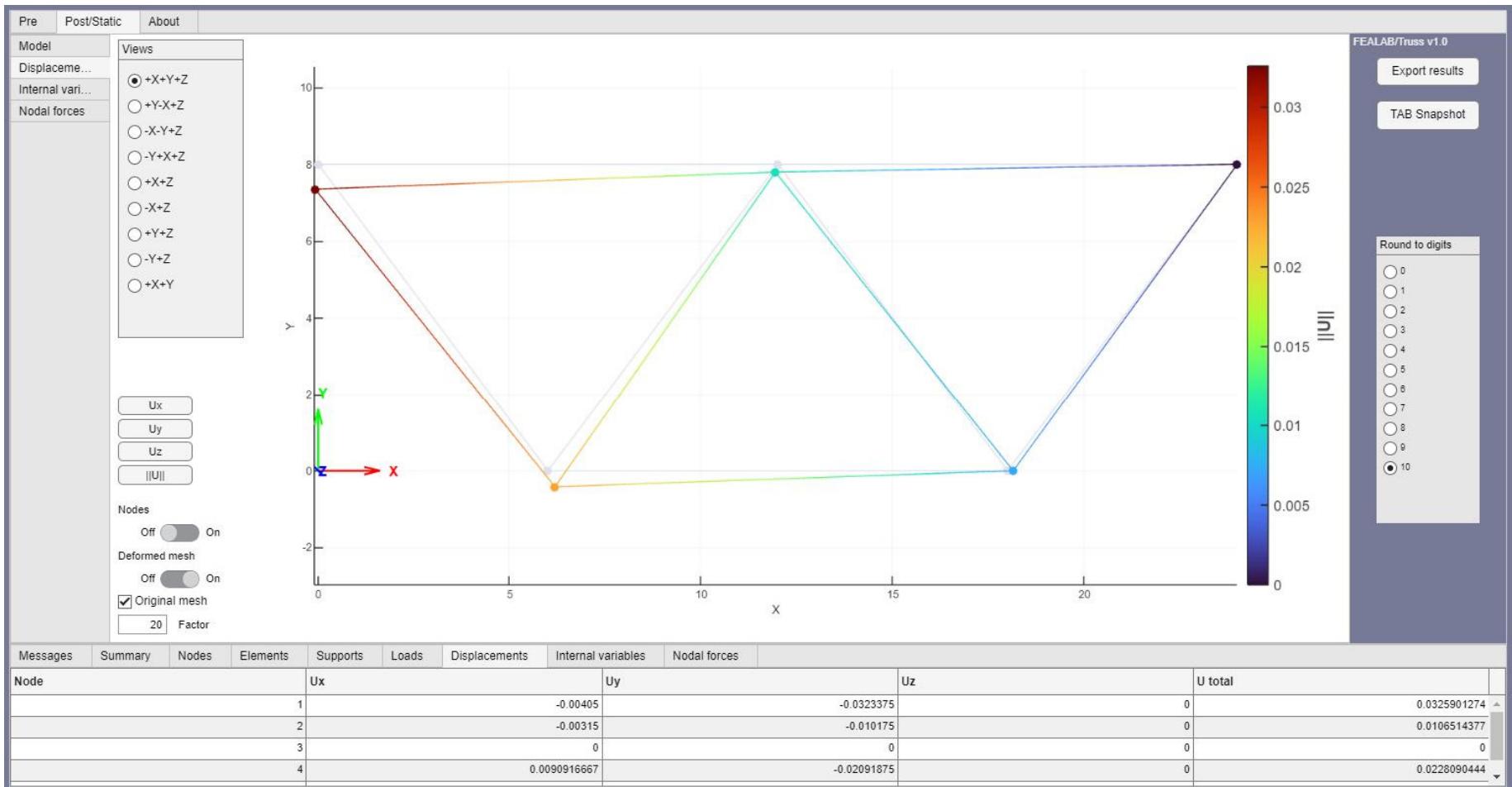
# FEALAB/Truss: Resultados de Reacciones



