

**Solución a problemas de resistencia de
materiales con programa Ansys**

Aylin Johana Pinzón Leguizamón

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Programa de Tecnología Mecánica
Bogotá, D.C
2021

**Solución a problemas de resistencia de
materiales con programa Ansys**

Aylin Johana Pinzón Leguizamón

Docente

Carlos Arturo Bohorquez Avila

Trabajo para aspirar al título de Tecnólogo en Mecánica
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Programa de Tecnología Mecánica
Bogotá, D.C
2021

Contents

1	Resumen	4
2	Introducción	4
3	Desarrollo	5
3.1	Marco Teórico	5
3.2	Objetivos	6
3.2.1	Objetivo principal	6
3.2.2	Objetivos específicos	6
4	Carga axial	6
4.1	Solución analítica	8
4.2	Solución con Ansys	10
4.3	Solución Analítica	50
4.4	Solución con Ansys	53
5	Torsion	85
5.1	Solución analítica	86
5.2	Solución con Ansys	87
5.3	Solución analítica	119
5.4	solución con Ansys	120
6	Flexión	143
6.1	Solución analítica	143
6.2	Solucion con Ansys	145
6.3	Solución analítica	184
6.4	Solución con Ansys	185
6.5	Solución analítica	221
6.6	Solución con Ansys	222
7	Otras aplicaciones	259
8	Conclusiones	265
9	Bibliografía	266

1 Resumen

El aprendizaje es la piedra angular de la sociedad, que permite el desarrollo de los saberes y sobre todo es una de las más sobresalientes capacidades del ser humano, en ingeniería la adquisición del conocimiento es en su mayoría metódico, con una ruta que busca forjar en los aprendices los conocimientos que deberán emplear como profesionales. El entender las interacciones térmicas, el comprender el comportamiento de los materiales y fluidos y el poder diseñar componentes que den soluciones a las necesidades de una sociedad son lo que define a un ingeniero mecánico. Y la solución de problemas modelos hace parte de esa adquisición de conocimientos. Este proyecto se enfoca en la solución de problemas modelo en resistencia de materiales (Carga axial, torsión, flexión pura), siendo que muchas veces hay una dificultad para entender la relación entre un resultado matemático y su equivalente en la realidad. Es por esto que se proponen una serie de ejercicios resueltos mediante uso de software Ansys para que los estudiantes tengan un complemento a los espacios académicos que cursan. Al final lo que se quiere conseguir es el desarrollo de un documento para que estudiantes y docentes puedan hacer uso de herramientas que ofrezcan una metodología diferente para la comprensión o explicación de los conceptos de resistencia de materiales.

2 Introducción

El objetivo principal de este documento es crear una serie de tutoriales para resolver problemas de resistencia de materiales haciendo uso del software Ansys. Se seleccionaron ejercicios modelo de las temáticas de carga axial, torsión y flexión; apuntando a que el documento sea cercano al lector los ejercicios se tomaron de textos guía como **Mecánica de materiales de Ferdinand P. Beer** y **Resistencia de materiales de Singer**. Mediante el desarrollo del proyecto se logró evidenciar que si es posible generar un documento guía que aporte como un complemento para obtener los resultados requeridos en esta clase de problemas.

3 Desarrollo

3.1 Marco Teórico

- Sobre Ansys

El uso de software Ansys para el análisis de estructuras ofrece a los usuarios la posibilidad de resolver problemas estructurales y de diseño por lo que su implementación en las industrias ha ido en aumento. Sin embargo el uso de este programa suele estar enfocado a la aplicación en campos profesionales, su uso en el medio es ya una realidad por lo que no se puede pasar por alto su importancia en la formación profesional de los estudiantes. Ansys es considerado como el principal productor de software para ingeniería, dentro del tema que nos compete que sería la utilización de Ansys en la solución de problemas de resistencia de materiales encontramos el libro de; Finite element Analysis Theory and Application with ANSYS, donde se presentan problemas modelo y la teoría para la aplicación del software. También se han desarrollado documentos como ; ANÁLISIS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS DEL COMPORTAMIENTO DE PERFILES COMBINADOS DE ESTRUCTURAS DE AUTOBUSES, donde se presenta un análisis de la estructura usando el programa. Por otro lado la universidad de Alberta desarrollo una pagina en la cual se presentan tutoriales de este tipo , además podemos encontrar tutoriales en plataformas como Youtube , que fueron de gran ayuda para la realización de este proyecto. A nivel nacional el uso del programa Ansys se ha venido afianzando en instituciones como la universidad Nacional, que el 3 de noviembre de 2011 publicó en su portal de noticias un artículo sobre la firma de un convenio con esa multinacional, donde la empresa ofrecía licencias para el uso de software además de capacitación en el tema. Los trabajos que se suelen encontrar estan enfocados a su aplicación en estructuras reales, por lo que la búsqueda de generar material que alienten al uso de una nueva metodología sigue estando presente, en especial cuando se busca aplicarlo a problemas no tan complejos.

- Carga axial

Cuando se realiza un analisis de esfuerzos y se determinan los planos en que se encuentran las cargas, se denomina carga axial a las fuerzas que actuan a lo largo del elemento y que ocasiona un cambio en la longitud.

- Torsión

El torque es un momento que se aplica en el plano normal del elemento, causando un cambio en la geometria de éste.

- Flexión

Un elemento se encuentra sometido a flexion, cuando en el mismo plano longitudinal actuan sobre el dos momentos pares y opuestos.

3.2 Objetivos

3.2.1 Objetivo principal

- Desarrollar unos tutoriales para el manejo del Software ANSYS en la solución de problemas de resistencia de materiales

3.2.2 Objetivos específicos

- Seleccionar los problemas de resistencia de materiales que se puedan solucionar empleando el programa ANSYS
- Desarrollar tutoriales con el uso de ANSYS en los que se involucren las temáticas de carga axial, torsión y flexión pura.
- Elaborar un documento en el que se presenten los tutoriales que se realizaron para la solución de los ejercicios de carga axial, torsión y flexión pura.

4 Carga axial

A continuación se presentan dos ejercicios de la tematica de carga axial que serán solucionados con el método analítico y por medio de Ansys(Mechanical APDL).

Para solucionar un problema de carga axial se debe iniciar realizando un diagrama de cuerpo libre, en el que se identifiquen corretamente todas las cargas que actuan sobre el elemento, luego se calculan las ecuaciones de equilibrio; hecho esto se procede a aplicar las ecuaciones necesarias para obtener los resultados requeridos, para este caso se usa la ecuación de deformación de un elemento sometido a carga axial:

$$\frac{PL}{EA} \tag{1}$$

P= Carga axial

L=Longitud del elemento

E= Modulo de elasticidad

A= Area de sección transversal

• Problema 1

2.41 Dos varillas cilíndricas, una de acero y la otra de latón se unen en C y están restringidas por soportes rígidos en A y en E . Para la carga mostrada y sabiendo que $E_a = 200$ GPa y $E_l = 105$ GPa, determine *a)* las reacciones en A y en E , *b)* la deflexión del punto C .

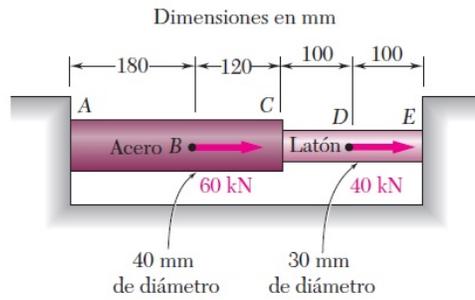


Figura P2.41

Figure 1: Problema 2.41, Beer

4.1 Solución analítica



Figure 2: Elaboracion propia

$$\sum F_x = 0 \quad (2)$$

$$E_x - A_x = 100000 \quad (3)$$

AB



Figure 3: Elaboración propia

$$P_1 = -A_x \quad (4)$$

$$\frac{-A_x \cdot (0.18m)}{(1.25663 \cdot 10^{-3}m^2) \cdot (200 \cdot 10^9 \frac{N}{m^2})} \quad (5)$$

$$\delta AB = -7.16201 \cdot 10^{-10}A_x \quad (6)$$

BC



Figure 4: Elaboración propia

$$P_2 = -A_x - 60000N \quad (7)$$

$$\frac{(-A_x - 60000N) \cdot (0.12m)}{(1.25663 \cdot 10^{-3}m^2) \cdot (105 \cdot 10^9 \cdot \frac{N}{m^2})} \quad (8)$$

$$\delta BC = -2.86480 \cdot 10^{-5} - 4.77467 \cdot 10^{-10}A_x \quad (9)$$

CD



Figure 5: Elaboración propia

$$P3 = -A_x - 60000N \quad (10)$$

$$\frac{(-A_x - 60000N) \cdot (0.1m)}{(0.70686 \cdot 10^{-3}m^2) \cdot (105 \cdot 10^9 \frac{N}{m^2})} \quad (11)$$

$$\delta CD = -8.08404 \cdot 10^{-5} - 1.34734 \cdot 10^{-9}A_x \quad (12)$$

DE



Figure 6: Elaboración propia

$$P4 = -A_x - 100000N \quad (13)$$

$$\frac{(-A_x - 100000N)(0.1m)}{(0.70686 \cdot 10^{-3}m^2) \cdot (105 \cdot 10^9 \frac{N}{m^2})} \quad (14)$$

$$\delta DE = -1.34734 \cdot 10^{-9}A_x - 1.34734 \cdot -4 \quad (15)$$

$$\delta AE = \delta AB + \delta BC + \delta CD + \delta DE \quad (16)$$

$$\delta AE = -3.88835 \cdot 10^{-9}A_x - 2.44222 \cdot 10^{-4} \quad (17)$$

$$A_x = \frac{2.44222 \cdot 10^{-4}}{-3.88835 \cdot 10^{-9}} \quad (18)$$

$$A_x = -62808.64 \approx -62.8KN \quad (19)$$

Se reemplaza el resultado obtenido en la ecuación (18) en la ecuación (2)

$$E_x = 100000 - 62.8KN \quad (20)$$

$$E_x = 37.2 \quad (21)$$

Deflección en el punto c

$$\delta c = \delta AB + \delta BC \quad (22)$$

$$= -7.16201 \cdot 10^{-10} \cdot (-62.8KN) - 2.86480 \cdot 10^{-5} - 4.77467 \cdot 10^{-10}(-62.8KN) \quad (23)$$

$$\delta c = 46.3 \cdot 10^{-6}m \quad (24)$$

4.2 Solución con Ansys

Al abrir la herramienta **Mechanical APDL** se encontrara con la siguiente ventana.

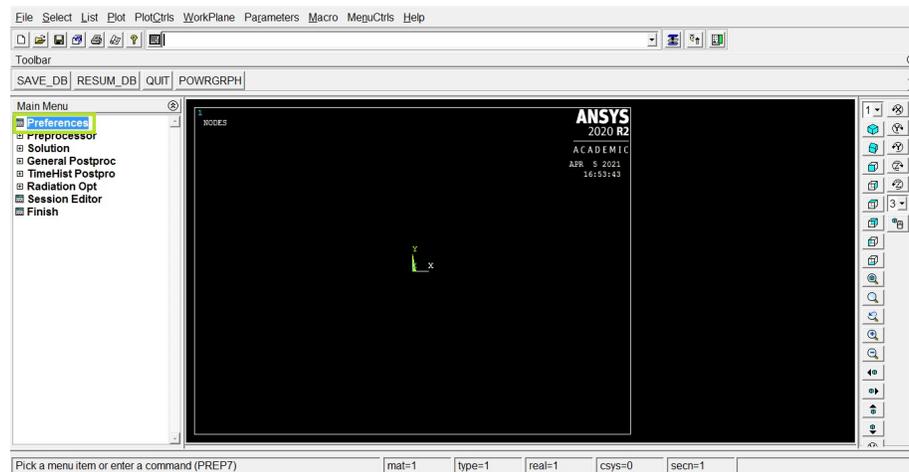


Figure 7: Elaboración propia

Para dar solución a los problemas use las herramientas de **Main Menu**; en **Preference** indique el tipo de análisis que va a realizar, en **Preprocessor** se define el material, las dimensiones del elemento y otras características que serán explicadas con más detalle a continuación:

Después de seleccionar **Preference** (para abrirlo solo debe hacer un clic sobre la opción) aparecerá la siguiente ventana.

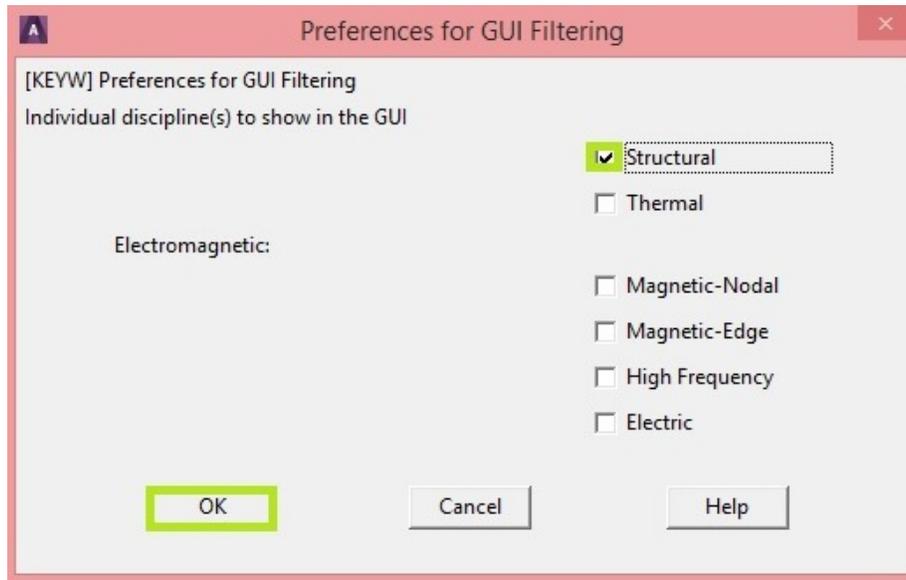


Figure 8: Elaboracion propia

Para este caso debe seleccionar la opción **Structural**, una vez que el recuadro que aparece frente a este se marque con el simbolo de check podra presionar **ok**

El siguiente paso es determinar las características del material, primero defina el **Element type**, este es propio del programa y se debe seleccionar según las características del modelo que va a analizar. En este caso se usara el elemento tipo **Beam 188** este es un elemento tipo viga, ideal para figuras en las que la longitud es la medida mas destacada. Para eso seleccione las siguientes opciones; **Preprocessor, Element type, Add, Eddit, Delate**

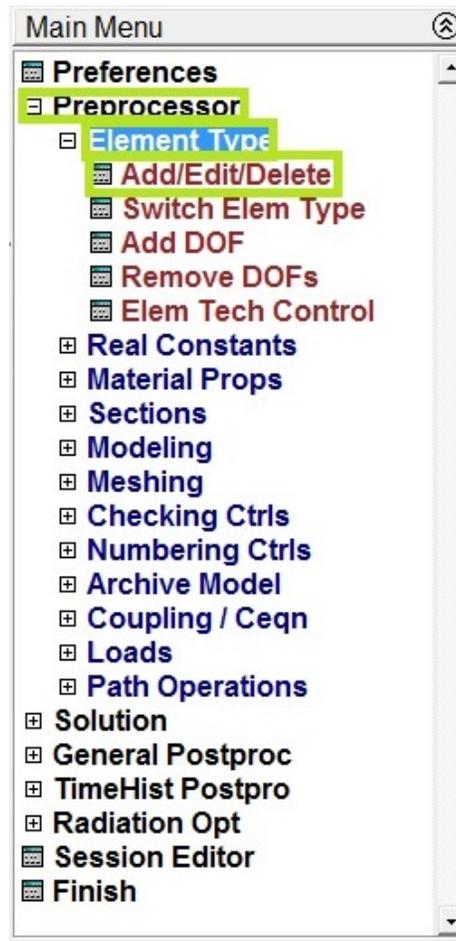


Figure 9: Elaboracion Propia

Al seleccionar **Add, Eddit, Delate** aparecerá la siguiente ventana:

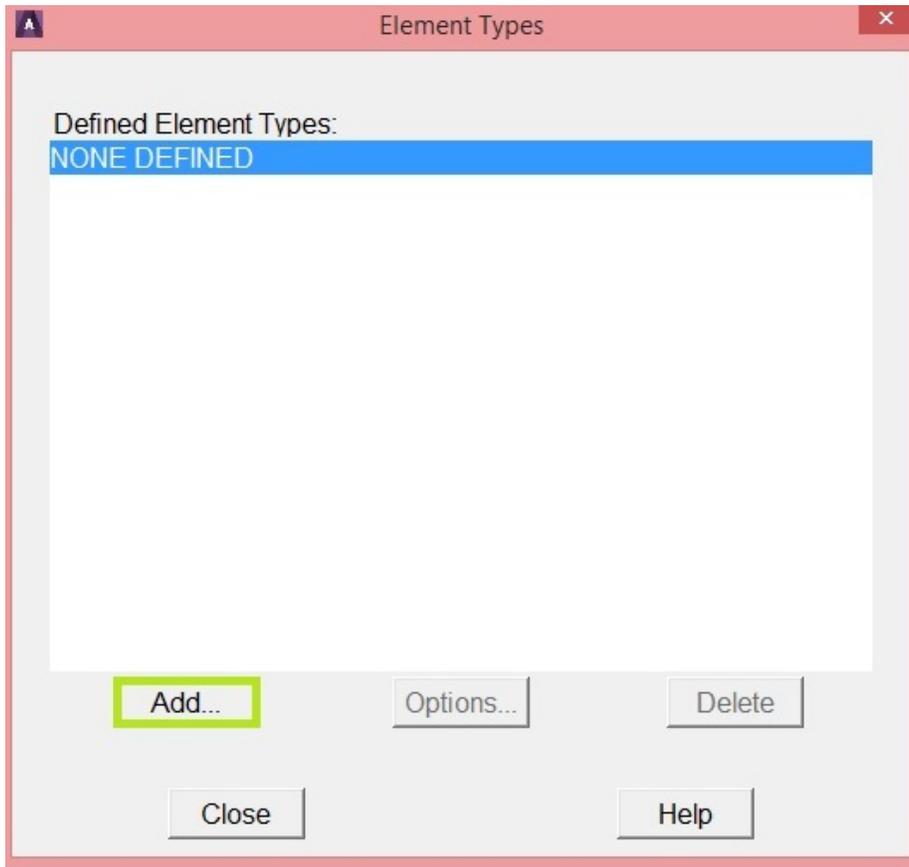


Figure 10: Elaboracion Propia

Seleccione **Add** para abrir la Librería de elementos. Una vez hecho esto debe seleccionar **Beam, 2 node 188** , después **ok** y por ultimo seleccionar **Close** para cerrar la ventana de Element type.

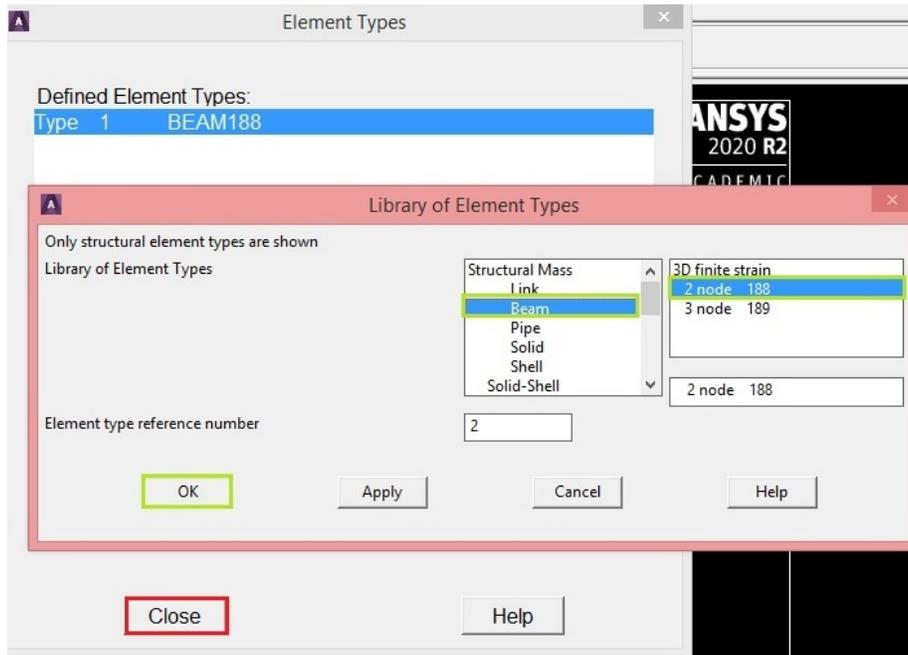


Figure 11: Elaboracion Propia

El siguiente paso es definir las propiedades del material, para esto debe permanecer en la pestaña de Preprocessor y seleccionar la opción **Material props** despues haga click en **Material model**.

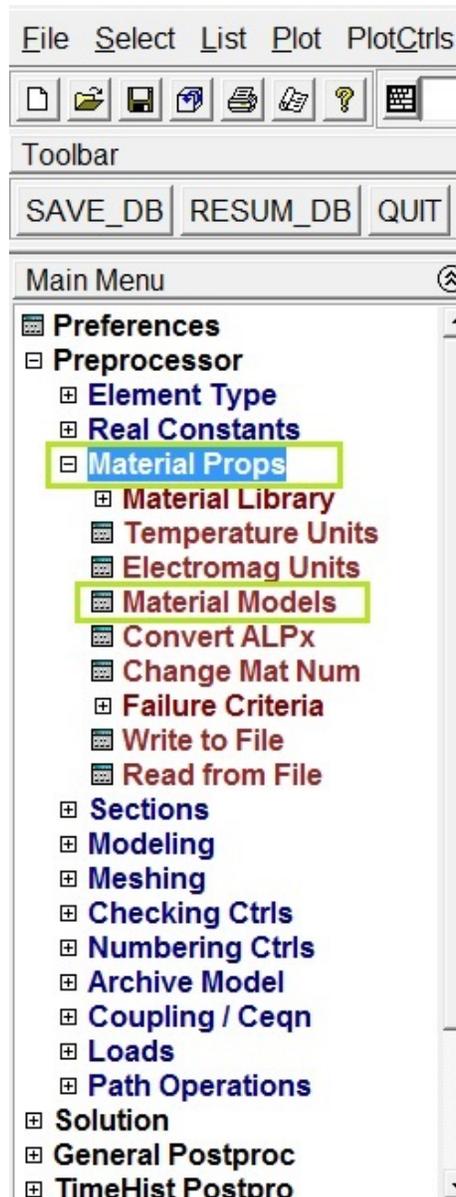


Figure 12: Elaboracion Propia

Lo que debe hacer a continuación es seleccionar , **Structural, Liner, Elastic, Isotropic** :

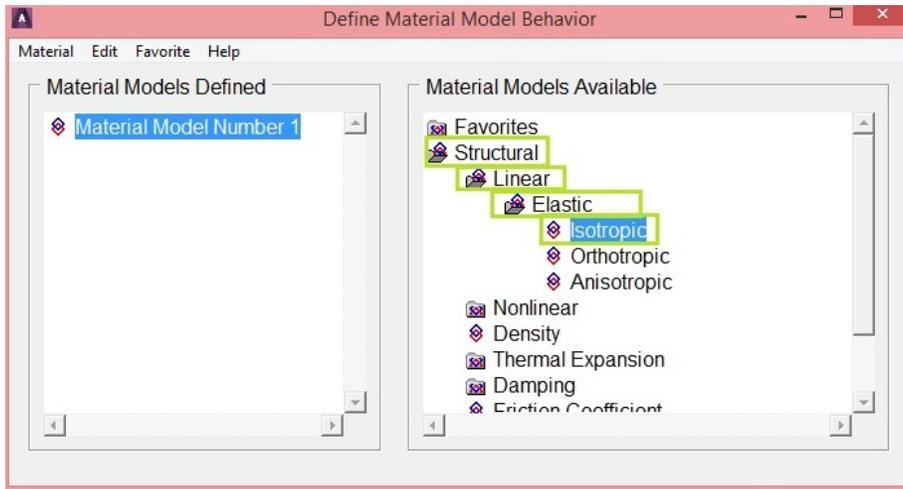


Figure 13: Elaboracion Propia

Ahora se mostrara una ventana en la que debe indicar el modulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson del material.

El material numero 1 tiene un modulo de elasticidad $E=200$ Gpa y para acero el coeficiente de poisson es 0.3

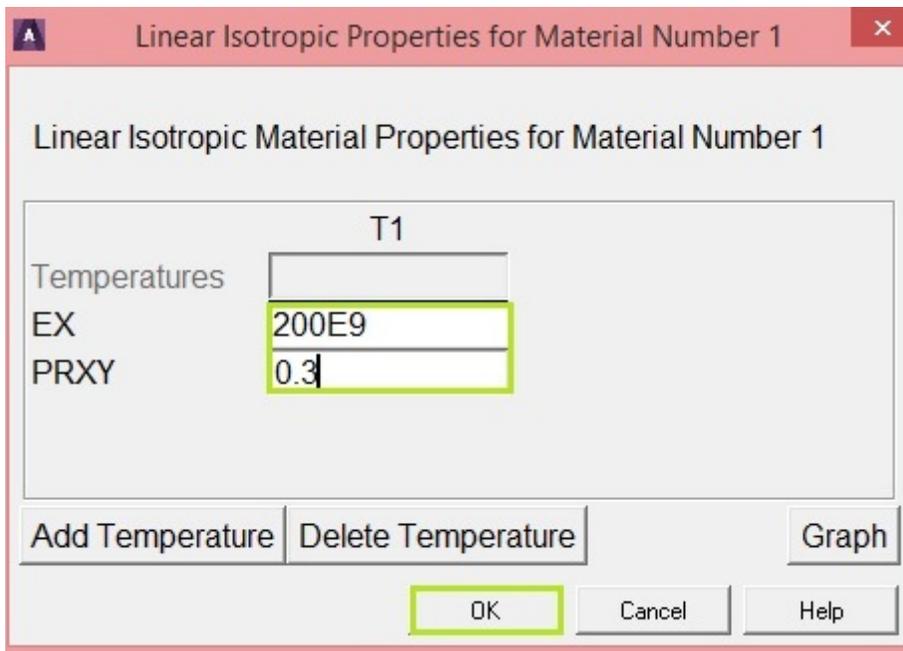


Figure 14: Elaboracion Propia

una vez suministrados estos datos pulse **ok**, la ventana Linear Isotropic Properties se cerrara pero usted seguira viendo la Define Material Model, es necesario que aun no la cierre pues, para este ejercicio se tienen dos materiales, por lo que debe generar un segundo Material Model, para esto siga estos pasos;

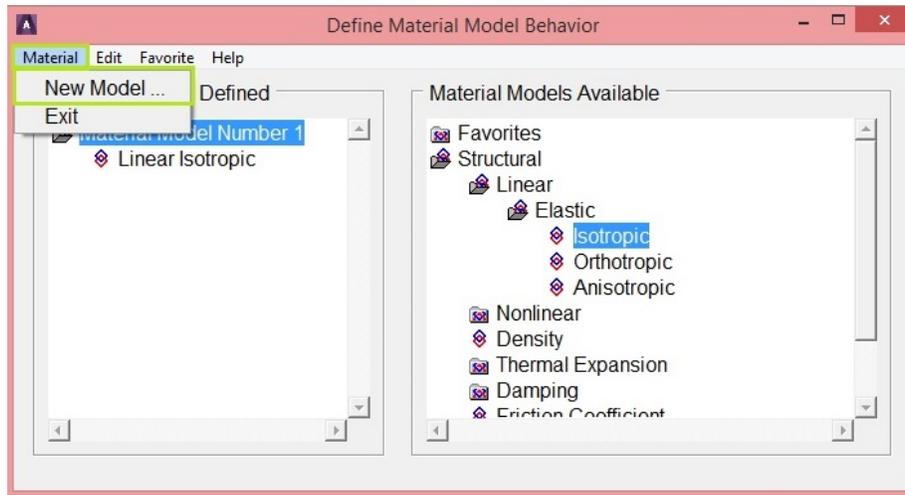


Figure 15: Elaboracion Propia

Al seleccionar New model aparecera una ventana para definir un segundo material, de click en ok para generarlo.

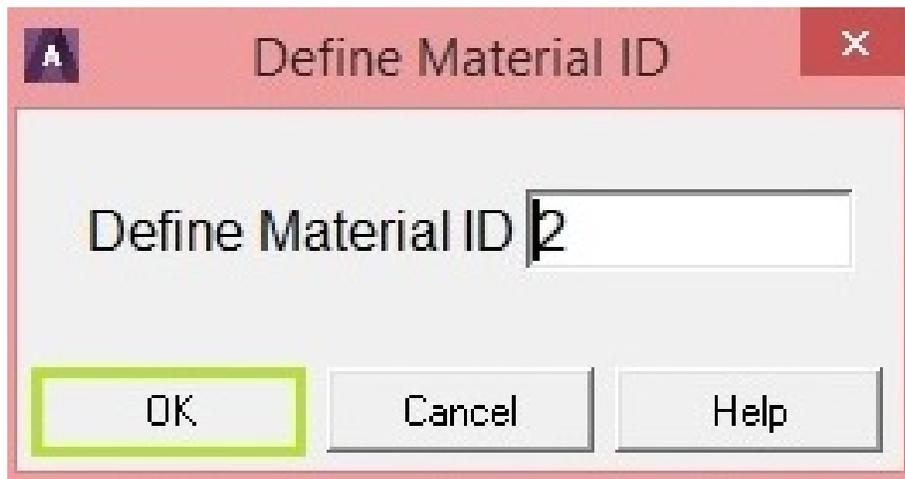


Figure 16: Elaboracion Propia

Seleccione **Isotropic** y suministre los datos del segundo material. En este

caso $E= 105\text{Gpa}$ y coeficiente de poisson de 0.35.

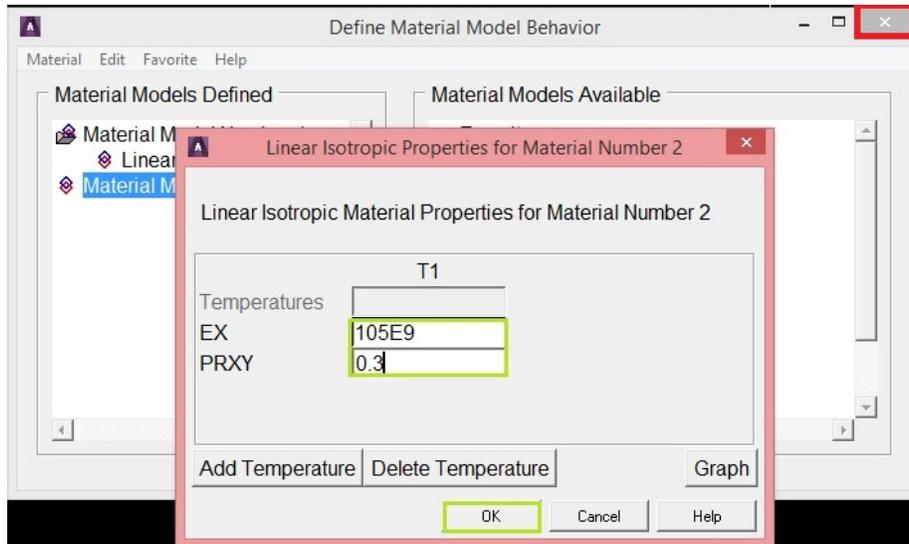


Figure 17: Elaboracion Propia

Presione ok y cierre las ventanas Liner isotropic y Define material Model. Como habra notado no se indicaron unidades para el modulo de elasticidad, esto es debido a que Ansys no trabaja con unidades por lo que usted debe tener presente durante todo el desarrollo del ejercicio las unidades que maneja, en este tutorial se usaran metros y newtons.

Ahora que están definidas las propiedades del material se deben definir las secciones. Para esto seleccione **Sections** , **Beam** , **Common Sections**

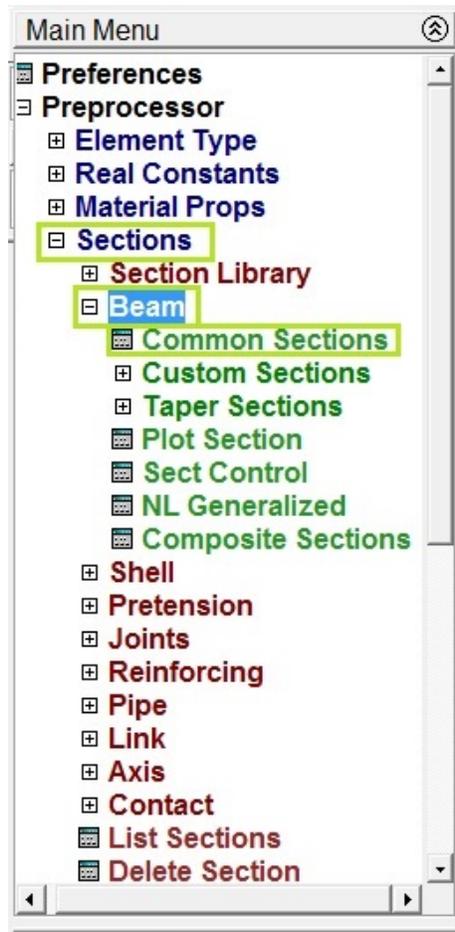


Figure 18: Elaboracion Propia

Despues de eso se mostrará la siguiente ventana.

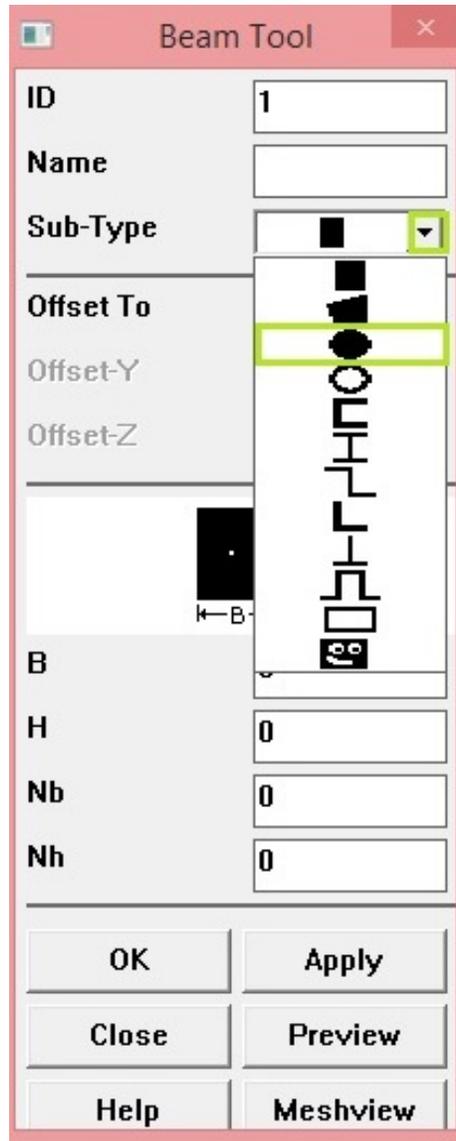


Figure 19: Elaboracion Propia

Aquí debe seleccionar el tipo de perfil, para este caso uno circular macizo. Luego se proporciona la información requerida según el perfil seleccionado, el radio que para la primera sección tiene un valor de 0.02 m

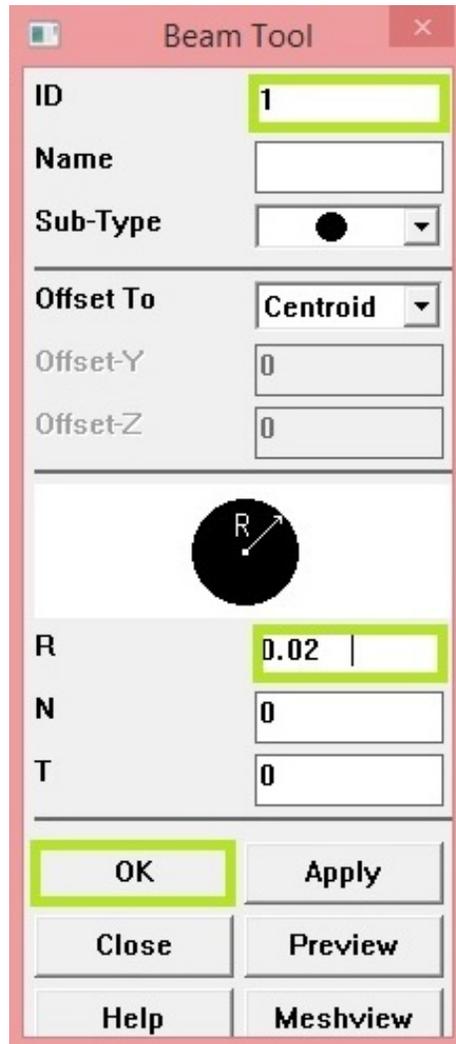


Figure 20: Elaboracion Propia

Al presionar ok se cerrara la pestaña por lo que debe seleccionar de nuevo la opcion **Common Sections**, esto con el fin de generar el segundo perfil.

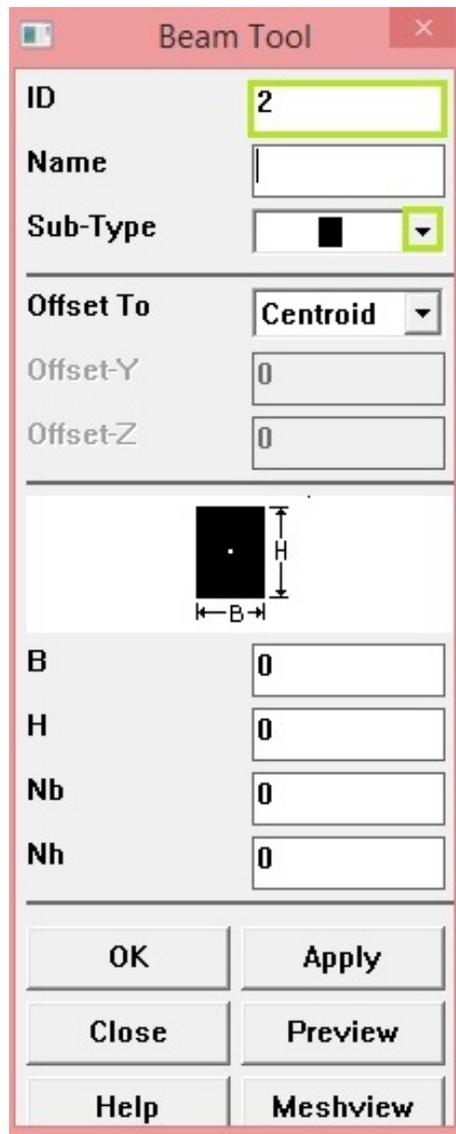


Figure 21: Elaboracion Propia

El segundo elemento tiene un radio de 0.015 m

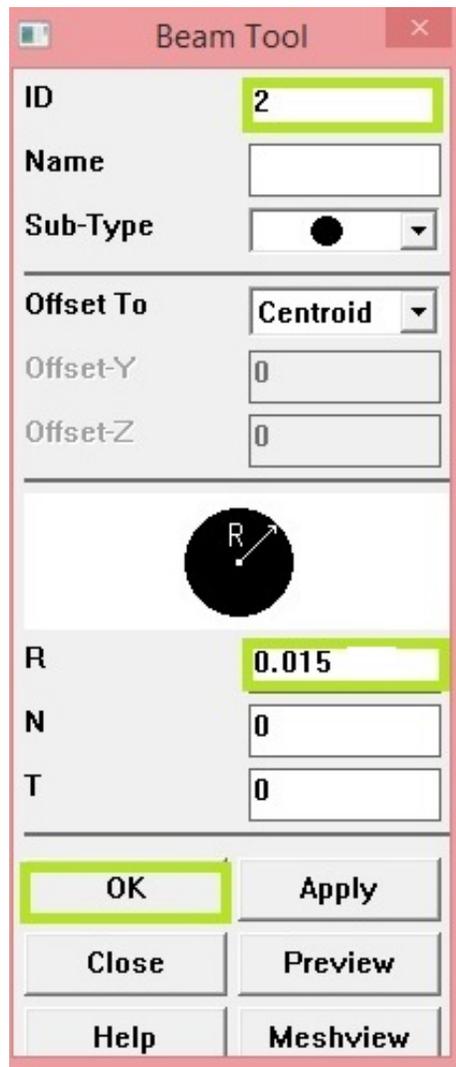


Figure 22: Elaboracion Propia

Ahora que tiene las secciones es momento de modelar el elemento, esto se hace seleccionando **Modeling Create, Nodes, In Active CS**

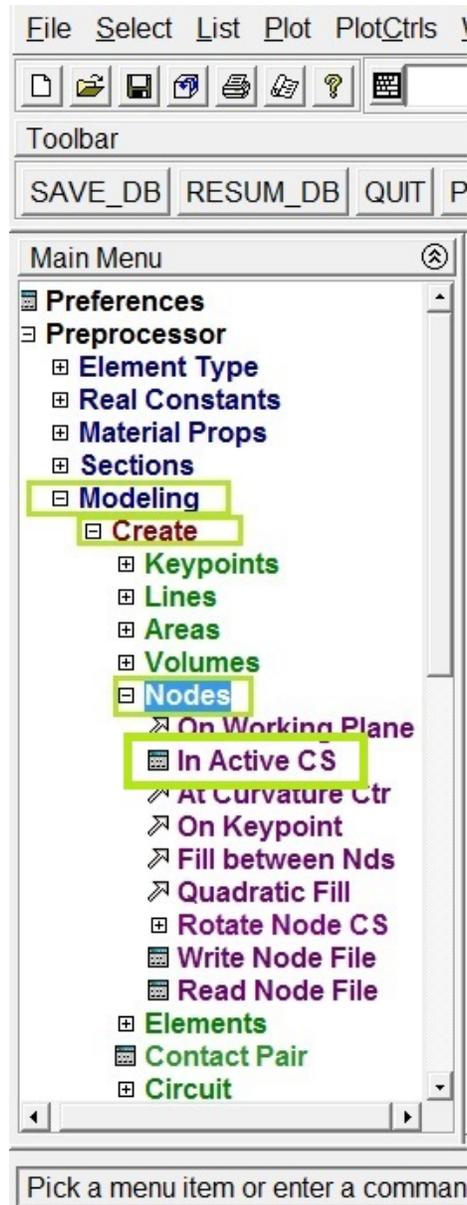


Figure 23: Elaboracion propia

Esta función desplegara una ventana en la que debe indicar el numero del nodo y su cordenada.

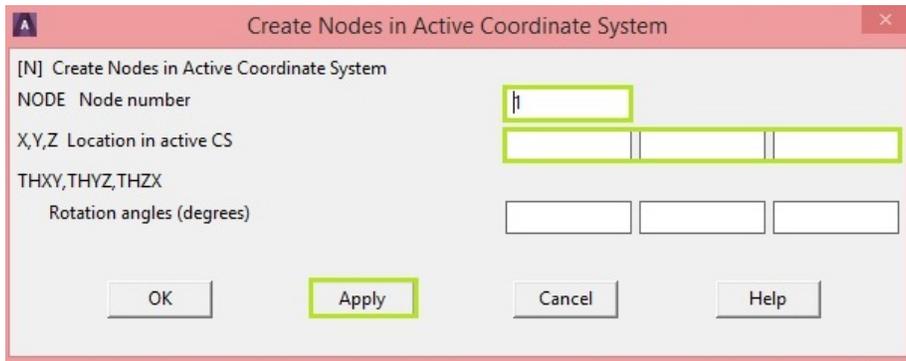


Figure 24: Elaboracion propia

Este primer nodo sera el origen de coordenadas,por lo que los valores para los ejes seran cero, en este caso no es necesario escribir el valor en la casilla correspondiente, pues Ansys toma un recuadro en blanco como cero.

Para generar el nodo seleccione la opción **Apply**. Ahora para crear el siguiente nodo tiene que cambiar el 1 que se encuentra en la opcion de Node number por un 2 y en el recuadro inferior asignar la coordenada correspondiente.

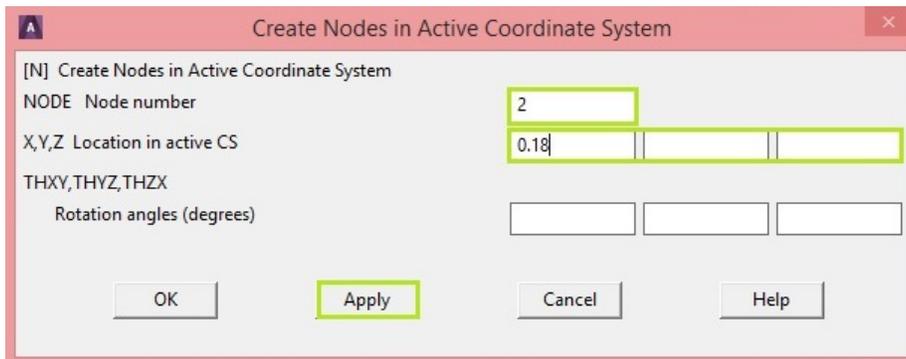


Figure 25: Elaboracion propia

Recuerde que una casilla en blanco equivale a un cero.

Este proceso debe repetirse cuantas veces sea necesario, cambiando el numero del nodo por uno siguiente al recién creado y dando el valor de la coordenada.

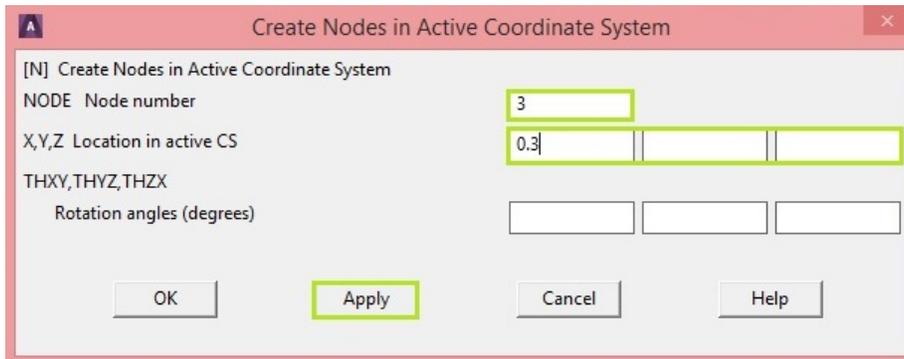


Figure 26: Elaboracion propia

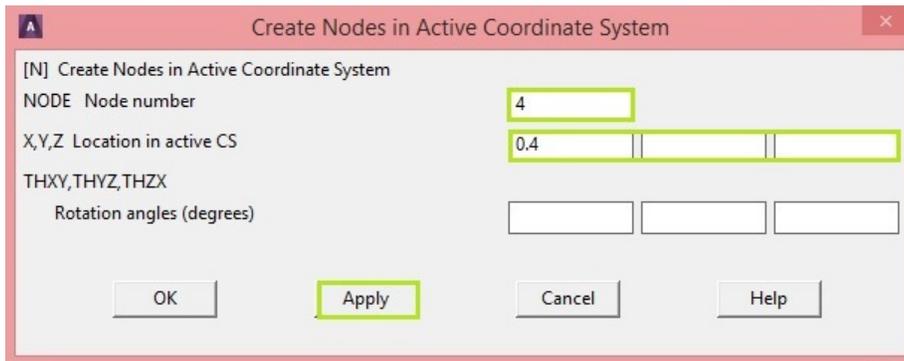


Figure 27: Elaboracion propia

Para el ultimo nodo una vez que suministre los datos presione **ok** en lugar de **Apply**

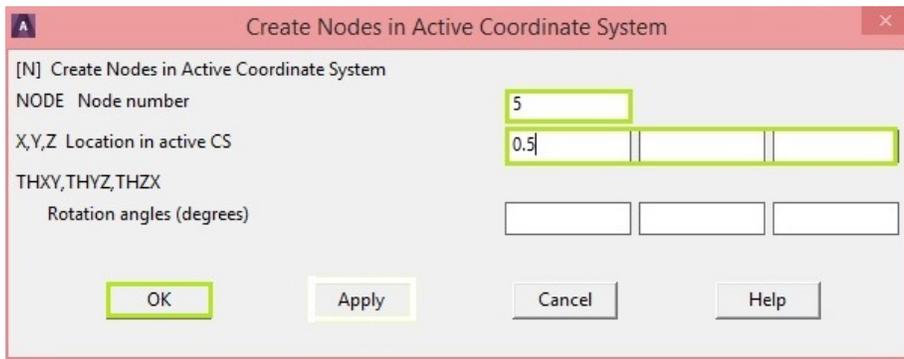


Figure 28: Elaboracion propia

Ahora que se tienen los nodos debe unirlos, para esto debe seleccionar **Elements**



Figure 29: Elaboracion propia

En este ejercicio se indica que se tienen dos elementos de diferente materiales, por lo que debe seleccionar el adecuado para cada sección. Esto se puede hacer dando click en **Elem Attributes**

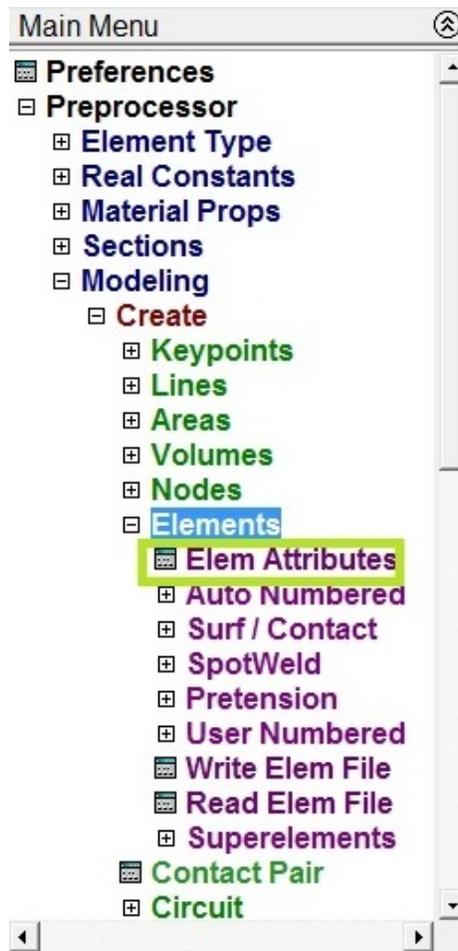


Figure 30: Elaboración propia

Aparecerá la siguiente pestaña y en las opciones **Material Number** y **Section Number** Debe seleccionar el material y la sección correspondiente. Después presione **OK**

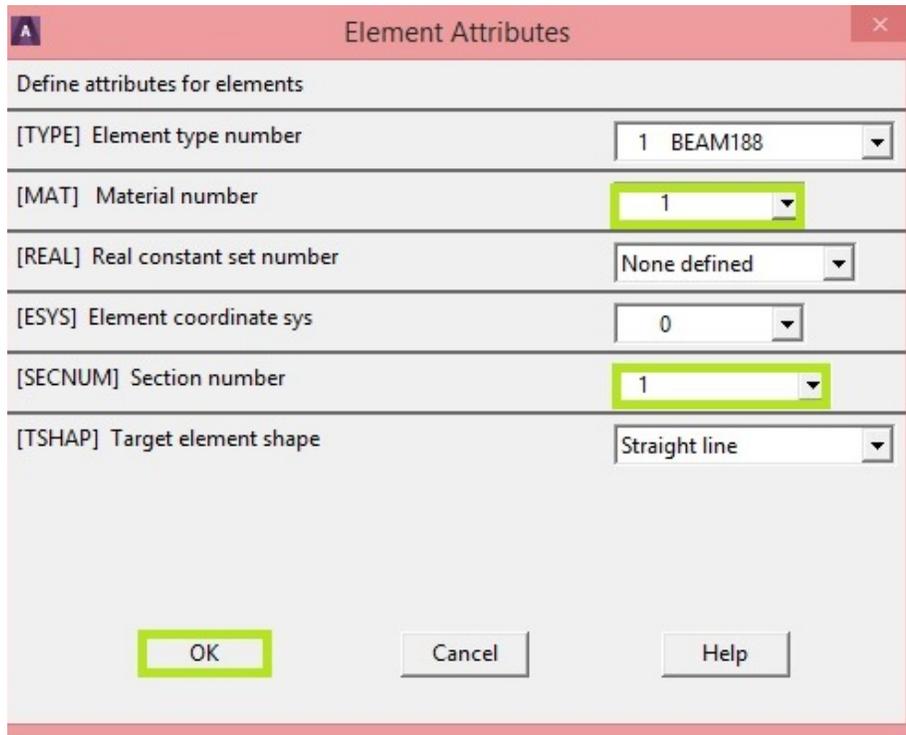


Figure 31: Elaboración propia

Ahora debe seleccionar la opción **Auto Numbered** y despues **Thru Nodes**

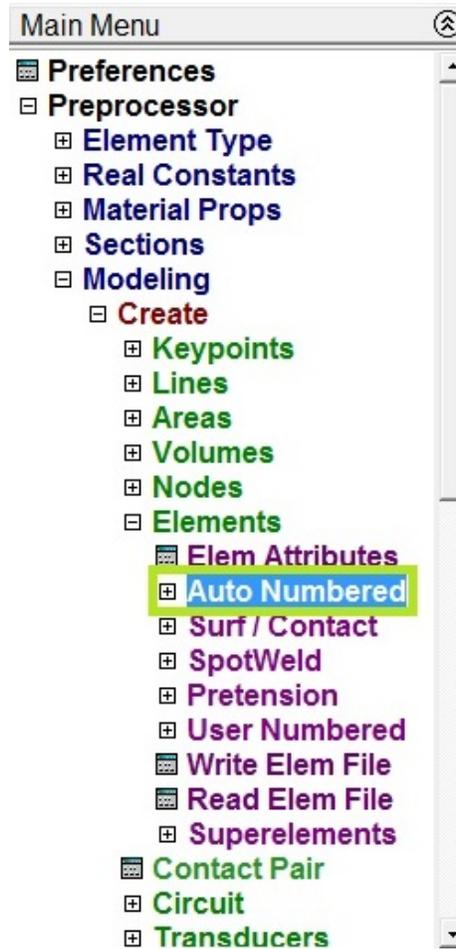


Figure 32: Elaboración propia

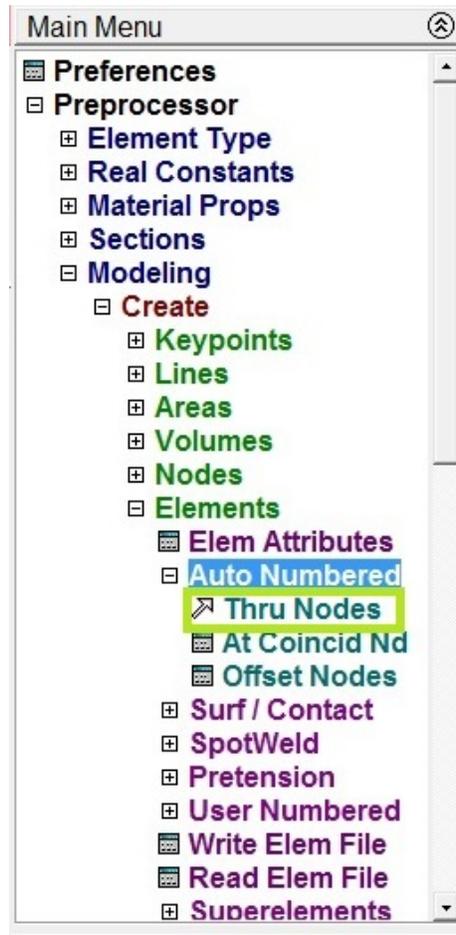


Figure 33: Elaboración propia

Ahora que tiene el material y la sección seleccione los nodos que componen esa pieza, es importante que seleccione el nodo solo una vez para no generar errores, una vez que seleccione los dos primeros nodos de click en **Apply** y después seleccione los nodos siguientes de esa sección, de click en **OK** para terminar este paso.

