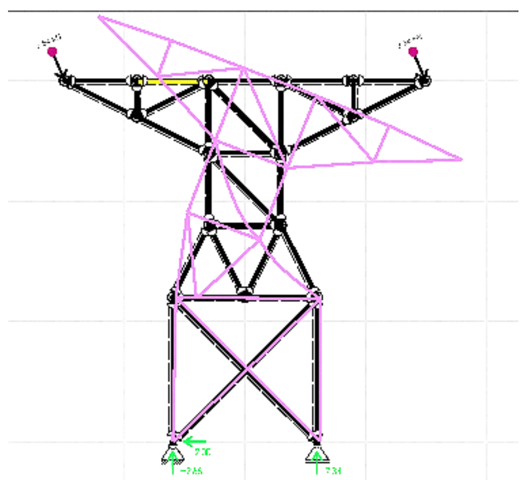
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA

ANALISIS BÁSICO DE VIGAS Y ESTRUCTURAS UTILIZANDO STATIK TUGo®

Ver. 0.5



M. en I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez

SEMESTRE 2021-1

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

El análisis estructural como una rama de la mecánica es la teoría que describe el comportamiento de los cuerpos sólidos en reposo en un estado de **equilibrio**. En ingeniería estructural, los métodos para el cálculo de deformaciones y tensiones en sistemas estáticos se utilizan para el análisis de estructuras de carga. Además de la transferencia de construcciones y acciones reales a sistemas estructurales y cargas asociadas, la evaluación de la capacidad de carga y la capacidad de servicio es una parte esencial del proceso de diseño.

Los resultados de la investigación de los análisis estructurales proporcionan a los planificadores y diseñadores información elemental sobre las propiedades esenciales del modelo estructural y permiten la identificación de detalles críticos, el apoyo en el proceso de diseño o proporcionan pistas importantes para un diseño más eficiente o un uso optimizado de los materiales.

El desarrollo hacia arquitecturas informáticas cada vez más potentes en el sector comercial permite el uso de métodos de cálculo avanzados en el análisis de estructuras. Como resultado, la importancia del conocimiento sobre el uso de programas de análisis estructural y. en particular, la interpretación de los resultados está aumentando.

La formación de ingenieros estructurales, arquitectos y otras personas involucradas en el proceso de diseño debe incluir los principios teóricos del análisis estructural, por un lado, y la aplicación e interpretación de software, por otro.

Muchos egresados de la carrera de IME, como los Ings. Oscar, Lázaro, y más me han expresado la necesidad de que el egresado sepa un poco más sobre el análisis de vigas y estructuras por la exigencia que se tiene en el trabajo diario como ingenieros, de este modo, se presenta una pequeña introducción al estudio de dichos elementos mecánicos auxiliándose de aplicación pequeña pero muy poderosa, que puede usarse tanto en el smartphone, una Tablet, o en línea con una computadora de escritorio.

La aplicación statikTUGo se puede utilizar para demostrar las leyes del análisis estructural de una manera clara e interactiva y, por lo tanto, crear una sensación de sus leyes y principios básicos. El control intuitivo y la reducción en el diseño permiten una experiencia de usuario natural y rápida, con el enfoque en lo esencial: **el análisis estructural.**

CAPITULO 1

CONCEPTOS BÁSICOS DE LA MECÁNICA DE SÓLIDOS

1.1. Carga axial

Es la fuerza que actúa a lo largo del eje longitudinal de una pieza. La intensidad promedio de las fuerzas distribuidas es igual a la fuerza sobre unidad de área (figura 1.1).

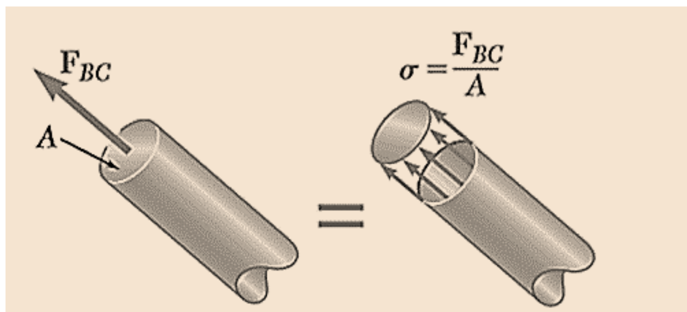


Figura 1.1. Fuerza y esfuerzo axial.

La fuerza por unidad de área de llama esfuerzo y se representa con la letra σ (sigma), se determina por

$$\sigma = \frac{F}{A}\left[\frac{N}{m^2}, \frac{lb}{in^2}\right] \qquad (1-1)$$

Un signo positivo indica tensión y un signo negativo indica compresión. El esfuerzo correspondiente a una carga axial se llama *Esfuerzo Normal.*

La ecuación (1-1) indica valor promedio del esfuerzo a través de la sección transversal. Se utiliza la fuerza resultante *F.*

Para definir el esfuerzo en un punto dado de una sección transversal, debe considerarse un área ΔA infinitesimalmente pequeña y dividirse la magnitud ΔF en dicha área (figura 1.2). Así, se obtiene un valor promedio del esfuerzo, a través de ΔA sobre un punto Q.

$$\sigma = \lim_{\Delta A \to 0} = \frac{\Delta F}{\Delta A} (1-2)$$

El valor obtenido para el esfuerzo σ, en un punto dado Q, es diferente al valor del esfuerzo promedio y σ varía a través de la sección. La ecuación (1-2) se reescribe como

$$\int dF = \int_A \sigma \, dA \qquad (1-3)$$

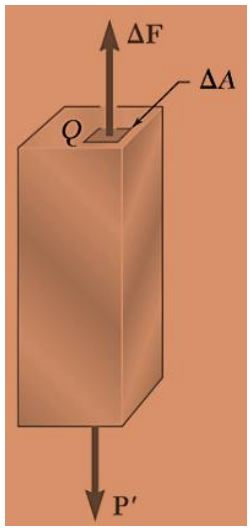


Figura 1.2. Fuerza con magnitud ΔF en un Área pequeña ΔA (Beer, Johnston Jr, DeWolf, & Mazurek, 2015).

En la práctica se supone que la distribución de esfuerzos normales en el elemento cargado axialmente es uniforme, exceptuando los puntos cercanos a la aplicación de las cargas. la distribución uniforme es posible si la línea de acción de las cargas concentradas y pasa a través del centroide de la sección de estudio y se conoce como *carga axial o céntrica.*

1.2. Deformación bajo carga axial

Considérese el alargamiento de una barra con una longitud *L* debido a una carga axial (figura 1.3). La deformación axial está definida por estiramiento por unidad de longitud.

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \qquad [adimensional] \qquad (1-4)$$

$\varepsilon = deformación\ normal$
$\delta = alargamiento\ debido\ a\ la\ carga\ axial$
$L = Longitud\ de\ la\ barra$

Esta expresión debe verse como *la deformación axial promedio* y supone que la barra se deforma uniformemente. Es una expresión adimensional, no obstante, se representa usualmente en mm/mm o in/in.

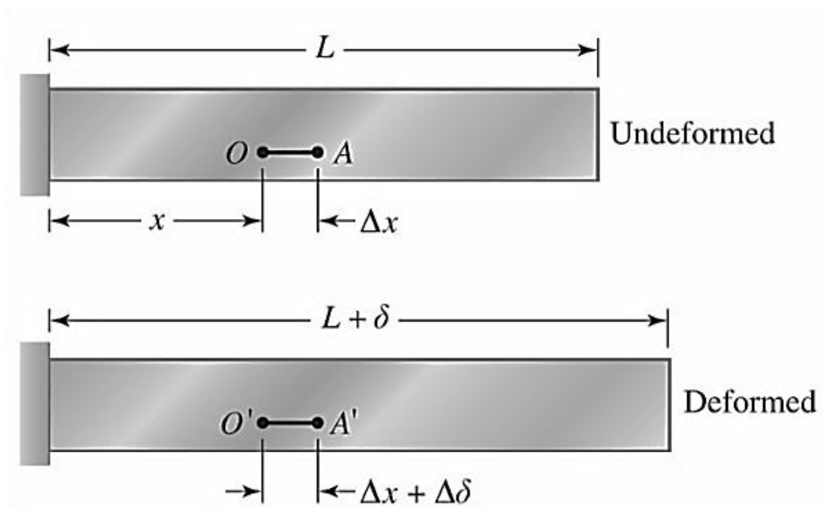


Figura 1.3. Deformación de una barra.

Cuando la deformación no es uniforme, se expresa sobre un punto con la fórmula

$$\varepsilon = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta \delta}{\Delta x} = \frac{d\delta}{dx} \qquad (1-5)$$

Entonces:

$$\delta = \int_0^L d\delta = \int_0^L \varepsilon dx (1-6)$$

1.3. Ley de Hooke

Bajo una conducta elástica, exhibe que la deformación es proporcional al esfuerzo.

$$\sigma = E\varepsilon (1-7)$$

Donde: :

$\sigma = Esfuerzo\ normal\ [lb/in^2][N/m^2]$

$\varepsilon = Deformación\ unitaria$

$E = Módulo\ de\ elasticidad\ o\ Módulo\ de\ Young\ [lb/in^2][N/m^2]$

1.4. Barras cargadas axialmente

Préstese atención a la figura 1.4. Muestra una barra de longitud *L* y de sección trasversal constante sometida a una carga axial *P*.

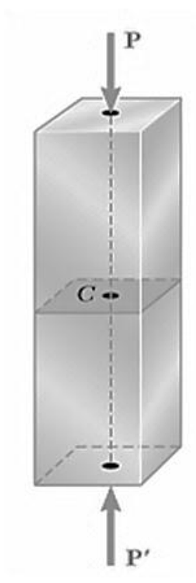


Figura 1.4. Barra cargada axialmente.

Supóngase que el esfuerzo causado por P está debajo del límite proporcional (debajo del esfuerzo necesario para generar una deformación plástica) y por lo tanto la ley de Hooke es válida. Sustituyendo la ecuación (1-7) en la (1-4)

$$\boldsymbol{\sigma = E\varepsilon; \varepsilon = \frac{\delta}{L}}$$

$$\boldsymbol{\sigma = E\frac{\delta}{L}} \therefore$$

$$\boldsymbol{\delta = \frac{\sigma L}{E} \quad y\, dado\;\; que}$$

$$\boldsymbol{\sigma = \frac{F}{A}}$$

Resultando:

$$\boldsymbol{\delta = \frac{PL}{EA}(1-8)}$$

En caso de que el esfuerzo o deformación no sea uniforme, la ecuación (1-8) no es válida. Tomando en cuenta que $\delta = \int_0^L e\,dx$ se consigue la expresión

$$\boldsymbol{\delta = \int_0^L \frac{\sigma}{E}dx = \int_0^L \frac{P}{EA}dx \quad (1-9)}$$

1.5. Torsión de elementos de sección circular

A la sección transversal circular se le aplica una carga. Debido a ésta, la barra se torcerá (figura 1.5); se dice que está en torsión y el momento aplicado se denomina torque *o par*.

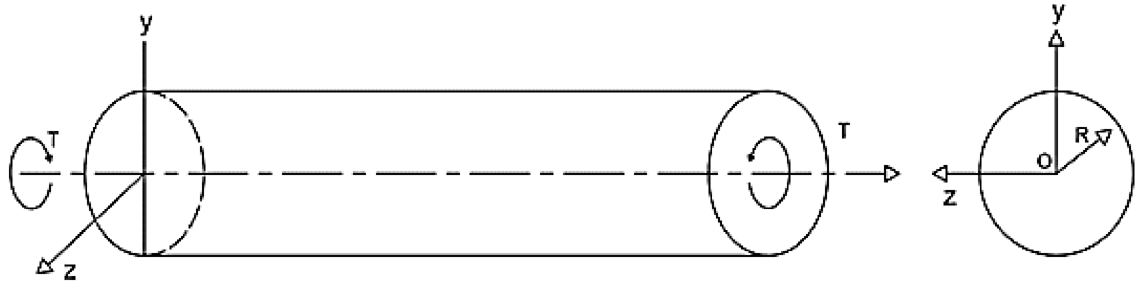


Figura 1.5. Barra sometida a torsión.

1.5.1 Análisis preliminar a los esfuerzos de una flecha

Se ejerce un torque *T* y se muestran las fuerzas de corte dF (figura 1.6). En condiciones de equilibrio para BC, se considera que la suma de momentos debido a las fuerzas individuales dF es igual en magnitud al torque T´. Tomando ρ como la distancia perpendicular desde la fuerza dF al eje de la flecha

$$\int \rho dF = T \qquad (1-10)$$

Ya que dF=τdA donde τ es el esfuerzo cortante y en un área dA, se dice que

$$\int \rho(\tau dA) = T \qquad (1-11)$$

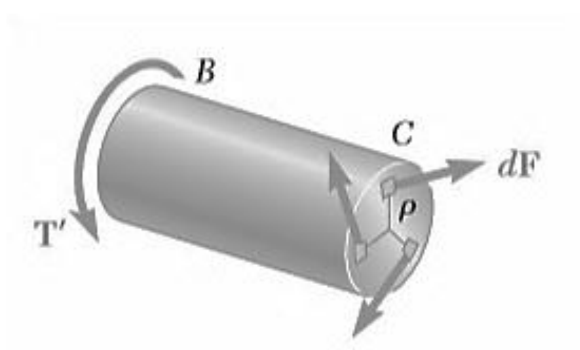


Figura 1.6. Diagrama de cuerpo libre que representa a las pequeñas contribuciones de fuerzas dF a un radio ρ desde el centro de la sección en el punto C debido a la reacción al torque T´.

1.5.2. Deformaciones en el eje

Para entender las deformaciones en el eje, primero se introduce el concepto de *deformación unitaria cortante γ,* que es el cambio de los ángulos formados por los lados de un elemento que originalmente eran perpendiculares entre sí.

En la figura 1.7 se observa como el esfuerzo cortante τ_{xy} produce una deformación equivalente a $\pm\gamma_{xy}$ generando un ángulo $\frac{\pi}{2} \pm \gamma_{xy}$ (se expresa en radianes).

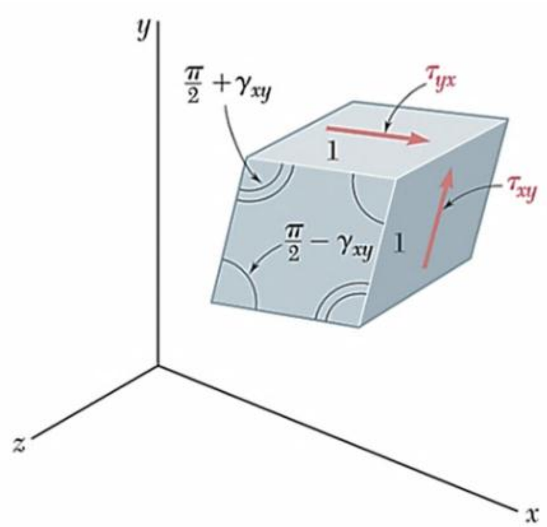


Figura 1.7. Deformación del elemento cúbico unitario debido al esfuerzo cortante.

Para valores del esfuerzo cortante que no sobrepasen el límite de proporcionalidad al corte, para cualquier material isotrópico homogéneo

$$\tau_{xy} = G\gamma_{xy} \qquad (1-12)$$

Y se conoce como *Ley de Hooke para esfuerzo y deformación cortante*, donde *G* es el *módulo de rigidez* y tiene las mismas dimensiones que τ (lb/in^2 o N/m^2) ya que γ es adimensional.

En el análisis de distribución de las deformaciones a esfuerzo cortante en una flecha circular mostrada en la figura 1.8 de longitud L y de radio c con un giro de ángulo equivalente a ϕ, para valores pequeños de γ puede decirse que a longitud de arco *AA´* es *AA´*= $L\gamma$. Sabiendo que *AA´* = $\rho\phi$. Se deduce $L\gamma = \rho\phi$. Siendo así

$$\boldsymbol{\gamma = \frac{\rho\phi}{L} (1 - 13)}$$

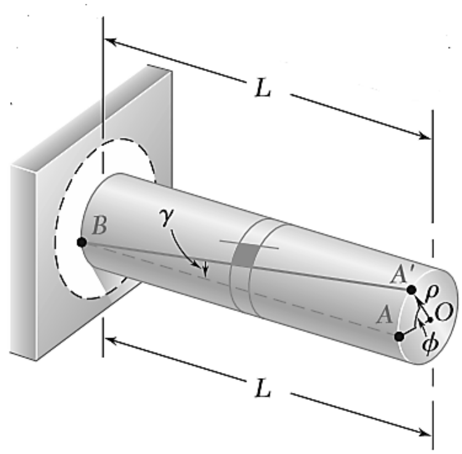


Figura 1.8. Eje con soporte fijo que expone la formación al par, ϕ y γ tienen la misma longitud de arco AA´.

Quiere decir que la deformación cortante γ en un punto del eje sometido en torsión es proporcional al ángulo de giro ϕ y a la distancia ρ desde el eje de la flecha hasta el punto en consideración. Se resumen en que "la deformación unitaria al corte en una flecha circular varía linealmente con la distancia desde el eje de la flecha" (Beer, Johnston Jr, DeWolf, & Mazurek, 2015).

deformación cortante es máxima en la superficie del eje cuando $\rho = c$ donde c es el valor del radio de la flecha. De este modo

$$\gamma = \frac{\rho}{c}\gamma_{\max} \qquad (1-14)$$

1.5.3. Esfuerzos en el rango elástico

Generalizando la ec. 1-12 $\tau = G\gamma$ y multiplicando toda la ecuación (1-14) por G se encuentra

$$\tau = \frac{\rho}{c}\tau_{max} \text{............(1-15)}$$

Mientras el límite de proporcionalidad no sea sobrepasado en ninguna sección, el esfuerzo cortante de la varía linealmente con la distancia ρ desde el eje de la flecha.

La figura 1.9 representa una flecha hueca con radio interno c_1 y radio externo c_2. Con la expresión anterior se transforma en

$$\tau_{mín} = \frac{c_1}{c_2}\tau_{máx}(1-16)$$

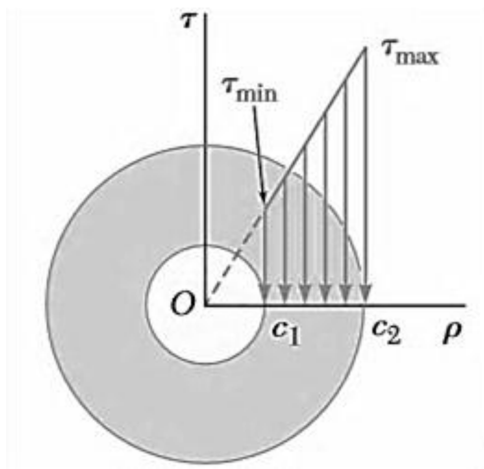


Figura 1.9. Distribución de esfuerzo cortantes en una flecha hueca sometido a torsión. Sólida y hueca.

Sustituyendo τ de (1-15) en (1-11)

$$T = \int \rho\tau dA = \frac{\tau_{máx}}{c}\int \rho^2 dA\,(1-17)$$

La integral del miembro derecho la ecuación representa el momento polar de inercia J que la sección transversal con respecto a O. Entonces despejando c de (1-17) sustituyendo a J, se reescribe expresándose

$$\tau_{máx} = \frac{Tc}{J} (1-18)$$

Y el esfuerzo cortante a cualquier distancia ρ queda determinado por

$$\tau_{máx} = \frac{T\rho}{J} \qquad (1-19)$$

Donde J es una propiedad geométrica de la sección conocida como momento polar de inercia pudiéndose calcular así:

$$J = \frac{1}{2}\pi c^4 \qquad \textit{flecha sólida}$$

$$J = \frac{1}{2}\pi(c_2^4 - c_1^4) \qquad \textit{flecha hueca}$$

Las fórmulas (1-18) y (1-19) pueden aplicarse para un eje de sección transversal variable o sujetos a pares de torsión en lugares distintos de los extremos.

1.5.4. Ángulo de giro en el rango elástico

De las deducciones previas y la ecuación (1-13) se dice que

$$\gamma_{máx} = \frac{c\phi}{L} \qquad (1-20)$$

Aplicando la Ley de Hook y $\gamma_{máx} = \tau_{máx}/G$, a partir de (1-18)

$$\gamma_{máx} = \frac{\tau_{máx}}{G} = \frac{Tc}{JG} \qquad (1-21)$$

Igualando (1-20) y (1-21), despejando ϕ, se concluye

$$\phi = \frac{TL}{JG} \qquad (1-22)$$

Permitida si el valor de *G,* la sección transversal es constantes y si está cargado sólo en sus extremos. De lo contrario el eje debe dividirse en secciones, que, individualmente satisfagan las condiciones para la aplicación de (1-22).

Examinándose una flecha de no uniforme (figura 1.10) para conocer el ángulo de giro entre *A* y *B,* se suma algebraicamente los ángulos de giro de cada componente.

$$\phi = \sum_i \frac{T_i L_i}{J_i G_i} \qquad (1-23)$$

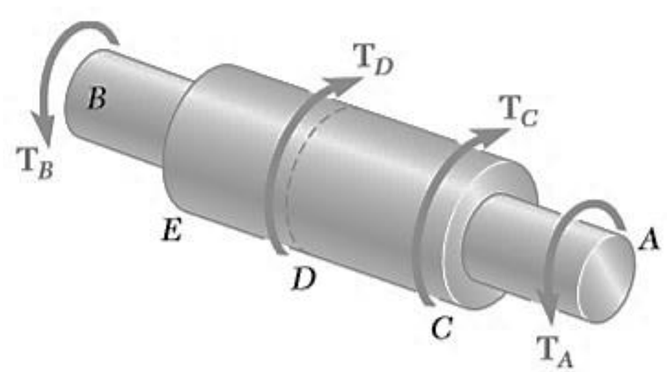


Figura 1.10. Eje con diferentes secciones transversales y diversas cargas (Beer, Johnston Jr, DeWolf, & Mazurek, 2015).

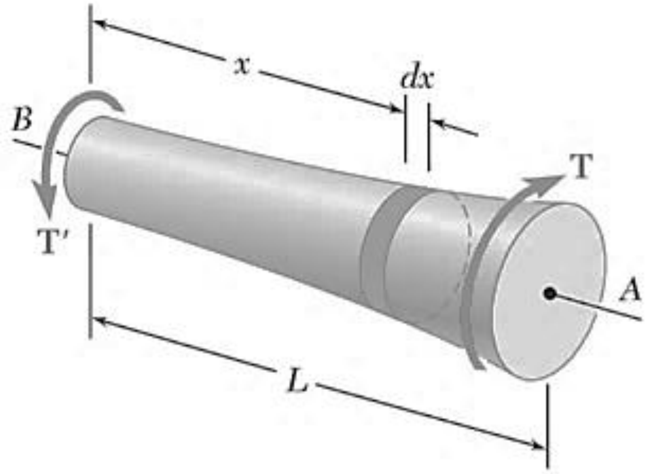


Figura 1.11. Flecha sometida a torsión con sección transversal variable..

T_i se calcula con un diagrama de cuerpo libre aplicado a la sección de interés.

Para una sección circular variable (figura 1.12) el ángulo total del giro es

$$d\phi = \frac{T\,dx}{JG} \;\rightarrow\; \phi = \int_0^L \frac{T\,dx}{JG} \qquad (1-22)$$

Si ambos extremos se giran, el ángulo de giro del eje corresponde al ángulo desde un extremo de giro con respecto al otro (figura 1.12).

$$\phi_{E/B} = \phi_E - \phi_b = \frac{TL}{JG}(1-23)$$

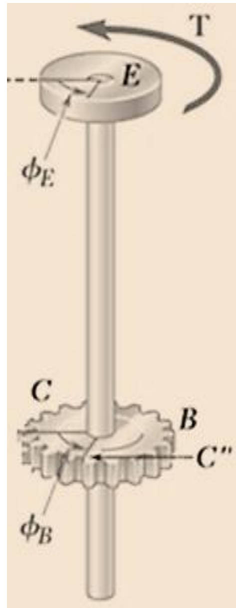


Figura 1.12. Flecha con ambos extremos girando.

1.6 Flexión

1.6.1. Centro de gravedad de un cuerpo

Es la posición geométrica de un cuerpo rígido, en la cual se puede considerar concentrada toda su masa, también se dice que corresponde a la posición promedio de todas las partículas de masa que forman el cuerpo rígido.

1.6.2. Centroide de un área

Es un punto que define el centroide geométrico de un objeto.

Es el término utilizado para definir el punto correspondiente al centro de gravedad de una sección geométrica de espesor despreciable y masa nula.

Conocer su posición permite producir una distribución de esfuerzos uniforme en la sección transversal de una estructura y su cálculo se puede hacer mediante las expresiones siguientes:

$$\bar{x} = \frac{x_1A_1 + x_2A_2 + \cdots + x_nA_n}{A_1 + A_2 + \cdots + A_n} \quad \textbf{1-24}$$

$$\bar{y} = \frac{y_1A_1 + y_2A_2 + \cdots + y_nA_n}{A_1 + A_2 + \cdots + A_n} \quad \textbf{1-25}$$

Donde:

X, Y= Coordenadas del centroide

$A_1 A_2, \cdots A_n$ = ***Área de cada una de las formas geométricas simples en que fue dividida el área original.***

$X_1 X_2, \cdots X_n$ = ***Distancia que existe entre el eje coordenado "Y" y el centroide de cada una de las formas geométricas simples.***

$Y_1 Y_2, \cdots Y_n$ = ***Distancia que existe entre el eje coordenado "X" y el centroide de cada una de las formas geométricas simples.***

Cuando se desea hallar el centroide de áreas complejos se debe hacer lo siguiente:

1.- Se descompone el área original en áreas geométricas más simples de modo tal que se pueda conocer casi de manera inmediata la localización del centroide.

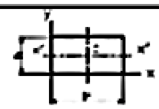
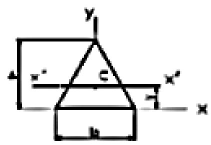
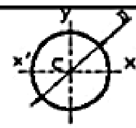
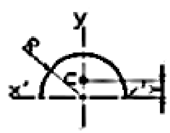
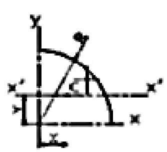
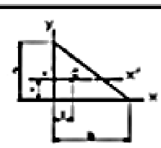
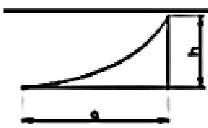
2.- Se establece un par de ejes de referencia a partir de cuales se hacen todas las mediciones.

3.-Se calcula X, Y, aplicando las ecuaciones antes apropiadas.

Nota: Si el área original tiene un eje de simetría se sabe entonces que el centroide se localiza sobre dicho eje y en consecuencia ya no será necesario calcule la coordenada correspondiente a ese eje.

En la tabla 1.1 se proporcionan las coordenadas del centroide, así como el momento de inercia con respecto al eje centroidal x-x para las formas geométricas más comunes.

***Tabla 1.1.** Centroide y momentos de inercia para las formas geométricas más comunes.*

Forma	Área	Centroide	Momento de inercia $I_{x'\text{-}x'}$
	A = b*h	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = h/2$	$I = \frac{1}{12}bh^3$
	$A = \frac{b*h}{2}$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = \frac{1}{3}h$	$I = \frac{1}{36}bh^3$
	$A = \frac{1}{4}\pi D^2$ $A = \pi R^2$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = 0$	$I = \frac{\pi D^4}{64}$
	$A = \frac{\pi R^2}{2}$	$\bar{x} = 0$ $y = \frac{4R}{3\pi}$	$I = 0.11R^4$
	$A = \frac{\pi R^2}{4}$	$x = \frac{4R}{3\pi}$ $y = \frac{4R}{3\pi}$	$I = 0.055R^4$
	$A = \frac{b*h}{2}$	$\bar{x} = \frac{1}{3}b$ $\bar{y} = \frac{1}{3}h$	$I = \frac{1}{36}bh^3$
	$A = \frac{a*h}{3}$	$\bar{x} = \frac{3a}{4}$ $\bar{y} = \frac{3h}{10}$	$I = \frac{8a^3b}{175}$

1.6.3. Momento de inercia

El momento de inercia de un área plana con respecto a los ejes x-x e y-y, figura 6.4, se definen mediante las ecuaciones siguientes:

$$I_{y\text{-}y} = \int x^2.dA \quad o \quad I_{x\text{-}x} = \int y^2.dA \qquad \text{......1-26}$$

Donde:

Ix-x es el momento de inercia de la sección con respecto a un eje x-x.

Iy-y es el momento de inercia de la sección con respecto a un eje y-y

x,y son las coordenadas del elemento diferencial dA.

Para calcular el momento de inercia de un área a partir de la ecuación 6.14 se han deducido fórmulas para cada una de las áreas simples que se encuentran comúnmente.

Para calcular el momento de inercia de un área compleja, esto es, que está formada por varias formas simples, es necesario aplicar el teorema de los ejes paralelos que establece lo siguiente: "El momento de inercia de toda el área es igual a la suma de los momentos de inercia de cada una de las áreas simples con respecto al eje centroidal x'-x' (o y'-y') de toda el área" pudiéndose expresar matemáticamente de la forma siguiente:

$$I_{x'-x'} = \sum (I_{x-x} + A.dy^2) \quad .$$

o

$$I_{y'-y'} = \sum (I_{y-y} + A.dx^2) \qquad \text{......1-27}$$

Donde:

Ix'-x' es el momento de inercia de toda el área con respecto a su propio eje centroidal x'-x'.

Ix-x es el momento de inercia de cada una de las áreas simples con respecto a su eje centroidal x-x

Iy'-y' es el momento de inercia de toda el área con respecto al eje centroidal y'-y'.

Iy-y es el momento de inercia de toda el área con respecto eje centroidal A es el área de cada una de las áreas simples en que se dividió el área original

dy es la distancia medida sobre el eje y que existe entre el eje centroidal x-x de cada una de las figuras simples y el eje centroidal x'-x' de toda el área

dx es la distancia medida sobre el eje x que existe entre el eje centroidal y-y de cada una de las figuras simples y el eje centroidal y'-y' de toda el área.

Desde el punto de vista de la ***mecánica de sólidos,*** el momento de inercia de un área es una medida de la resistencia que ofrece el material incluido dentro de la sección transversal esto es, a mayor magnitud del momento de inercia mayor será la resistencia del elemento. Ahora bien, no es necesario tener una gran área para tener un mayor momento de inercia, menos material ventajosamente distribuido puede proporcionar un momento de inercia superior.

1.6.4. Vigas

Las vigas son elementos relativamente esbeltos (una dimensión es mucho mayor que las otras dos) y que soportan cargas aplicadas perpendicularmente a su eje longitudinal.

Otra definición establece lo siguiente:

Viga es todo elemento que se flexiona bajo la acción de una carga no importando su tamaño ya que puede ser tan grande que forme parte de un puente o edificio o tan pequeño como el diente de un engrane.

Se clasifican por ser estáticamente determinadas o estáticamente indeterminadas. Las segundas no pueden resolverse mediante las ecs. básicas del equilibrio.

Las cargas transversales están constituidas por *cargas concentradas* (N, lb) o *cargas distribuidas, uniformemente o no,* expresadas en kN/m y kips/ft respectivamente.

A diferencia de otros elementos estructurales, en una viga se presentan 2 efectos claramente definidos, a saber:

- **Una fuerza cortante (V)**
- **Momento flexionante (M)**

Para entender mejor la naturaleza tanto de la fuerza cortante como del momento flexionante considérese una viga prismática bajo la acción de una carga P como se muestra en la figura 1.13, a continuación, córtese dicha viga mediante un plano transversal A-A’ localizado a una distancia X con respecto a la reacción de la izquierda y por último trácese el diagrama de cuerpo libre de dicha sección.

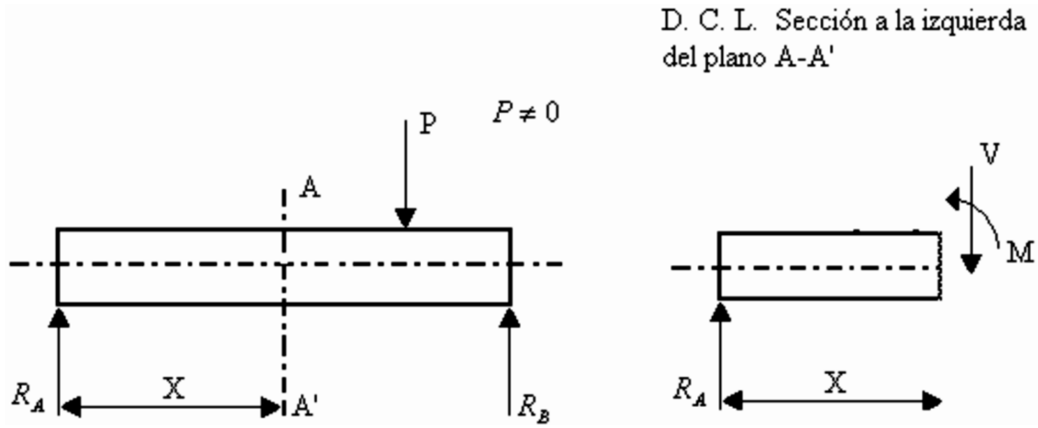


Figura 1.13. Fuerza cortante V, y el momento flexionante M en cualquiera sección transversal de la viga

Como puede observarse en la figura, la fuerza cortante V tiende a cortar o deslizar una sección con respecto a otra y el momento flexionante M tiende a "doblar" o flexionar a la viga.

Las principales características de la fuerza cortante y del momento flexionante se describen a continuación:

Fuerza cortante en vigas

- Para que exista equilibrio en segmento de viga, debe haber una fuerza vertical interna **V** que satisface $\Sigma Fy=0$.
- Esta fuerza cortante **V** es igual a la suma de todas las componentes verticales de las fuerzas externas, pero tiene sentido contrario.

Momento flexionante en vigas

- La tercera condición de equilibrio $\Sigma M=0$ se satisface con un momento interno que se opone al originado por las fuerzas externas.
- Es de la misma magnitud pero de sentido contrario.
- Como tiende a causar flexión en la viga, se le llama momento flexionante **M**.

Para hallar las fuerzas internas en viga expuesta a una carga concentrada P_1 y una carga distribuida wa (figura 1.14) hay que calcularse las reacciones en los apoyos.

Averiguar el valor del momento flector máximo se logra auxiliándose en el *diagrama de momento flector*. Lo mismo para la fuerza cortante.

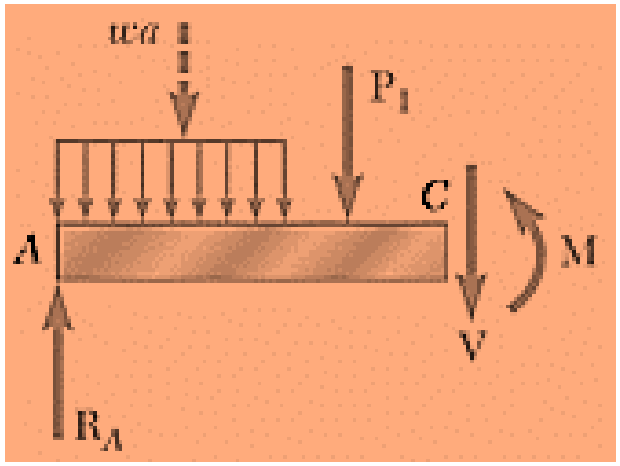


Figura 1.14. Diagrama de cuerpo libre aplica a viga cargada.

Estos efectos producen a su vez esfuerzos de corte (τ) y normales o de flexión (σ) que varían de una sección a otra de la viga dependiendo de las condiciones de carga de la misma.

1.6.5. Esfuerzos de flexión en vigas

Si en una viga prismática como la que se muestra en la figura 1.15 se dibujan dos planos A y B paralelos entre sí, y, si a continuación se aplica una fuerza puntual P, se puede notar que después de hacerlo, en la parte superior de los planos se acercan, y, en la de abajo se alejan, en consecuencia se puede deducir, que en la parte por arriba con respecto al eje neutro, se presentan fuerzas de compresión y en la de abajo, de tensión, siendo cero, las fuerzas que actúan sobre las fibras que coinciden con el eje neutro, figura .

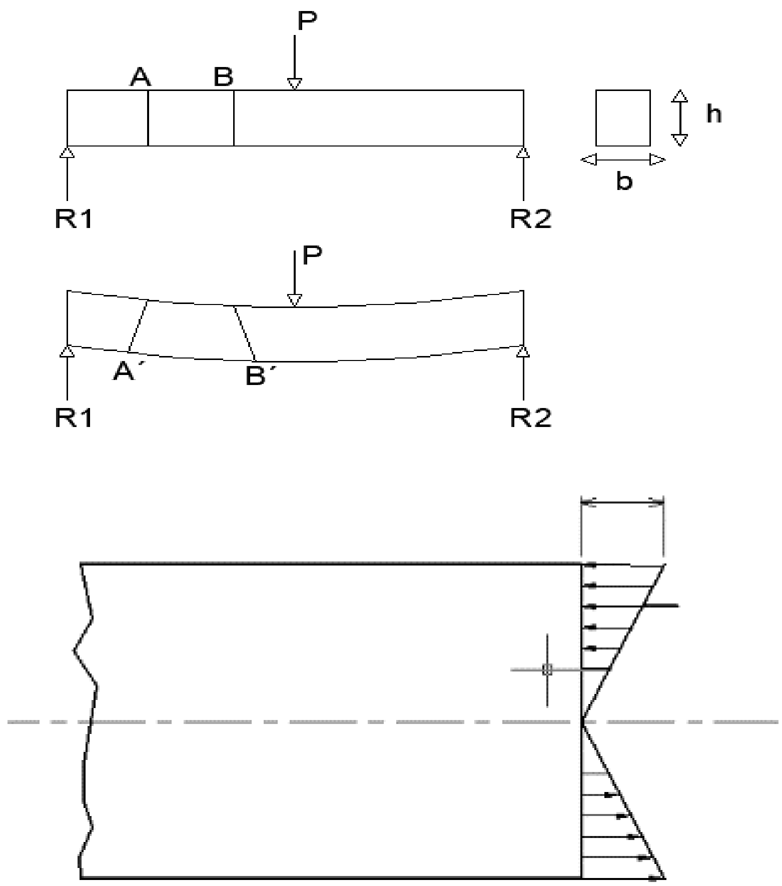


Figura 1.15. Viga sometida a flexión con una carga puntual P.

Las fuerzas producidas crean a su vez esfuerzos normales o de flexión, que se pueden calcular con ayuda de la ec. siguiente:

$$\boldsymbol{\sigma = \frac{M \cdot y}{I} (1 - 28)}$$

Donde:

$\sigma = esfuerzo\ normal$

$y = distancia\ que\ existe\ entre\ elcentroide\ y\ la\ fibra\ de\ intéres$

$I = Momento\ de\ inercia\ del\ área$

En el caso de secciones geométricas no simétricas el esfuerzo es diferente en las fibras superiores y en las fibras inferiores, en consecuencia, los esfuerzos de flexión se pueden calcular así:

$$\sigma_1 = \frac{M \cdot c_1}{I} \qquad \sigma_2 = \frac{M \cdot c_2}{I} \qquad (1-29')$$

$$c_1 = fibras\ superiores \qquad c_2 = fibras\ inferiores$$

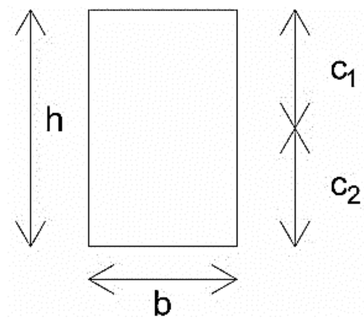


Figura 1.16.** c_1 **y** c_2 **para la ecuación (1-29').

Para el diseño de vigas se utiliza la expresión siguiente:

$$\boldsymbol{\sigma_m} = \frac{|\boldsymbol{M}|}{\boldsymbol{S}} \ldots\ldots\ldots..(1-30)$$

Donde

$S = I / c$ conociéndose como *módulo de sección elástico.*

1.6.6. Esfuerzos cortantes en vigas

La consideración del esfuerzo cortante vertical como tal, se hace en muy pocas ocasiones en el análisis y diseño de vigas, sin embargo, estos esfuerzos se relacionan con los esfuerzos cortantes horizontales y por esto, es de importancia en algunos aspectos en el diseño de vigas, así, los esfuerzos cortantes horizontales deben considerarse en las dos aplicaciones que se describen a continuación:

a) El material usado para la viga tiene una baja resistencia al esfuerzo cortante en una dirección (generalmente la horizontal). Esto ocurre en materiales como la madera.

b) Las partes fabricadas de la viga deben estar unidas en forma segura.

La acción de los esfuerzos cortantes horizontales supone que una viga esta compuesta de varias placas delgadas, apiladas una sobre la otra, pero sin estar unidas de forma alguna, figura 1.17(a). Cuando se aplica una carga a la viga y ocurre la deformación, las superficies de contacto entre las placas se deslizarán y sus posiciones finales se ilustran en la figura 1.17(b.

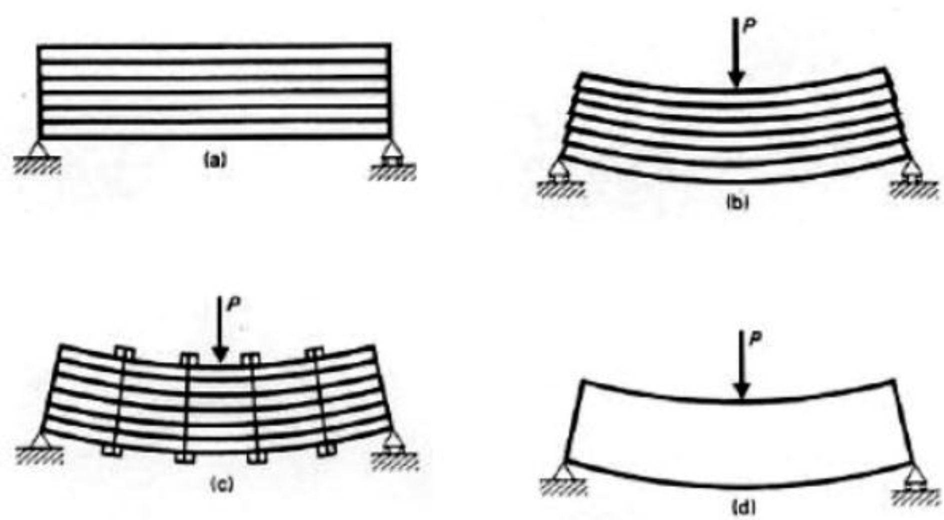


Figura 1.17. Esfuerzos cortantes horizontales en una viga cargada

Si las placas estuvieran unidas por algún medio antes de que se aplique la carga (por ejemplo, pernos,), figura 1.17(c), la viga actuará como una unidad, ya que dichos medios de unión impedirán el deslizamiento de las superficies individuales, por lo que los pernos estarían ejerciendo fuerzas horizontales.

Si la viga está compuesta de un solo bloque, figura 1.17(d) y se aplica una fuerza P, cada superficie horizontal tiende a deslizarse con respecto a la superficie adyacente. Realmente el deslizamiento no ocurre, pues la resistencia de la viga al esfuerzo cortante (fuerzas internas aportadas por el material) lo impide.

Así, el esfuerzo cortante longitudinal se puede evaluar con ayuda de la expresión siguiente:

$$\tau = \frac{VQ}{Ib} \ldots\ldots \quad 1\text{-}31$$

Donde:

t = esfuerzo cortante horizontal

V = fuerza cortante vertical en la sección

Q = momento estático del área que queda arriba (o abajo) del corte

I = momento de inercia de toda el área de la sección transversal conrespecto al eje neutro

b = ancho de la sección del corte

CAPITULO 2

TIPOS DE APOYOS Y ESTRUCTURAS

2.1. Equilibrio de cuerpos rígidos

Para que un cuerpo rígido se encuentre en equilibrio, se debe cumplirse las siguientes ecuaciones:

$$\sum F_X = 0 \qquad \sum F_Y = 0 \qquad \sum F_Z = 0$$
$$\sum M_X = 0 \qquad \sum M_Y = 0 \qquad \sum M_Z = 0 \qquad \text{…..(2-1)}$$

2.2. Apoyos o conexiones.

Los apoyos son los puntos a través de los cuales los cuerpos rígidos se fijan. Estos apoyos impiden o restringen el movimiento del cuerpo rígido en una o en varias direcciones.

A través de los apoyos también se transmiten las reacciones, que son fuerzas opuestas a las ejercidas por el cuerpo rígido y que anulan a las fuerzas que ejerce el cuerpo, permitiendo así que el mismo se encuentre en equilibrio.

Dependiendo del tipo de apoyo, pueden restringirse uno, dos o tres grados de libertad, los más importantes son los que a continuación se mencionan:

2.2.1. Apoyo simple o móvil.

La reacción corresponde a la que se produce entre dos superficies tangentes que se tocan en un punto, permitiendo el deslizamiento relativo entre ambas. Es libre el movimiento en la dirección del eje x, así como el giro en el plano xy. La reacción es una fuerza perpendicular al plano x.