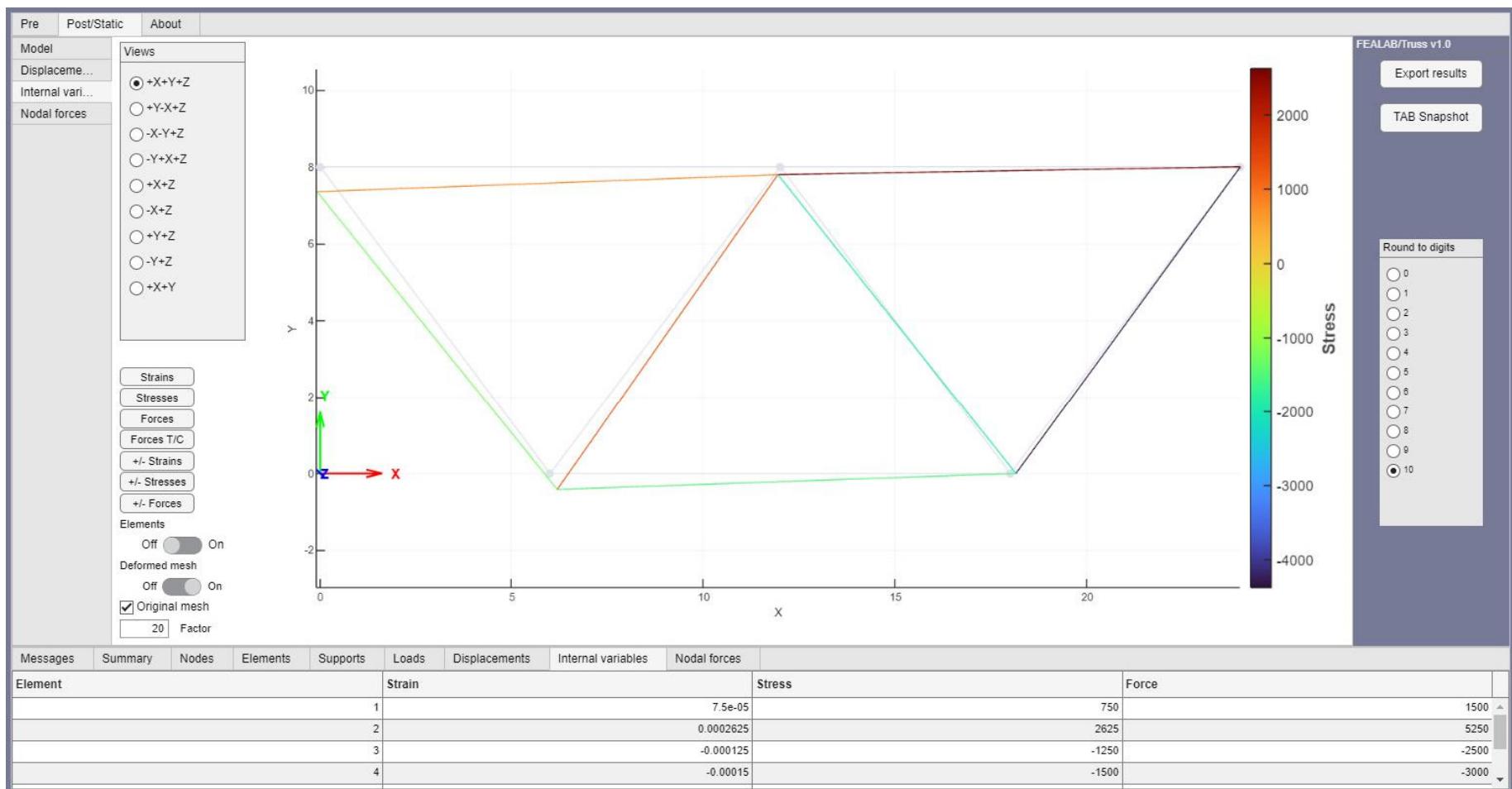
# FEALAB/Truss: Resultados Fuerzas Máx y Mín