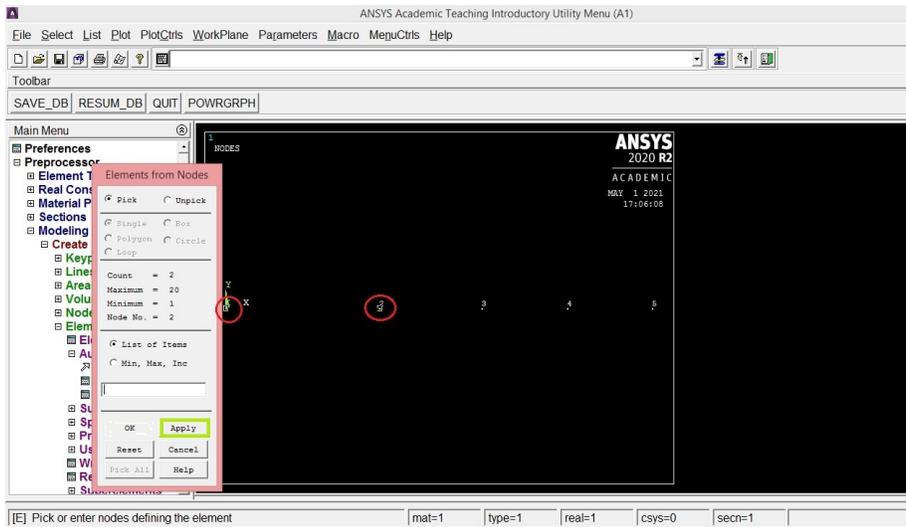


Figure 34: Elaboración propia

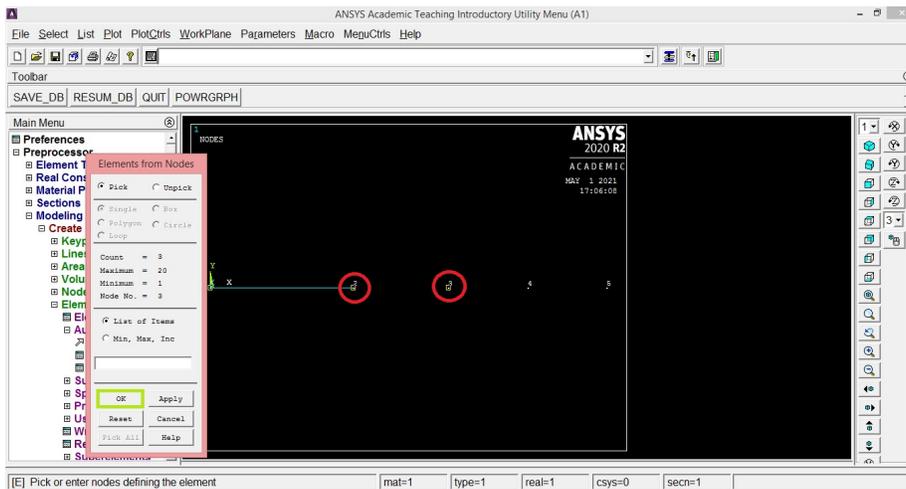


Figure 35: Elaboración propia

Para el segundo elemento debe hacer un cambio en el material y la sección, para esto debe hacer click en **Elem Attributes**, se desplegara la pestaña de **Material Number** y **Section number** y en cada una de estas elegirá la opción 2.

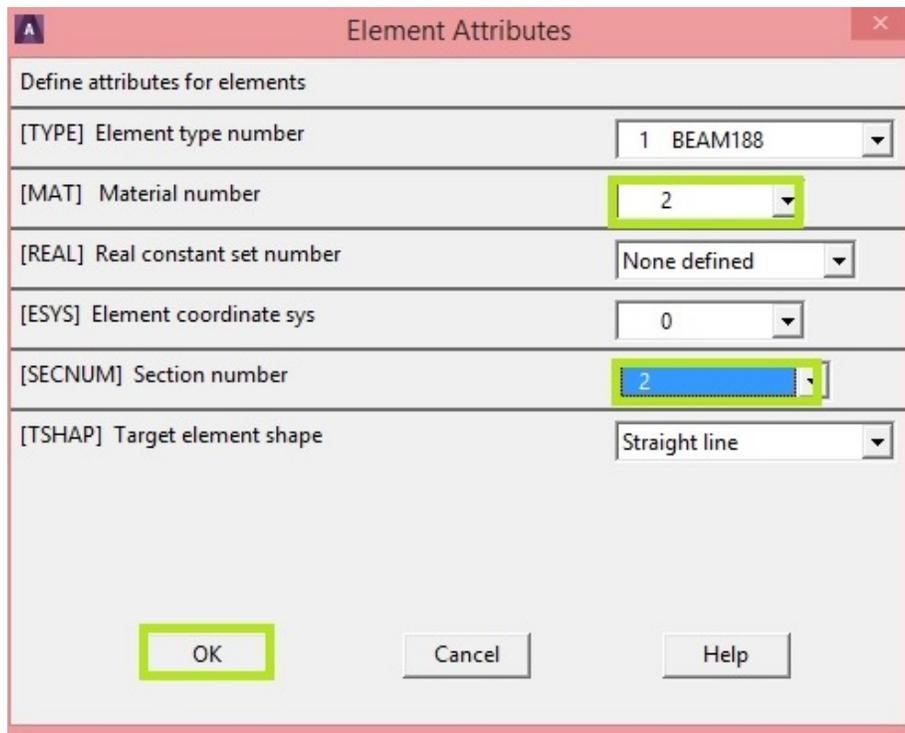


Figure 36: Elaboración propia

Igual a los pasos que siguió para unir los nodos del elemento uno, debe hacer click en **Tru Nodes** y seleccionar uno a uno los nodos que componen el elemento.

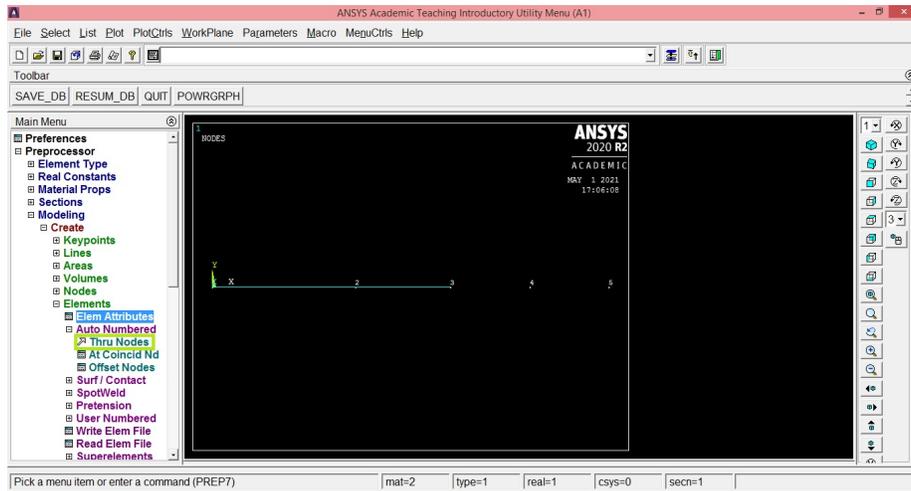


Figure 37: Elaboración propia

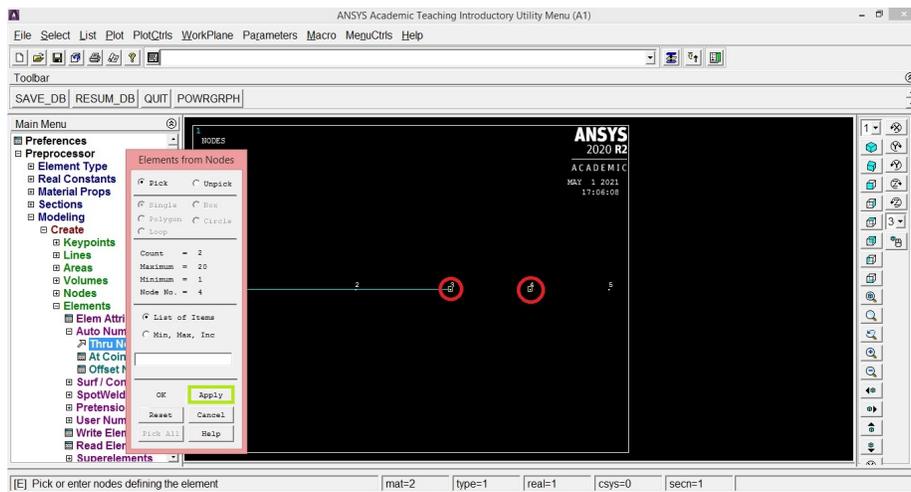


Figure 38: Elaboración propia

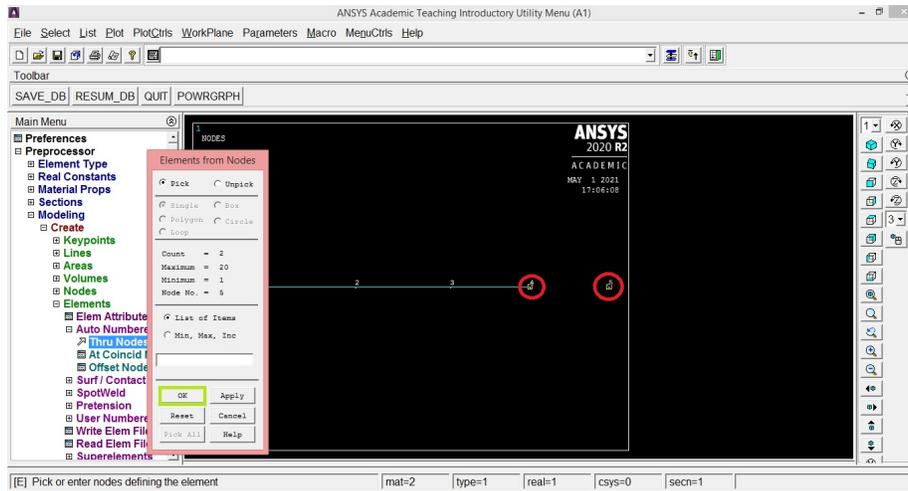


Figure 39: Elaboración propia

Ya que se ha modelado la pieza es momento de definir las restricciones y las cargas. Para eso use la herramienta **Loads**, primero defina las restricciones, una vez que seleccione **Loads** de click en **Apply**, **Structural**, **Displacement**, **On Nodes**

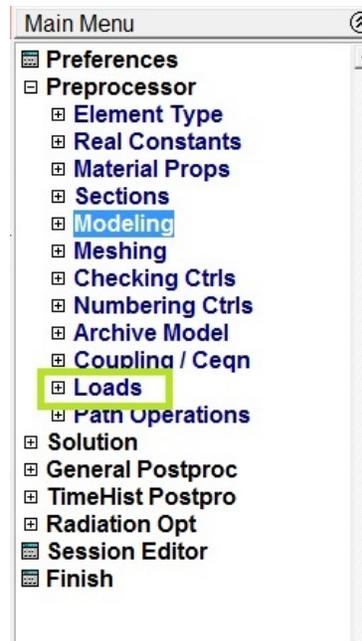


Figure 40: Elaboración propia



Figure 41: Elaboración propia

Se seleccionan los nodos que deben estar restringido y se da Click en **OK**

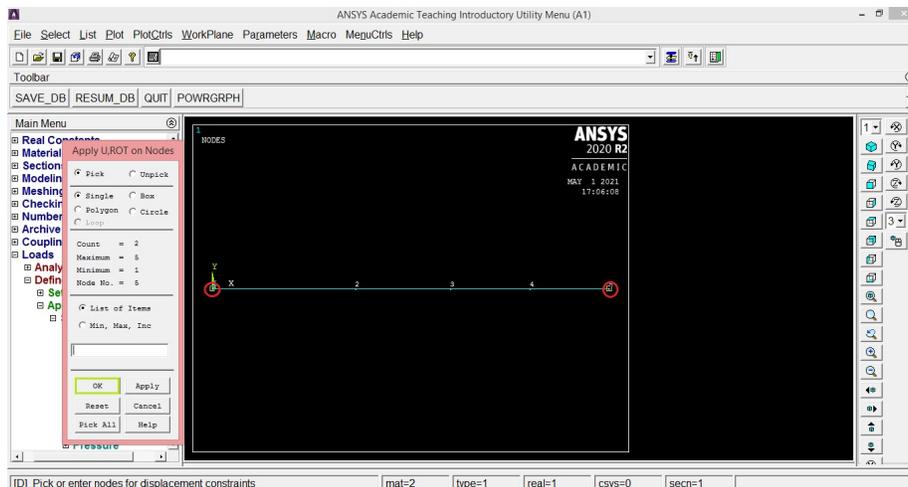


Figure 42: Elaboración propia

Se abra una ventana en la que podrá indicar la dirección del desplazamiento, en este caso los extremos están empotrados por lo que debe seleccionar la opción **All Dof** y dejar la casilla de **Value** en blanco. Dando **OK** para crear la restricción.

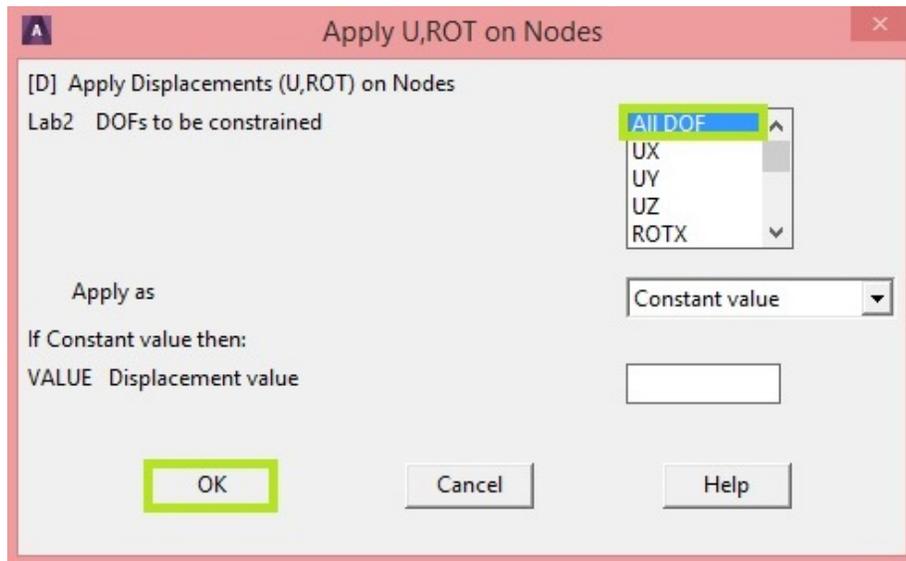


Figure 43: Elaboración propia

Para generar las fuerzas seleccione la opción **Force/Moment, On Nodes**



Figure 44: Elaboración propia

Luego seleccione el nodo en que se ejerce la fuerza y pulse **Apply**

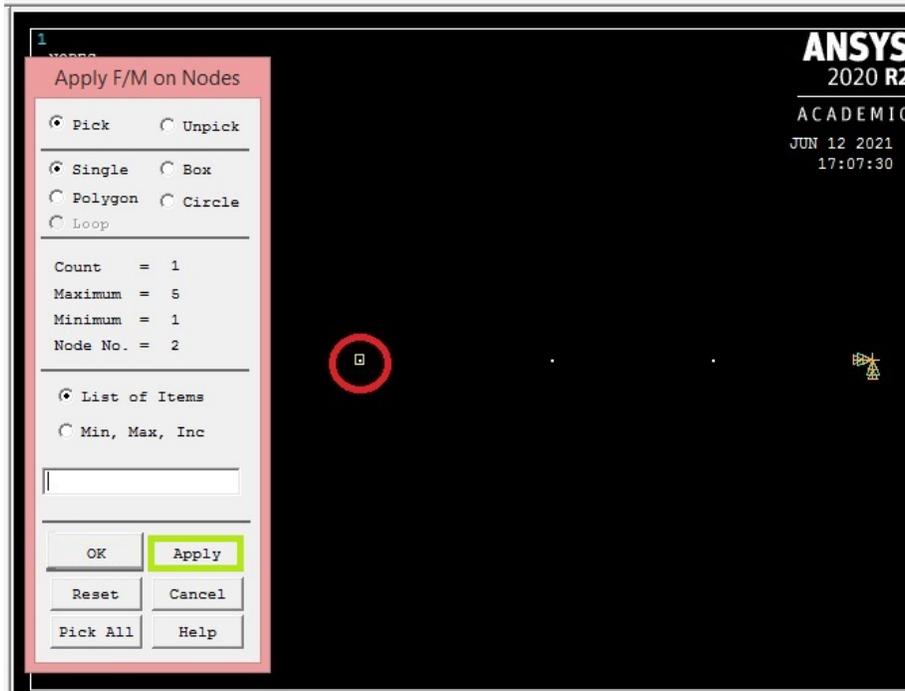


Figure 45: Elaboración propia

En la ventana emergente seleccione la dirección de aplicación de la fuerza y su magnitud. De click en **Apply** para crear la fuerza.

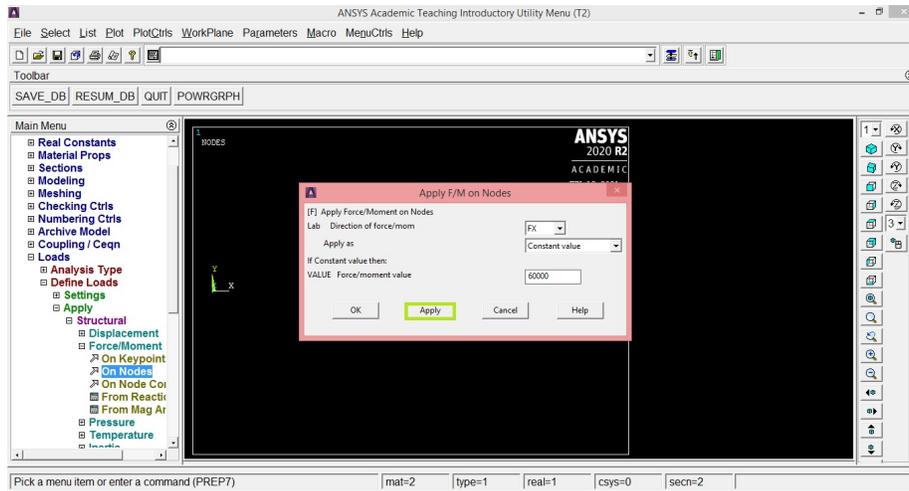


Figure 46: Elaboración propia

Para generar una segunda fuerza seleccione el nodo en que se ejerce la fuerza y de click en **ok**

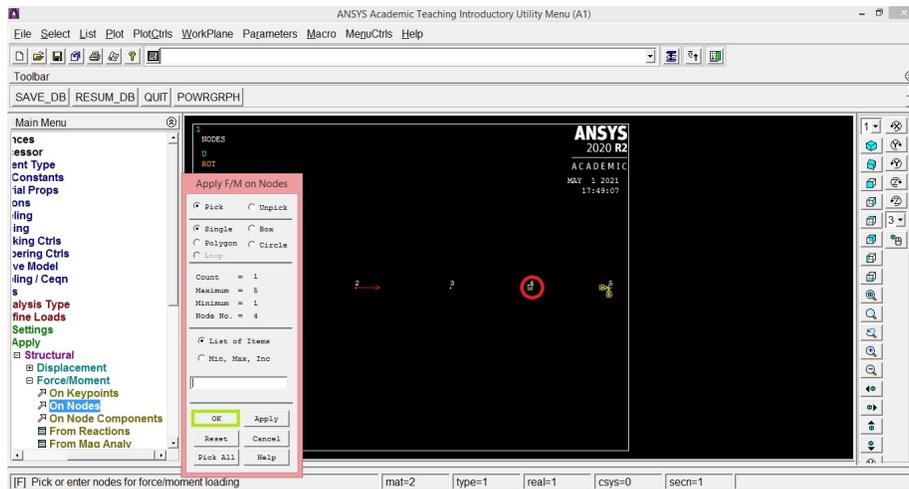


Figure 47: Elaboración propia

Suministre los datos de magnitud de la fuerza y el eje en que se aplica

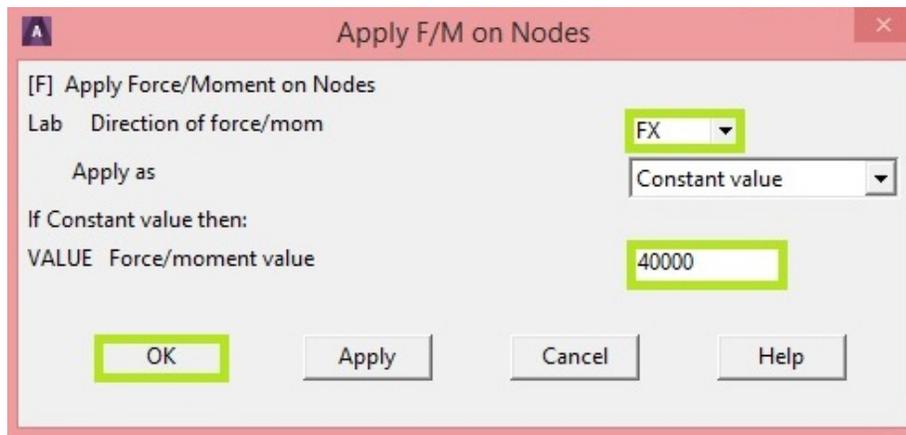


Figure 48: Elaboración propia

Sí durante el desarrollo del modelado cometió algún error puede corregirlo dando click en **Sesion Editor**, corrija el error y presione **Save** y **Ok**

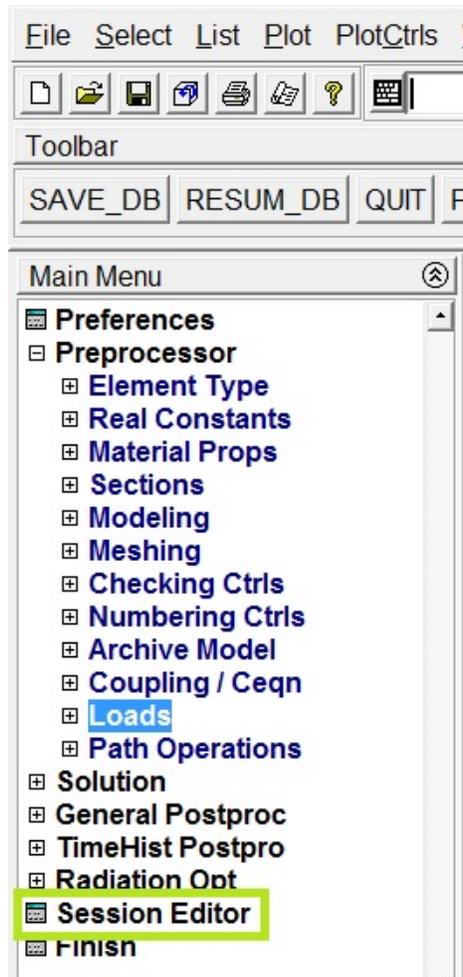


Figure 49: Elaboración propia

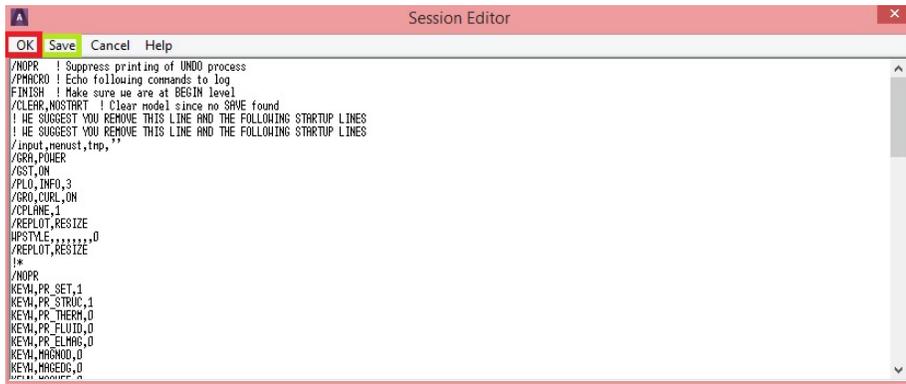


Figure 50: Elaboración propia

Esto debe hacerlo antes del siguiente paso.

Para dar solución al analisis debe dar click en la opción **Solution,Solve,Current**

LS

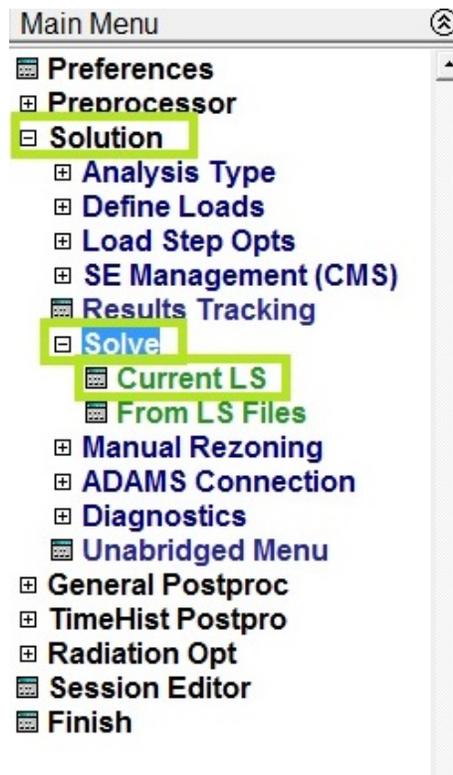


Figure 51: Elaboración propia

De click en Ok

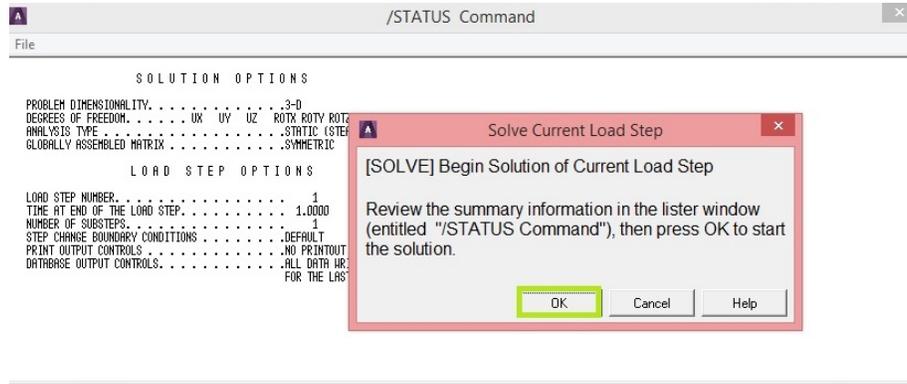


Figure 52: Elaboración propia

Si realizó correctamente todos los pasos, después de un momento debe aparecer la siguiente pestaña.

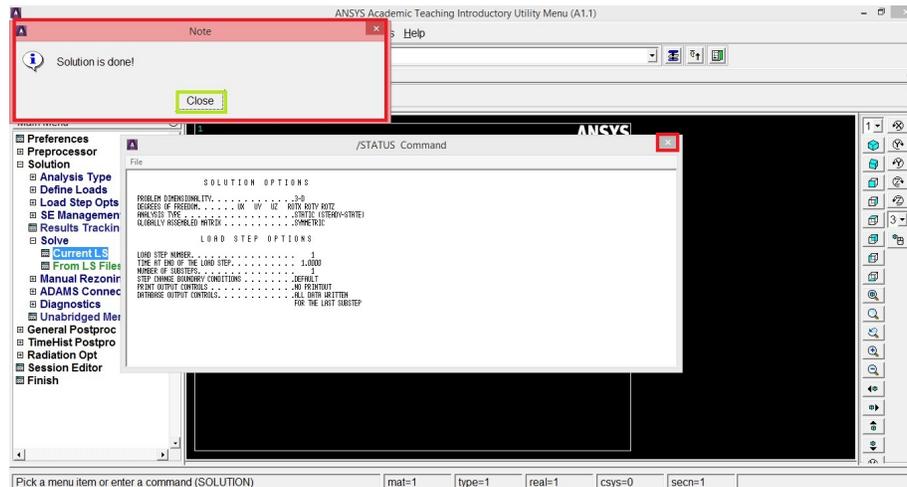


Figure 53: Elaboración propia

Presione **Close** y cierre la ventana /Status command

Presione **Close** y cierre la ventana /Status command Ahora para ver los resultados seleccione la opción **General Postproc, Plot Results, Contour Plot, Nodal Solu**



Figure 54: Elaboración propia

Seleccione **Dof solution** y después **Displacement Vector sum**

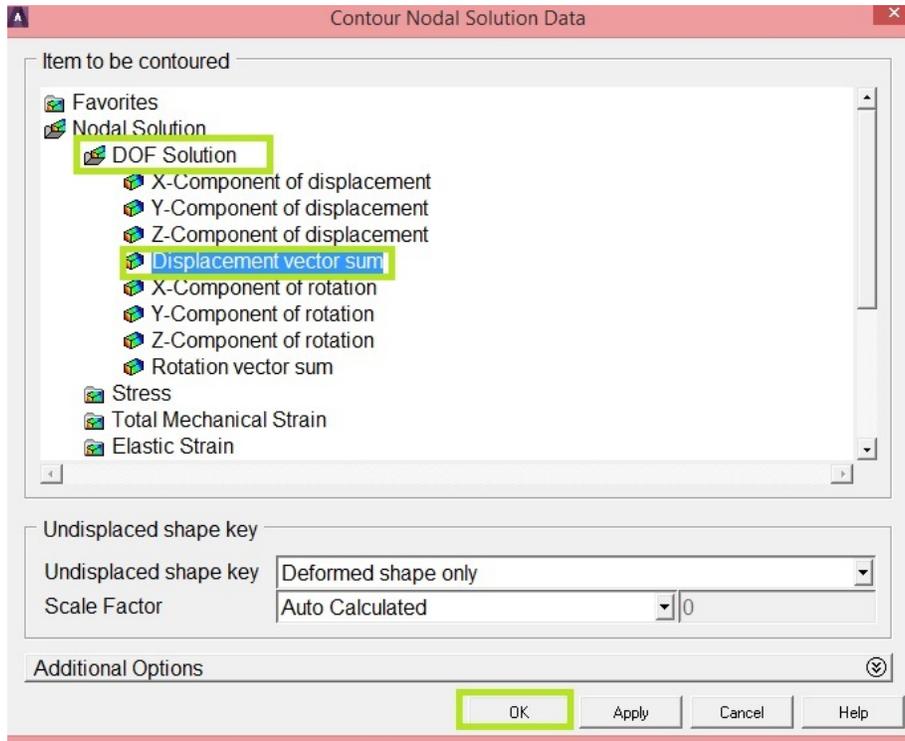


Figure 55: Elaboración propia

Ansys mostrara el elemento con los respectivos desplazamientos.



Figure 56: Elaboración propia

El problema nos pide determinar las reacciones en A y E y la deflexión en el punto C. Para ver el valor de las reacciones debe seguir los siguientes pasos
 Seleccione la opción **List** ubicada en la barra superior, luego seleccione **Results** y por último **Reaction Solution**

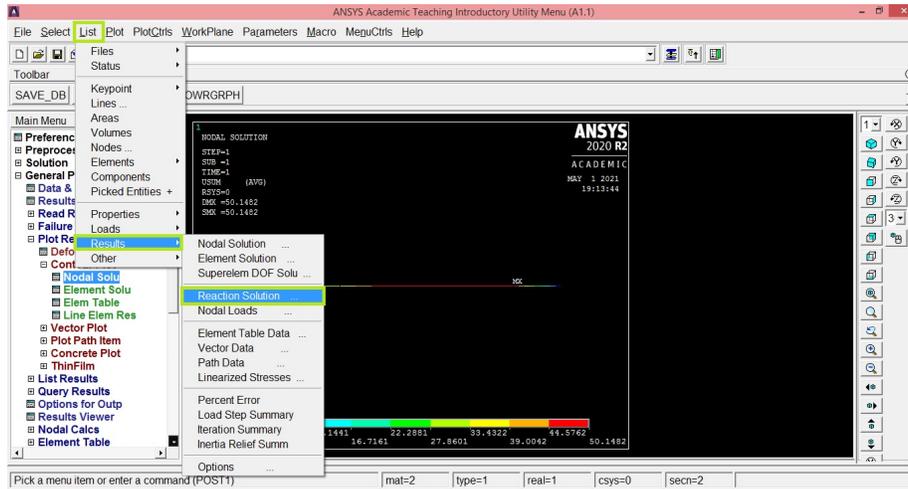


Figure 57: Elaboración propia

Se abrirá la ventana List reaction Solution, seleccione **All items** y presione **OK**

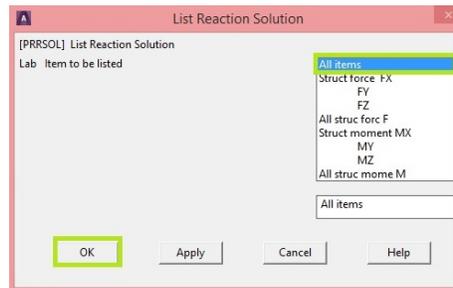


Figure 58: Elaboración propia

Ahora verá una lista con los resultados.

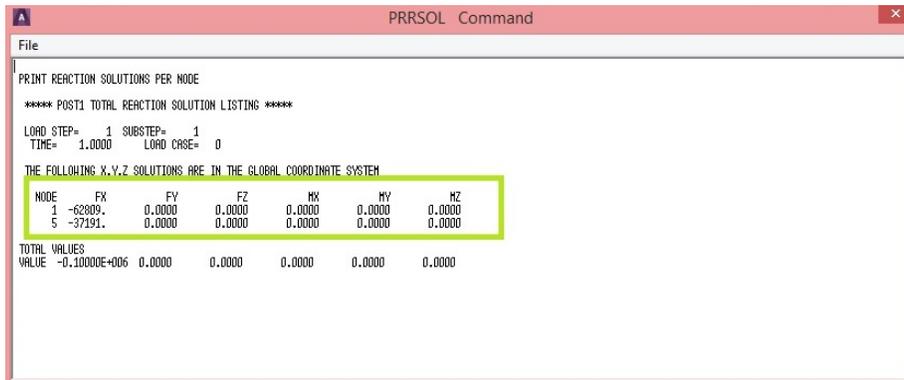


Figure 59: Elaboración propia

Para ver el valor de la deflexión regrese a la opción **General Postproc**, seleccione la opción **List Result** , **Nodal Solution**



Figure 60: Elaboración propia

Despues seleccione **Dof Solution**, **Displacement Vector sum** y por ultimo **OK**

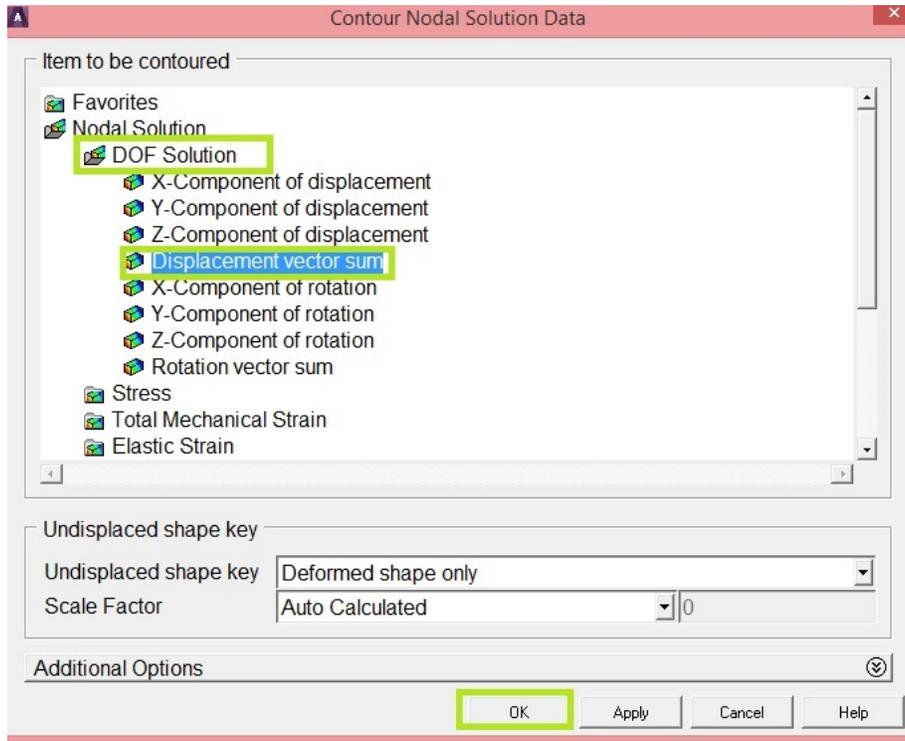


Figure 61: Elaboración propia

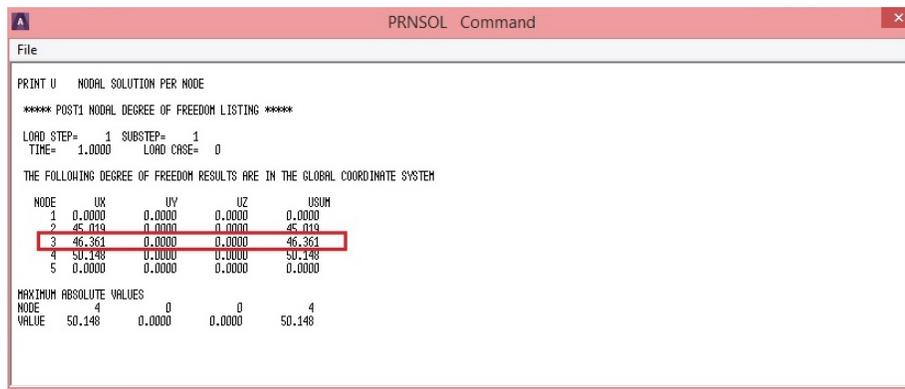


Figure 62: Elaboración propia

Como puede notar los resultados son similares a los obtenidos mediante el método analítico.

Problema 2

2.17 Dos varillas cilíndricas están unidas en B y son sometidas a la carga que se muestra en la figura. La varilla AB está hecha de acero ($E = 200$ GPa) y la varilla BC de latón ($E = 105$ GPa). Determine a) la deformación total de la varilla compuesta ABC , b) la deflexión del punto B .

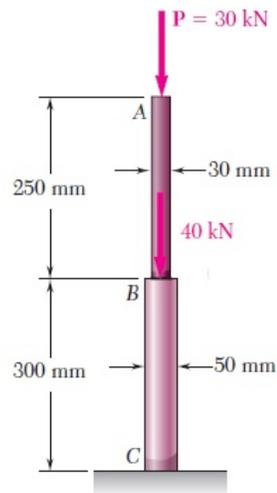


Figura P2.17

Figure 63: Problema 2.17. Beer

4.3 Solución Analítica

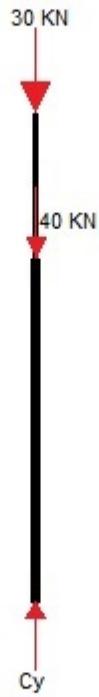


Figure 64: Elaboración propia

$$C_y - 30kN - 40KN = 0 \quad (25)$$

$$C_y = 70KN \quad (26)$$

AB



Figure 65: Elaboración propia

$$P1 = 30KN \quad (27)$$

$$\delta_{AB} = \frac{(30000N) \cdot (0.25)}{(7.06858 \cdot 10^{-4}) \cdot (200 \cdot 10^9 \frac{N}{m^2})} \quad (28)$$

$$= 5.30517 \cdot 10^{-5}m \quad (29)$$

BC

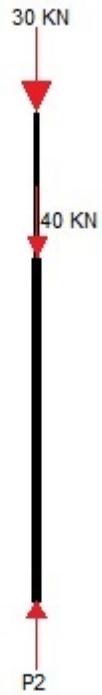


Figure 66: Elaboración propia

$$P2 = 70KN \quad (30)$$

$$\delta_{AB} = \frac{(70000N) \cdot (0.3m)}{(1.9635 \cdot 10^{-3}) \cdot (105 \cdot 10^9 \frac{N}{m^2})} \quad (31)$$

$$\delta_{BC} = 1.01859 \cdot 10^{-4}m \quad (32)$$

La deformación total de la varilla ABC es :

$$\delta_{ABC} = \delta_{AB} + \delta_{BC} \quad (33)$$

$$= 5.30517 \cdot 10^{-5} + 1.01859 \cdot 10^{-9} \quad (34)$$

$$= 1.549107 \cdot 10^{-4}m \quad (35)$$

Deflexion del punto B

$$= 1.01859 \cdot 10^{-4}m \quad (36)$$

4.4 Solución con Ansys

Los primeros pasos son similares a los del primer tutorial, seleccione el tipo de analisis y el tipo de elemento. Para analisis recuerde dar un clic en **Preferences** y seleccionar **Structural**

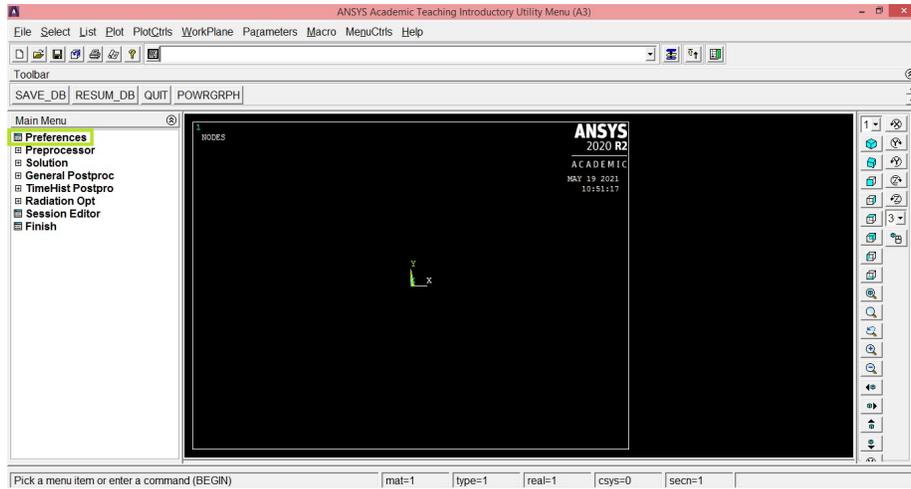


Figure 67: Elaboración propia

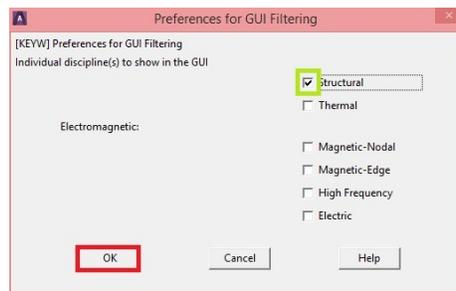


Figure 68: Elaboración propia

Para el tipo de elemento debe seleccionar **Preprocessor**, **Element Type** y **Add/Edit/Delete**



Figure 69: Elaboración propia

De click en **Add**

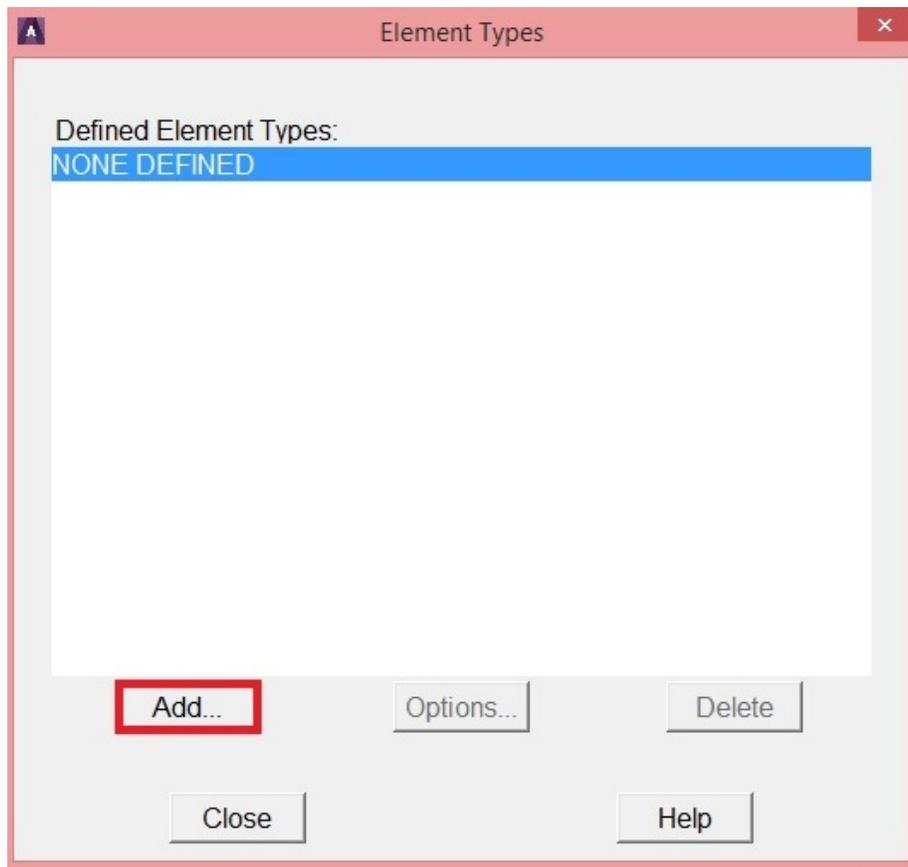


Figure 70: Elaboración propia

Seleccione **Beam**, **Beam 188** y despues **OK**

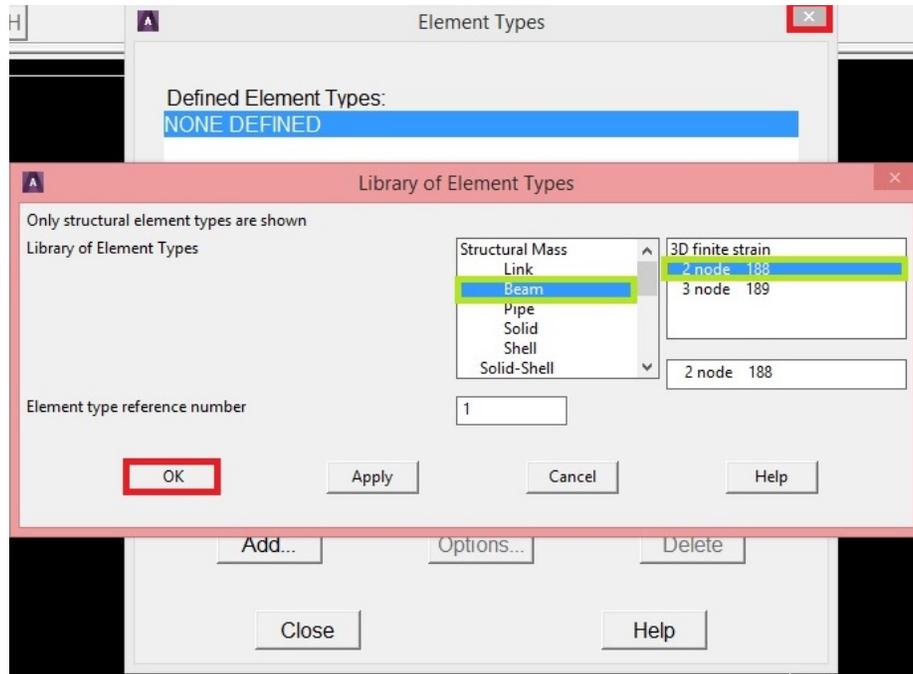


Figure 71: Elaboración propia

Para definir el material seleccione la opción **Material Props** , **Material Models**

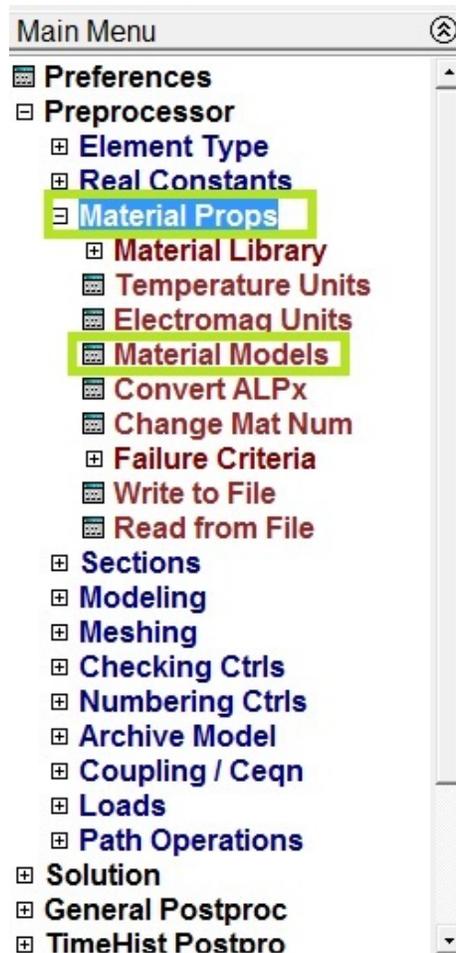


Figure 72: Elaboración propia

Recuerde que para definir dos materiales los pasos son los siguientes.

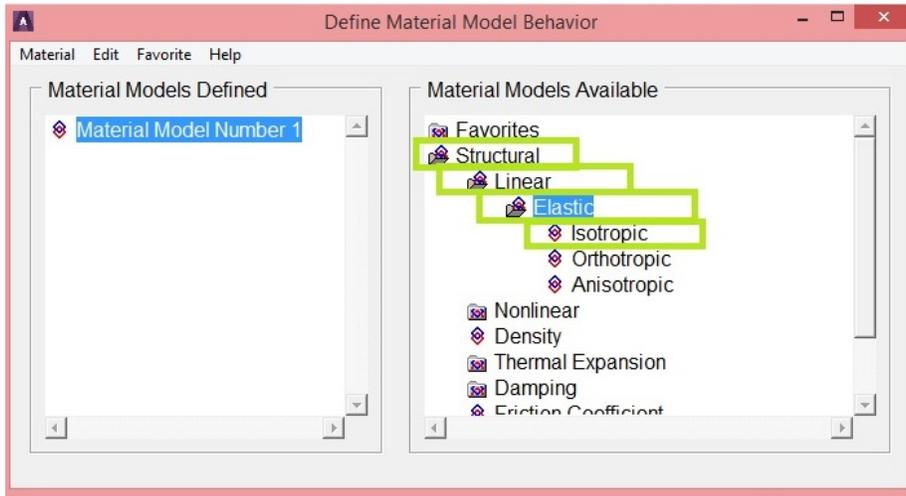


Figure 73: Elaboración propia

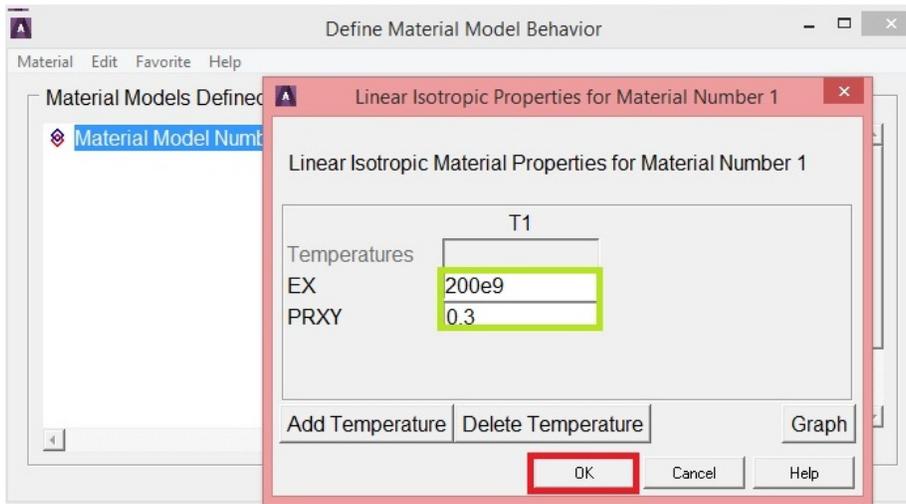


Figure 74: Elaboración propia

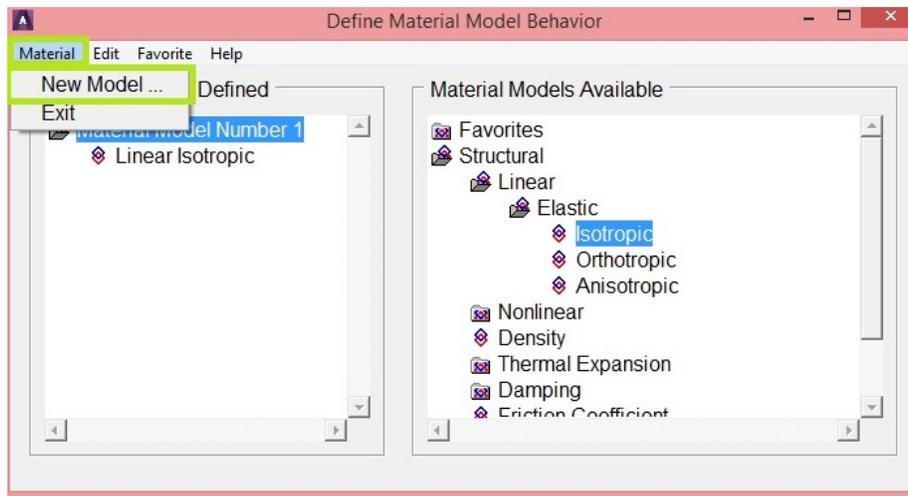


Figure 75: Elaboración propia

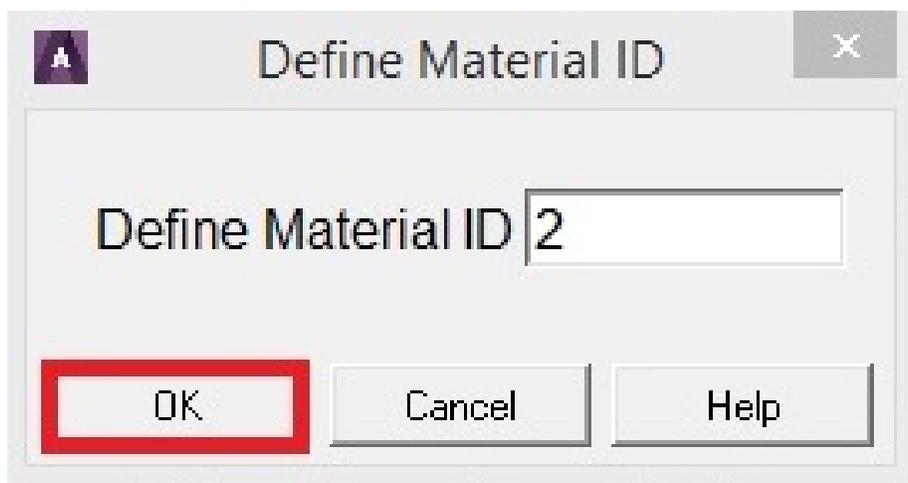


Figure 76: Elaboración propia

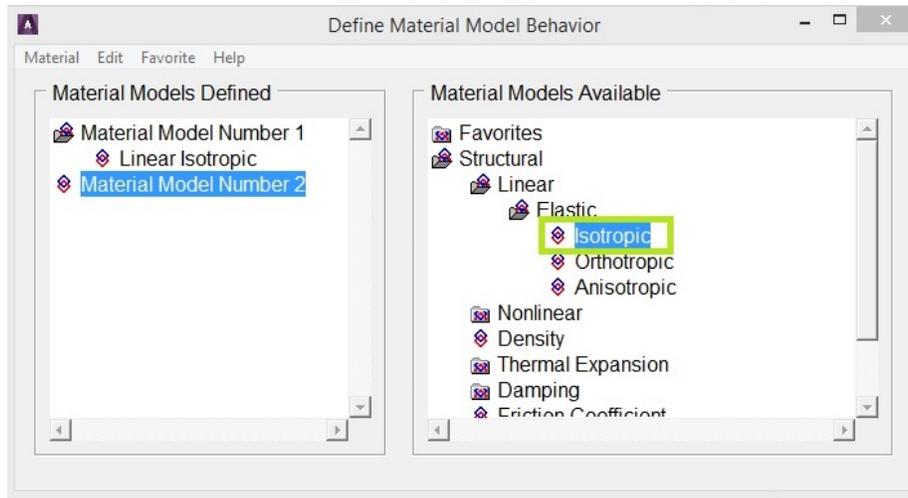


Figure 77: Elaboración propia

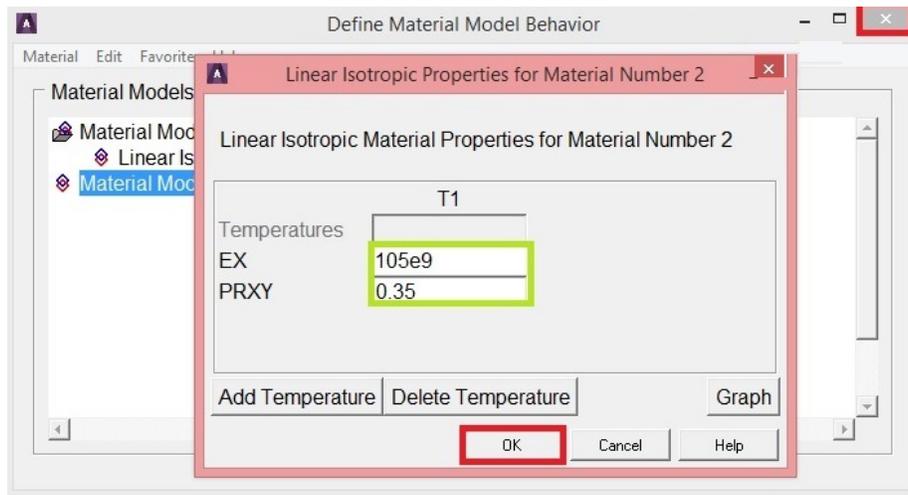


Figure 78: Elaboración propia

Ahora defina las secciones, de click en **Section,Beam, Common Sections**

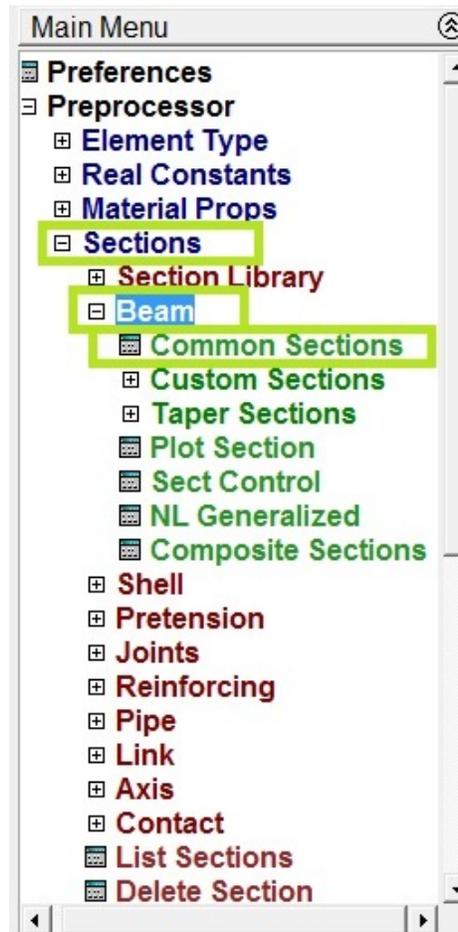


Figure 79: Elaboración propia

Asigne un numero a la sección , elija la sección circular y de el valor del radio, presione **Apply** para crear la otra sección.