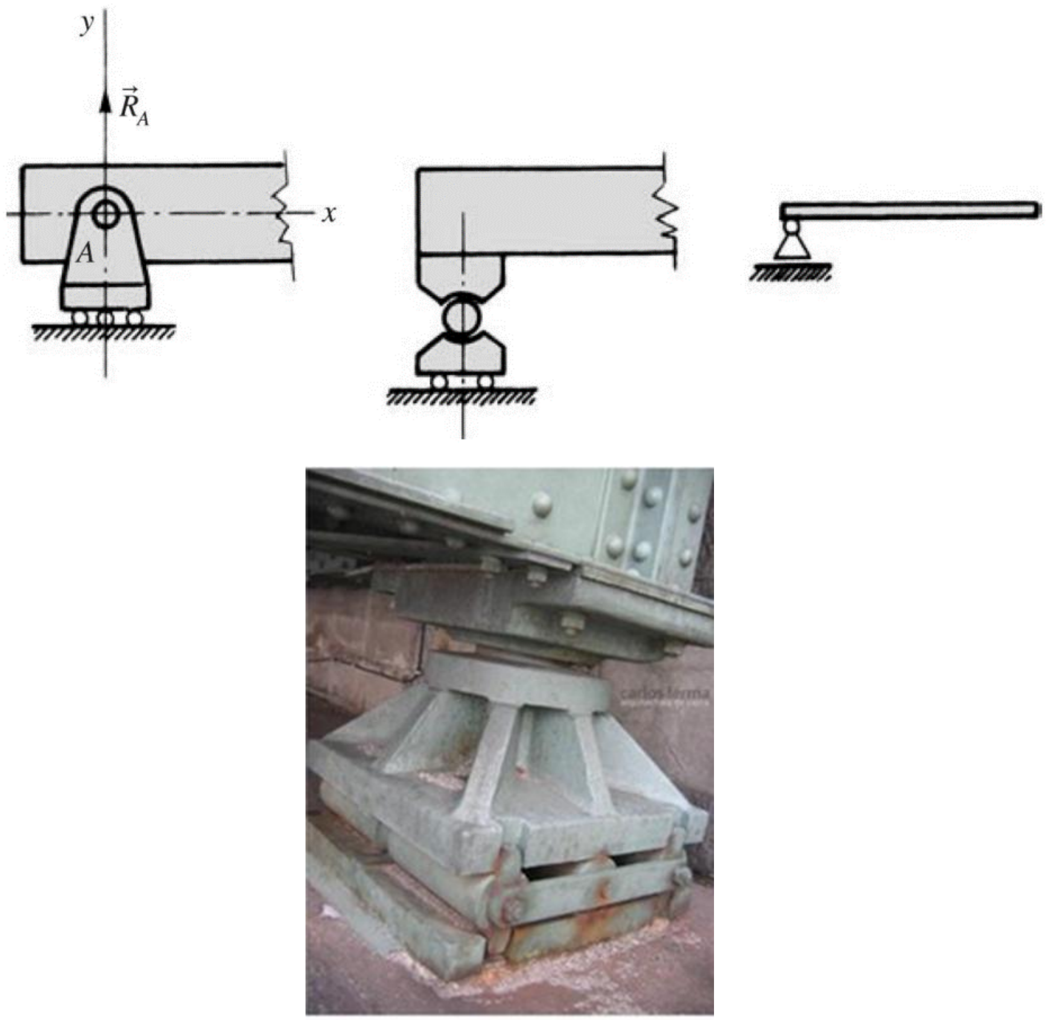


Figura 2.1. Apoyo móvil

2.2.2. Apoyo articulado

El desplazamiento está impedido en el eje x y en el eje y. Las reacciones son en las direcciones de estos dos ejes. Sólo se permite el giro

Figura 2.2. Apoyo articulado

2.2.3. Apoyo fijo o empotrado

Elimina toda posibilidad de movimiento. Proporciona tres componentes reactivas.

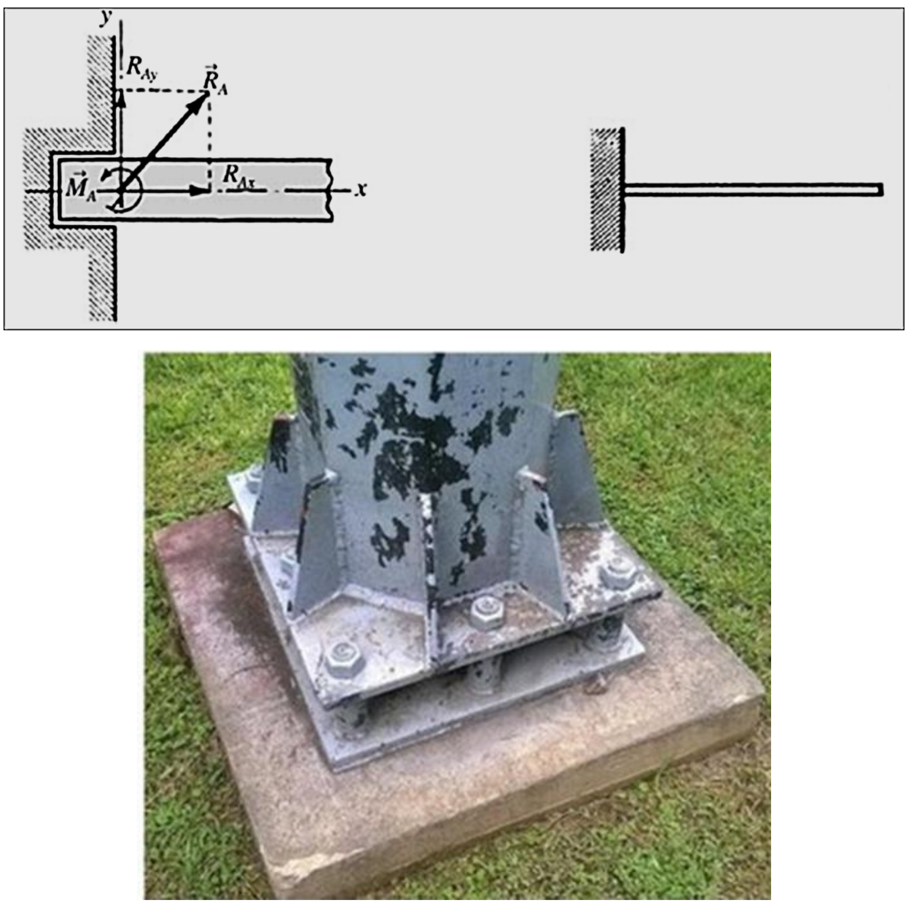


Figura 2.3. Apoyo fijo o empotrado

2.2.4. Nudos Articulados:

- Permiten el giro relativo de las barras como una rótula, las barras que de él salen pueden cambiar su ángulo después de ser aplicadas las cargas.

- **No transmiten momentos flexionantes, en ellos el momento flector es nulo**

- Las barras que conforman la armadura soportan únicamente esfuerzos de tracción o compresión.

- Los ejes de las barras que conforman el nudo deben cruzarse en un punto. De manera que el momento en ese punto sea cero

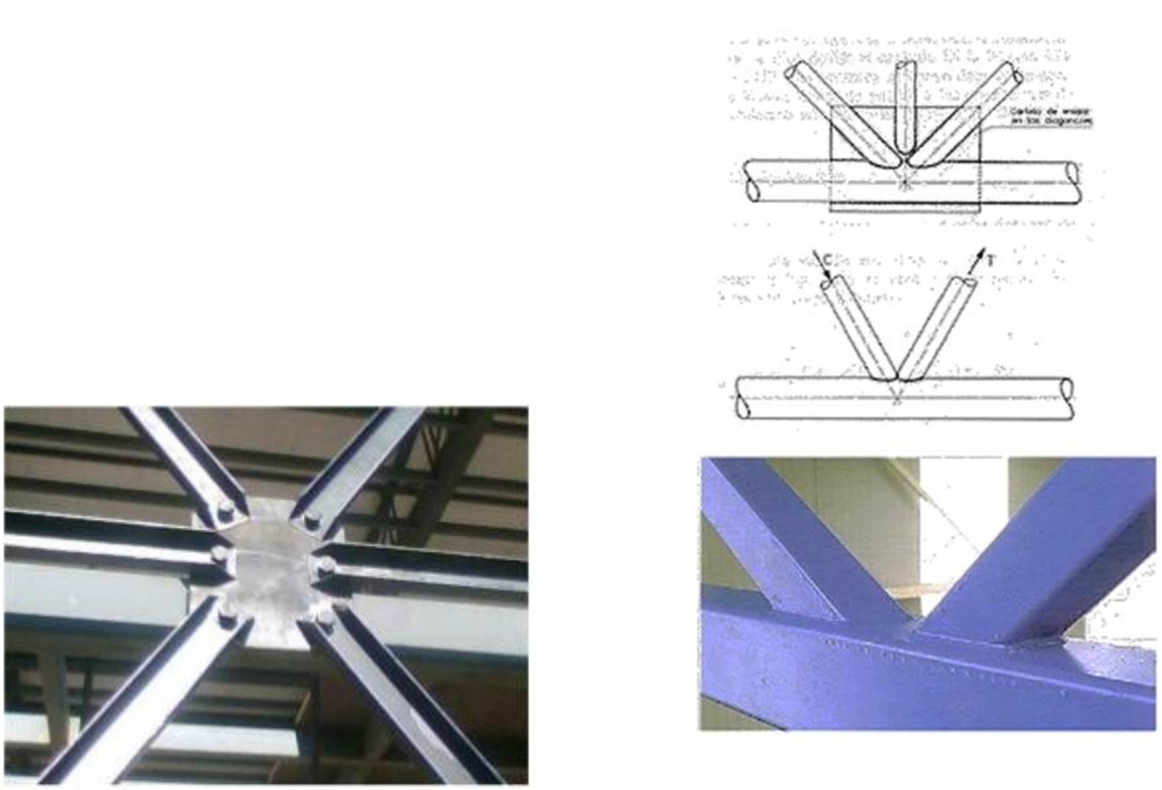


Figura 2.4. Nudo articulado

2.2.5. Nudos rígidos.

Conservan el ángulo siempre. El nudo puede girar y las barras deformarse, pero esas barras siempre saldrán formando el mismo ángulo del nudo, ocurriendo lo mismo con el empotramiento de las barras en los apoyos.

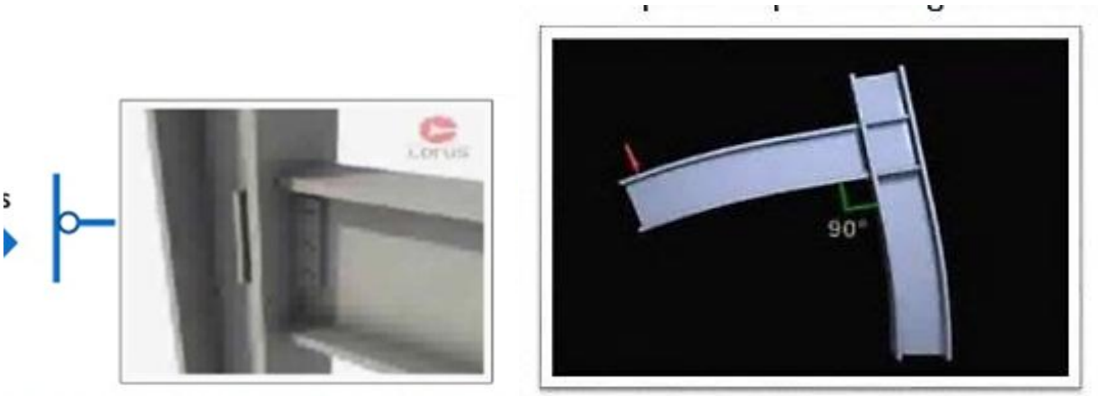


Figura 2.5. Nudo rígido

2.2.6. Apoyos elásticos

Se representan como resortes lineales (con rigidez respecto a desplazamientos lineales δ) y muelles torsionales (con rigidez respecto a giros β). Las reacciones, R para los lineales y M para los torsionales son proporcionales a estos desplazamientos y giros en función de su rigidez (constante elástica, k=δm)

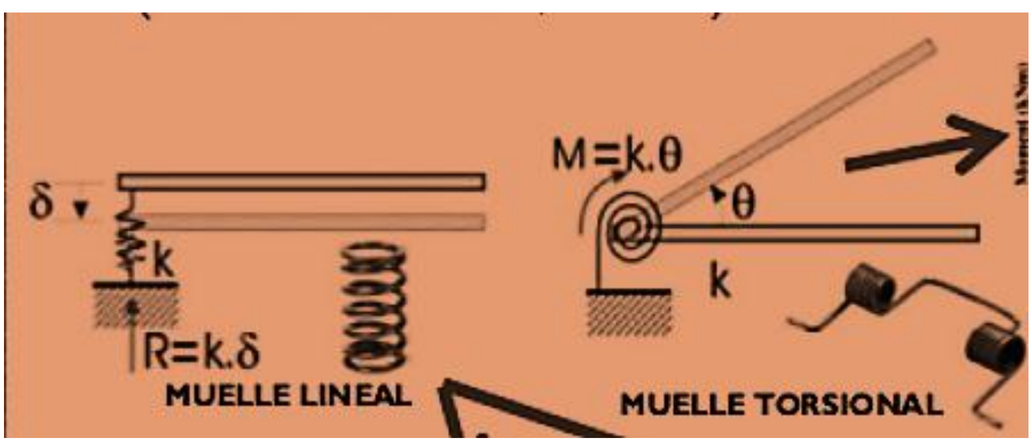


Figura 2.6. Apoyo elástico

2.3. Estructuras metálicas

Una estructura metálica es cualquier estructura donde la mayoría de las partes que la forman son materiales metálicos, normalmente acero. Las estructuras metálicas se utilizan por norma general en el sector industrial porque tienen excelentes características para la construcción, son muy funcionales y su coste de producción suele ser más barato que otro tipo de estructuras. Normalmente cualquier proyecto de ingeniería, arquitectura, etc. utiliza estructuras metálicas.

Figura 2.7. Ejemplo de estructura metálica.

2.3.1. Condiciones que debe cumplir cualquier estructura

- Que sea Rígida: Que la estructura no se deforme de manera excesiva al aplicar las fuerzas sobre ella.

- Que sea estable: Que no vuelque.

- Que sea resistente: Que al aplicarle las fuerzas, cada uno de los elementos que la forman sean capaces de soportar la fuerza a la que se verán sometidos sin romperse o deformarse.

2.3.2. Tipos de uniones en estructuras metálicas

Para que todos los elementos de la estructura metálica se comporten perfectamente según se ha diseñado es necesario que estén ensamblados o unidos de alguna manera. Para escoger el tipo de unión hay que tener en cuenta cómo se comporta la conexión que se va hacer y cómo se va a montar esa conexión. Existen conexiones rígidas, semirrígidas y flexibles. Algunas de esas conexiones a veces necesitan que sean desmontables, que giren, que se deslicen, etc. Dependiendo de ello tendremos dos tipos de uniones fundamentales:

Por Soldadura: La soldadura es la más común en estructuras metálicas de acero y no es más que la unión de dos piezas metálicas mediante el calor. Aplicándoles calor conseguiremos que se fusionen las superficies de las dos piezas, a veces necesitando un material extra para soldar las dos piezas.

Por Tornillo: Los tornillos son conexiones rápidas que normalmente se aplican a estructuras de acero ligeras, como por ejemplo para fijar chapas o vigas ligeras.

Figura 2.8.

- **Por remachado**. Son un tipo de unión permanente, en el que se emplea al remache como elemento de unión;

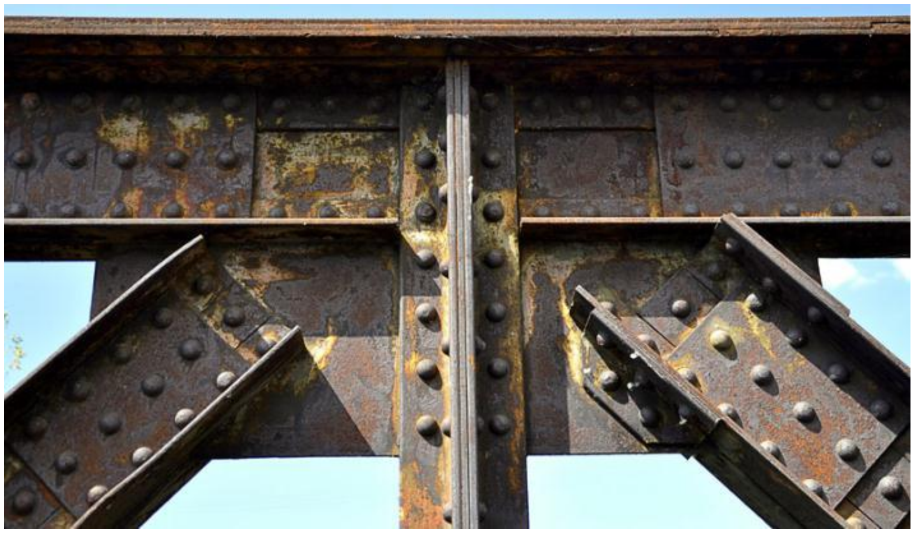


Figura 2.9.

2.4. Armadura

Una armadura (cercha en España) es una construcción reticulada conformada generalmente por triángulos formados por elementos rectos y que se utiliza para soportar cargas.

Las armaduras pueden ser planas o espaciales, constan de elementos rectos conectados en nudos localizados en los extremos de los elementos

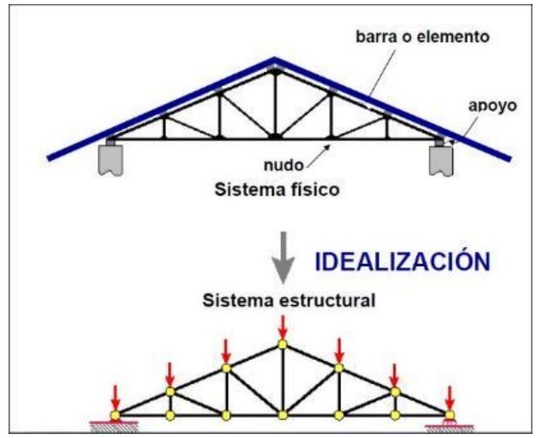


Figura 2.10 Armadura

Los elementos de estas estructuras están sometidos a dos fuerzas iguales y opuestas dirigidas a lo largo del elemento

Ejemplos típicos de armaduras son: puentes, cercas, torres de transmisión, cúpulas de estadios, etc

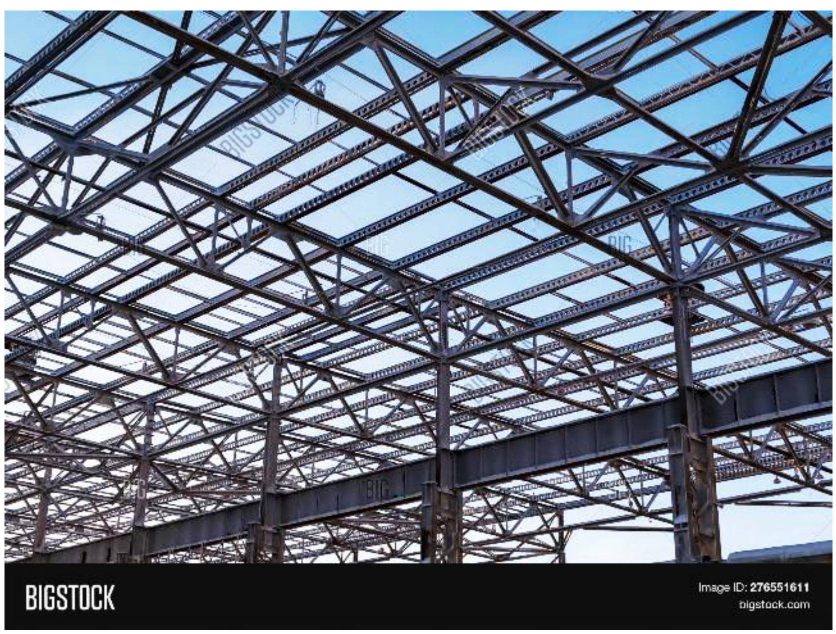


Figura 2.11.

La mayoría de los tipos de armaduras usadas en la estructuración de cubiertas, puentes, han sido llamadas así por el apellido o nombre de quien las diseñó por primera vez, mostrándose las más comunes en la figura

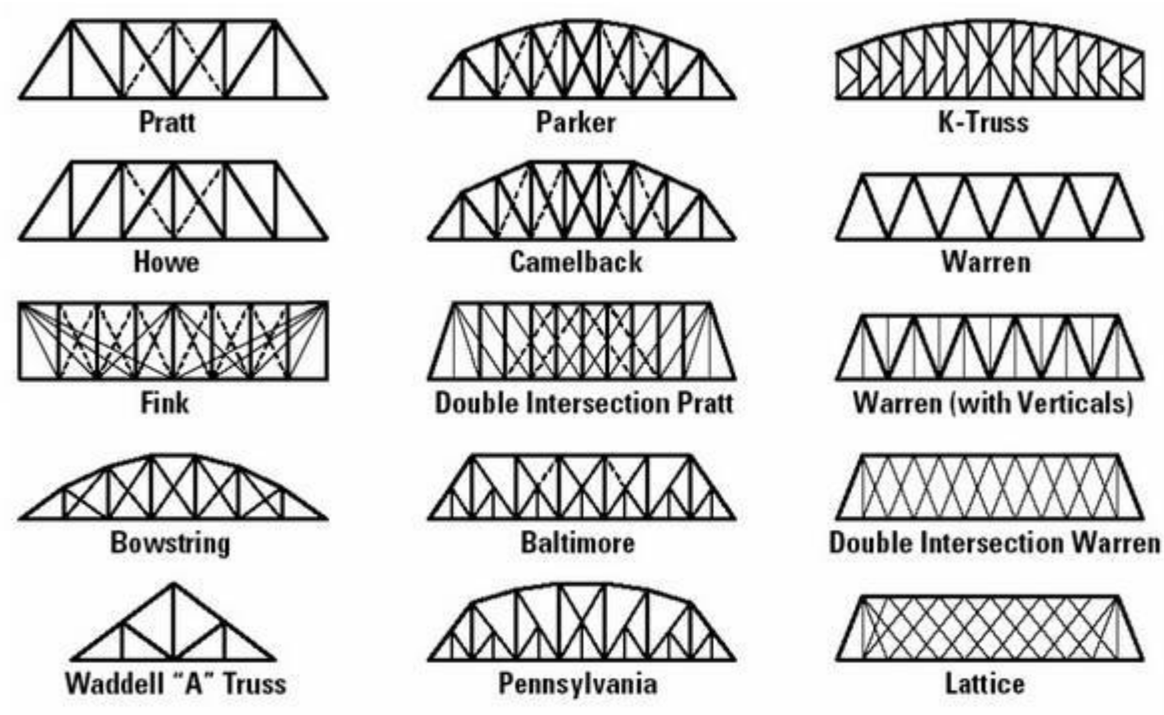


Figura 2.12.

2.5. Marcos

Los marcos rígidos son estructuras de pórticos cuyos elementos se unen entre sí por medio de conexiones fijas capaces de trasmitir los momentos y fuerzas normales y tangenciales, sin que se produzcan desplazamientos lineales o angulares entre sus extremos y las columnas en que se apoya, lo que hace que la estructura resultante pueda resistir por sí sola las cargas verticales y horizontales a las que se haya sometida, sin el requisito de ningún otro tipo de elementos. *http://e-construir.com/estructuras/marcos-rigidos.html*

Figura 2.13.

Generalmente construidos en acero u hormigón (o concreto armado), materiales comunes y fáciles de conseguir, los marcos rígidos son de rápida elaboración y tienen una resistencia relativamente alta en comparación con otros tipos de estructuras, alcanzando claros de hasta 90 metros empleando las secciones de vigas apropiadas. Así mismo permiten optimizar el rendimiento del espacio disponible, puesto que el empleo de la típica retícula de diseño regular, cuadrada o rectangular, es fácil de trabajar y dimensionar bajo el esquema ortogonal de los sistemas aporticados más comunes.

Muy empleado en edificios de hasta 20 pisos por su eficiencia en construcciones de pocos niveles. A mayor altura la estructura aporticada se hace inestable.

2.5.1. Elementos de un marco rígido

Los marcos rígidos están compuestos por pórticos de columnas y vigas (trabes) de secciones y forma variables con sus correspondientes conexiones.

Las columnas o pilares son los elementos verticales que reciben las cargas de las vigas y de los tramos de columnas que se encuentran sobre ellas y las transmiten al suelo o a las columnas inferiores.

Las vigas o trabes: son elementos horizontales de poca o ninguna inclinación que reciben directamente las cargas permanentes o relativas al uso de la construcción y las transfieren a las columnas. Un sistema de nervios, trabes o vigas secundarias habitualmente se ocupa de transmitir las cargas del piso hacía las vigas principales.

Las conexiones o juntas: son las uniones entre los distintos elementos que componen la estructura, también son llamadas nudos, juntas o nodos, tienen la función de transferir los momentos flexionantes y fuerzas cortantes y normales, de las vigas a las columnas y viceversa

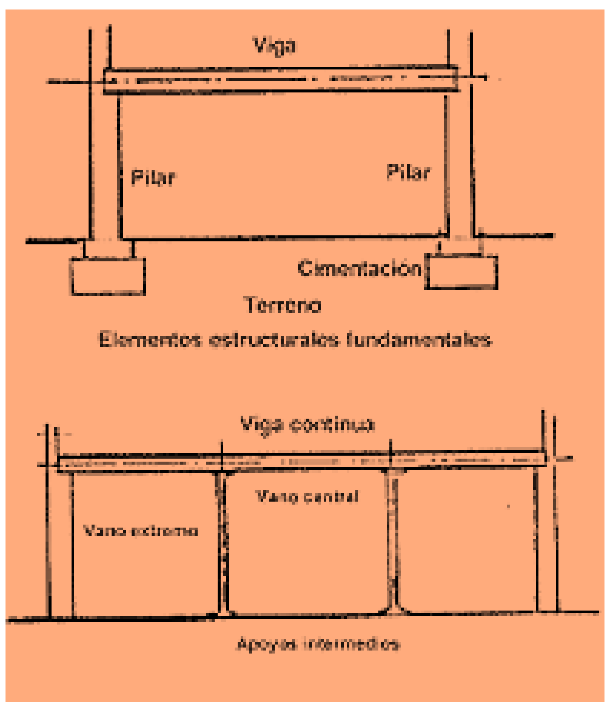


Figura 2.14. Elementos de un marco o pórtico.

CAPITULO 3.

PERFILES ESTRUCTURALES

Los perfiles estructurales o vigas son un tipo de productos que se crean por laminado en caliente del acero. El tipo del perfil que vaya a tener la viga de acero, así como sus cualidades, son determinantes a la hora de elegirlos para su aplicación y uso en la ingeniería y la arquitectura. Entre sus propiedades clave destacan su forma o perfil, su peso, sus particularidades y la composición química del material con que está hecho y su longitud.

3.1. Nomenclatura del IMCA

El Instituto Mexicano de la Construcción en Acero A.C. (IMCA) considera conveniente designar los perfiles de acero con sólo dos letras, una ideográfica y la otra, abreviatura de su descripción, en lugar de las tres o más siglas tradicionales .

En la figura 3.1 se indican las equivalencias:

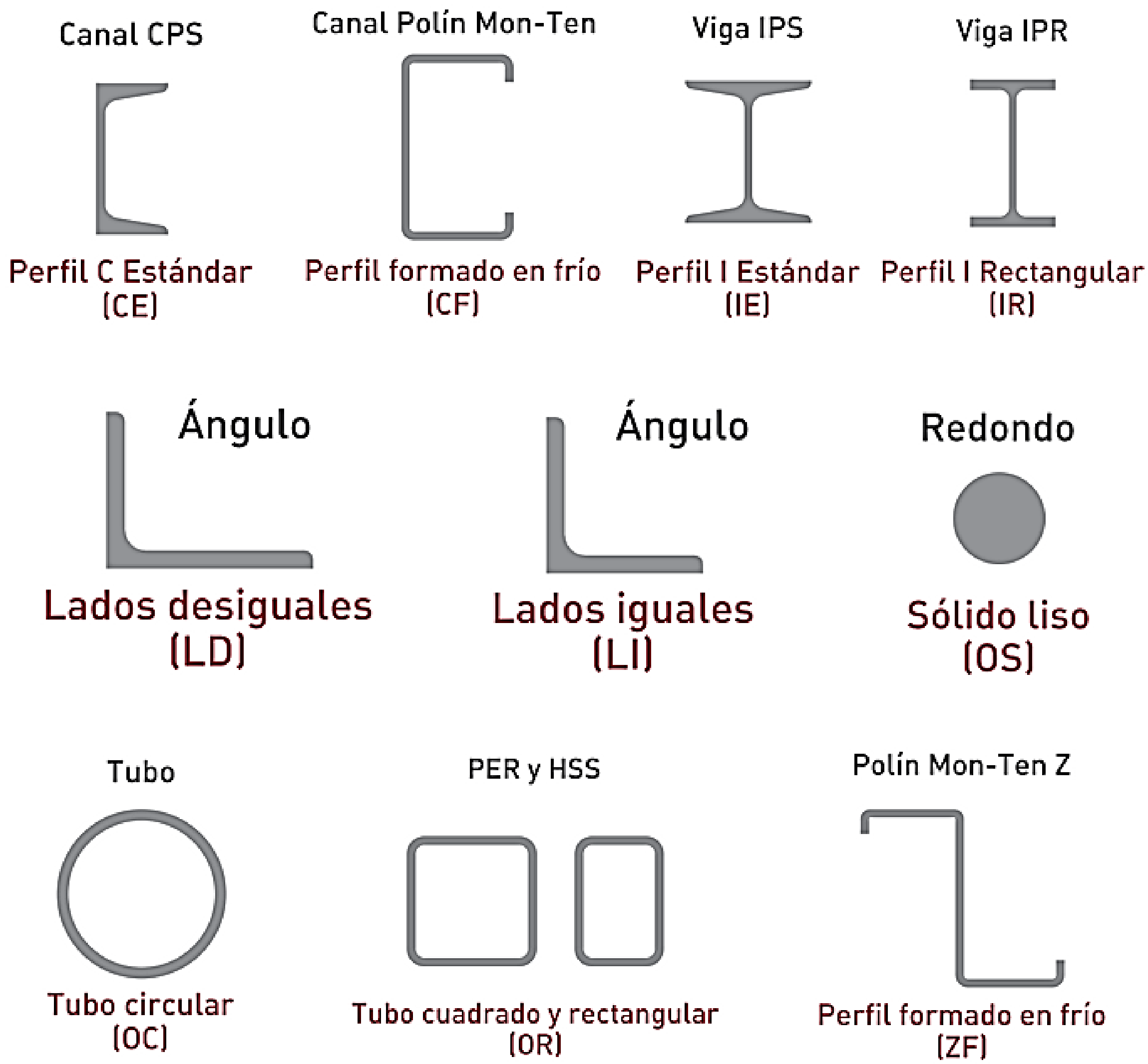


Figura 3.1. Designación de perfiles de acero

3.2. Tipos de aceros estructurales

En la actualidad, es común encontrar el acero en forma de perfiles laminados, miembros armados o secciones compuestas acero-concreto en la construcción de edificios urbanos altos, naves industriales y comerciales, y estructuras especiales. El mejor sustituto de los aceros estructurales en el futuro inmediato serán los perfiles laminados estructurales de mejor calidad.

Los aceros mexicanos, tornillos de alta resistencia, metales de aportación y fundentes para soldadura que pueden usarse en el diseño y construcción de estructuras para edificios son diseñados de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero de 2017 (Diseño basado en estados límite de falla y de servicio), correspondientes al Reglamento de Construcciones para la Ciudad de México, con la Especificación para el Diseño de Estructuras de Acero del Instituto Mexicano de la Construcción en Acero (IMCA), Diseño por factores de carga y resistencia o Diseño por resistencia permisible, o con las normas del American Institute of Steel Construction (AISC), Diseño por factores de carga y resistencia y Diseño por resistencia permisible. Dichos elementos se producen en nuestro país según las normas oficiales mexicanas (NMX) elaboradas por el Comité Consultivo de Normalización de la Industria Siderúrgica de la Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero, y oficializadas por la Dirección General de Normas de la otrora Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

Las normas para los materiales mencionados anteriormente son las que se describen a continuación.

- Acero estructural, NOM-B-254-1987 (ASTM A36). Hoy en día, prácticamente obsoleto. Este tipo de acero se utilizó profusamente en estructuras en México durante más de 70 años; fue el acero estructural “de batalla”.
- Acero estructural, con límite de fluencia mínimo de 290 MPa (29 kg/mm2) y con espesor de 12.7 mm (1/2”), NMX-B-99-1986 (ASTM A529).
- Acero estructural de baja aleación y alta resistencia, NMX-B-282-1987 (ASTM A242).

- Acero estructural de alta resistencia y baja aleación al manganeso-vanadio NMX-B-284-1987 (ASTM A441).
- Planchas, perfiles y barras de acero al carbono para uso estructural con baja e intermedia resistencia a la tensión, NMX-B-281-1987 (ASTM A283).
- Lámina de acero al carbono laminada en caliente para uso estructural NMX-B-347-1981 (ASTM A570).
- Lámina de acero de baja aleación y alta resistencia, laminada en caliente y en frío, resistente a la corrosión, NMX-B-277-1981 (ASTM A606).
- Tubos de acero con o sin costura, negros o galvanizados por inmersión en caliente, NMX-B-177-1989 (ASTM A53).
- Tubos de acero al carbono, sin costura o soldados, formados en frío, para usos estructurales, NOM-B-199-1989 (ASTM A500).
- Tubos de acero al carbono, sin costura o soldados, formados en caliente, para usos estructurales, NMX-B-200-1989 (ASTM A501).
- Acero estructural de alta resistencia y baja aleación ASTM A992 (sin equivalencia todavía con la norma mexicana).

En la Tabla 3.1 se proporcionan las propiedades mecánicas de los aceros estructurales más utilizados:

Tabla 3.1. Propiedades mecánicas de algunos aceros estructurales

Clasificación de los aceros, según ASTM		Límite elástico		Tensión de rotura	
		Ksi	MPa	Ksi	Mpa
ASTM A36		36	250	58-80	400-550
ASTM A53	Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A106	Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A131	Gr A, B, CS, D, DS, E	34	235	58-71	400-490
ASTM A139	Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A381	Grado Y35	35	240	>60	>415
ASTM A500	Grado A	33	228	>45	>310
	Grado B	42	290	>58	>400
ASTM A501		36	250	>58	>400
ASTM A516	Grado 55	30	205	55-75	380-515
	Grado 60	32	220	60-80	415-550
ASTM A524	Grado I	35	240	60-85	415-586
	Grado II	30	205	55-80	380-550
ASTM A529		42	290	60-85	415-550
ASTM A570	Grado 30	30	205	>49	>340
	Grado 33	33	230	>52	>360
	Grado 36	36	250	>53	>365
	Grado 40	40	275	>55	>380
	Grado 45	45	310	>60	>415
	Grado 50	50	345	>65	>450
ASTM A709	Grado 36	36	250	58-80	400-550
API 5L	Grado B	35	240	60	415
	Grado X42	42	290	60	415

3.3. Selección de los perfiles de acero estructural

Los criterios que determinan la elección de los perfiles estructurales laminados son: la magnitud de las cargas que han de resistir, la forma de trabajo del miembro estructural (tensión, compresión, flexión, flexocompresión –flexión y compresión combinadas–, torsión, etcétera), la mayor o menor dificultad con la que puedan unirse al resto de la estructura y su apariencia visual.

Los elementos de los extremos se conocen como '*patín*', mientras que el elemento vertical recibe el nombre de '*alma*'

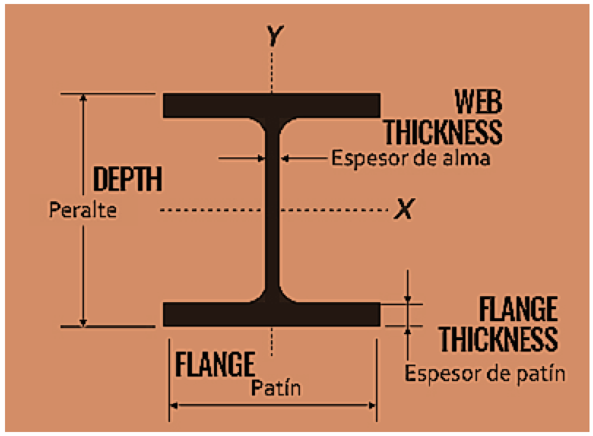


Figura 3.2. Partes de un perfil estructural de acero

Las vigas estructurales de acero al carbono se fabrican en dos configuraciones IPR e IPS. Ambos están construidos con una elemento vertical en el centro de la viga (alma) , con bridas horizontales en la parte superior e inferior (patín). La estructura de la viga proporciona un soporte de soporte de carga superior.

Las vigas de acero IPR también conocidas como en H tienen bridas no cónicas que son más anchas que las vigas en IPS. Las Vigas IPR e IPS son ampliamente utilizados en la industria de la construcción para proporcionar soporte para edificios y muros de carga. Están disponibles en una variedad de tamaños estándar y se seleccionan en función de la carga aplicada para la aplicación requerida. Las vigas I se pueden usar tanto como vigas como columnas.

- Aplicaciones para vigas IPS (I o S Beam):

• Vigas de soporte de construcción para construcción comercial y residencial

• Marcos y columnas de soporte para vías de tranvía, elevadores y elevadores

• Mezanines y plataformas

• Estructura de cama de remolque y camión

- Aplicaciones para Vigas IPR (W o H Beam):

• Vigas de soporte de construcción para construcción comercial y residencial

• Mezanines y plataformas

• Puentes

• Estructura de cama de remolque y camión

• Bases de máquina

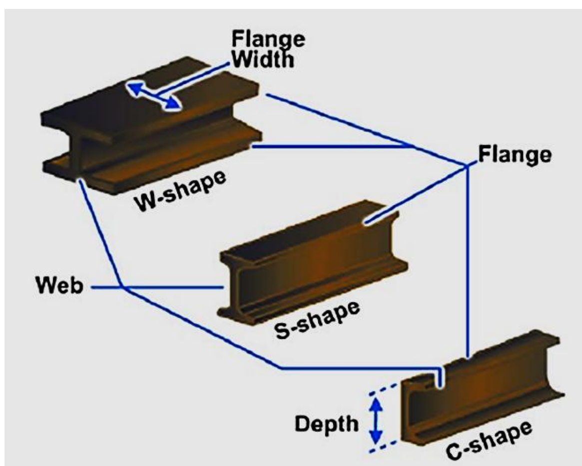
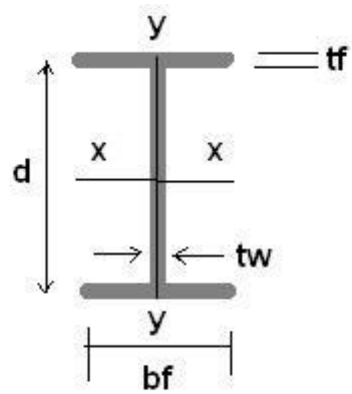


Figura 3.3. Designación de perfiles en EUA

Cuando se encuentra con una descripción como la que se muestra a continuación:



IR 6"X 4" 23.8 kg/mL(metro lineal)

Se refiere a:

IR= Perfil de acero IPR

6" = Tamaño de peralte *d*

4"= Ancho *bf*

23.8 kg/mL = Peso por metro lineal. Este peso está en función del grosor del alma (tw) y del patín (bf)

A continuación, se describen las características de los perfiles estructurales más usados:

3.3.1 Perfiles IPR

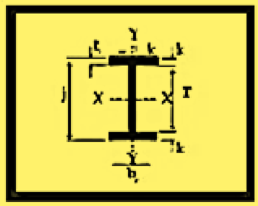
Las vigas IPR se encargan de soportar las cargas de las losas o los elementos planos colocados sobre de ellas además de llevar dichas cargas hacia las columnas, de estas hacia sus bases y de estas hacia el suelo. Como elemento estructural rígido las vigas IPR se disponen horizontalmente con el objetivo de vincular columnas entre ellas.

En la tabla 3.2. se proporcionan las propiedades de algunos perfiles IPR, para información más completa véase referencia 2.

Tabla 3.2. Propiedades de algunos perfiles IPR.

Viga I.P.R.

ACEROS Y PERFILES
CASA BLANCA



Perfil IPR	Peso	Área	Peralte d	Patín b		Espesor del alma	Eje - X X			Eje - Y Y		
d x b	Kg/m	cm^2	mm	Ancho mm	Espesor mm	mm	I cm^4	S cm^3	r cm	I cm^4	S cm^3	r cm
6" x 4" 152.4x101.6	13.4 17.9 23.8	17.29 22.77 30.45	149.86 152.00 159.00	100.07 102.00 102.00	5.46 7.10 10.30	4.31 5.80 6.60	682.61 903.00 1,318.00	91.11 119.00 165.00	6.27 6.30 6.58	91.57 120.20 197.80	18.18 23.00 35.00	2.29 2.30 2.43
8" x 4" 203.2x101.6	14.9 19.4 22.4	19.03 24.71 28 58	201.00 203.00 206.00	100.00 102.00 102.00	5.20 6.50 8.00	4.30 5.80 6.20	1,282.00 1,644.00 1,998.00	127.00 162.00 193.00	8.20 8.15 8.35	92.80 109.00 137.30	16.00 21.00 27.00	2.08 2.10 2.19
8" x 5 1/4" 203.2x133.4	26.9 31.3	33.93 39.74	206.75 120.31	133.35 133.85	8.38 10.16	5.84 6.35	2,576.47 3,134.22	249.08 298.24	8.71 8.86	331.73 406.65	49.81 60.79	3.12 3.20
10" x 4" 254.0x146.0	17.9 22.4 25.5 28.3	21.87 28.38 32.13 36.19	151.00 254.00 257.00 260.00	100.00 102.00 102.00 102.00	5.20 6.80 8.40 10.00	4.60 5.80 6.10 6.40	2,160.00 2,864.00 3,405.00 4,004.00	172.00 226.00 265.00 308.00	9.96 10.03 10.28 10.52	83.60 116.10 143.60 174.40	17.00 23.00 28.00 34.00	1.95 2.02 2.00 2.19
10" x 5 3/4" 254.0x146.0	32.8 38.7 44.7	42.87 47.09 57.03	258.31 262.38 265.93	146.05 146.55 148.57	9.14 11.17 12.95	6.09 6.60 7.62	4,911.53 5,993.73 7,075.93	380.18 457.20 530.94	10.84 11.04 11.12	474.50 586.88 695.10	65.05 80.13 94.22	3.37 3.45 3.47
12" x 4" 304.8x101.6	20.9 23.8 28.3 32.8	26.71 30.38 36.25 41.74	302.00 304.54 307.00 313.00	100.00 101.34 102.00 102.00	5.70 6.73 8.90 10.80	5.10 5.58 6.10 6.60	3,671.00 4,287.18 5,415.00 6,481.00	243.00 280.22 350.00 414.00	11.71 11.86 12.22 12.47	93.60 117.37 152.70 189.30	18.00 23.10 30.00 37.00	1.87 1.96 2.05 2.13
12" x 6 1/2" 304.8x165.1	38.7 44.7 52.2	49.35 56.70 66.45	310.38 313.43 317.50	168.48 465.60 166.62	9.65 11.17 13.20	5.84 6.60 7.62	8,491.12 9,906.30 11,862.59	547.33 632.54 747.25	13.13 13.23 13.33	720.08 844.94 1,019.75	87.50 102.25 122.41	3.83 3.86 3.91
12" x 8" 304.8x203.2	559.6 67.1 74.5	75.94 85.42 94.90	303.00 306.00 309.00	203.00 204.00 205.00	13.10 14.60 16.30	7.50 8.50 9.40	12,907.00 14,600.00 16.420.00	850.00 953.00 1,060.00	13.03 13.08 13.15	1,835.00 2,081.00 2,347.00	180.00 203.00 229.00	4.92 4.92 4.97
14" x 6 3/4" 355.6x171.4	44.7 50.7 56.6	56.84 64.52 72.06	352.00 356.00 359.00	171.00 171.00 172.00	9.70 11.50 13.00	6.90 7.30 7.90	12,053.00 14,117.00 16,036.00	685.00 795.00 895.00	14.50 14.80 14.90	728.00 886.00 1,023.00	85.00 103.00 120.00	3.58 3.70 3.78
14" x 8" 355.6x203.2	64.1 71.5 79.0	81.61 97.03 100.58	347.00 351.00 354.00	203.00 204.00 205.00	13.40 15.10 16.70	7.80 8.60 9.40	17,856.00 20,183.00 22,562.00	1,027.00 1,150.00 1,275.00	14.78 14.88 14.98	1,877.00 2,135.00 2,403.00	185.00 209.00 234.00	4.80 4.85 4.87
16" x 7" 406.4x177.8	53.6 59.6 67.1 74.5	68.32 75.94 85.42 94.84	403.00 406.00 409.00 413.00	177.00 178.00 179.00 180.00	10.90 12.70 14.30 15.90	7.60 7.80 8.80 9.60	18,576.00 21,457.00 24,279.00 27,280.00	923.00 1,055.00 1,186.00 1,322.00	16.48 16.81 16.87 16.97	920.00 1,103.00 1,270.00 1,448.00	103.00 125.00 143.00 161.00	3.68 3.61 3.86 3.91

3.3.2. Perfil IPS

La viga IPS (perfil "I" estándar) conocida por todos ya que se utiliza principalmente para la construcción de bóvedas caseras, la medida más usual es la de 5" y en esta viga la única variable es el peralte. Este perfil se maneja en largos de 12 o de 15 metros de largo según su procedencia. En la tabla 3.3. se proporcionan las propiedades de algunos perfiles IPS, para información más completa veáse referencia 2.

Tabla 3.3. Propiedades de algunos perfiles IPS.

Dimensiones y pesos teóricos para viga I.P.S (S Beams - Standard) IMCA: IE

Peralte		Peso comercial		Área	Patín		Alma	EJE X-X			EJE Y-Y			Origen	Obs.
					Ancho	Espesor	Espesor	I	S	r	I	S	r		
Pulg.	mm	kg/m	lb/pie	cm^2	mm	mm	mm	cm	cm^3	cm	cm	cm^3	cm		
3	76	8.483	5.70	10.62	59.18	6.600	4.320	104.1	27.32	3.131	19.73	6.67	1.363	MEX.	
		11.16	7.50	13.99	63.73	6.600	8.860	119.6	31.40	2.925	24.74	7.77	1.330	IMP.	NC
4	102	8.334	5.60	10.89	50.00	6.800	4.500	180.1	35.46	4.068	12.52	5.01	1.072	IMP.	
		11.46	7.70	14.37	67.64	7.440	4.900	249.8	49.17	4.169	32.89	9.73	1.513	MEX.	
		14.14	9.50	17.72	71.02	7.440	8.280	277.5	54.63	3.957	38.26	10.78	1.469	IMP.	NC
5	127	11.16	7.50	14.78	58.00	7.700	5.100	380.5	59.93	5.074	22.08	7.61	1.222	IMP.	
		14.88	10.00	18.78	76.30	8.280	5.440	509.2	80.19	5.208	53.01	13.90	1.680	MEX.	
		21.95	14.75	27.65	83.41	8.280	12.55	623.8	98.23	4.750	70.31	16.86	1.595	IMP.	NC
6	152	17.86	12.00	22.70	74.00	9.500	6.300	849.8	111.5	6.119	56.39	15.24	1.576	MEX.	
		18.60	12.50	23.49	84.63	9.120	5.890	913.8	119.9	6.237	79.14	18.71	1.835	IMP.	NC
		25.67	17.25	32.27	90.55	9.120	11.81	1,078	141.5	5.781	98.13	21.66	1.744	IMP.	
7	178	22.77	15.30	28.91	93.01	9.960	6.400	1,527	171.8	7.267	115.5	24.85	1.999	IMP.	NC
		29.76	20.00	37.59	98.04	9.960	11.43	1,748	196.6	6.819	136.1	27.77	1.903	IMP.	NC
8	203	26.34	17.70	34.20	90.00	11.30	7.500	2,260	222.4	8.128	120.5	26.77	1.877	IMP.	
		27.38	18.40	34.72	101.6	10.82	6.880	2,388	235.0	8.292	162.5	31.99	2.163	MEX.	
		34.23	23.00	43.26	105.9	10.82	11.20	2,672	262.9	7.859	184.9	34.91	2.067	IMP.	NC
9	228.6	32.44	21.80	41.00	110.0	11.60	7.400	3,557	311.2	9.314	221.3	40.24	2.323	IMP.	
10	254	37.80	25.40	48.02	118.4	12.47	7.900	5,134	404.2	10.34	297.4	50.24	2.489	IMP.	NC
		52.09	35.00	65.91	125.6	12.47	15.09	6,065	477.5	9.59	358.5	57.08	2.332	IMP.	NC
12	305	47.32	31.80	60.13	127.0	13.82	8.890	9,054	594.1	12.27	406.9	64.08	2.601	IMP.	NC
		52.09	35.00	66.11	129.0	13.82	10.87	9,503	623.5	11.99	427.1	66.22	2.542	IMP.	NC
		60.72	40.80	76.97	133.4	16.74	11.73	11,282	740.3	12.11	580.3	86.99	2.746	IMP.	NC
		74.41	50.00	94.00	139.1	16.74	17.45	12,563	824.4	11.56	664.0	95.48	2.658	IMP.	NC

3.3.3. Perfil canal o U

El perfil canal o perfil U de acero es un producto formado por acero estructural al carbono ordinario y acero estructural de baja aleación ordinario laminado en caliente. Comúnmente utilizados en la construcción de puentes, estructura arquitectónica, fabricación de vehículos y otras estructuras industriales.