# FEALAB/Truss: Resultados Desplazamientos



# FEALAB/Truss: Resultados Esfuerzos en Barras



# Método de las Secciones

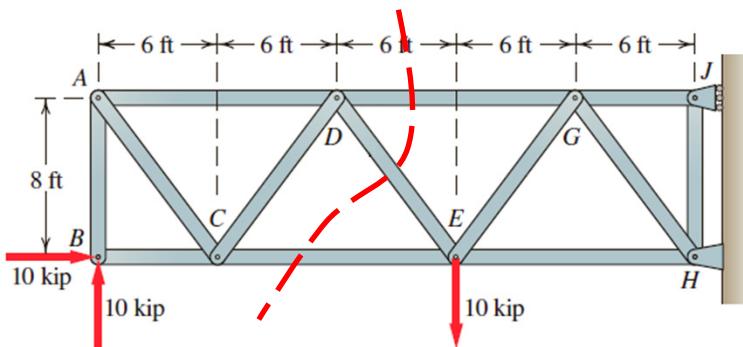


Fig. 1: Determinar fuerza en barra  $DE$ . Se introduce línea de corte (línea segmentada) para determinar la fuerza en la barra  $DE$  mediante equilibrio de la parte izquierda de la armadura separada.

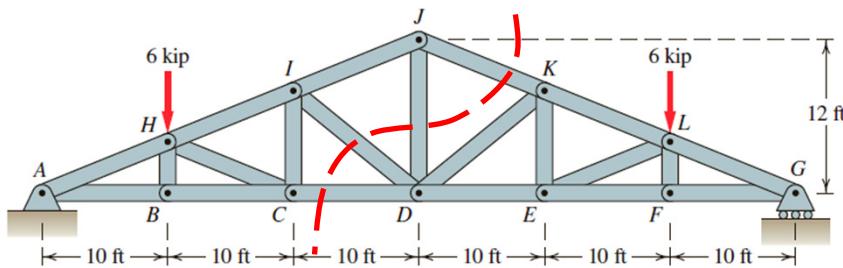
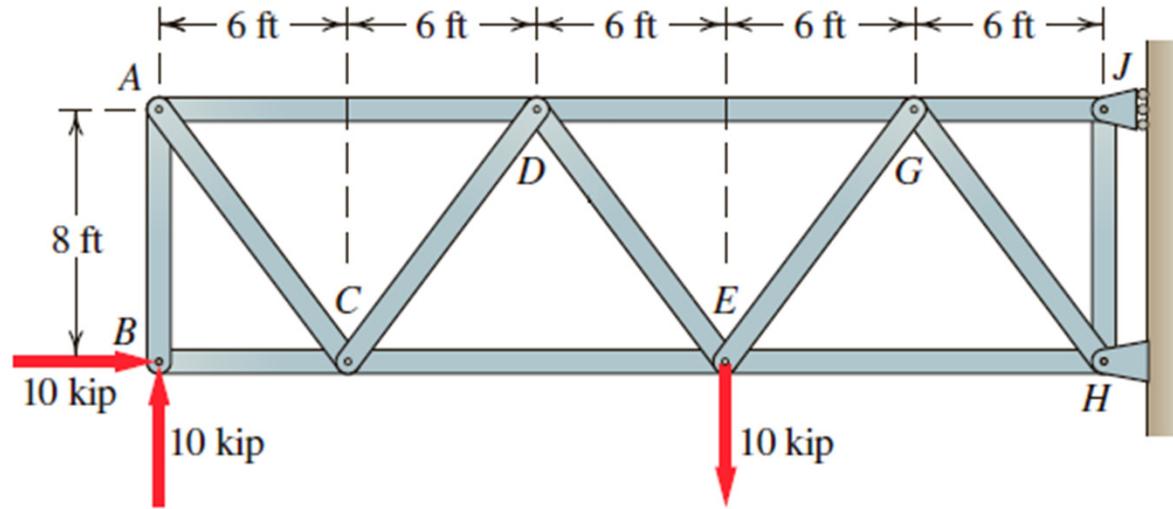