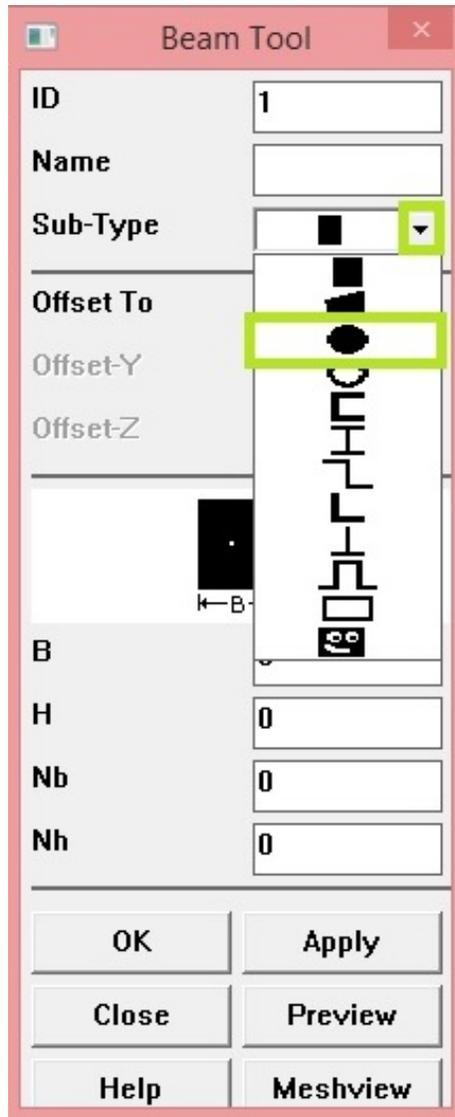


Figure 80: Elaboración propia

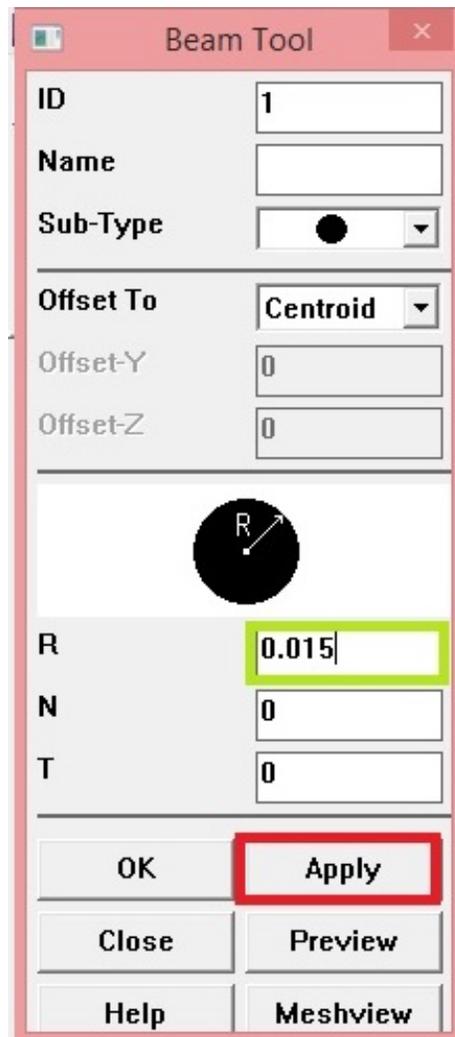


Figure 81: Elaboración propia

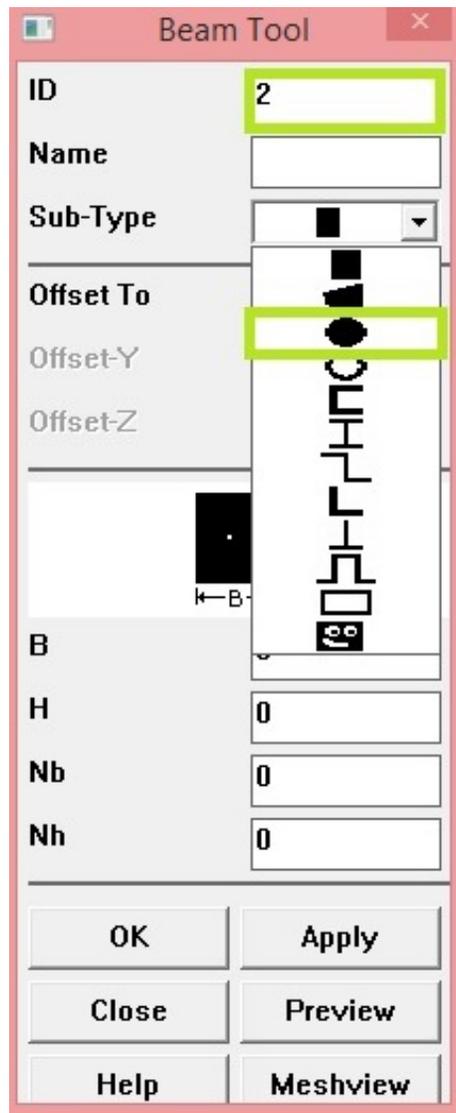


Figure 82: Elaboración propia

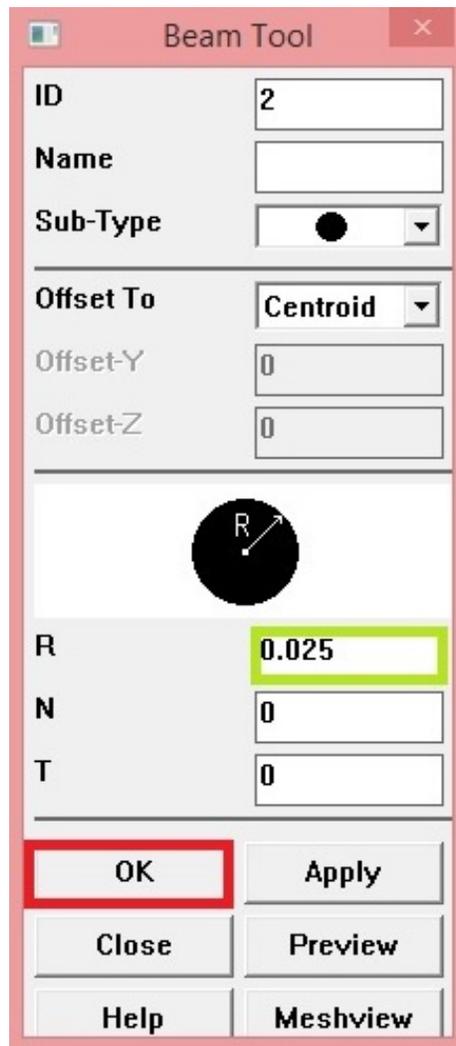


Figure 83: Elaboración propia

Para crear los nodos recuerde seguir el siguiente procedimiento. Seleccione **Modeling,Create,Nodes,In Active CS**

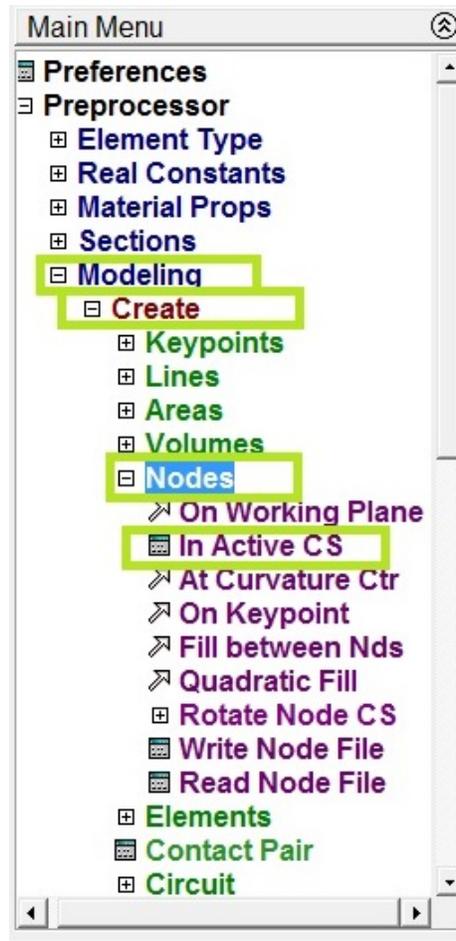


Figure 84: Elaboración propia

Asigne un numero de nodo y la coordenada.

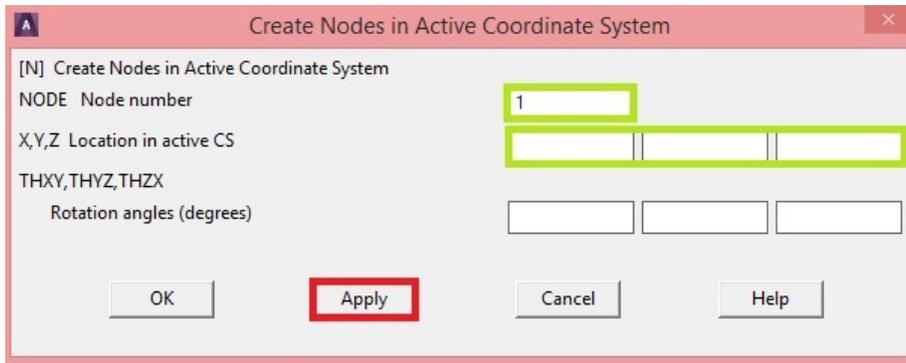


Figure 85: Elaboración propia

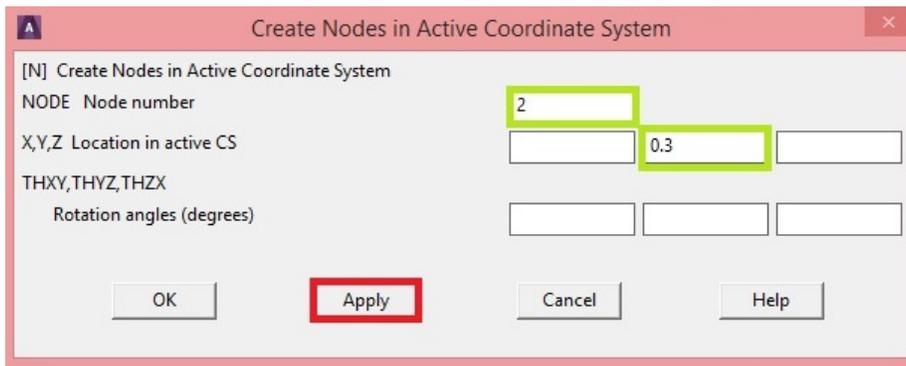


Figure 86: Elaboración propia

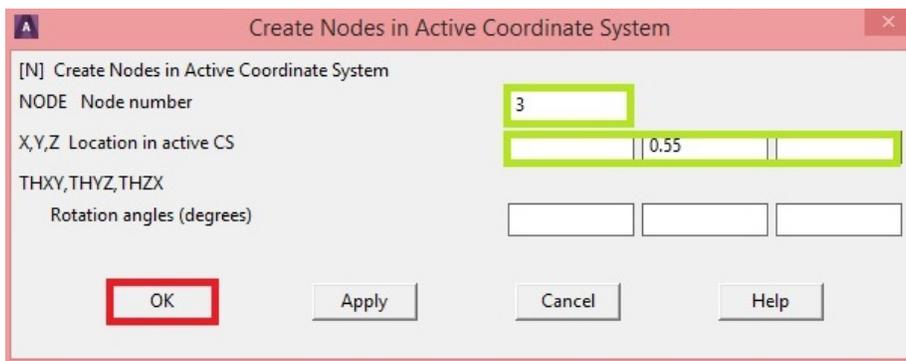


Figure 87: Elaboración propia

Ahora seleccione **Modeling** para asignar el material a la sección (es im-

portante que en esta parte tenga muy presente el nombre que asigno a cada material y sección)

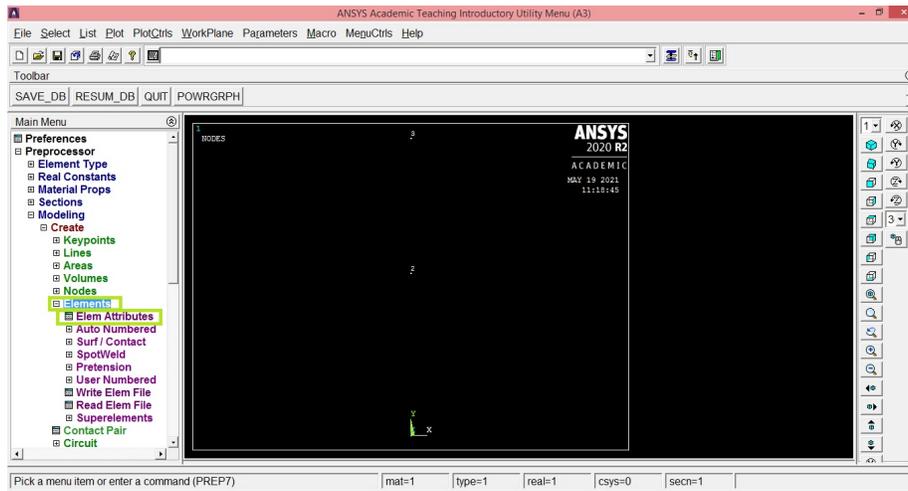


Figure 88: Elaboración propia

Defina el primer elemento cuyo nombre de sección y material es **1**

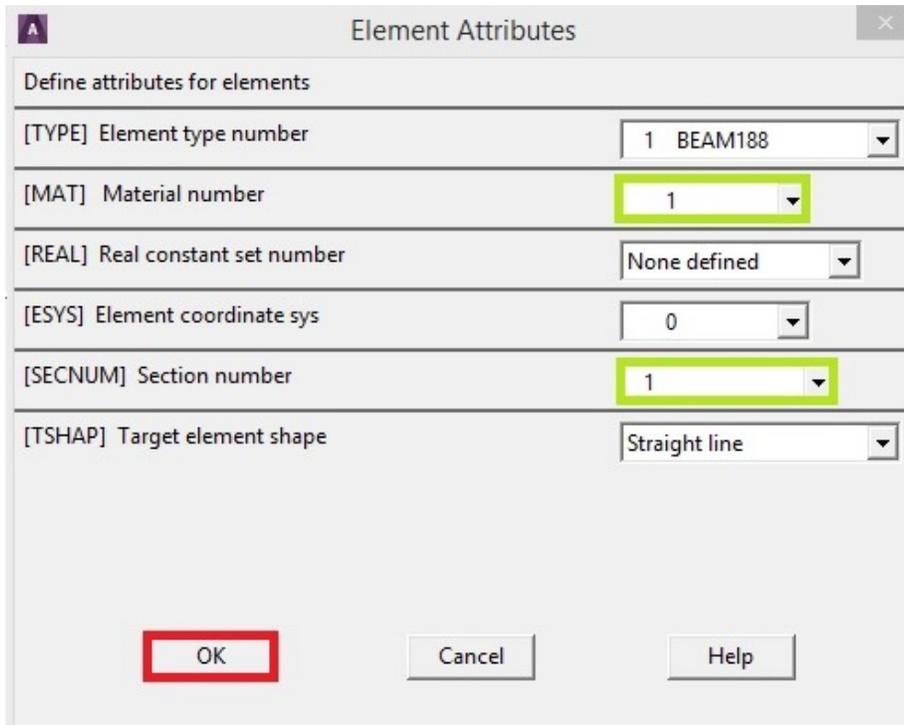


Figure 89: Elaboración propia

Ahora que esta definida tanto la sección como el material es momento de crear la línea, para esto seleccione los nodos que componen el elemento.

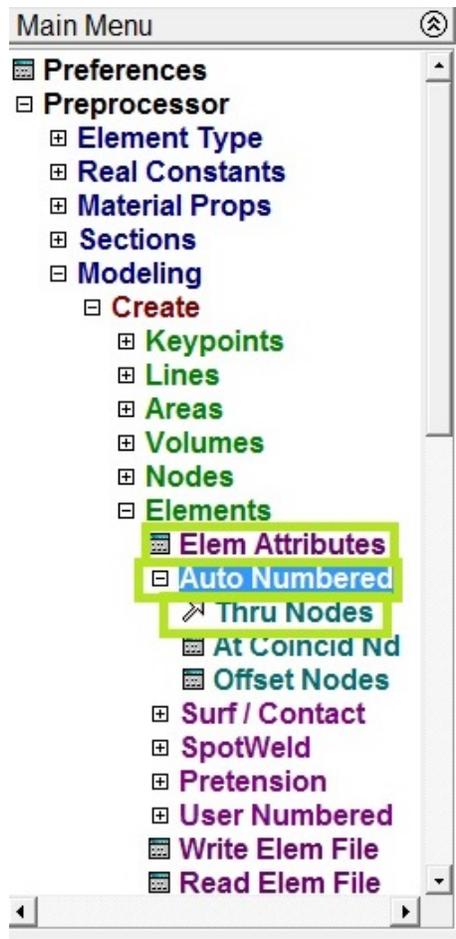


Figure 90: Elaboración propia

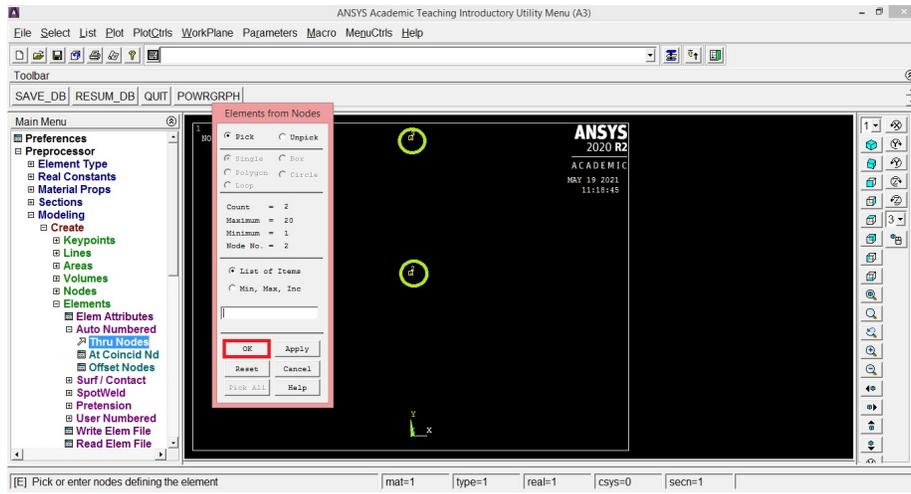


Figure 91: Elaboración propia

Ahora repita los pasos para la sección 2

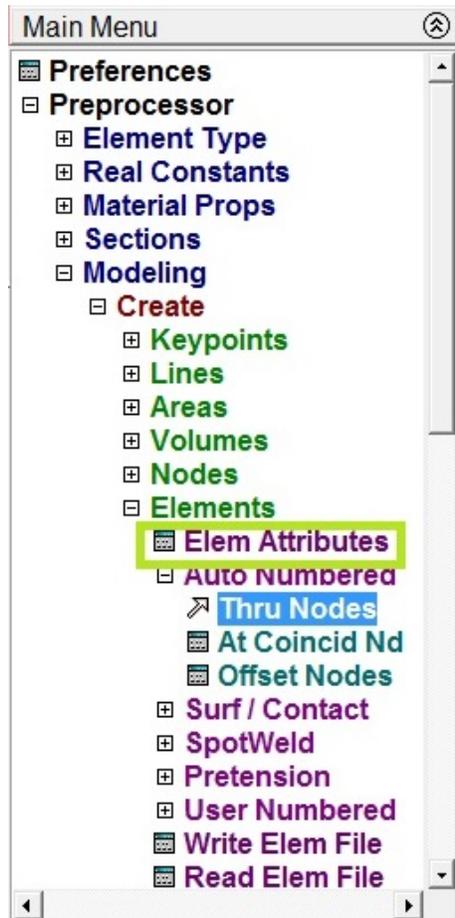


Figure 92: Elaboración propia

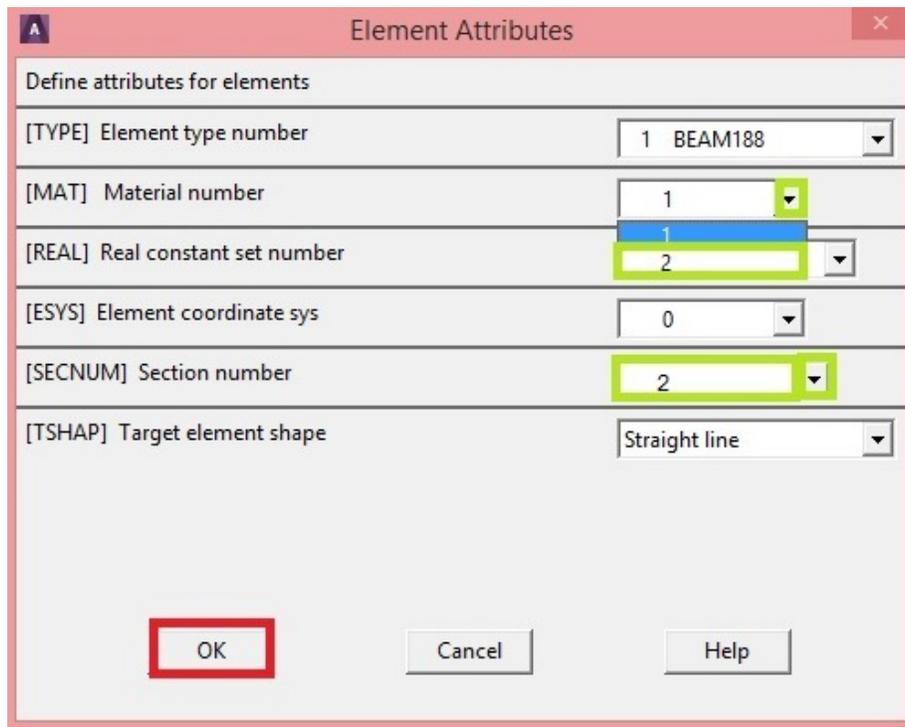


Figure 93: Elaboración propia

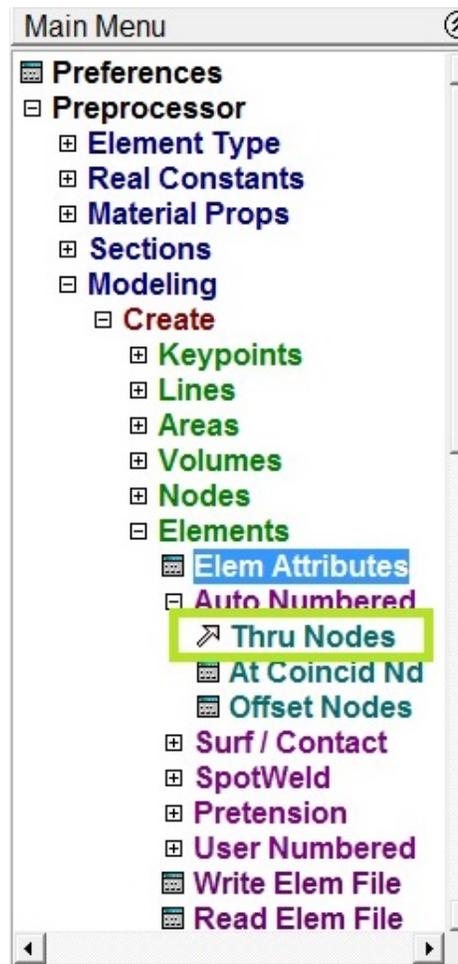


Figure 94: Elaboración propia

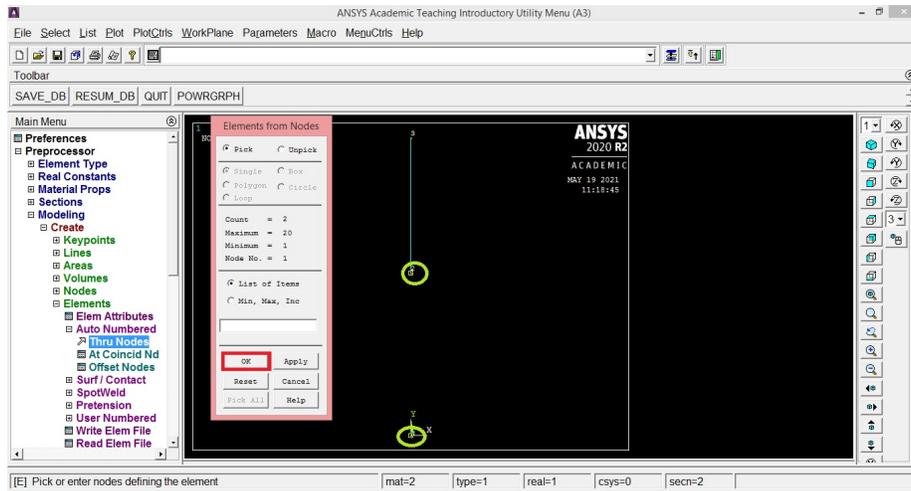


Figure 95: Elaboración propia

Defina las restricciones, y las fuerzas, para esto de click en **Loads,Define Loads,Apply,Structural,Displacement,On Nodes**



Figure 96: Elaboración propia

Seleccione el punto de aplicación y de click en **OK**

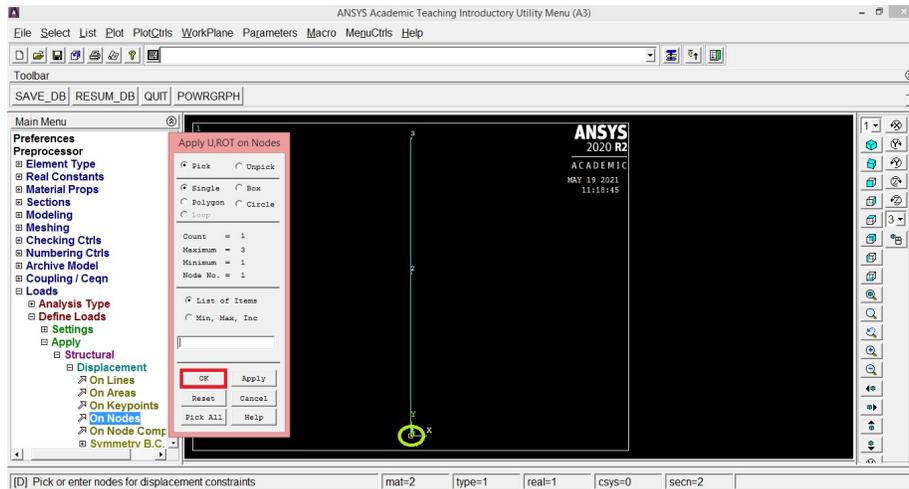


Figure 97: Elaboración propia

Seleccione **All Dof** y de click en **OK**

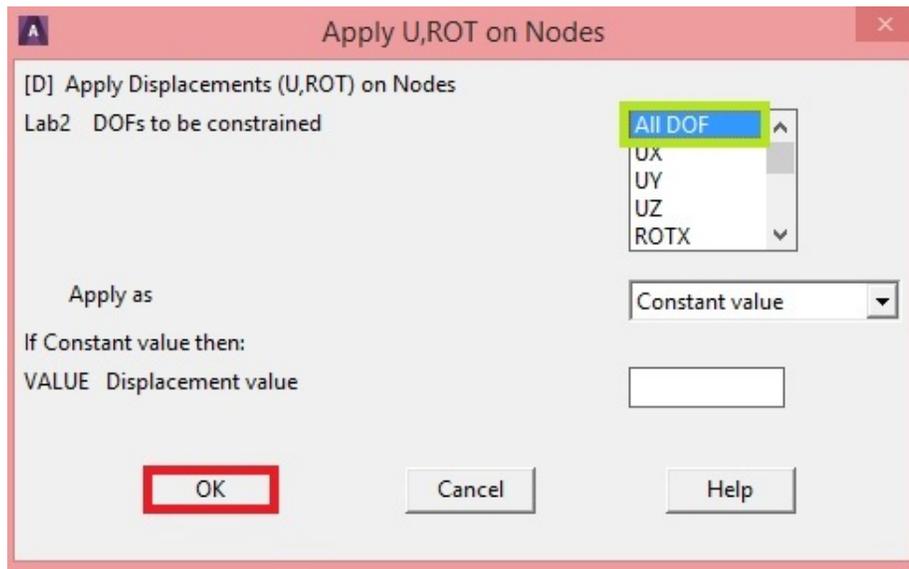


Figure 98: Elaboración propia

Para asignar las fuerzas seleccione **Force/Moment** , **Nodes**, de click sobre el nodo correspondiente y asigne el valor y el eje de la carga.

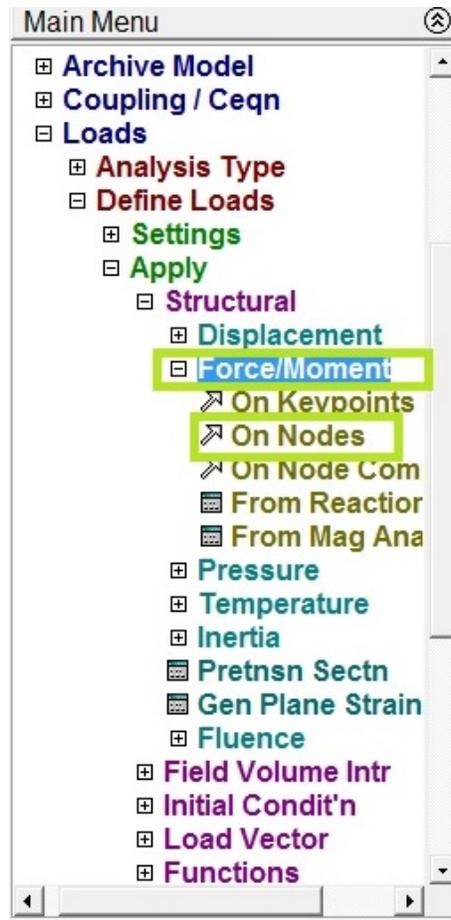


Figure 99: Elaboración propia

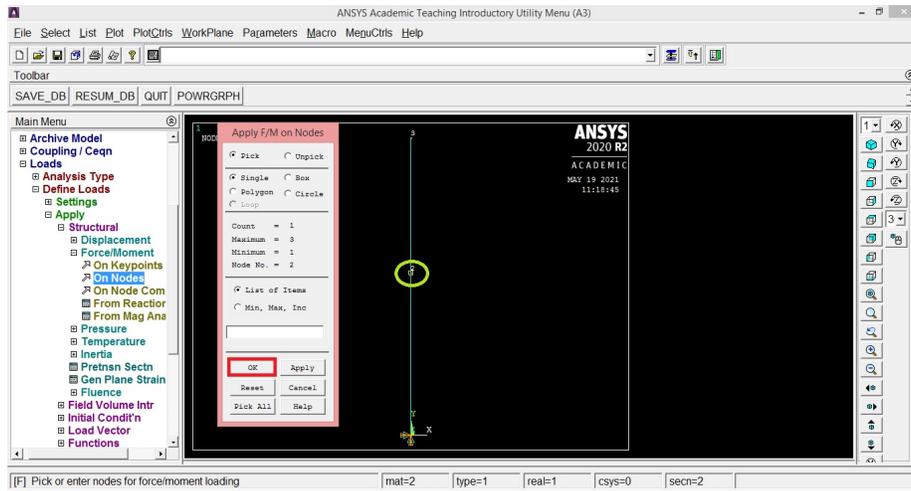


Figure 100: Elaboración propia

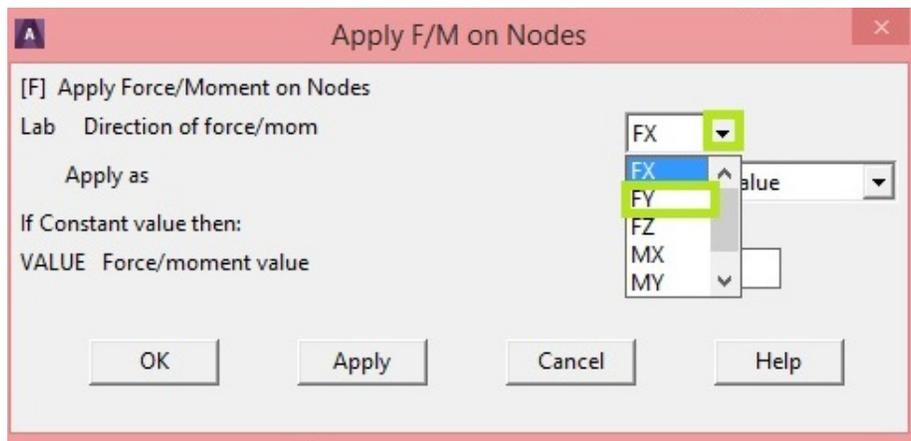


Figure 101: Elaboración propia

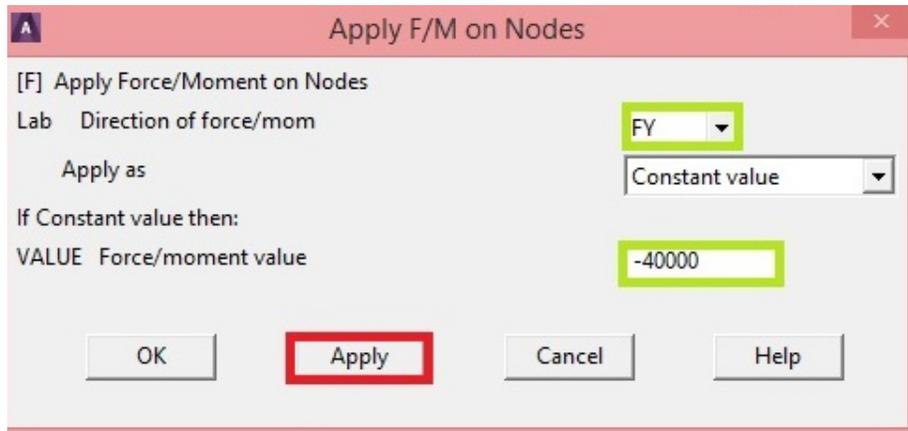


Figure 102: Elaboración propia

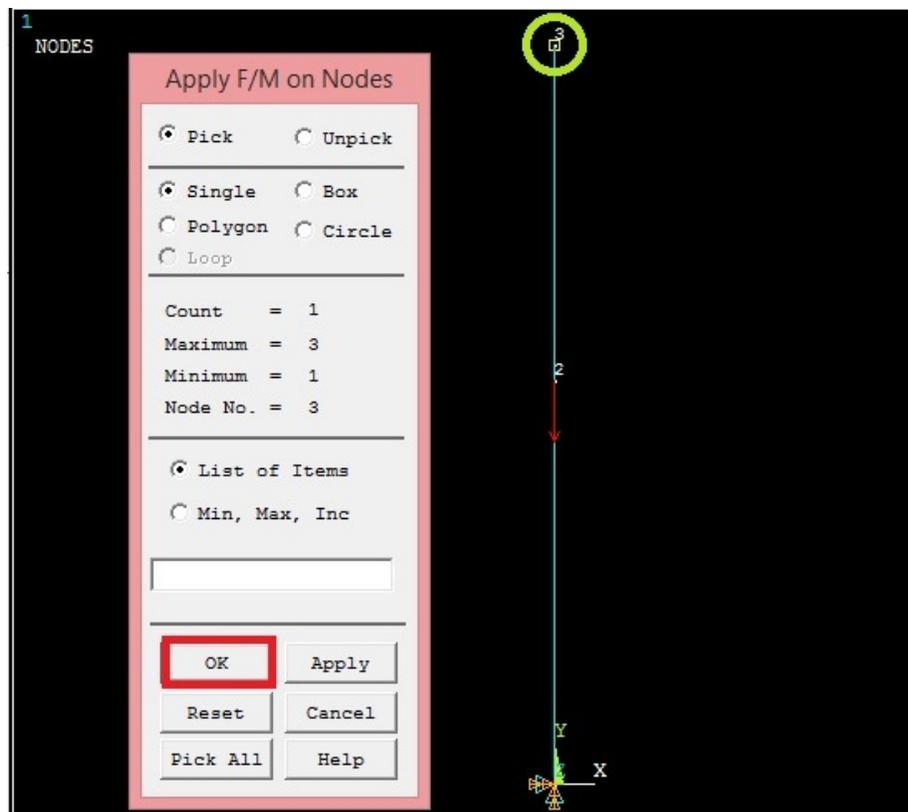


Figure 103: Elaboración propia

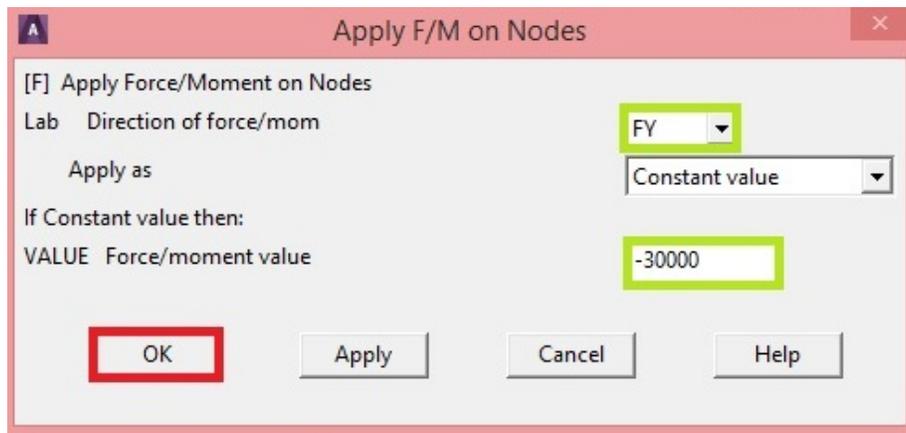


Figure 104: Elaboración propia

Para dar solución al problema de click en **Solution, Solve, Current LS**

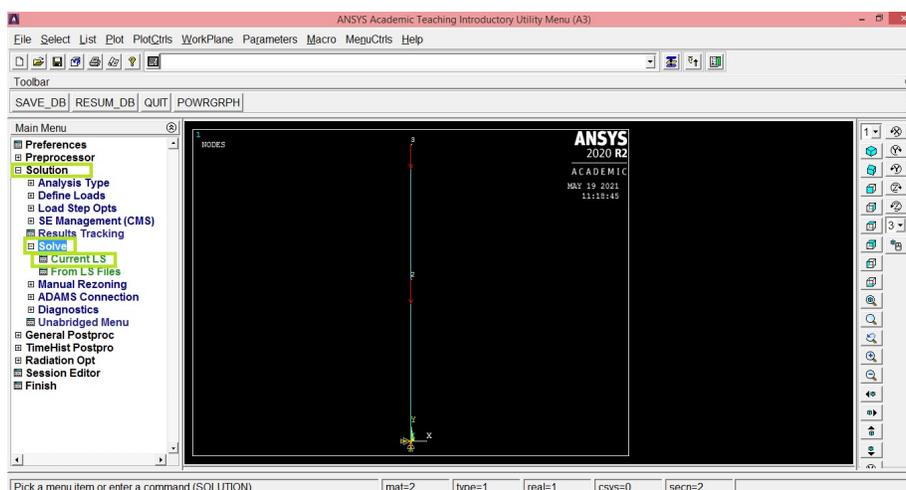


Figure 105: Elaboración propia

De ok en la ventana **Solve Current Load Step** y cuando aparezca la ventana **Note** presione **Close**

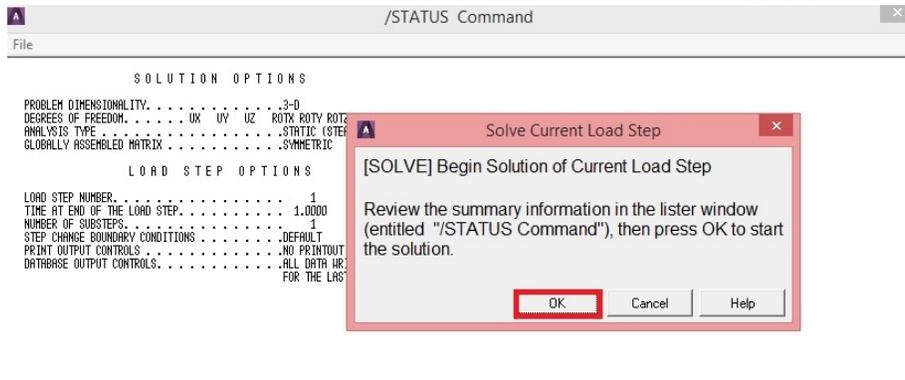


Figure 106: Elaboración propia

Para ver los resultados de click en **General Postproc, List Result, Nodal Solution**

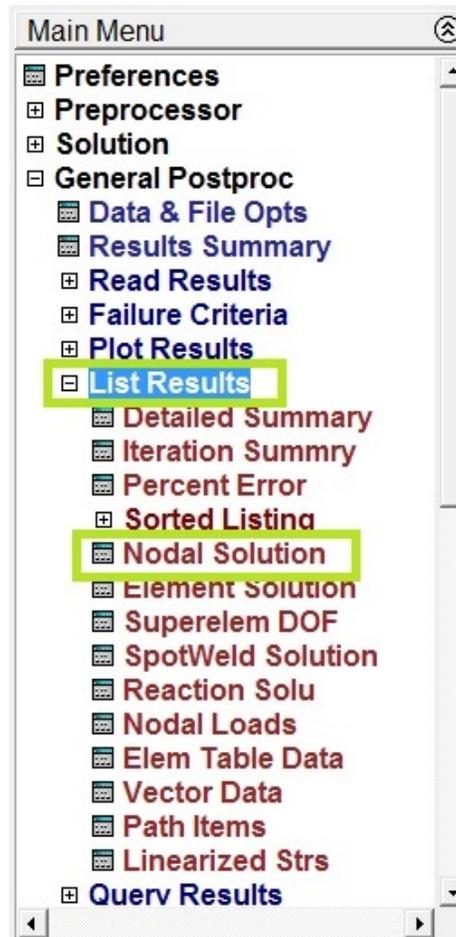


Figure 107: Elaboración propia

Para ver la lista de resultados seleccione **Dof Solution, Displacement vector sum, OK**

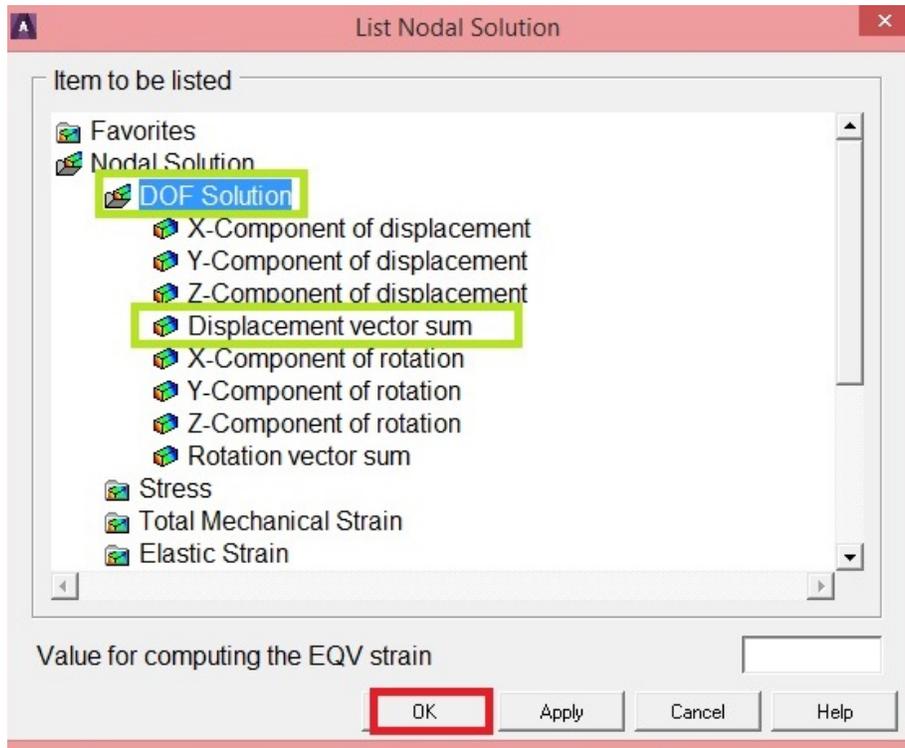


Figure 108: Elaboración propia

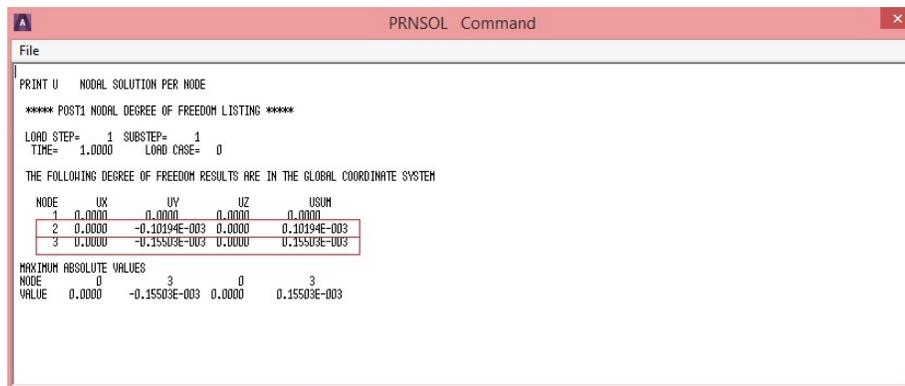


Figure 109: Elaboración propia

5 Torsion

Para realizar el análisis de elementos sometidos a torsión debe realizar el diagrama de cuerpo libre, después calcular las ecuaciones de equilibrio y aplicar las ecuaciones que permitan obtener los resultados que se están buscando, en este caso se aplicaron las ecuaciones de ángulo de torsión y esfuerzo cortante máximo:

$$\frac{TL}{JG} \quad (37)$$

T=Par de torsión L=Longitud del elemento J=Momento polar de inercia
G= Modulo de rigidez

El valor de J para un círculo sólido es:

$$\frac{\pi}{2} \cdot r^4 \quad (38)$$

- Problema 3

3.37 La varilla de aluminio BC ($G = 26$ GPa) está unida a la varilla de latón AB ($G = 39$ GPa). Si se sabe que cada varilla es sólida y tiene un diámetro de 12 mm, determine el ángulo de giro a en B , b en C .

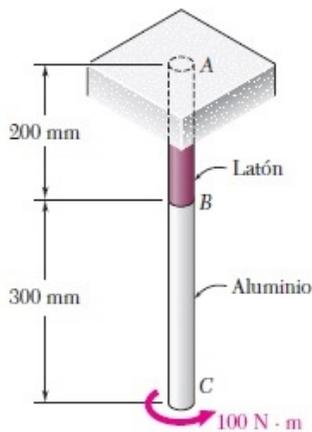


Figura P3.37

Figure 110: Problema 2.17.Beer

5.1 Solución analítica

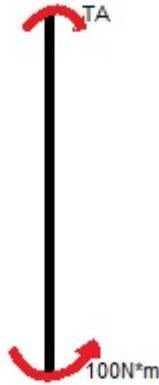


Figure 111: Elaboración propia

$$\sum T = -T_A + 100N \cdot m \quad (39)$$

$$T_A = 100N \cdot m \quad (40)$$

AB

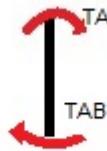


Figure 112: Elaboración propia

$$-T_A + T_{AB} = 0 \quad (41)$$

$$T_{AB} = T_A \quad (42)$$

$$\theta_{AB} = \frac{(100N \cdot m) \cdot (0.2m)}{(2.03575 \cdot 10^{-9}m^4) \cdot (39 \cdot 10^9(\frac{N}{m^2}))} \quad (43)$$

$$\theta_{AB} = 2.51907 \cdot 10^{-3} \approx 0.251907rad \quad (44)$$

BC

$$-T_A + T_{BC} = 0 \quad (45)$$



Figure 113: Elaboración propia

$$T_{BC} = T_A \quad (46)$$

$$\theta_{BC} = \frac{(100N \cdot m) \cdot (0.3m)}{(2.035775 \cdot 10^{-9}m^4)(26 \cdot 10^9 \frac{N}{m^2})} \quad (47)$$

$$\theta_{BC} = 0.56679rad \quad (48)$$

Angulo de giro en B

$$\theta_B = 0.56679 \approx 32.4747 \quad (49)$$

$$\theta_c = \theta_{AB} + \theta_{BC} \quad (50)$$

$$\theta_C = 0.818697 \approx 46.9 \quad (51)$$

5.2 Solución con Ansys

A continuación se presentan dos ejercicios de la temática de torsión, uno de ellos se solucionó usando Workbench

Una vez que abra el programa APDL, de un click en **Preference**, seleccione **Structural** y **OK**

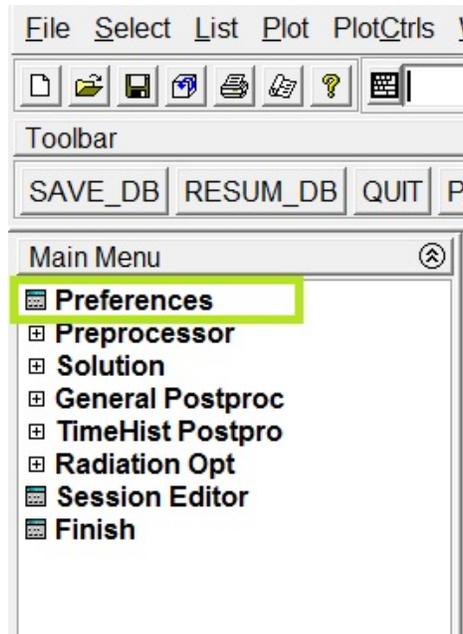


Figure 114: Elaboración propia

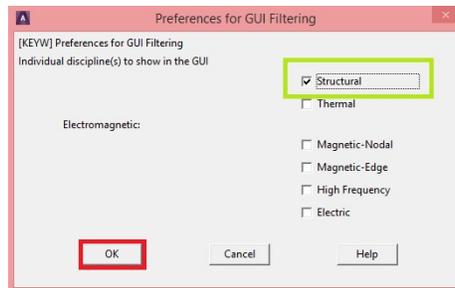


Figure 115: Elaboración propia

El siguiente paso sera dar click en **Preprocessor,Element Type Preprocessor,Add/Edit/Delete**



Figure 116: Elaboración propia

Cuando la ventana Element Types se abra de click en **Add**, despues seleccione el tipo de elemento, en este caso, **Beam, 2 node 188**, luego presione **OK** y cierre la ventana Element Types.