En la tabla 3.4. se proporcionan las propiedades de algunos perfiles IPR, para información más completa véase referencia 2.

Tabla 3.4. Propiedades de algunos perfiles canal o U

Dimensiones y pesos teóricos para canales C.P.S. (C Channels - Standard) IMCA: CE															
Peralte		Peso comercial		Patín	Área	Espesores		Eje X - X			Eje Y - Y				
						Alma	Patín	I	S	r	I	S	r	Origen	Obs.
Pulg.	mm	kg/m	lb/pie	mm	cm^2	mm	mm	cm^4	cm^3	cm	cm^4	cm^3	cm		
3	76.20	5.209	3.50	35.81	6.624	3.175	6.450	62.50	16.40	1.062	7.475	3.132	1.062		NC
		6.101	4.10	35.81	7.630	4.320	6.930	67.70	17.77	1.049	8.395	3.458	1.049	MEX.	
		7.441	5.00	38.05	9.226	6.500	6.930	75.12	19.72	1.065	10.47	3.929	1.065	IMP.	NC
		8.929	6.00	40.54	11.07	9.040	6.930	83.57	21.94	1.075	12.79	4.422	1.075	IMP.	NC
4	101.6	6.697	4.50	40.23	8.403	4.420	5.588	128.4	25.28	1.118	10.51	3.544	1.118	IMP.	NC
		8.036	5.40	40.13	9.957	4.570	7.520	157.0	30.90	1.167	13.56	4.839	1.167	MEX.	
		9.301	6.25	41.83	11.62	6.274	7.518	170.6	33.58	1.169	15.87	5.291	1.169	IMP.	NC
		10.79	7.25	43.69	13.44	8.130	7.520	185.5	36.53	1.167	18.31	5.748	1.167	IMP.	NC
5	127.0	9.971	6.70	44.45	12.54	4.830	8.130	307.5	48.43	1.284	20.65	6.526	1.284	IMP.	NC
		13.39	9.00	47.88	16.75	8.260	8.130	361.6	56.95	1.269	26.97	7.593	1.269	IMP.	NC
6	152.4	12.20	8.20	48.77	15.30	5.080	8.710	538.4	70.65	1.400	29.98	8.510	1.400	MEX.	
		15.63	10.5	51.66	19.59	7.980	8.710	617.7	81.07	1.376	37.11	9.590	1.376	MEX.	
		19.35	13.0	54.79	24.20	11.10	8.710	703.2	92.29	1.355	44.45	10.67	1.355	MEX.	
		23.07	15.5	58.00	28.92	14.30	8.700	790.5	103.7	1.345	52.31	11.82	1.345	IMP.	NC
7	178.0	14.58	9.80	53.09	18.31	5.330	9.300	875.7	98.39	1.516	42.08	10.85	1.516	IMP.	NC
		18.23	12.2	55.73	22.89	7.980	9.300	991.6	111.4	1.486	50.57	12.02	1.486	IMP.	NC
		21.95	14.7	58.39	27.50	10.64	9.300	1108	124.5	1.460	58.58	13.09	1.460	IMP.	NC
8	203.2	17.11	11.50	57.40	21.56	5.588	9.906	1,340	131.9	1.632	57.45	13.60	1.632	MEX.	
		20.46	13.75	59.51	25.73	7.700	9.910	1,478	145.4	1.604	66.18	14.70	1.604	MEX.	
		27.90	18.75	64.19	34.97	12.37	9.910	1,783	175.5	1.550	84.00	16.89	1.550	MEX.	
		31.62	21.25	67.00	39.83	14.80	9.900	1,947	191.6	1.543	94.85	18.22	1.543	IMP.	NC
9	228.6	19.94	13.40	62.00	25.23	5.920	10.50	1,974	172.7	1.754	77.60	16.87	1.754	IMP.	NC
		22.32	15.00	63.00	28.10	7.240	10.50	2,090	182.8	1.723	83.44	17.53	1.723	IMP.	NC
		29.76	20.00	67.00	37.34	11.40	10.50	2,474	216.4	1.657	102.5	19.70	1.657	IMP.	NC

.

3.3.4. Perfiles Comerciales PTR

Perfil tubular rectangular o cuadrado, este tipo de perfil le garantiza la resistencia estructural demandada. El P.T.R. es una barra hueca, comúnmente utilizada para armar estructuras que no tengan que resistir mucho peso. Los hay en distintos calibres y tamaños, se pueden encontrar en acabado negro. También puede ser manejado en PTR galvanizado pero sólo por pedido especial. La gran ventaja de estos perfiles es que son de fácil armado.

En las tablas 3.5 y 3.6.. se proporcionan las propiedades de algunos perfiles PTR rectangulares y cuadrados, para información más completa véase referencia 4.

Tabla 3.5. Propiedades de algunos perfiles PTR rectangulares

Perfil Tubular Rectangular

MEDIDA D x B	ESPESOR		CALIBRE	PESO			ÁREA	MOMENTO DE INERCIA		MODULO DE SECCIÓN		RADIO DE GIRO		COLOR
pulg - mm	Medida			kg/m	kg/pza	lb/pie	cm²	I xx	I yy	S xx	S yy	r xx	r yy	
								cm4	cm4	cm3	cm3	cm	cm	
3" x 2" 76 x 51	0.125	3.175	11	5.80	35.38	3.90	7.40	57.42	30.53	15.07	12.02	2.79	2.03	Blanco
	0.141	3.801	9	6.47	39.467	4.35	8.25	63.03	33.43	16.54	13.16	2.76	2.01	Verde
	0.188	4.775	6	8.34	50.874	5.60	10.63	77.42	40.75	20.32	16.04	2.70	1.96	Rojo
4" x 2" 102 x 51	0.125	3.175	11	7.07	43.127	4.75	9.01	117.34	36.69	23.10	15.63	3.61	2.10	Blanco
	0.156	3.801	9	8.66	52.826	5.82	11.05	140.16	47.02	27.59	18.51	3.56	2.06	Verde
	0.188	4.775	6	10.24	62.464	6.88	13.06	161.26	53.64	31.74	21.12	3.51	2.03	Rojo
4" x 3" 102 x 76	0.125	3.175	11	8.33	50.813	5.60	10.63	156.42	100.45	30.79	26.36	3.84	3.07	Blanco
	0.156	3.801	9	10.24	62.464	6.88	13.06	188.16	120.53	37.04	31.63	3.80	3.04	Verde
	0.188	4.775	6	12.14	74.054	8.16	15.48	218.17	139.38	42.95	36.58	3.75	3.00	Rojo
	0.250	6.350	2	15.63	95.343	10.50	19.93	268.67	170.81	52.89	44.83	3.67	2.93	Azul
5" x 3" 127 x 76	0.125	3.175	11	9.60	58.56	6.45	12.24	268.18	121.97	42.23	32.01	4.68	3.16	Blanco
	0.156	3.801	9	11.82	72.102	7.94	15.07	324.2	146.81	51.05	38.53	4.64	3.12	Verde
	0.188	4.775	6	14.04	85.644	9.43	17.91	377.87	170.37	59.51	44.72	4.59	3.08	Rojo
	0.250	6.350	2	18.16	110.776	12.20	23.16	470.26	210.27	74.06	55.19	4.51	3.01	Azul
6" x 2" 152 x 51	0.125	3.175	11	9.61	58.621	6.46	11.42	309.30	54.53	40.64	21.47	5.21	2.18	Blanco
	0.156	3.801	9	10.35	63.135	6.95	12.20	329.00	57.86	43.01	22.78	5.19	2.20	Verde
	0.188	4.775	6	14.02	85.522	9.42	16.71	437.00	75.34	57.19	29.66	5.11	2.11	Rojo
	0.250	6.350	2	18.16	110.776	12.20	21.68	545.30	91.57	71.45	36.05	5.00	2.06	Azul
6" x 3" 152 x 76	0.125	3.175	11	10.86	66.246	7.30	13.85	419.43	143.48	55.04	37.66	5.50	3.22	Blanco
	0.156	3.801	9	13.40	81.74	9.00	17.08	508.85	173.10	66.78	45.43	5.46	3.18	Verde
	0.188	4.775	6	15.94	97.234	10.71	20.33	595.34	201.35	78.13	52.85	5.41	3.15	Rojo
	0.250	6.350	2	20.69	126.209	13.90	26.38	746.55	249.72	97.97	65.54	5.32	3.08	Azul
6" x 4" 152 x 102	0.125	3.175	11	12.13	73.993	8.15	15.47	509.23	273.64	66.83	53.87	5.74	4.21	Blanco
	0.156	3.801	9	14.98	91.378	10.07	19.10	619.76	332.16	81.33	65.39	5.70	4.17	Verde
	0.188	4.775	6	17.85	108.885	11.99	22.76	727.55	388.87	95.48	76.55	5.65	4.13	Rojo
	0.250	6.350	2	23.22	141.642	15.60	29.61	918.68	488.49	120.56	96.16	5.57	4.06	Azul
7" x 5" 178 x 127	3/16"	4.780		21.62	131.882	14.53	27.55	1,240.4	736.7	139.30	116.40	6.71	5.18	
	1/4"	6.350		28.30	172.63	19.02	36.10	1,581.7	940.7	178.60	148.10	6.63	5.11	
	5/16"	7.950		34.73	211.853	23.34	44.26	1,893.9	1,119.7	213.00	177.00	6.55	5.03	
	3/8"	9.530		40.89	249.429	27.48	52.13	2,172.7	1,282.0	244.20	201.60	6.45	4.95	
	1/2"	12.710		52.44	319.884	35.24	67.10	2,643.1	1,548.4	296.60	244.20	6.30	4.83	
8" x 4" 203 x 102	3/16"	4.780		21.62	131.882	14.53	27.55	1,469.3	449.5	144.70	98.70	7.32	4.27	
	1/4"	6.350		28.30	172.63	19.02	36.10	1,877.2	636.8	185.20	126.00	7.21	4.19	
	5/16"	7.950		34.73	211.853	23.34	44.26	2,243.5	753.4	221.20	148.30	7.11	4.11	
	3/8"	9.530		40.89	249.429	27.48	52.13	2,576.5	857.4	254.00	168.80	7.03	4.06	
	1/2"	12.710		52.44	319.884	35.24	67.10	3,125.9	1,023.9	308.10	201.60	6.83	3.91	
8" x 6" 203 x 152	3/16"	4.780		25.43	155.062	17.08	32.39	1,984.0	1,252.9	191.70	163.90	7.75	6.22	
	1/4"	6.350		33.36	203.496	22.42	42.52	2,510.6	1,606.7	245.80	211.40	7.68	6.15	
	5/16"	7.950		41.06	250.466	27.59	52.32	3,013.5	1,931.3	296.60	254.00	7.60	6.07	
	3/8"	9.530		48.48	295.728	32.58	61.81	3,483.9	2,226.8	342.50	291.70	7.52	6.00	
	1/2"	12.710		62.58	381.738	42.05	80.00	4,287.2	2,734.6	422.80	358.90	7.34	5.87	
10" x 2" 254 x 51	3/16"	4.780		21.62	131.882	14.53	27.55	1,818.9	130.7	143.2	51.5	8.13	2.18	
	1/4"	6.350		28.30	172.630	19.02	36.10	2,310.1	160.3	181.9	63.1	8.00	2.11	
	5/16"	7.950		34.73	211.853	23.34	44.26	2,751.3	184.0	261.3	72.4	7.87	2.04	
	3/8"	9.530		40.89	249.429	27.48	52.13	3,138.4	201.9	247.5	79.5	7.77	1.97	
10" x 4" 254 x 102	3/16"	4.780		25.42	155.062	17.08	32.39	2,568.2	616.0	201.6	212.1	8.91	4.37	
	1/4"	6.350		33.36	203.496	22.42	42.52	3,300.7	782.5	260.6	153.9	8.81	4.30	
	5/16"	7.950		41.06	250.466	27.59	52.32	3,954.2	932.4	313.0	183.5	8.71	4.22	
	3/8"	9.530		48.48	295.728	32.58	61.81	4,578.6	1,061.4	360.5	209.8	8.61	4.14	
	1/2"	12.710		62.58	381.738	42.05	80.00	5,660.8	1,282.0	444.1	252.4	8.40	4.01	
10" x 6" 254 x 152	3/16"	4.780		29.21	178.181	19.63	37.23	3,321.5	1,519.2	262.2	199.9	9.45	6.38	
	1/4"	6.350		38.42	234.362	25.82	48.97	4,287.2	1,952.1	337.6	255.6	9.37	6.32	
	5/16"	7.950		47.38	289.018	31.84	60.39	5,202.9	2,351.1	409.7	308.1	9.27	6.25	
	3/8"	9.530		56.09	342.149	37.69	71.61	6,035.4	2,722.2	475.2	357.2	9.19	6.17	
	1/2"	12.710		72.70	443.470	48.85	92.90	7,533.8	3,363.2	593.2	440.8	9.01	6.02	

Tabla 3.6. Propiedades de algunos perfiles PTR cuadrados

Perfil Tubular Cuadrado

MEDIDA D x B	ESPESOR		CALIBRE	PESO			ÁREA	MOMENTO DE INERCIA	MODULO DE SECCIÓN	RADIO DE GIRO	COLOR
pulg - mm	pulg.	mm		kg/m	kg/pza	lb/pie	cm^2	I cm4	S cm3	r cm	
1" x 1" 25 x 25	0.075	1.910	14	1.33	8.113	0.89	1.70	1.52	1.19	0.95	Azul
	0.095	2.281	13	1.62	9.882	1.09	2.07	1.75	1.38	0.92	Verde
	0.133	3.378	10	2.10	12.81	1.41	2.68	2.04	1.60	0.87	Rojo
1 1/4" x 1 1/4" 32 x 32	0.075	1.910	14	1.71	10.431	1.15	2.18	3.17	1.99	1.20	Azul
	0.090	2.281	13	2.20	13.42	1.48	2.62	3.62	2.34	1.18	Verde
1 1/2" x 1 1/2" 38 x 38	0.075	1.910	14	2.09	12.749	1.40	2.66	5.71	3.00	1.46	Azul
	0.110	2.794	12	2.94	17.934	1.98	3.74	7.56	3.97	1.42	Blanco
	0.125	3.175	11	3.27	19.947	2.20	4.18	8.21	4.31	1.40	Verde
	0.154	3.801	9	3.89	23.729	2.61	4.96	9.24	4.85	1.37	Rojo
2" x 2" 51 x 51	0.075	1.910	14	2.85	17.385	1.92	3.63	14.28	5.62	1.98	Azul
	0.110	2.794	12	4.05	24.705	2.72	5.16	19.43	7.65	1.94	Blanco
	0.125	3.175	11	4.54	27.694	3.05	5.79	21.37	8.41	1.92	Verde
	0.156	3.801	9	5.50	33.550	3.70	7.02	24.88	9.80	1.88	Rojo
	0.188	4.775	6	6.43	39.223	4.32	7.74	26.64	10.49	1.85	
	0.250	6.350	2	8.05	49.105	5.41	9.68	30.80	12.13	1.78	
2 1/2" x 2 1/2" 64 x 64	0.125	3.175	11	5.80	35.380	3.90	7.40	44.08	13.88	2.44	Blanco
	0.141	3.801	9	6.47	39.467	4.35	8.25	48.36	15.23	2.42	Verde
	0.188	4.775	6	8.34	50.874	5.60	10.63	59.32	18.68	2.36	Rojo
	0.250	6.350	2	10.58	64.538	7.11	12.71	67.42	21.30	2.31	Azul
3" x 3" 76 x 76	0.125	3.175	11	7.07	43.127	4.75	9.01	78.93	20.72	2.96	Blanco
	0.156	3.801	9	8.66	52.826	5.82	11.05	94.24	24.72	2.92	Verde
	0.188	4.775	6	10.24	62.464	6.88	13.06	108.40	28.30	2.88	Rojo
	0.250	6.350	2	13.11	79.971	8.81	15.68	125.29	32.94	2.82	Azul
3 1/2" x 3 1/2" 89 x 89	0.125	3.175	11	8.33	50.813	5.60	10.63	128.54	28.92	3.48	Blanco
	0.156	3.801	9	10.24	62.464	6.88	13.06	154.51	34.76	3.44	Verde
	0.188	4.775	6	12.14	74.054	8.16	15.48	179.01	40.27	3.40	Rojo
	0.250	6.350	2	15.63	95.343	10.50	19.93	220.16	49.53	3.32	Azul
4" x 4" 102 x 102	0.125	3.175	11	9.60	58.560	6.45	12.24	195.49	38.48	4.00	Blanco
	0.156	3.801	9	11.82	72.102	7.94	15.07	236.16	46.49	3.96	Verde
	0.188	4.775	6	14.04	85.644	9.43	17.91	275.07	54.15	3.92	Rojo
	0.250	6.350	2	18.16	110.776	12.20	23.16	341.94	67.31	3.84	Azul
	5/16"	7.950		22.07	134.627	14.83	28.13	398.80	78.50	3.76	
	3/8"	9.530		25.70	156.770	17.27	32.77	445.40	87.70	3.68	
	1/2"	12.710		32.19	196.359	21.63	41.03	512.00	100.50	3.53	
4 1/2" x 4 1/2" 114 x 114	0.125	3.175	11	10.86	66.246	7.30	13.85	282.40	49.41	4.51	Blanco
	0.156	3.801	9	13.40	81.740	9.00	17.08	342.44	59.92	4.48	Verde
	0.188	4.775	6	15.94	97.234	10.71	20.33	400.48	70.07	4.44	Rojo
	0.250	6.350	2	20.69	126.209	13.90	26.38	501.90	87.82	4.36	Azul
5" x 5" 127 x 127	0.125	3.175	11	12.13	73.993	8.15	15.47	391.8	61.7	5.03	Blanco
	0.156	3.801	9	14.98	91.378	10.07	19.1	476.6	75.0	5.00	Verde
	0.188	4.775	6	17.85	108.885	11.99	22.76	559.1	88.0	4.96	Rojo
	0.250	6.350	2	23.22	141.642	15.60	29.61	705.2	111.0	4.88	Azul
	5/16"	7.950		28.39	173.179	19.08	36.19	836.6	131.4	4.80	
	3/8"	9.530		33.29	203.069	22.37	42.45	949.0	149.3	4.72	
	1/2"	12.710		42.31	258.091	28.43	53.94	1,123.8	177.0	4.57	
6" x 6" 152 x 152	3/16"	4.780		21.62	131.882	14.53	27.55	990.6	130.0	5.99	
	1/4"	6.350		28.30	172.63	19.02	36.10	1,261.2	165.5	5.92	
	5/16"	7.950		34.73	211.853	23.34	44.26	1,510.9	198.3	5.84	
	3/8"	9.530		40.89	249.429	27.48	52.13	1,731.5	227.8	5.77	
	1/2"	12.710		52.44	319.884	35.24	67.10	2,102.0	275.3	5.61	
7" x 7" 178 x 178	3/16"	4.780		25.42	155.062	17.08	32.39	1,602.5	180.3	7.04	
	1/4"	6.350		33.36	203.496	22.42	42.52	2,056.2	231.1	6.96	
	5/16"	7.950		41.06	250.466	27.59	52.32	2,476.6	278.6	6.88	
	3/8"	9.530		48.48	295.728	32.58	61.81	2,859.5	321.2	6.81	
	1/2"	12.710		62.58	381.738	42.06	80.00	3,251.3	396.6	6.65	

3.4. Selección de perfiles estructurales

1.Módulo de sección

En la práctica del diseño de vigas y selección de perfiles estructurales, frecuentemente se utiliza la relación que existe entre el momento de inercia I y la distancia **C** conociéndose como módulo de sección Z, esto es:

$$Z = \frac{I}{c} \quad \ldots\ldots\ldots(3\text{-}1)$$

Por lo tanto, la fórmula de la flexión se puede escribir así:

$$\sigma = \frac{M}{Z} \quad \ldots\ldots\ldots(3\text{-}2)$$

Donde:

σ es el esfuerzo admisible en el material de la viga.

M es el momento flector máximo que actúa sobre la viga y que se obtiene a partir del diagrama de momentos flexionantes.

La ecuación se utiliza tanto para el diseño de vigas con sección geométrica simple (por ejemplo, un rectángulo, un triángulo, un círculo, etc), como para la selección de perfiles estructurales disponibles comercialmente.

Para las vigas con sección geométrica simple geométrica simple se recomienda el procedimiento siguiente:

1.- Determine el momento flexionante máximo que actúa en la viga.

2.- Calcule el esfuerzo admisible, esto es:

$$\boldsymbol{\sigma} = \frac{\sigma_f}{\mathrm{F.S}} \quad \ldots\ldots(3\text{-}3)$$

Donde:

F.S es el factor de seguridad

3.- Se calcula el módulo de sección necesario para la viga, para ello, se despeja al módulo de sección Z de la ec. 2 obteniendo:

$$Z = \frac{M}{\sigma} \quad \text{......(3-4)}$$

4.- Por último, como se trata de secciones geométricas simples, se calculan las dimensiones necesarias para la viga aplicando la ec.(1), esto es:

$$Z = \frac{I}{c} \quad \text{........(3-5)}$$

2. Selección de perfiles estructurales comerciales.

El procedimiento a seguir para seleccionar el perfil adecuado para una aplicación dada es el que a continuación se describe:

1.- Se determina el momento flexionante máximo que actúa en la viga.

2.- Se calcula el esfuerzo admisible en el material de la viga

3.- Se calcula el módulo de sección Z (S) necesario

4.- Con el módulo de sección calculado en el paso anterior, se hace uso de las tablas antes mostradas y se selecciona aquel perfil que satisfaga las necesidades, debiendo recordar que también influye el peso del perfil, tanto en el costo como en el momento adicional creado en la viga, por lo que muchos casos se hace necesario un nuevo análisis de la viga.

CAPÍTULO 4

INTRODUCCIÓN A STATIK TUGo

4.1. El instituto para el análisis estructural (Das Institut für Baustatik)

El Instituto de Análisis Estructural de la Universidad Tecnológica de Graz existe desde 1912 y, por lo tanto, cumplió su centenario hace solo unos años. El análisis estructural también juega un papel central en la enseñanza en la formación actual de ingenieros civiles y mecánicos, prácticamente todas las materias constructivas como la construcción en madera, la construcción en acero y la construcción en hormigón utilizan métodos de análisis estructural. Además de los métodos clásicos de cálculo manual, los métodos asistidos por computadora, es decir, los métodos de simulación como el método de elementos finitos (MEF o FEM) , se enseñan y juegan un papel central en la investigación del instituto.

4.2. La aplicación statikTUGo

La aplicación statikTUGo se desarrolló en el Instituto de Análisis Estructural y se puso en línea en noviembre de 2018. Permite la entrada y el cálculo interactivo y simple de cualquier tipo de estructura de soporte con la salida de todas las fuerzas internas y la línea de flexión. Se puede operar a través de un teléfono inteligente o tableta, por lo que la aplicación se puede descargar desde las plataformas habituales (para Android, para iOS). También se puede operar a través del navegador **(http://ifb-sw.tugraz.at/statiktugo/)**

La aplicación statikTUGo se puede utilizar para demostrar las leyes del análisis estructural de una manera clara e interactiva y, por lo tanto, crear una sensación de sus leyes y principios básicos. El control intuitivo y la reducción en el diseño permiten una experiencia de usuario natural y rápida, con el enfoque en lo esencial: análisis estructural.

4.3. Introducción al uso del programa statik TUGo

Al ejecutar el programa se muestra la interfase mostrada en figura 4.1:

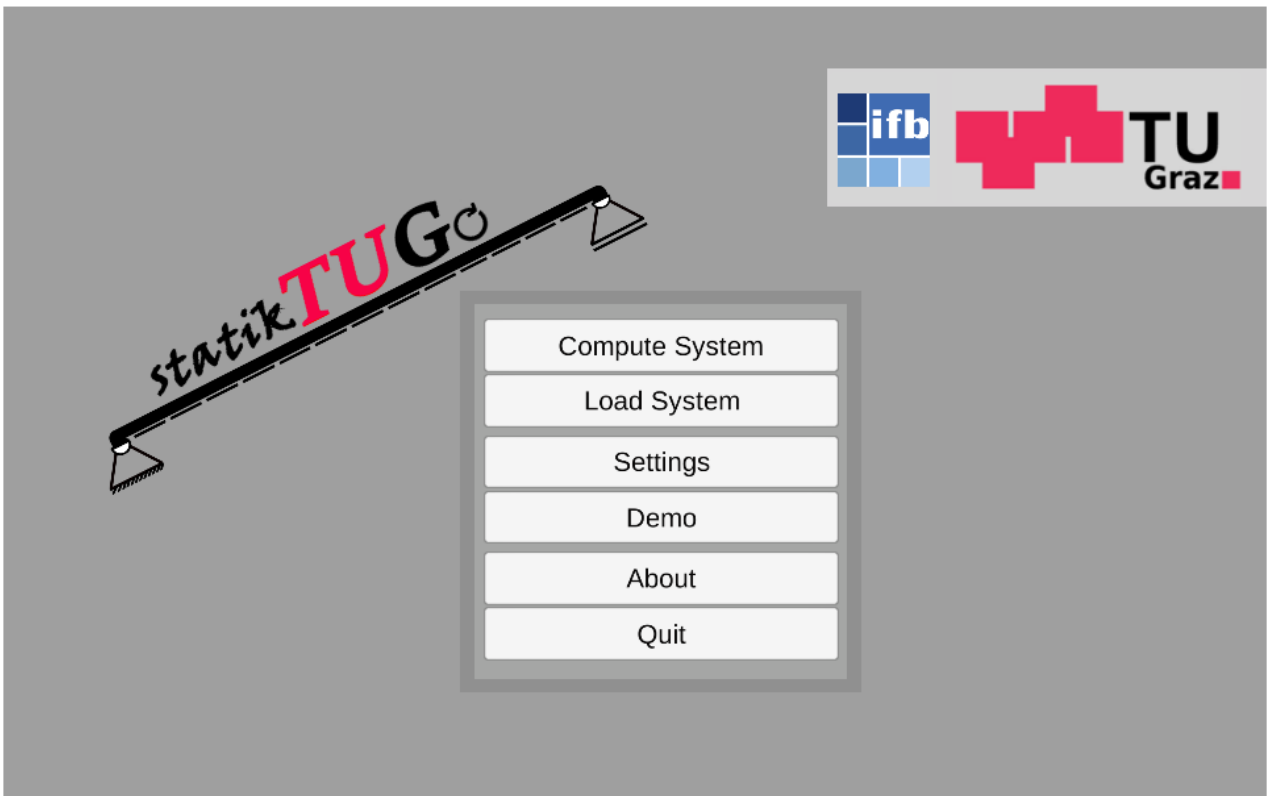


Figura 4.1. Interfase inicial

De las opciones mostradas, únicamente se describirán dos, la primera, Settings, en donde, lo único que hay que cambiar es el idioma a inglés, pero si se sienten más cómodos con el idioma alemán no hay que realizar algún cambio:

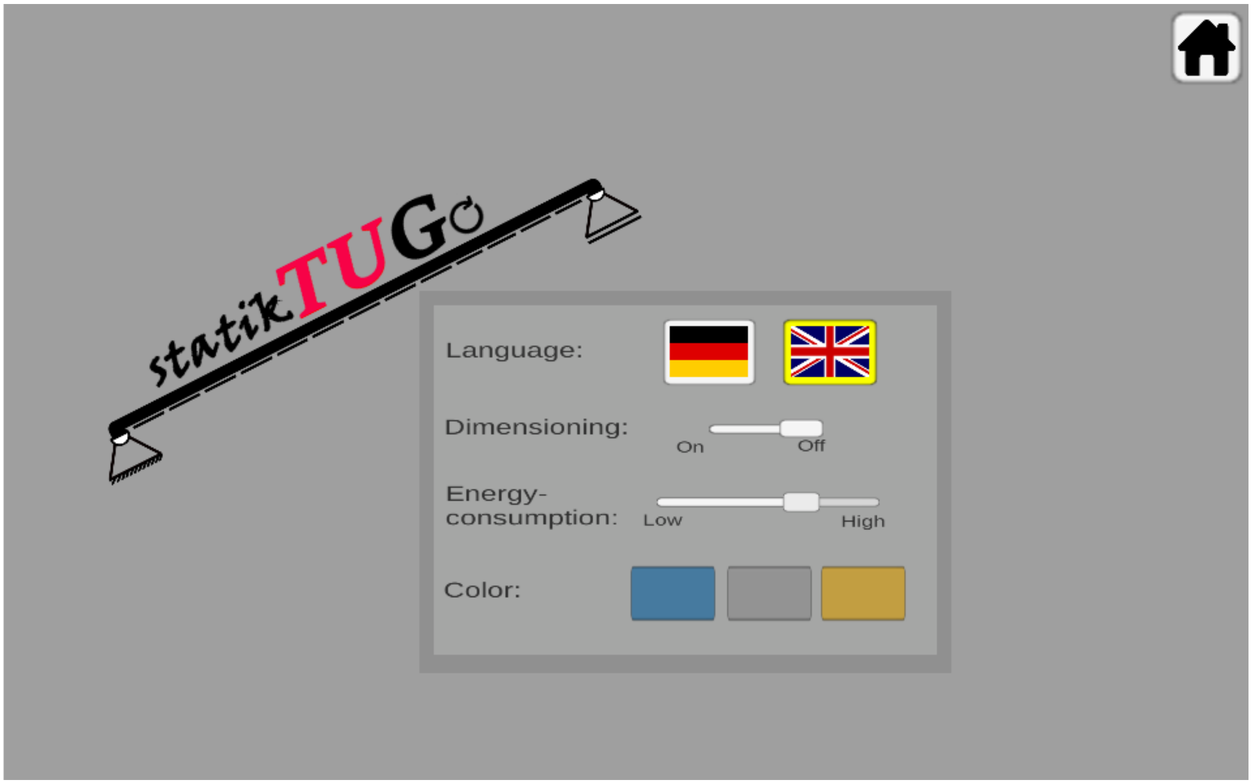


Figura 4.2.

A continuación, se puede seleccionar la opción Demo, en donde se presentan algunos videos con información general sobre el uso del programa:

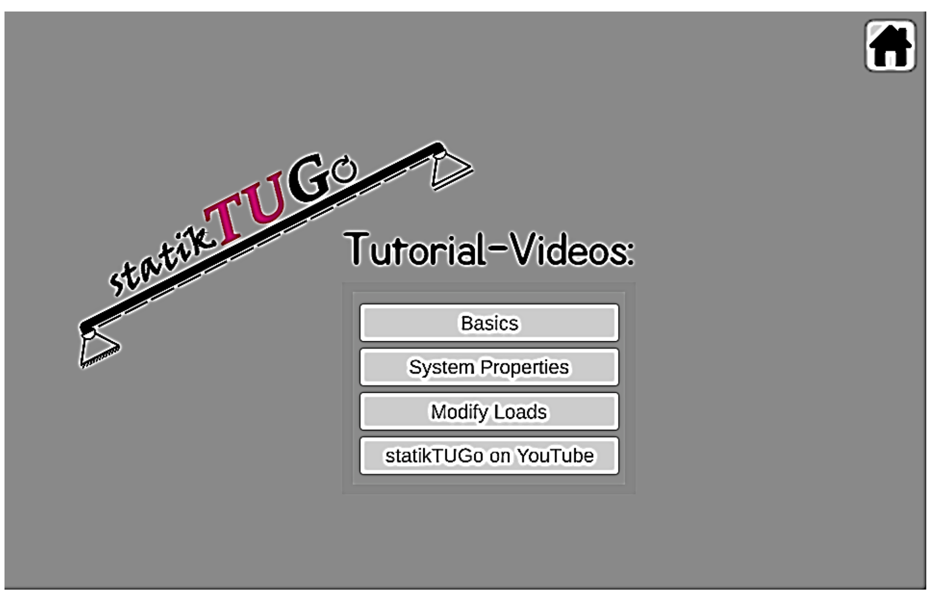


Figura 4.3.

El símbolo  permite regresar siempre a la interfase inicial del programa.

La opción Load System sirve para cargar algún análisis que ya se haya realizado y finalmente, al seleccionar Compute System el programa abre directamente el entorno de trabajo, como se muestra en la figura 4.4.

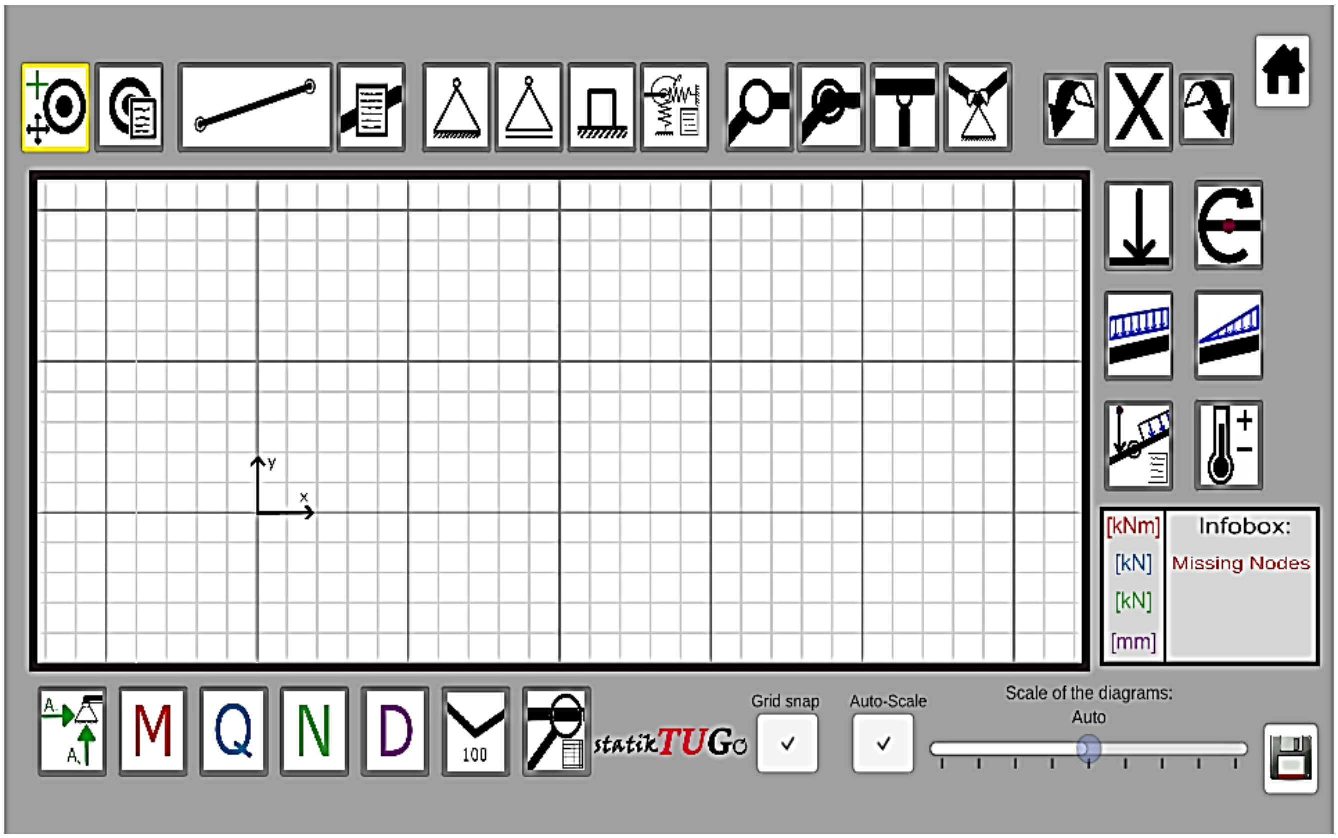
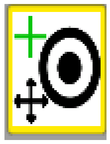
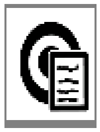
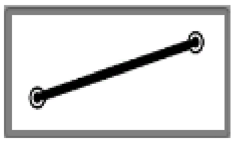
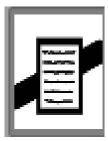
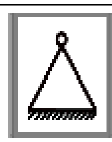
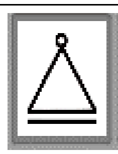
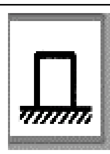
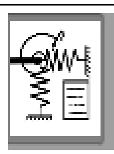
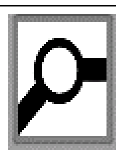
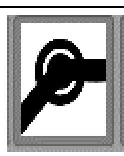
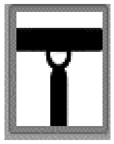
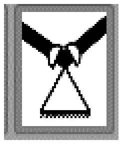
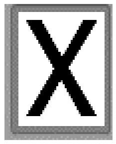
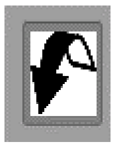
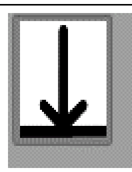
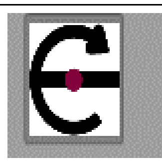
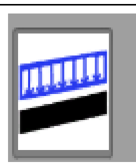
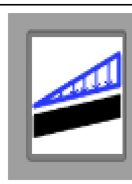
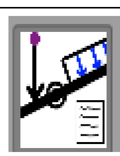
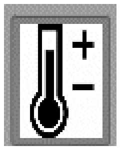


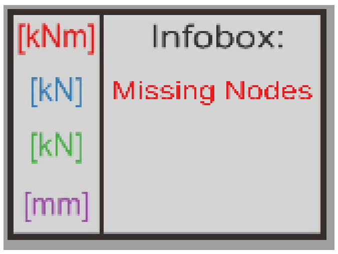
Figura 4.4. Listos para empezar a trabajar

Cada uno de los botones tiene la función siguiente:

Botón	Uso
	Permite crear un nodo en donde haya un apoyo o restricción y en donde se modifiquen las condiciones de carga.
	Se puede modificar la ubicación de cada nodo, debiendo señalar a otro nodo como referencia
	Sirve para crear cada elemento estructural
	Permite editar las propiedades de cada elemento, como el área, módulo de Young, y momento de inercia.
	Permite posicionar un apoyo articulado
	Permite posicionar un apoyo libre
	Permite posicionar un apoyo fijo o empotrado
	Permite posicionar una restricción elástica
	Nodo libre.
	Unión rígida entre dos barras (también se obtiene con los nodos)

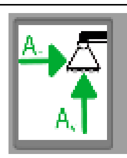
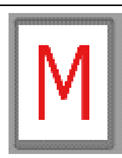
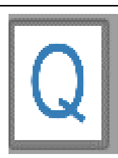
	Unión de dos elementos por medio de una articulación
	Unión de tres o más elementos por medio de una articulación
	Sirve para eliminar cualquiera de los elementos (cargas, apoyos, nodos,etc) que se haya creado.
	Deshacer operación
	Rehacer operación
	Selección de carga puntual, por default, es de 10kN, siendo positiva hacia abajo
	Momento puntual, por default es de 10kN.m y actuando en sentido horario (positivo)
	Carga uniformemente distribuida
	Carga variable
	Edición de cada carga aplicada, debiendo tener cuidado, con su sentido y orientación con respecto al elemento sobre el que actúa.

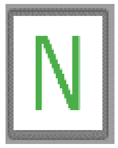
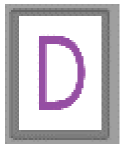
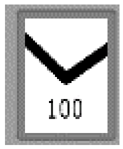
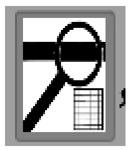
	**Introducción de propiedades físicas del material, por ejemplo, el coeficiente de dilatación térmica, claro, si son importantes en el análisis.**
	**Para guardar el análisis**



El programa informa sobre las unidades para cada variable y la Infobox dice si todo es correcto, debiendo aclarar, que si dice que el sistema es inestable se tiene que revisar que apoyo o elemento fue colocado de manera equivocada

Finalmente, en la parte inferior del programa se pueden visualizar los botones siguientes:

Botón	Uso
	**Permite del cálculo de las reacciones.**
	**Traza los diagramas de momentos flexionantes, desgraciadamente muestra al mismo tiempo el de todos los elementos.**
	**Traza el diagrama de fuerzas cortantes**

	**Indica las fuerzas axiales (tensión o compresión) que actúan sobre cada uno de los elementos**
	**Muestra la deformación de cada uno de los elementos**
	**Muestra el valor máximo de las variables antes mencionadas**
	**Y esta opción proporciona el valor de cada variable antes mencionada para cada elemento, debiendo seleccionar el elemento de interés.**

Antes de describir el uso del programa, debe tomarse en cuenta lo siguiente:

- La convención de signos que utiliza el programa para momentos flexionantes y fuerzas cortantes es contrario a la que se usa normalmente en el salón de clases, esto es:

- La fuerza cortante es negativa si actúa hacia arriba y negativa si lo hace hacia abajo.
- El momento flexionante es positivo si actúa en sentido antihorario y negativo si lo hace en sentido horario.

- Es complicado manejar longitudes menores a 0.5 m

- No se puede modificar el tamaño de la malla.

- El programa maneja únicamente unidades en el sistema internacional.

- El módulo de elasticidad para algunos materiales es el siguiente:

Tabla 4.1. Propiedades físicas de algunos materiales de ingeniería (datos provenientes de varias fuentes.

Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de rigidez G		Razón de Poisson ν	Peso específico γ	Densidad de masa ρ	Gravedad específica
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lb/in^3	Mg/m^3	
Aleación de aluminio	10.4	71.7	3.9	26.8	0.34	0.10	2.8	2.8
Cobre al berilio	18.5	127.6	7.2	49.4	0.29	0.30	8.3	8.3
Latón, bronce	16.0	110.3	6.0	41.5	0.33	0.31	8.6	8.6
Cobre	17.5	120.7	6.5	44.7	0.35	0.32	8.9	8.9
Hierro fundido gris	15.0	103.4	5.9	40.4	0.28	0.26	7.2	7.2
Hierro fundido dúctil	24.5	168.9	9.4	65.0	0.30	0.25	6.9	6.9
Hierro fundido maleable	25.0	172.4	9.6	66.3	0.30	0.26	7.3	7.3
Aleaciones de magnesio	6.5	44.8	2.4	16.8	0.33	0.07	1.8	1.8
Aleaciones de níquel	30.0	206.8	11.5	79.6	0.30	0.30	8.3	8.3
Acero al carbono	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de acero	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Acero inoxidable	27.5	189.6	10.7	74.1	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de titanio	16.5	113.8	6.2	42.4	0.34	0.16	4.4	4.4
Aleaciones de zinc	12.0	82.7	4.5	31.1	0.33	0.24	6.6	6.6

* *Properties of Some Metals and Alloys*, International Nickel Co., N.Y., *Metals Handbook*, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

Y el coeficiente de dilatación lineal para algunos materiales se muestra en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Coeficiente de dilatación lineal para algunos materiales.

Invar	$0.7x10^{-6}$
Vidrio Común	$9x10^{-6}$
Cinc	$25x10^{-6}$
Vidrio Pyrex	$3.2x10^{-6}$
Tungsteno	$4x10^{-6}$
Plomo	$29x10^{-6}$
Silicio	$0.4x10^{-6}$
Acero	$11x10^{-6}$
Diamante	$0.9x10^{-6}$

CAPITULO 5.

APLICACIONES

5.1. Ejemplo No. 1

Trace los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes para la viga que se muestra en la figura 5.1.

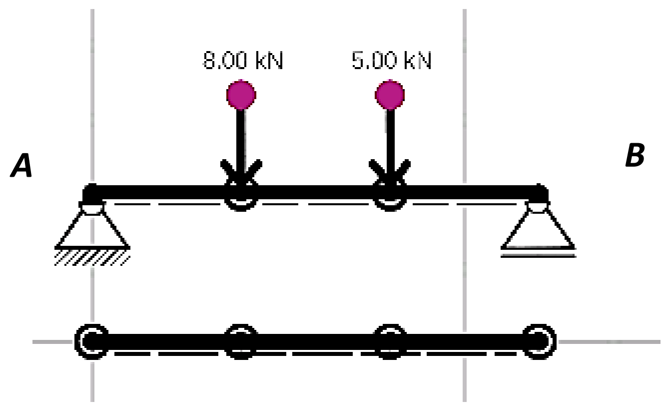


Figura 5.1.