Fig. 2: Determinar fuerza en barra  $JD$ . Se introduce línea de corte (línea segmentada) para determinar la fuerza en la barra  $JK$  mediante equilibrio de la parte izquierda de la armadura separada. Luego, mediante método de los nodos en nodo  $J$ , se determina la fuerza en la barra  $JD$ .

- Útil cuando se requiere determinar la fuerza en unas pocas barras.
- Consiste en separar una sección de la armadura para, mediante un DCL local, obtener la fuerza en alguna barra.
- **Criterio de separación:** se introduce un corte (Fig. 1) que separa por completo la armadura pasando por un máximo de 3 barras en 2D / 6 barras en 3D (la barra cuya fuerza se quiere determinar debe estar incluida). La fuerza se determina mediante equilibrio de una de las partes separadas.
- Si no es posible cortar 3 o menos barras, se puede combinar el método de las secciones con el método de los nodos (Fig. 2).

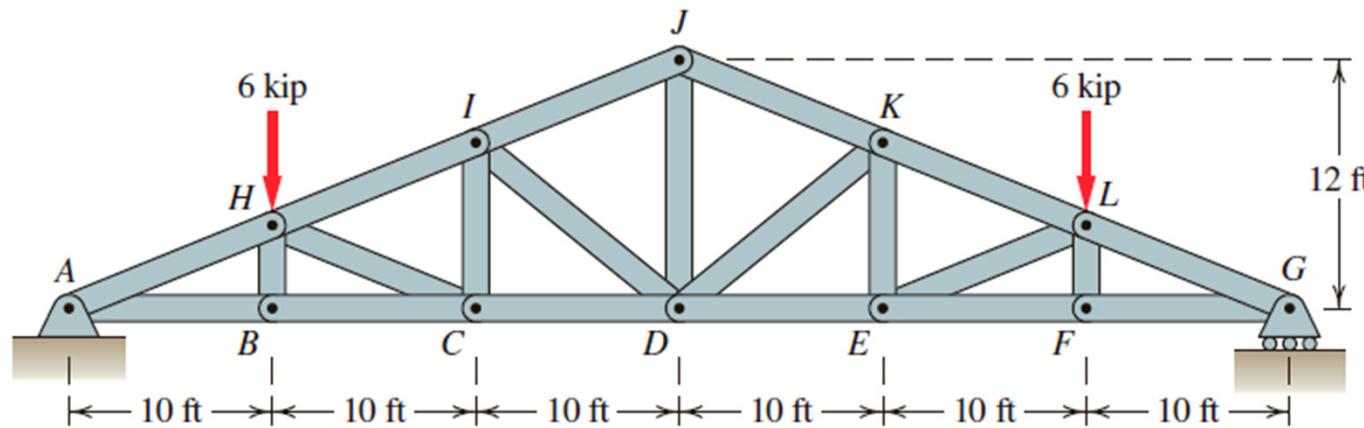
# Método de las Secciones

**Problema:** Usar el método de las secciones para encontrar las fuerzas en las barras *DE* y *DG*.

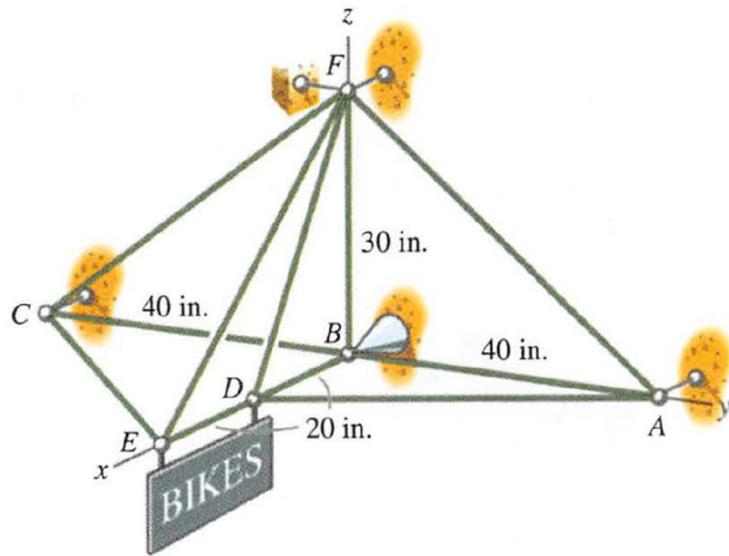


# Método de las Secciones

**Problema:** Usar una combinación del método de los nodos y método de las secciones para encontrar la fuerza en la barra *JD*.



## Problema 1

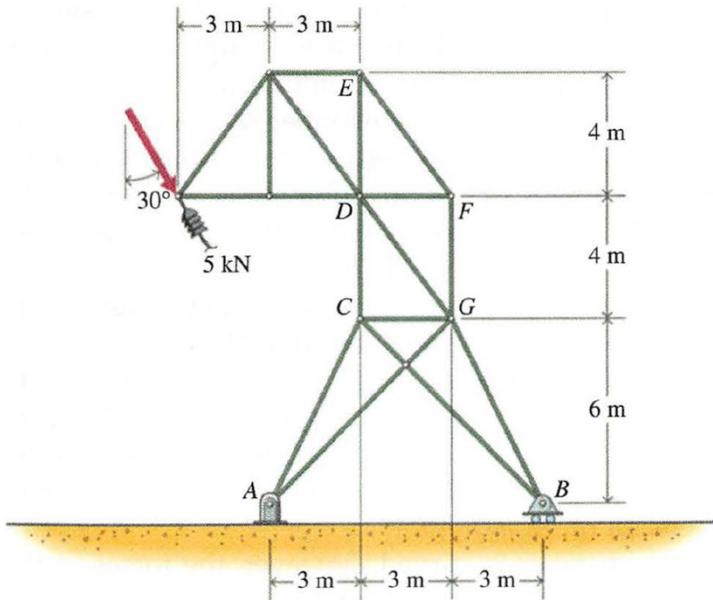