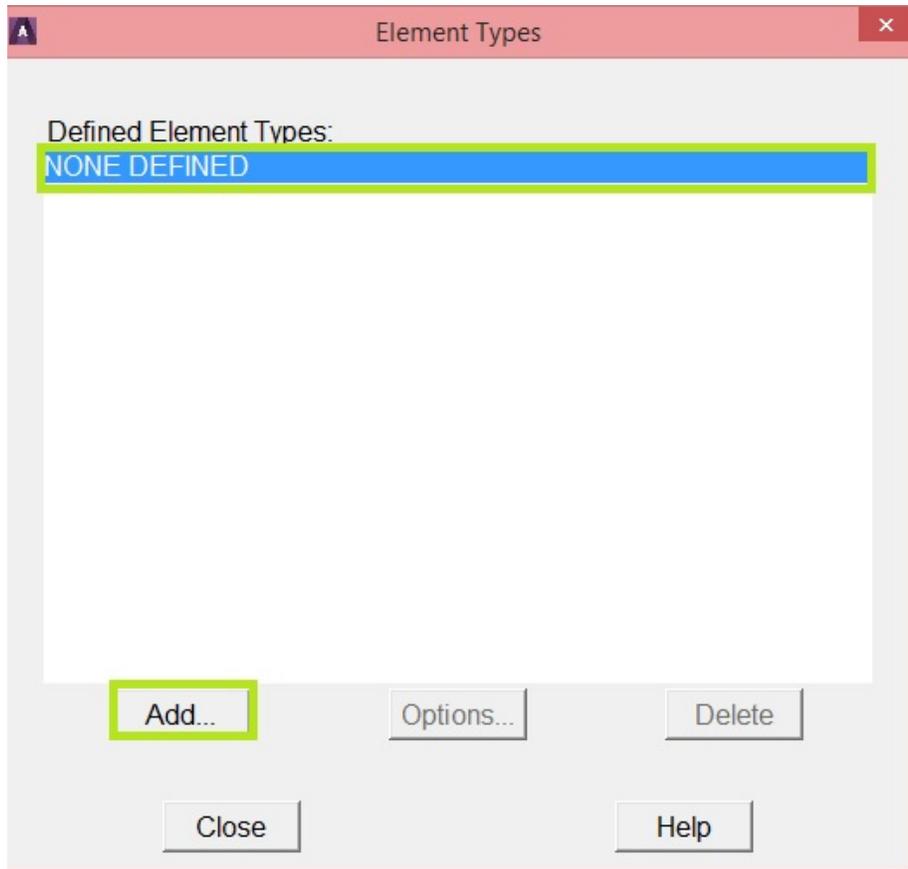


Figure 117: Elaboración propia

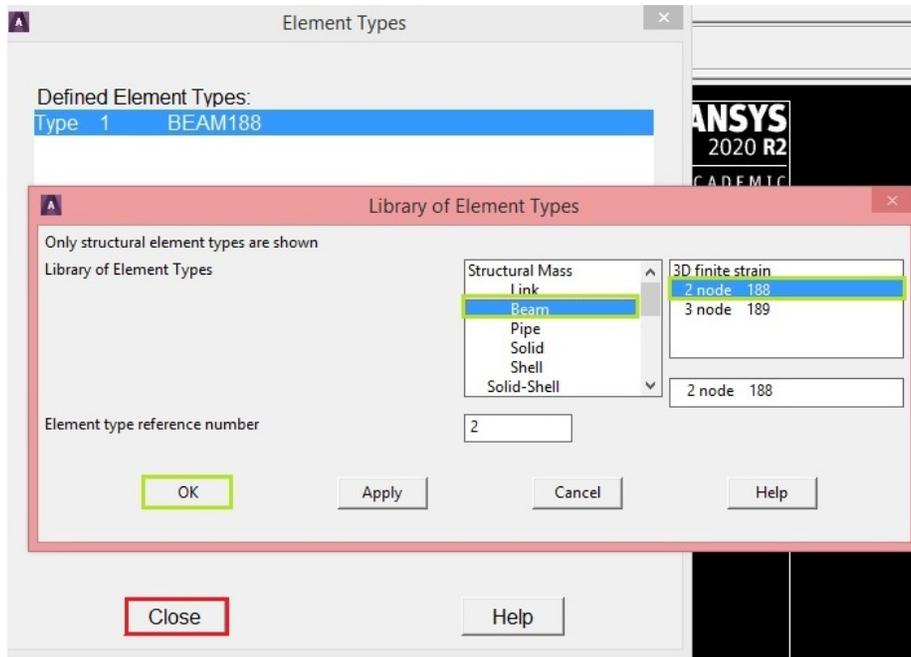


Figure 118: Elaboración propia

Para asignar las propiedades del material de click en **Material props, Material Models**

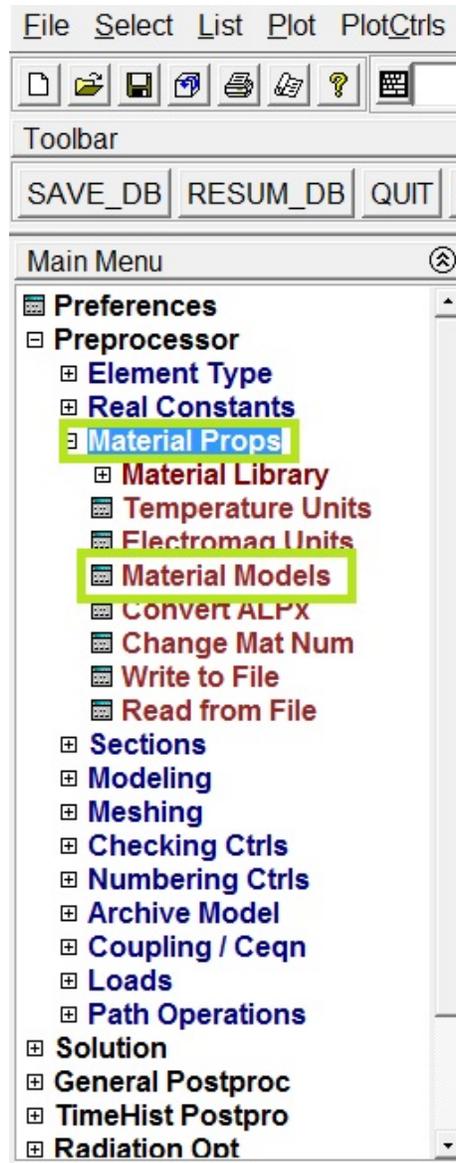


Figure 119: Elaboración propia

Seleccione las características del material, para este caso, **Structural,Linear,Elastic,Isotropic**

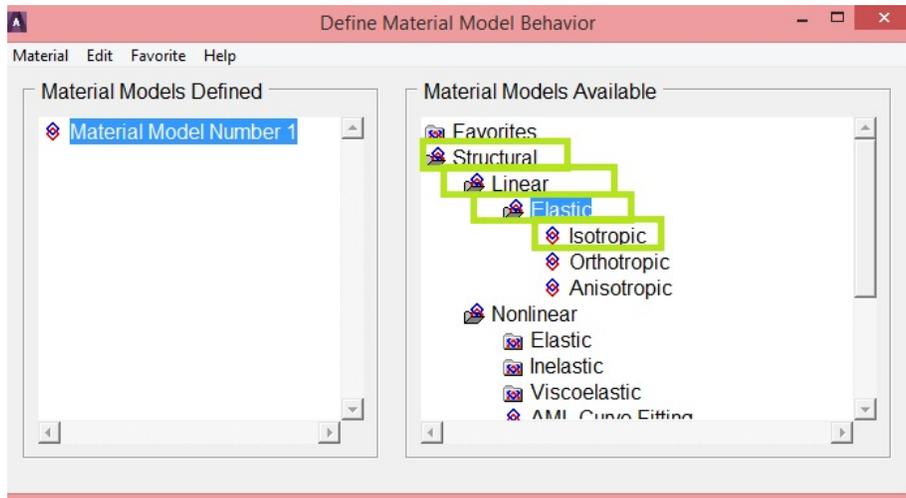


Figure 120: Elaboración propia

Los datos solicitados son el modulo de elasticidad y el coeficiente de poisson, en el ejercicio presentan el modulo de rigidez por lo que es facil buscar en tablas de materiales el modulo de elasticidad correspondiente.

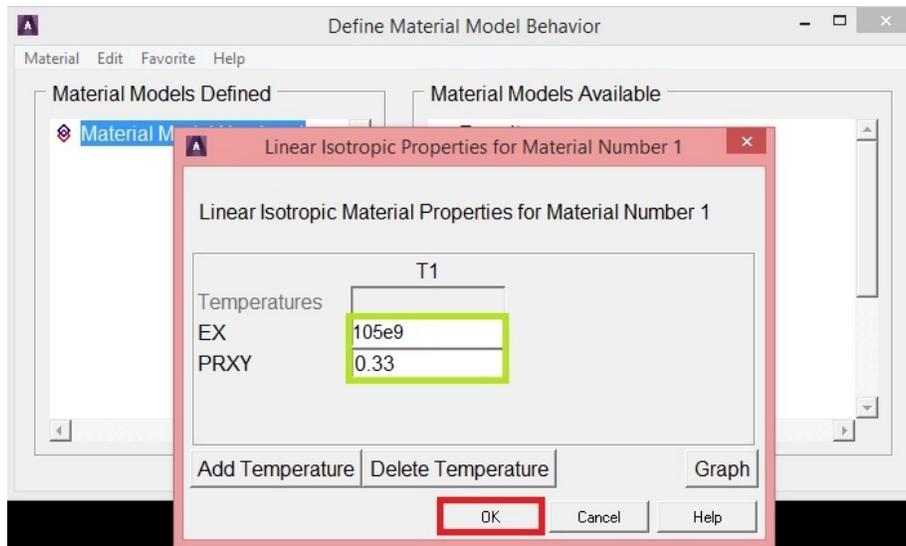


Figure 121: Elaboración propia

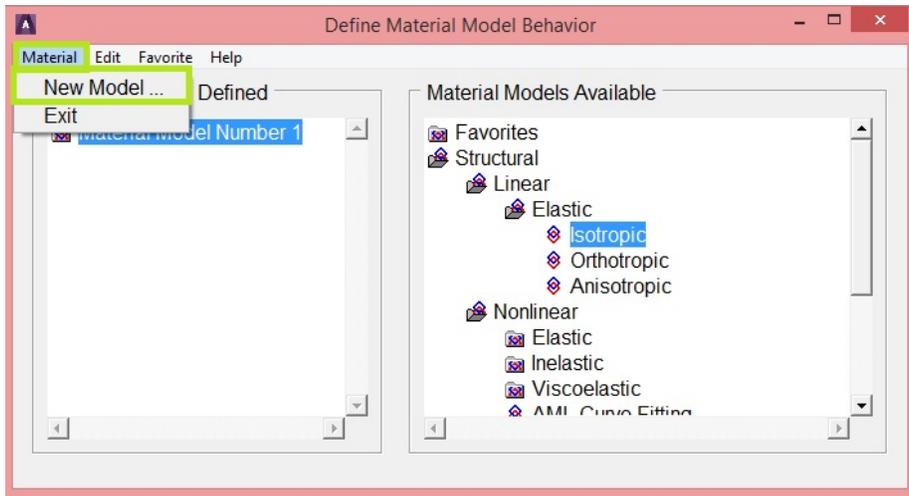


Figure 122: Elaboración propia

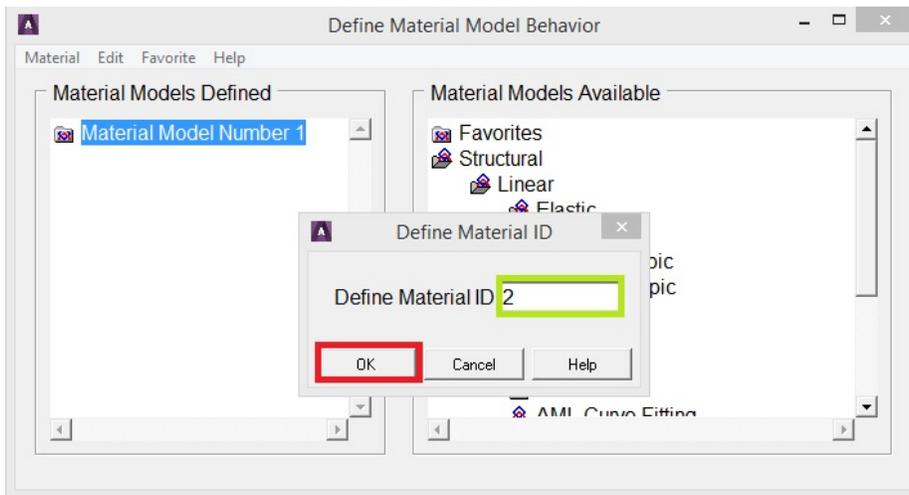


Figure 123: Elaboración propia

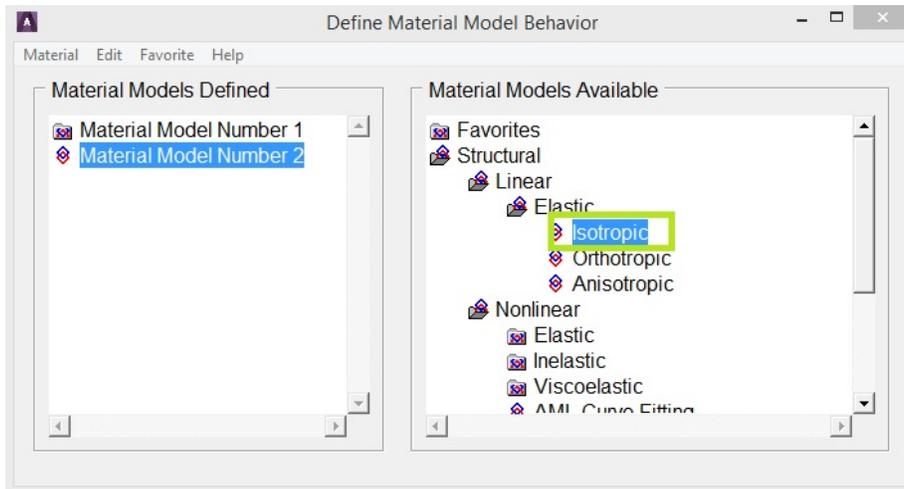


Figure 124: Elaboración propia

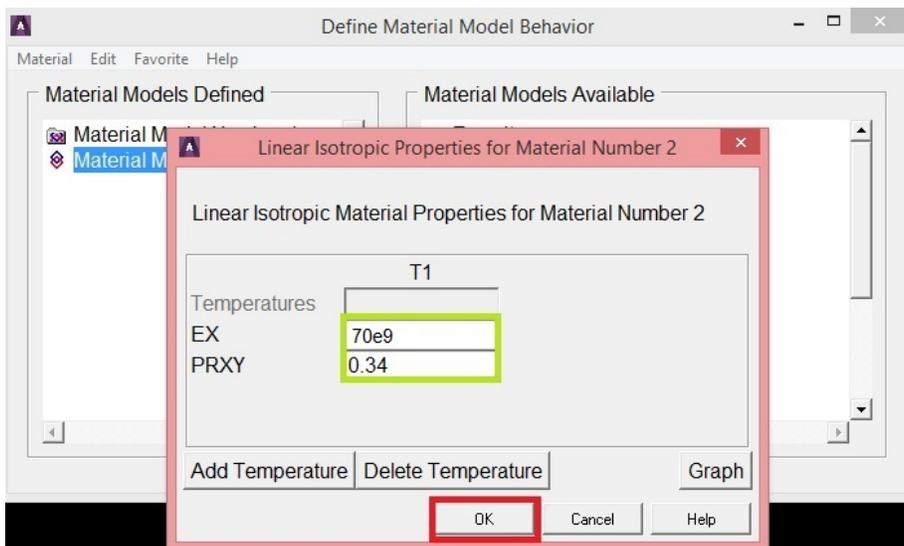


Figure 125: Elaboración propia

Para definir la sección de click en la opción **Sections, Beam, Common Sections**

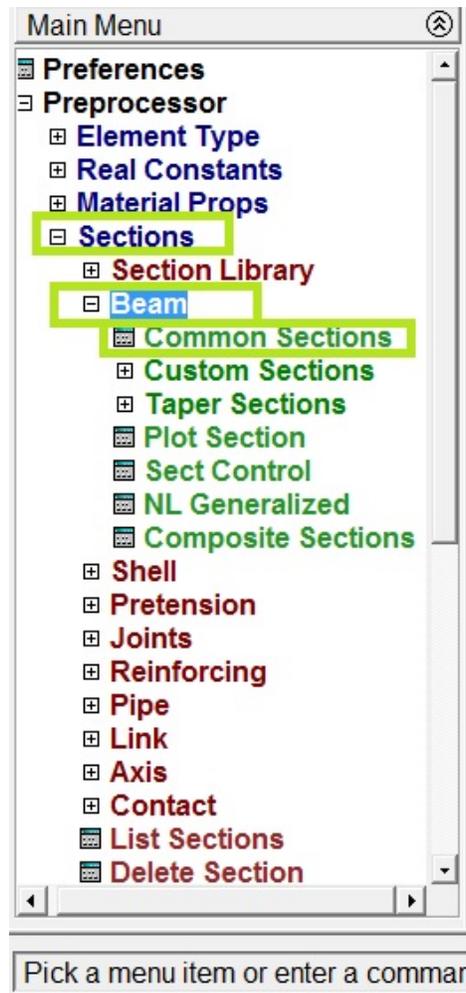


Figure 126: Elaboración propia

El paso siguiente es definir el perfil para cada elemento, en este caso son dos secciones de diferente material pero con un mismo diametro por lo que no es necesario generar dos secciones.

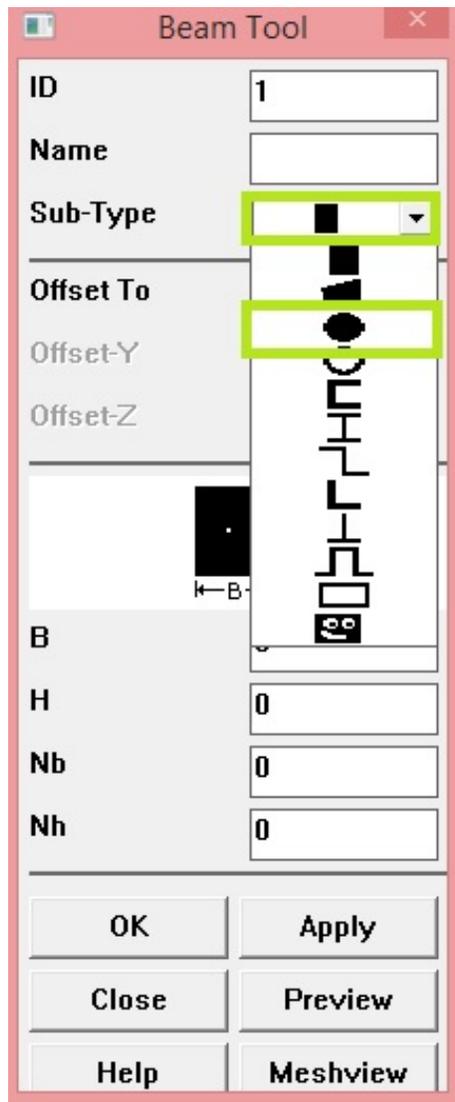


Figure 127: Elaboración propia

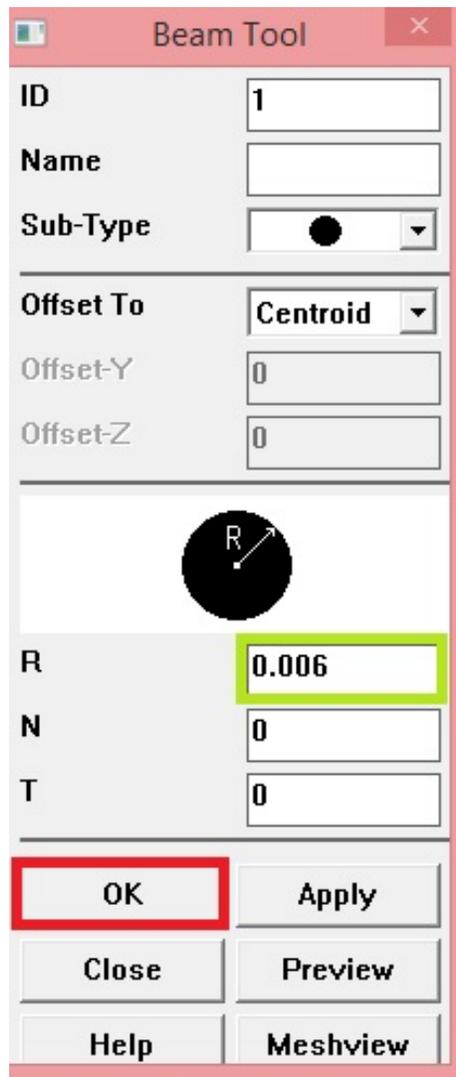


Figure 128: Elaboración propia

Para crear las líneas usamos la herramienta **Modeling**, damos click en, **Create,Nodes,In Active CS**

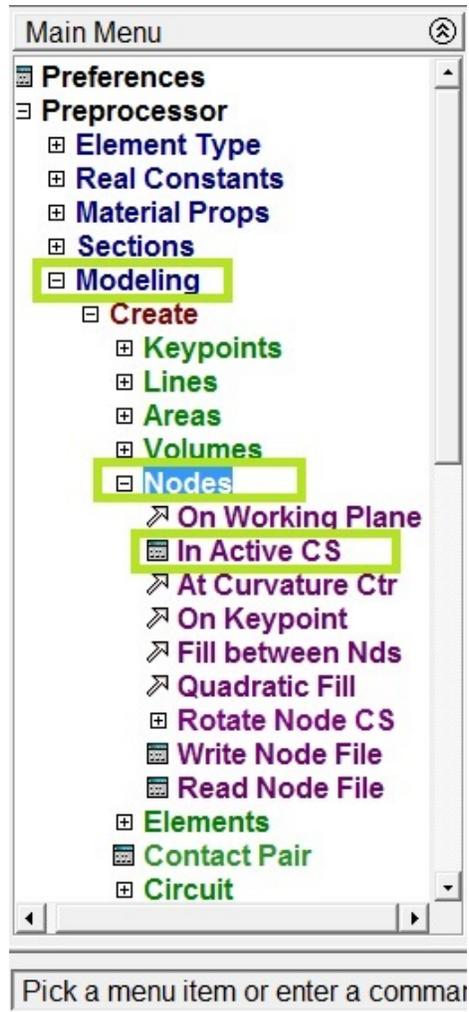


Figure 129: Elaboración propia

En este momento ya puede crear los nodos, recuerde que para esto debe nombrar el nodo y colocar su coordenada en el respectivo eje.

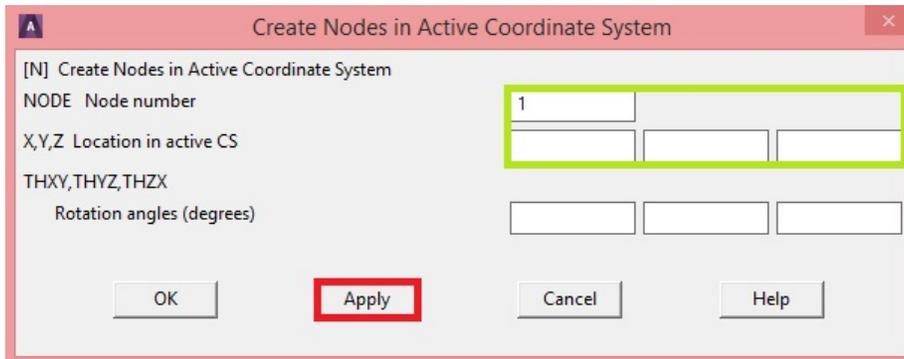


Figure 130: Elaboración propia

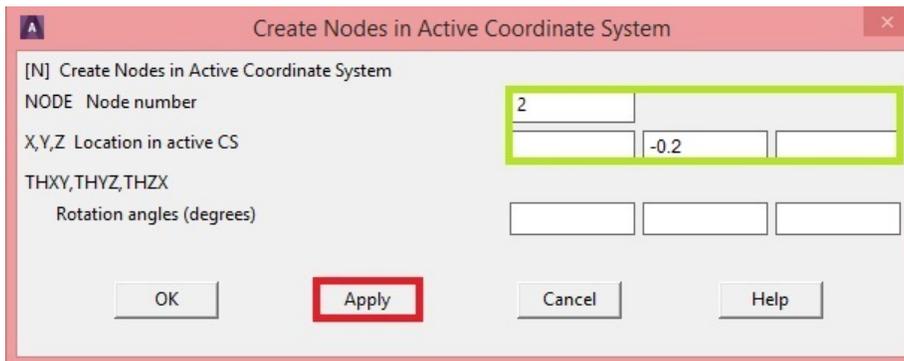


Figure 131: Elaboración propia

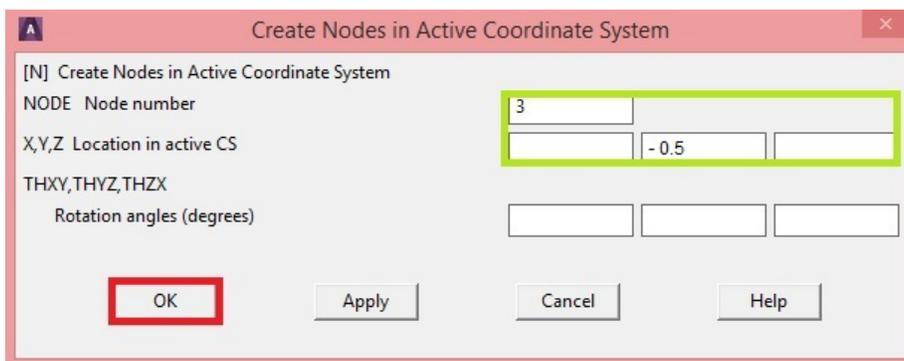


Figure 132: Elaboración propia

Ahora debe unir los puntos y definir tanto la seccion como el material, para

esto de click en **Elements**, **Elem Attributes**

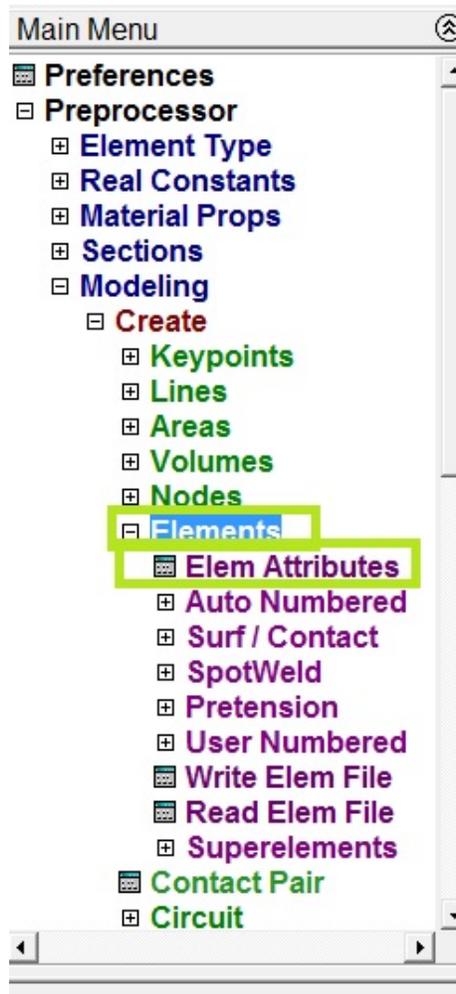


Figure 133: Elaboración propia

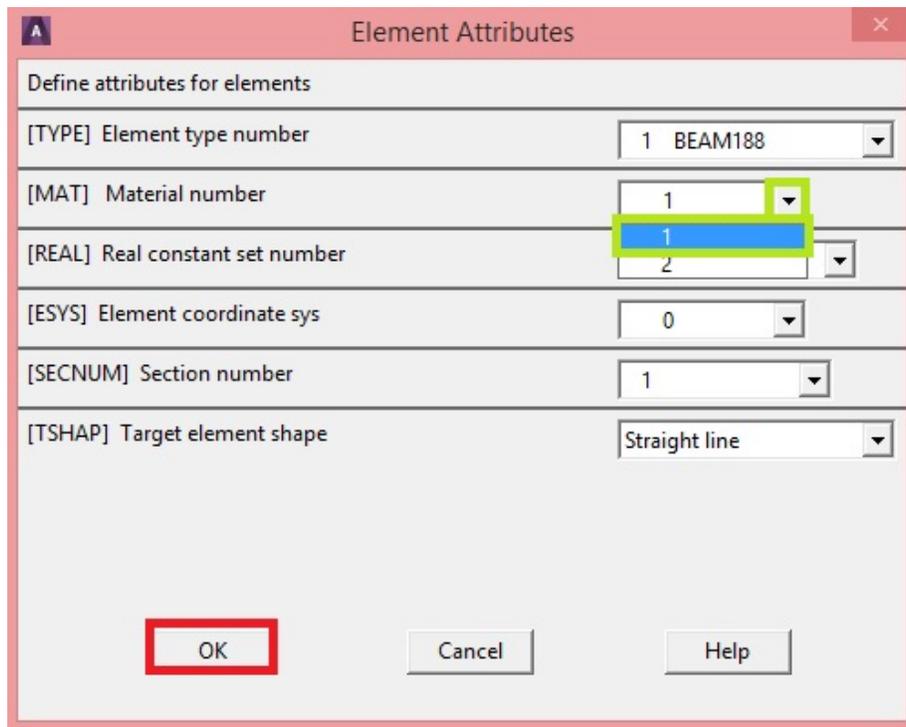


Figure 134: Elaboración propia

Ahora que tiene definidos estos valores de click en **Auto Numbered, Thru Nodes**

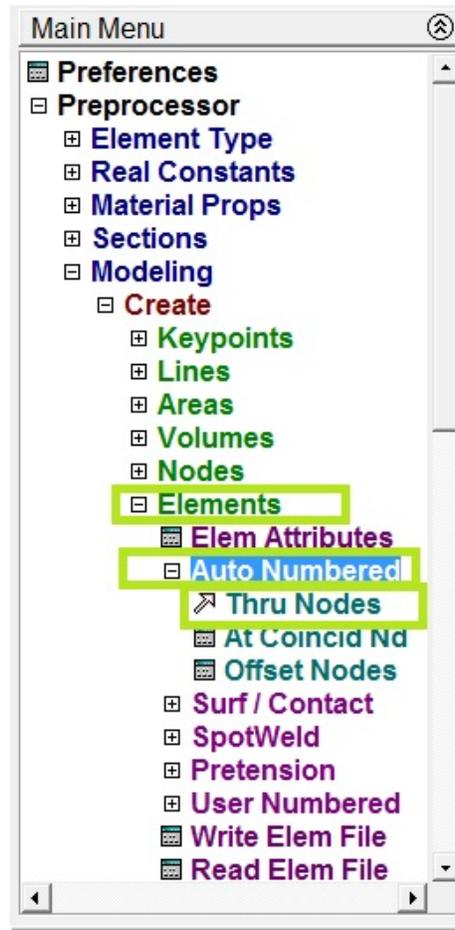


Figure 135: Elaboración propia

Seleccione los nodos que componen el elemento y de click en **OK**

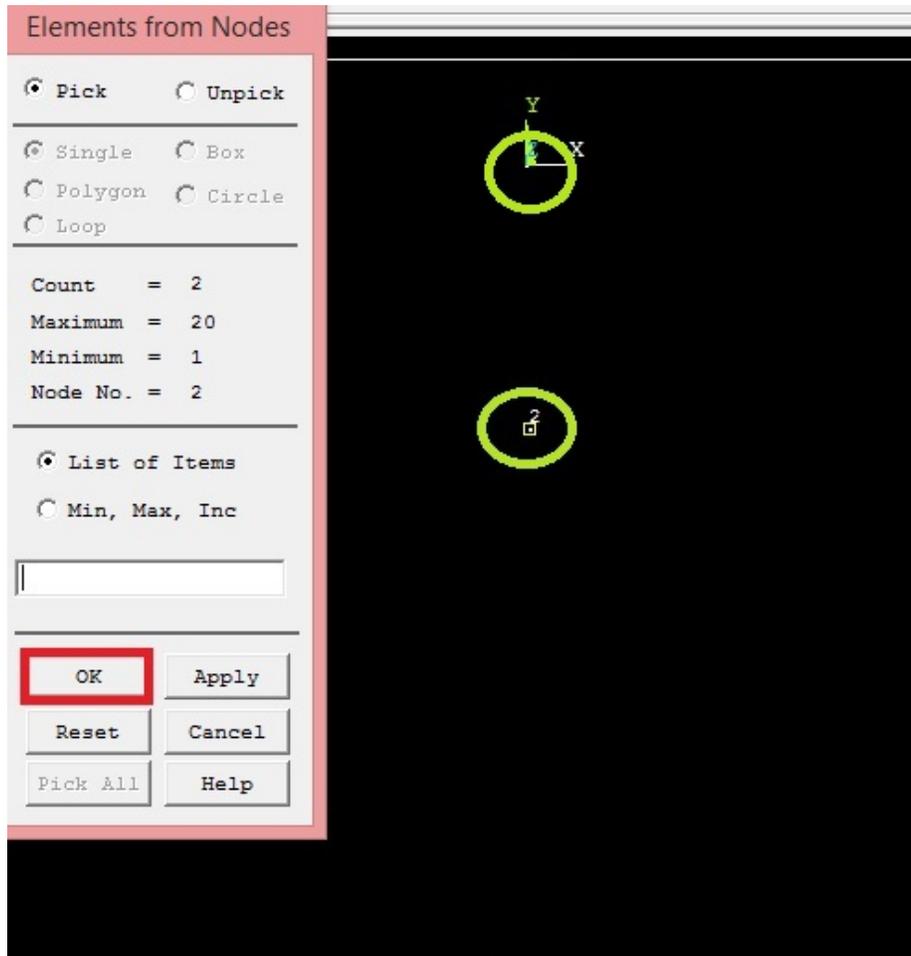


Figure 136: Elaboración propia

Repita estos pasos con el segundo elemento.

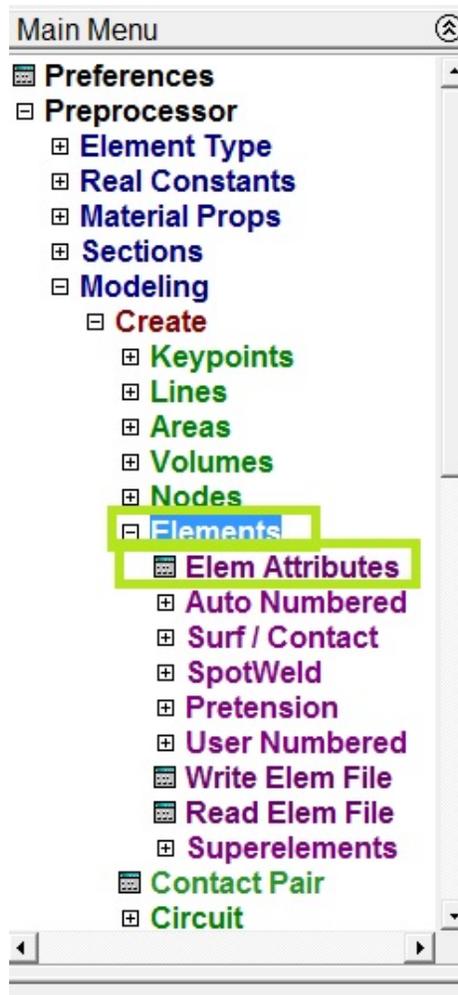


Figure 137: Elaboración propia

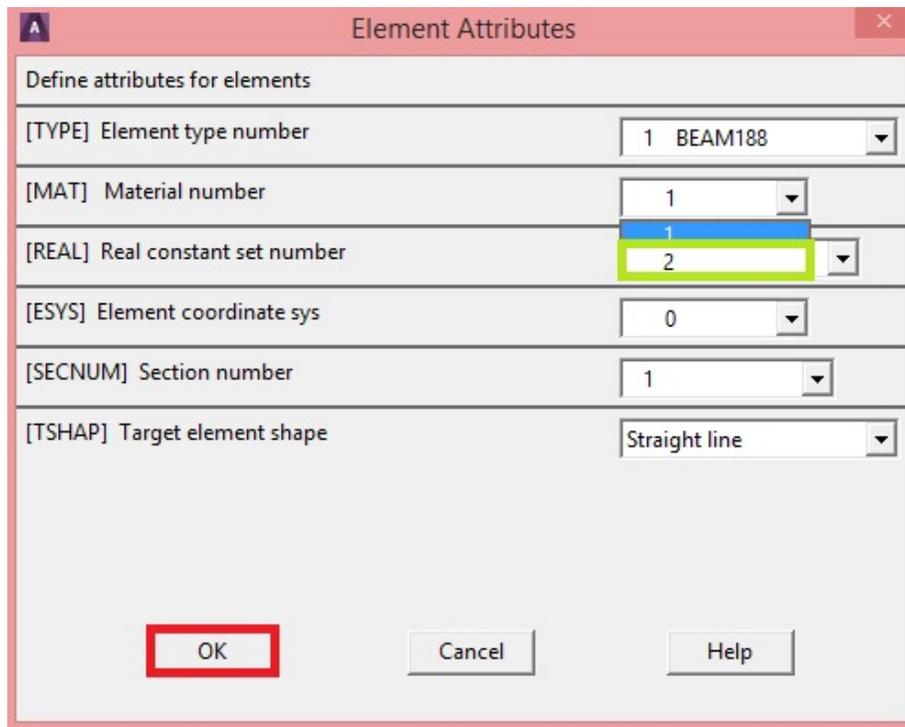


Figure 138: Elaboración propia

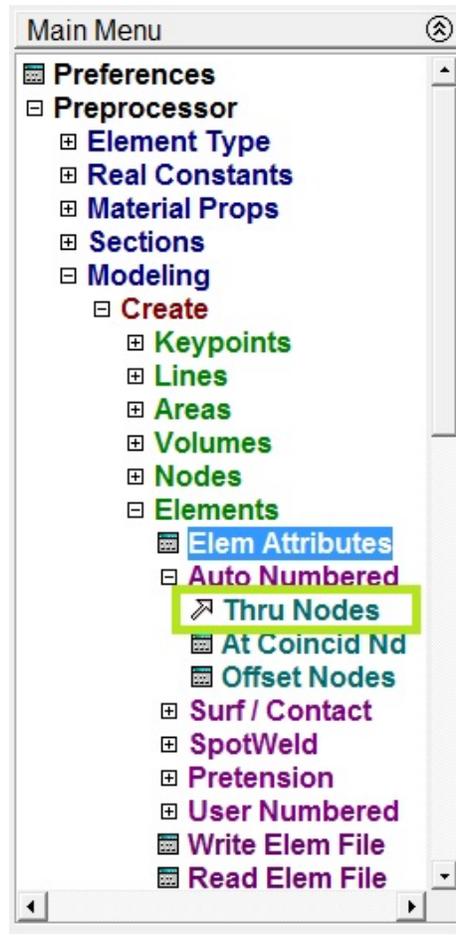


Figure 139: Elaboración propia

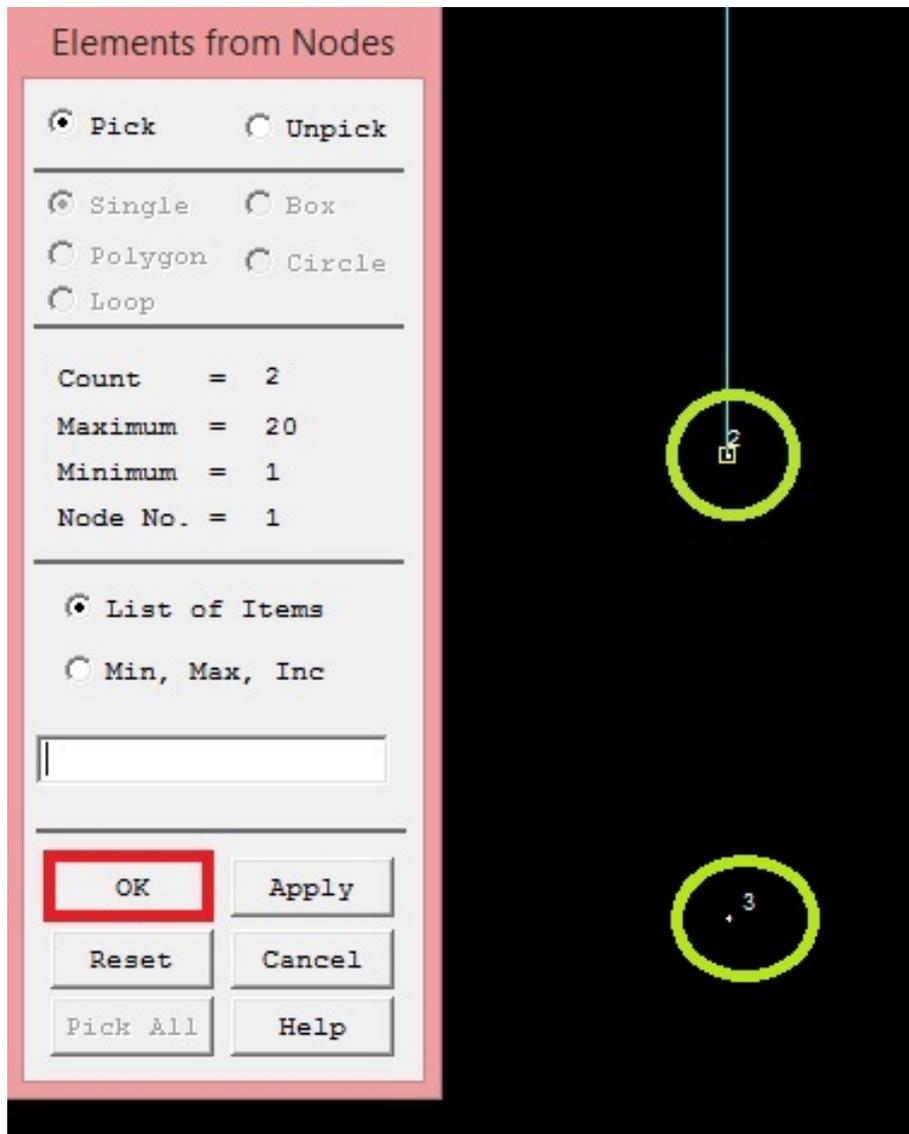


Figure 140: Elaboración propia

Para generar las cargas de click en **Loads, Define Loads ,Apply ,Structural** seleccione **Displacement** para las restricciones.



Figure 141: Elaboración propia

Seleccione el Node que va a estar restringido y presione **OK**

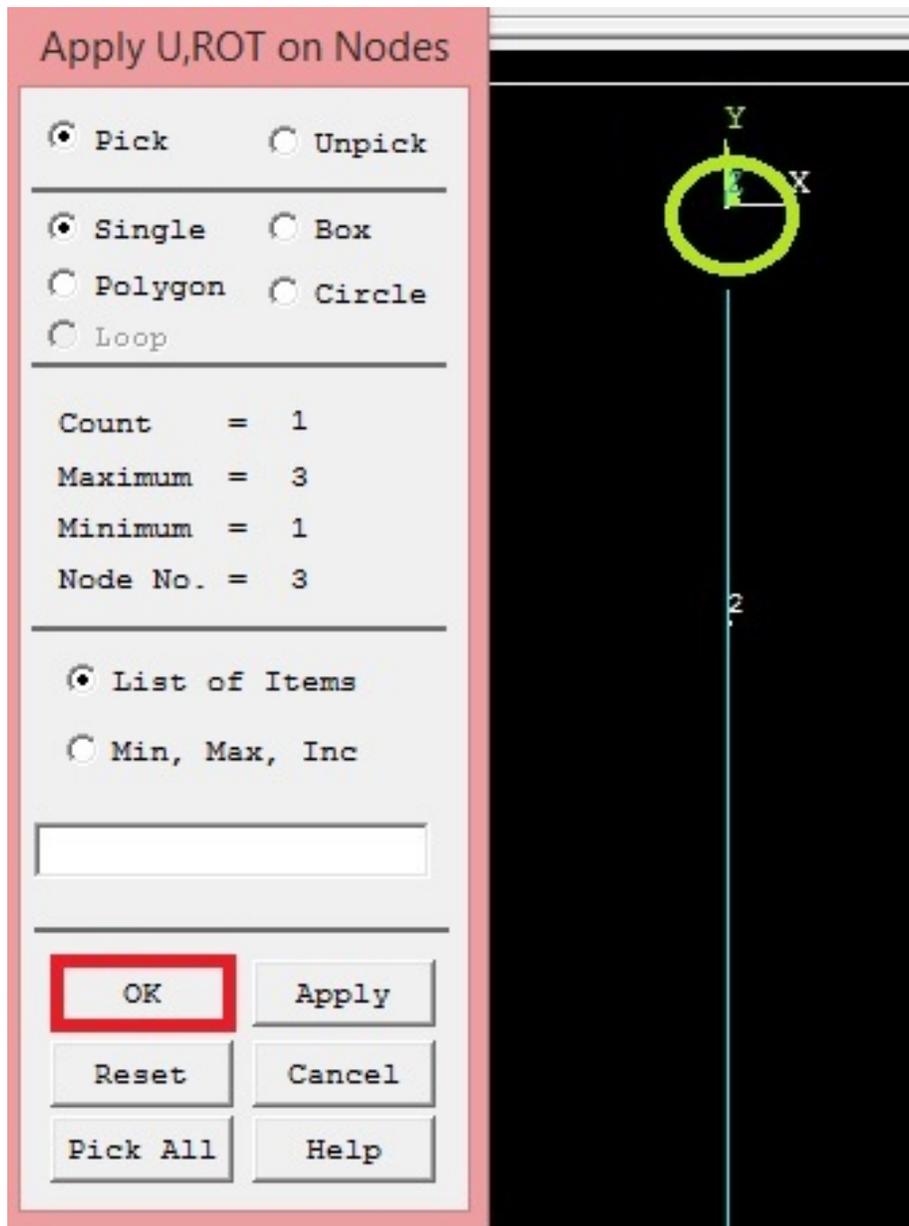


Figure 142: Elaboración propia

Seleccione **All DOF** y **OK**

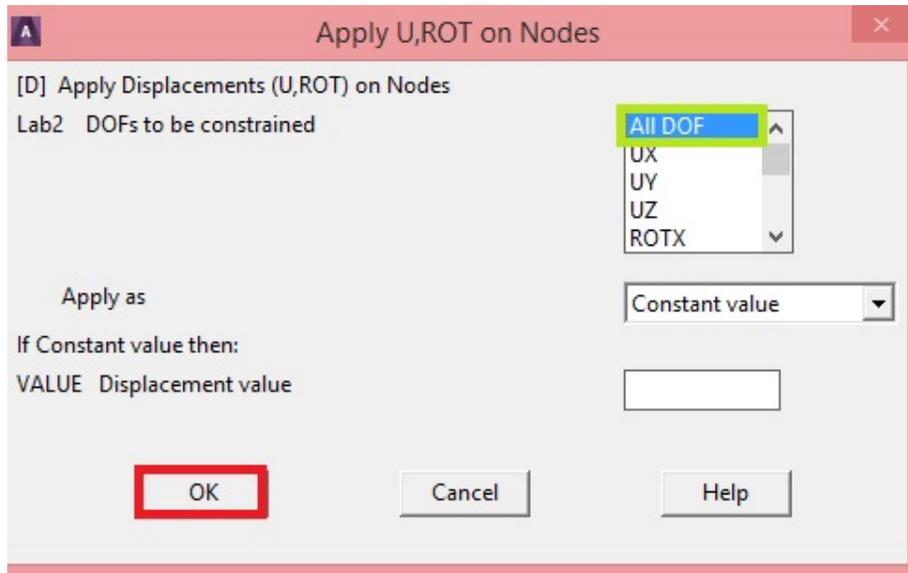


Figure 143: Elaboración propia

Para aplicar el torque de click en **Force/Moment**, **Node**,

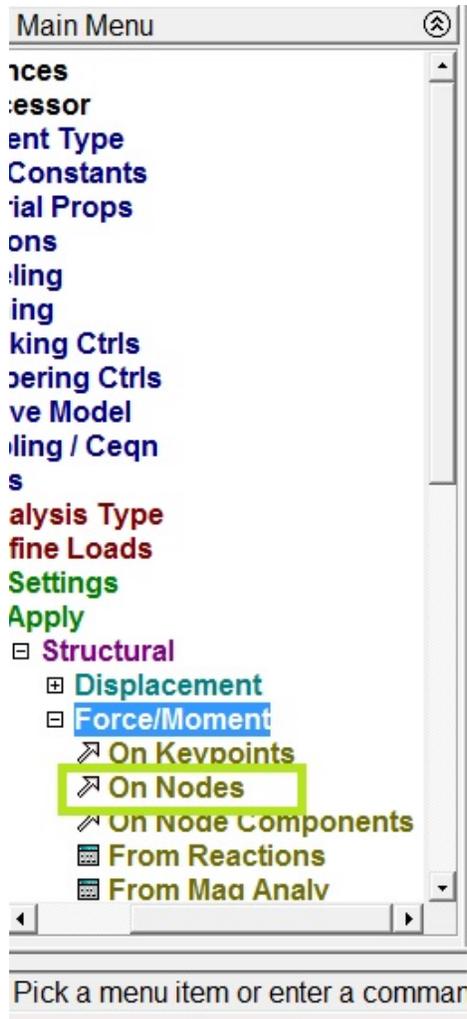


Figure 144: Elaboración propia

Seleccione el nodo en que esta aplicado el torque y de click en **OK**

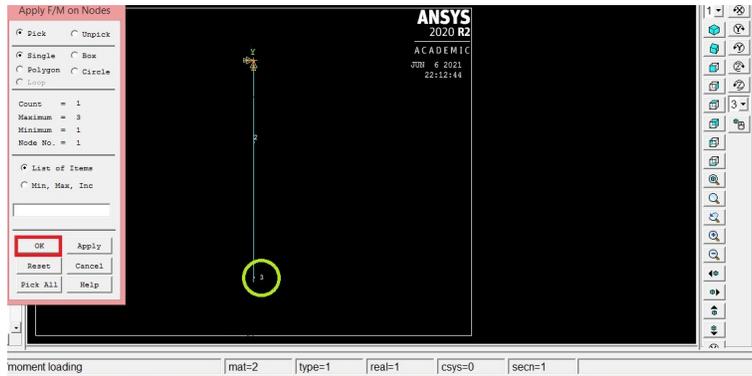


Figure 145: Elaboración propia

Seleccione el tipo de carga , direccion y magnitud.

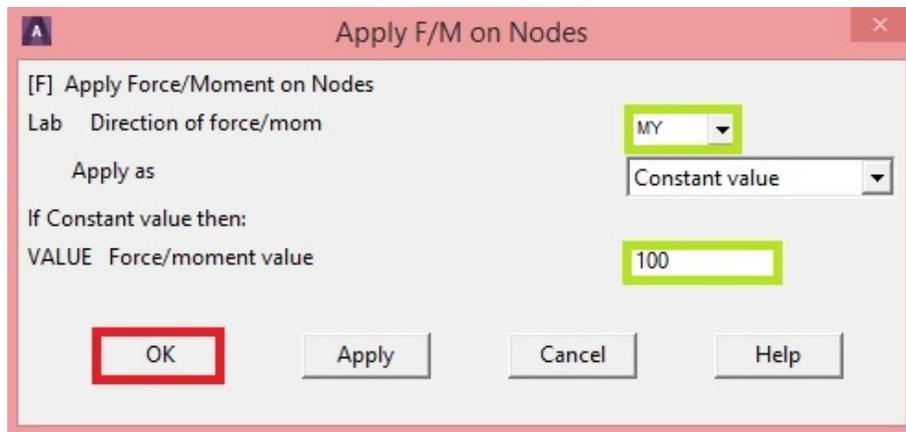


Figure 146: Elaboración propia

Para resolver el problema seleccione **Solution,Solve,Current LS**



Figure 147: Elaboración propia

De click en **OK** y espere a que se solucione el sistema.



Figure 148: Elaboración propia

Cuando aparezca el siguiente mensaje usted podrá revisar las respuestas. De click en **Close** y cierre las ventanas

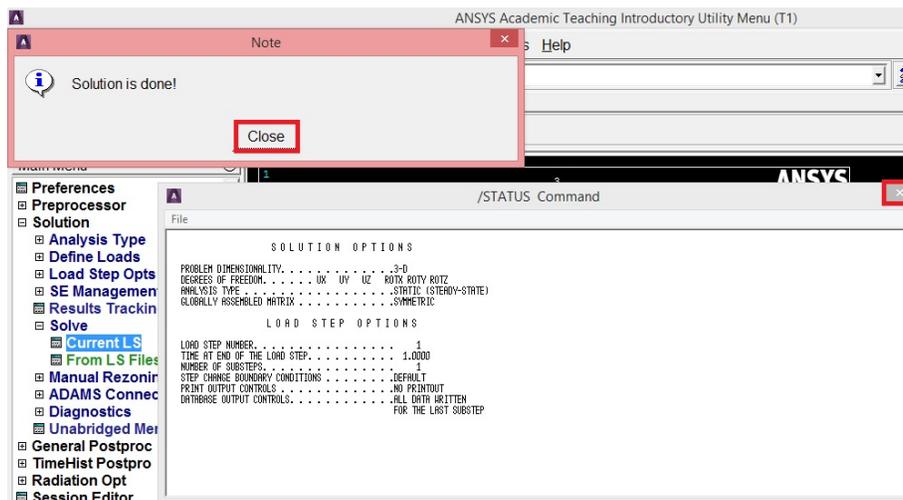


Figure 149: Elaboración propia

Los resultados se pueden observar siguiendo los siguientes pasos.

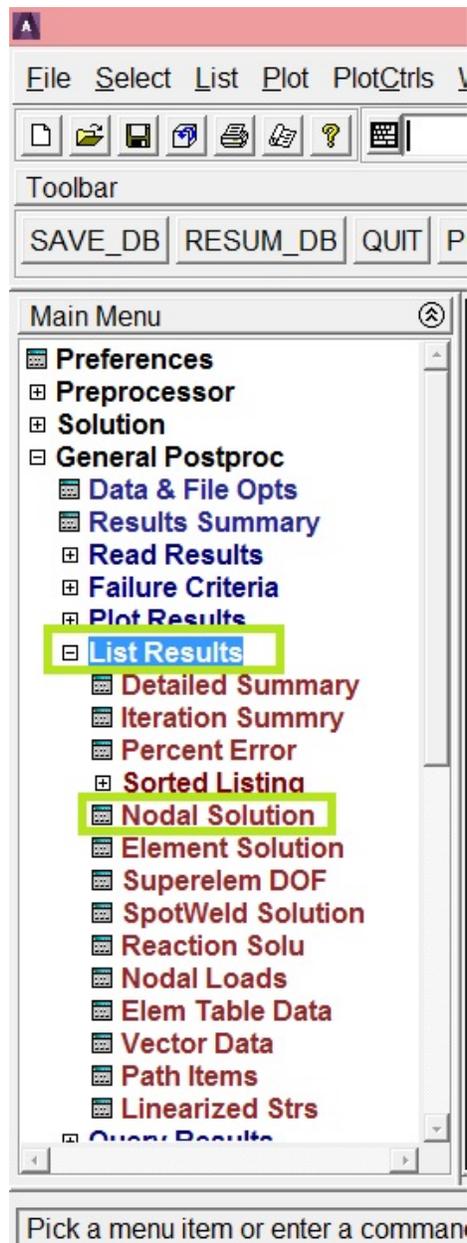


Figure 150: Elaboración propia

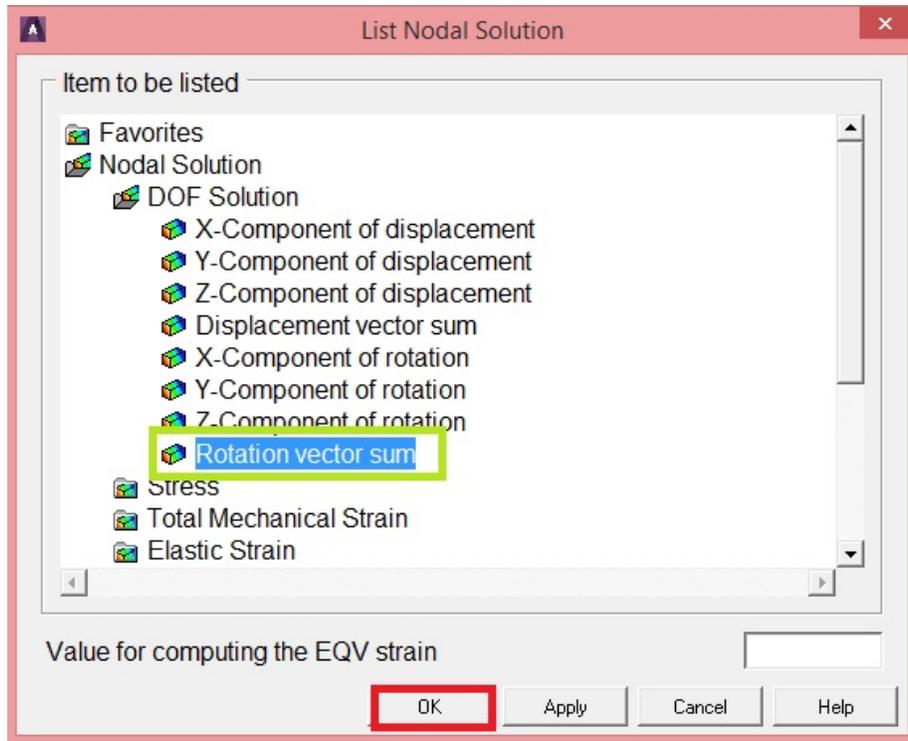


Figure 151: Elaboración propia

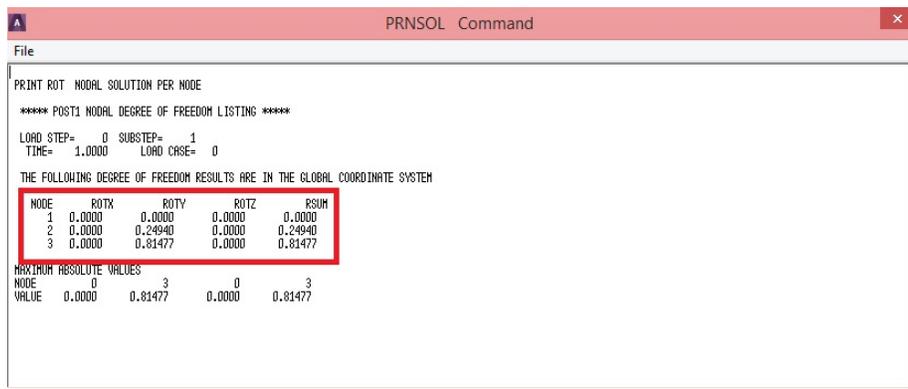


Figure 152: Elaboración propia

• Problema 4

3.51 Los cilindros sólidos AB y BC están unidos en B y se encuentran adheridos a soportes fijos en A y C . Si se sabe que el módulo de rigidez es 3.7×10^6 psi para el aluminio y 5.6×10^6 psi para el latón, determine el esfuerzo cortante máximo $a)$ en el cilindro AB , $b)$ en el cilindro BC .