Para los dos primeros ejercicios, se trazarán los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes usando el método de ecuaciones:

Primero, se calculan las reacciones de la viga:

$$+\circlearrowleft\Sigma M_A=0$$

$$-8(2)-5(4)+R_B(6)=0$$

$$R_B= 36/6=6 \text{ kN}$$

$$+\uparrow\Sigma Fy=0$$

$$R_A-8-5+6=0$$

$$R_A=13-6= 7\text{kN}$$

Para su análisis, la viga se divide en tres secciones:

$$\mathbf{0<X<2}$$

$$V=7$$

$$M= 7X$$

$$\mathbf{2<X<4}$$

$$V= 7- 8=-1$$

$$M= 7X-8(x-2)$$

$$M= 7X-8X+16$$

$$M= -X+16$$

$$\mathbf{4<X<6}$$

$$V=7-8-5= -6$$

$$M= -X+16-5(X-4)$$

$$M= -X+16-5X+20$$

$$M= -6X+36$$

Finalmente, con ayuda de las ecs. anteriores se trazan los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes:

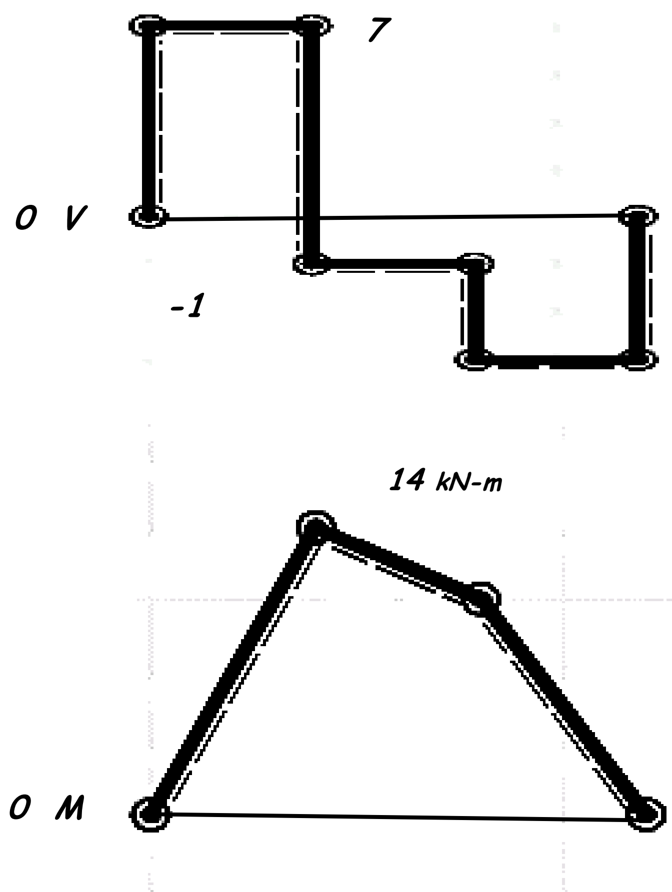


Figura 5.2. Diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes

Como se puede apreciar, en X=2m existe un momento máximo igual a 14 kN.m

A continuación, se resolverá el mismo ejercicio utilizando el programa statik TUGo, para ello se ejecuta el programa y se selecciona Compute system:

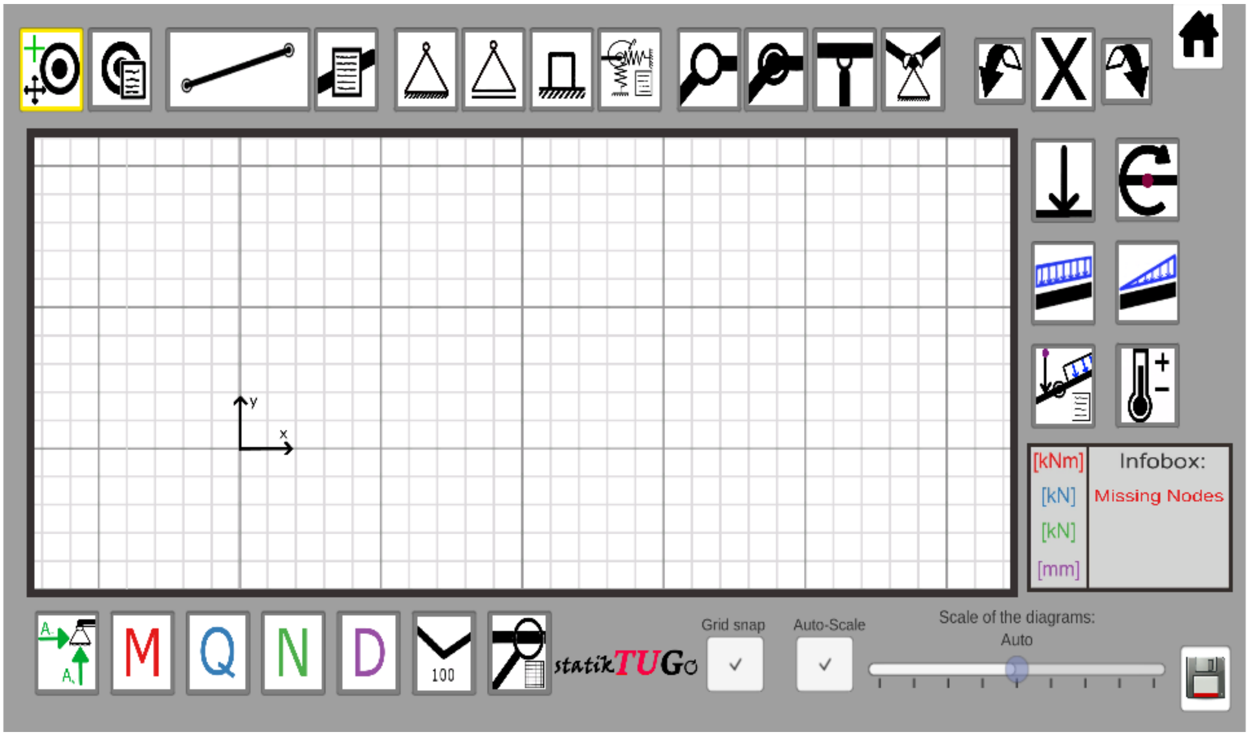


Figura 5.3.

Verificando que el botón Nodo este activo se crean 4 de ellos, dos para las cargas aplicadas y dos, para las reacciones:

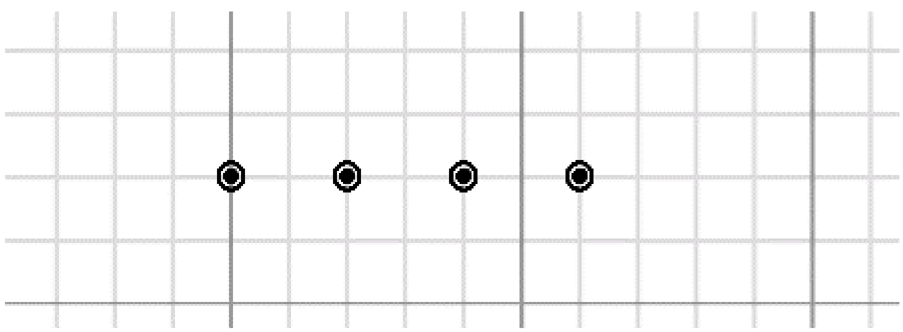


Figura 5.4.

Recuerde que cada división de la malla mostrada **tiene un valor de 1 m.**

A continuación, seleccione el botón barra, y una los nodos de los extremos:

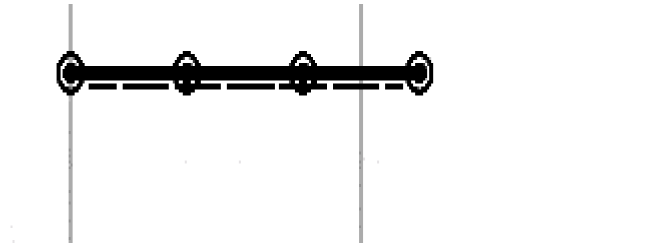


Figura 5.5.

Seleccione el botón de apoyo articulado y coloque el nodo de la izquierda, y con el botón de apoyo libre, haga lo propio en el nodo de la derecha, como se muestra en la figura.

Figura 5.6.

Seleccione el botón de carga puntual, y aplíquela en cada uno de los nodos que están libres:

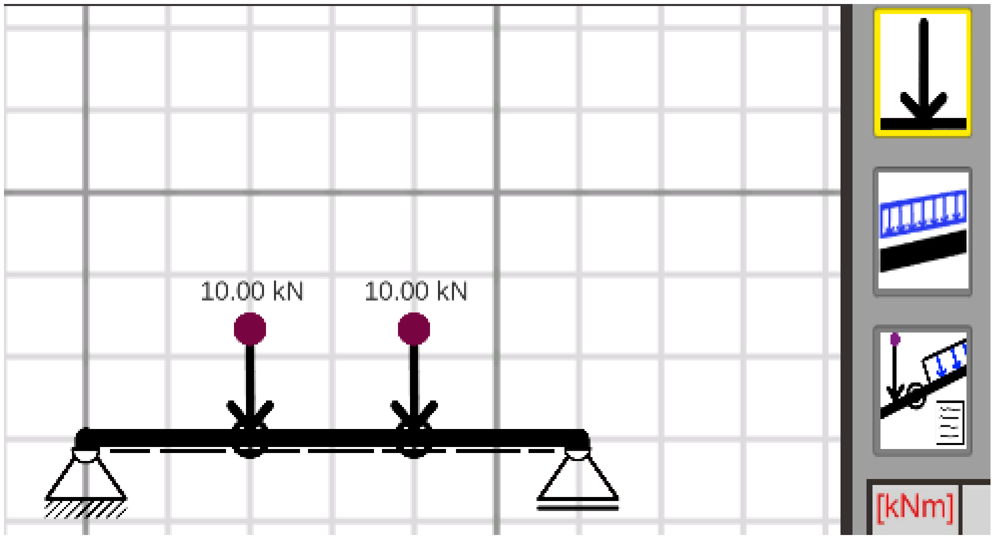


Figura 5.7.

Como se puede ver, las cargas tienen un valor por default de 10 kN, por lo que habrá necesidad de editarlas, para ello se selecciona el botón de edición  El programa mostrará el cuadro de diálogo que se visualiza en la figura 5.8 y deberá seleccionarse la carga de 10kN de la izquierda (note que la carga se marca de color amarillo, y deberá darse Ok en el cuadro de diálogo:

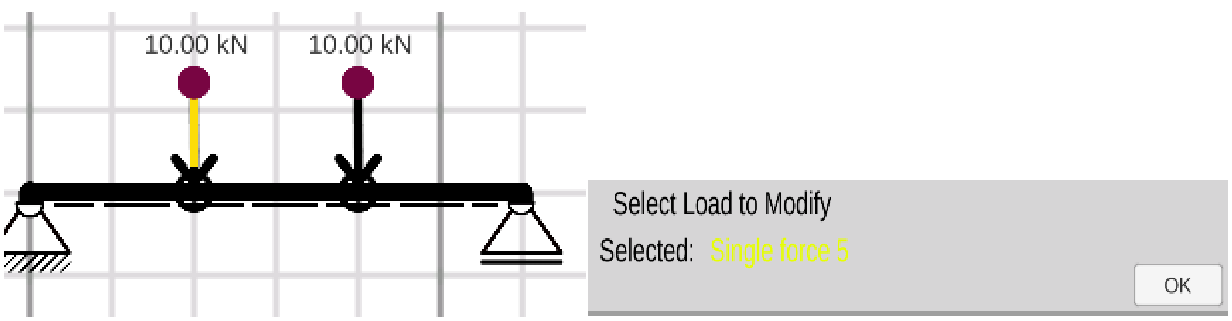


Figura 5.8.

Inmediatamente, aparece el siguiente cuadro de diálogo y deberán modificarse los parámetros mostrados:

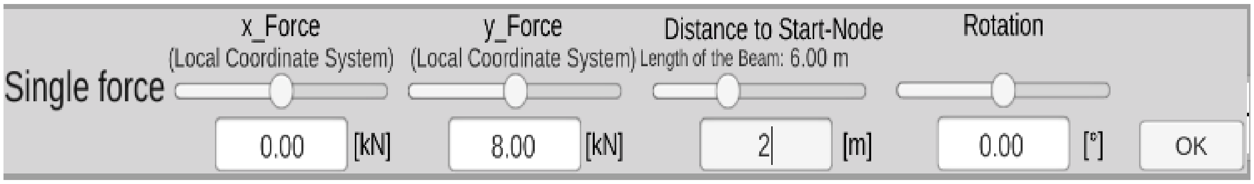


Figura 5.9.

Para terminar se da Ok, y a continuación se selecciona la carga de 5kN, llenando el cuadro de diálogo como se muestra en la figura 5.10:

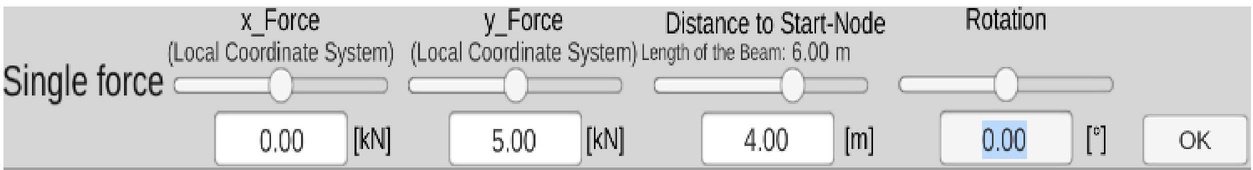
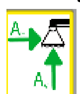


Figura 5.10.

Se da Ok, y otra vez Ok.

Una vez que se ha creado la viga, con apoyos y cargas, se obtienen los resultados, primero, las reacciones  :

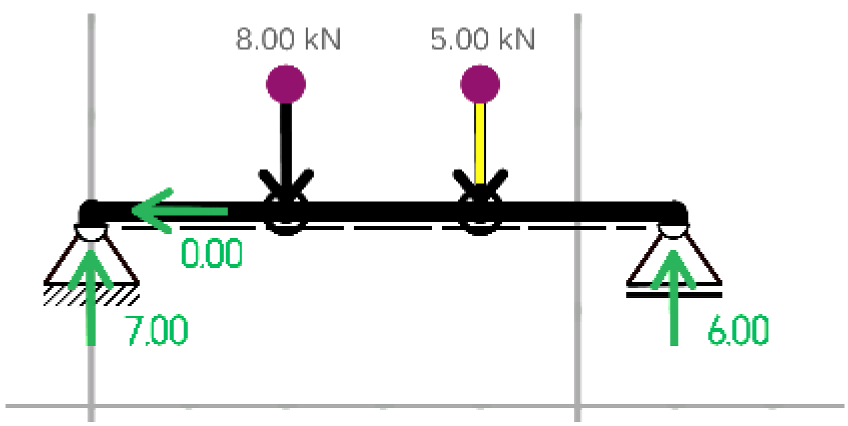
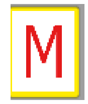
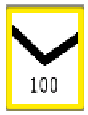


Figura 5.11.

Apague el botón anterior, seleccione el de momentos 

y el de resultados inmediatos 

:

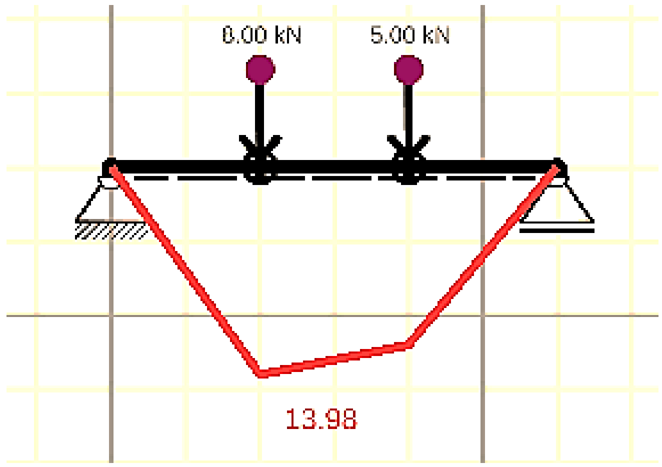


Figura 5.12.

El momento máximo calculado es de 13.98 kN.m que difiere en 0.02 kN.m con respecto al obtenido utilizando el método de ecs.

A continuación, active el botón de fuerza cortante, y desactive el de momentos para obtener el diagrama de fuerzas cortantes que se muestra en la figura 5.13:

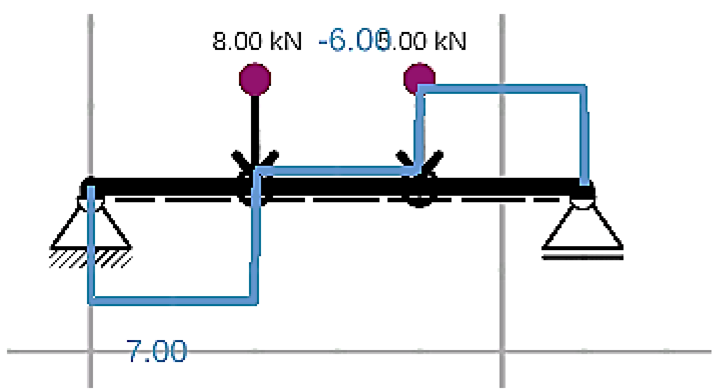


Figura 5.13.

Se obtiene el diagrama de fuerzas axiales que actúan sobre la viga:

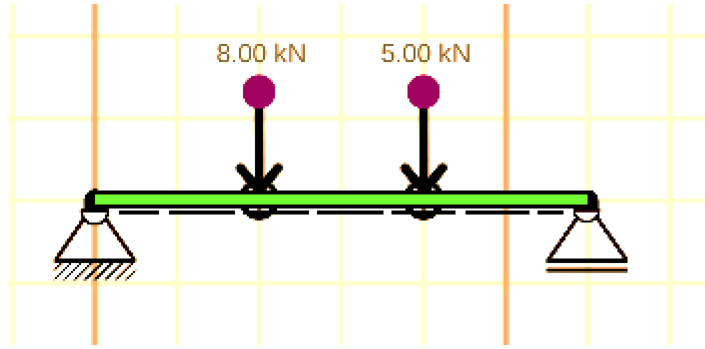
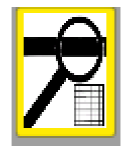


Figura 5.14.

Finalmente, se selecciona el botón de Información general  mostrándose el siguiente cuadro de dialogo:

Selected Beam - Number:
No Beam Selected
N Q M W U

Position [m]	Position	Position	Position	Position	Position	Position	Position	Position	Position	Position	Position
N [kN]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q [kN]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
M [kN]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

OK

Figura 5.15.

Para tener información útil debe seccionarse la viga creada al principio, en dado, caso que se tengan varios elementos, se debe seleccionar uno por uno:

Position [m]	0.00	0.60	1.20	1.80	2.40	3.00	3.60	4.20	4.80	5.40	6.00
N [kN]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q [kN]	7.00	7.00	7.00	7.00	-1.00	-1.00	-1.00	-6.00	-6.00	-6.00	-6.00
M [kN]	0.00	4.20	8.40	12.60	13.60	13.00	12.40	10.80	7.20	3.60	0.00

OK

Figura 5.16.

Desgraciadamente, el programa da los valores de X en donde se calculan la fuerza axial, la fuerza cortante y el momento flexionante los da por default el programa y no hay forma de modificarlo, pero siempre se puede acudir al diagrama de momentos flexionantes.

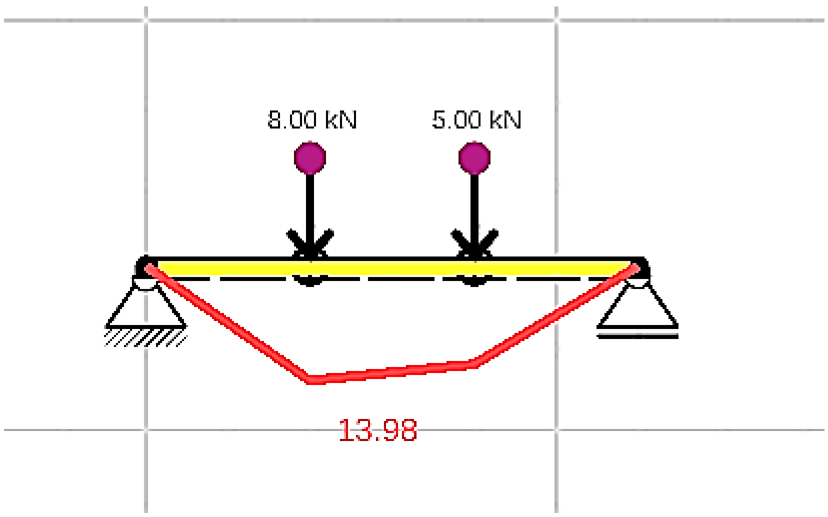
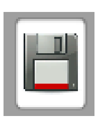


Figura 5.17.

Cabe destacar que en este ejercicio no se obtuvieron las deflexiones de la viga, ya que no se proporcionaron las dimensiones de su sección transversal.

Por último, si se desea, se puede guardar el análisis realizado, para ello, seleccione el botón :

Se proporciona el nombre del análisis y se da Ok:

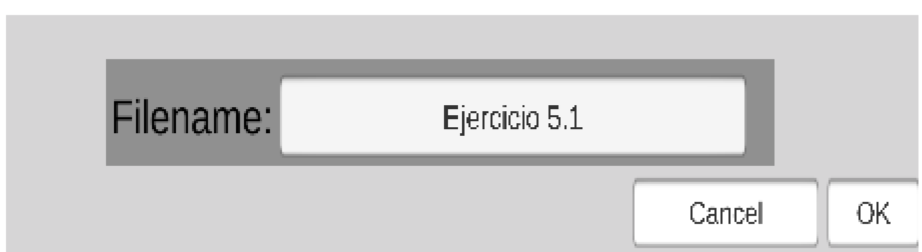
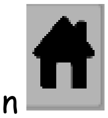


Figura 5.18.

Para iniciar un análisis nuevo seleccione el botón  y el programa regresa al inicio.

5.2. Ejemplo 5.2.

Trace los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes para la viga en voladizo que se muestra en la figura 5.19:

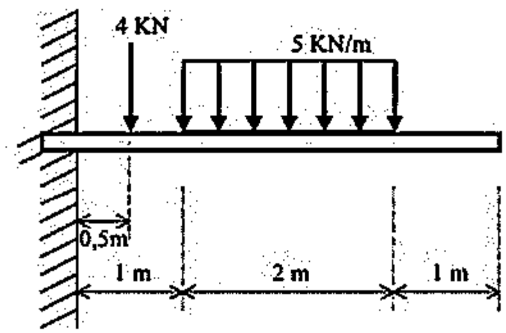


Figura 5.19.

Se traza el diagrama de cuerpo libre:

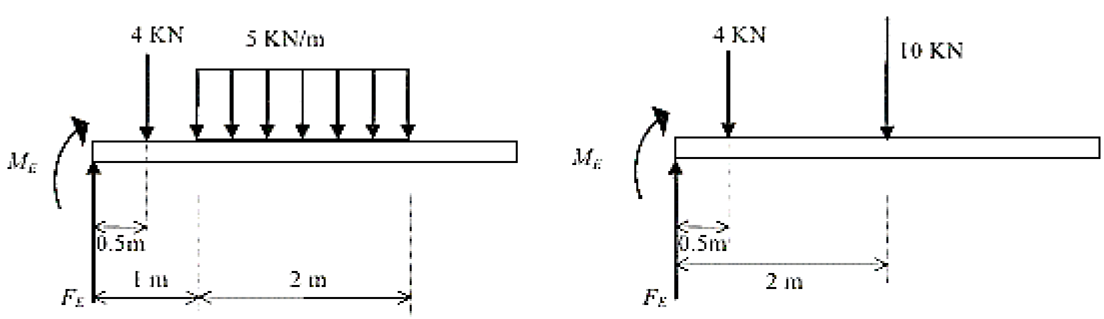


Figura 5.20.

Se calculan las reacciones en el apoyo empotrado:

$$+\circlearrowleft \Sigma M_E=0$$

$$-M-4(.5)-10(2)=0$$

$M=-2-20= -22$ kN.m (el momento actúa en sentido antihorario)

$$+\uparrow \Sigma FY=0$$

$$FE-4-10=0$$

$$FE=14 \text{ kN}$$

Para su análisis, la viga se divide en 4 secciones:

$$0<X<0.5$$

$$V=14$$

$$M=-22+14X$$

$$0.5<X<1$$

$$V=14-4=10$$

$$M= -22 +14X-4(X-0.5)$$

$$M= -22 + 14X-4X+2$$

$$M=-20+10X$$

$$1<X<3$$

$$V= 14-4-5(X-1)$$

$$V= 10-5X+5$$

$$V=15-5X$$

$$M=-20+10X- 5(X-1)(X-1)/2$$

$$M= -20+10X-2.5(X-1)^2$$

3‹X‹4

V=14-4-10=0

M=-20+10X-5(X-2)

M=-20+10X-5X+10

M=5X-10

Finalmente, se trazan los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes:

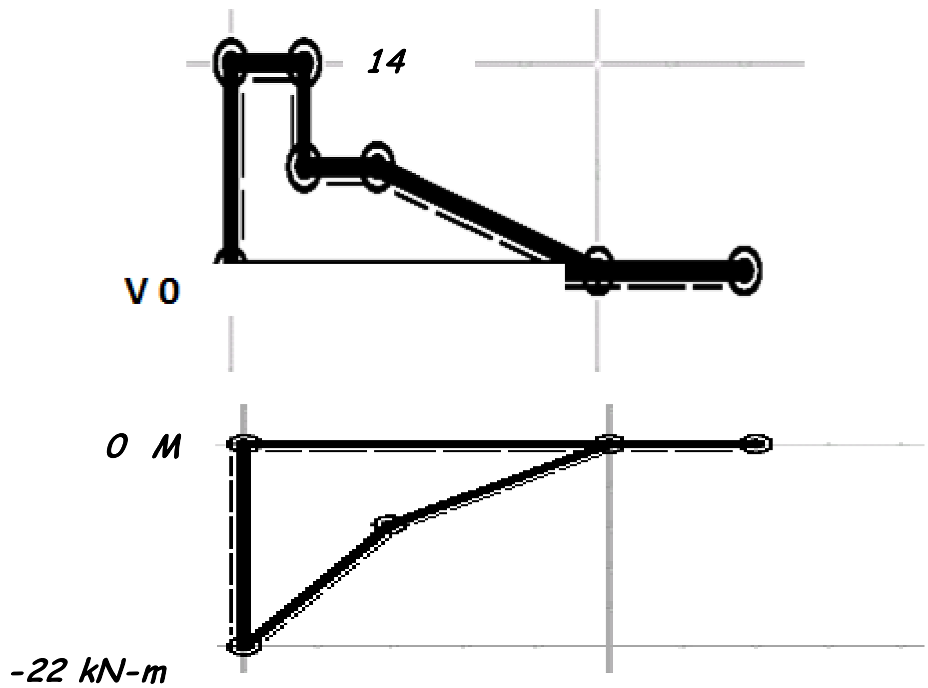
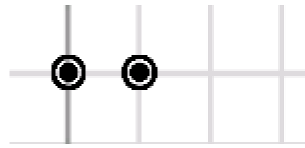


Figura 5.20.

A continuación, se realiza el ejercicio utilizando el programa:

Después de ejecutar el programa se crea el nodo en donde se localizará el apoyo empotrado y un segundo a una distancia de 1m, por lo que habrá que cambiar su localización, ya que la carga de 4 kN actúa a una distancia de 0.5m.



, *Figura 5.21.*

Para ello de utiliza el botón de editar nodo, se selecciona el segundo nodo creado y tomando como referencia al primero se proporciona la distancia X=0.5 como se muestra en la figura:

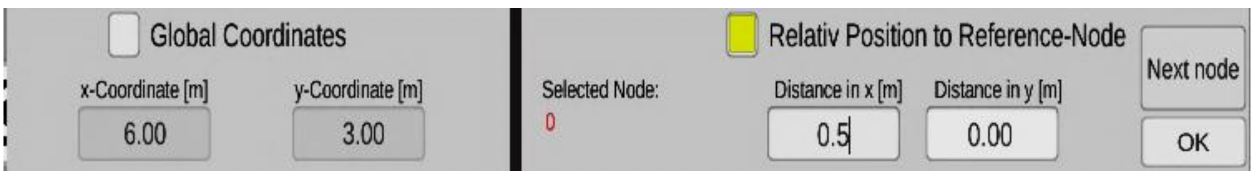


Figura 5.22.

A continuación, se crean los nodos faltantes:

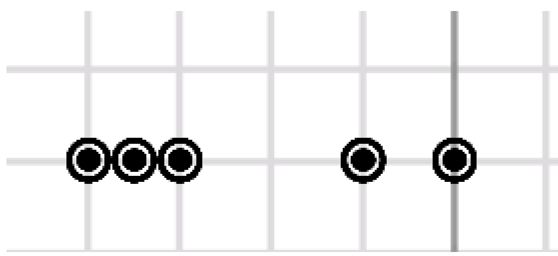


Figura 5.23.

Se crea cada una de las barras que conforman la viga:

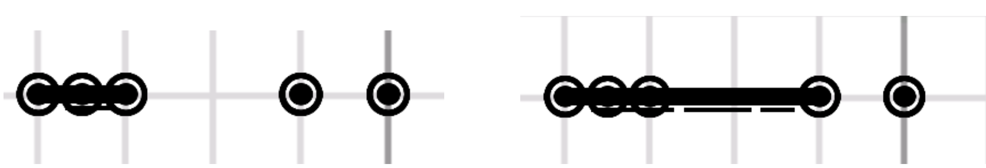


Figura 5.24.

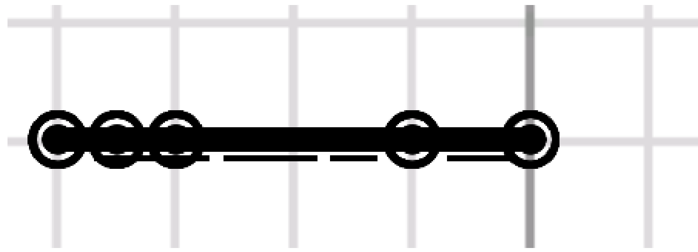


Figura 5.25.

Se coloca el apoyo fijo:

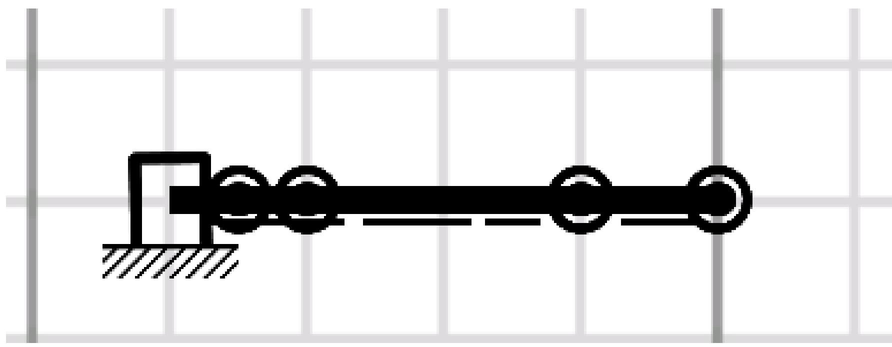


Figura 5.26.

Se agrega una carga puntual, pero como es de 10 kN debe editarse:

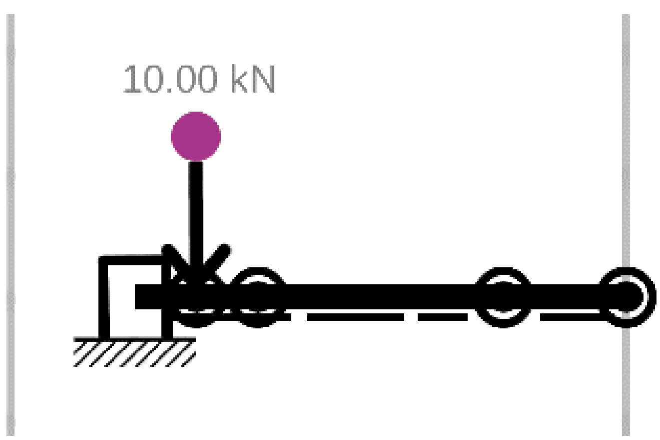


Figura 5.27.

Se edita:

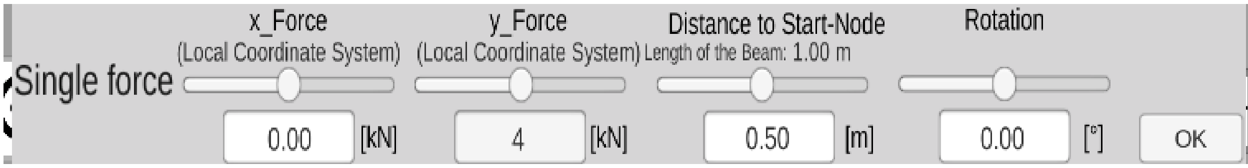


Figura 5.28.

Se aplica la carga uniformemente distribuida:

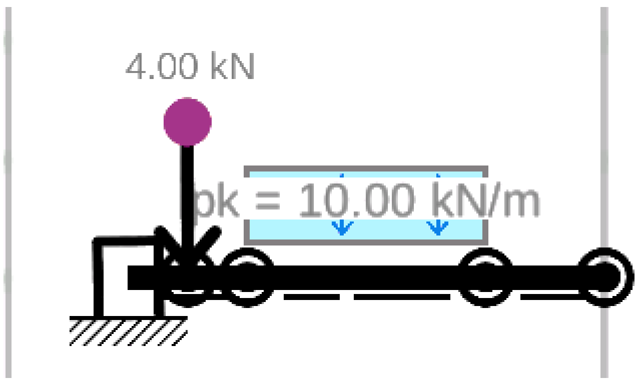


Figura 5.29.

Se edita su valor:

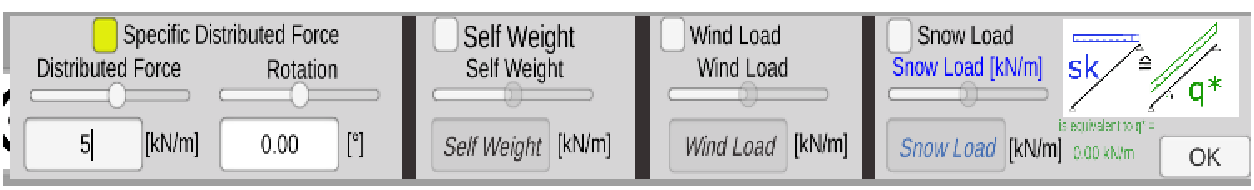


Figura 5.30.

Se calculan las reacciones:

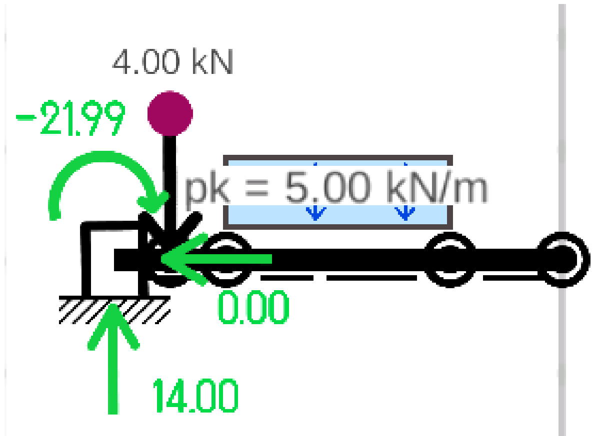


Figura 5.31.

Se obtiene el diagrama de momentos:

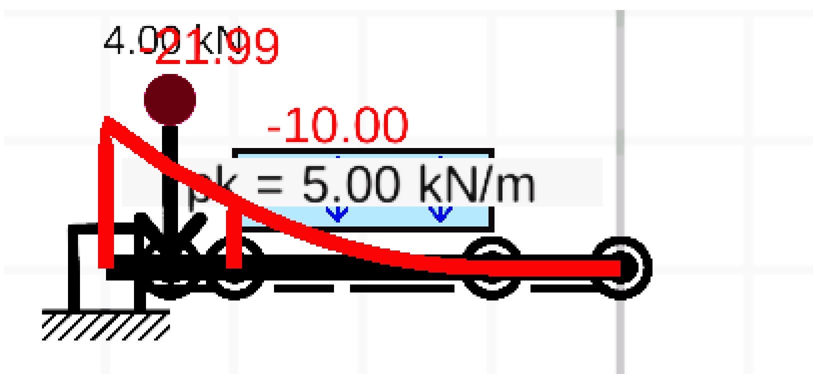


Figura 5.32.

El diagrama de fuerzas cortantes:

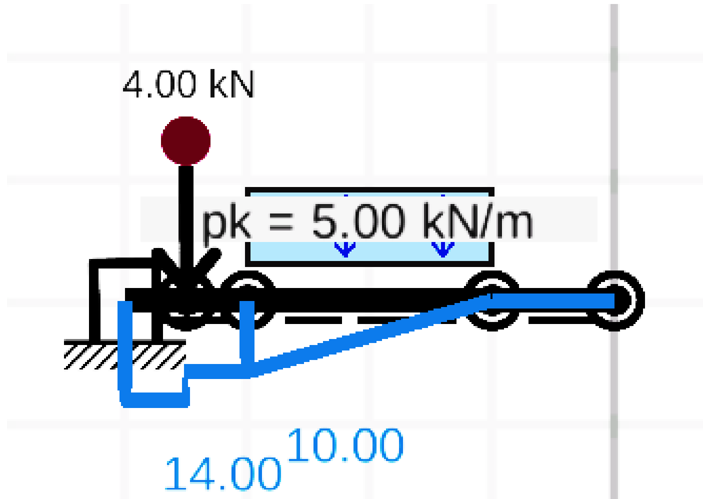
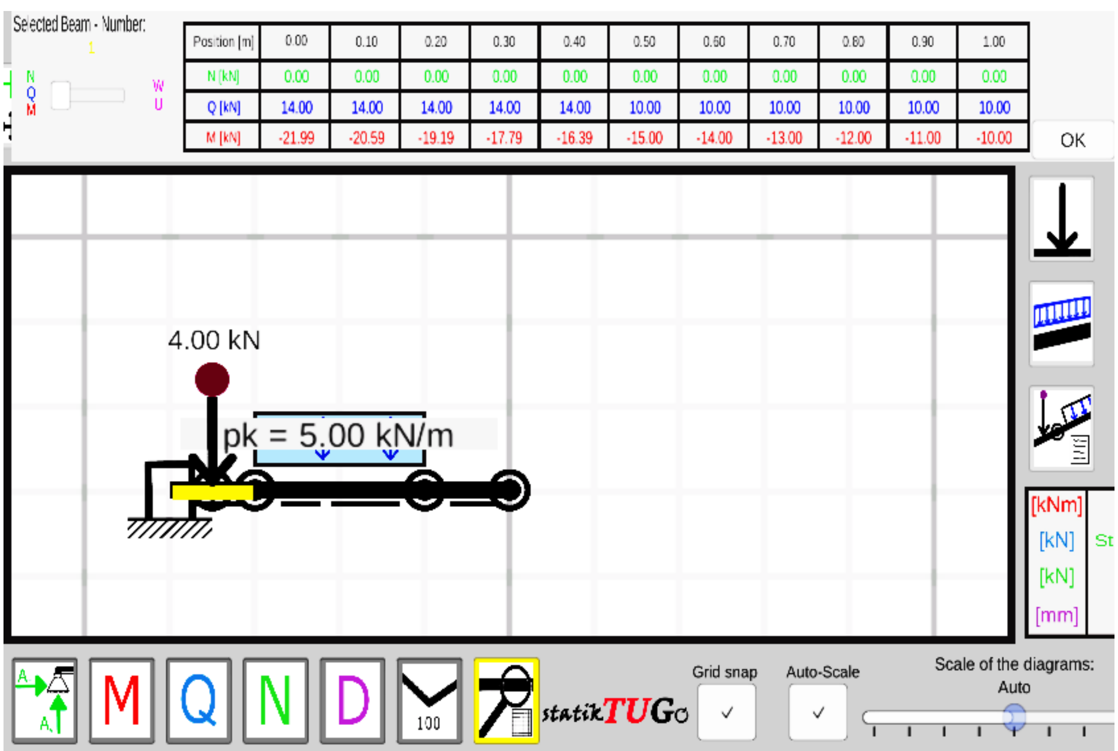


Figura 5.33.

Como el primer eslabón de izquierda a derecha es el que está sometido al momento flexionante y fuerza cortante máximos, se obtiene la información general para dicha barra:



Position [m]	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
N [kN]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q [kN]	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
M [kN]	-21.99	-20.59	-19.19	-17.79	-16.39	-15.00	-14.00	-13.00	-12.00	-11.00	-10.00

Figura 5.34.

Por último, se guarda el análisis:

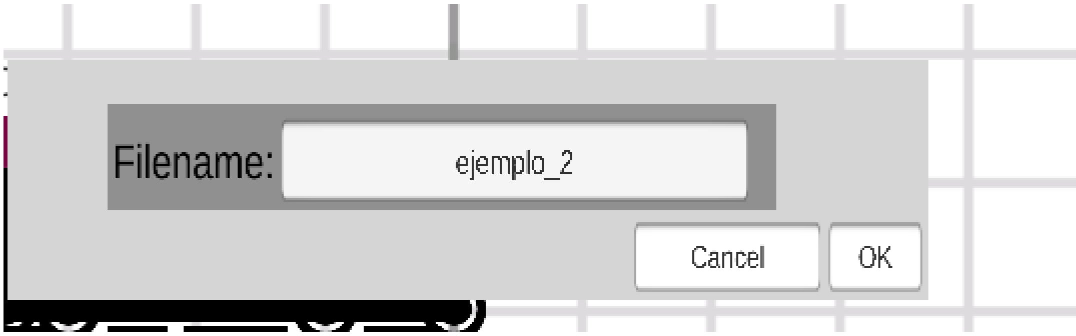


Figura 5.35.

5.3. Ejemplo No. 3

Trace los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes para la viga que se muestra en la figura:

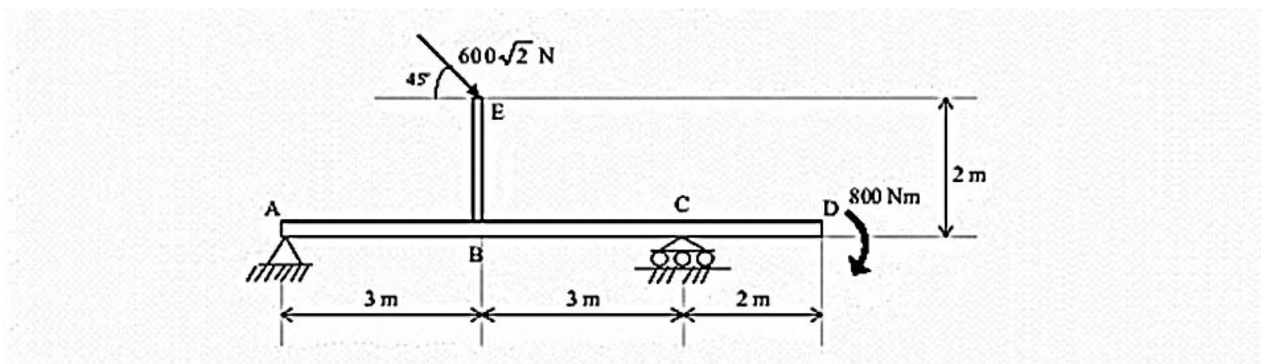
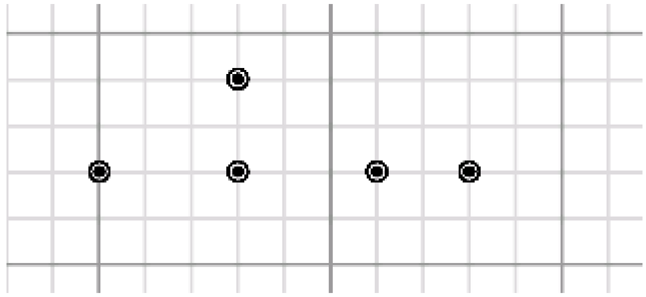


Figura 5.36.

Por comodidad. antes de resolver el ejercicio, se calcula fuerza total que actúa sobre la barra vertical:

$F = 600\sqrt{2}$ = 848.5 N= 0.85 kN

Tras ejecutar el programa, se crean los cinco nodos:



Nota: recuerde que cada división de la cuadricula es igual a 1 m.

Figura 5.37.

A continuación, se crea cada una de las barras:

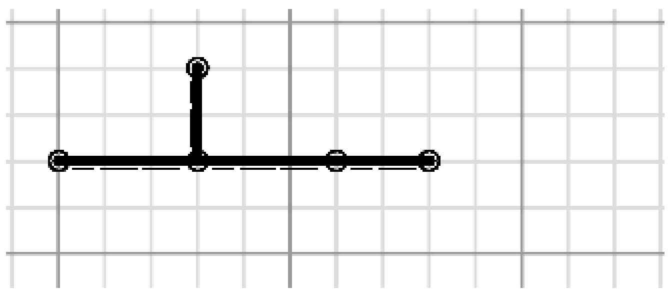


Figura 5.38.

Se colocan los apoyos:

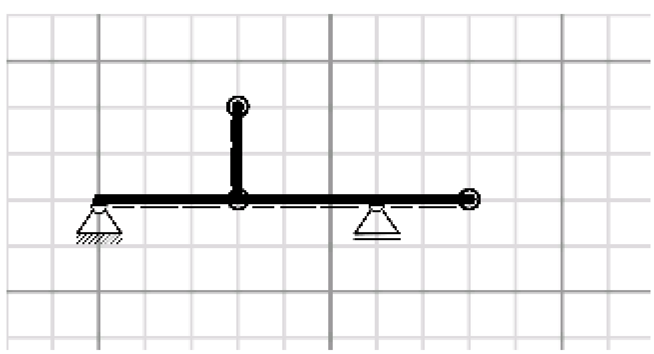


Figura 5.39.

Se aplica la carga:

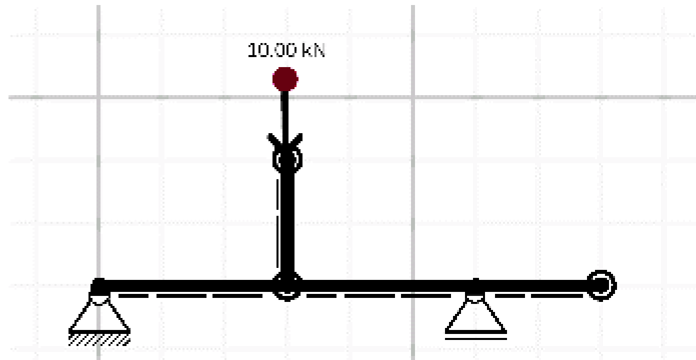


Figura 5.40.

Se edita la carga:

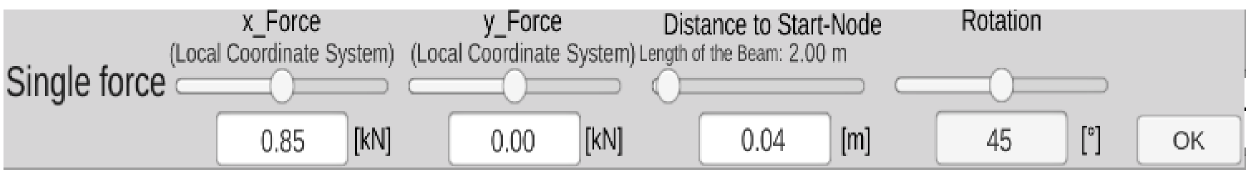


Figura 5.41.