El cartel pesa 600 N y lo soporta por igual los nodos E y D. Además, el viento sobre el cartel genera una carga de 75 N en la dirección y negativa, la que se distribuye por igual en los nodos E y D. Los apoyos de la armadura son los siguiente: en B hay una rótula, en A, C y F hay eslabones. a) Determinar las reacciones en los apoyos y b) la fuerza en cada miembro de la armadura mediante el método de los nodos. Comprobar los resultados con el programa FEALAB/Truss.

### Instrucciones:

- Tarea en grupos de máximo 3 integrantes.
- Entregar desarrollo del problema mediante el método de los nodos. Incorporar imágenes del programa FEALAB/Truss validando los resultados.
- Adjuntar el archivo de entrada del programa FEALAB/Truss.
- Enviar por sistema de tareas de u-cursos.

## Problema 2



Determinar las fuerzas en las barras CD, DF, EF y FG de la armadura utilizando el método de las secciones. Comprobar los resultados con el programa FEALAB/Truss.

### Instrucciones:

- Tarea en grupos de máximo 3 integrantes.
- Entregar desarrollo del problema mediante el método de las secciones. Incorporar imágenes del programa FEALAB/Truss validando los resultados.
- Adjuntar el archivo de entrada del programa FEALAB/Truss.
- Enviar por sistema de tareas de u-cursos.