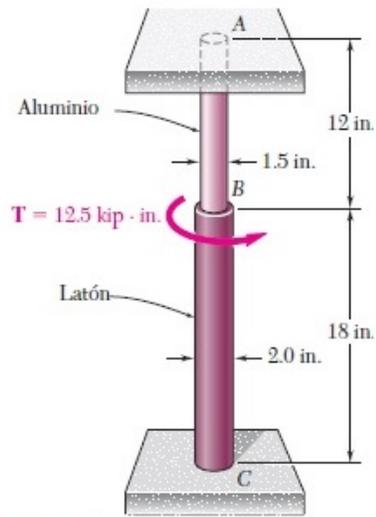


Figura P3.51

Figure 153: Problema 3.51 Beer

5.3 Solución analítica

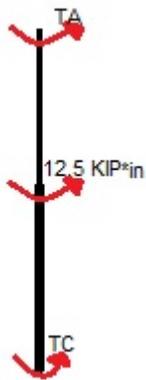


Figure 154: Elaboración propia

$$T_A + 12.5KIP \cdot in + T_C = 0 \quad (52)$$

$$T_A + T_C = -12.5Kip \cdot in \quad (53)$$

$$\theta_B = \frac{(T_A) \cdot (12in)}{(0.497009in^4) \cdot (3.7 \cdot 10^6) \cdot \frac{lb}{i} n^2} \quad (54)$$

$$\theta_B = T_A 6.52552 \quad (55)$$

$$\theta_B = \frac{(T_C) \cdot (18in)}{1.570796in^4 \cdot / (5.6 \cdot 10^6)} \quad (56)$$

$$T_C = 2.04627 \quad (57)$$

$$T_A 6.52552 = T_C 2.04627 \quad (58)$$

$$T_C = 3.188988 T_A \quad (59)$$

Se reemplaza en la ecuacion (49)

$$T_A + 3.188988 T_A - 12500 = 0 \quad (60)$$

$$T_A = \frac{(-12500)}{(4.18898)} \quad (61)$$

$$T_A = 2984.014lb * in \approx 2.98 \cdot 10^3 \quad (62)$$

$$T_C = 3.188988(T_A) \quad (63)$$

$$3.188988(2.98 \cdot 10^3) \quad (64)$$

$$= 9503.18424lb \cdot in \approx 9.50lb \cdot in \quad (65)$$

Esfuerzo cortante maximo en AB:

$$\tau_{maxAB} = \frac{(2.98 \cdot 10^3lb \cdot in) \cdot (0.75in)}{(0.497009)} \quad (66)$$

$$= 4496.900 \frac{lb}{in^2} \approx 4.496ksi \quad (67)$$

Esfuerzo cortante maximo en BC:

$$\tau_{maxBC} = \frac{(9.50 \cdot 10^3) \cdot (1.0in)}{(1.570796in^4)} \quad (68)$$

$$= 6.05ksi \quad (69)$$

5.4 solución con Ansys

Para este caso se usara Workbench para resolver el problema. Al abrir el programa se encontrara con la siguiente ventana.

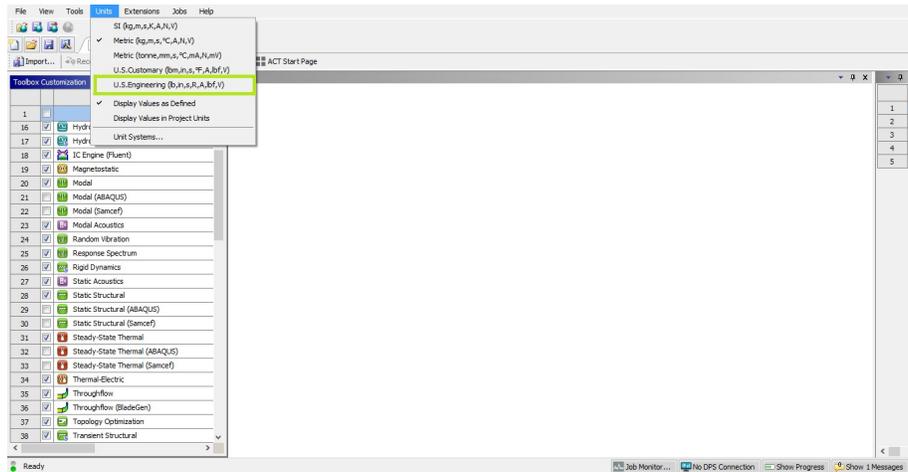


Figure 155: Elaboración propia

El primer paso es seleccionar el sistema metrico con el que va a trabajar, esto se indica en la Figura 155. Despues de eso seleccione la opcion **Static Structural** y arrastrela hasta el recuadro blanco.

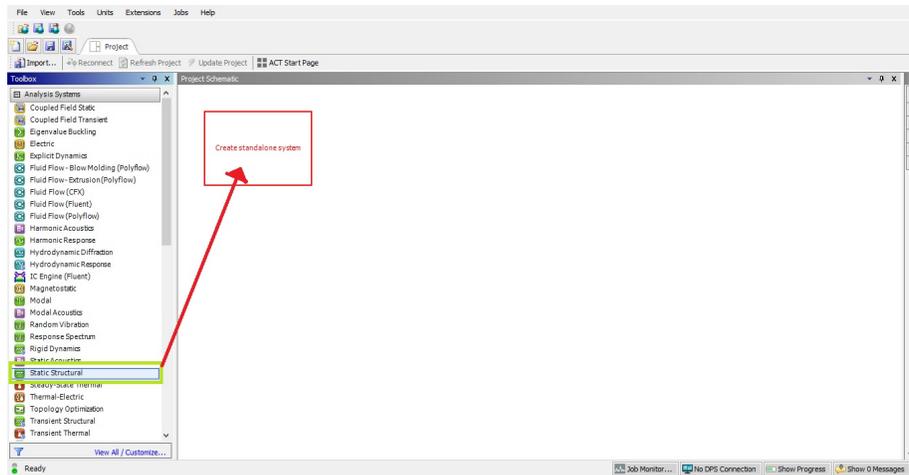


Figure 156: Elaboración propia

Aparecerá una ventana que le dará las herramientas para realizar el ejercicio, primero seleccione **Engineering Data** haciendo doble click.

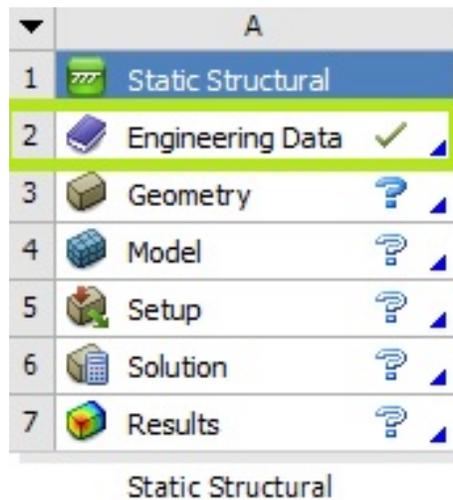


Figure 157: Elaboración propia

Esto lo llevará a una nueva ventana en la que podrá definir las características del Material. En el recuadro marcado con un asterisco usted podrá: dar nombre al material, definir si es isotropico y añadir el modulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson. Primero nombre el material, de enter y arrastre la opción **Isotropic** hasta el cuadro del material.

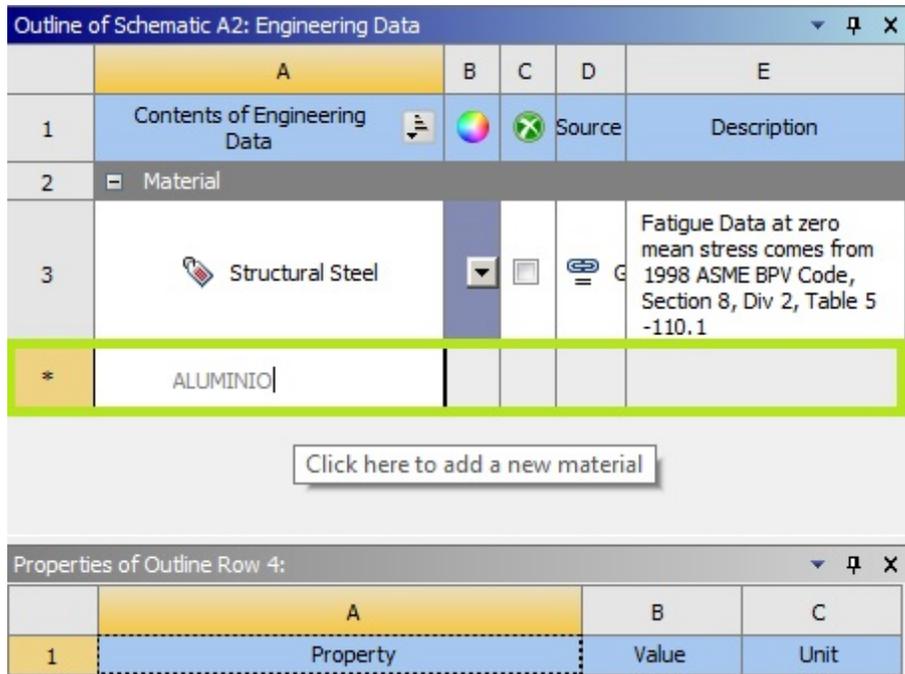


Figure 158: Elaboración propia

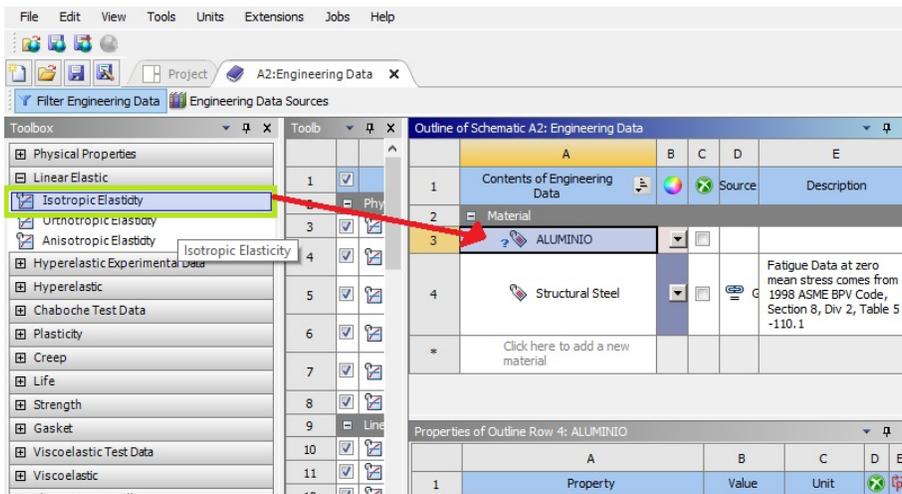


Figure 159: Elaboración propia

Es importante que se asegure de las unidades en que está trabajando el programa

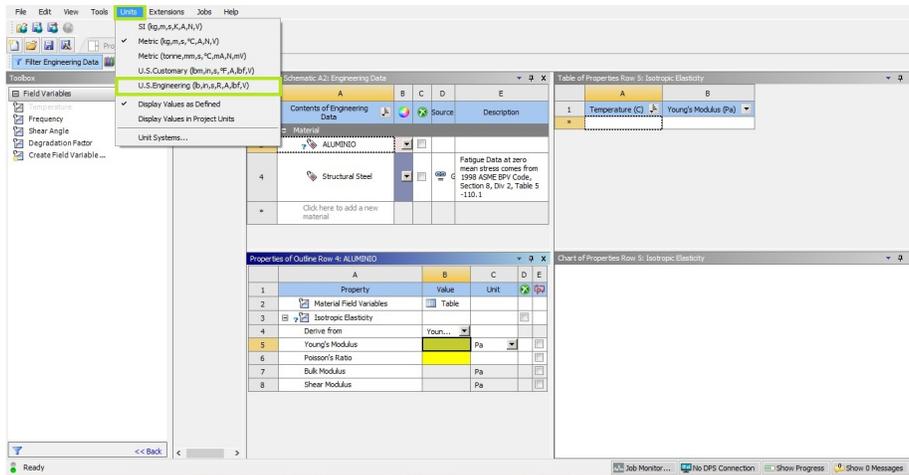


Figure 160: Elaboración propia

Seleccione las unidades correctas y agregó los valores de modulo de elasticidad y coeficiente de Poisson.

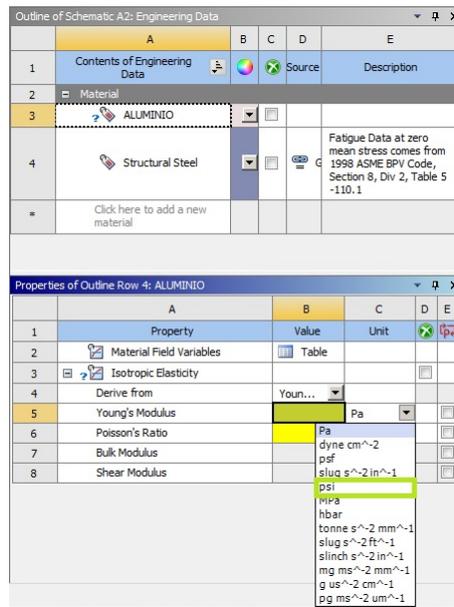


Figure 161: Elaboración propia

Properties of Outline Row 4: ALUMINIO					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Isotropic Elasticity			<input type="checkbox"/>	
4	Derive from	Youn...			
5	Young's Modulus	1,04E+07	psi		<input type="checkbox"/>
6	Poisson's Ratio	0,3			<input type="checkbox"/>
7	Bulk Modulus	2,3902E+10	Pa		<input type="checkbox"/>
8	Shear Modulus	3,5853E+10	Pa		<input type="checkbox"/>

Figure 162: Elaboración propia

Repita estos pasos para el otro material

Outline of Schematic A2: Engineering Data					
	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	ALUMINIO		<input type="checkbox"/>		
4	Structural Steel		<input type="checkbox"/>		Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1
*	LATON				

Figure 163: Elaboración propia

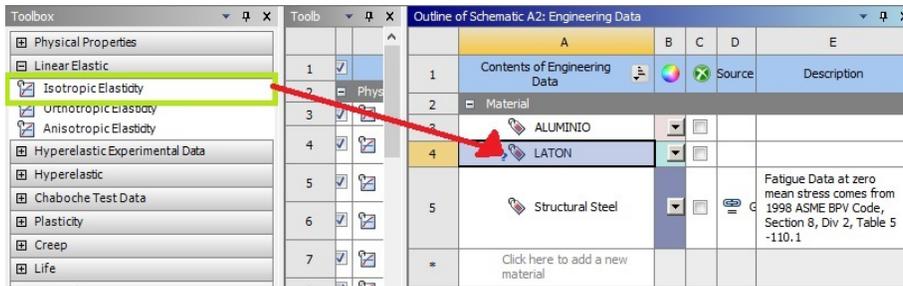


Figure 164: Elaboración propia

Outline of Schematic A2: Engineering Data					
	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	ALUMINIO		<input type="checkbox"/>		
4	LATON		<input type="checkbox"/>		
5	Structural Steel		<input type="checkbox"/>		Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1
*	Click here to add a new material				

Properties of Outline Row 5: LATON					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Isotropic Elasticity			<input type="checkbox"/>	
4	Derive from	Youn...			
5	Young's Modulus	1,5E+07	psi		<input type="checkbox"/>
6	Poisson's Ratio	0,3			<input type="checkbox"/>
7	Bulk Modulus	1,25E+07	psi		psi <input type="checkbox"/>
8	Shear Modulus	5,7692E+06	psi		<input type="checkbox"/>

Figure 165: Elaboración propia

Ahora que se han establecido los materiales puede cerrar la pestaña.

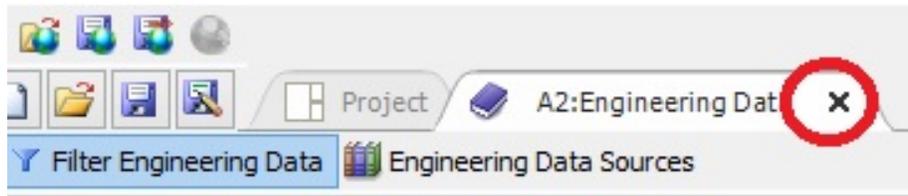


Figure 166: Elaboración propia

El siguiente paso sera definir la geometria del material, para esto de click derecho en **Geometry** y seleccione **New DesingModeler Geometry**

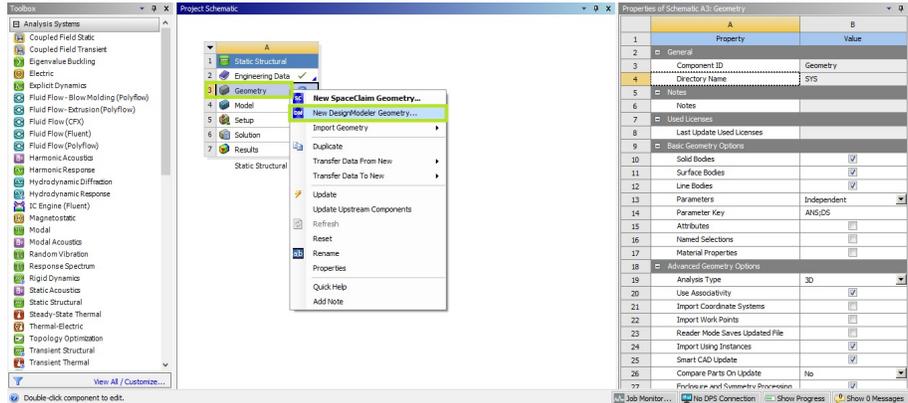


Figure 167: Elaboración propia

De click en la herramienta **Unitis** y seleccione las unidades con las que esta trabajando

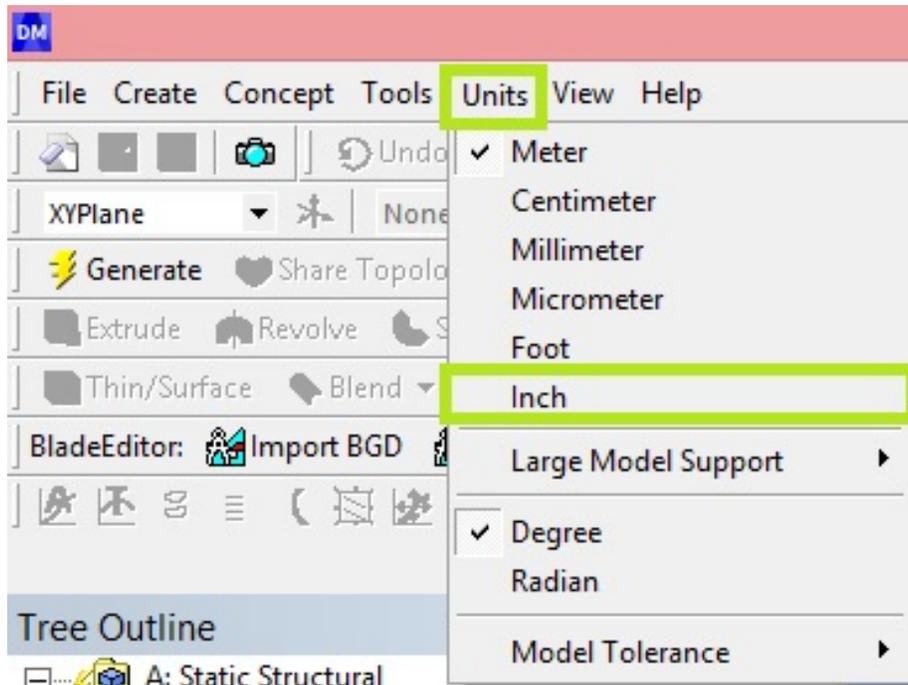


Figure 168: Elaboración propia

Para este problema se importara una geometria, que se realizó en Solidwork, para importar piezas de este programa a Ansys se debe guardarlo con la extensión **STEPAP203**

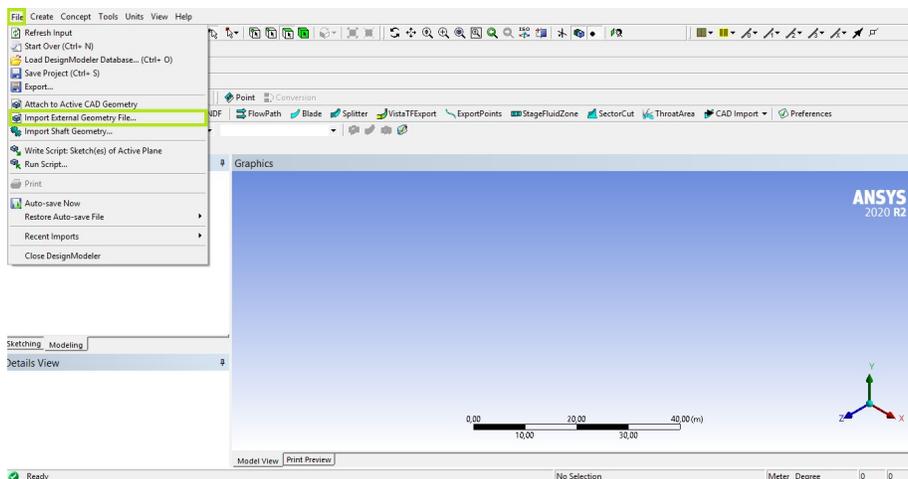


Figure 169: Elaboración propia

Seleccione el archivo y despues de click en **Generate**

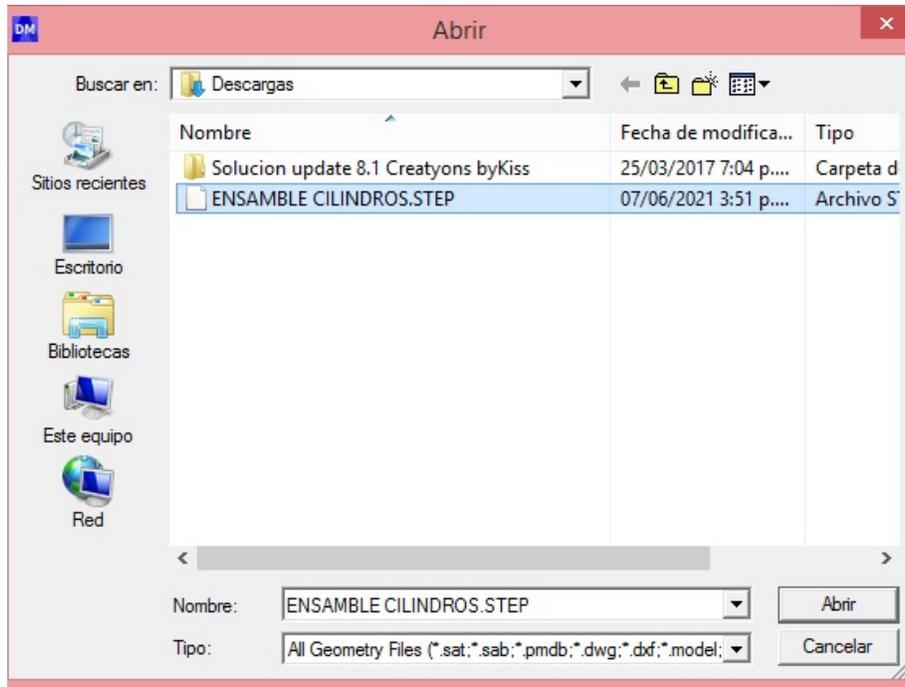


Figure 170: Elaboración propia

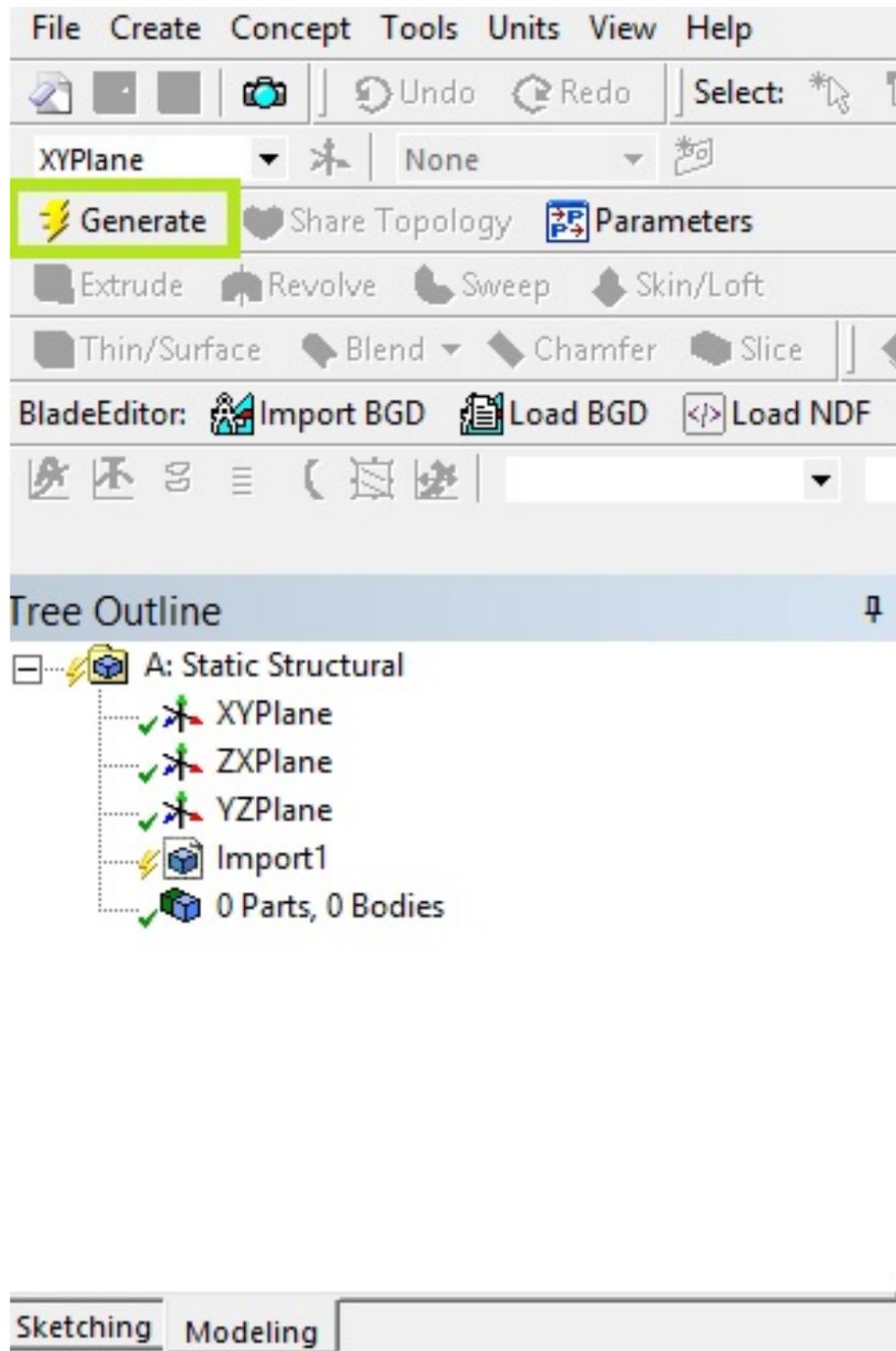


Figure 171: Elaboración propia

Una vez que se genere la geometría puede cerrar la ventana y pasar al siguiente paso. Haciendo doble click en **Model**

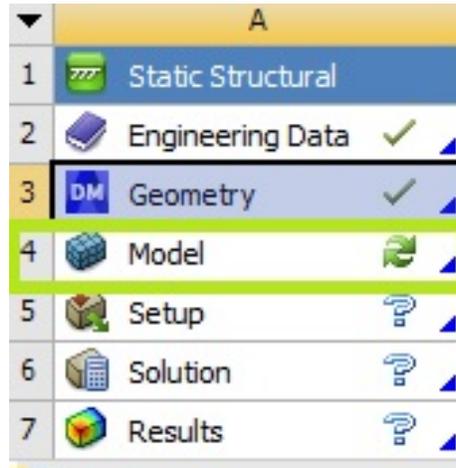


Figure 172: Elaboración propia

En esta pestaña se va a definir, el material, el mallado, los apoyos y las cargas.

Primero revise el sistema de unidades

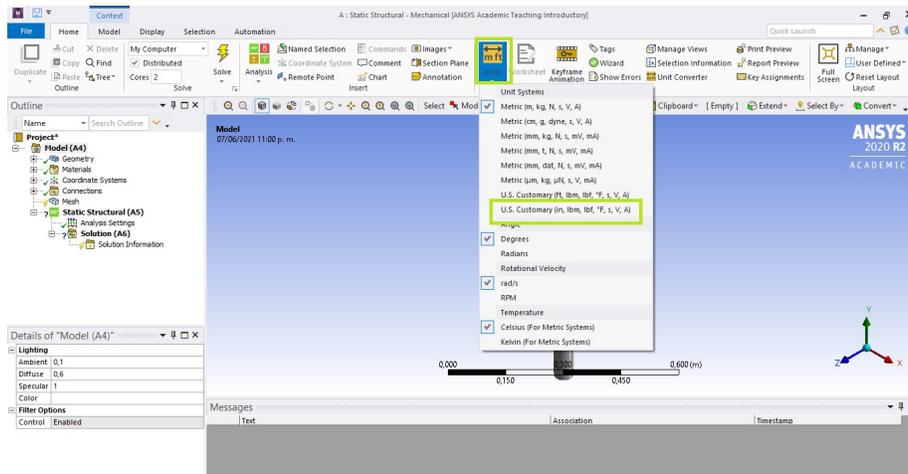


Figure 173: Elaboración propia

Ahora debe definir el material para cada elemento, para esto debe dar click en **geometry** y luego seleccionar el elemento que va a definir.

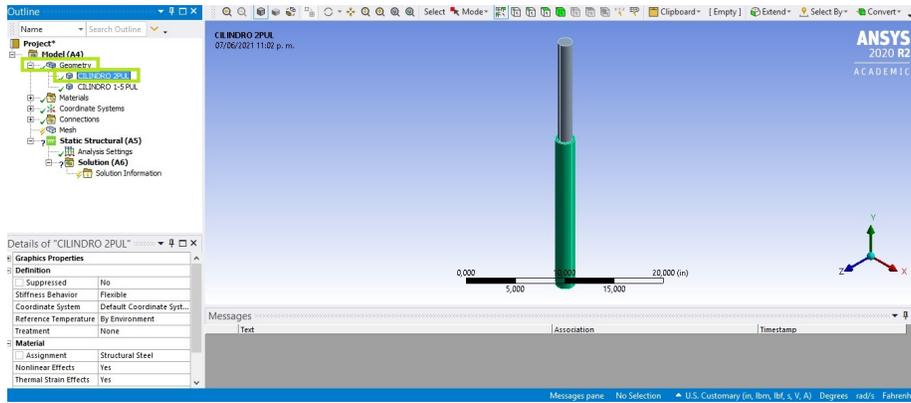


Figure 174: Elaboración propia

En la pestaña de Material de click en **Structural Steel** y seleccione el material.

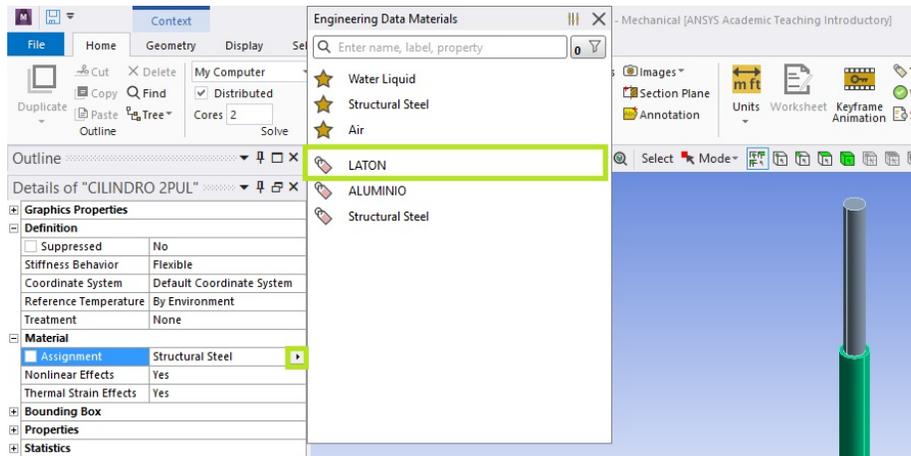


Figure 175: Elaboración propia

Repita este paso para el elemento restante.

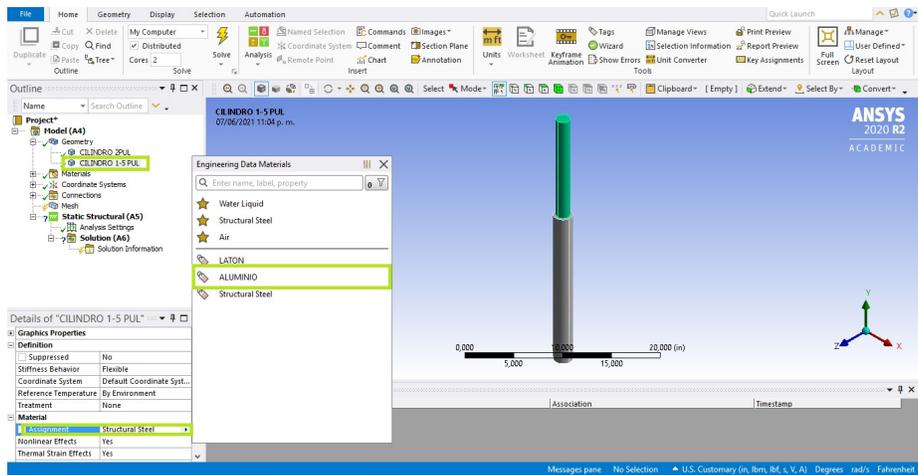


Figure 176: Elaboración propia

Ahora para generar la malla debe dar click derecho en **Mesh**, pasar el cursor por la opción **Insert**, y seleccionar **Sizing**

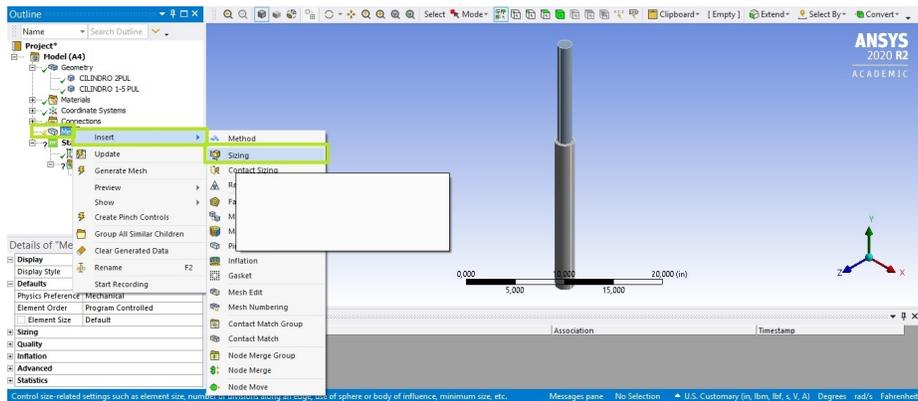


Figure 177: Elaboración propia

Para poder seleccionar la pieza debe dar click en la función superficie y después hacer click en la pieza.

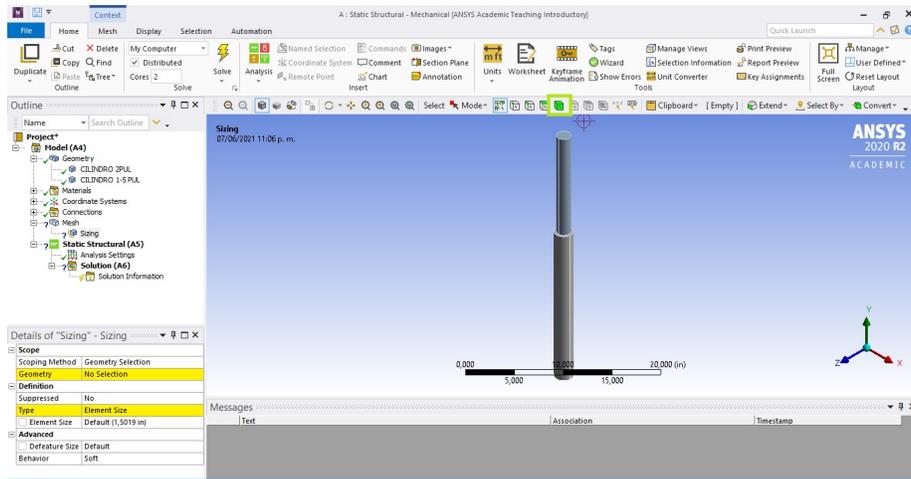


Figure 178: Elaboración propia

Una vez que este seleccionado el elemento de click en **Apply**

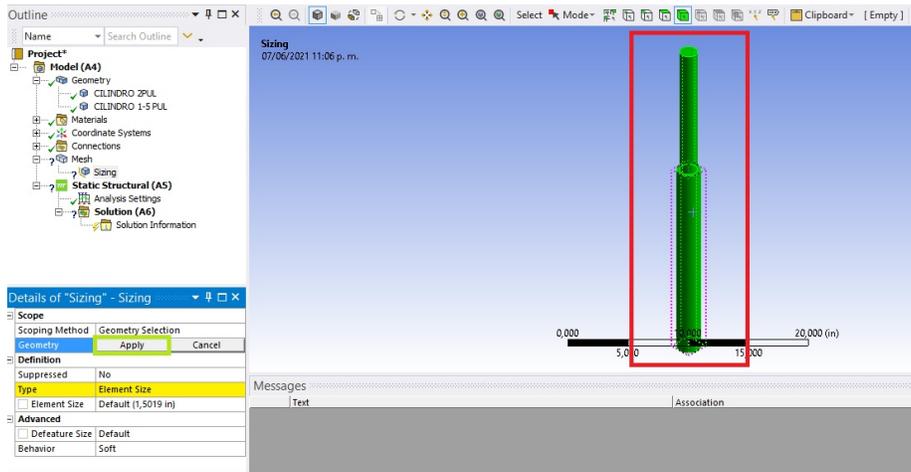


Figure 179: Elaboración propia

Finalmente de click en **Mesh** y seleccione **Generate Mesh**

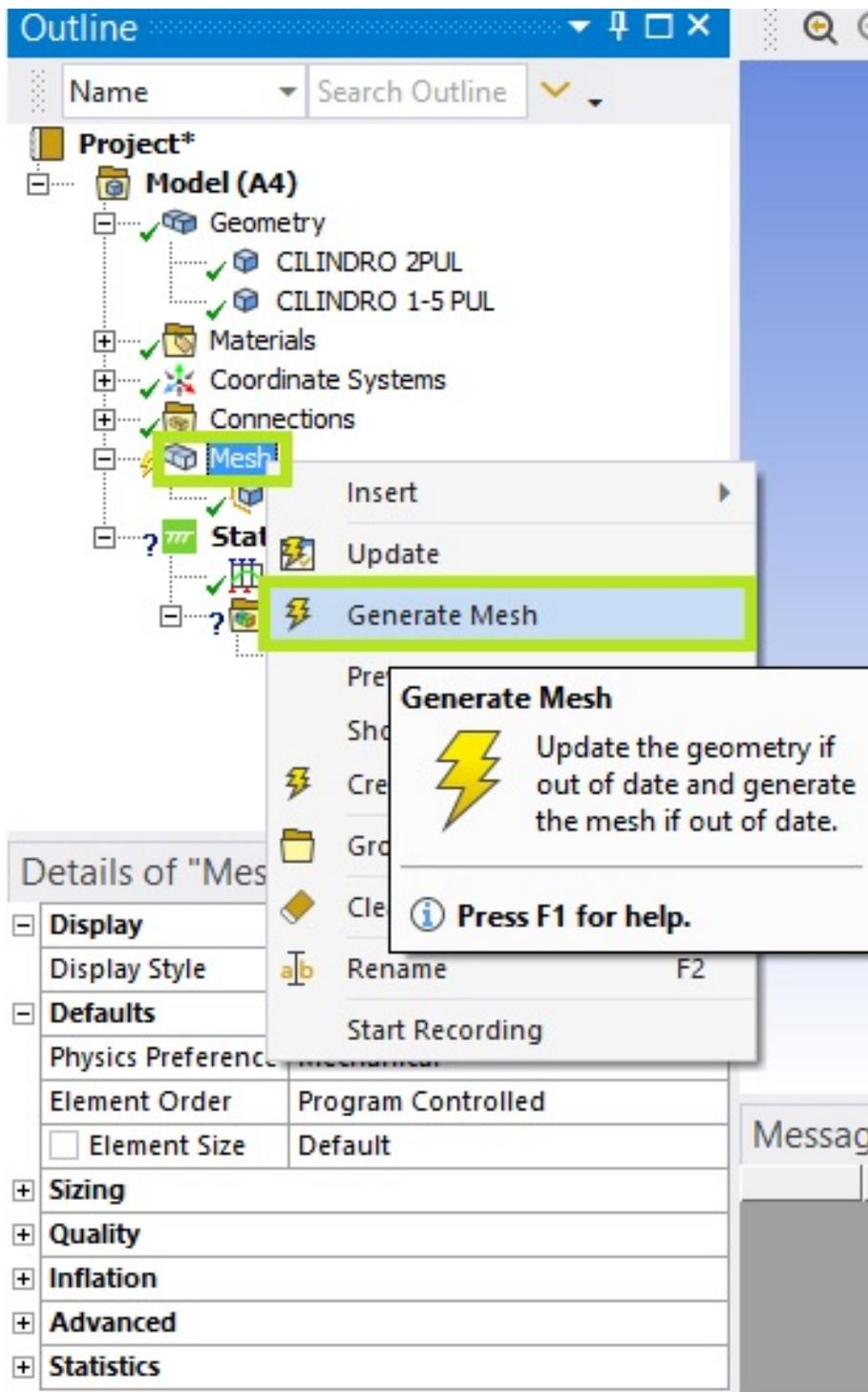


Figure 180: Elaboración propia

El siguiente paso es definir las restricciones y las fuerzas, para esto debe dar click derecho en **Static Structural**, pasar el cursor por **Insert**; para generar un apoyo que restrinja todas las direcciones seleccione **Fixed Support**

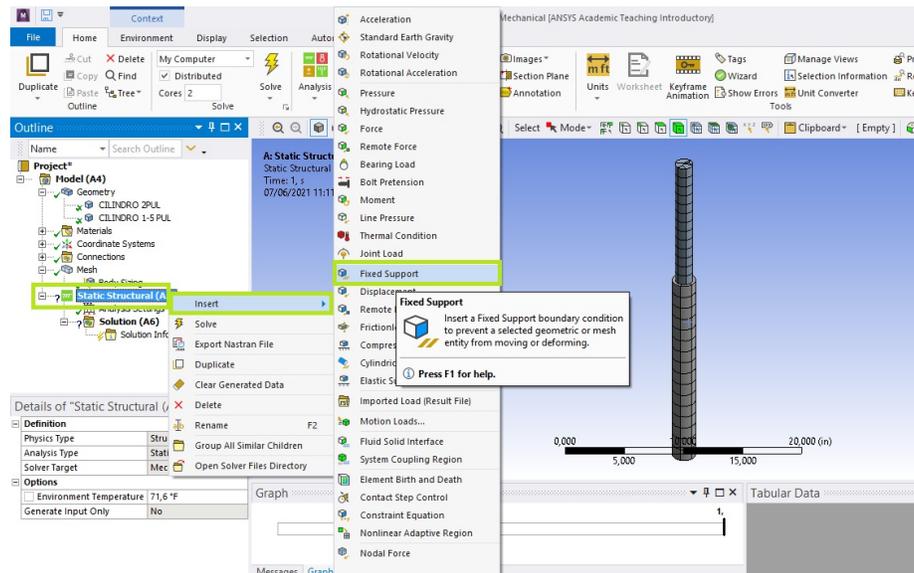


Figure 181: Elaboración propia

Para colocar la restricción seleccione la opción **Face**(que se encuentra en la barra de herramientas) y de click en las caras que están restringidas después de click en **Apply**

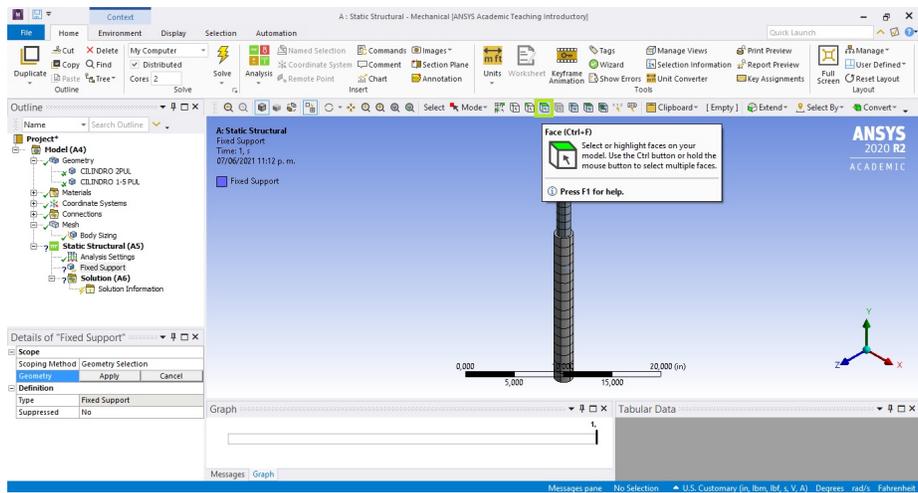


Figure 182: Elaboración propia

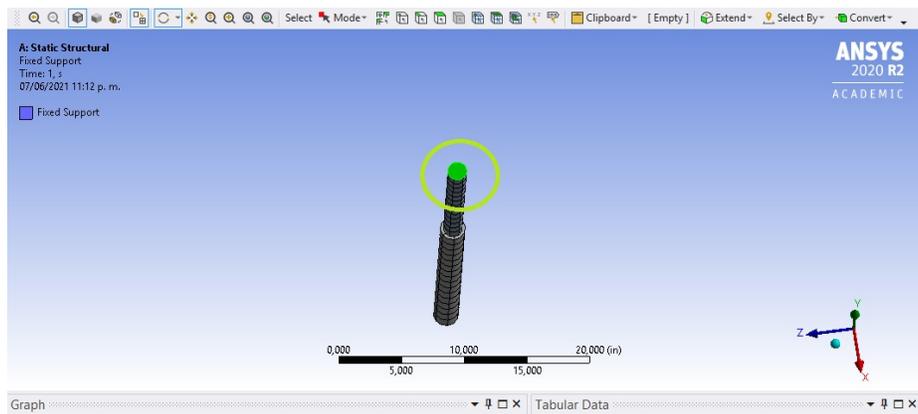


Figure 183: Elaboración propia

Para girar la pieza puede usar la herramienta que se muestra en la imagen.

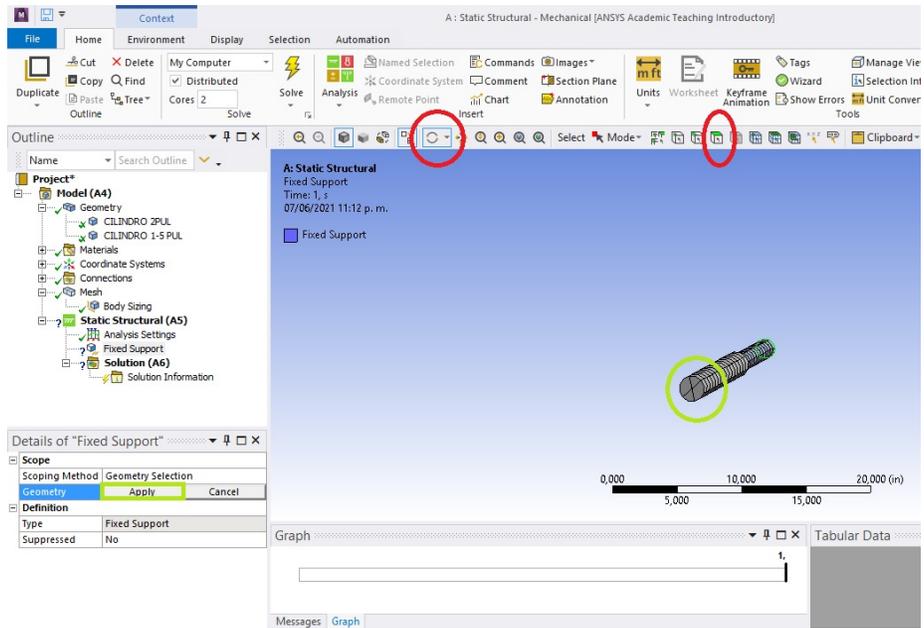


Figure 184: Elaboración propia

Ahora para aplicar el torque de click en **Static Structural,Insert,Moment**

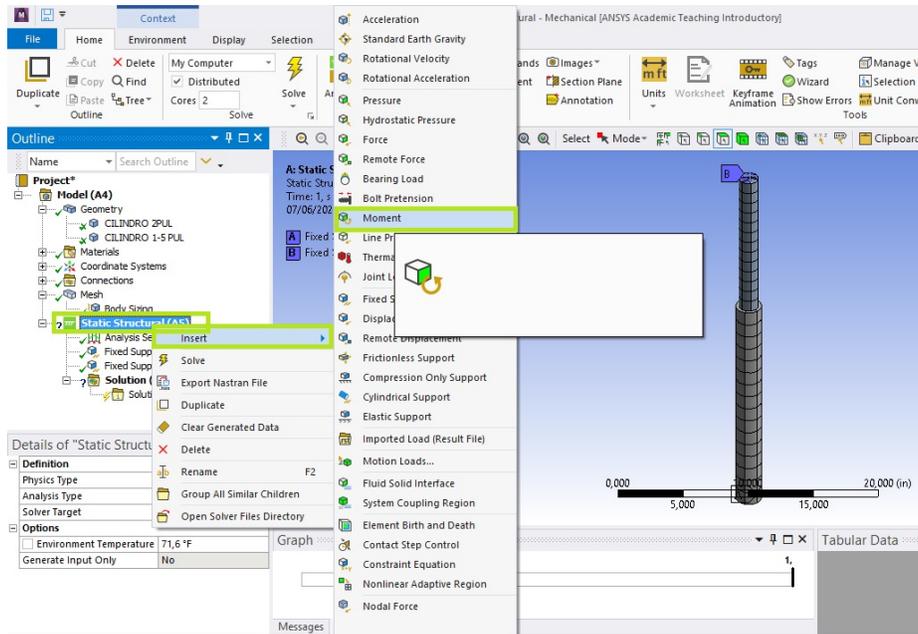


Figure 185: Elaboración propia

Primero tendra que seleccionar **components** en la ventana Definition.

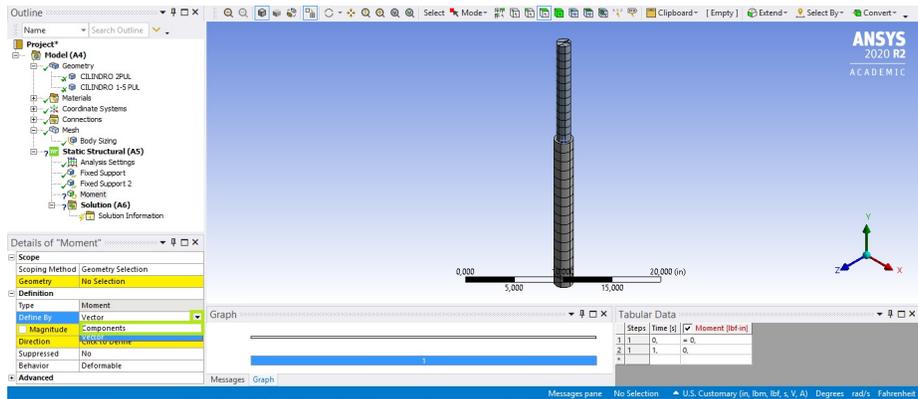


Figure 186: Elaboración propia

Ahora podra dar el valor del momento y especificar el eje de accion

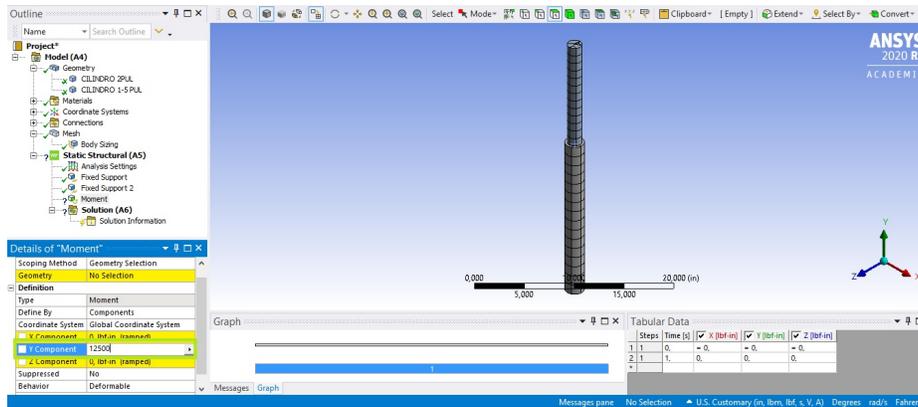


Figure 187: Elaboración propia

Despues seleccione la herramienta **Faces** y de click en el elemento que está sometido al torque, despues de click en **Apply**

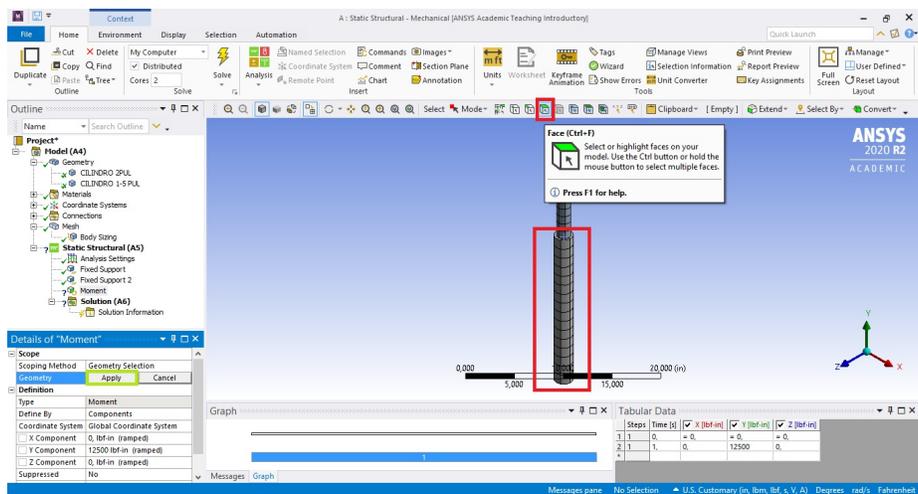


Figure 188: Elaboración propia

Ahora ya puede generar la solución, para esto de click derecho en **Static Structural** y seleccione **Solve**

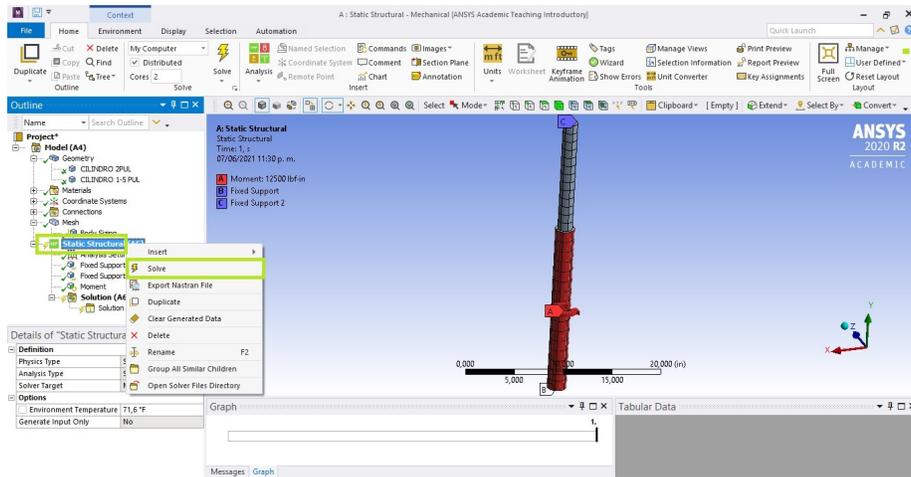


Figure 189: Elaboración propia

El programa se tardara unos minutos en solucionar el modelo.