Aplique el momento:

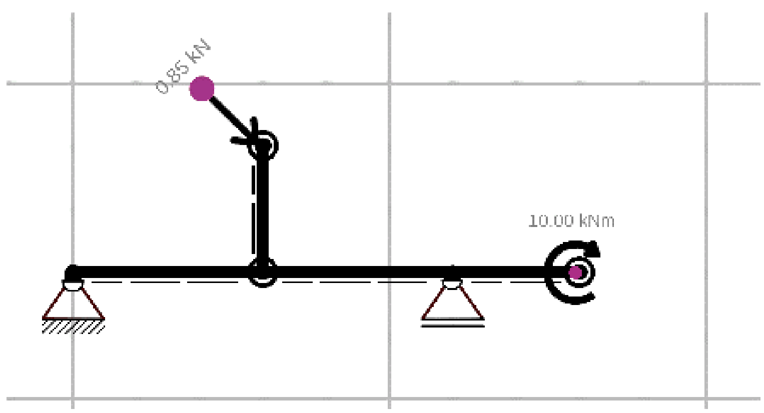


Figura 5.42.

Y se edita:

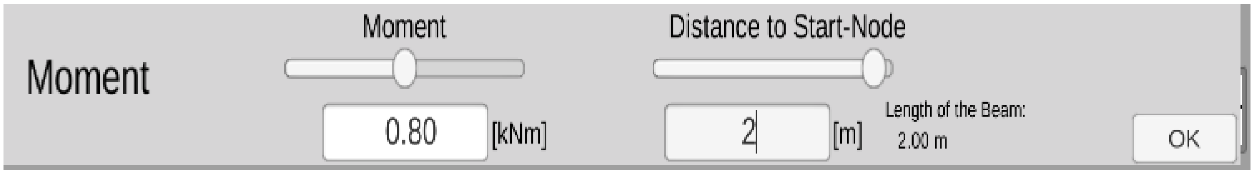


Figura 5.43.

Se calculan las reacciones:

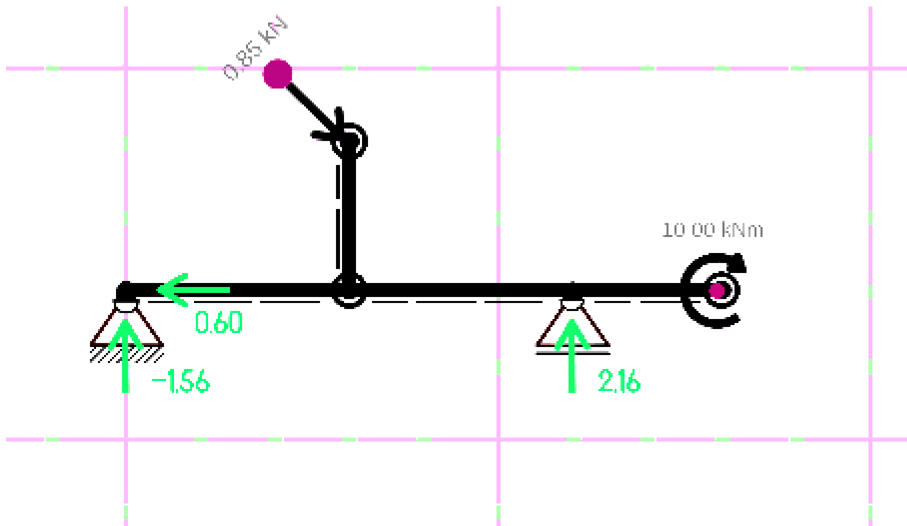


Figura 5.44.

Se obtiene el diagrama de momentos flexionantes, debiendo notar que el programa proporciona tanto el de la viga como el de la barra vertical, figura 5.45, creando un poco de confusión, sin embargo, en el resumen de datos se puede seleccionar cada elemento de forma individual:

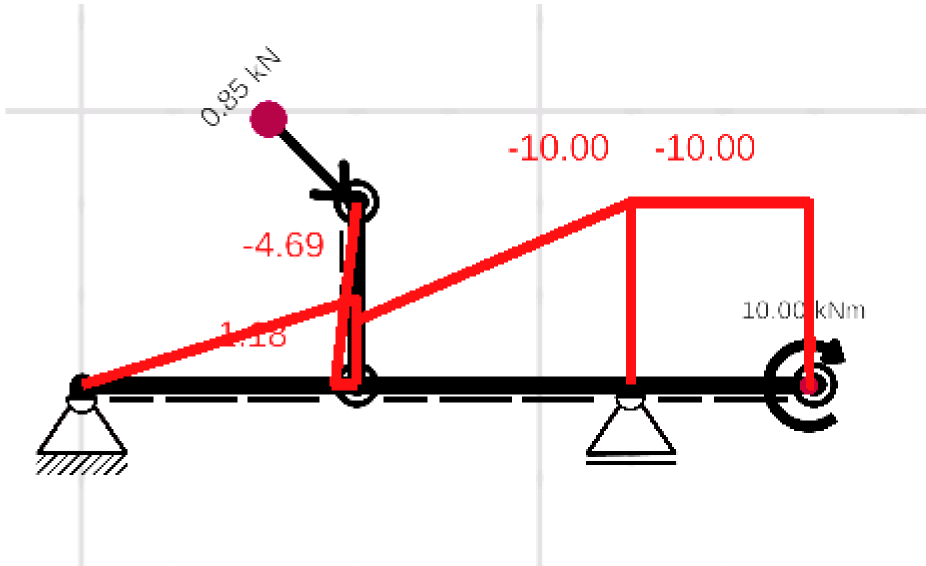


Figura 5.45.

Y el diagrama de fuerzas cortantes:

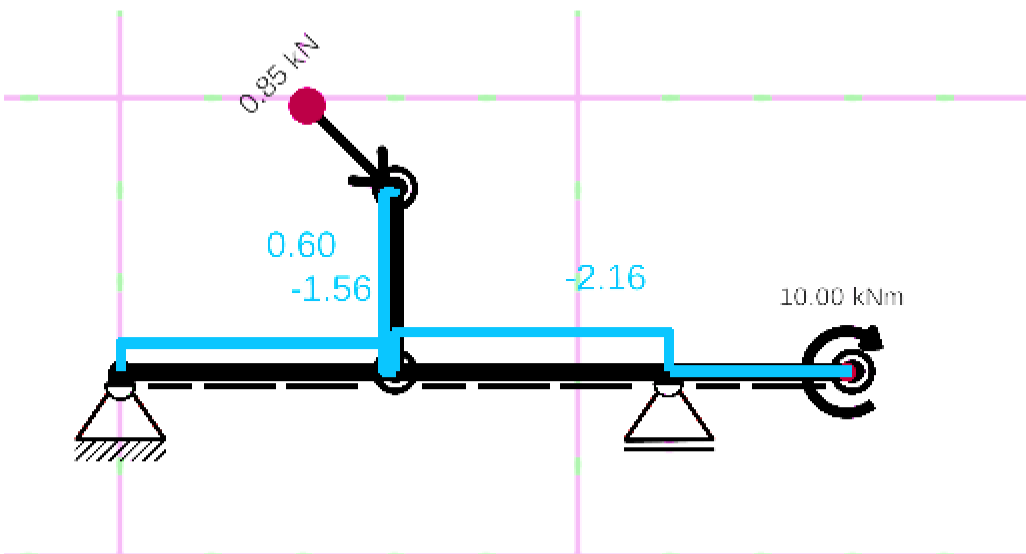


Figura 5.46.

Y en este caso, se muestran las cargas axiales:

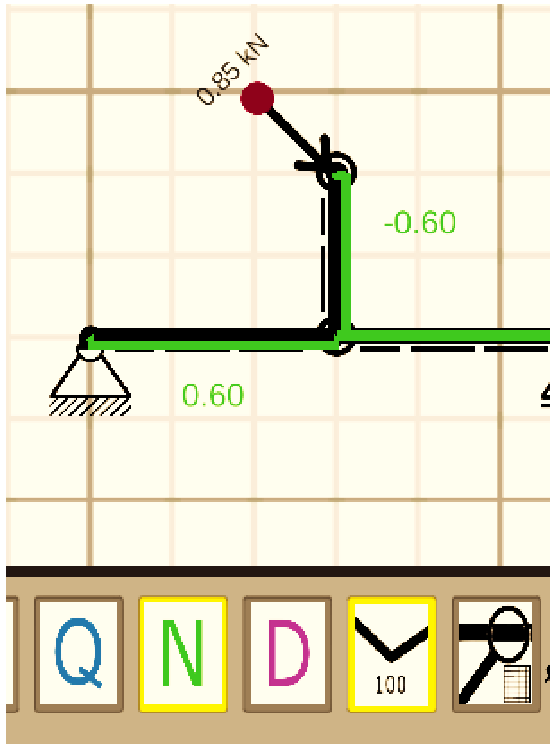


Figura 5.47.

Note que la barra vertical está sometida a una carga axial a compresión de 0.6kN.

Se obtiene la información general de los elementos más esforzados del sistema:

Para el elemento vertical:

W
U

Position [m]	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00
N [kN]	0.00	-0.60	-0.60	-0.60	-0.60	-0.60	-0.60	-0.60	-0.60	-0.60	-0.60
Q [kN]	0.00	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
M [kN]	0.00	0.09	0.21	0.34	0.46	0.58	0.70	0.82	0.94	1.06	1.18

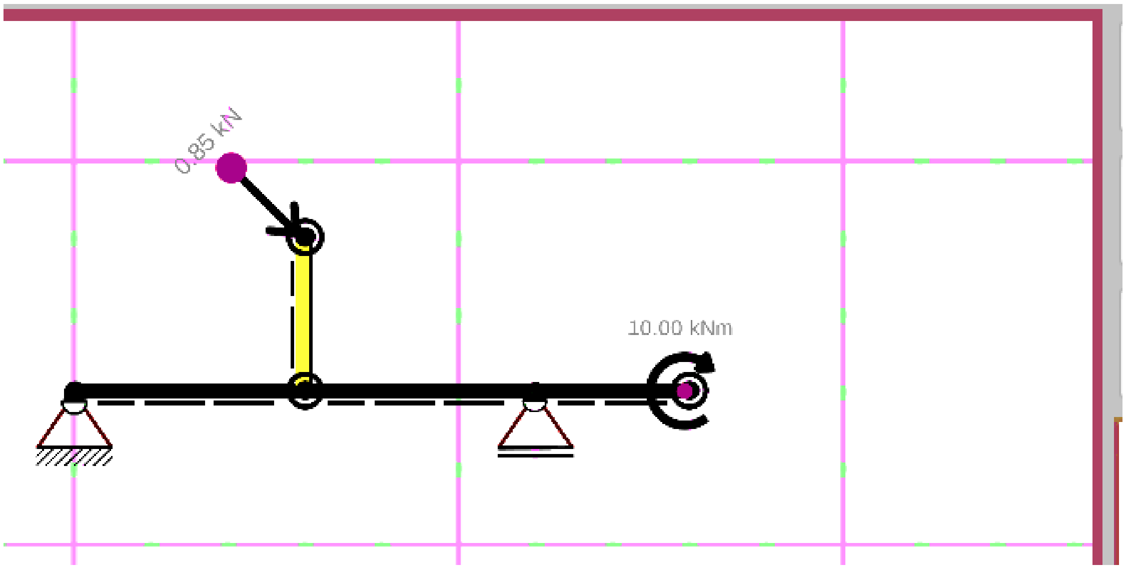


Figura 5.48. Datos de la barra vertical

Y para la viga:

Position [m]	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00
N [kN]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q [kN]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
M [kN]	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00	0.00

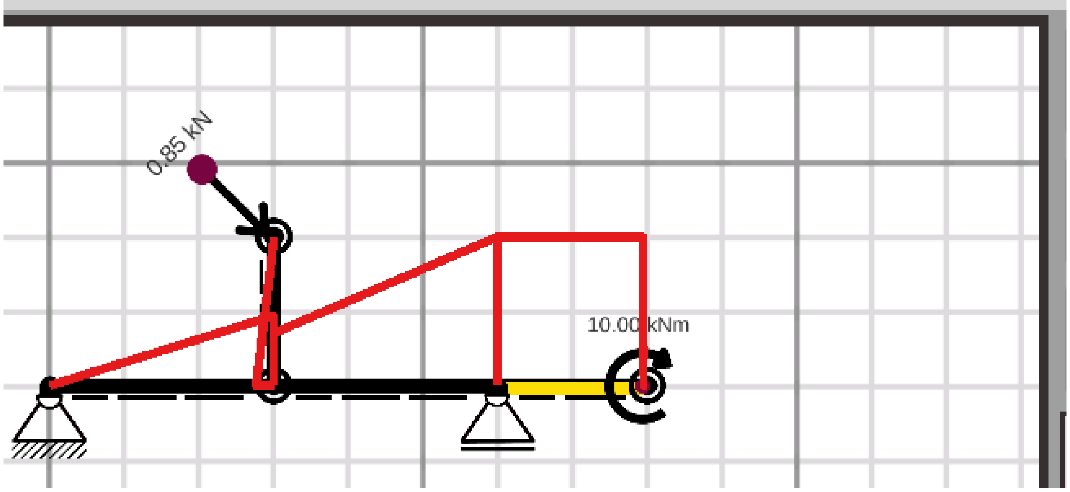


Figura 5.49.

Por último, se guarda el archivo:

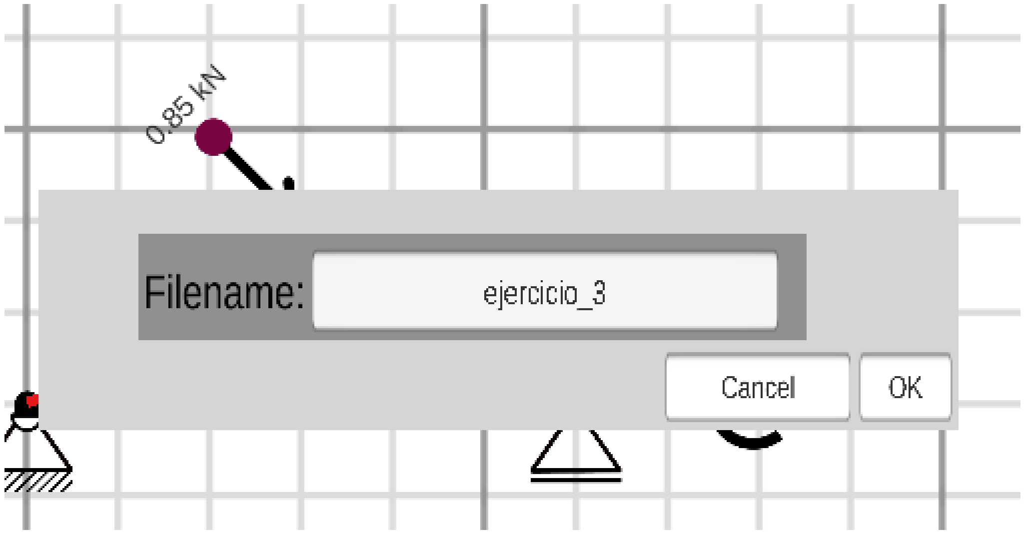


Figura 5.50.

5.4. Ejercicio No. 4.

Trace los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes para la viga que se muestra en la figura:

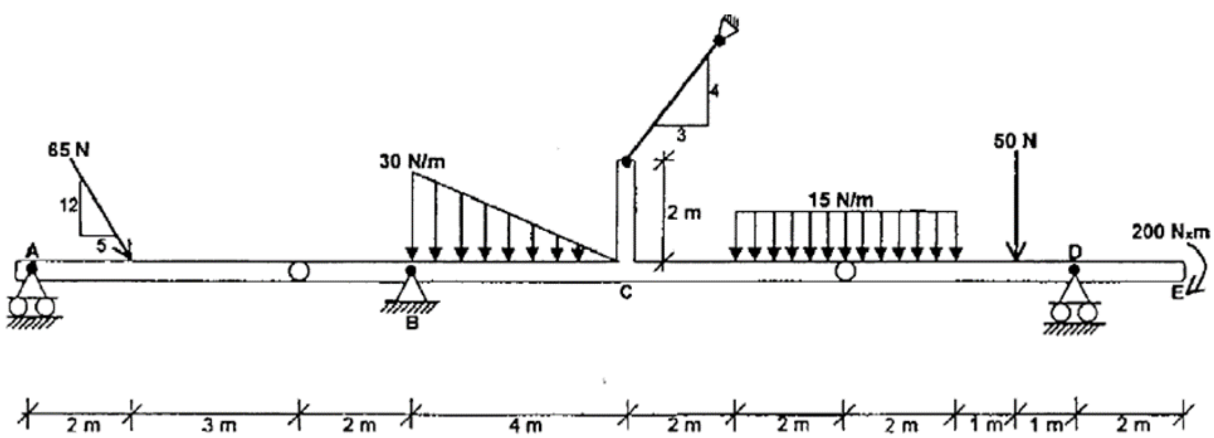


Figura 5.51.

Una vez ejecutado el programa se crean los 9 nodos:

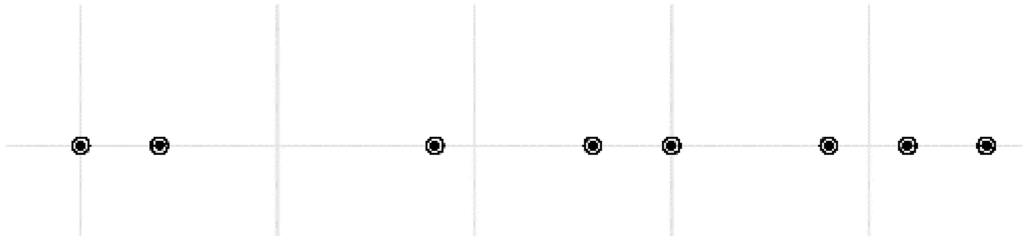


Figura 5.52.

Se colocan las barras:

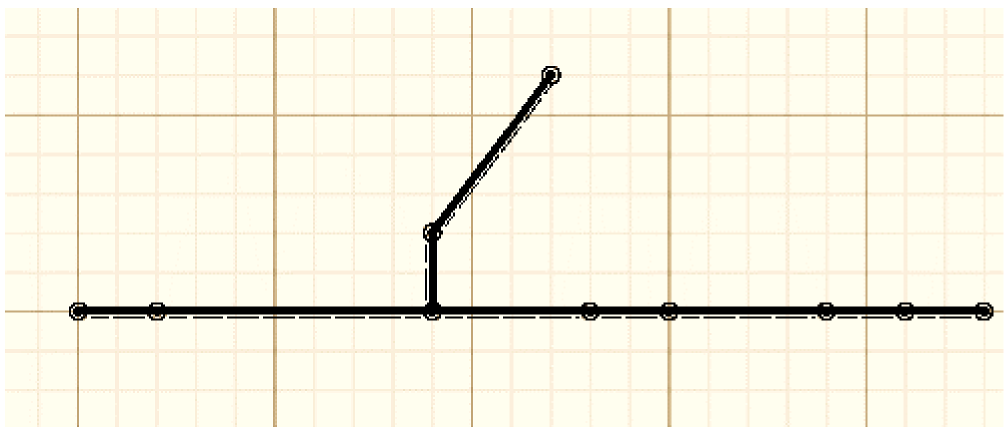


Figura 5.53.

Y luego, los apoyos:

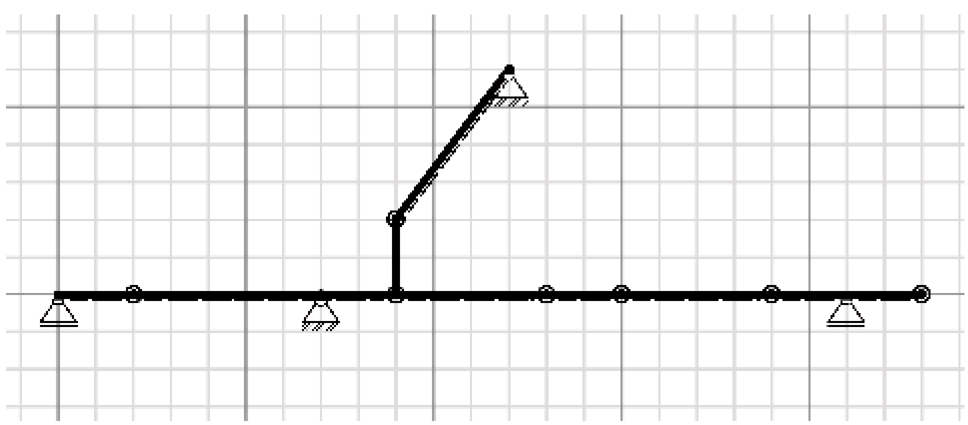


Figura 5.54.

Se aplican y editan las cargas puntuales:

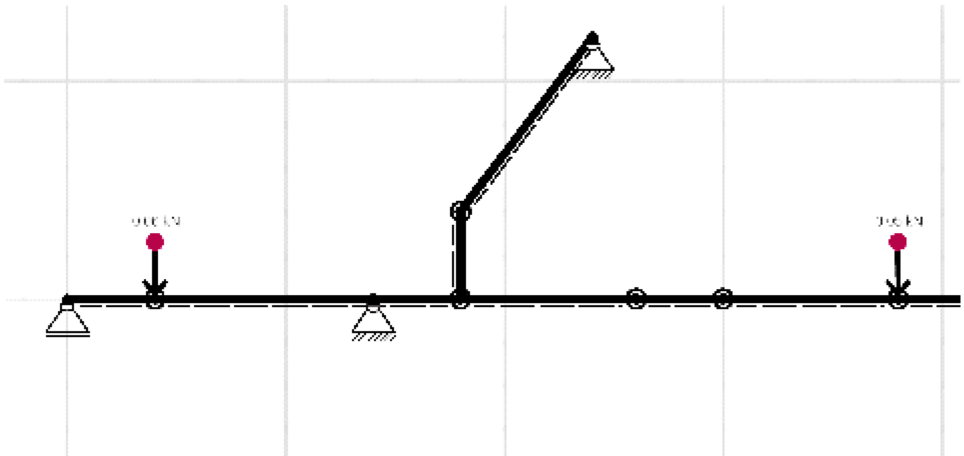


Figura 5.55.

Y por último las cargas distribuidas y el momento:

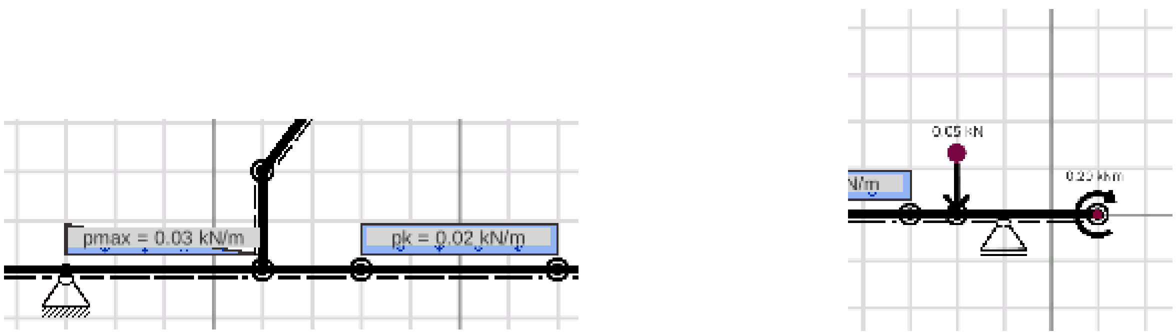


Figura 5.56.

Se calculan las reacciones:

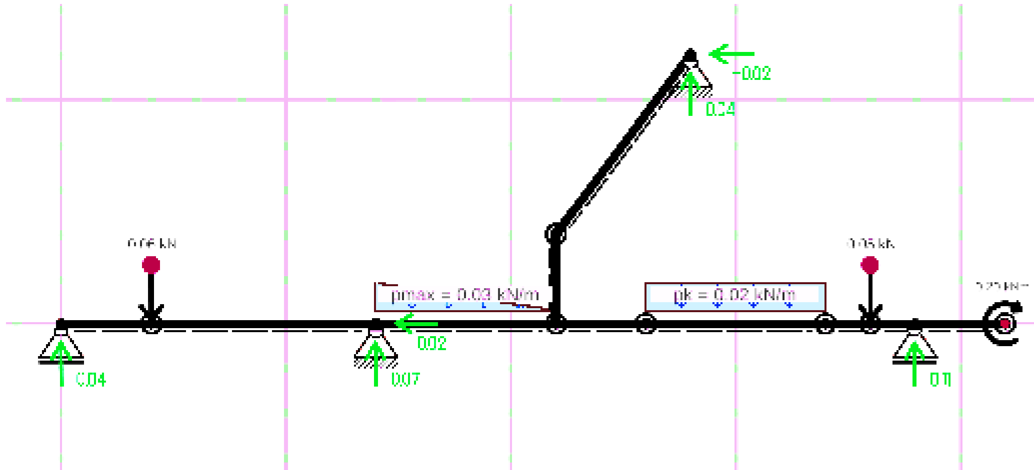


Figura 5.57.

Se obtiene el diagrama de momentos flexionantes:

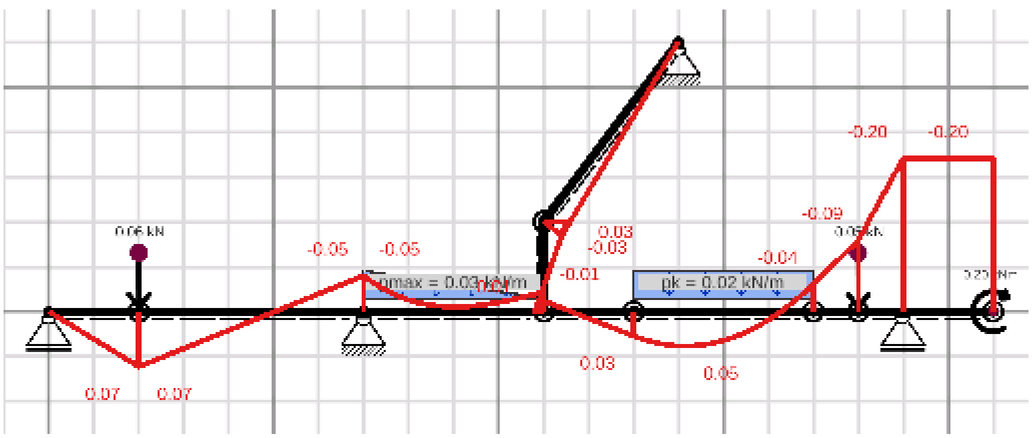


Figura 5.58.

Como se puede observar el momento máximo se presenta en X=2 m y es igual a 0.07kN.m

Se obtiene el diagrama de fuerzas cortantes:

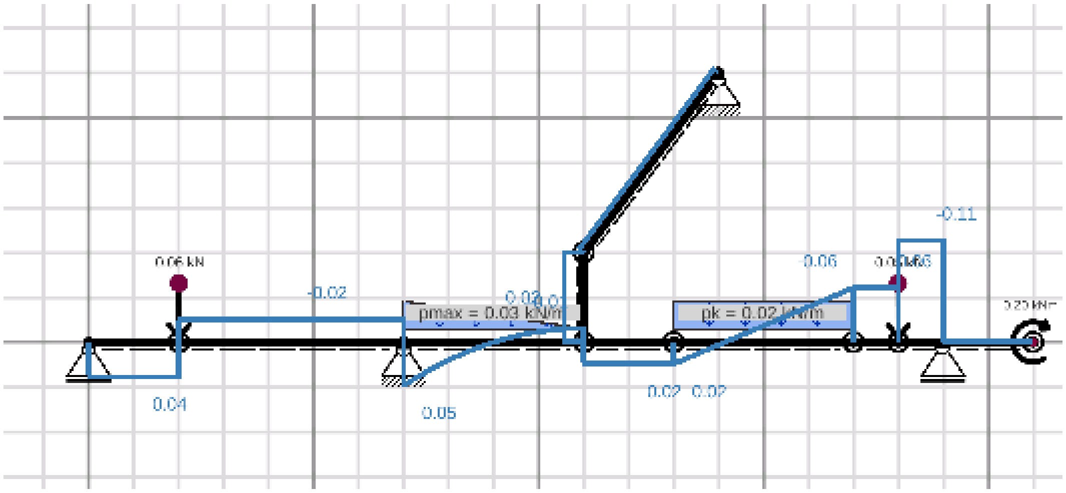


Figura 5.59.

Y el de cargas axiales:

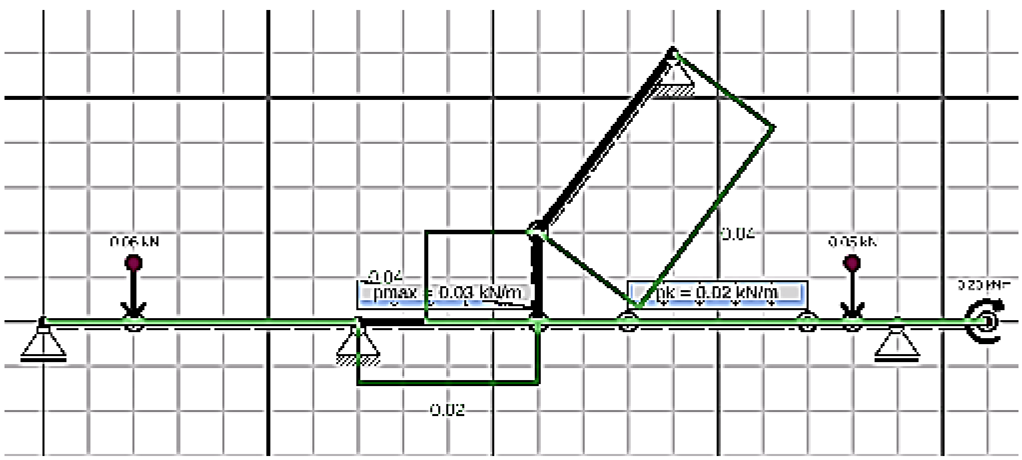


Figura 5.60.

Y el diagrama de deformaciones:

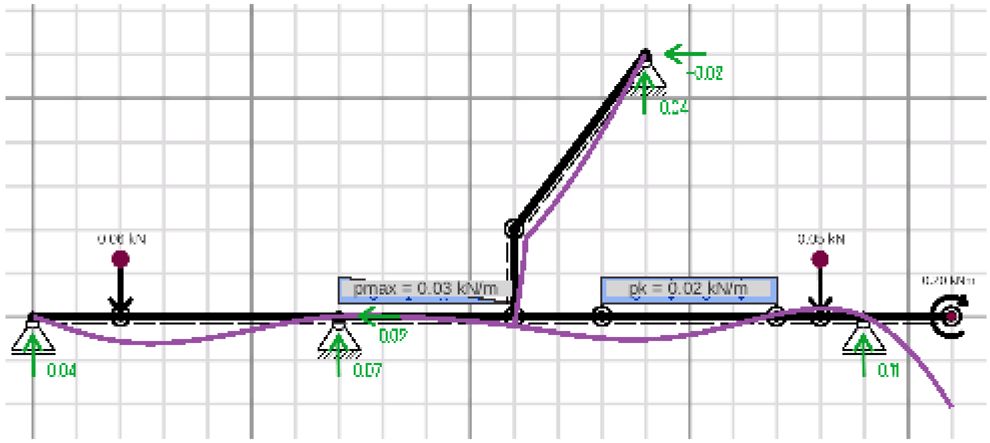


Figura 5.61.

Se insiste que las deflexiones y deformaciones dependen del área y momento de inercia de la sección y del módulo de elasticidad del material.

5.5. Ejercicio No.5

Calcule el esfuerzo en los elementos CE y BG de la estructura que es muestra en la figura 5.62 si la sección transversal de los mismos es de 4 x 6 cm.

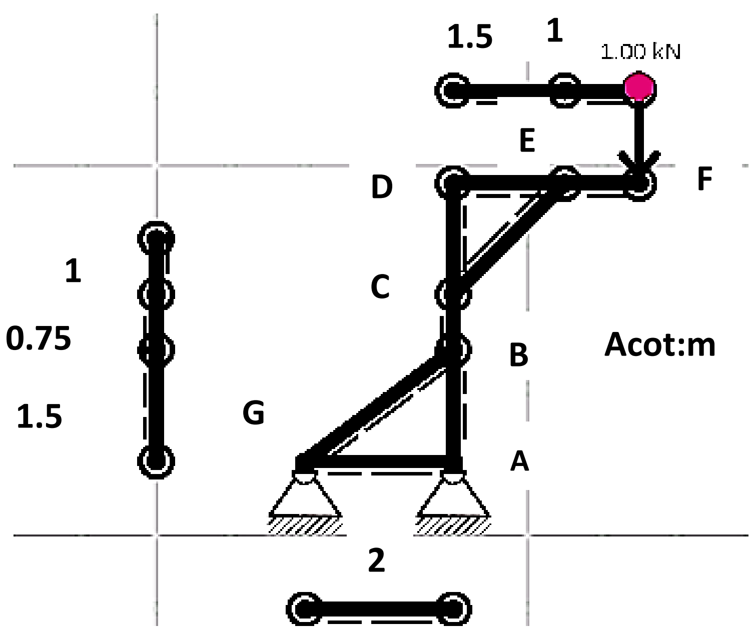


Figura 5.62.

Se crean los nodos:

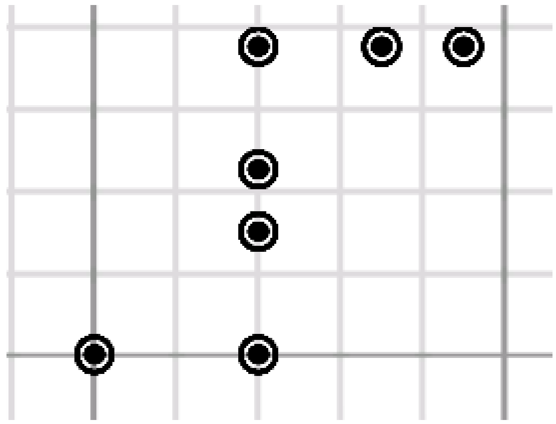


Figura 5.63

Las barras:

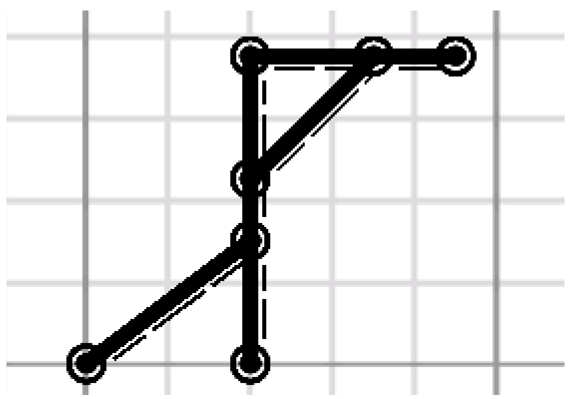


Figura 5.64

Los apoyos:

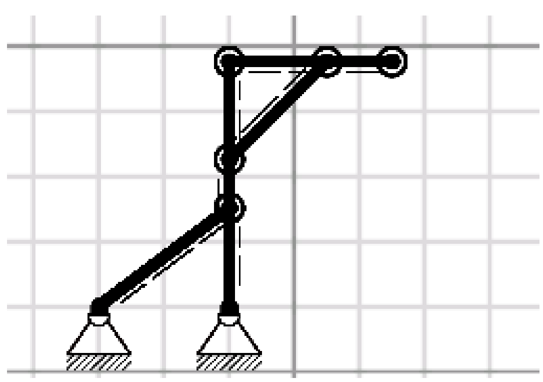
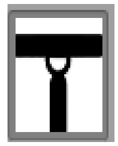


Figura 5.65.

Se agregan las articulaciones  :

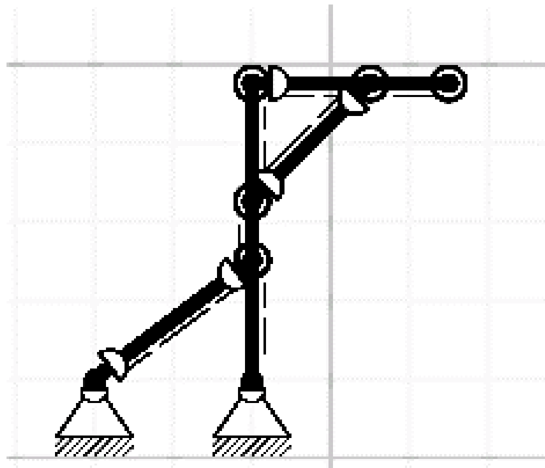


Figura 5.66

Se agrega y edita la carga de 1 kN:

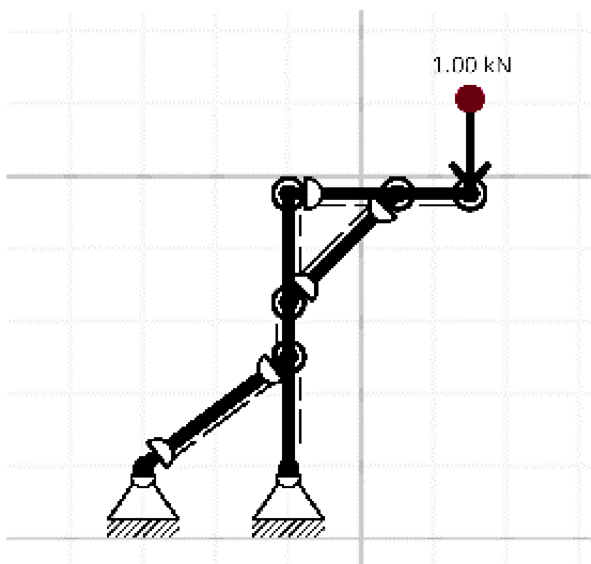


Figura 5.67.

Se calculan las reacciones:

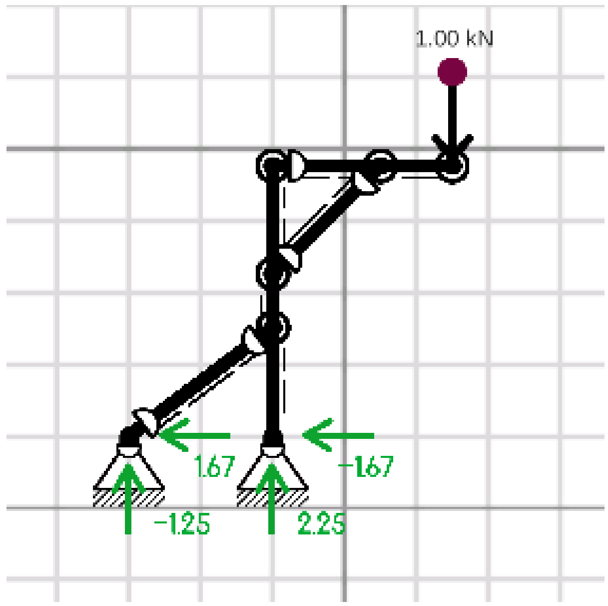
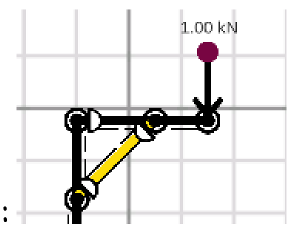


Figura 5.68.

Se obtiene la carga axial que actúa sobre la barra ED :



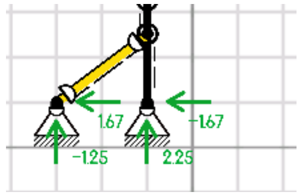
Selected Beam - Number: 7

N Q M W U

Position [m]	0.00	0.21	0.42	0.64	0.85	1.06	1.27	1.48	1.70	1.91	2.12
N [kN]	-2.36	-2.36	-2.36	-2.36	-2.36	-2.36	-2.36	-2.36	-2.36	-2.36	-2.36
Q [kN]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
M [kN]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 5.69

Y sobre la barra BG :



Selected Beam - Number:

Position [m]	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50
N [kN]	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08
Q [kN]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
M [kN]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 5.70.

Se calcula el área transversal y el momento de inercia para las barras ED y BG:

A= bxh= 4*6= 24cm^2 =2.4x10^{-3} m^2

I= 1/12(b)(h)^3 1/12(4)(6)^3=72 cm^4 =7.2x10^{-7} m^2

Se calcula el esfuerzo en la barra ED :

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{2.36x10^3}{2.4x10^{-3}} = 983{,}333.3\,\frac{N}{m^2}$$

Para la barra BG:

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{2.08x10^3}{2.4x10^{-3}} = 866{,}667\,\frac{N}{m^2}$$

Para obtener una aproximación de cómo se deforman los elementos, se editan los parámetros de las barras ED y BG:

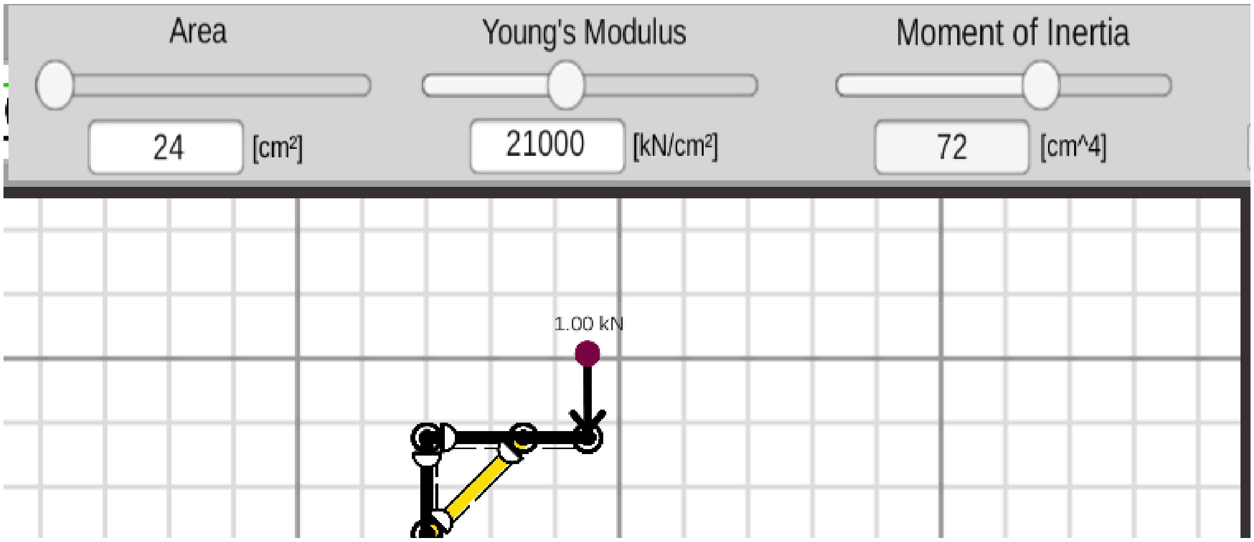


Figura 5.71.

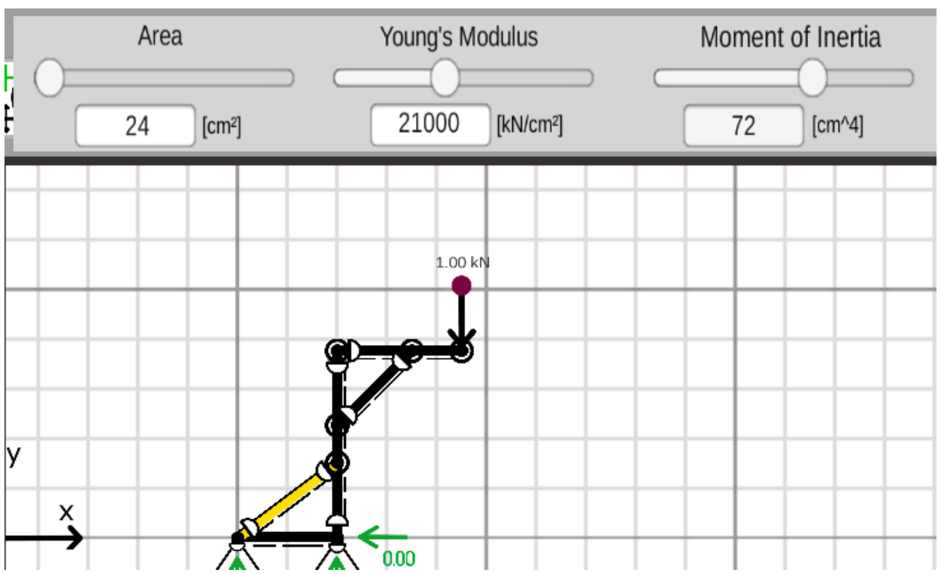


Figura 5.72.

Y se obtiene el diagrama de deformaciones:

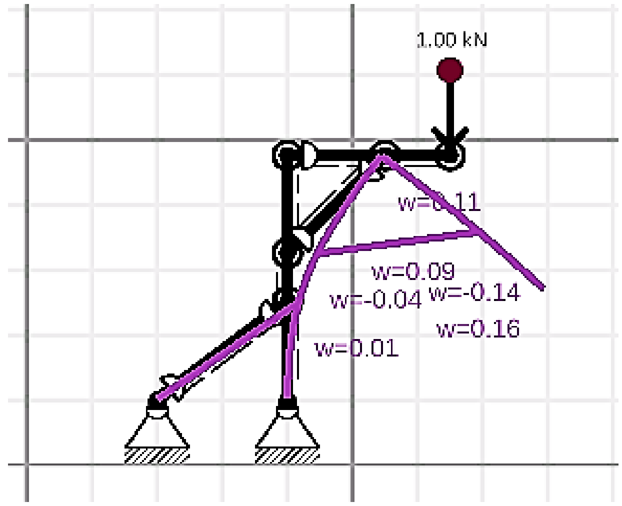


Figura 5.73.

Recuerde que no se modificaron las propiedades geométricas de las barras AD y DF

5.6. Ejercicio No.6

En la armadura que se muestra en la figura 5.74 determine ¿cuál barra es la más esforzada y cuál debe ser el área transversal necesaria si el esfuerzo admisible es de 100 MPa= 100×10^6 N/m^2?

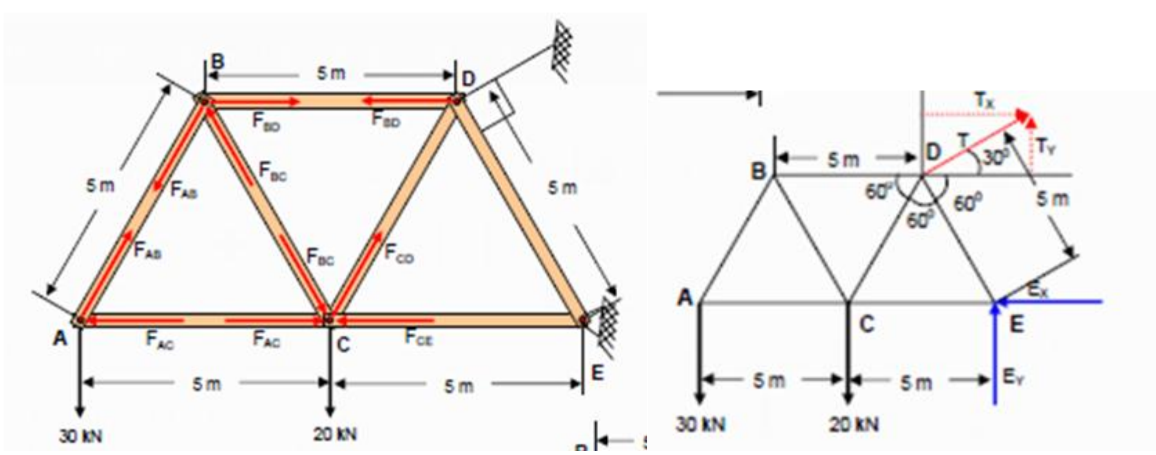


Figura 5.74.