Cuando se termine de resolver debe seleccionar los resultados que quiere ver, para eso de click en **Solution, Insert, Stress, Shear**

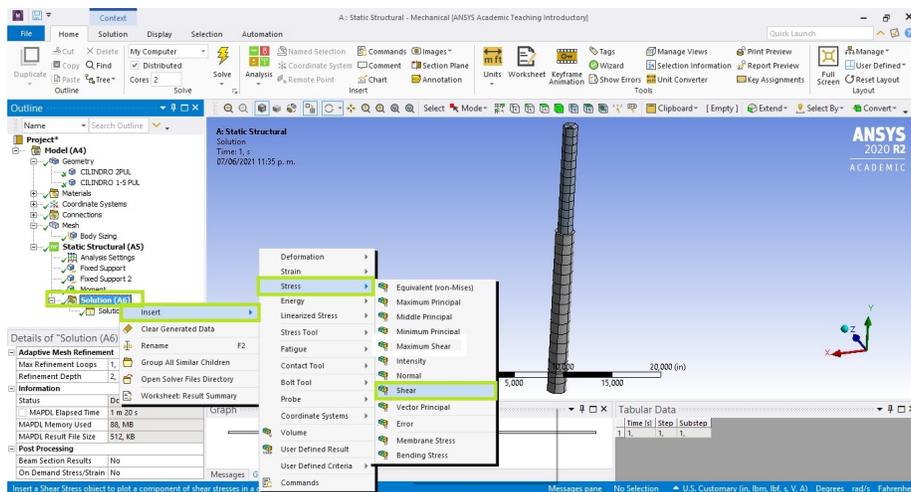


Figure 190: Elaboración propia

Ahora de click en **Solution, Evaluate all results**, cuando el resultado que selecciono tenga un check verde podra ver los valores.

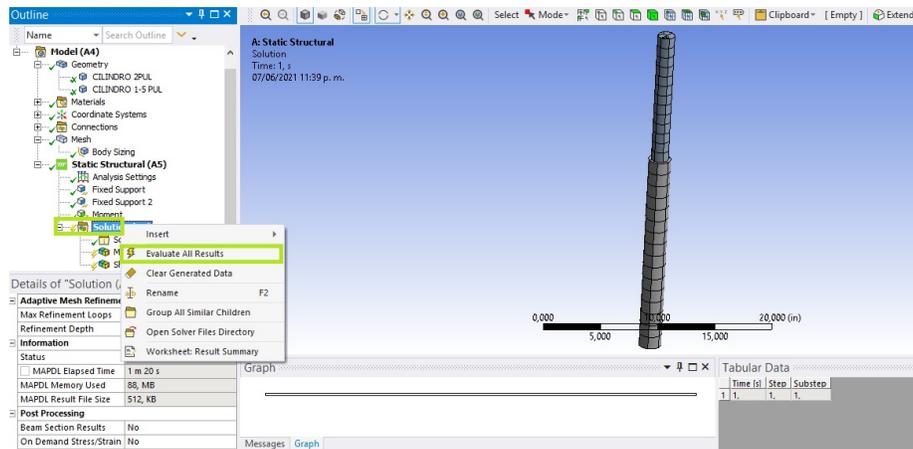


Figure 191: Elaboración propia

Ahora seleccione **Shear** para ver los valores.

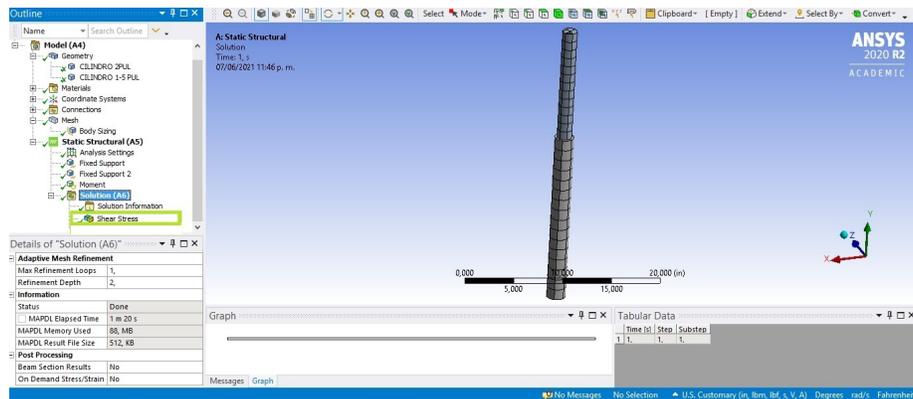


Figure 192: Elaboración propia

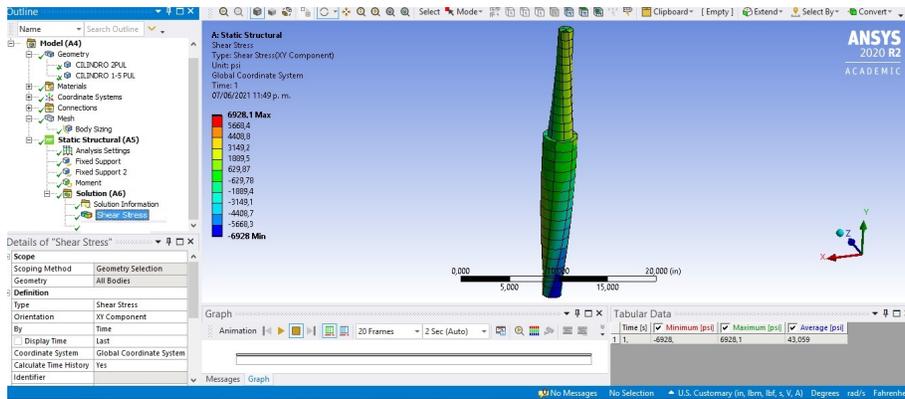


Figure 193: Elaboración propia

6 Flexión

En esta sección encontrara tres ejercicios de flexion en vigas.

Paras solucionar un problema de viga sometido a carga axial se debe iniciar con el diagrama de cuerpo libre, luego se realizan las ecuaciones de equilibrio, para los diagramas de esfuerzo cortante y momento flector, se inicia con el diagrama de esfuerzo cortante, y despues con las areas que se generan en este diagrama se dibuja el de momento flector.

- Ejercicio 5

6.1 Solución analitica

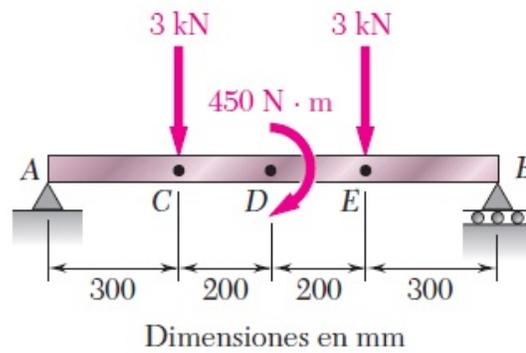


Figura P5.12

Figure 194: P5.12.Beer

Solución analítica



Figure 195: Elaboración propia

$$\sum F_y = R_{Ay} - 3000 - 3000 + R_{By} \quad (70)$$

$$R_{Ay} + R_{By} = 6000 \quad (71)$$

$$\sum M_A = 0.3m \cdot (3000N) + 450Nm + 0.7m \cdot (3000) - (1m) \cdot R_{By} \quad (72)$$

$$R_{By} = 3450 \quad (73)$$

Se sustituye la ecuación (70) en (68)

$$R_{Ay} - 3000 - 3000 + 3450 = 0 \quad (74)$$

$$R_{Ay} = 2550 \quad (75)$$

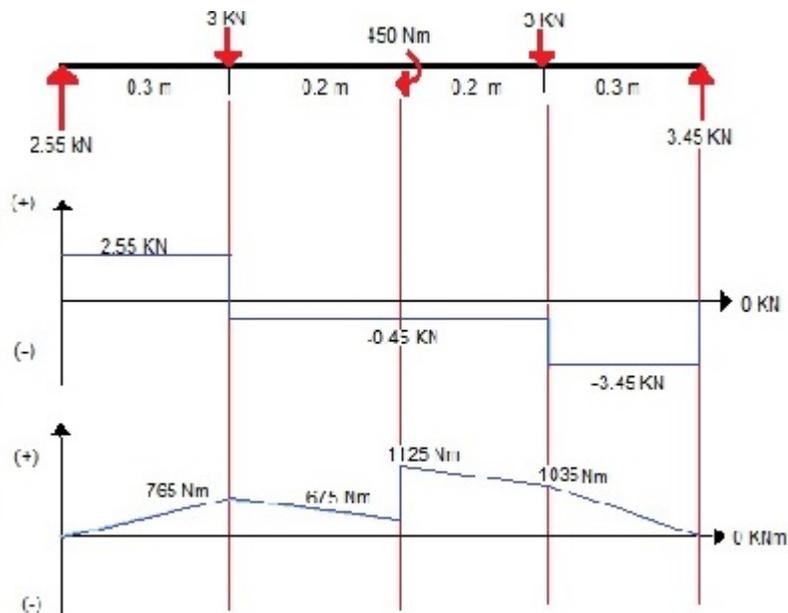


Figure 196: Elaboración propia

6.2 Solucion con Ansys

El desarrollo general para estos problemas es similar al visto en las secciones 4 y 5. El primer paso es dar click en la opción **Preference**, y seleccionar **Structural**

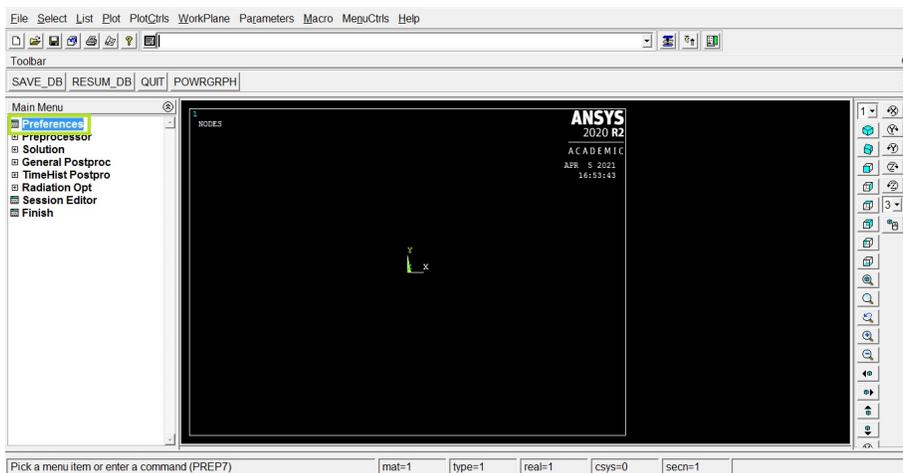


Figure 197: Elaboración propia

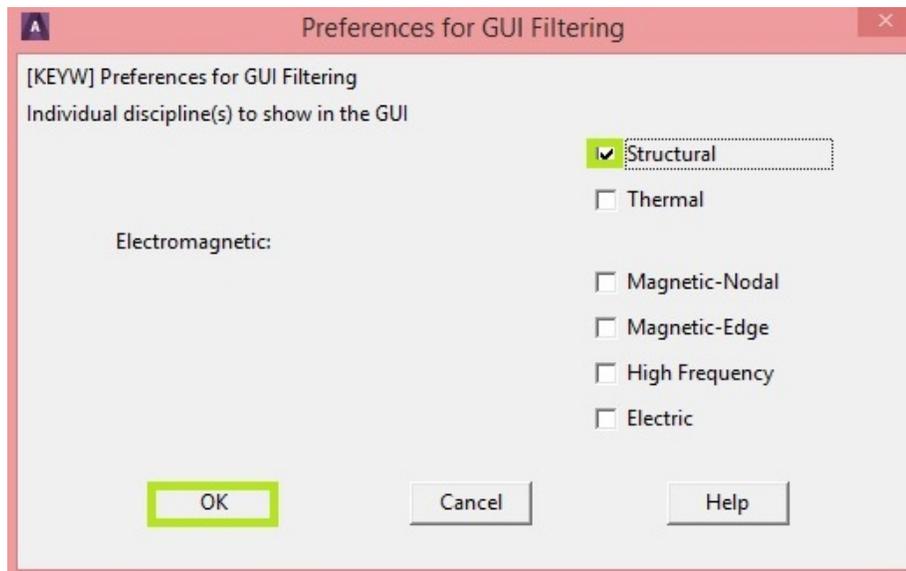


Figure 198: Elaboración propia

Ahora seleccione el tipo de elemento, **Beam 188**

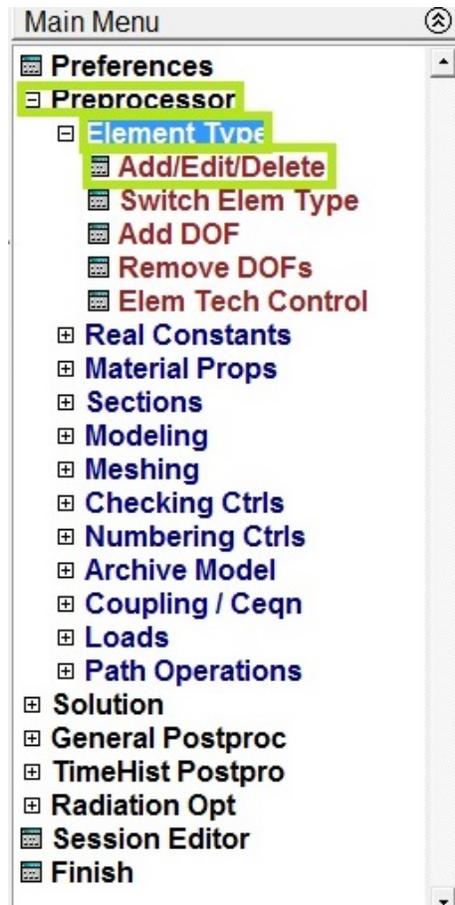


Figure 199: Elaboración propia

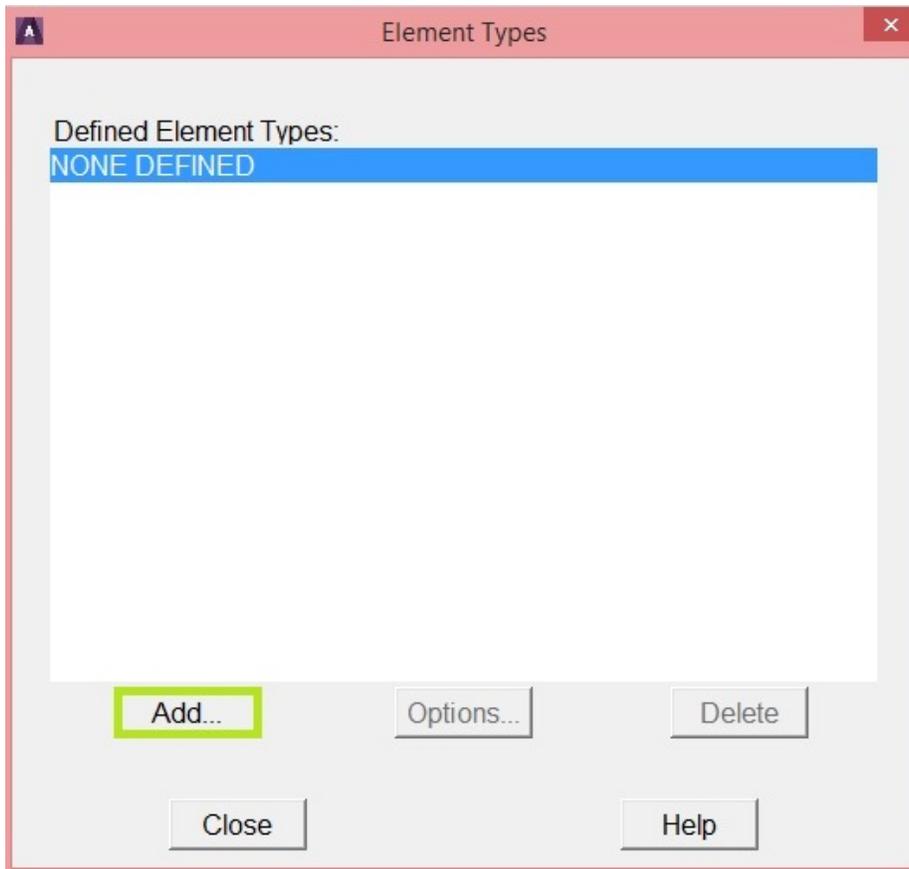


Figure 200: Elaboración propia

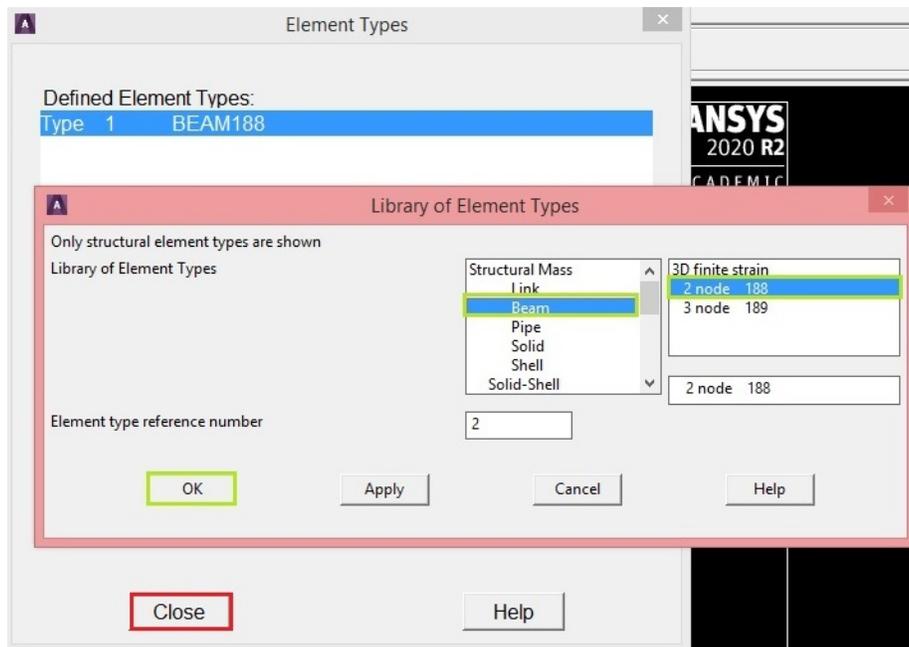


Figure 201: Elaboración propia

Ahora defina el material, de click en **Modeling, Material Model,**

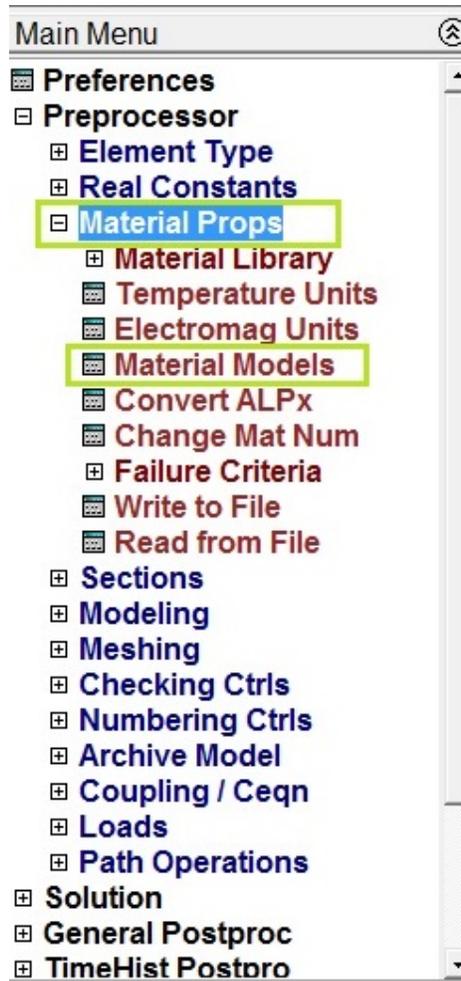


Figure 202: Elaboración propia

Lo siguiente es definir las características del material.

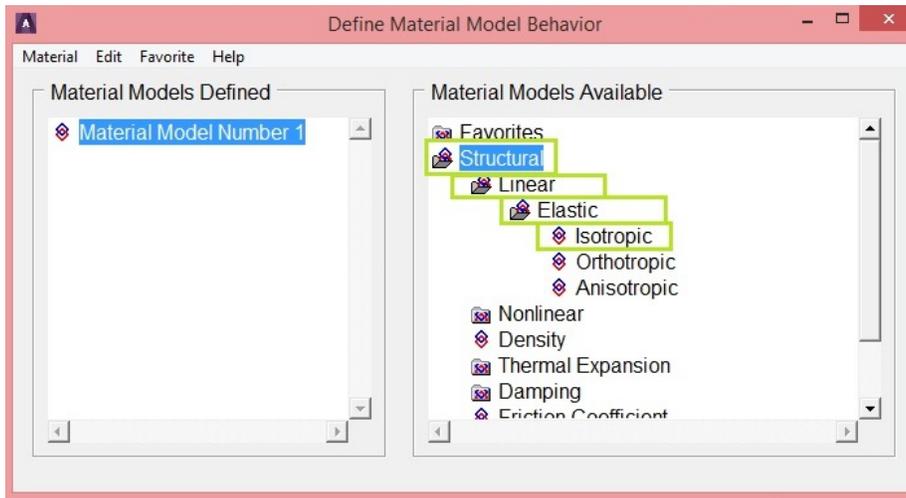


Figure 203: Elaboración propia

Ahora suministre los datos de modulo de elasticidad y coeficiente de Poisson.

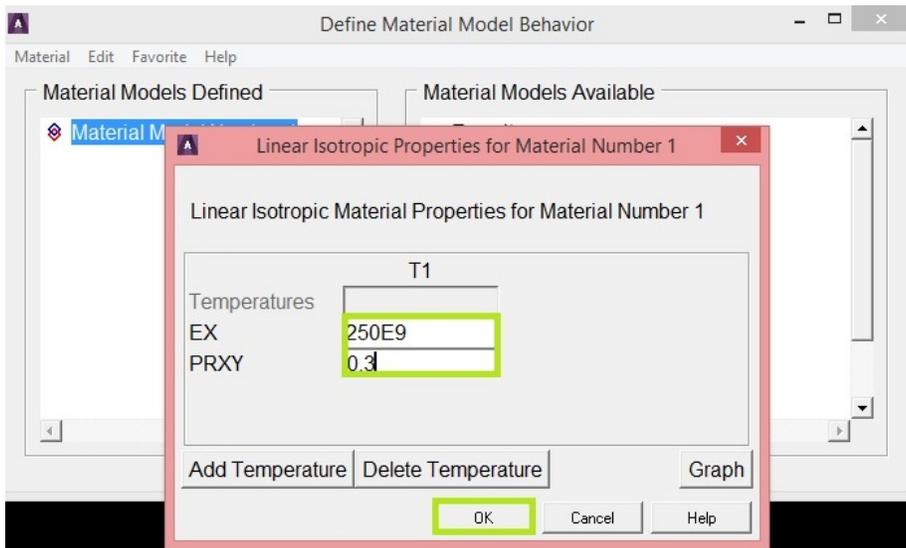


Figure 204: Elaboración propia

El paso siguiente es definir la seccion, para eso de click en **Section, Beam, Common Sections**

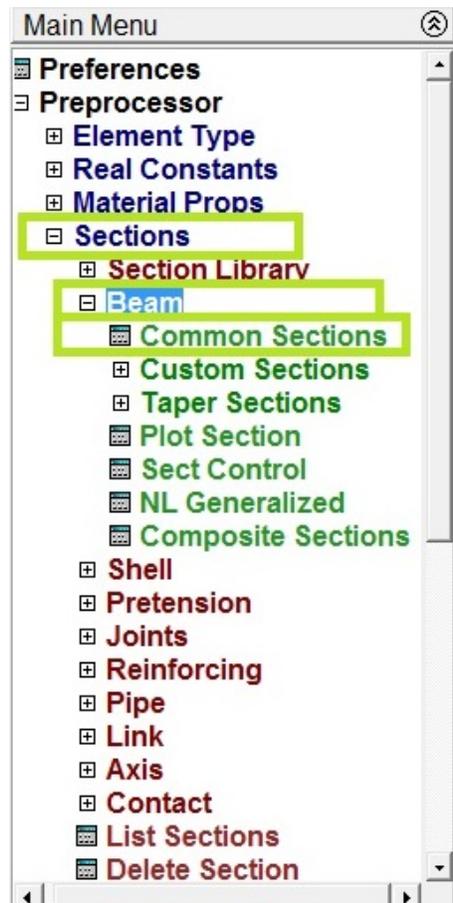


Figure 205: Elaboración propia

Seleccione el perfil y determine sus dimensiones, en este problema no se indica un perfil específico por lo que se tomara un perfil tipo I.

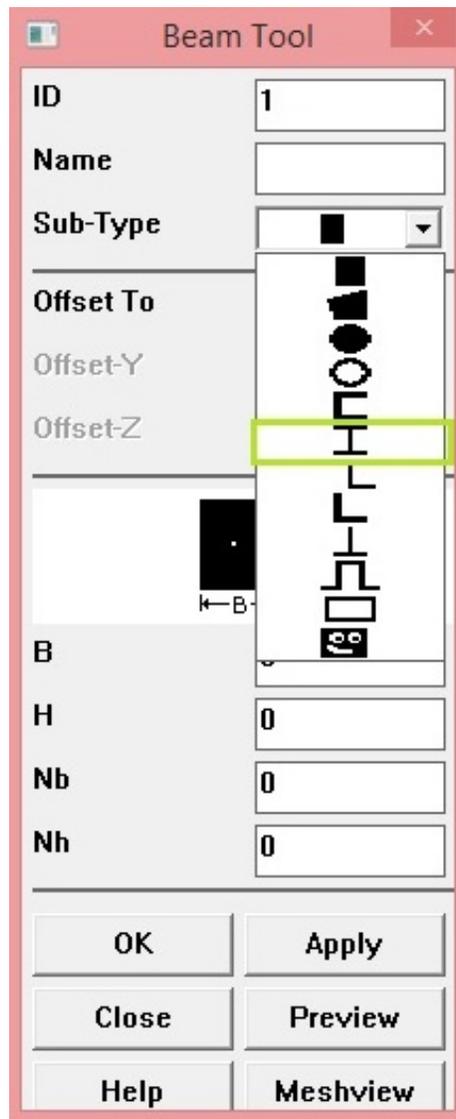


Figure 206: Elaboración propia

Indique las dimensiones y de click en **OK**

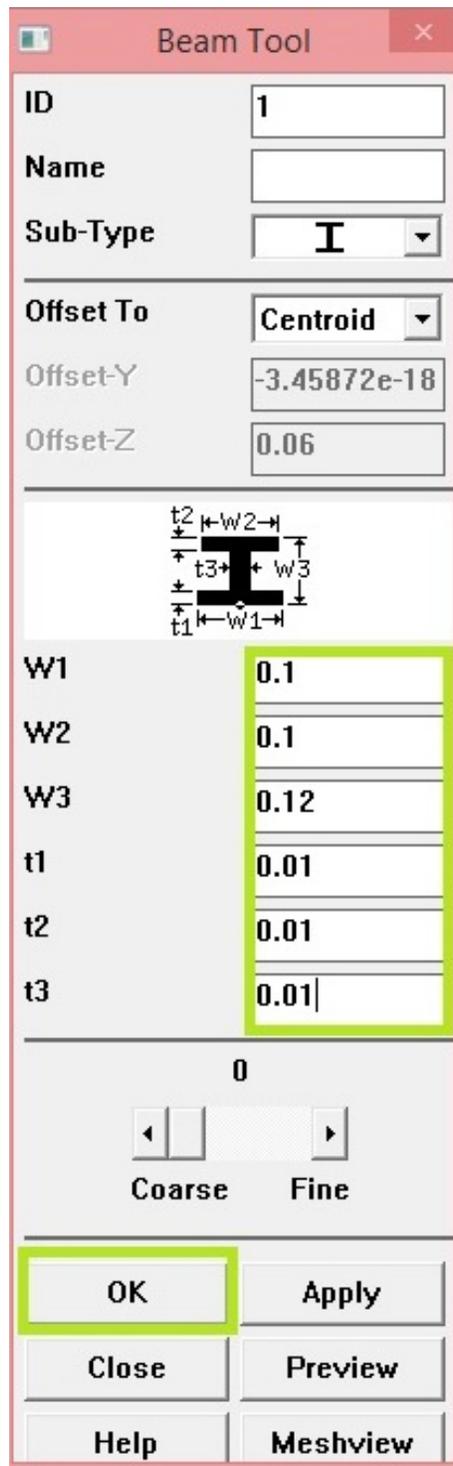


Figure 207: Elaboración propia

Para generar los nodos de click en **Modeling**, **Create**, **Keypoints**, **In Active CS**

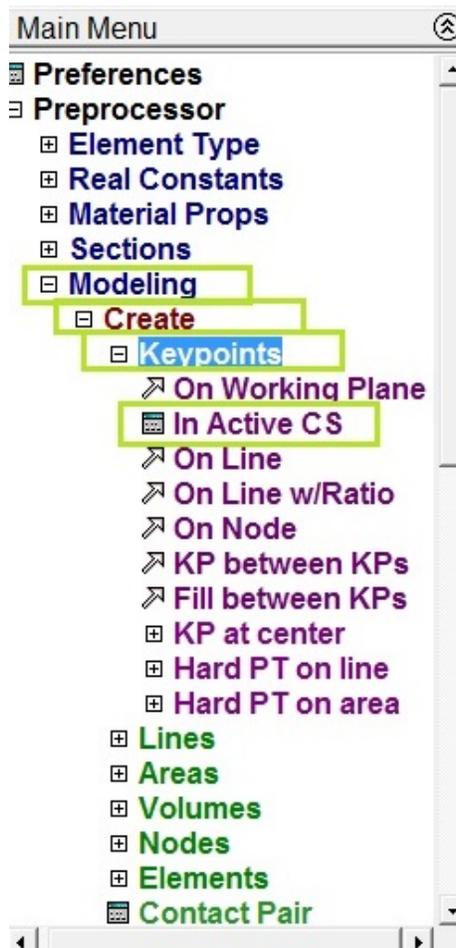


Figure 208: Elaboración propia

Enumere el nodo y determinamos sus coordenadas.



Figure 209: Elaboración propia

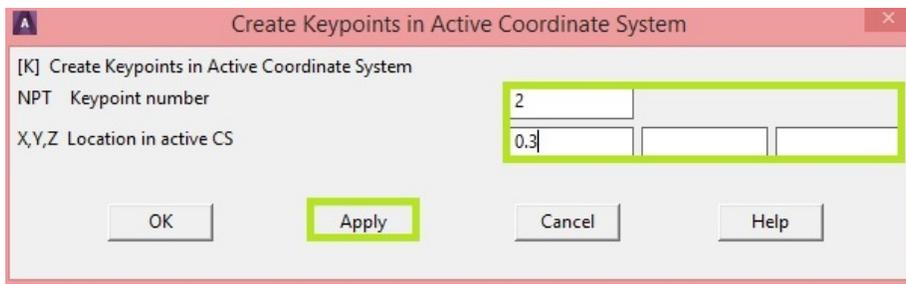


Figure 210: Elaboración propia

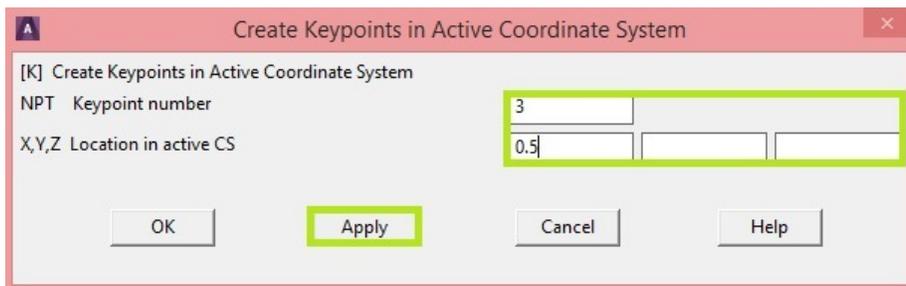


Figure 211: Elaboración propia

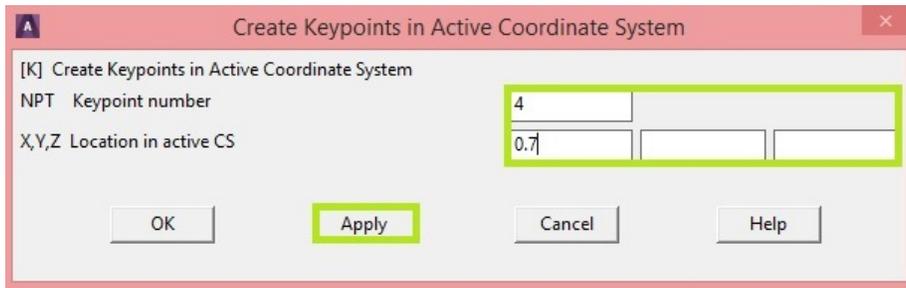


Figure 212: Elaboración propia



Figure 213: Elaboración propia

Para unir los nodos debe usar la herramienta **Lines**, de click en **Line** y luego **Straight Line**

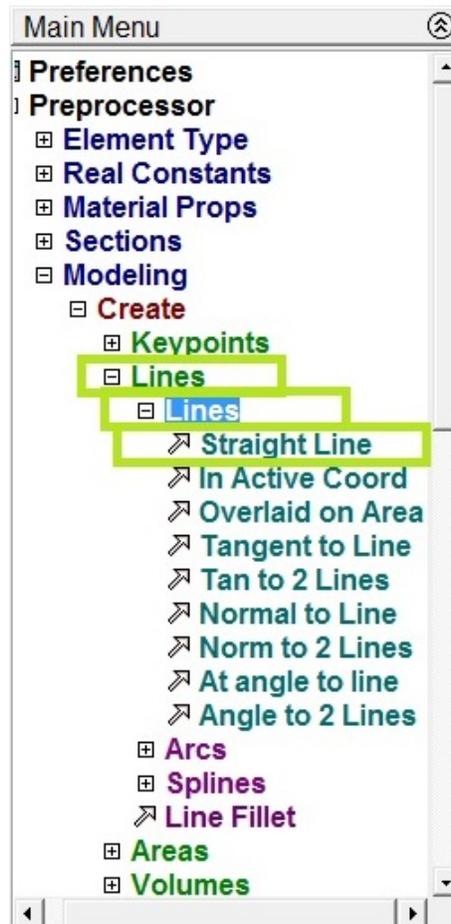


Figure 214: Elaboración propia

En el caso de los Keypoints seleccione primero todos los nodos y después de click en **OK**

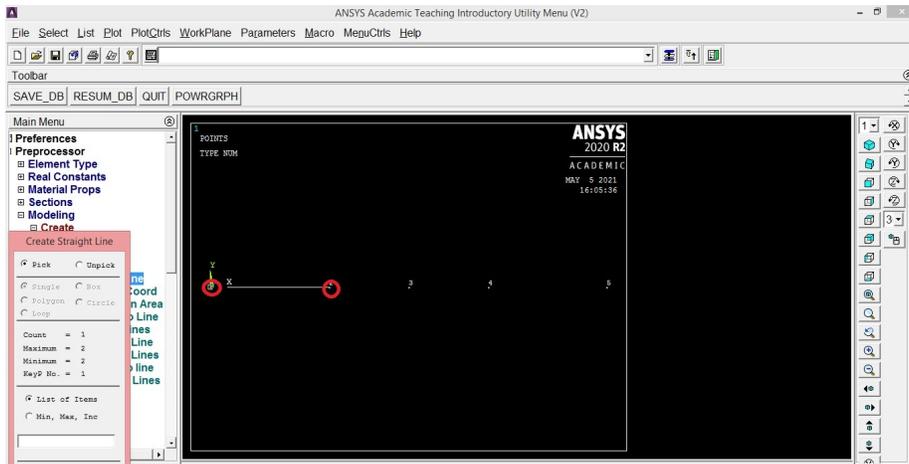


Figure 215: Elaboración propia



Figure 216: Elaboración propia

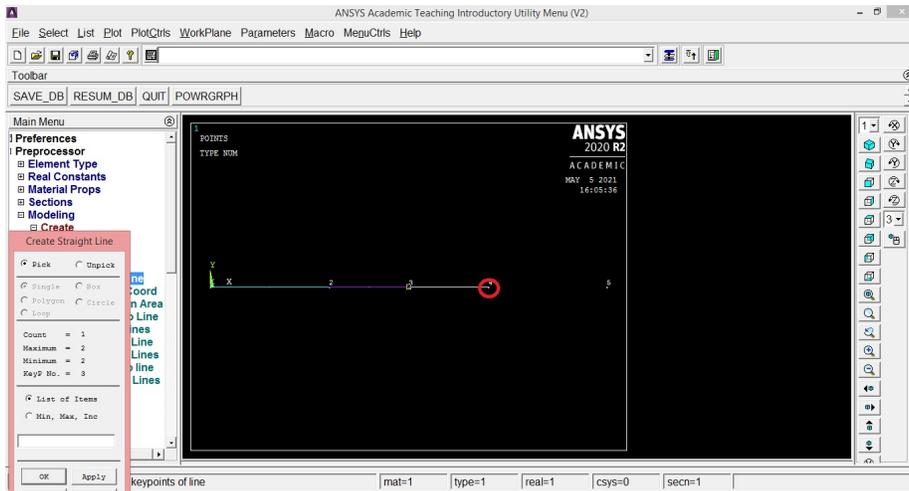


Figure 217: Elaboración propia



Figure 218: Elaboración propia

El paso siguiente sera generar el mallado, usando la herramienta **Meshing** y de click en **Mesh Tool**



Figure 219: Elaboración propia

Seleccione **Mesh**

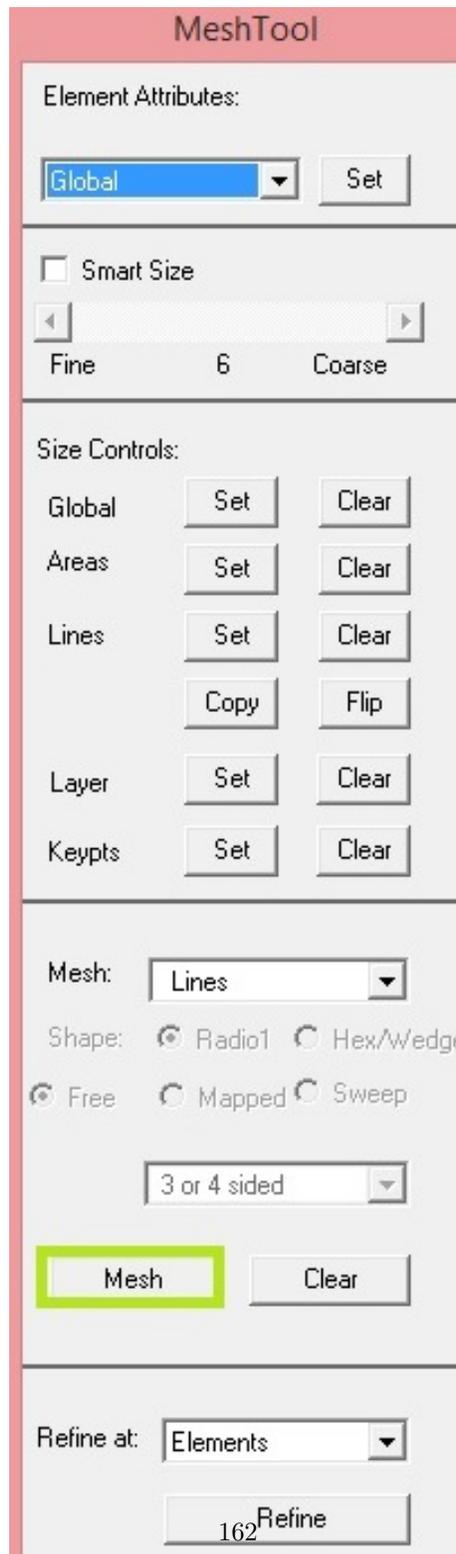


Figure 220: Elaboración propia

Ahora de click en **Pick All**

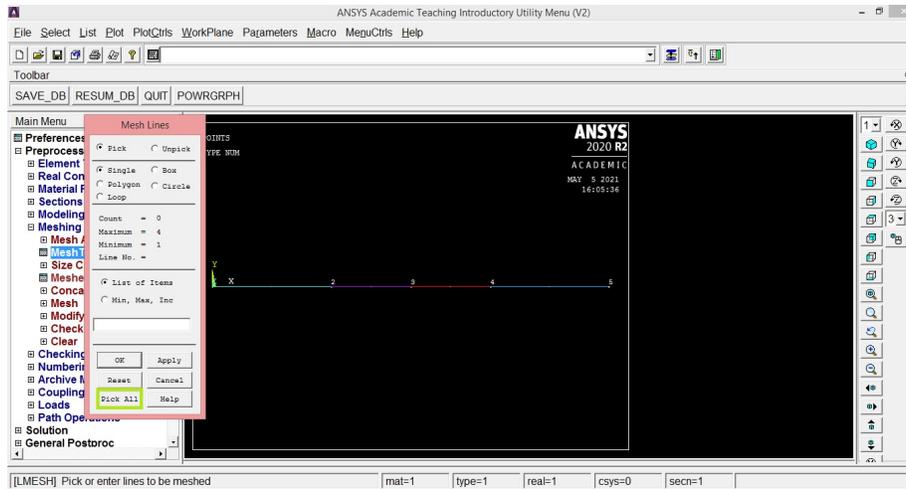


Figure 221: Elaboración propia

Cierre la ventana de mallado.

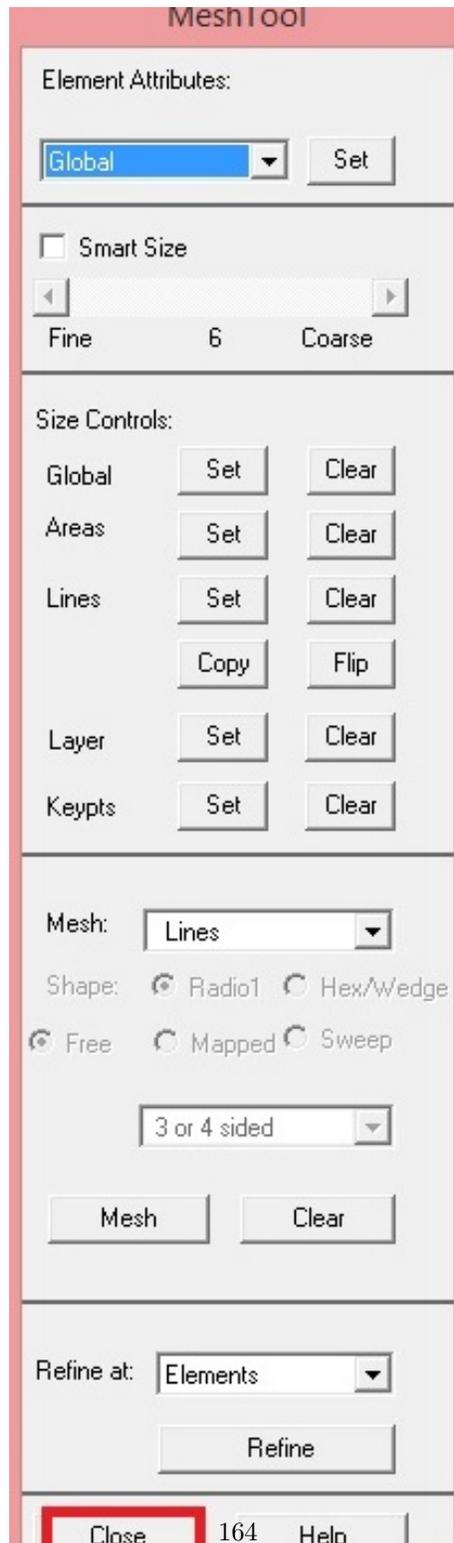


Figure 222: Elaboración propia

Antes de aplicar las restricciones y fuerzas debe tener en cuenta la posición en la que se encuentra la viga, para esto siga los siguientes pasos, en el recuadro resaltado en la imagen escriba , /eshape,1 y presione enter

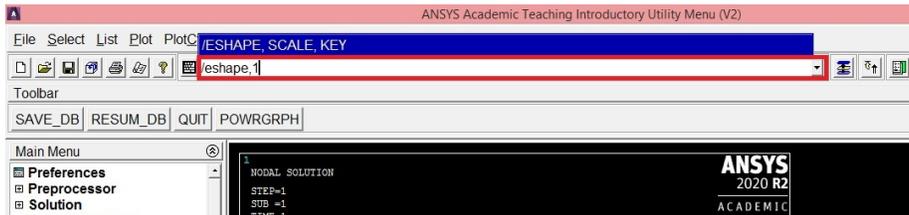


Figure 223: Elaboración propia

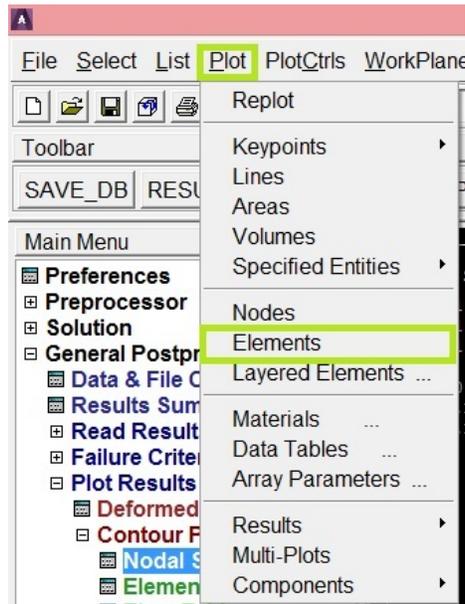


Figure 224: Elaboración propia

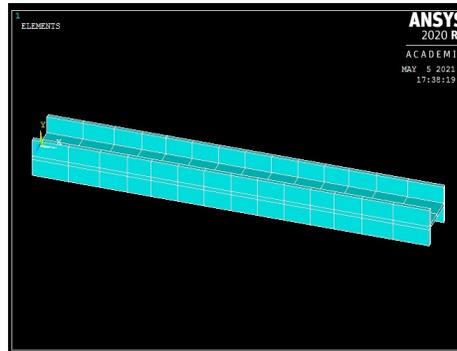


Figure 225: Elaboración propia

Para ver de nuevo los Keypoints y poder seleccionarlos siga los siguientes pasos. De click en **Plot, Keypoints, Keypoints**

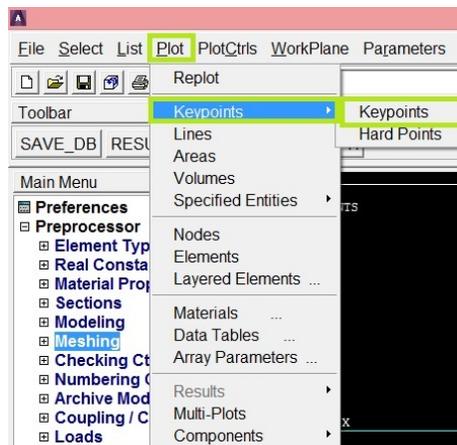


Figure 226: Elaboración propia

Para definir las restricciones seleccione **Loads, Define Loads, Apply, Structural, Displacement, On Keypoints**

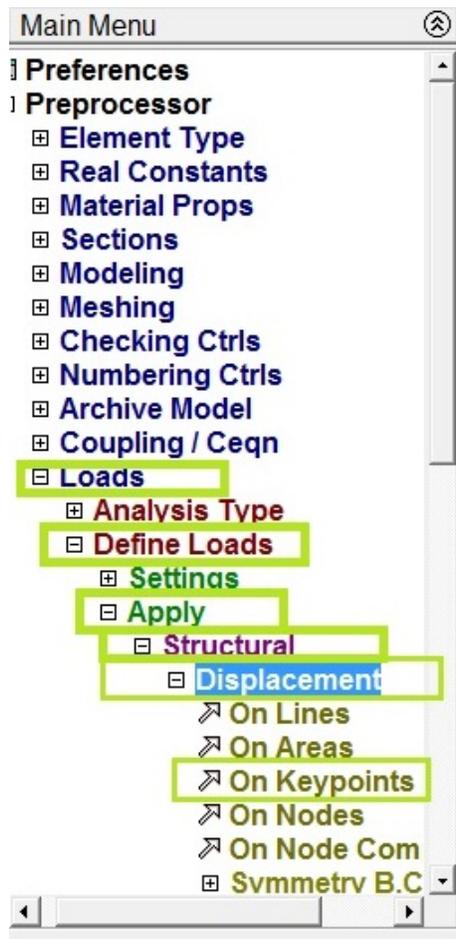


Figure 227: Elaboración propia

Como se ve en la figura 212 la dirección de las cargas debe estar en el eje Z.
Para el punto A se tiene un apoyo que restringe el movimiento en dos ejes por lo que la restricción será total.

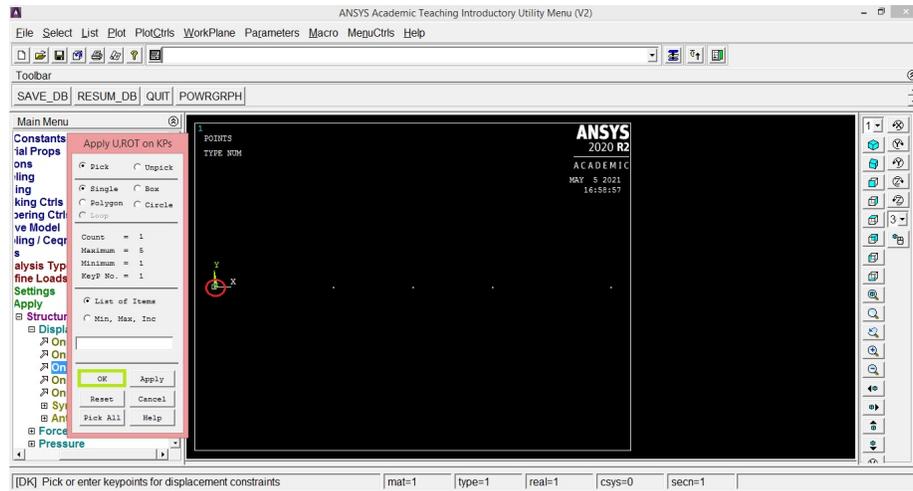


Figure 228: Elaboración propia

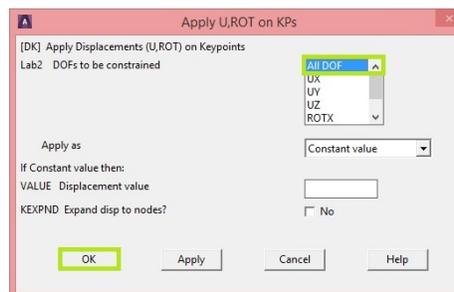


Figure 229: Elaboración propia

Para el extremo B repita el paso anterior pero seleccione la restricción UY.

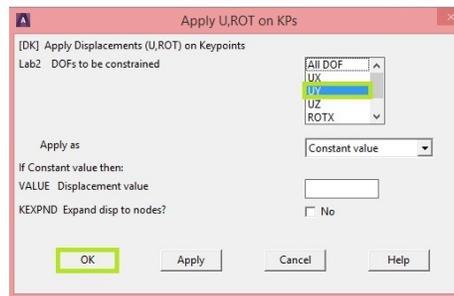


Figure 230: Elaboración propia

Para aplicar la fuerza y el momento seleccione **Force/Moment**, como las fuerzas tienen la misma magnitud y dirección puede seleccionar los dos puntos y aplicar la fuerza.

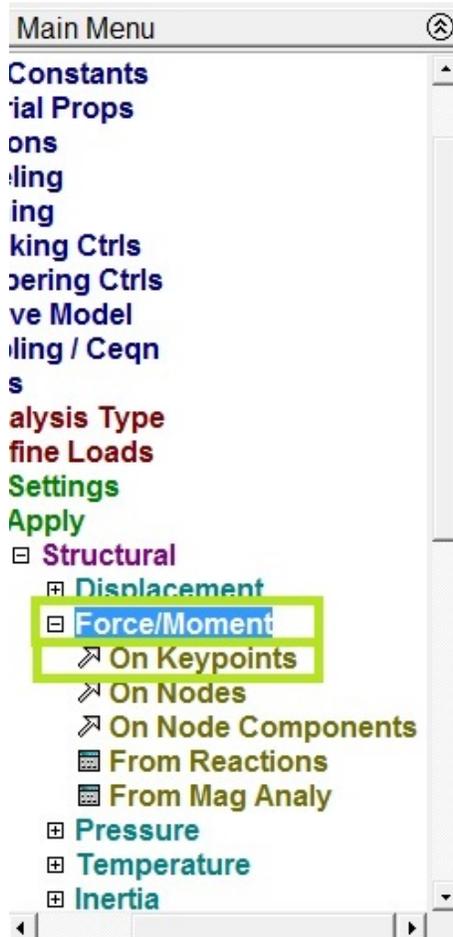


Figure 231: Elaboración propia

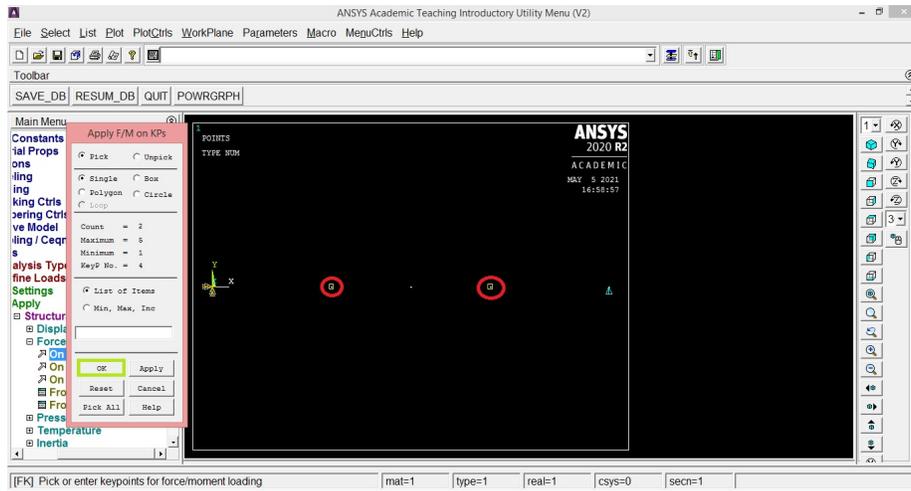


Figure 232: Elaboración propia

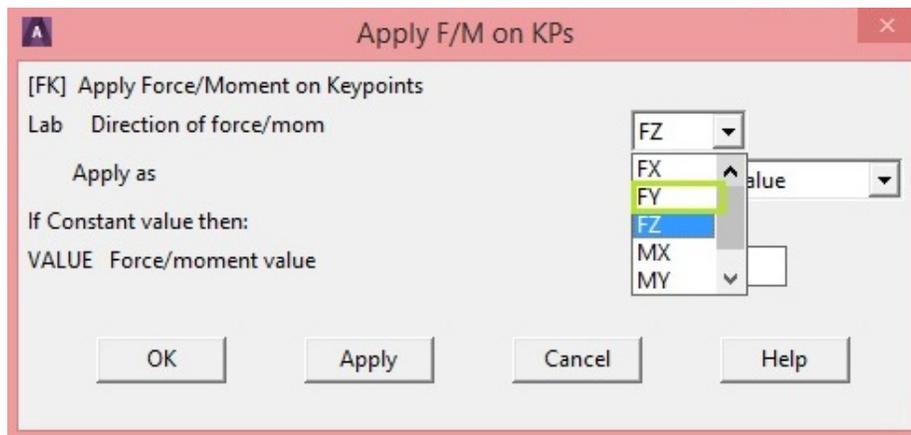


Figure 233: Elaboración propia

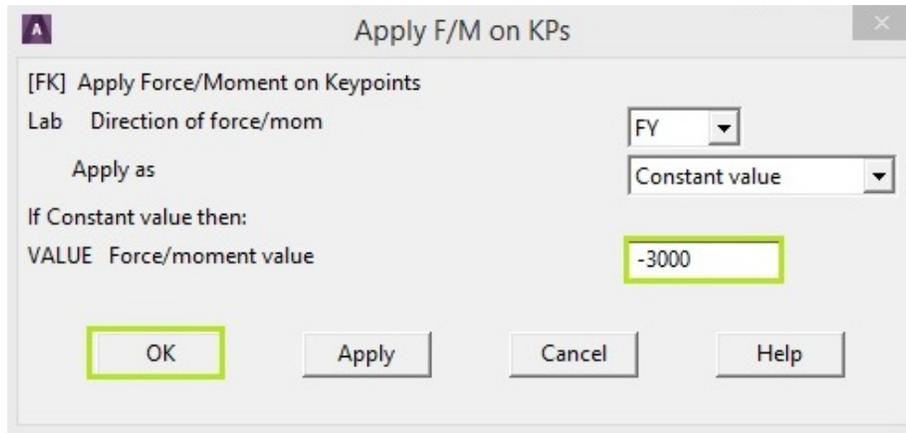


Figure 234: Elaboración propia

Para el momento realice los mismos pasos.