Se crean los nodos:

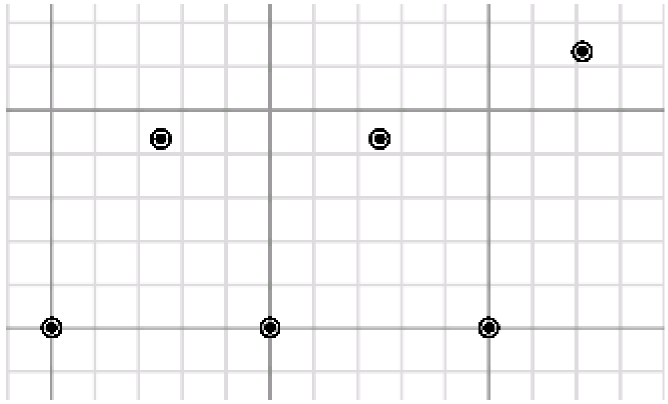


Figura 5.75.

Y las barras:

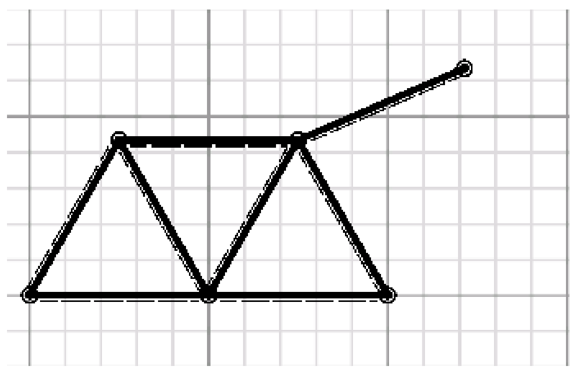


Figura 5.76

Se establecen los apoyos:

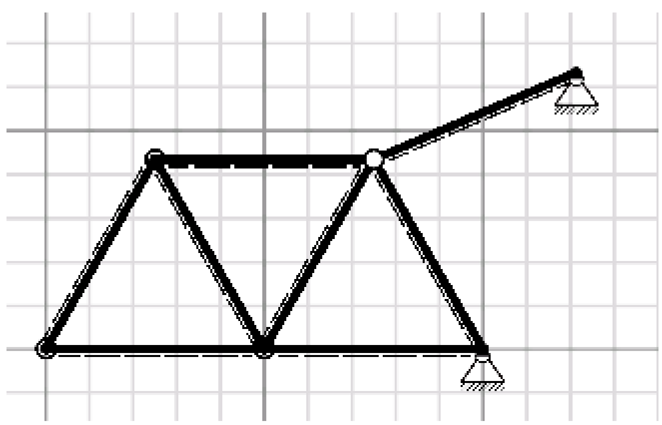


Figura 5.77.

Se colocan las articulaciones:

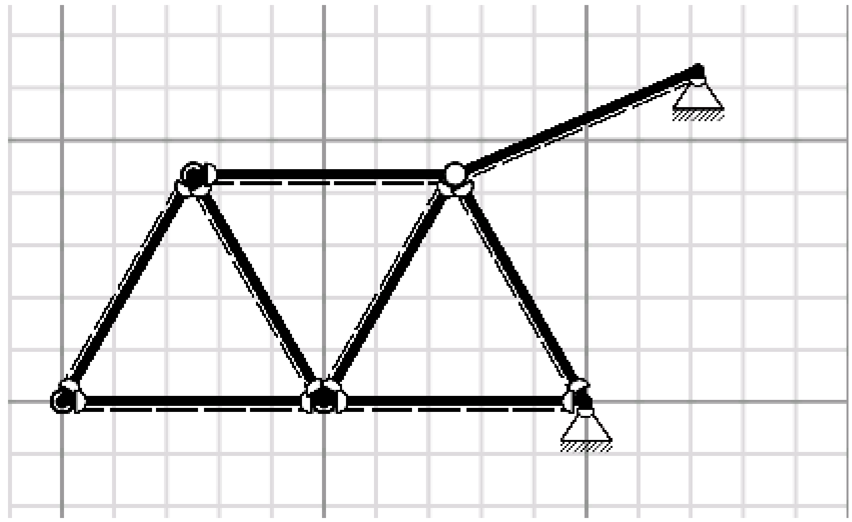


Figura 5.78.

Se aplican y editan las dos cargas puntuales:

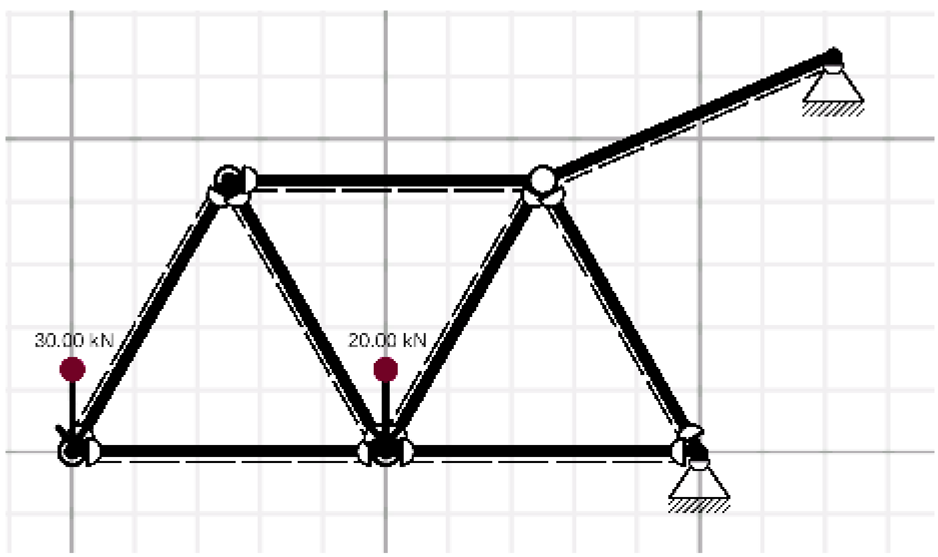


Figura 5.79.

Se calculan las reacciones:

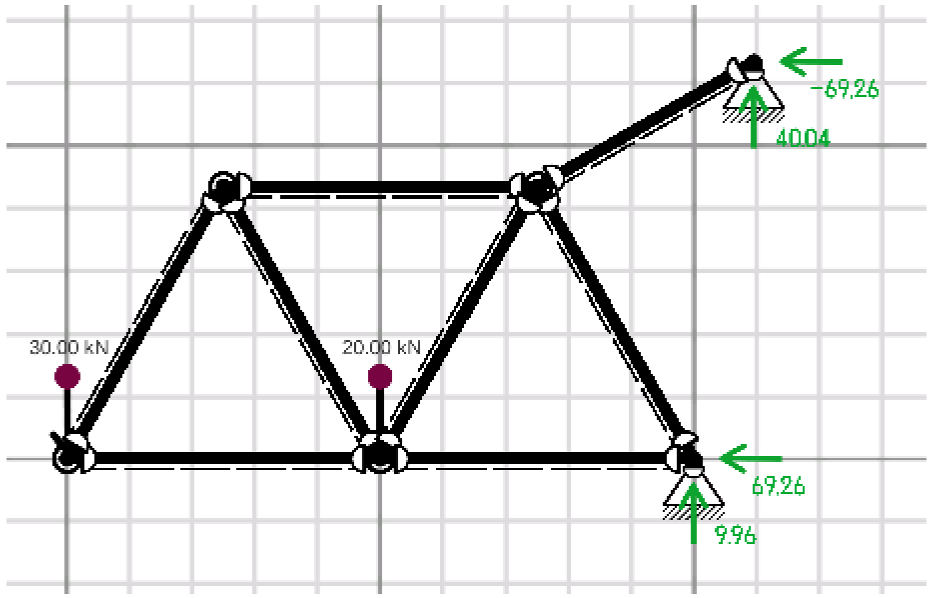


Figura 5.80.

En el diagrama de momentos se verifica que no haya algún momento flexionante actuando en cada uno de los elementos.

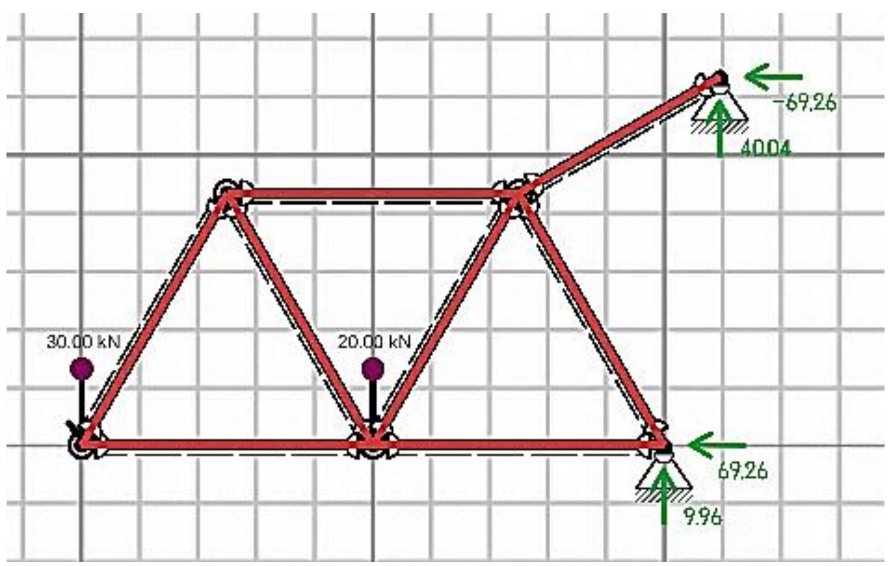


Figura 5.81.

Y se obtiene el diagrama de fuerzas axiales para determinar cuál es la barra que soporta más carga (la marcada de color amarillo),debiendo remarcar el hecho de que el signo negativo actuando en otras de las barras indica que dichas barras trabajan a compresión:

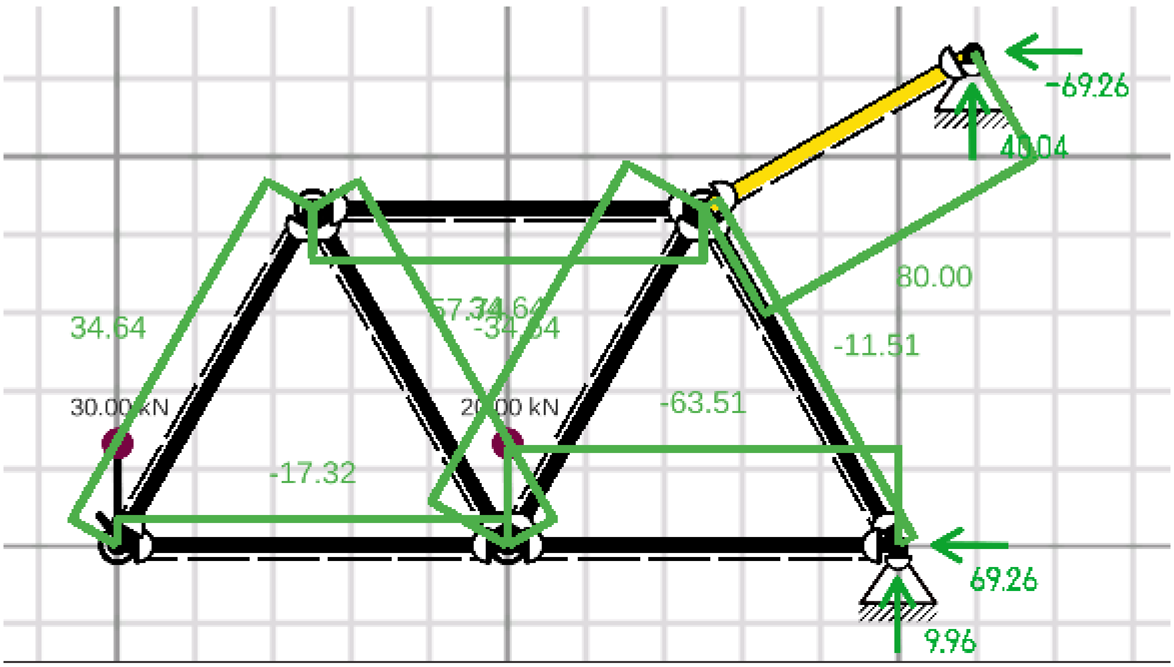


Figura 5.82.

Obteniéndose la información general de dicho elemento:

Selected Beam - Number:

Position [m]	0.00	0.40	0.80	1.20	1.60	2.00	2.40	2.80	3.20	3.60	4.00
N [kN]	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
Q [kN]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
M [kN]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 5.83.

Como ejercicio adicional, supóngase que el esfuerzo admisible es de $100x10^6$ N/m^2 (100 MPa) calcule el área necesaria para dicho elemento:

$$\sigma = \frac{P}{A} \rightarrow A = \frac{P}{\sigma} = \frac{80x10^3}{100x10^6} = 8x10^{-4}\,m^2 = 8cm^2$$

Asumiendo que las barras son de sección circular (todas en este ejemplo) calcúlese el diámetro necesario:

$$D = \left(\frac{4A}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{4x8x10^{-4}}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} = 0.032m = 3.2cm$$

Y el momento de inercia:

$$I = \frac{\pi D^4}{64} = \frac{\pi 3.2^4}{64} = 5.147cm^4$$

Luego, se asignan dichas propiedades a cada una de las barras (una por una o en conjunto):

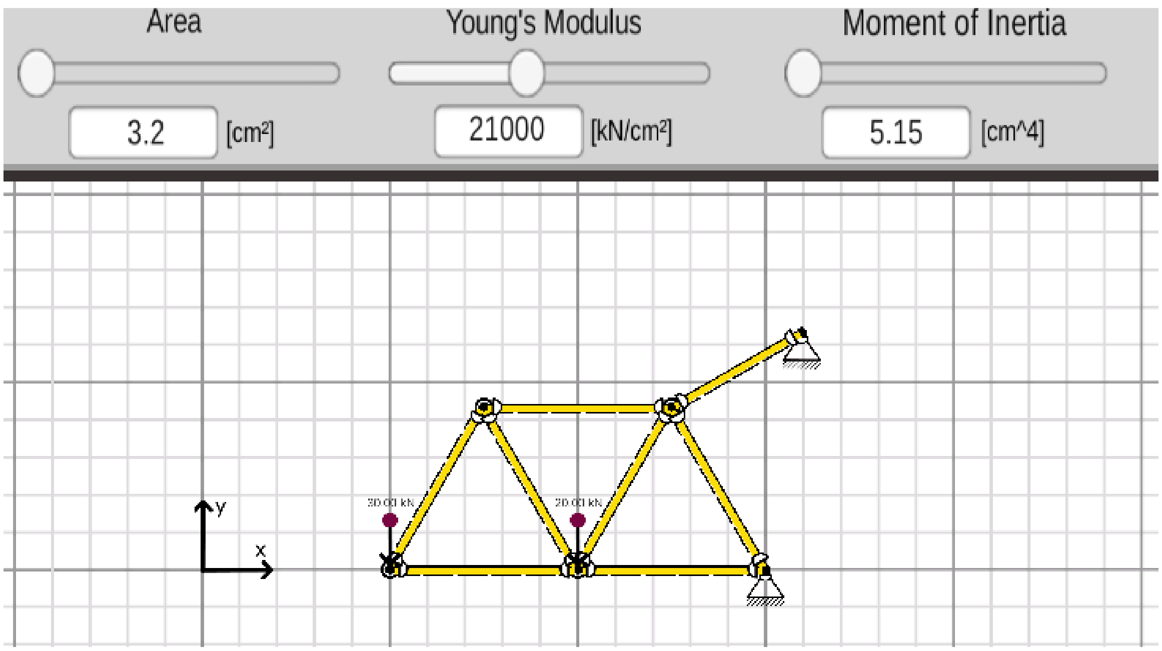


Figura 5.84.

Obteniéndose el diagrama de deformaciones:

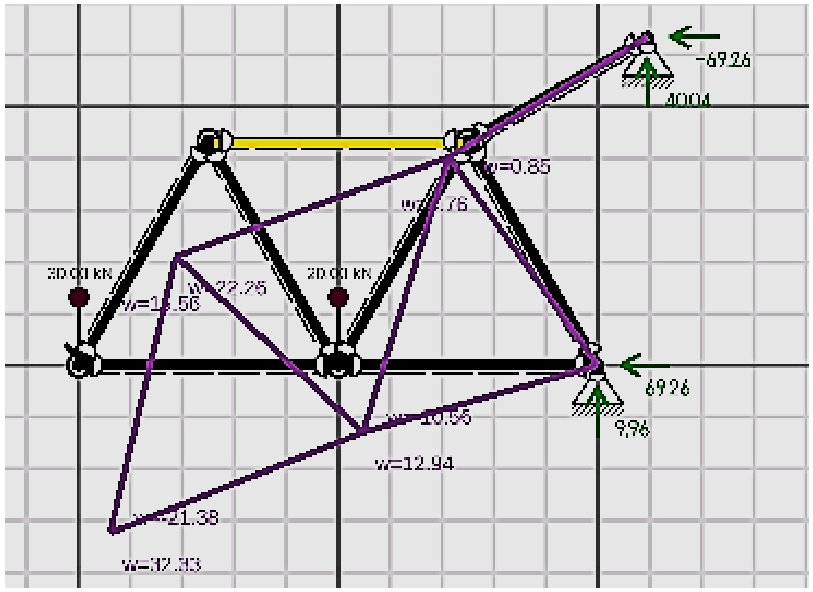


Figura 5.85.

5.7. Ejercicio No. 7

En la armadura que se muestra en la figura 5.86 determine ¿cuál barra es la más esforzada y cuál debe ser el área transversal necesaria si el esfuerzo admisible es de 100 MPa= 100×10^6 N/m^2

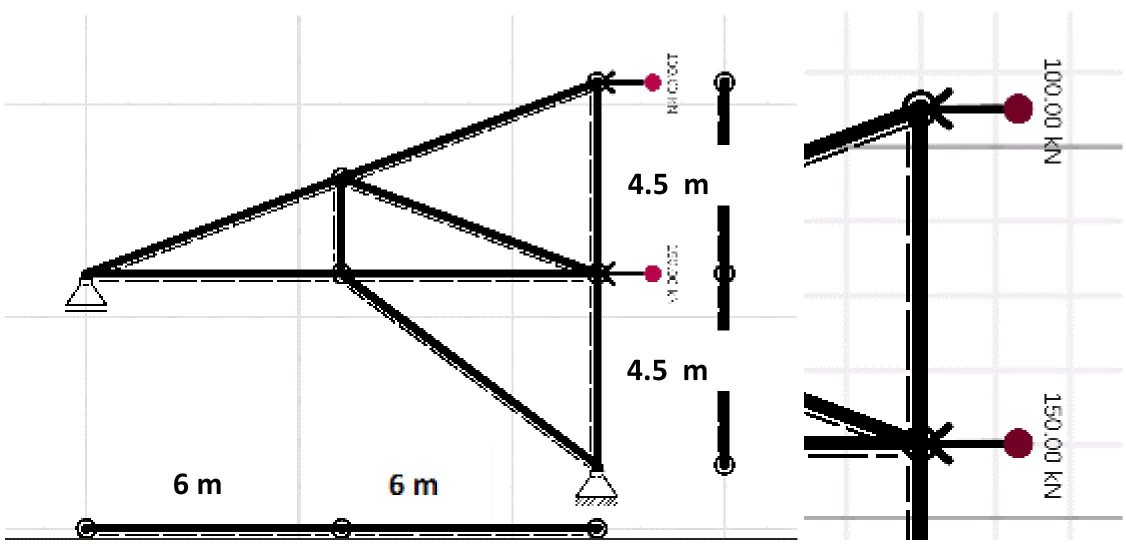


Figura 5.86.

Se crean los nodos.

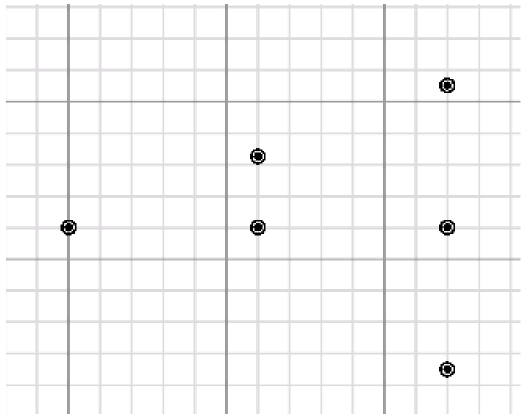


Figura 5.87

Las barras y los apoyos:

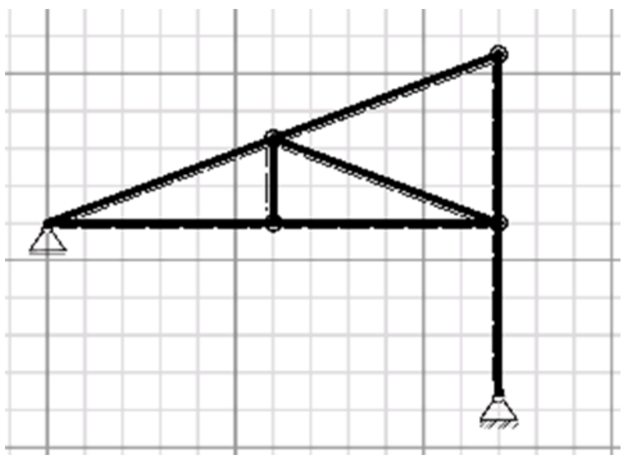


Figura 5.88

Se colocan las articulaciones:

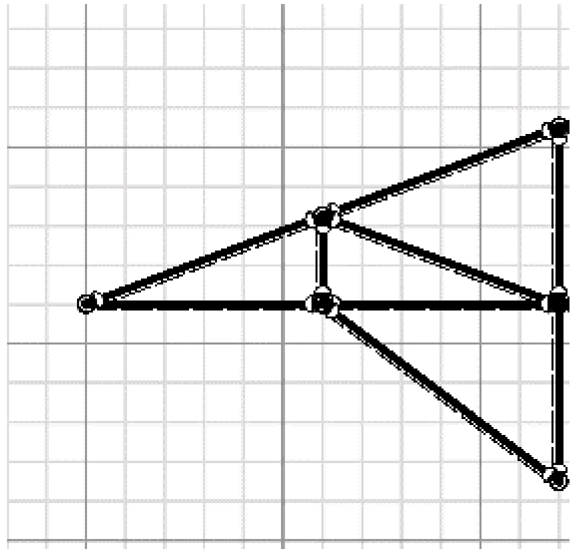


Figura 5.89.

Y se aplican y editan las cargas:

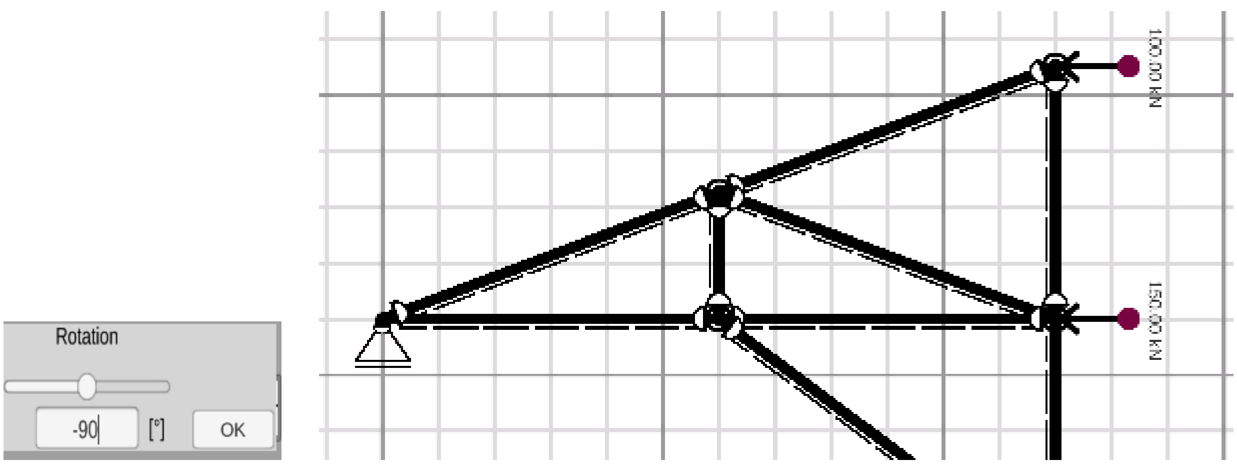


Figura 5.90.

Se obtienen las reacciones:

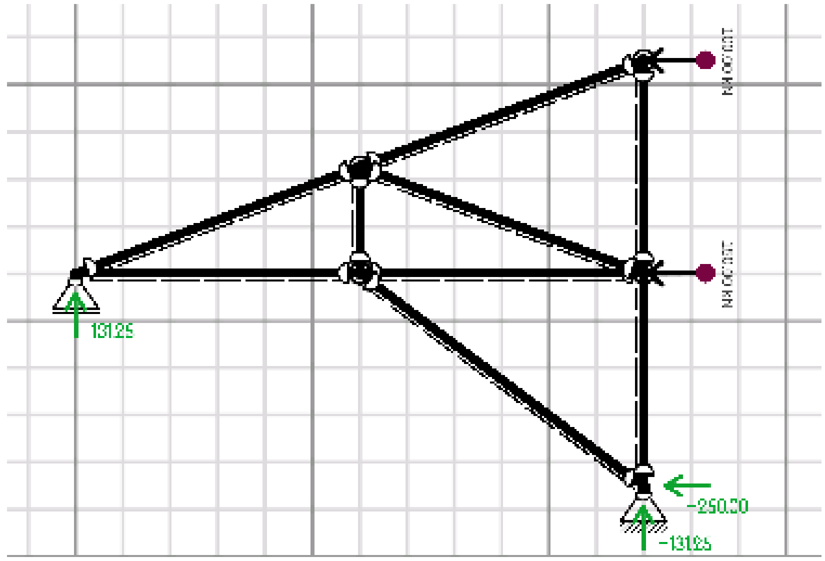


Figura 5.91.

El diagrama de momentos, en donde se puede comprobar, que en todas las barras no existe momento flexionante:

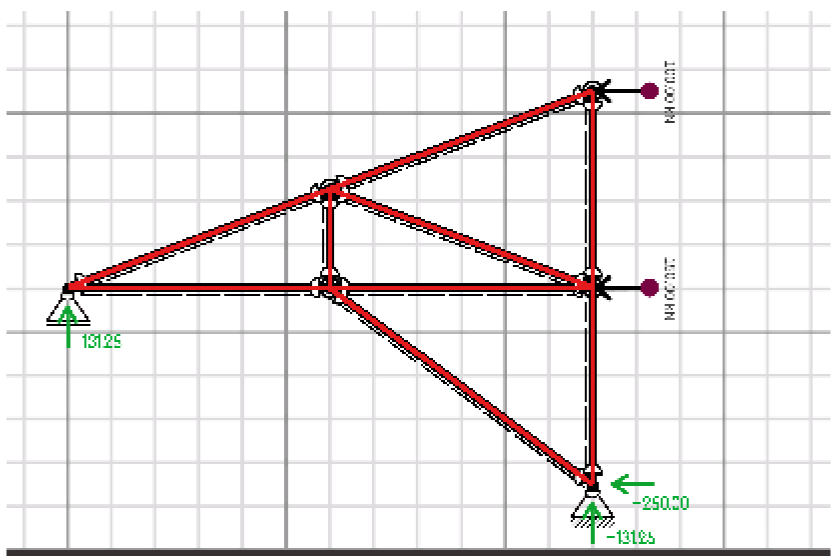


Figura 5.92

El diagrama de fuerzas axiales, pudiéndose ver que la carga más grande es de -373.8 kN (a compresión)

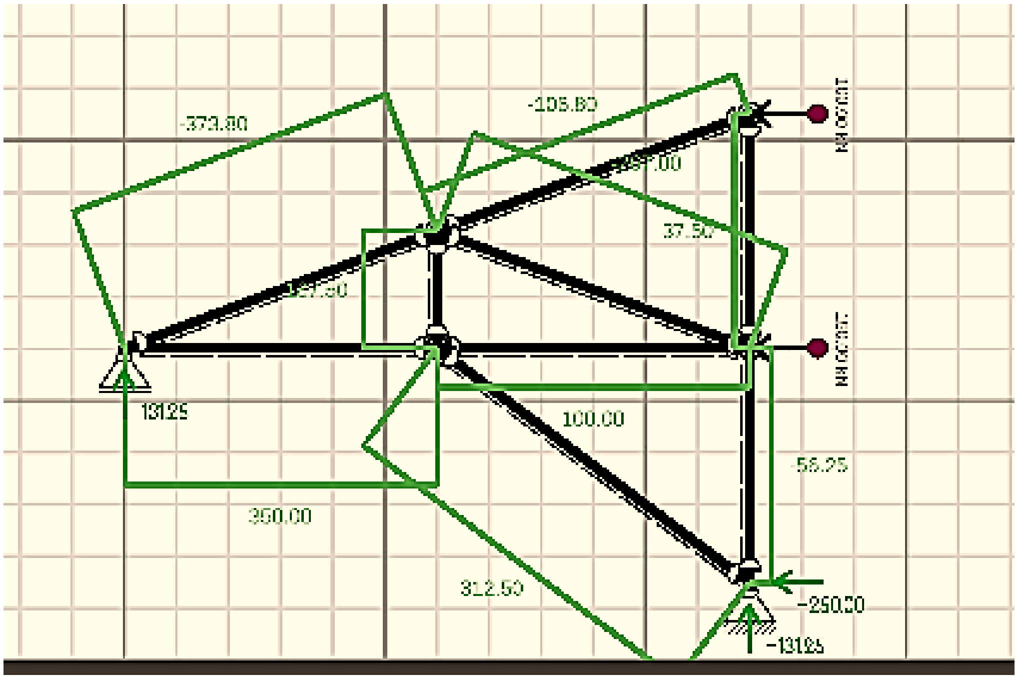


Figura 5.93.

Y finalmente, se obtiene un resumen de ese elemento:

Position [m]	0.00	0.64	1.28	1.92	2.56	3.20	3.84	4.49	5.13	5.77	6.41
N [kN]	-373.80	-373.80	-373.80	-373.80	-373.80	-373.80	-373.80	-373.80	-373.80	-373.80	-373.80
Q [kN]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
M [kN]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

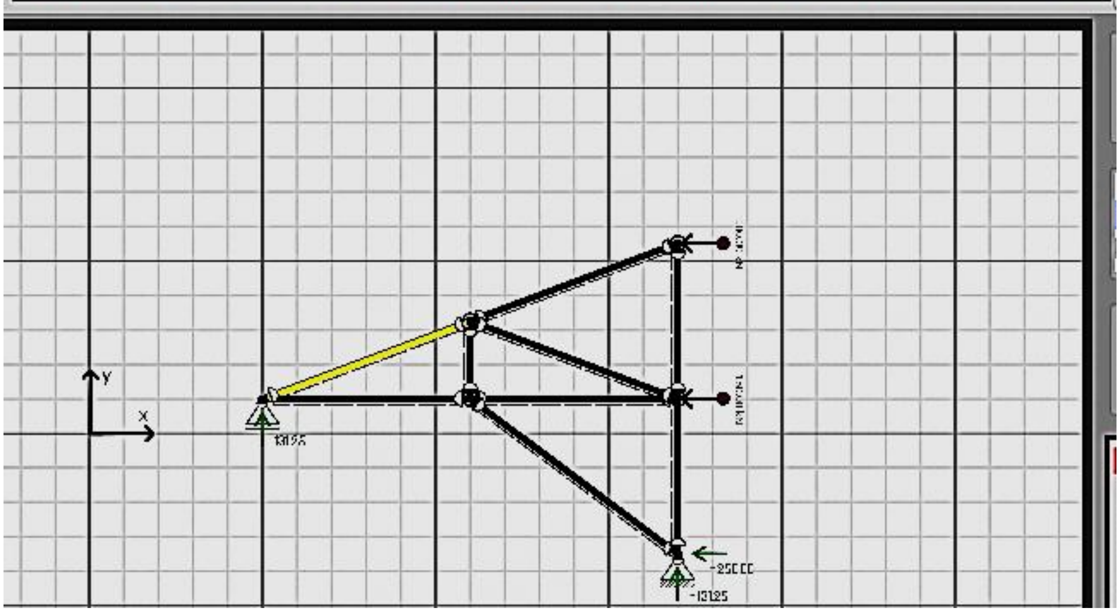


Figura 5.94

Como ejercicio adicional, supóngase que el esfuerzo admisible es de $100x10^6$ N/m^2 (100 MPa) calcule el área necesaria para dicho elemento:

$$\sigma = \frac{P}{A} \rightarrow A = \frac{P}{\sigma} = \frac{373.8x10^3}{100x10^6} = 3.74x10^{-3}\, m^2$$

Si las barras son de sección circular (todas en este ejemplo) calcúlese el diámetro necesario:

$$D = (\frac{4A}{\pi})^{\frac{1}{2}} = (\frac{4x3.74x10^{-3}}{\pi})^{\frac{1}{2}} = 0.069m = 6.9cm$$

Y el momento de inercia:

$$I = \frac{\pi D^4}{64} = \frac{\pi(6.9^4)}{64} = 111.26\, cm^4$$

Luego, se asignan dichas propiedades a cada una de las barras (una por una o en conjunto):

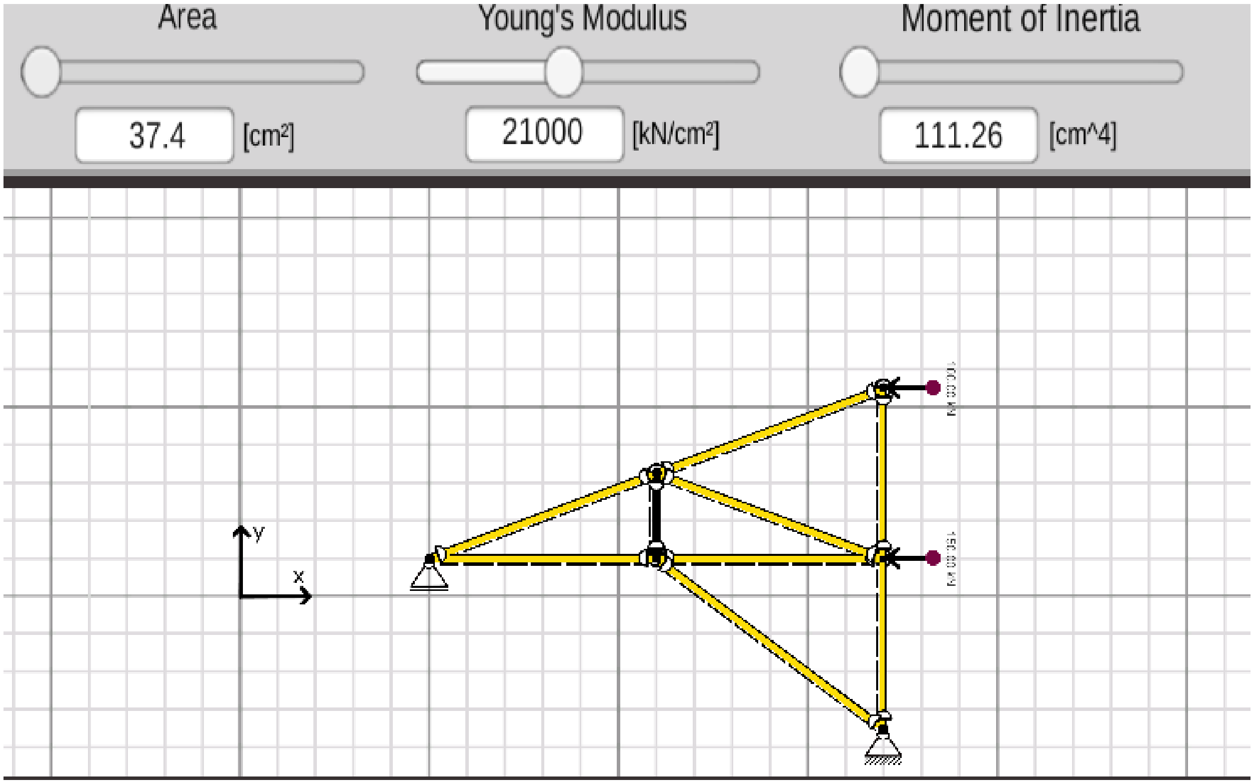


Figura 5.95.

Obteniéndose el diagrama de deformaciones:

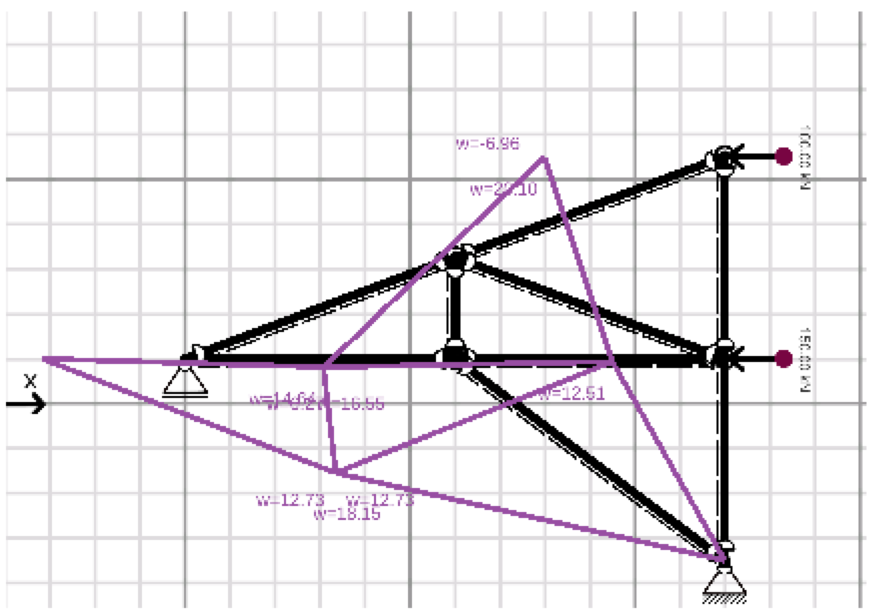


Figura 5.96.

5.8. Ejercicio No. 8

Una fuerza de 300 kN se aplica a la conexión B del sistema de 2 barras que se muestra en la figura. Calcule el área transversal requerida para las barras AB y BC si los esfuerzos admisibles a tensión y compresión son de 100 MPa y 70 MPa respectivamente.

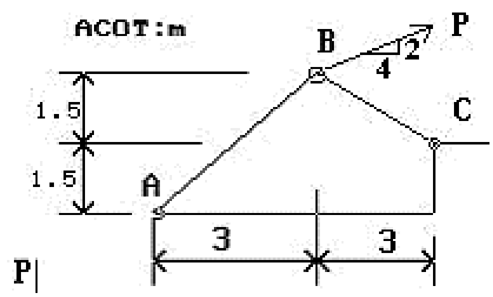


Figura 5.97.

Se establecen los nodos:

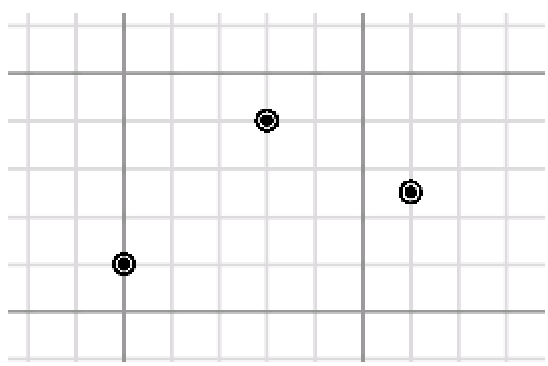


Figura 5.98.

Se crean las barras:

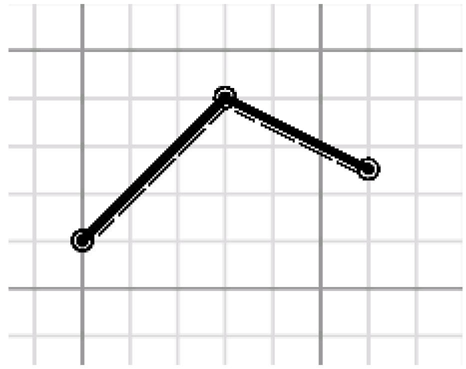


Figura 5.99.

Y los apoyos:

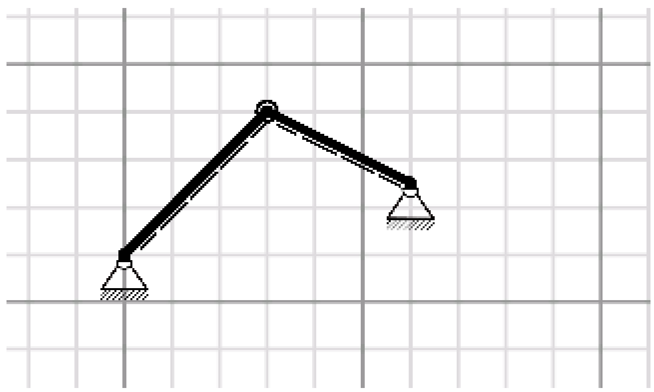


Figura 5.100.

Y las articulaciones:

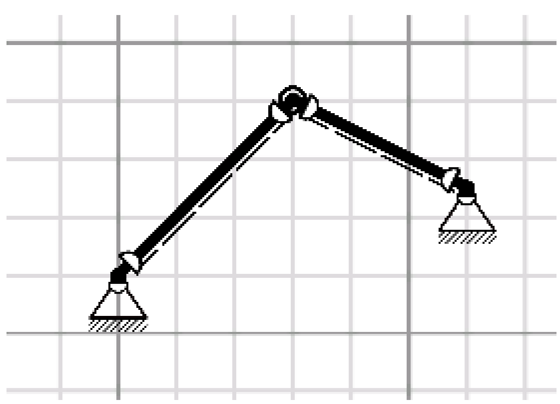


Figura 5.101.

Se aplica la carga por default:

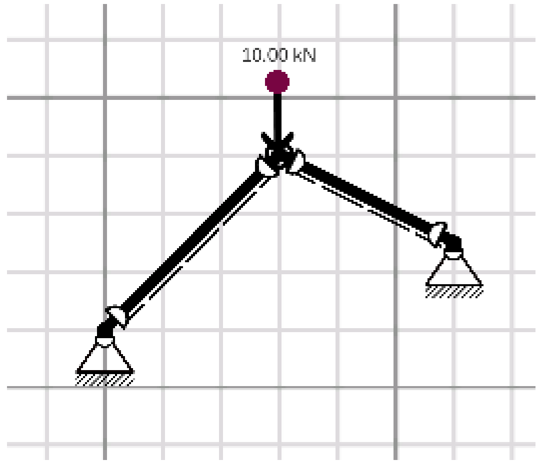


Figura 5.102

A continuación se edita la carga, pero antes deben hallarse las componentes de la carga de 300 kN sobre el elemento BC, luego, por trigonometría se tiene:

$$P_x = 300 \cos 53.2° = 180 \text{ kN}$$

$$P_y = 300 \text{ sen } 53.2 = 240 \text{ kN}$$

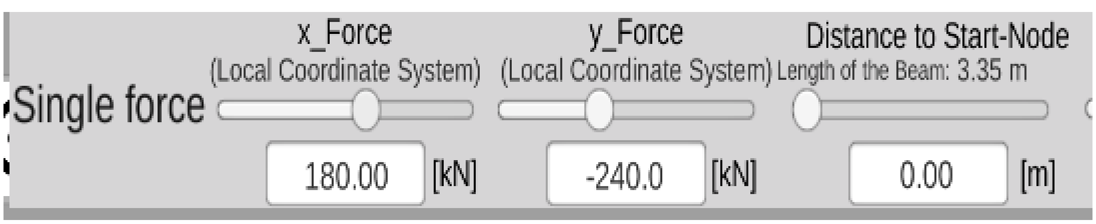
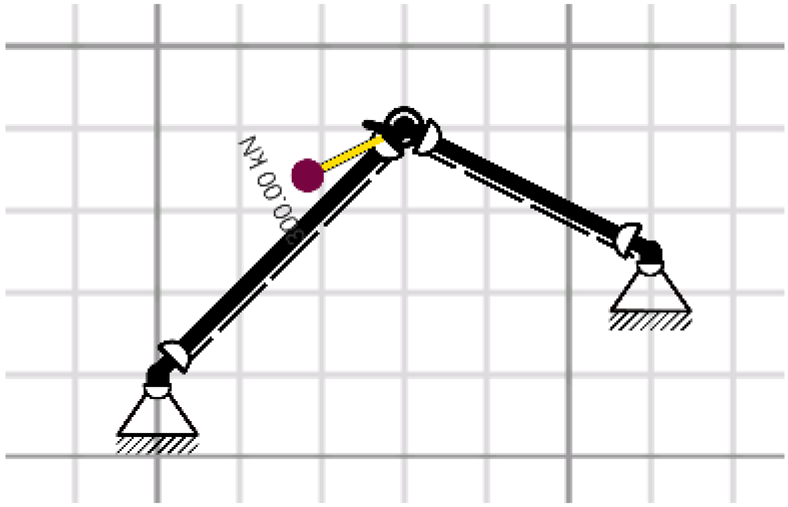


Figura 5.103.



Note que el programa aplica el principio de transmisibilidad.

Figura 5.104.