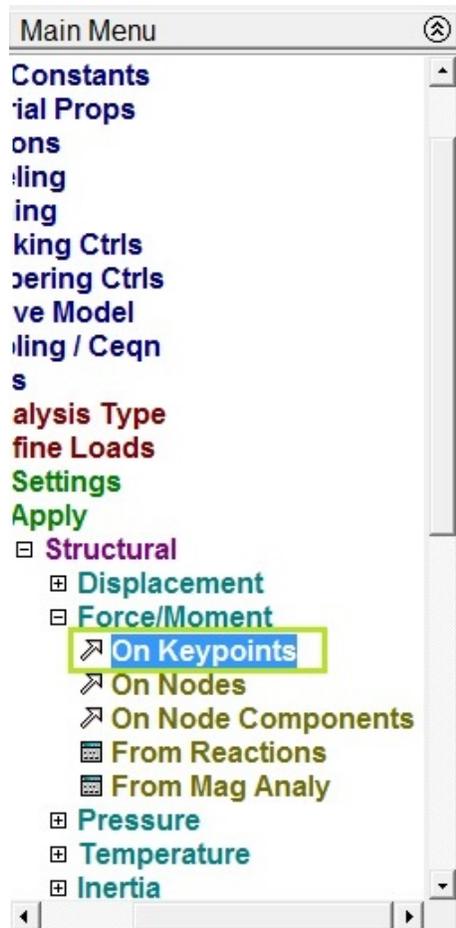


Figure 235: Elaboración propia

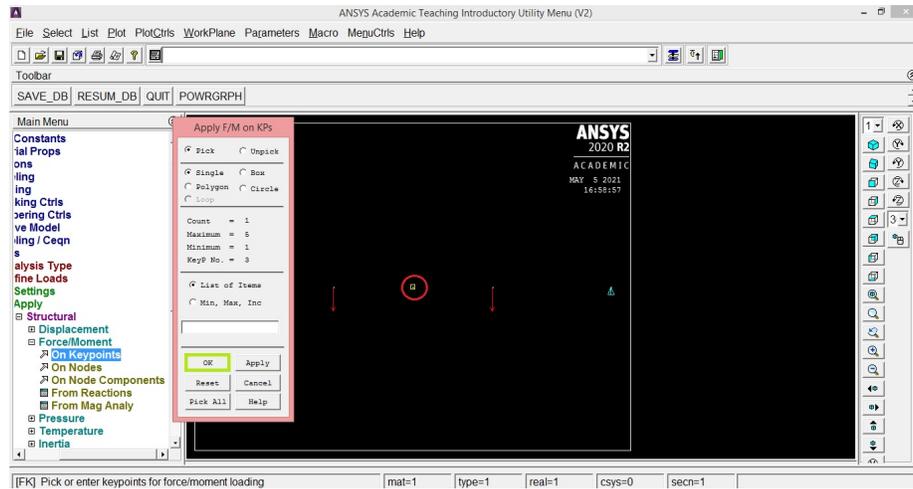


Figure 236: Elaboración propia

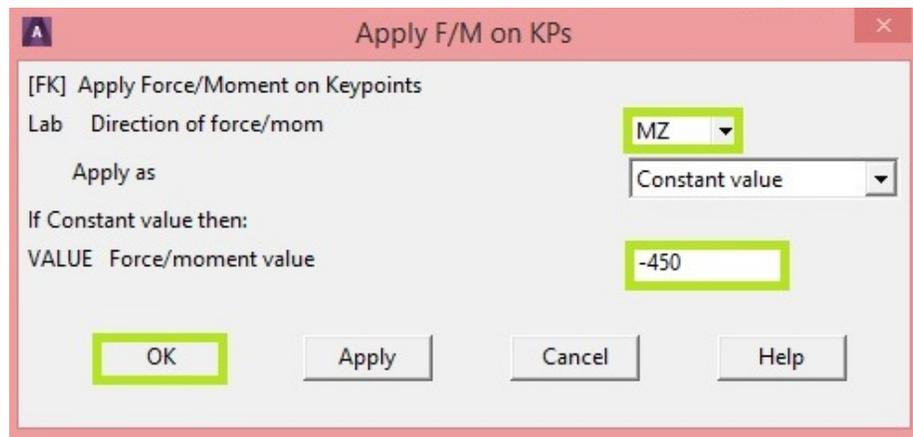


Figure 237: Elaboración propia

Ahora de click en **Solve, Current LS** para solucionar

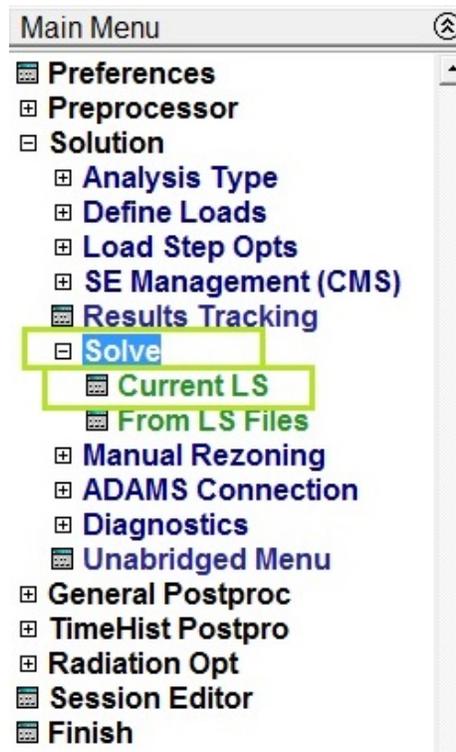


Figure 238: Elaboración propia

De click en **OK** y cuando se solucione cierre las ventanas.

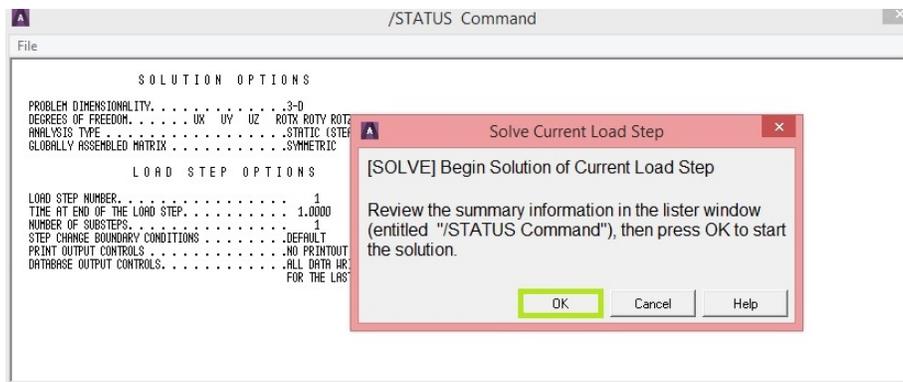


Figure 239: Elaboración propia

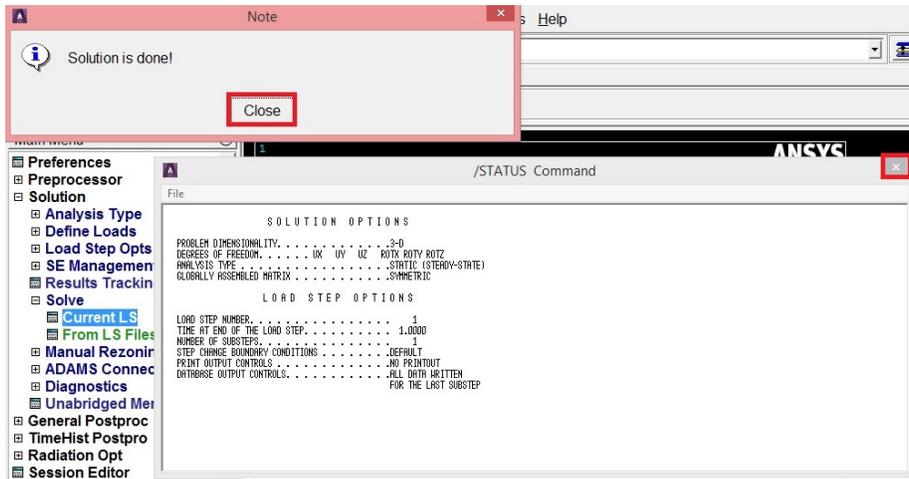


Figure 240: Elaboración propia

Para obtener los graficos de esfuerzo cortante y momento flector debe usar los siguientes codigos.

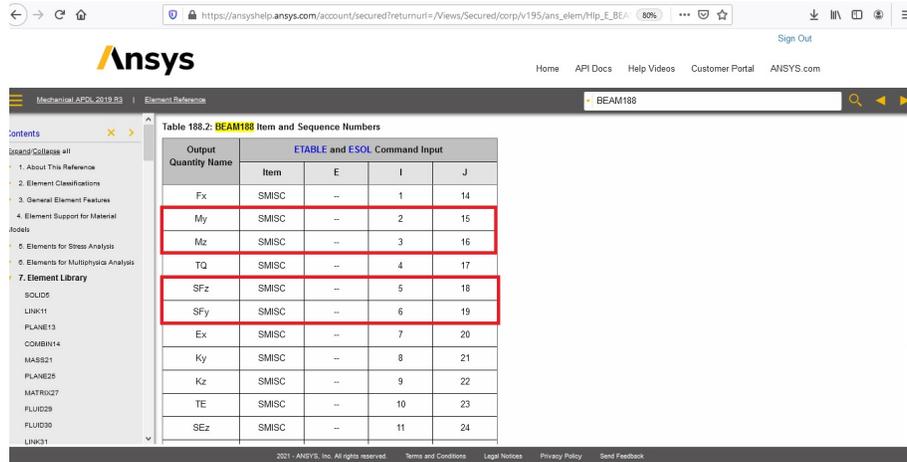


Figure 241: Tomado de la pagina de ayuda de Ansys

Para aplicarlos siga los siguientes pasos, de click en **General Postproc**, **Element Table**, **Define Table**

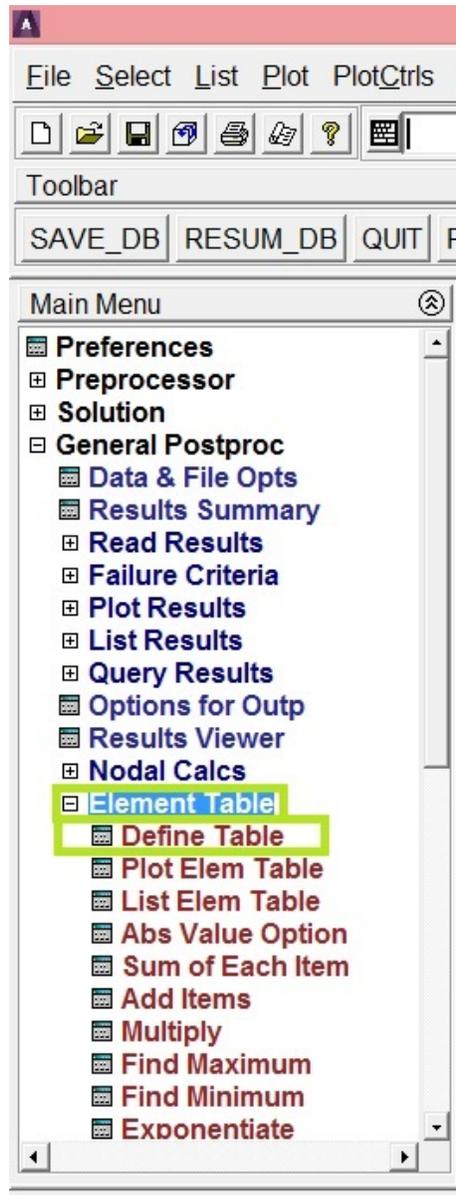


Figure 242: Elaboración propia

Seleccione NONE DEFINED y de click en Add, se abra una ventana, en ésta busque la opción By sequence num y después SMISC

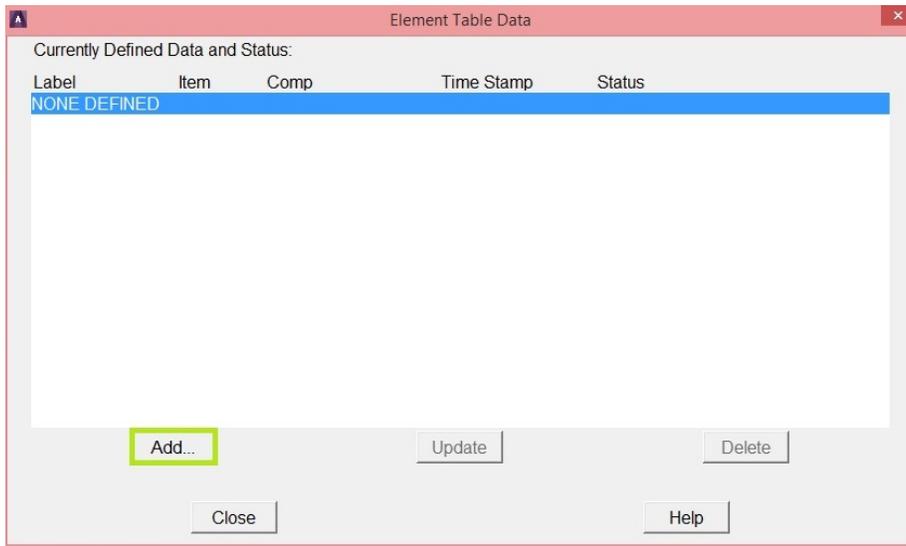


Figure 243: Elaboración propia

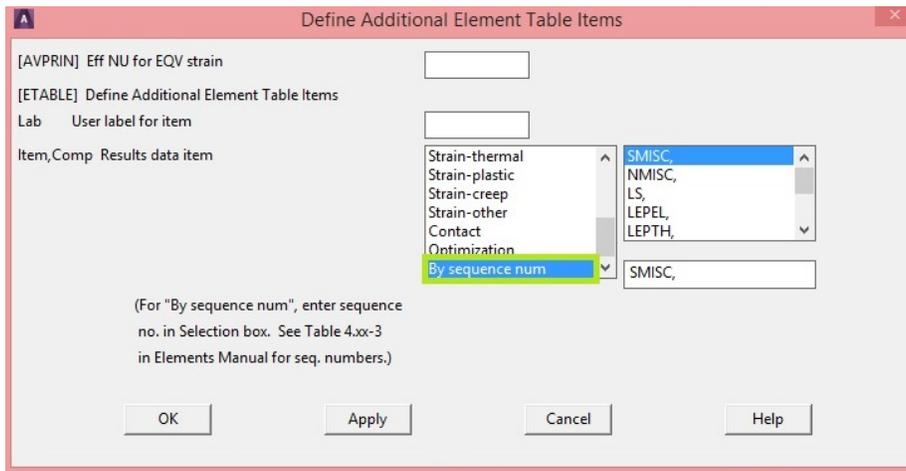


Figure 244: Elaboración propia

primero asigne los codigos de las fuerzas, nombre el primer componente y agregue el codigo 6 a SMISC, despues de click en Apply.

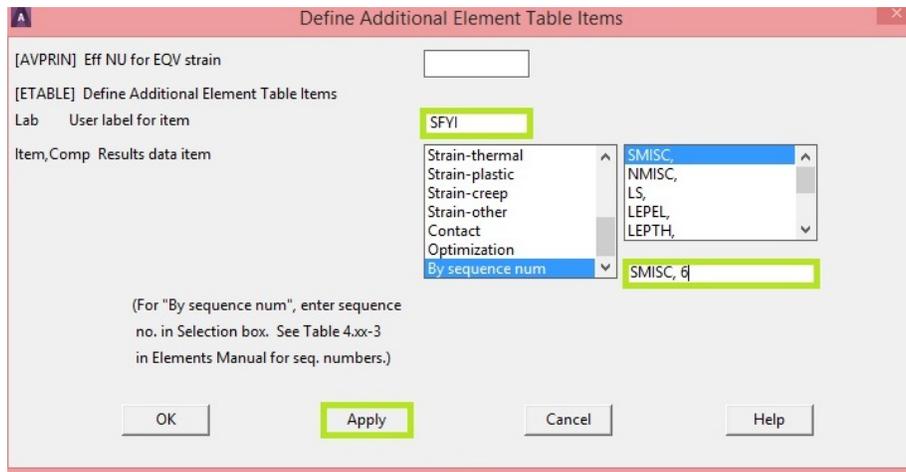


Figure 245: Elaboración propia

Para el segundo asigne otro nombre y agregue el código, en este caso 19. Después de click en Apply para continuar.

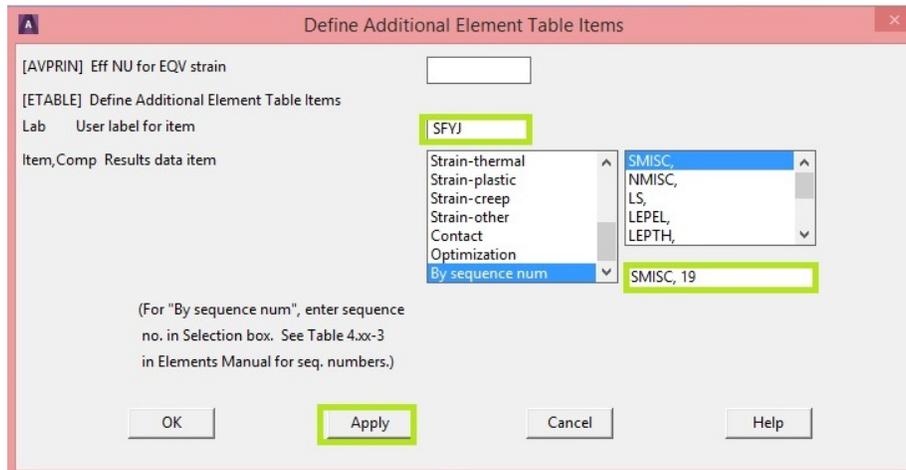


Figure 246: Elaboración propia

Para el gráfico del momento repita los pasos anteriores, asigne un nombre y agregue el código correspondiente.

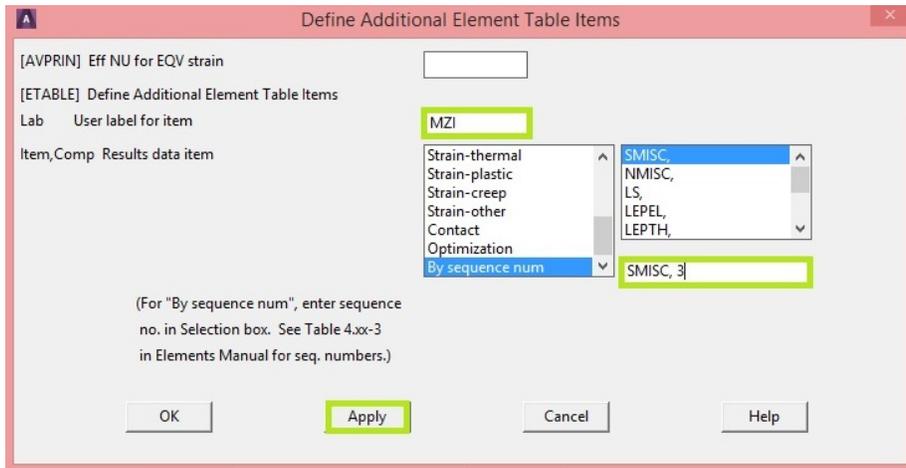


Figure 247: Elaboración propia

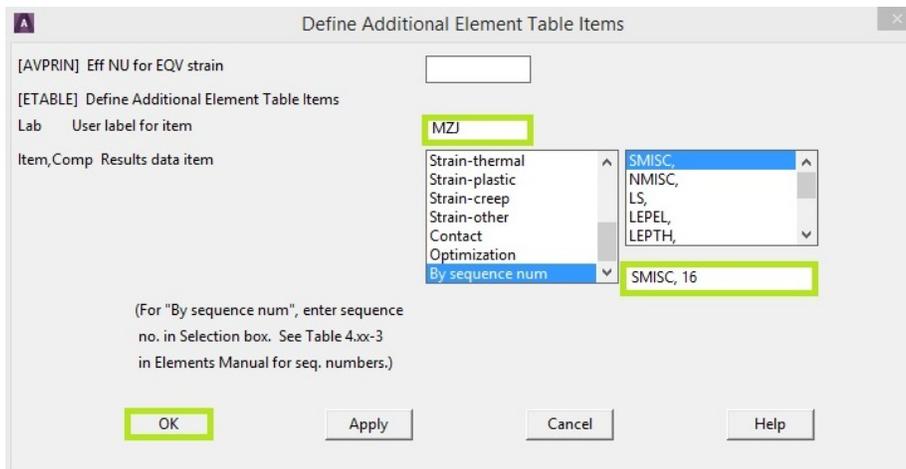


Figure 248: Elaboración propia

Ya se han definido los comandos, para ver los graficos de click en **Plot Result, Contour Plot, Line Elem Res**



Figure 249: Elaboración propia

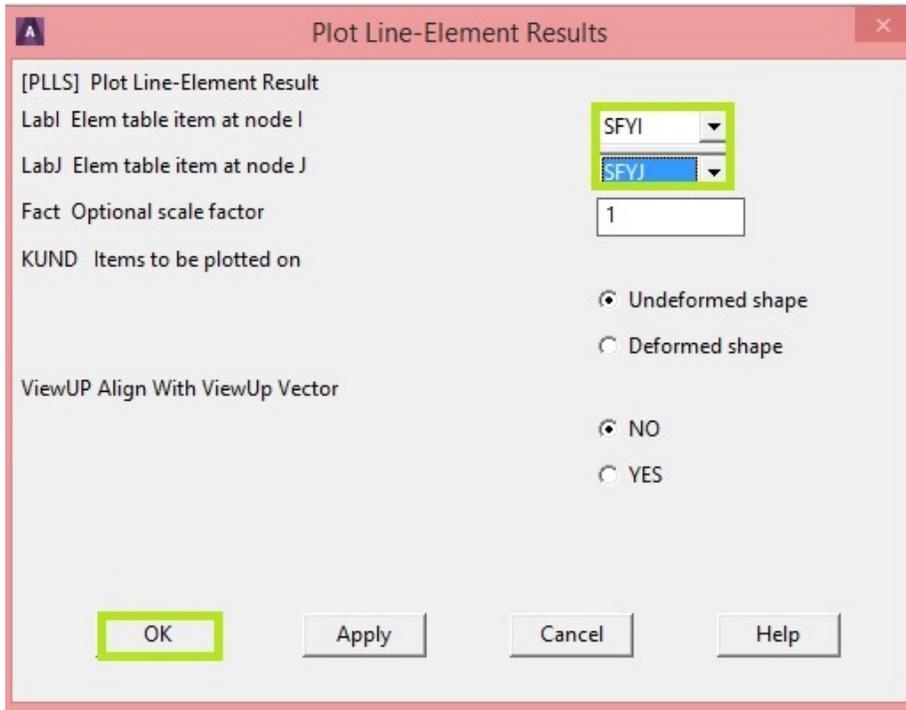


Figure 250: Elaboración propia

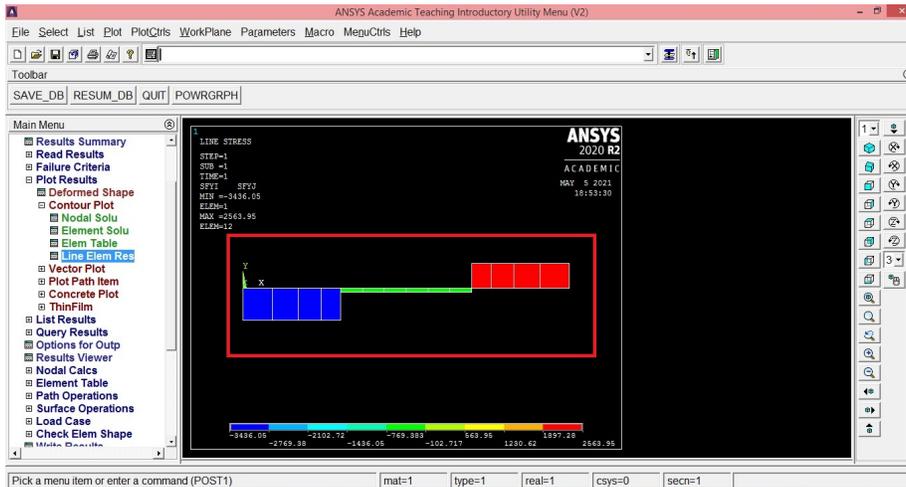


Figure 251: Elaboración propia

Ahora repita los pasos para ver el grafico del momento.



Figure 252: Elaboración propia

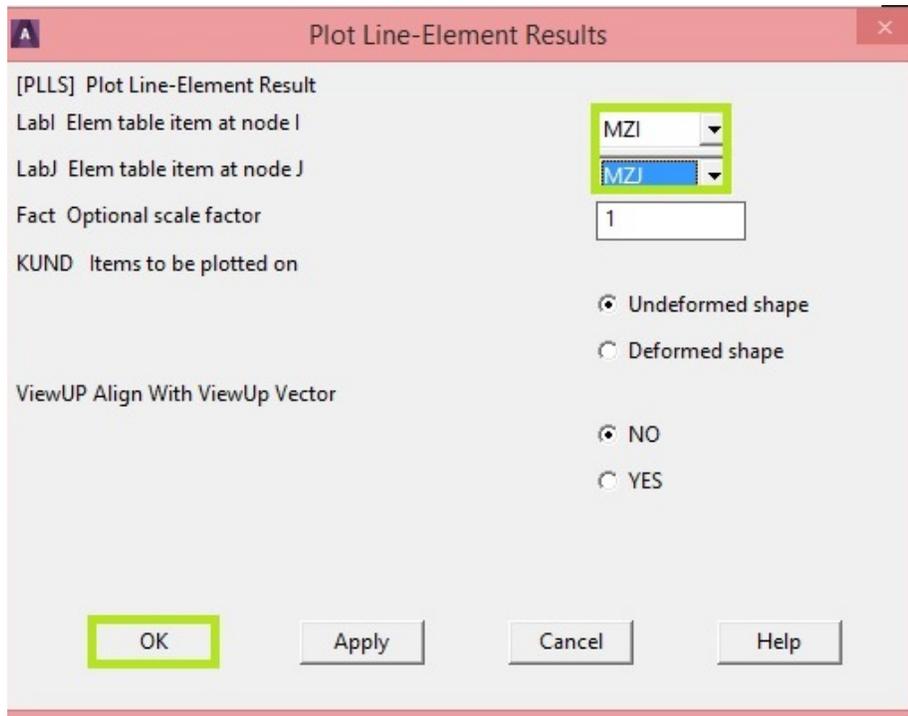


Figure 253: Elaboración propia

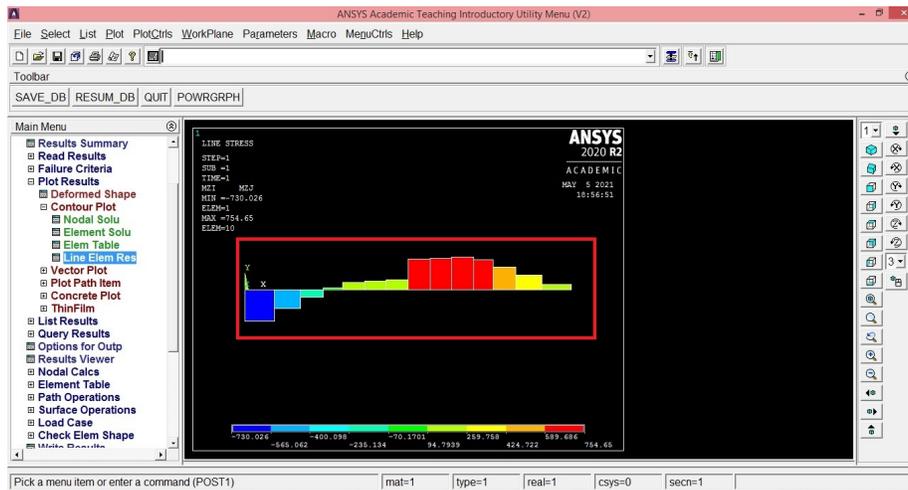


Figure 254: Elaboración propia

- Problema 6

418. Voladizo o ménsula cargada como indica la figura P-418.

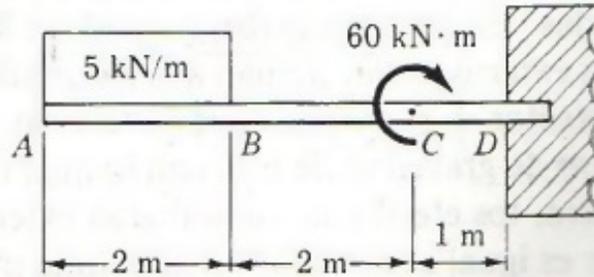


Figura P-418.

Figure 255: P.418.Singer

6.3 Solución analítica

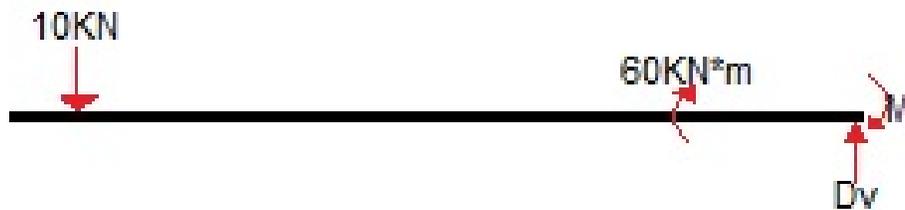


Figure 256: Elaboración propia

$$\sum F_y = -10KN + D_y \quad (76)$$

$$D_y = 10KN \quad (77)$$

$$\sum M_y = 4m(10KN) - 60KNm + M \quad (78)$$

$$M = 20\text{KNm}$$

(79)

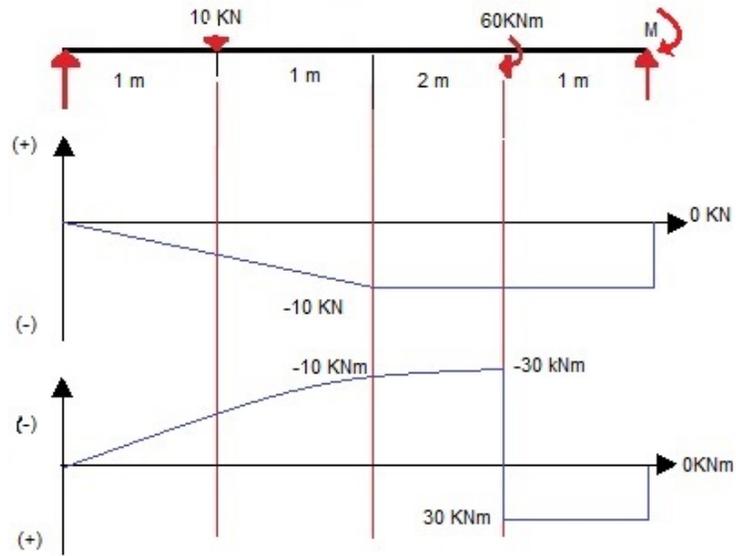


Figure 257: Elaboración propia

6.4 Solución con Ansys

Primero se selecciona el tipo de analisis, haciendo click en **Preferences** y luego click en **Structural**

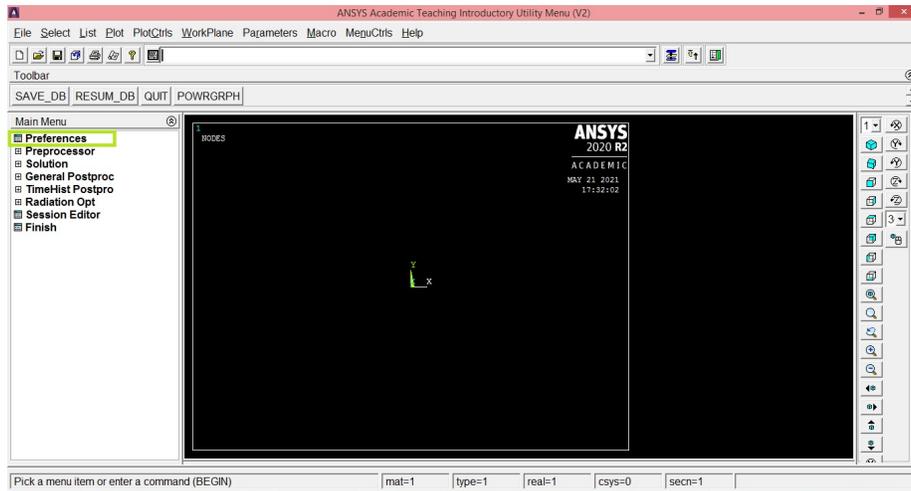


Figure 258: Elaboración propia

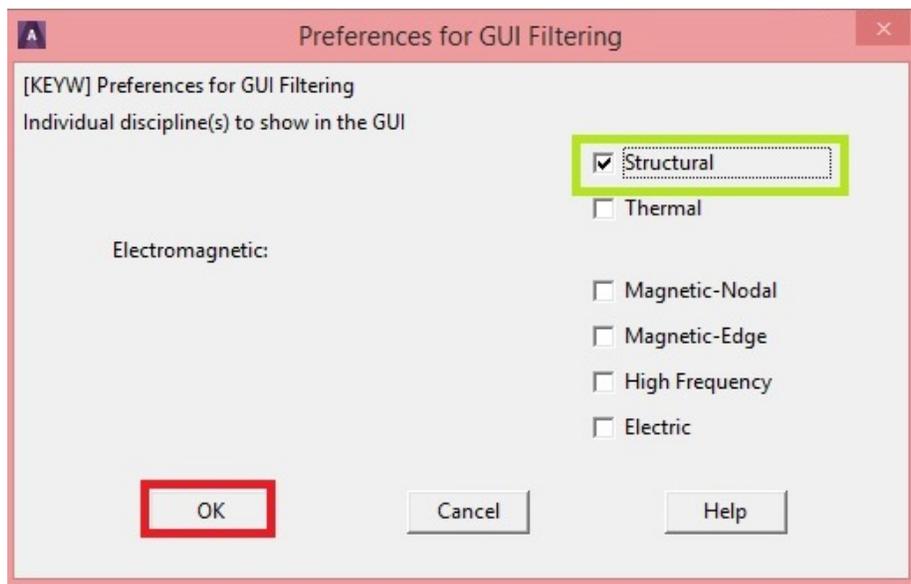


Figure 259: Elaboración propia

De click en **Preprocessor**, **Element Type**, **Add/Edit/Delete**



Figure 260: Elaboración propia

Para este análisis se usara elemento tipo Beam.

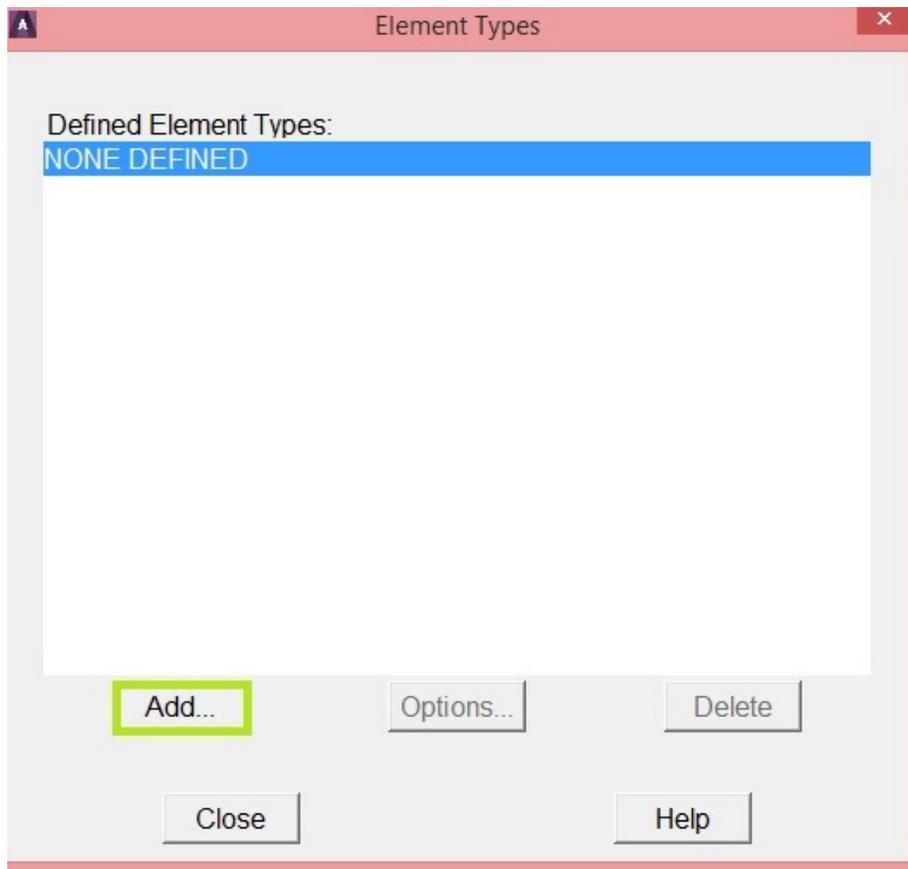


Figure 261: Elaboración propia

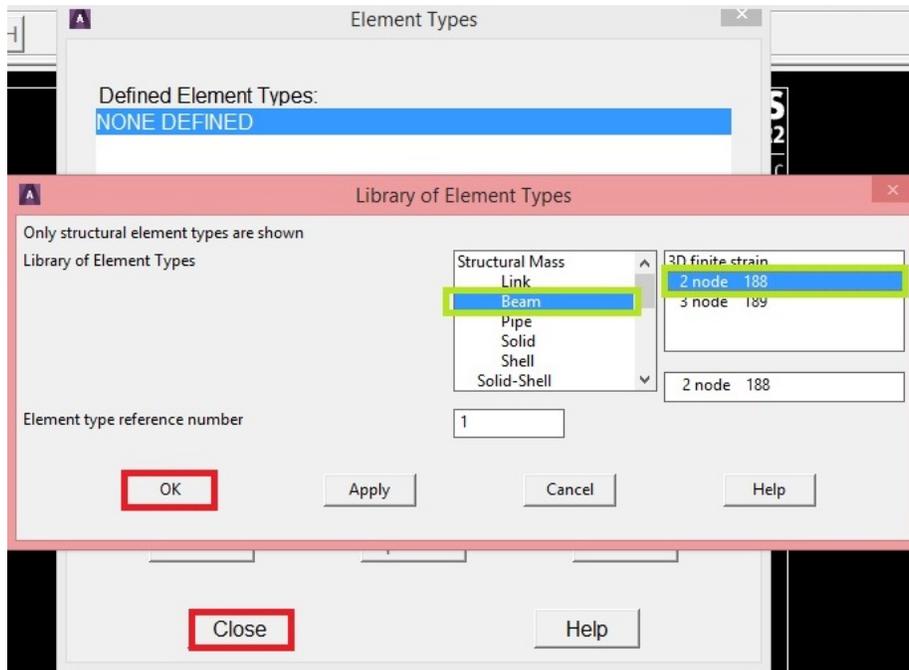


Figure 262: Elaboración propia

Para obtener resultados mas exactos puede activar la siguiente funcion.

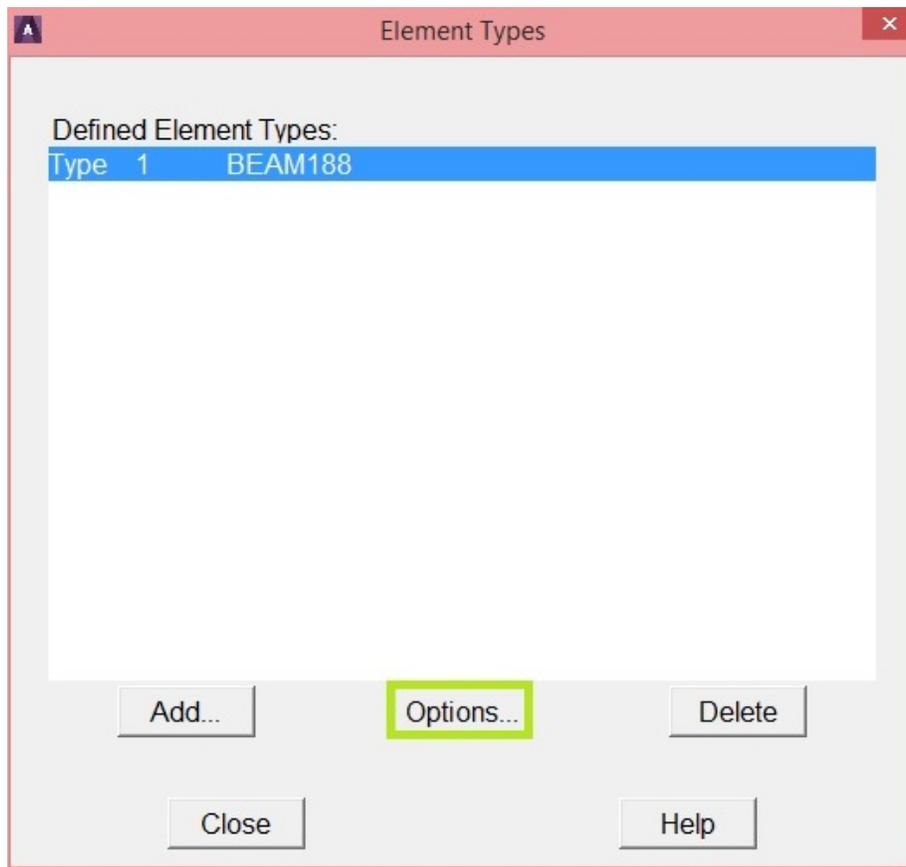


Figure 263: Elaboración propia

En la línea K3 seleccione **Cubic Form**, de click en **OK** y cierre las pestañas.

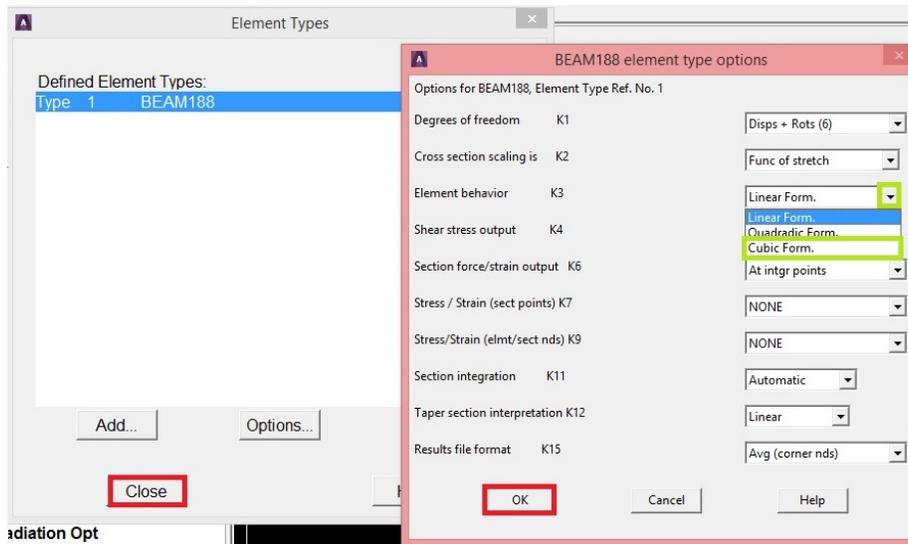


Figure 264: Elaboración propia

De click en **Material Props, Material Models**

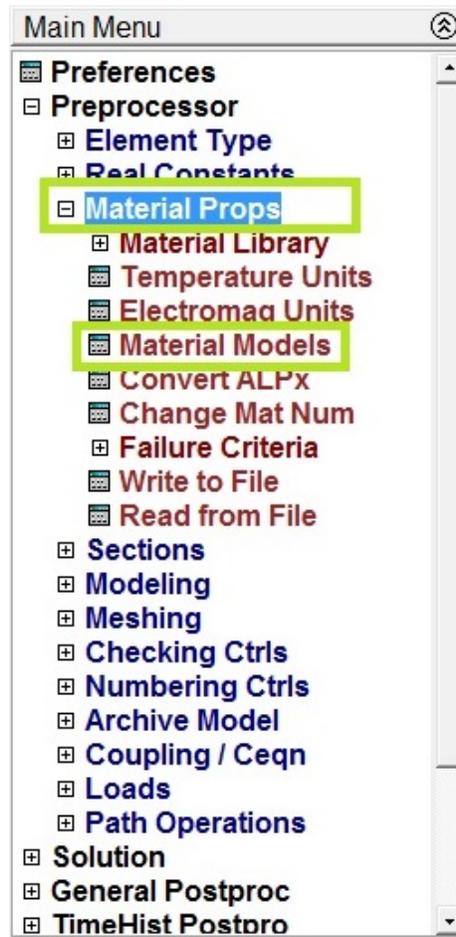


Figure 265: Elaboración propia

Ahora se seleccionan y asignan las propiedades del material.

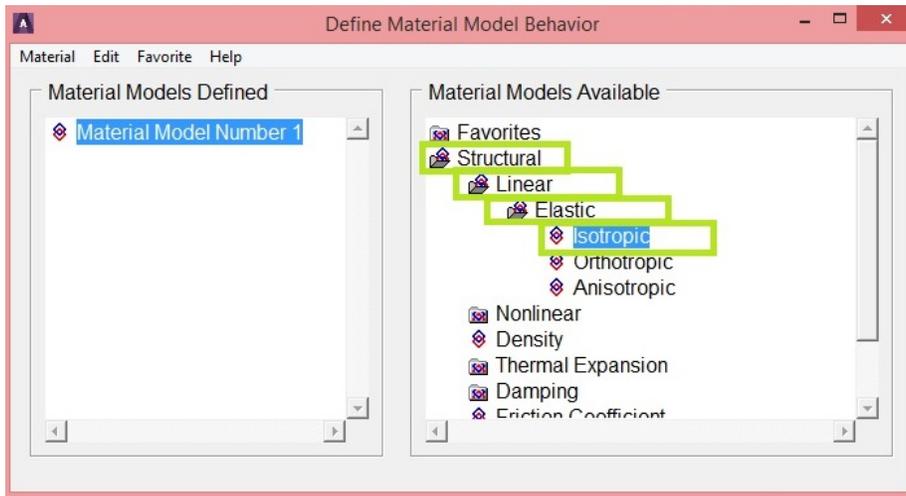


Figure 266: Elaboración propia

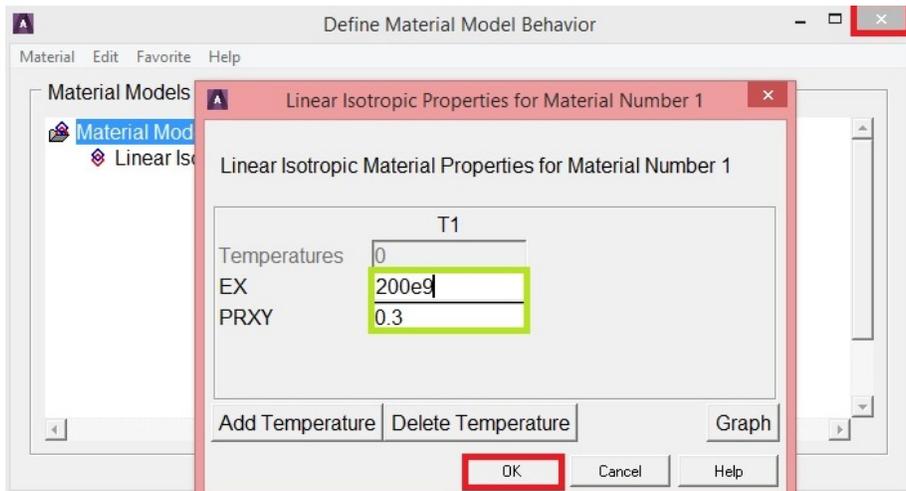


Figure 267: Elaboración propia

Haga click en **Section, Beam, Common Sections**
 Para este ejercicio se usará una seccion cuadrada.

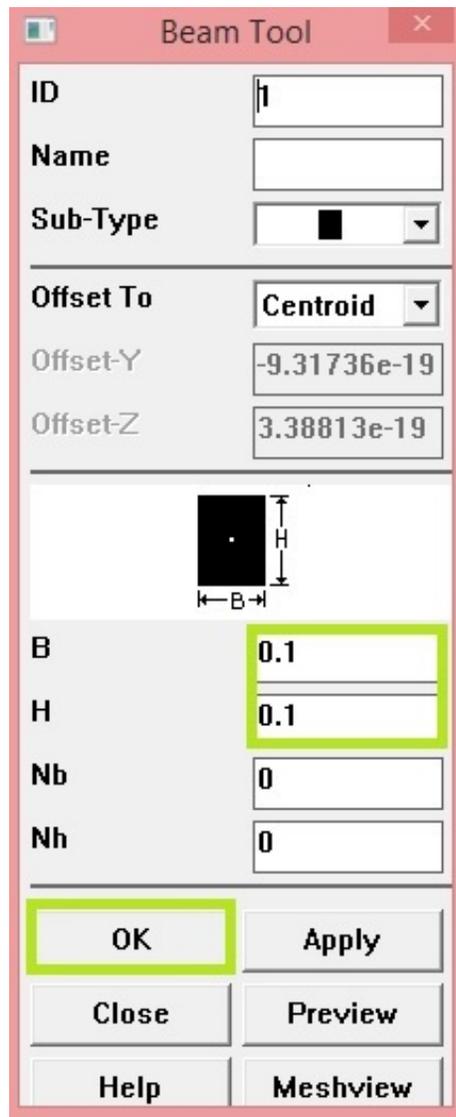


Figure 268: Elaboración propia

Para crear las líneas de click en **Modeling, Create, Keypoints, In Active CS**

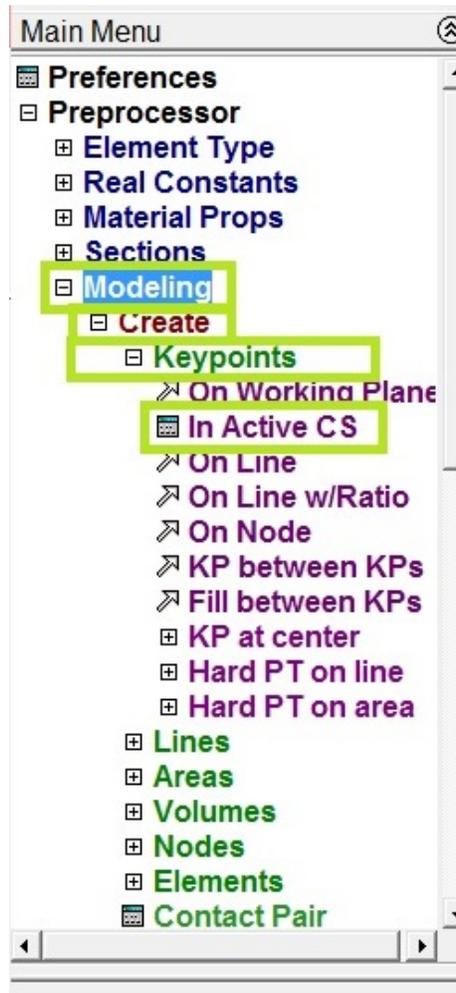


Figure 269: Elaboración propia

En el recuadro numere el nodo y escriba la coordenada en el nodo que corresponde.

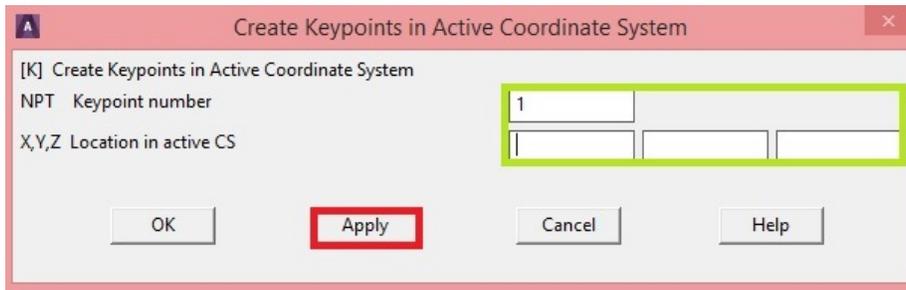


Figure 270: Elaboración propia

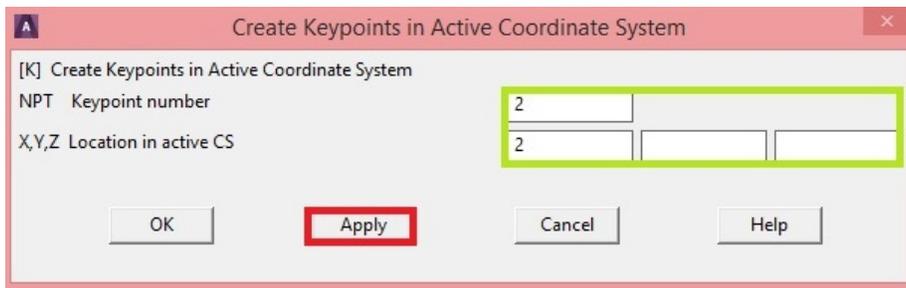


Figure 271: Elaboración propia

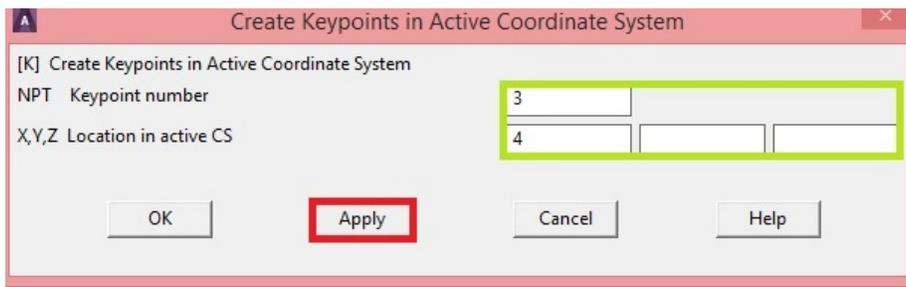


Figure 272: Elaboración propia

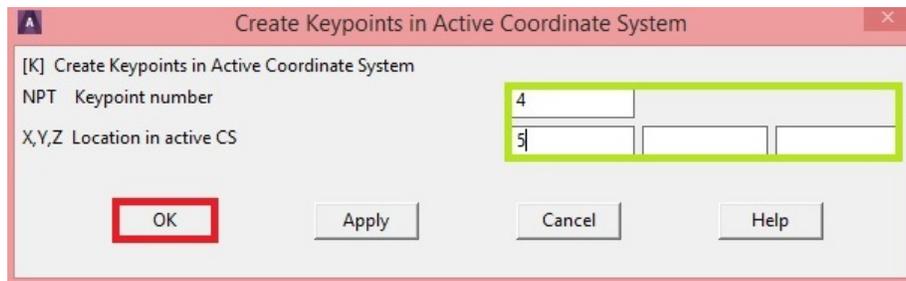


Figure 273: Elaboración propia

Despues de crear los keypoints debe unirlos usando **Lines**, **Lines**, **Straight Line**



Figure 274: Elaboración propia

Seleccione los nodos en orden y presione **ok**

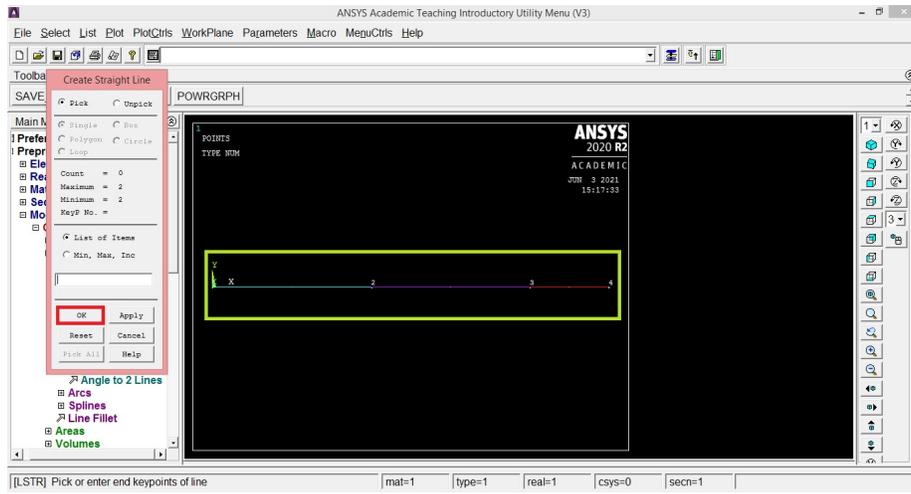


Figure 275: Elaboración propia

Para crear el mallado de click en Meshing , MeshTol



Figure 276: Elaboración propia

Se abra la ventana **Mesh Tool** En la sección size control busque la palabra **Line** aquí debe seleccionar **Set**. Después de click sobre las líneas que forman las vigas y presione **OK** Con esto se van a crear divisiones en las líneas lo que lo llevara a obtener mejores resultados.