Se obtienen las reacciones:

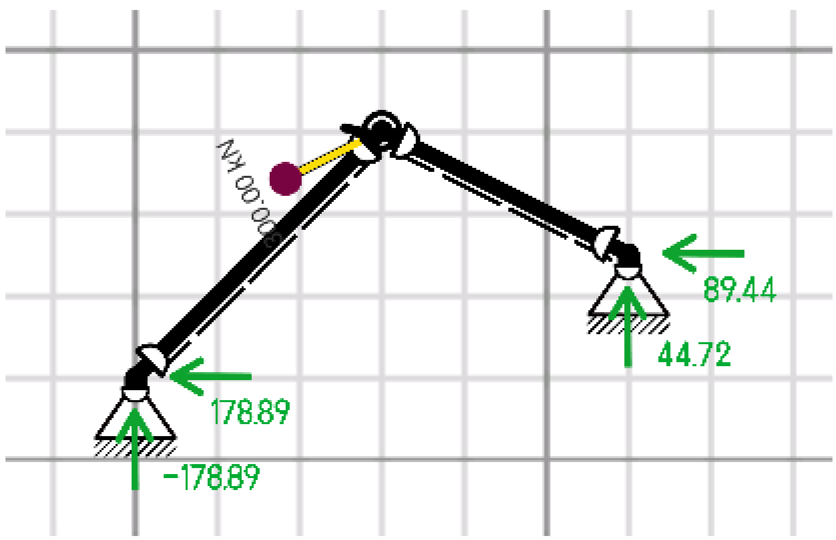


Figura 5.105.

Y se obtiene el diagrama de cargas axiales:

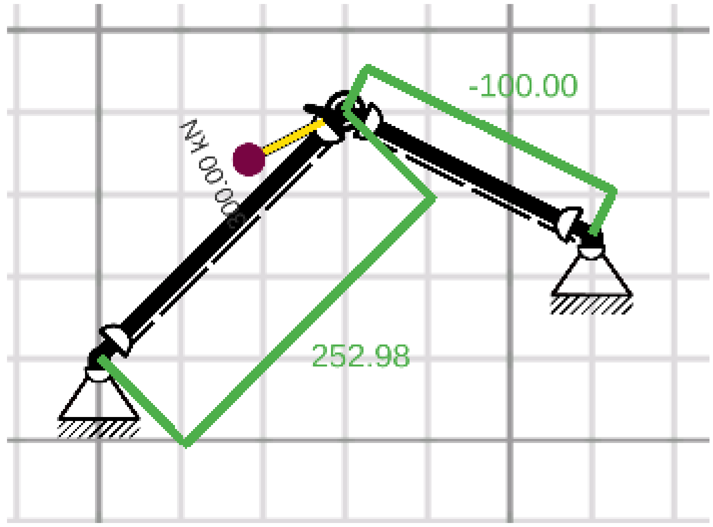


Figura 5.106.

Se puede observar que el elemento AB está sometido a una carga axial a tensión de 253 kN y la barra BC a una carga de -100 kN, esto es, se trata de una carga a compresión.

Antes de calcular el área necesaria para ambas barras se comprueba que no haya momento flexionante sobre cualquiera de las 2 barras:

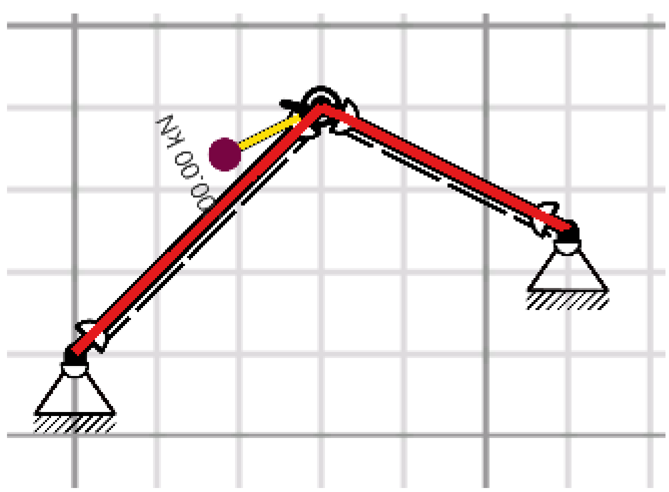


Figura 5.107.

Se calcula el área necesaria para el elemento AB.

$$\sigma = \frac{P}{A} \rightarrow A = \frac{P}{\sigma} = \frac{253x10^3}{100x10^6} = 2.53x10^{-3}\,m^2 = 25.3cm^2$$

Y para el elemento BC:

$$\sigma = \frac{P}{A} \rightarrow A = \frac{P}{\sigma} = \frac{100x10^3}{70x10^6} = 1.43x10^{-3}\,m^2 = 14.29cm^2$$

Se editan las propiedades del elemento AB:

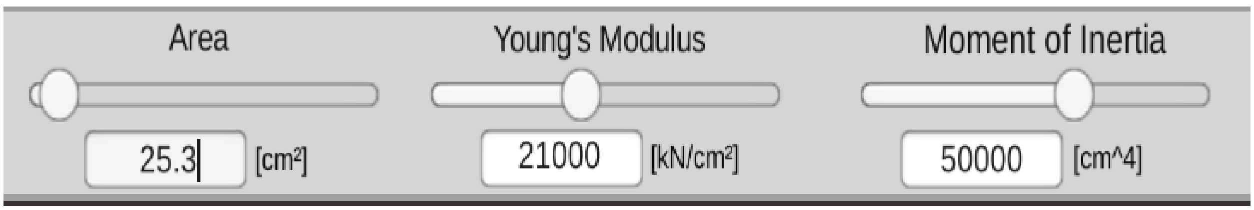


Figura 5.108.

Las propiedades del elemento BC:

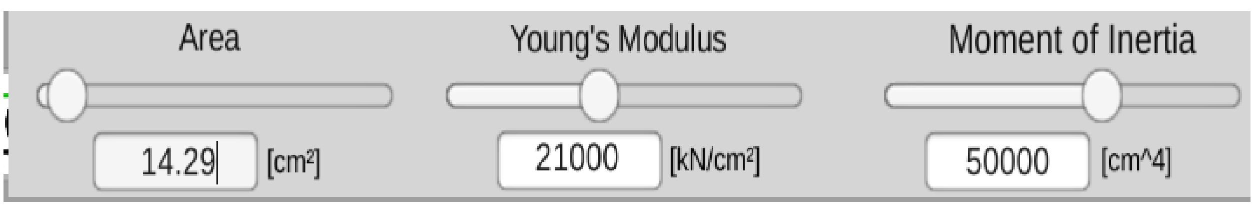


Figura 5.109.

Observe que no hay necesidad de modificar el momento de inercia por dos razones, saber:

- No hay momento flector

- No se conoce la geometría de la sección transversal

Por lo que finalmente se calculan las deformaciones axiales en mm:

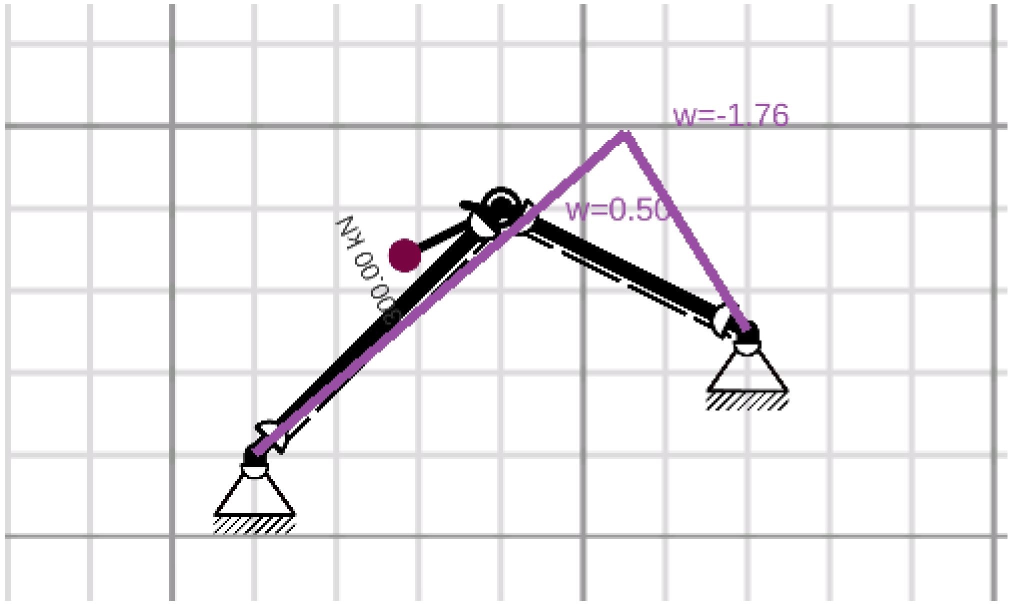


Figura 5.110.

5.9. Ejercicio No. 9.

Seleccione el perfil IPS (viga estándar) adecuado para los elementos del pórtico que muestra la figura, asúmase que están fabricados con acero A-36 y debe emplearse un F.S =2.5:

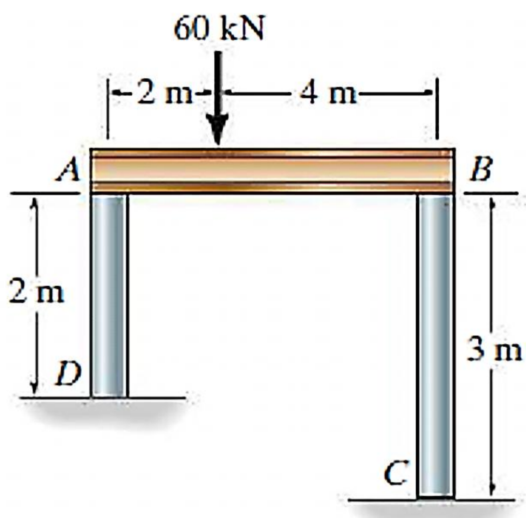


Figura 5.111.

Se crean los nodos:

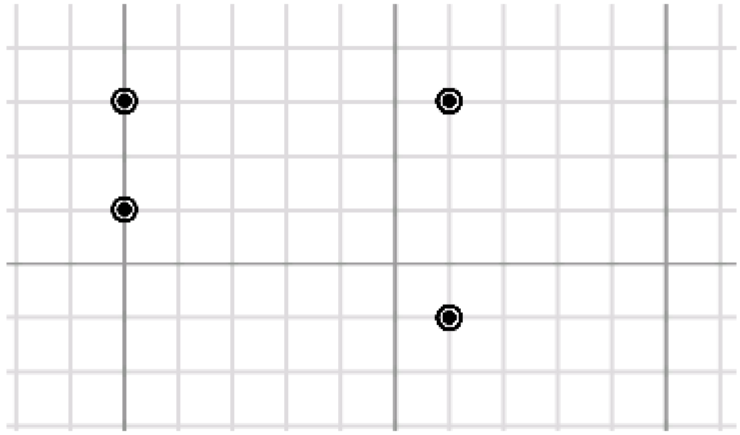


Figura 5.112.

Se crean las barras:

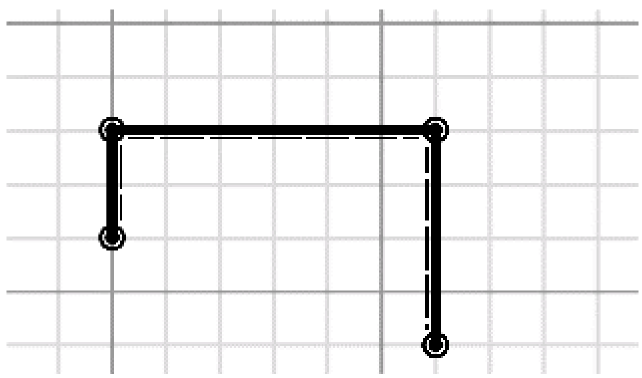


Figura 5.113

Los apoyos:

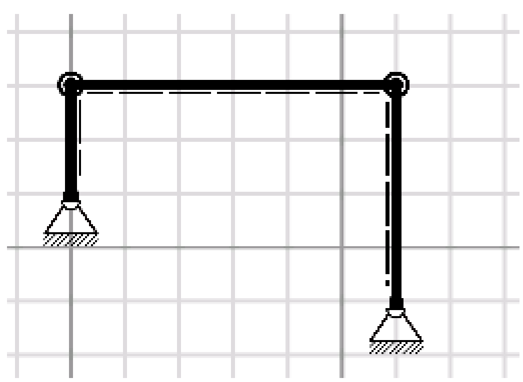


Figura 5.114.

Se aplica y edita la carga puntual:

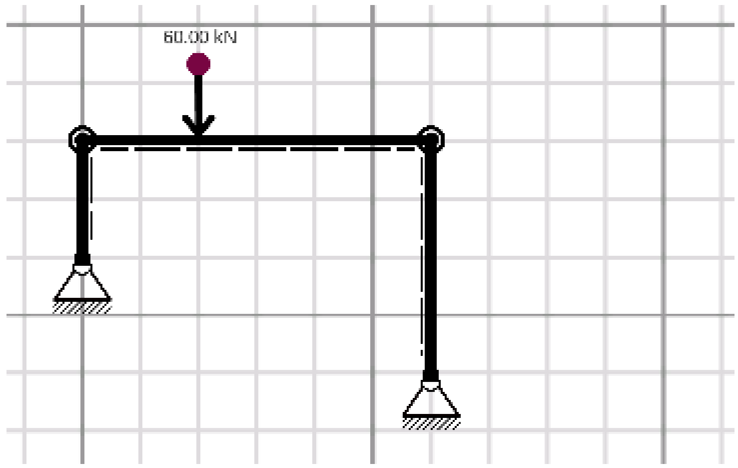


Figura 5.115

Se colocan las articulaciones en el nodo B:

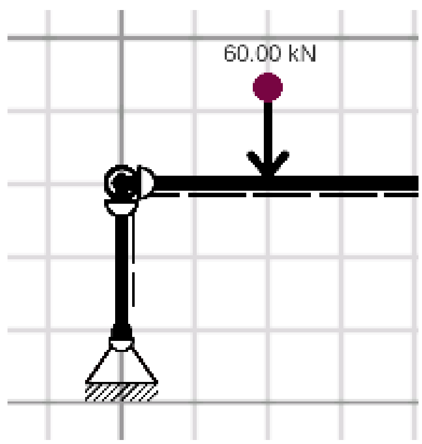


Figura 5.116

Se obtienen las reacciones:

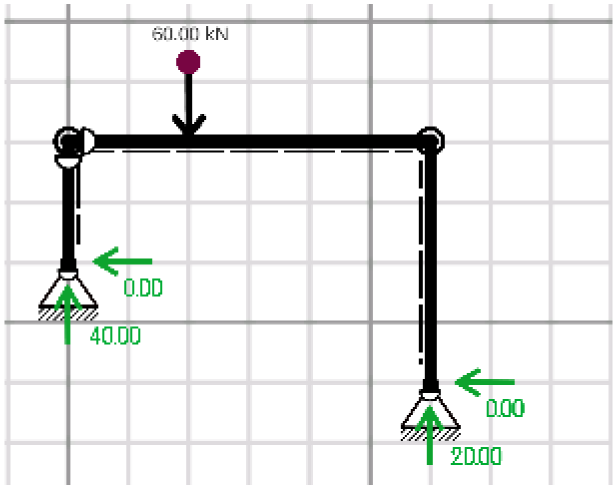


Figura 5.117

Y el diagrama de momentos flexionantes:

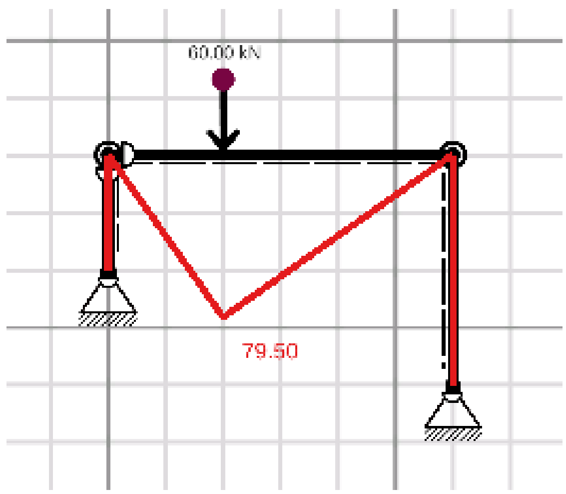


Figura 5.118.

Observe que la viga BC está sometida a un momento flexionante máximo de 79.5 kN.m y que en las columnas AB y CD el momento es nulo.

A continuación, se obtiene el diagrama de cargas axiales:

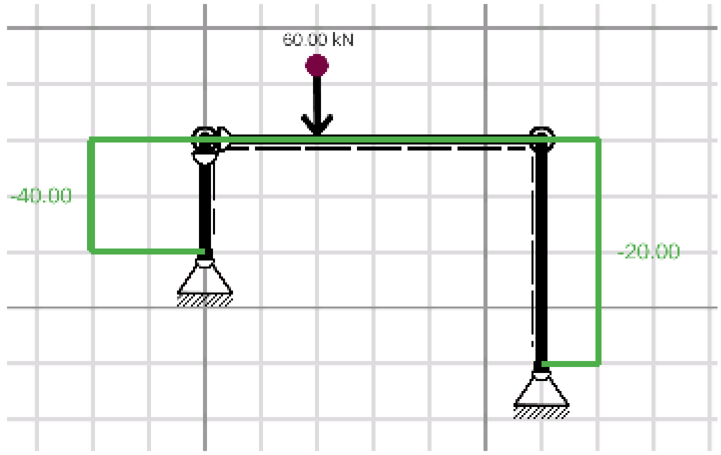


Figura 5.119

La columna AB soporta una carga axial de 40 kN y la columna CD una carga axial de 20 kN, ambas a compresión.

Primero, se calcula el esfuerzo admisible del acero empleado:

$$\sigma = \frac{\sigma_f}{FS} = \frac{250x10^6}{2.5} = 99.5x10^6\,\frac{N}{m^2} = \ 99.5MPa$$

Luego, se calcula el módulo de sección necesario para la viga BC:

$$\sigma = \frac{M}{Z} \rightarrow Z = \frac{M}{\sigma} = \frac{79.5x10^3}{99.5x10^6} = 8x10^{-4}m^3 = 800cm^3$$

De la tabla 3.3:

9	228.6	32.44	21.80	41.00	110.0	11.60	7.400	3,557	311.2	9.314	221.3	40.24	2.323	IMP.	
10	254	37.80	25.40	48.02	118.4	12.47	7.900	5,134	404.2	10.34	297.4	50.24	2.489	IMP.	NC
		52.09	35.00	65.91	125.6	12.47	15.09	6,065	477.5	9.59	358.5	57.08	2.332	IMP.	NC
12	305	47.32	31.80	60.13	127.0	13.82	8.890	9,054	594.1	12.27	406.9	64.08	2.601	IMP.	NC
		52.09	35.00	66.11	129.0	13.82	10.87	9,503	623.5	11.99	427.1	66.22	2.542	IMP.	NC
		60.72	40.80	76.97	133.4	16.74	11.73	11,282	740.3	12.11	580.3	86.99	2.746	IMP.	NC
		74.41	50.00	94.00	139.1	16.74	17.45	12,563	824.4	11.56	664.0	95.48	2.658	IMP.	NC

Figura 5.120.

Se puede seleccionar un perfil IPS 12x7.4x 50 que proporciona un módulo de sección de 824.4 cm^3 , una sección transversal de 94 cm^2 y un momento de inercia de 12563 cm^4

Para seleccionar el perfil adecuado para las columnas se tomará en cuenta la columna AB que soporta una carga de 40kN

Por lo tanto:

$$\boldsymbol{\sigma = \frac{P}{A} \rightarrow A = \frac{P}{\sigma} = \frac{40x10^3}{99.5x\,10^6} = 4x10^{-4}m^2 = 4cm^2}$$

También de la tabla 3.3. se selecciona un perfil IPS 3x2x 5.7 que proporciona un área de 10.62cm^2 y un módulo de sección de 27.32 cm^3.

Dimensiones y pesos teóricos para viga I.P.S (S Beams - Standard) IMCA: IE															
Peralte		Peso comercial		Área	Patín		Alma	EJE X - X			EJE Y - Y			Origen	Obs.
					Ancho	Espesor	Espesor	I	S	r	I	S	r		
Pulg.	mm	kg/m	lb/pie	cm^2	mm	mm	mm	cm	cm^3	cm	cm	cm^3	cm		
3	76	8.483	5.70	10.62	59.18	6.600	4.320	104.1	27.32	3.131	19.73	6.67	1.363	MEX.	
		11.16	7.50	13.99	63.73	6.600	8.860	119.6	31.40	2.925	24.74	7.77	1.330	IMP.	NC
4	102	8.334	5.60	10.89	50.00	6.800	4.500	180.1	35.46	4.068	12.52	5.01	1.072	IMP.	
		11.46	7.70	14.37	67.64	7.440	4.900	249.8	49.17	4.169	32.89	9.73	1.513	MEX.	
		14.14	9.50	17.72	71.02	7.440	8.280	277.5	54.63	3.957	38.26	10.78	1.469	IMP.	NC
5	127	11.16	7.50	14.78	58.00	7.700	5.100	380.5	59.93	5.074	22.08	7.61	1.222	IMP.	
		14.88	10.00	18.78	76.30	8.280	5.440	509.2	80.19	5.208	53.01	13.90	1.680	MEX.	
		21.95	14.75	27.65	83.41	8.280	12.55	623.8	98.23	4.750	70.31	16.86	1.595	IMP.	NC

Figura 5.121

Se editan las propiedades de la viga y de las dos columnas y se obtiene el diagrama de deformaciones:

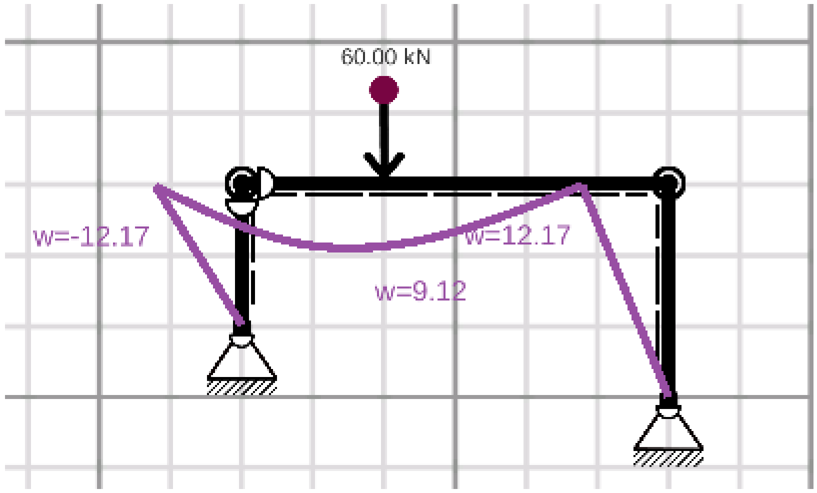


Figura 5.122

Por último, veamos qué efecto tiene sustituir los apoyos articulados por apoyos empotrados:

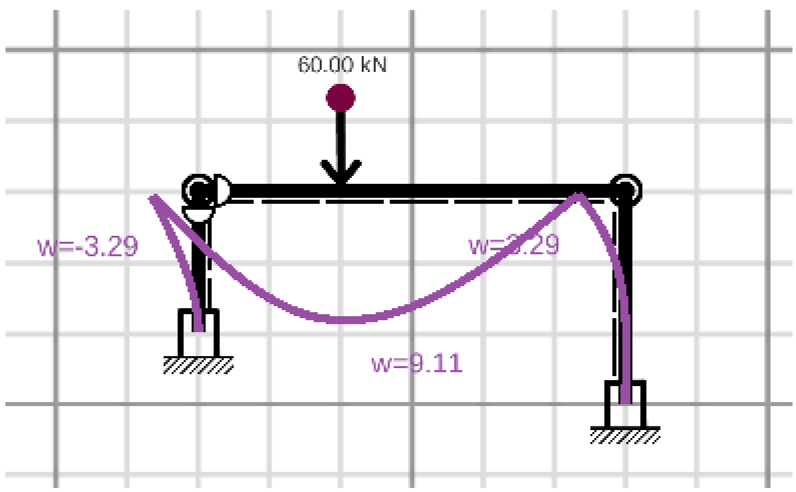


Figura 5.123

La deformación lateral es mucho menor, alcanzando un valor de 3.29 mm.

Tómese en cuenta que al hacerlo se crea un momento flexionante en cada columna, pero por su valor se puede despreciar.

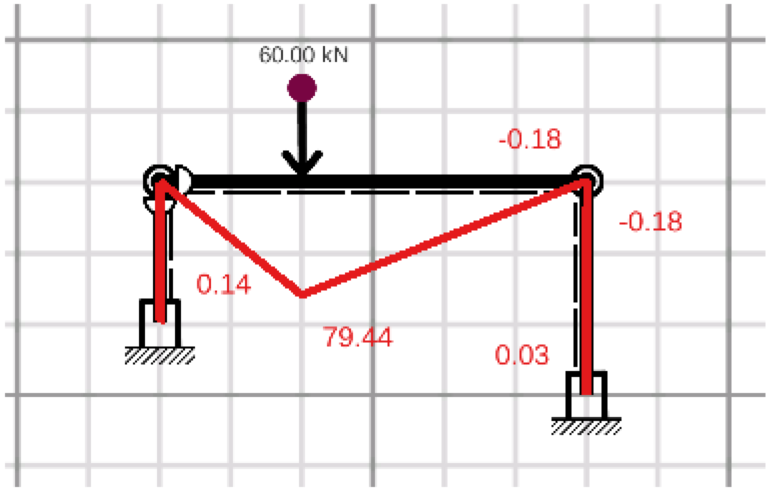


Figura 5.124

5.10. Ejercicio No. 10

Trace lo diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes para la viga que se muestra en la figura 5.125 , también calcule los esfuerzos de flexión máximos que se presentan en las fibras más alejadas asumiendo que la viga tiene la sección transversal indicada

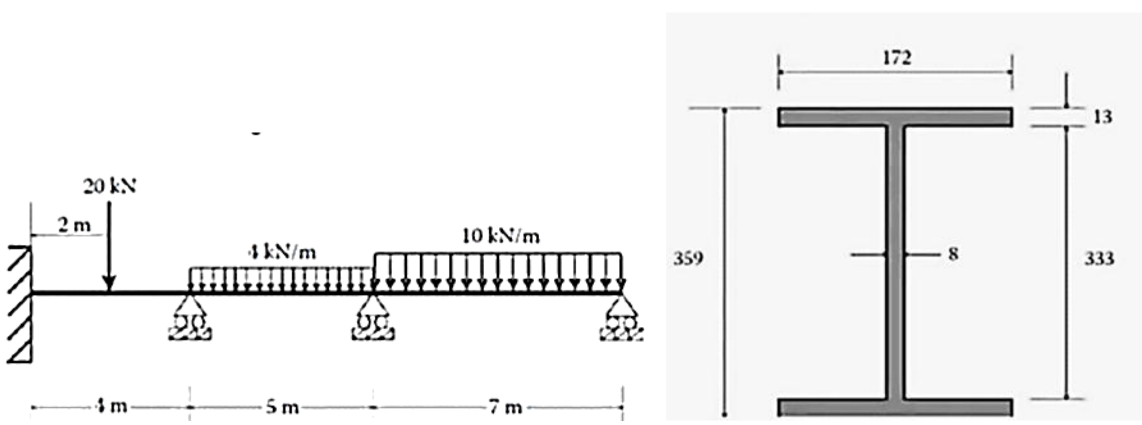


Figura 5.125

Se crean los nodos:

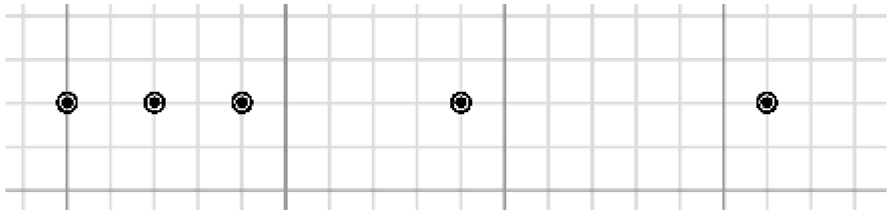


Figura 5.126

Las barras:

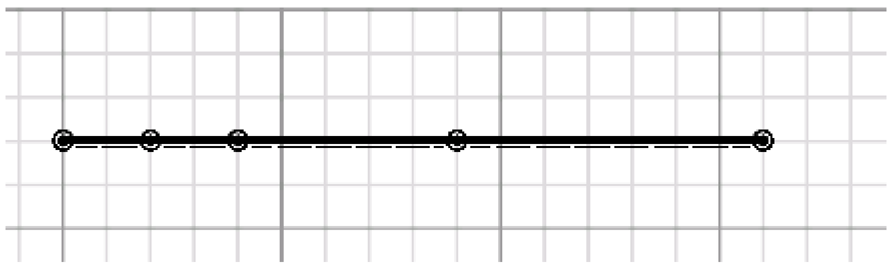


Figura 5.127

Los apoyos:

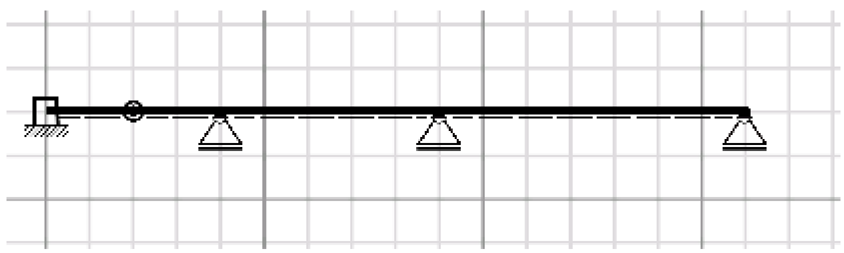


Figura 5.128

Y las cargas:

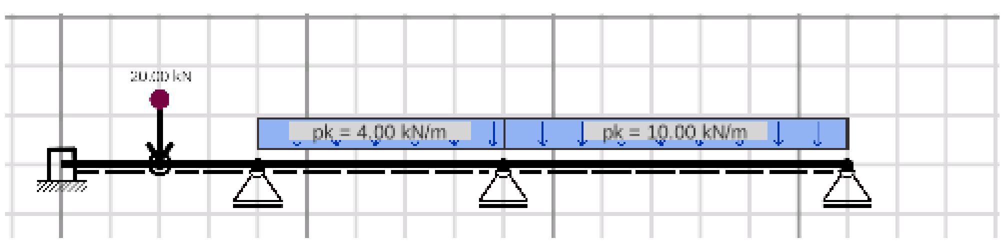


Figura 5.129.

Con ayuda de la App Inercius se calcula el área y el momento de inercia siguiendo los pasos que a continuación se muestran:

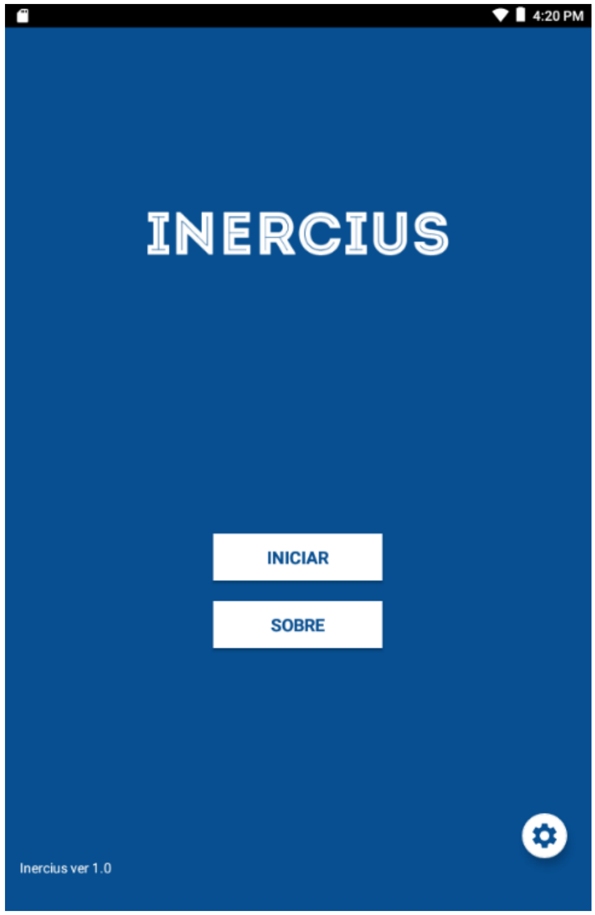


Figura 5.130.

Se seleccionan las unidades, en este problema, por mayor comodidad se selecciona cm.

En la pantalla mostrada en la figura 5.131 se selecciona la geometría de la sección (sección I):

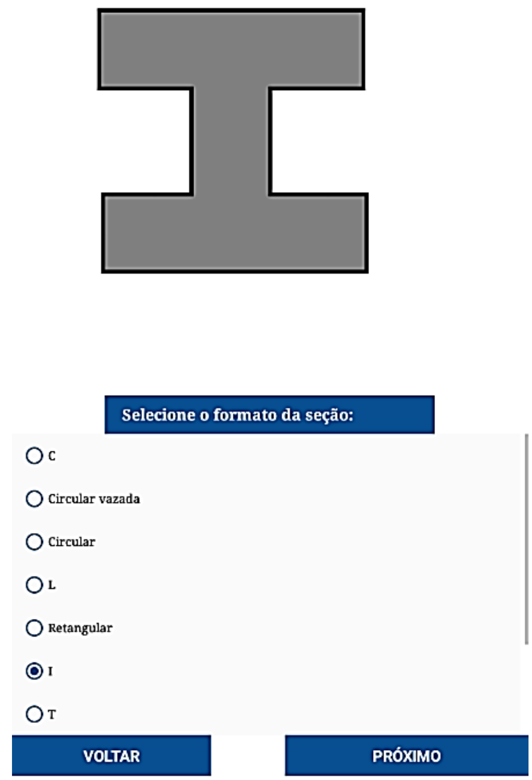


Figura 5.131

Se introducen los datos:

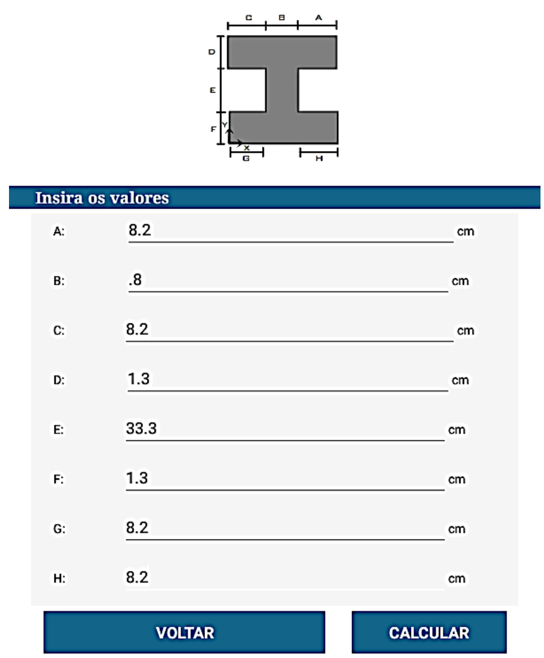


Figura 5.132

Y finalmente, se obtiene la información requerida:

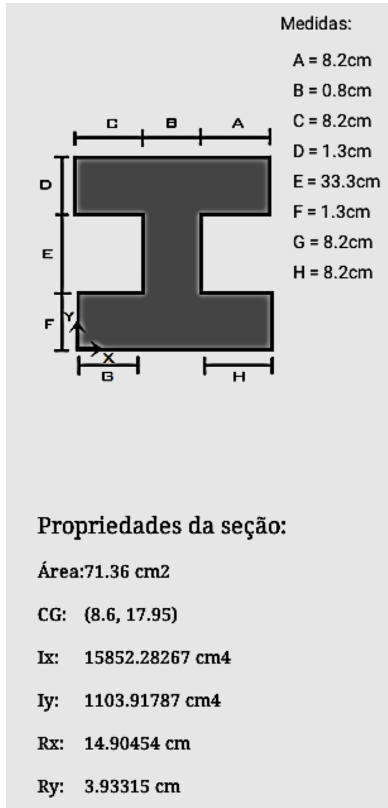


Figura 5.133.

En consecuencia, para la sección transversal de la viga se obtuvieron los valores siguientes:

$$A= 71.3 \text{ cm}^2$$

$$Ixx= 15852.3 \text{ cm}^4 = 1.58 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

A continuación, se asignan dichos datos a todas las secciones de la viga:

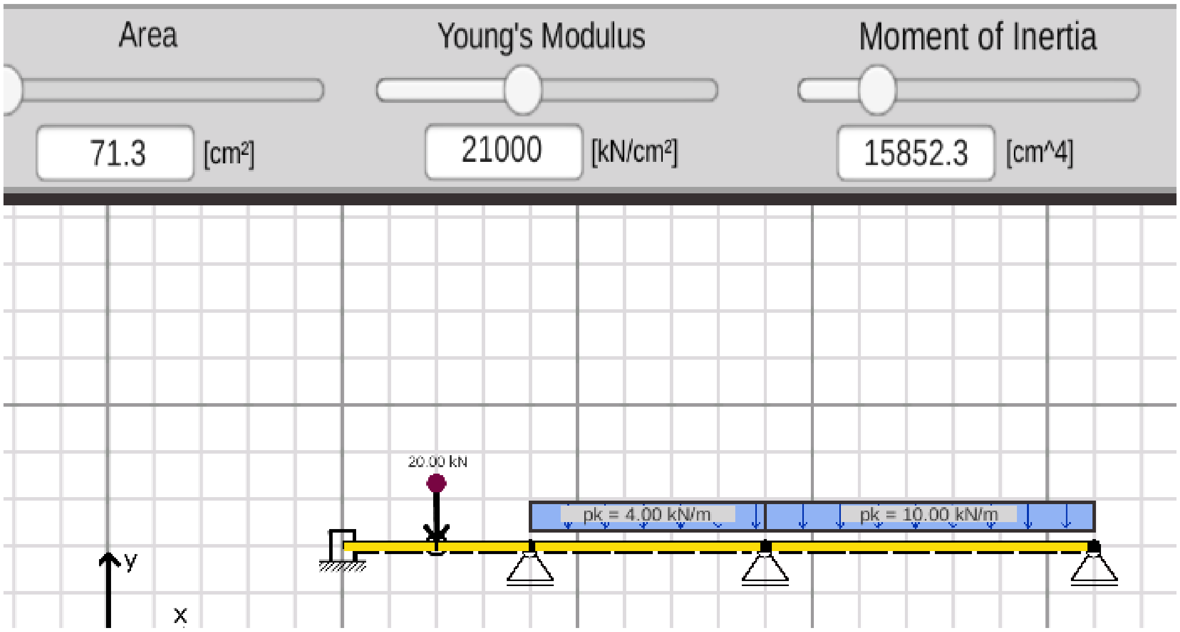


Figura 5.134.

Se calculan las reacciones:

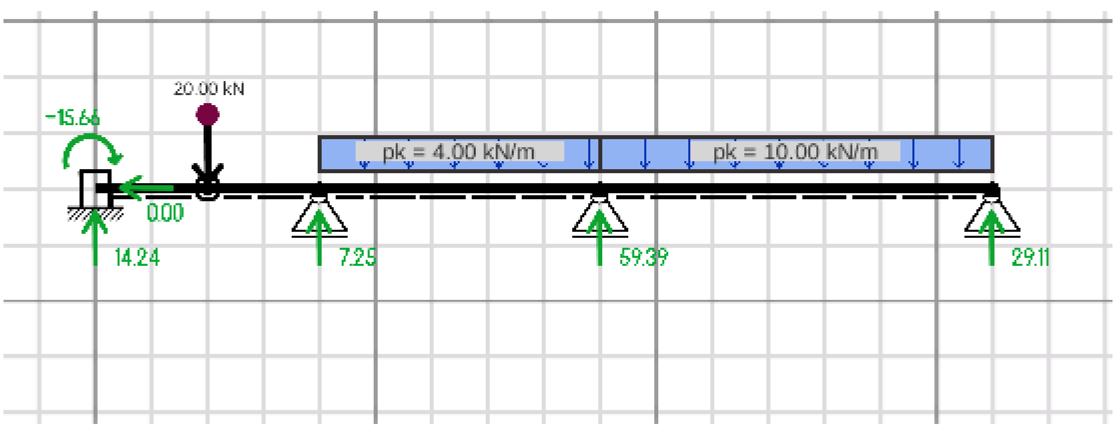


Figura 5.135

Se obtiene el diagrama de momentos flexionantes:

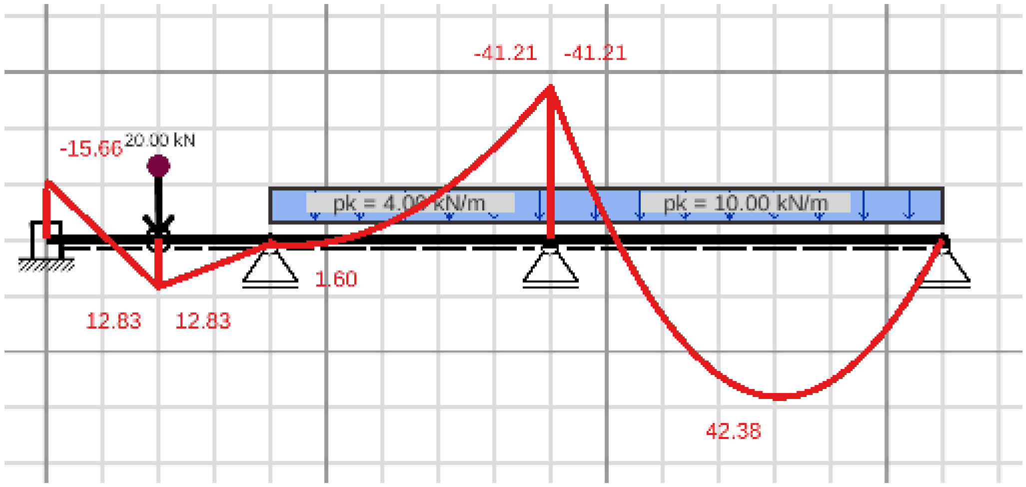


Figura 5.136

El diagrama de fuerzas cortantes:

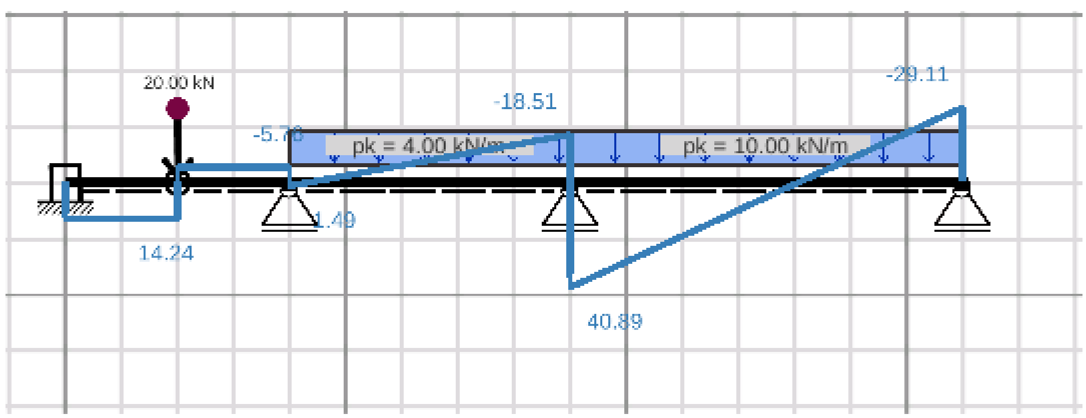


Figura 5.137.

Y el diagrama de deformaciones:

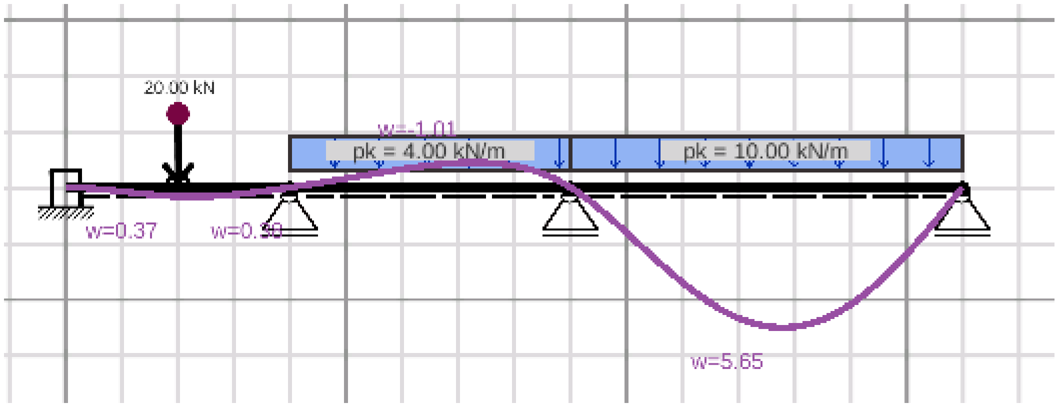


Figura 5.138.

Como se trata de una sección simétrica sobre ambos ejes se tiene:

$\bar{X}$ = 8.6 cm

$\bar{Y}$ = 17.95 cm

En consecuencia, la distancia del centroide a las fibras más alejadas es igual a:

17.95 cm= 0.1795 m

Y finalmente, se procede a calcular los esfuerzos de flexión máximos.

$$\boldsymbol{\sigma = \frac{M.C}{I} = \frac{42.38x\,10^3(0.1795)}{1.58\,x\,10^{-4}} = 48.15\,x\,10^6\,\frac{N}{m^2} = 48.15\,MPa}$$

5.11. Ejercicio No. 11

Para la torre que se muestra en la figura calcule el área necesaria para el elemento más esforzado. Considere que el esfuerzo admisible a tensión y compresión es de 100MPa.

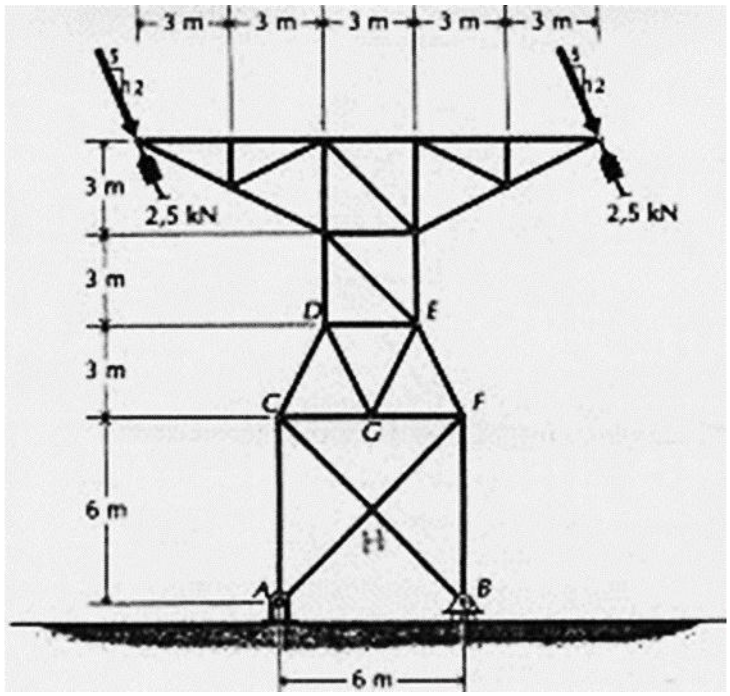


Figura 5.139.

Se crean los nodos:

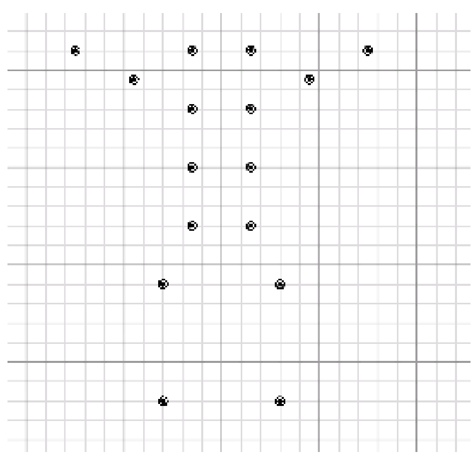


Figura 5.140

Las barras:

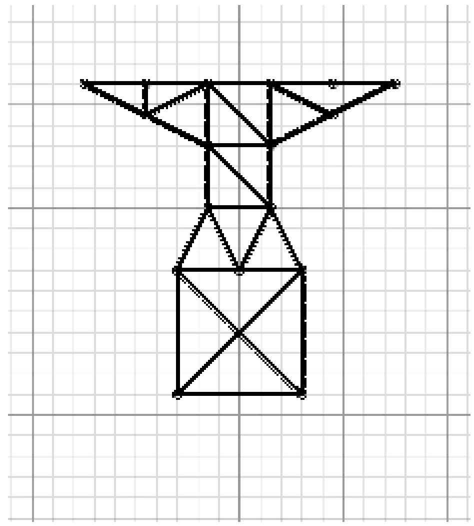


Figura 5.141.

Los apoyos:

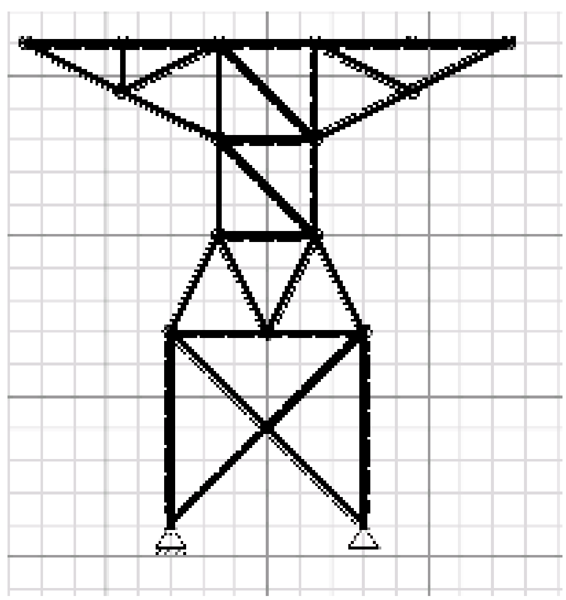


Figura 5.142

Las articulaciones:

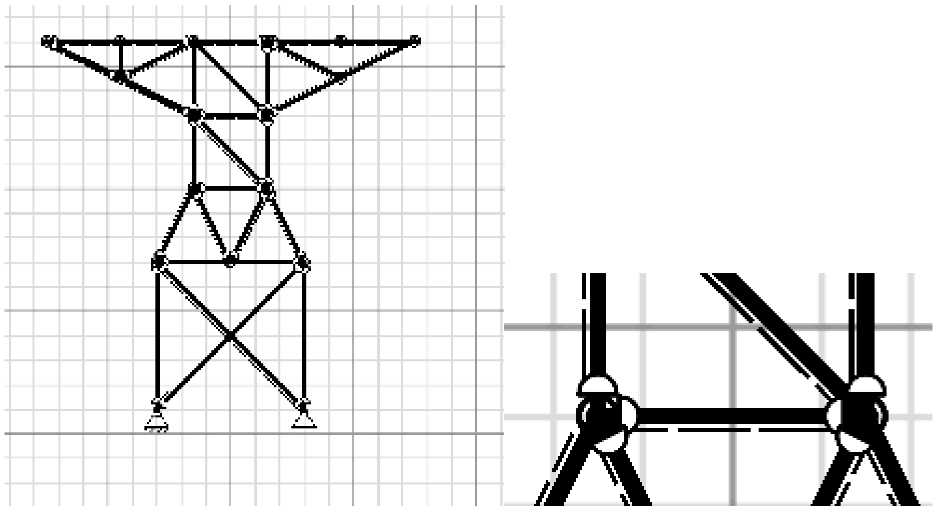


Figura 1.143

Se aplican y editan las cargas:

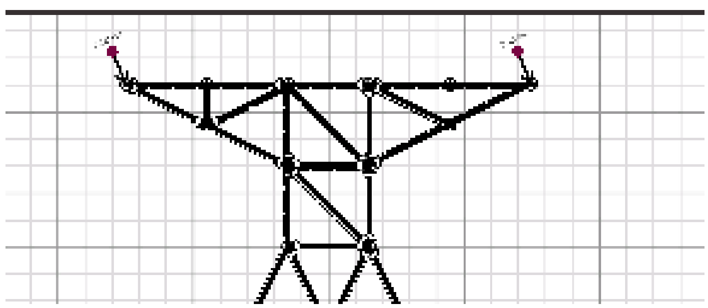


Figura 1.144

Se obtienen las reacciones:

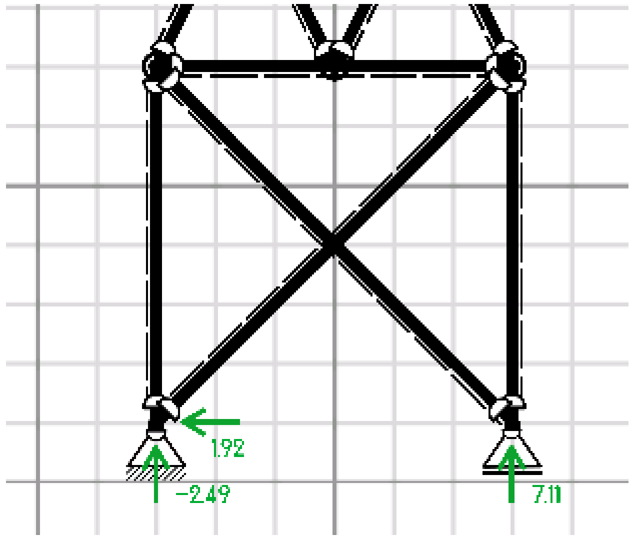


Figura 1.145

El diagrama de momentos flexionantes, en donde se puede ver que, el momento en cualquier elemento es igual a cero.

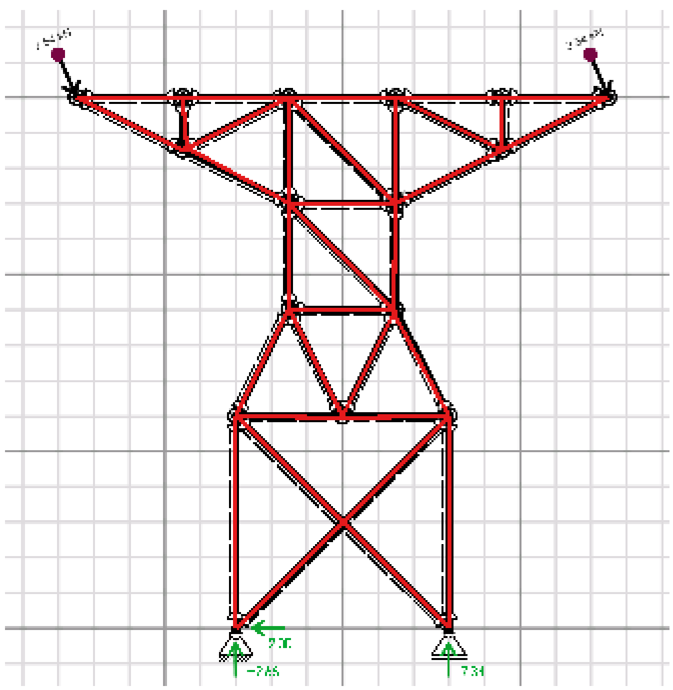


Figura 5.146

El diagrama de cargas axiales que muestra que elemento es el que está sometido a una carga mayor (7.34 kN a compresión):

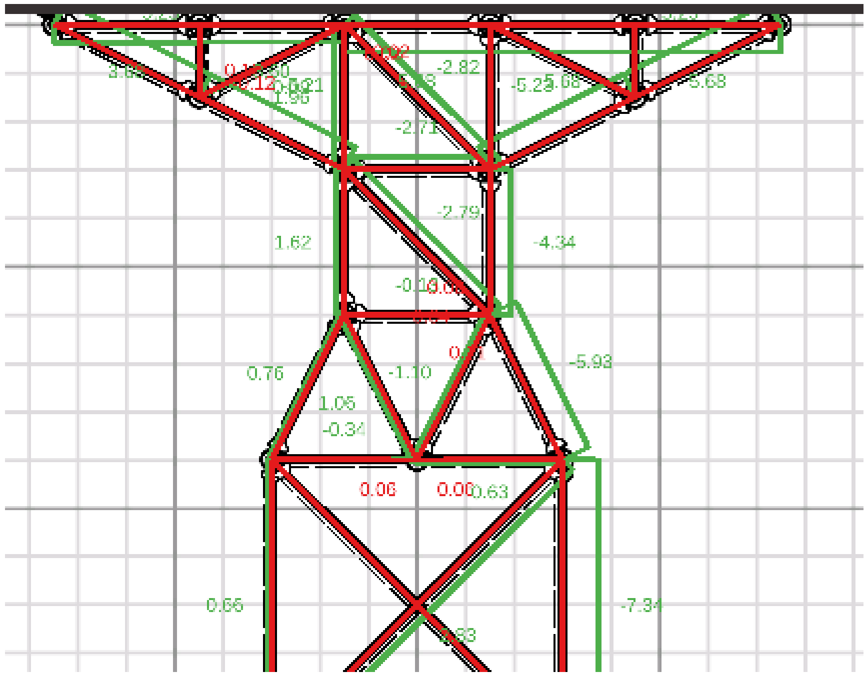


Figura 5.147.

Se calcula el área necesaria para dicho elemento:

$$\boldsymbol{\sigma = \frac{P}{A} \rightarrow A = \frac{P}{\sigma} = \frac{7.34x10^{3}}{100x10^{6}} = 7.34x10^{-5}m^{2} = 0.734cm^{2}}$$

Se asigna dicho valor a todos los elementos que forman la estructura y se obtiene el diagrama de deformaciones:

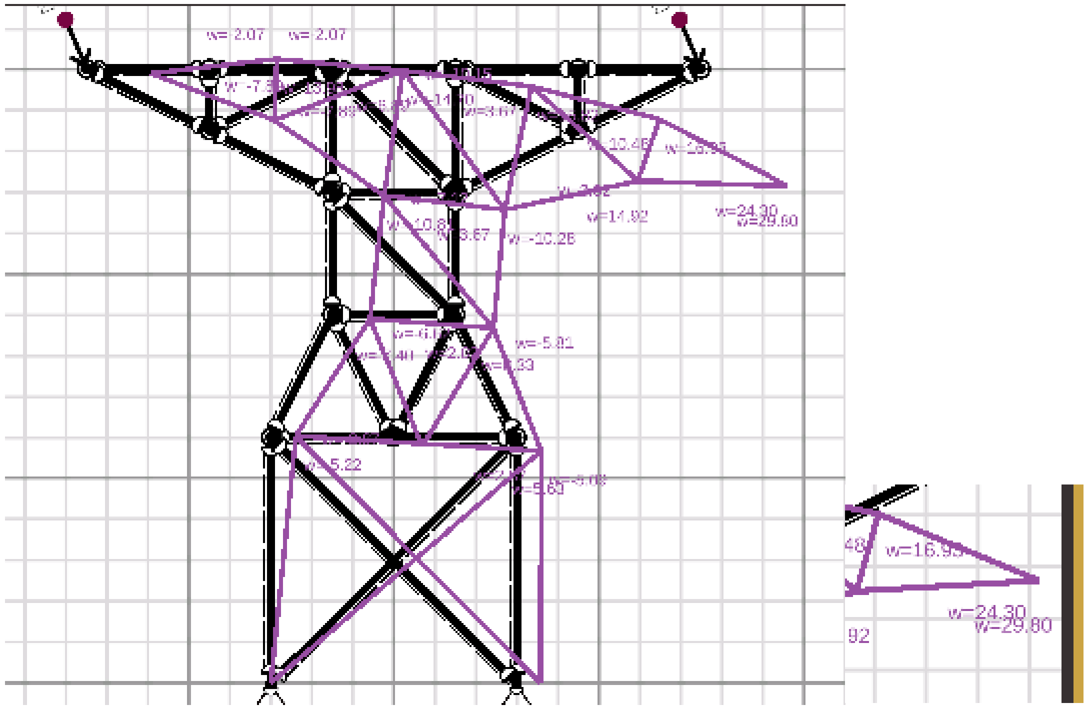


Figura 5.148.

5.12. EJERCICIOS ADICIONALES

Para las vigas que se muestran a continuación obtenga:

a) Diagrama de fuerzas cortantes

b) Diagrama de momentos flexionantes

c) Seleccione el perfil IPS adecuado para cada viga, asumiendo un esfuerzo admisible de 100 MPa.

e) Obtenga el diagrama de deformaciones.

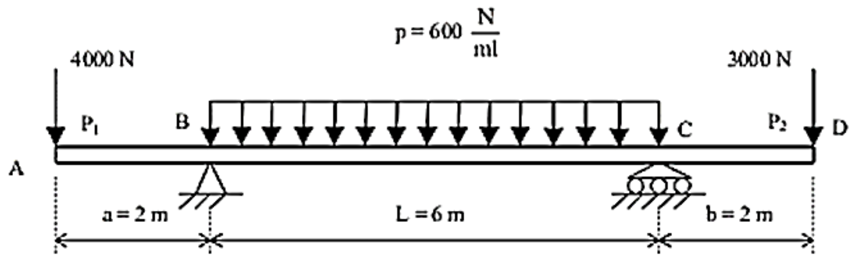


Figura 5.149.

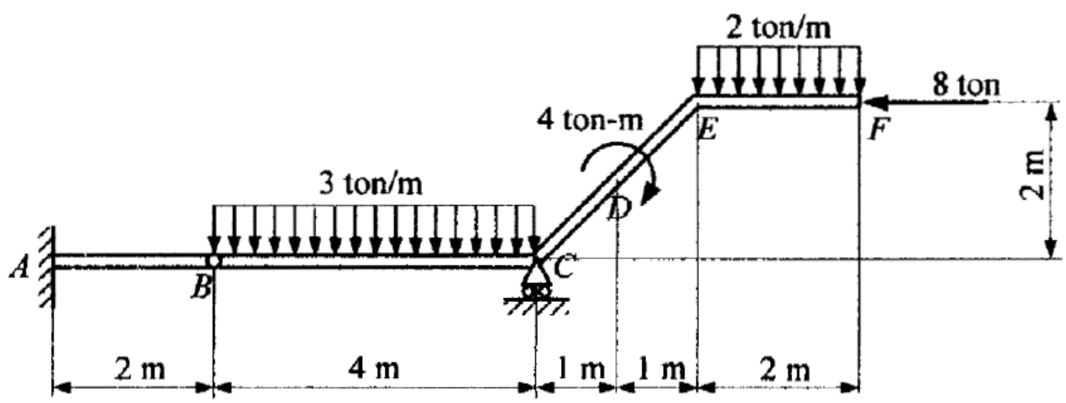


Figura 5.150.

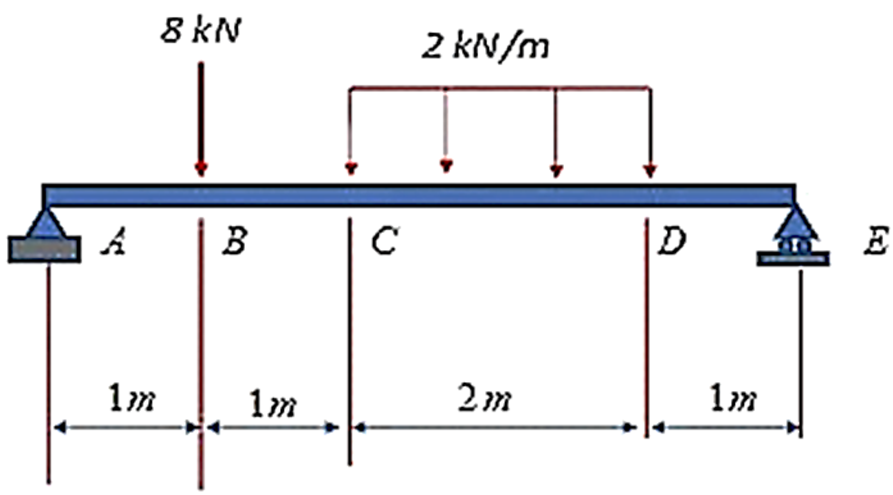


Figura 5.151.

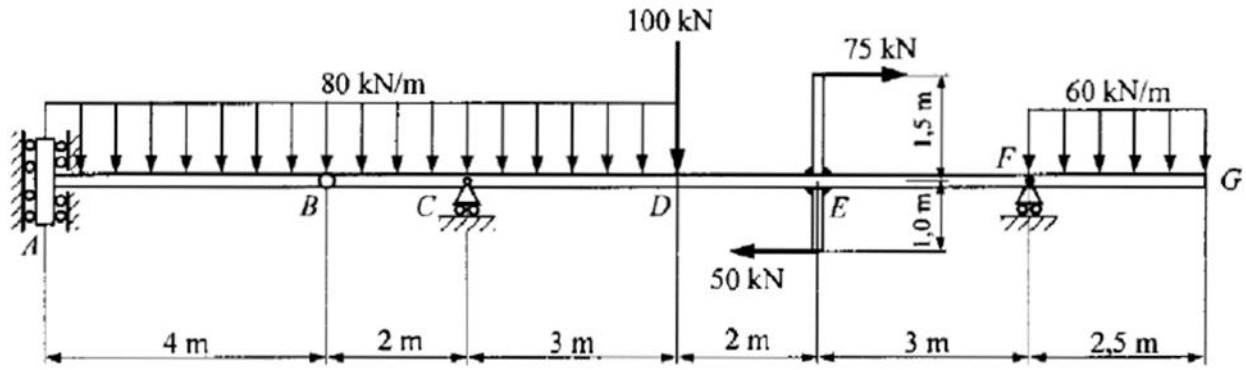


Figura 5.152.

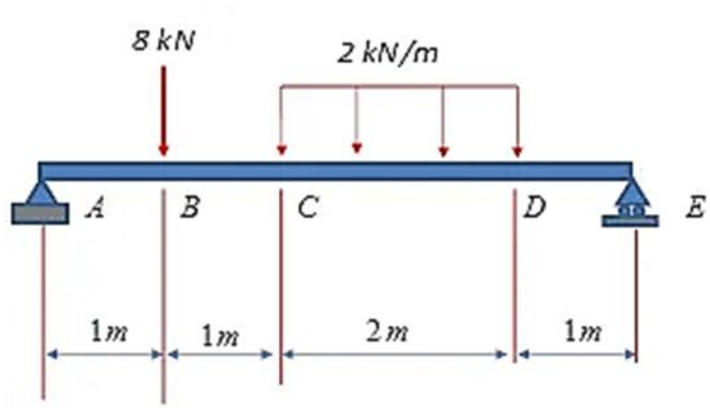


Figura 5.153.

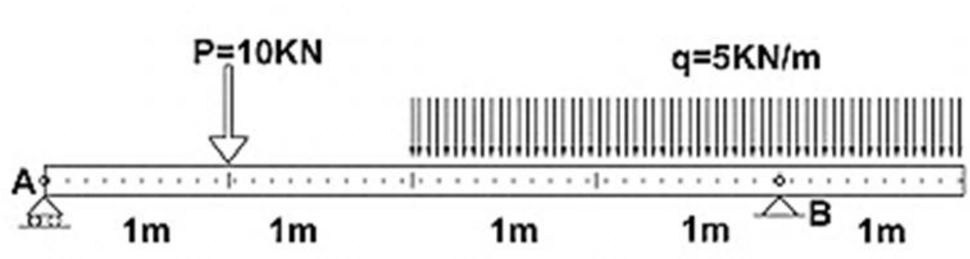


Figura 5.154.

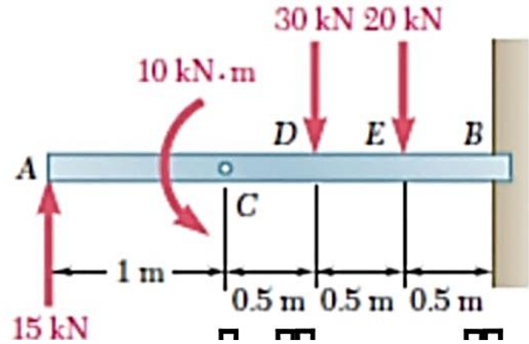


Figura 5.155.

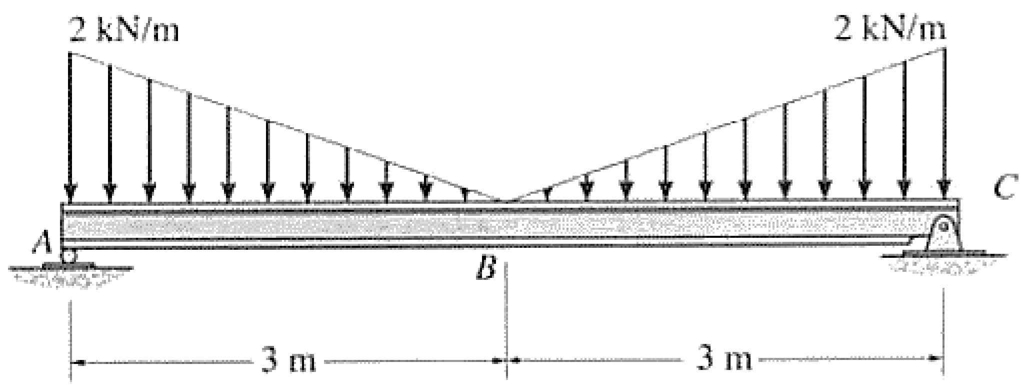


Figura 5.156.

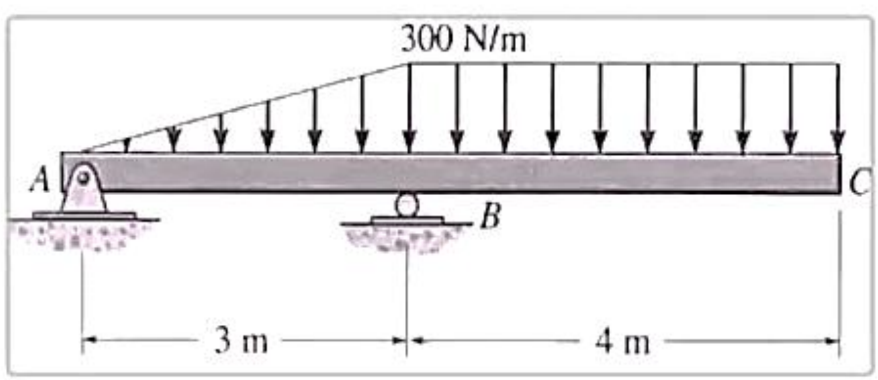


Figura 5.157.

5.13. Análisis de estructuras.

En las armaduras que se muestran a continuación determine ¿cuál barra es la más esforzada y cuál debe ser el área transversal necesaria si el esfuerzo admisible es de 100 MPa= $100x10^6$ N/m^2?

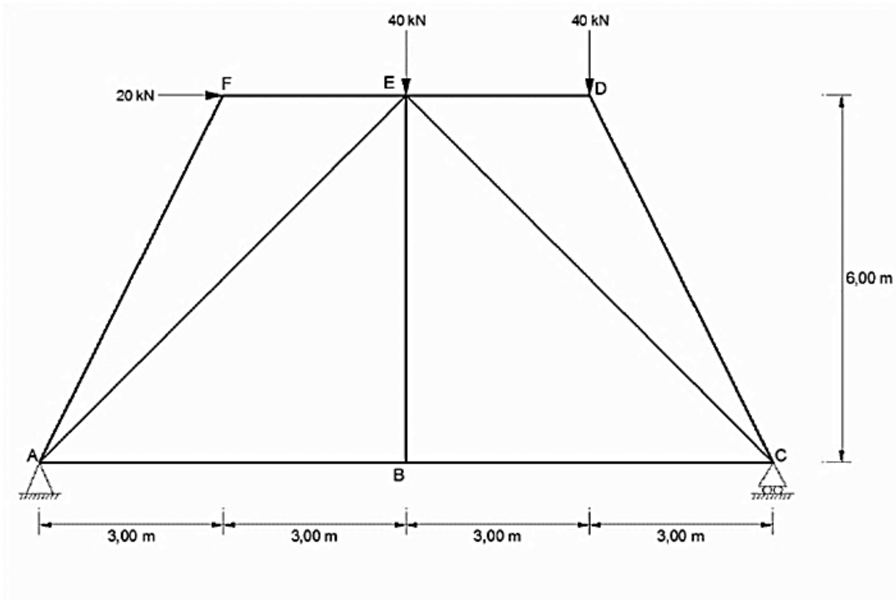


Figura 5.158.

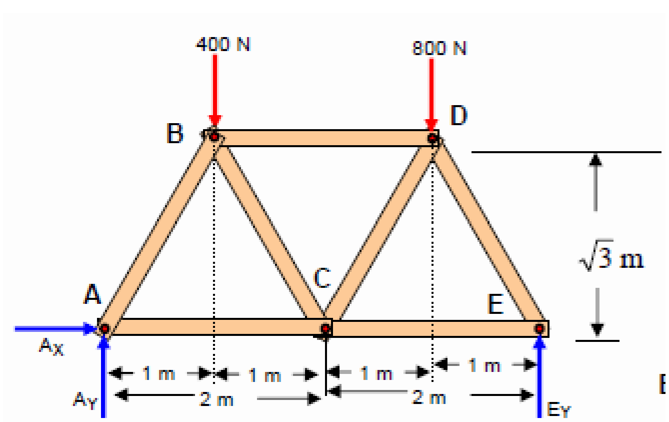


Figura 5.159.

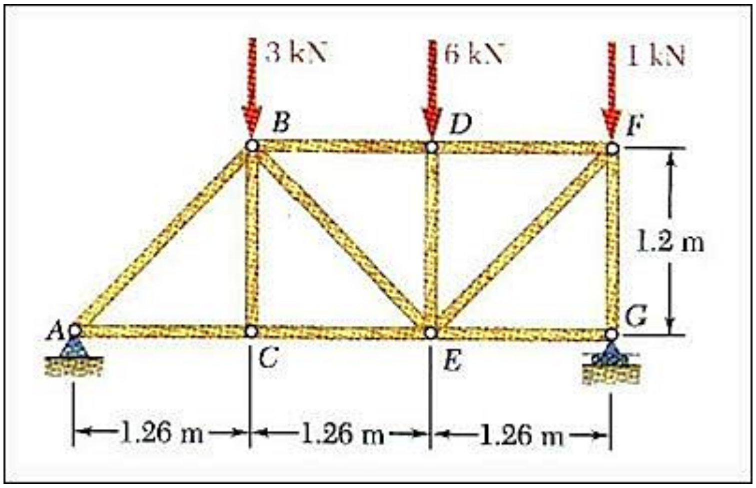


Figura 5.160.

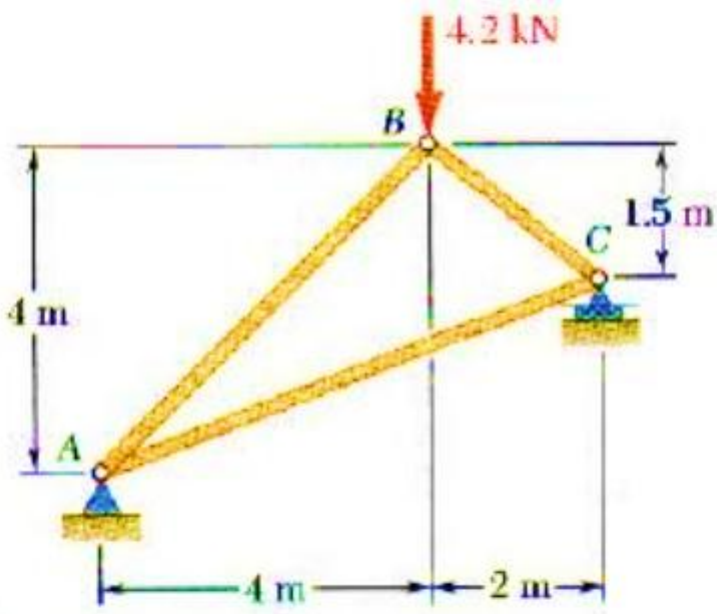


Figura 5.161

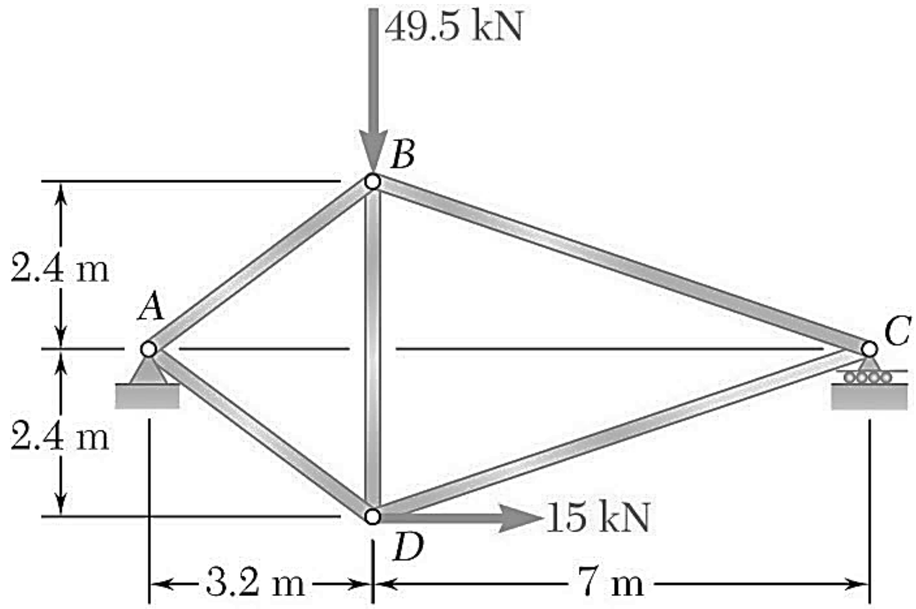


Figura 5.162.

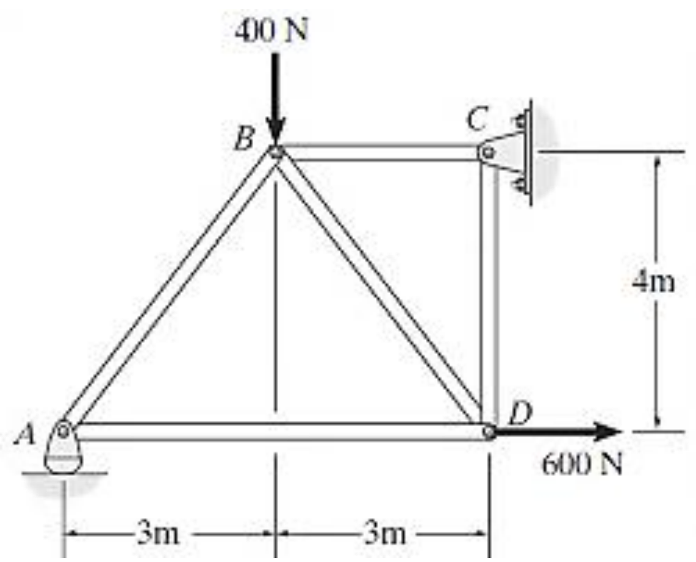


Figura 5.163.

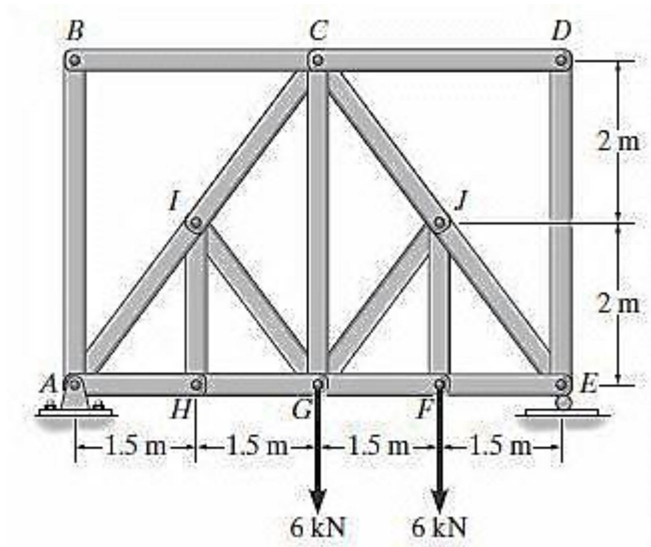


Figura 5.164

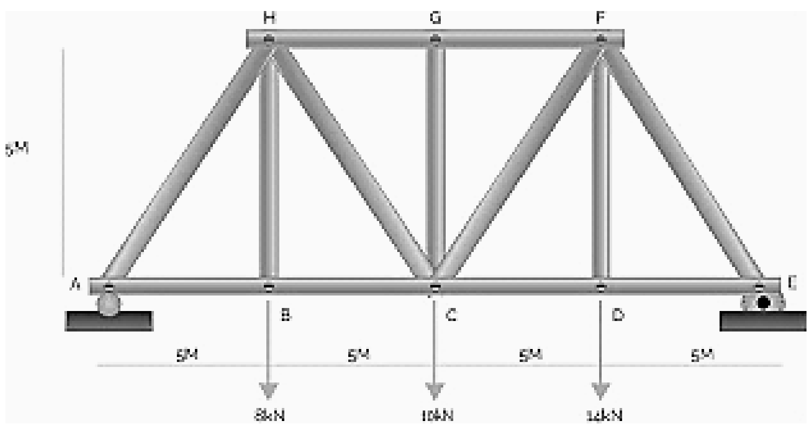


Figura 5.165.

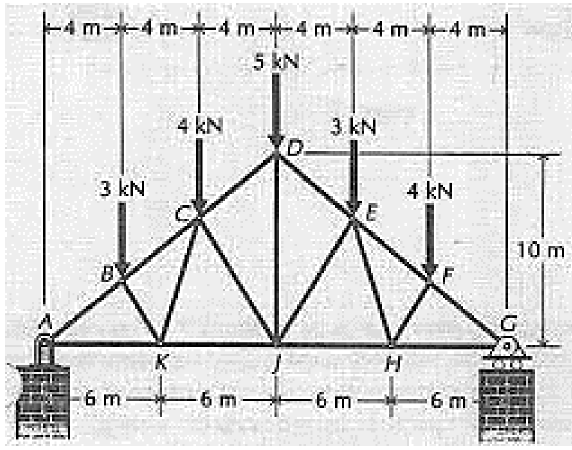


Figura 5.166.

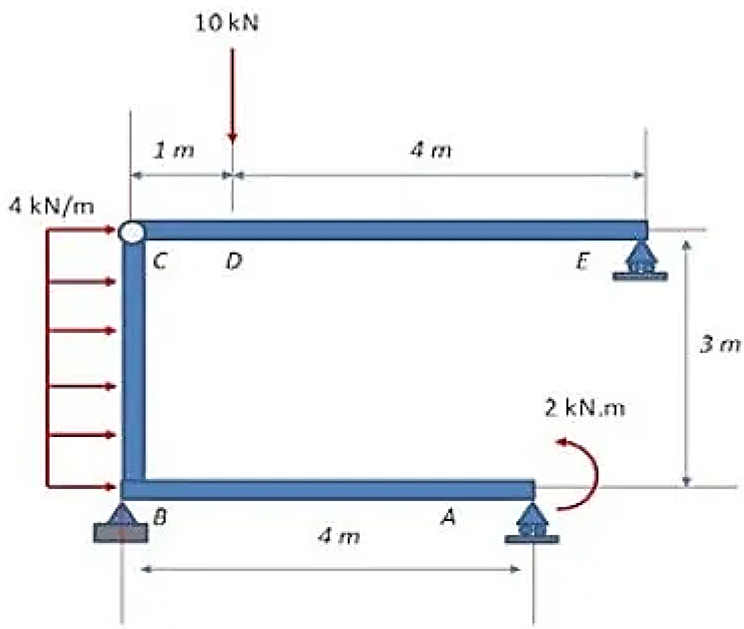
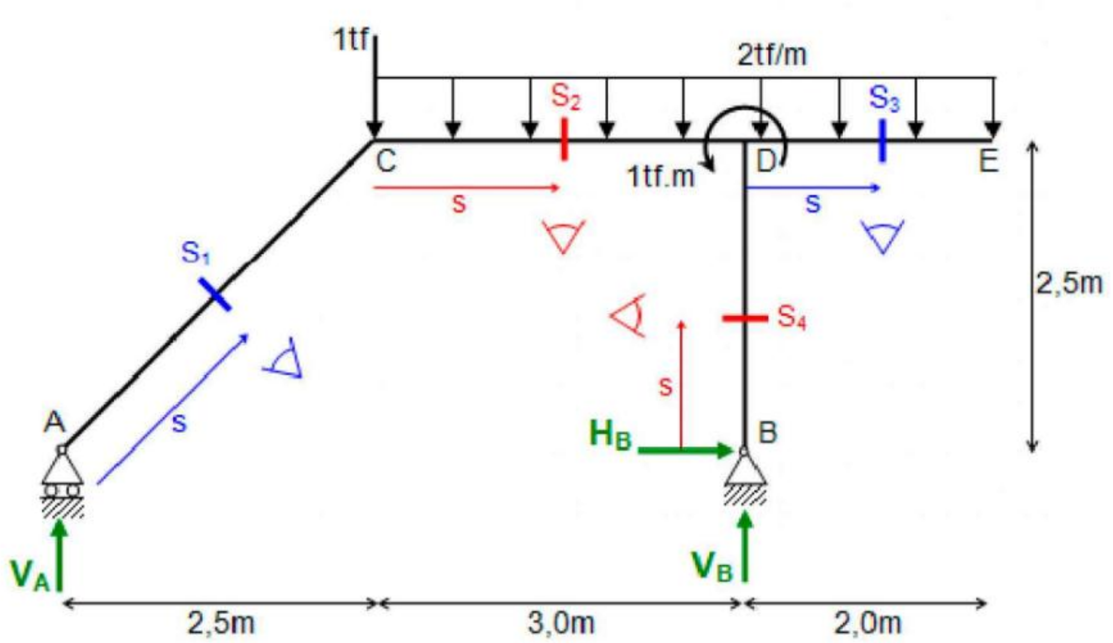


Figura 5.167



$1t_f \approx 10kN$

Figura 5.168.

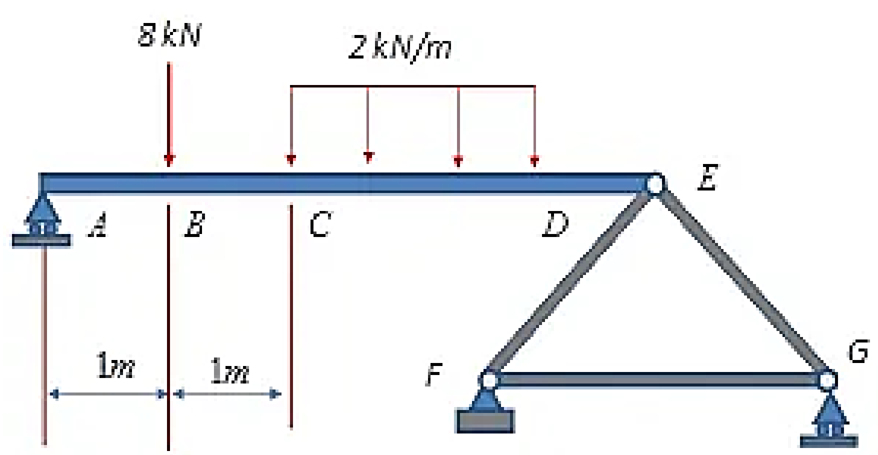
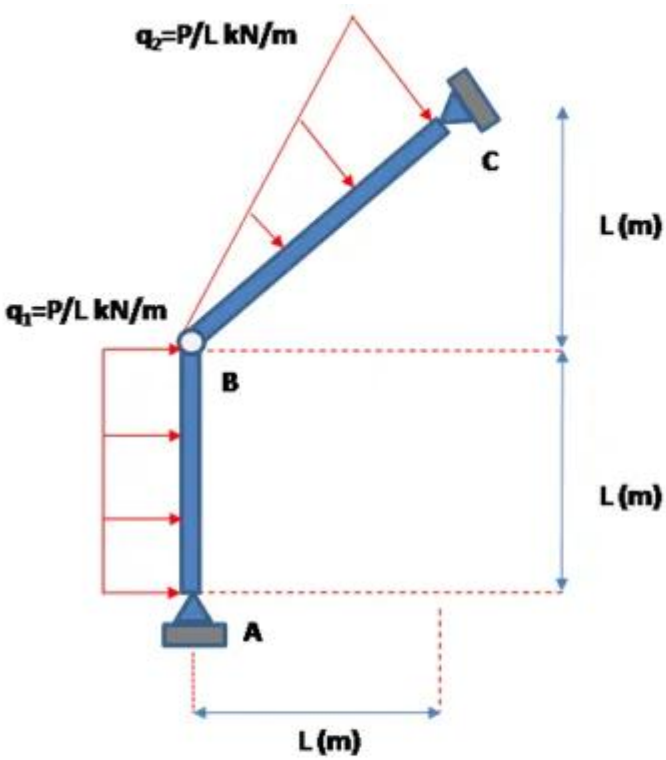


Figura 5.169.



L=3 m ; P = 2.5 kN/m

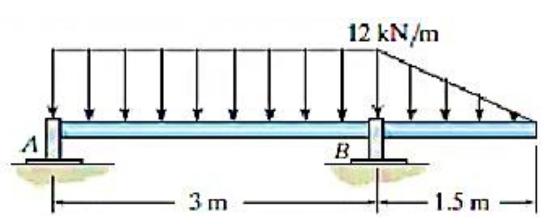
Figura 5.170.

5.14. Calculo de esfuerzos en vigas.

1. Se tiene una viga horizontal según se muestra en la figura 5.171, asuma a=3cm;b=2cm y h= 12cm, obtenga;

a) Los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes

b) Los esfuerzos máximos en las fibras superior e inferior más alejadas.



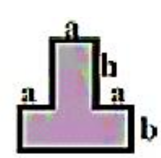


Figura 5.171.

2. Se tiene una viga horizontal como se muestra en la figura 5.172, asuma W=36kN/m, L1= 2cm; L2= 6m; b= 8 cm; e= 2cm; h= 16cm; n=2cm; obtenga:

a) Los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes

b) Los esfuerzos máximos en las fibras superior e inferior más alejadas.

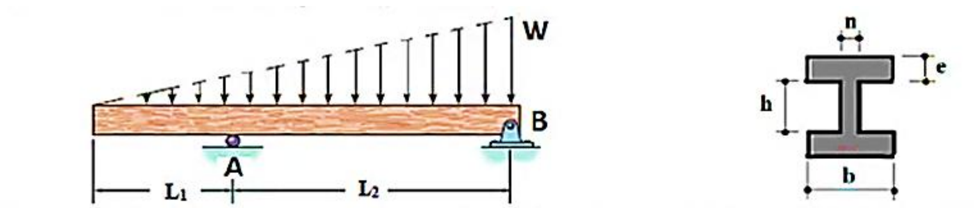


Figura 5.172.

3. Se tiene una viga horizontal como se muestra en la figura 5.173, asuma W=6kN/m, AC= 2m; CD= 4m; DB= 2 m; n= 3 cm; e= 3cm;b=10cm y h=18 cm a) Los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes

b) Los esfuerzos máximos en las fibras superior e inferior más alejadas.

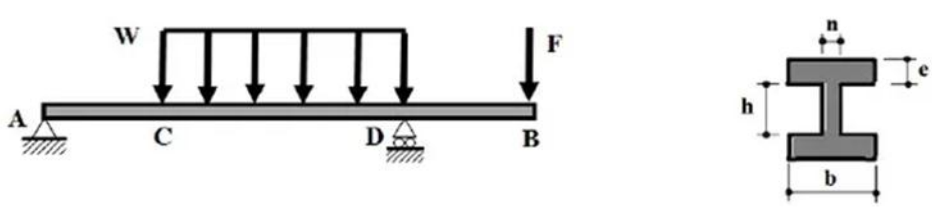


Figura 5.173.

4. Se tiene una viga horizontal según se muestra en la figura 5.174, asuma W=36kN/m, L1= 2cm; L2= 6m; b= 8 cm; e= 2cm; h= 16cm; n=2cm;

a) Los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes

b) Los esfuerzos máximos en las fibras superior e inferior más alejadas.

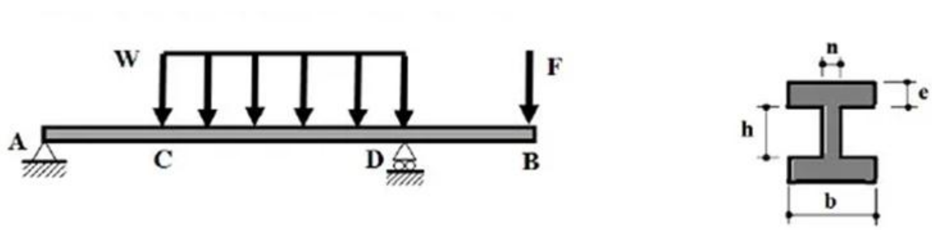


Figura 5.174.

BIBLIOGRAFÍA

1. Mechanics of Materials.

Beer, Johnston Jr, DeWolf, & Mazurek

Mc. Graw Hill. EUA. 2019.

2. Resolución de problemas de la mecánica de sólidos elemental mediante el método de elemento finito utilizando el programa AutoFEM™

Rodolfo Alejandro García Pérez

Tesis Profesional. México. FES-Cuautitlán.2020.

3. Apuntes de Mecánica de Sólidos.

Felipe Díaz del Castillo R.

FES-C. México. 2009.

4. Selección de perfiles estructurales

Felipe Díaz del Castillo R.

FES-C. México. 2017

5. https://www.tugraz.at/institute/ifb/home/

6. http://ifb-sw.tugraz.at/statiktugo/

7. https://steelmartusa.com/web2017/?page=category&category=60