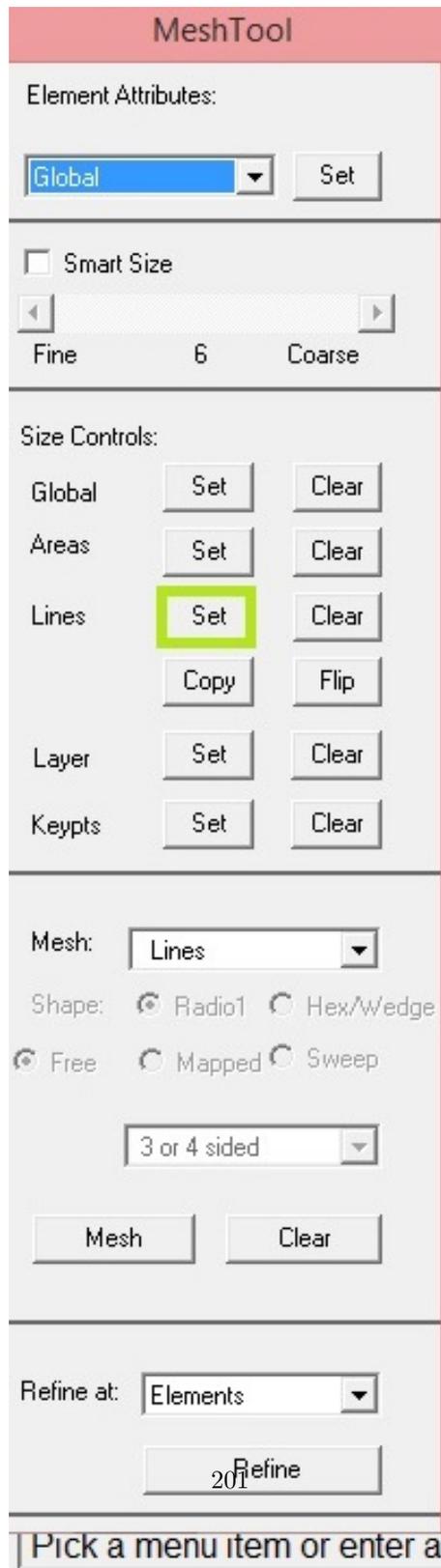


Figure 277: Elaboración propia

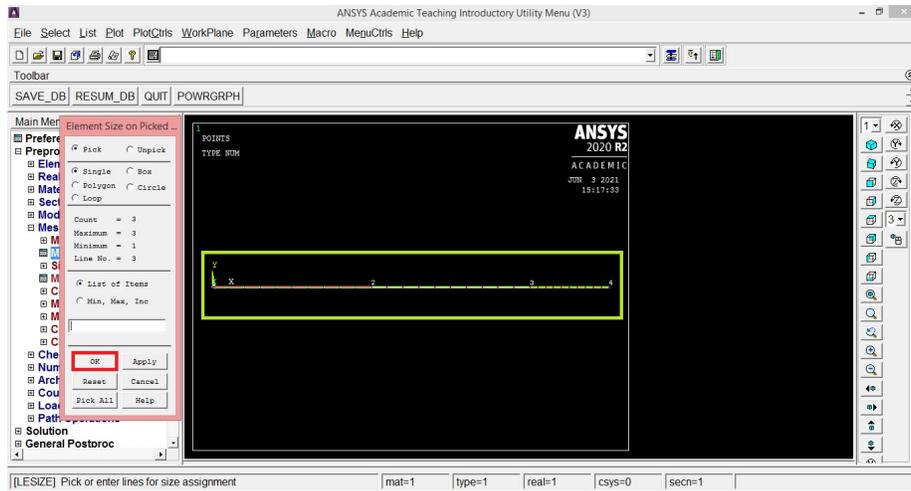


Figure 278: Elaboración propia

En el recuadro element divisions coloque el numero de divisiones de la viga.

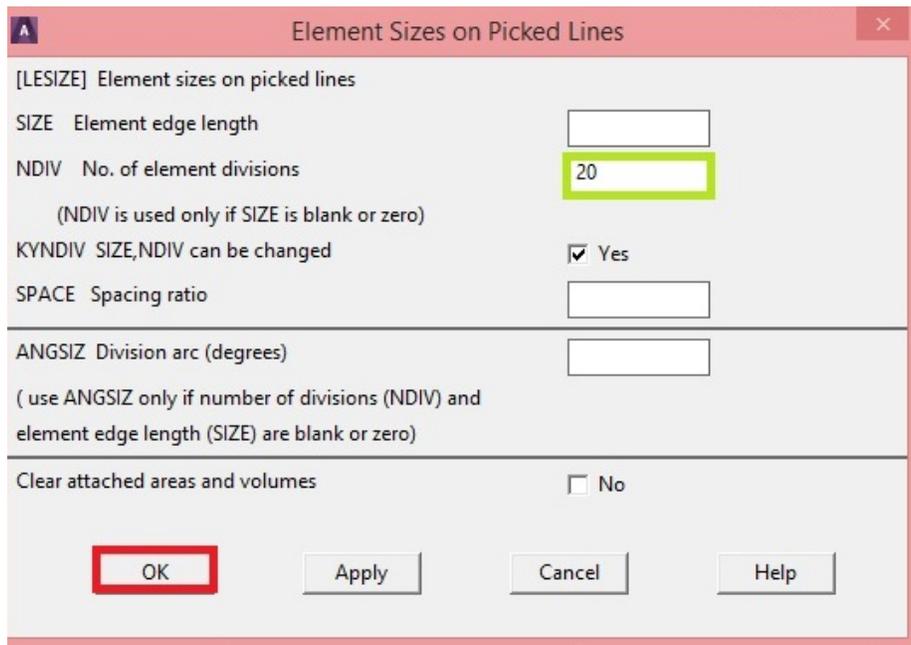


Figure 279: Elaboración propia

Luego en la ventana **Mesh Tool** de click en **Mesh**

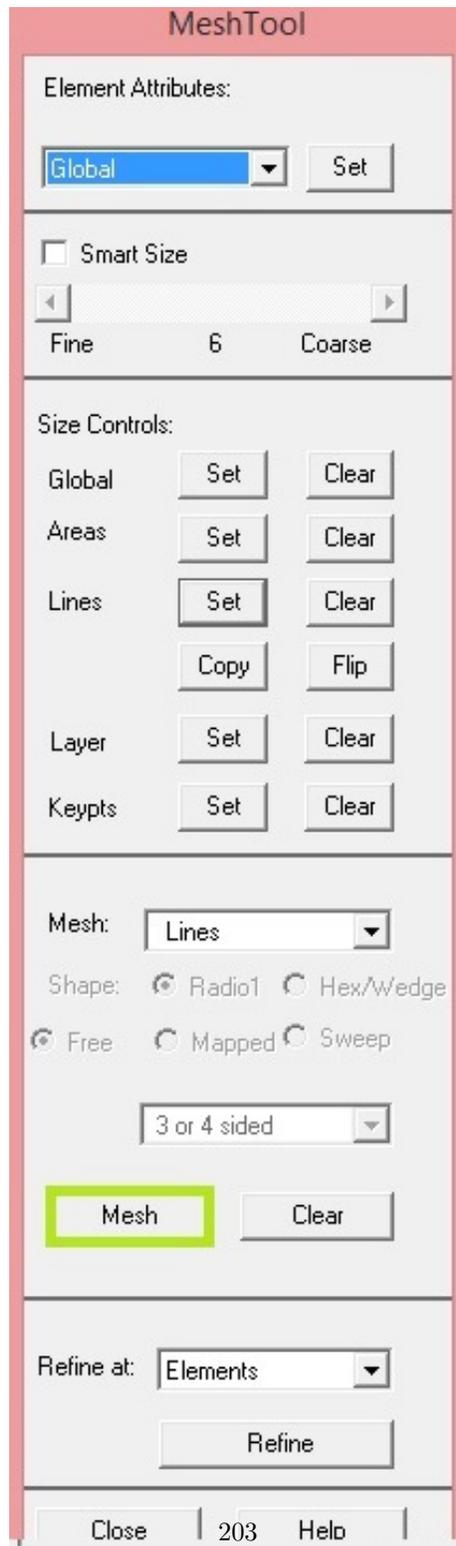


Figure 280: Elaboración propia

Seleccione la viga y presione **OK**

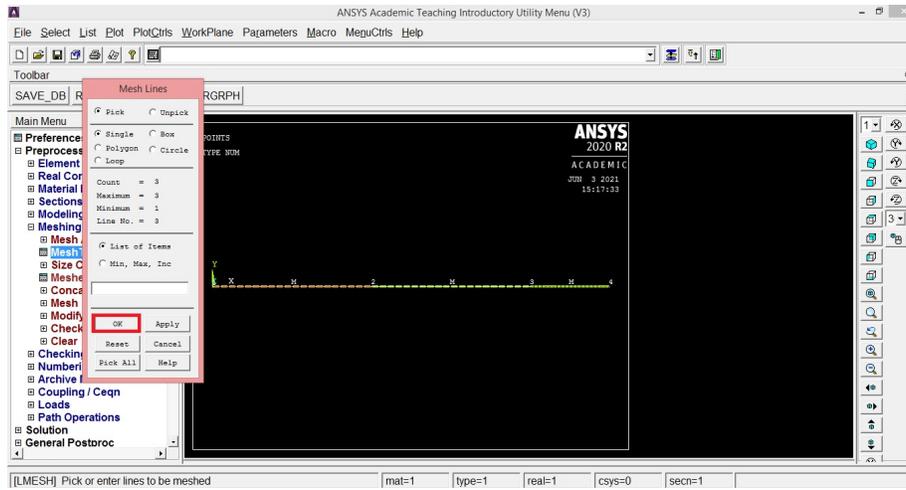


Figure 281: Elaboración propia

Para seleccionar los puntos de la restricción y aplicación del momento haga lo siguiente :

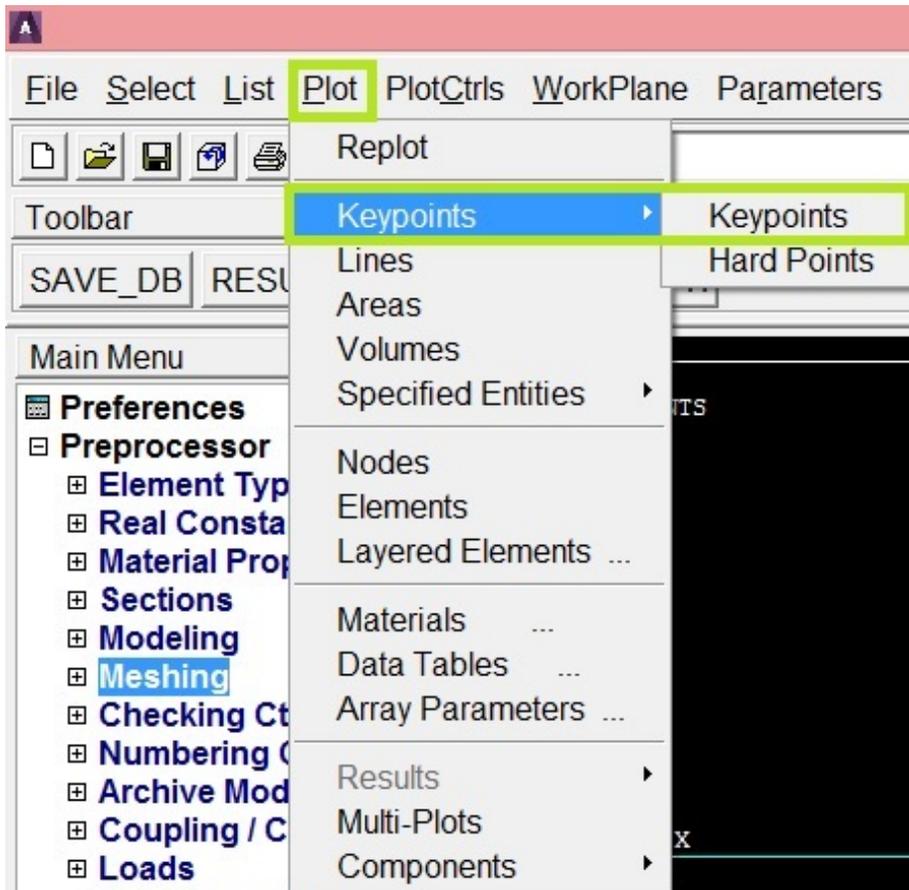


Figure 282: Elaboración propia

De click en **Loads**, **Define Loads**, **Apply**, **Structural**, **Displacement**, **On Keypoints**. Selecciones el punto de aplicación y de click en **OK**

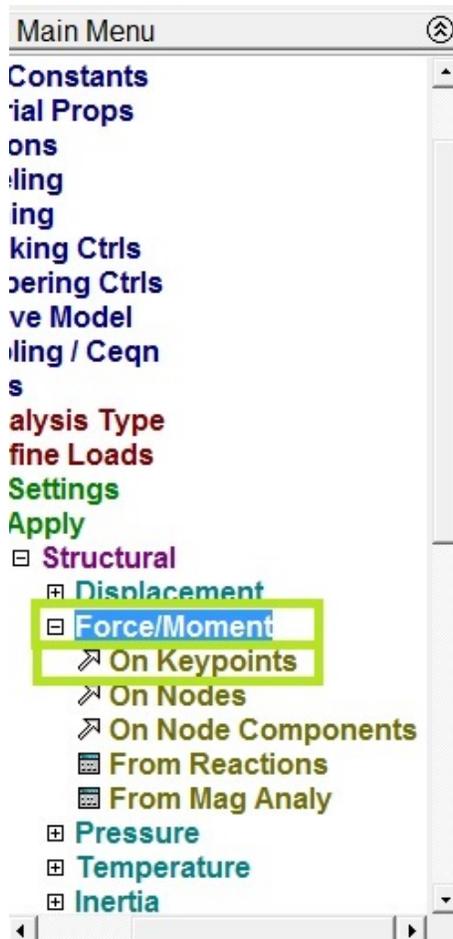


Figure 284: Elaboración propia

Seleccione el eje y la magnitud de la carga.

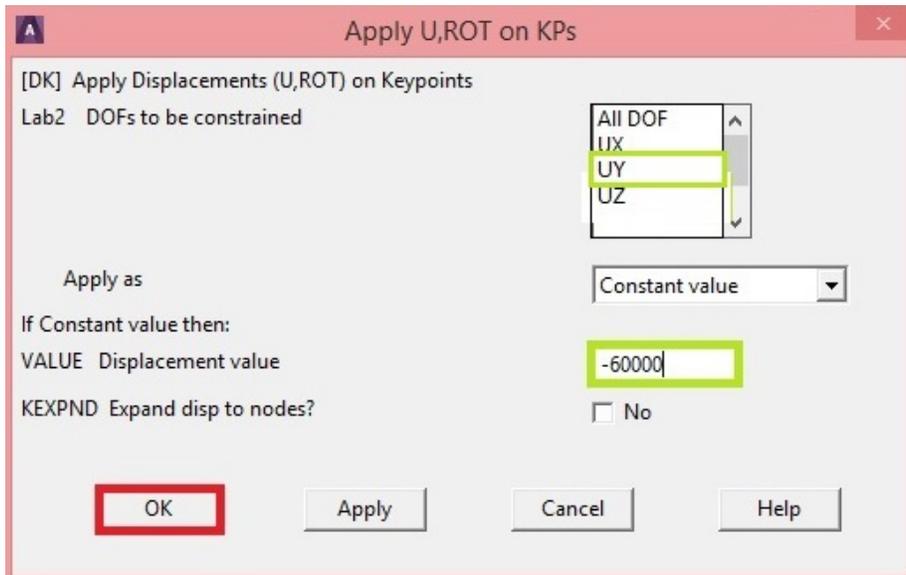


Figure 285: Elaboración propia

Como se tiene una carga distribuida siga el procedimiento para aplicarla. En el recuadro resaltado escriba `/eshape,1`



Figure 286: Elaboración propia

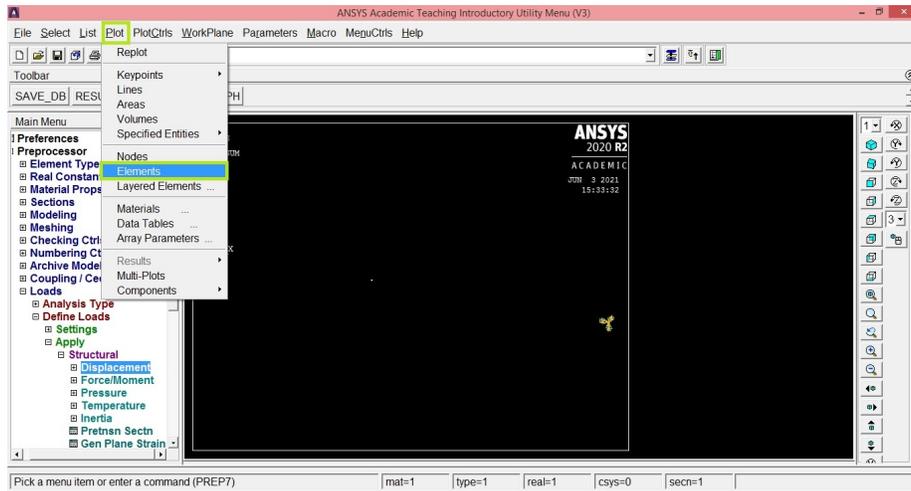


Figure 287: Elaboración propia

Para aplicar la carga seleccione **Pressure, On Beams**

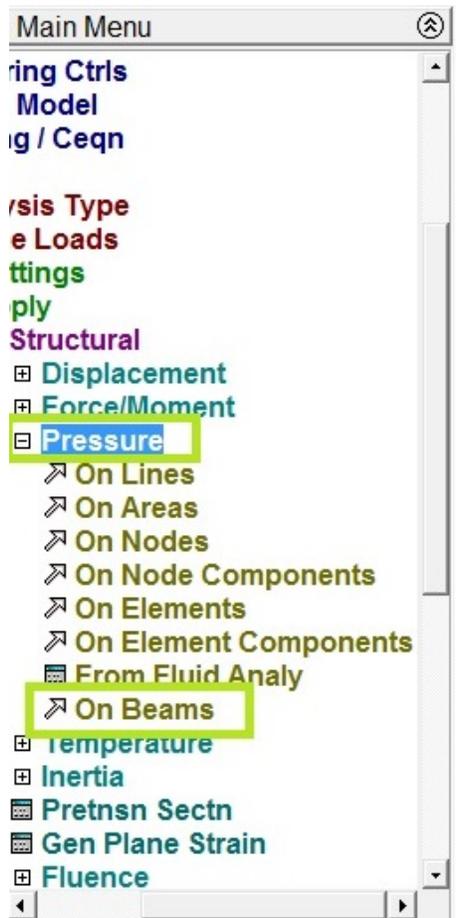


Figure 288: Elaboración propia

Seleccione las secciones en las que esta apoyada la presión, en este caso los 20 primeros elementos y de click en **OK**

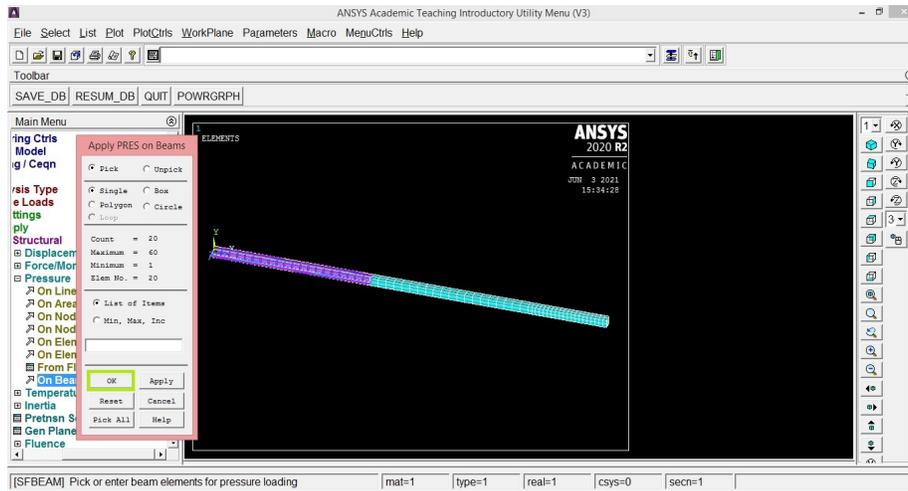


Figure 289: Elaboración propia

En el recuadro Load Key escriba 1 , que representa el eje z y en los dos siguientes coloque el valor de la carga y de click en **OK**

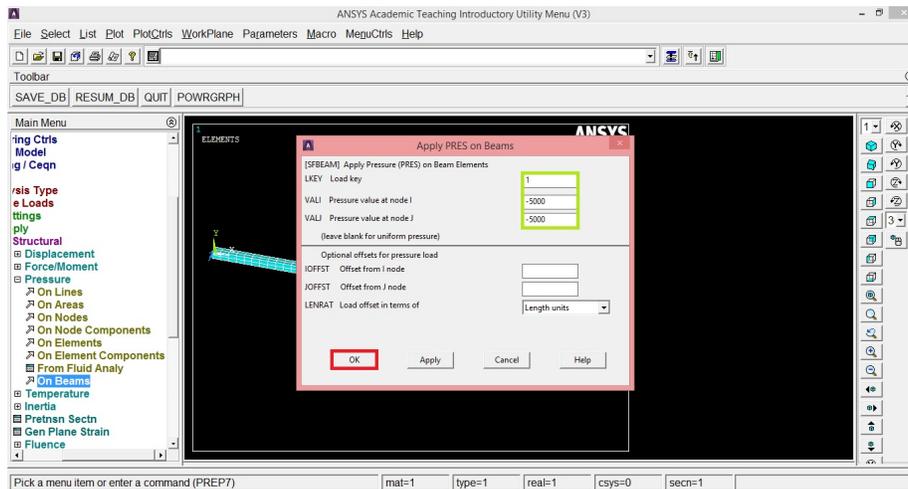


Figure 290: Elaboración propia

Ahora puede dar click en **Solution,Solve, Current LS**

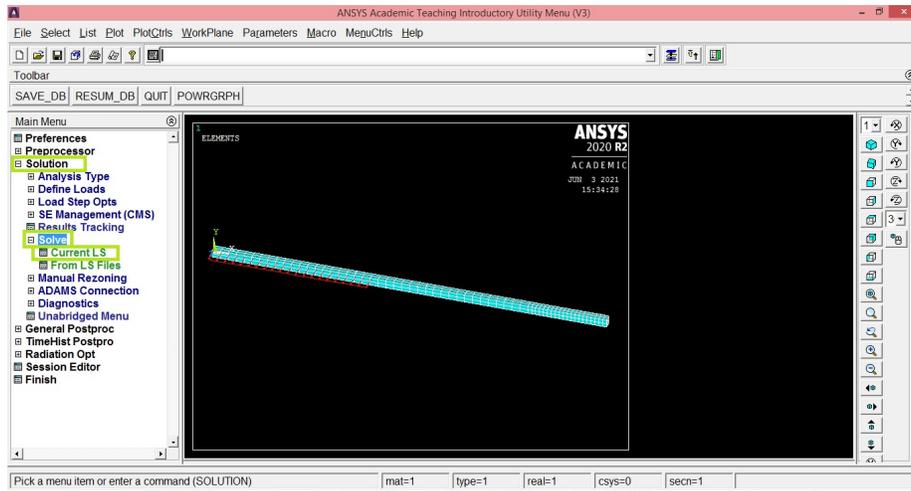
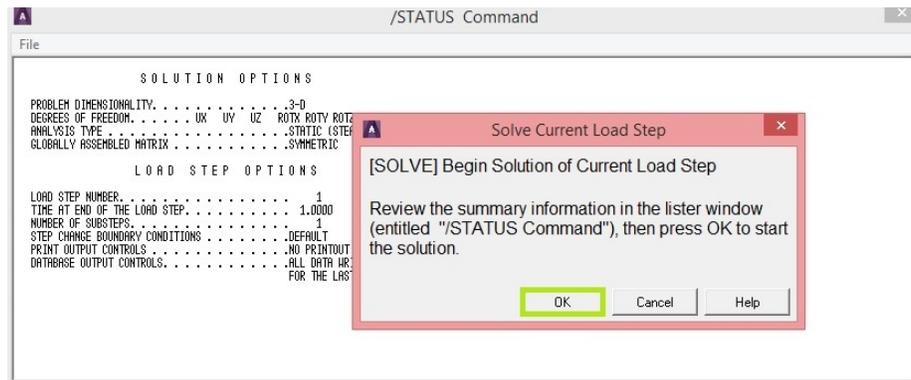


Figure 291: Elaboración propia

De click en **Ok** y espere a que el programa resuelva el modelo.



Cuando se solucione cierre las pestañas **Note** y **Status Command**

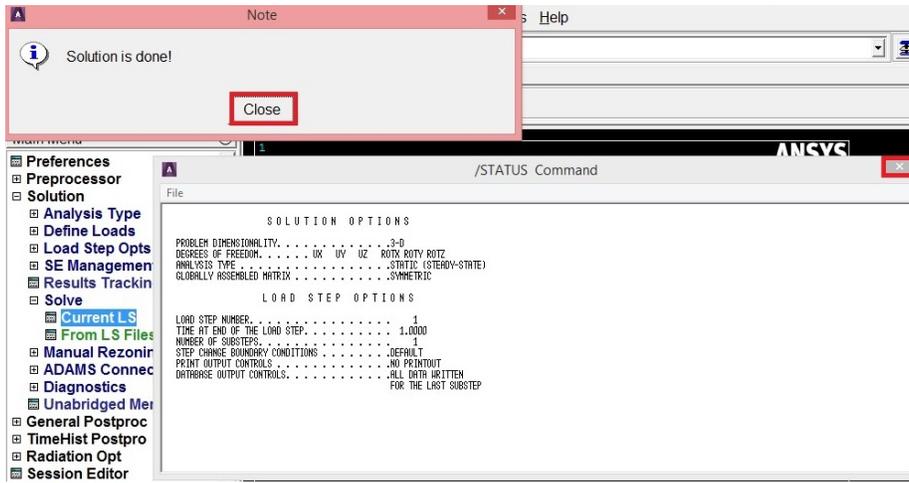


Figure 292: Elaboración propia

Para ver los resultados de click en **General Postproc**, **Element Table**, **Define Table**

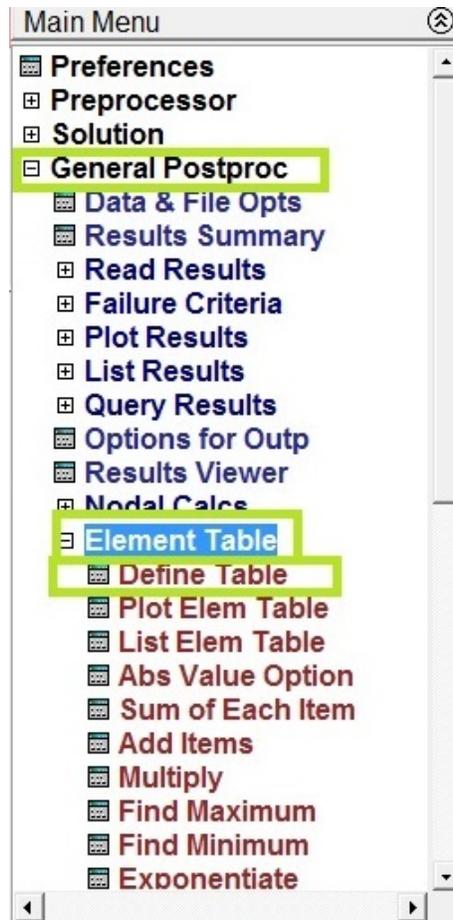


Figure 293: Elaboración propia

Ahora debe colocar los comandos indicados para su analisis.

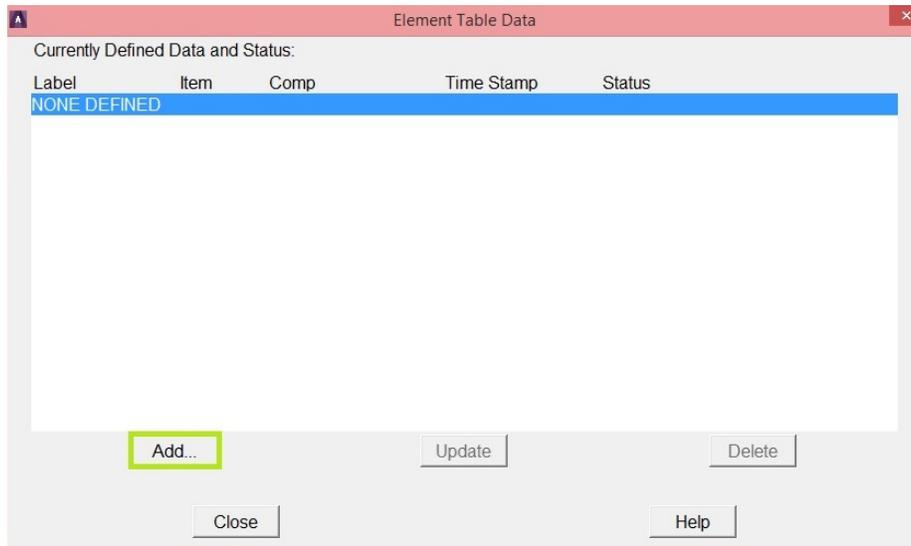


Figure 294: Elaboración propia

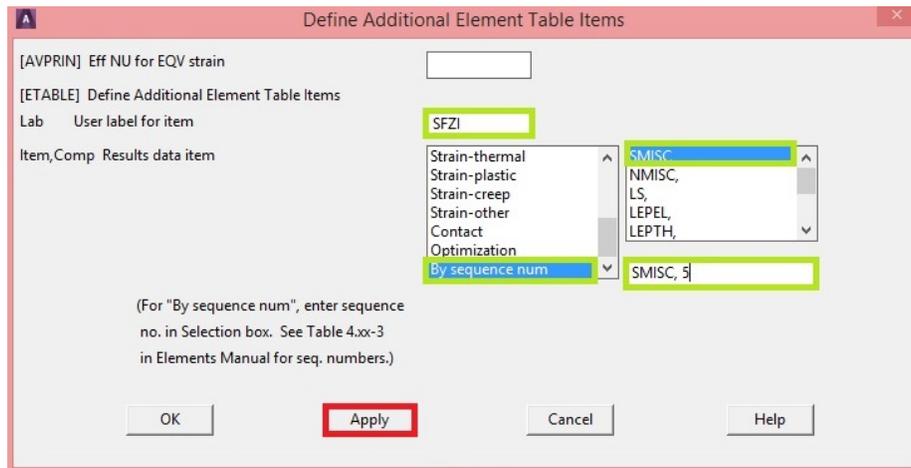


Figure 295: Elaboración propia

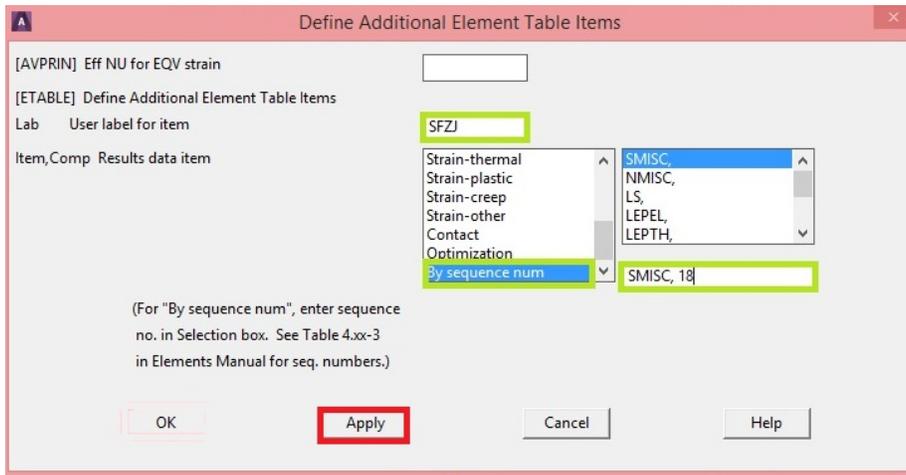


Figure 296: Elaboración propia

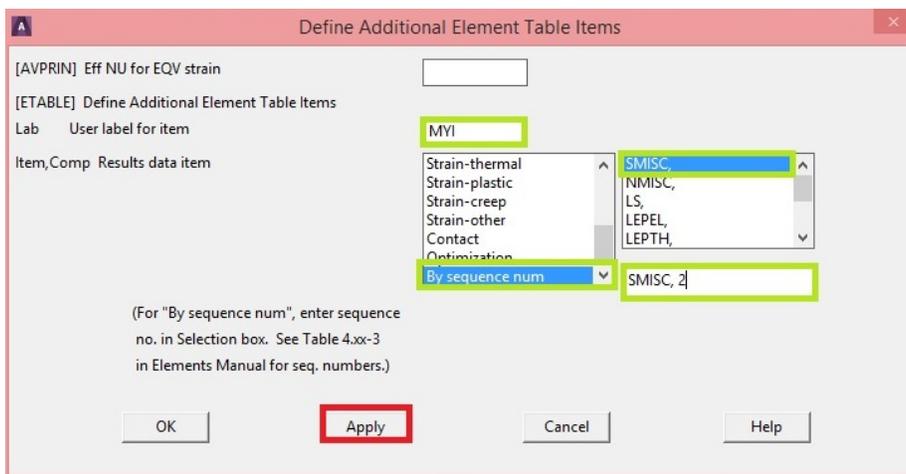


Figure 297: Elaboración propia

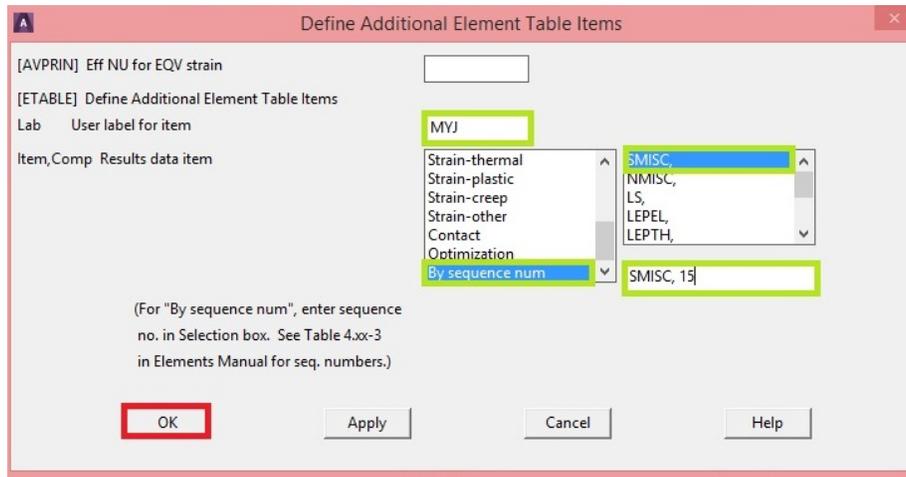


Figure 298: Elaboración propia

Para ver los graficos haga click en **General Postproc Plot Result, Contour Plot, Line Elem Result**



Figure 299: Elaboración propia

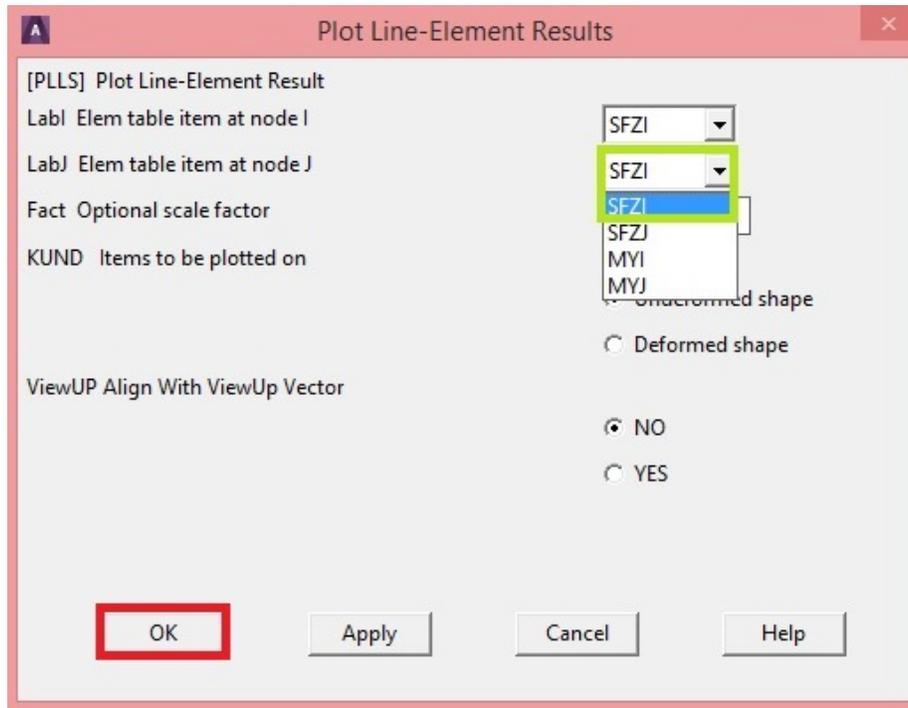


Figure 300: Elaboración propia

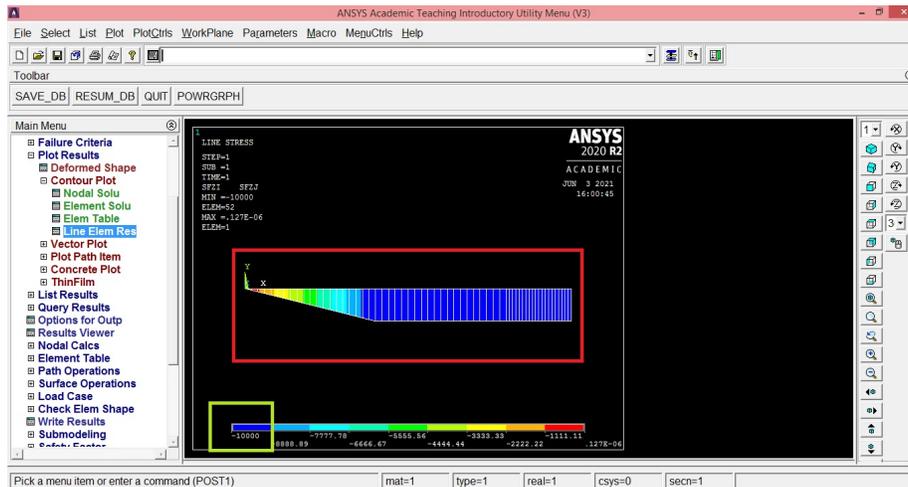


Figure 301: Elaboración propia

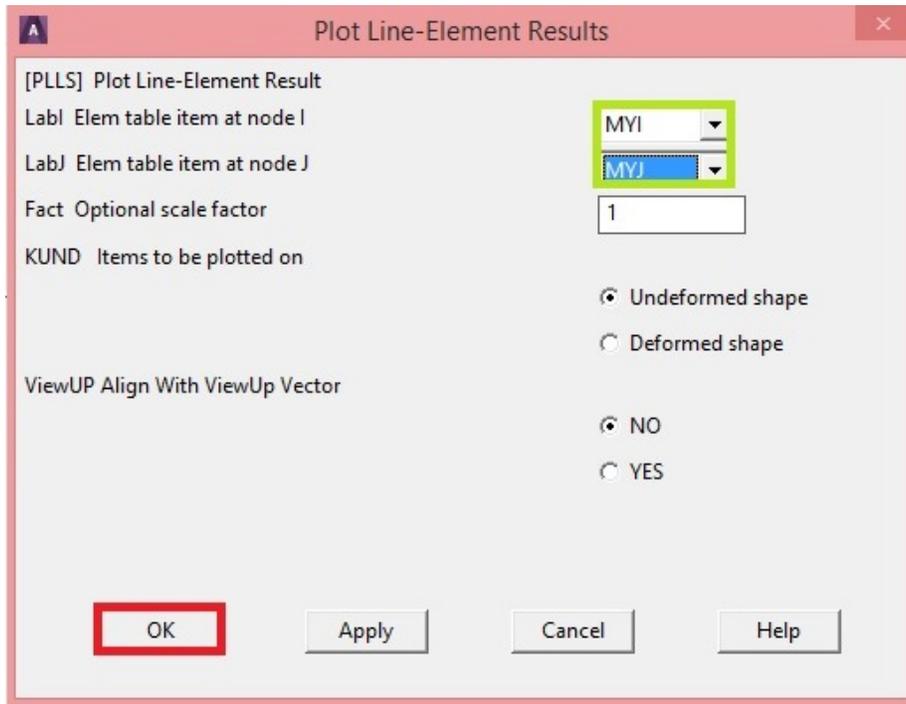


Figure 302: Elaboración propia

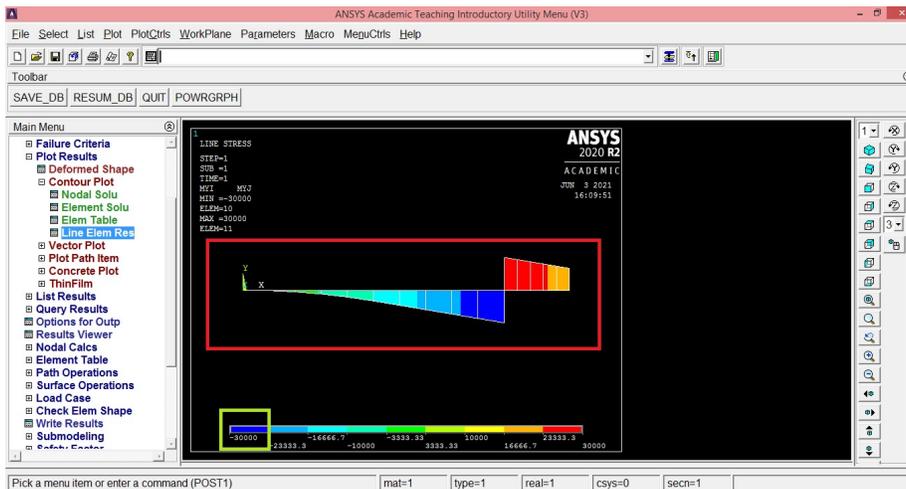


Figure 303: Elaboración propia

- Ejercicio 7

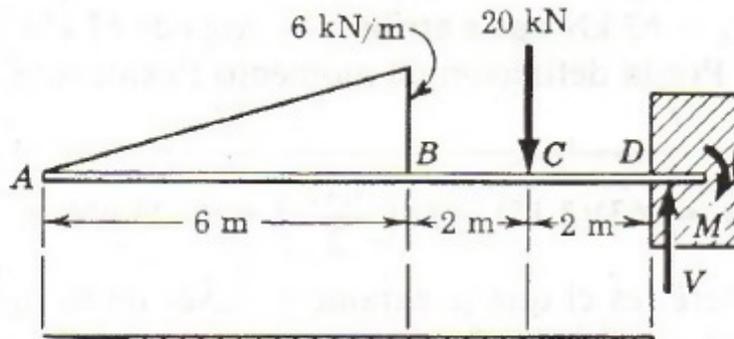


Figure 304: Problema modelo de Singeer

6.5 Solución analítica

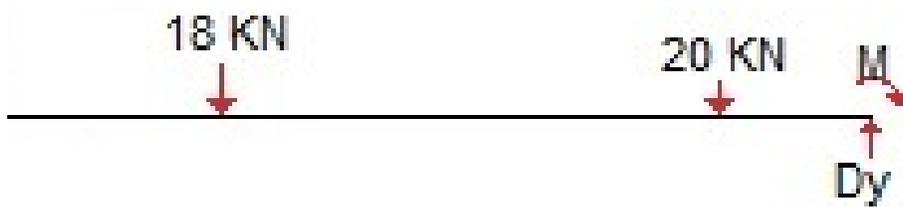


Figure 305: Elaboración propia

$$\sum F_y = -18KN - 20KN + F_y = 0 \quad (80)$$

$$F_y = 38KN \quad (81)$$

$$\sum M = -6m \cdot (18Kn) - 2m \cdot (20Kn) \quad (82)$$

$$M = 148KN \quad (83)$$

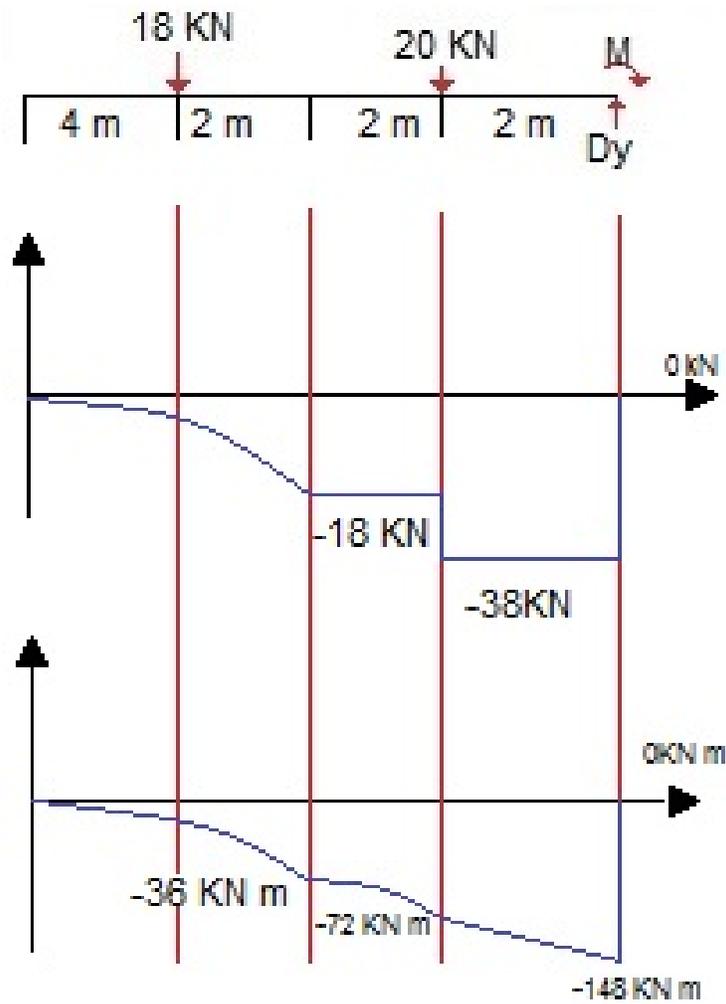


Figure 306: Elaboración propia

6.6 Solución con Ansys

Primero seleccione el tipo de analisis, dando click en **preference** y seleccione **Structural**

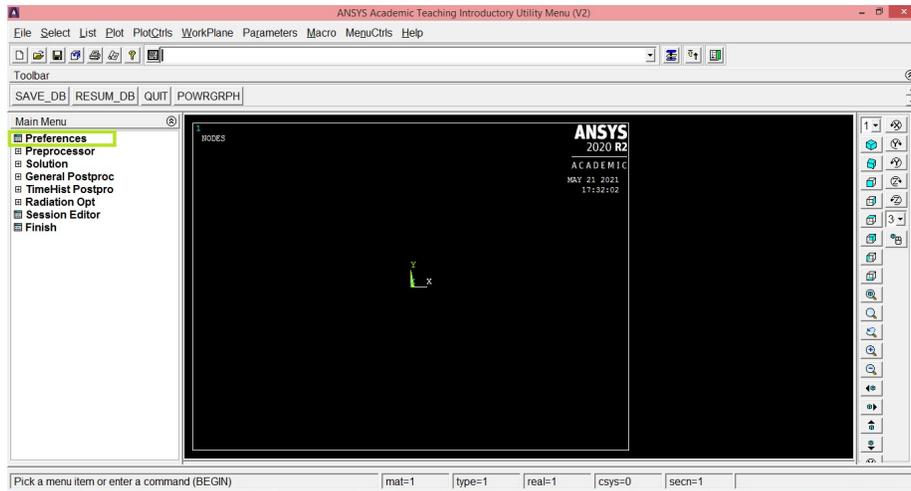


Figure 307: Elaboración propia

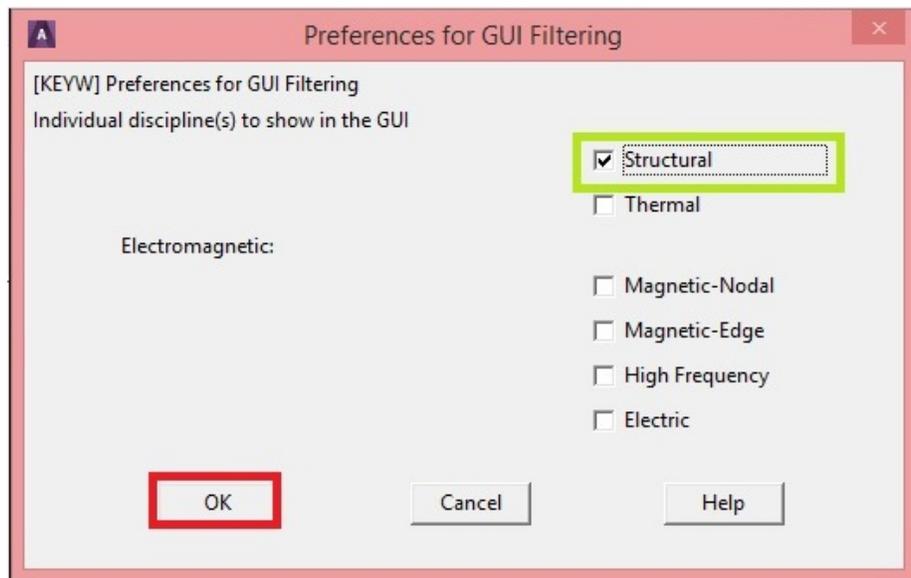


Figure 308: Elaboración propia

Ahora seleccione el tipo de elemento, para esto de click en **Preprocessor**, **Element Type**, **Add/Edit/Delate**



Figure 309: Elaboración propia

Una vez que se abra la pestaña **Element Type** de click en **Add**

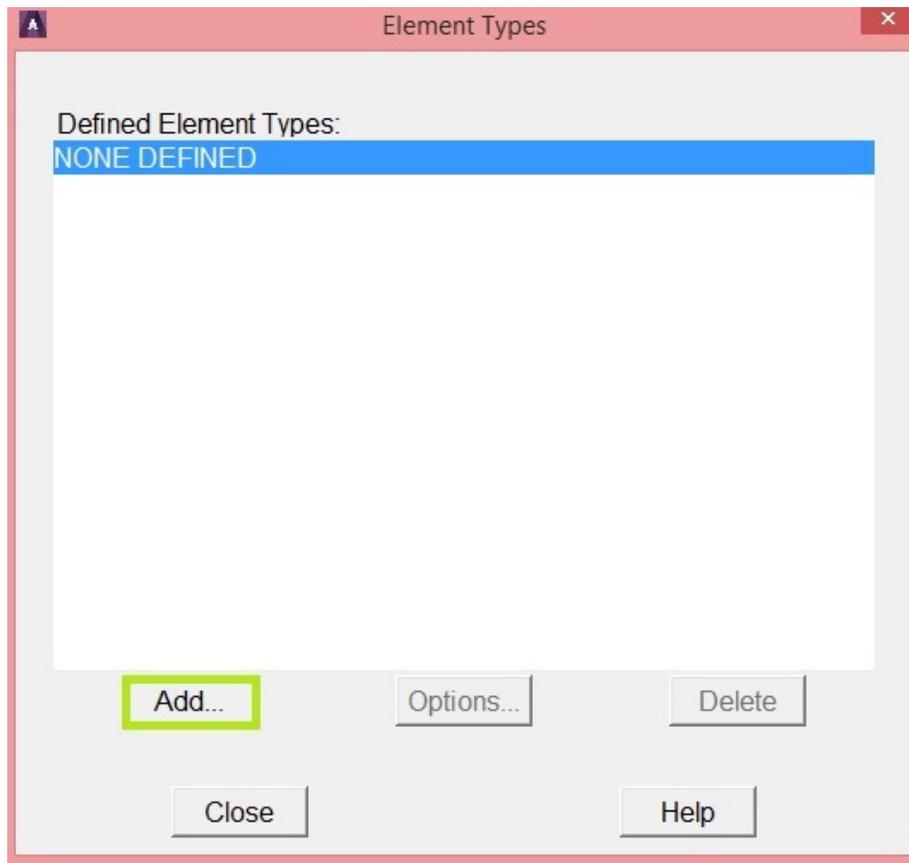


Figure 310: Elaboración propia

seleccione el elemento **Beam 188** de click en **ok**

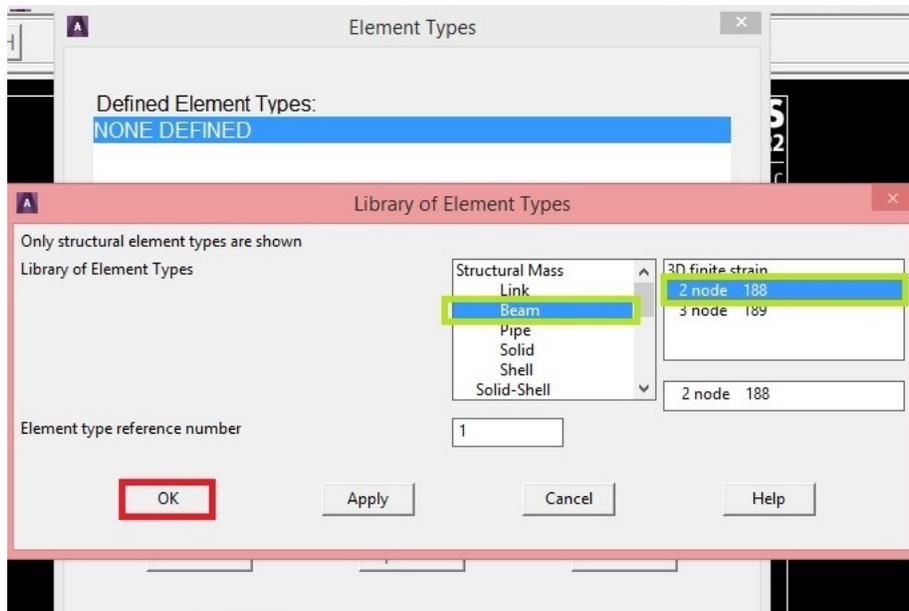


Figure 311: Elaboración propia

Para obtener mejores resultados de click en la ventana **Element Type** de click en **options**

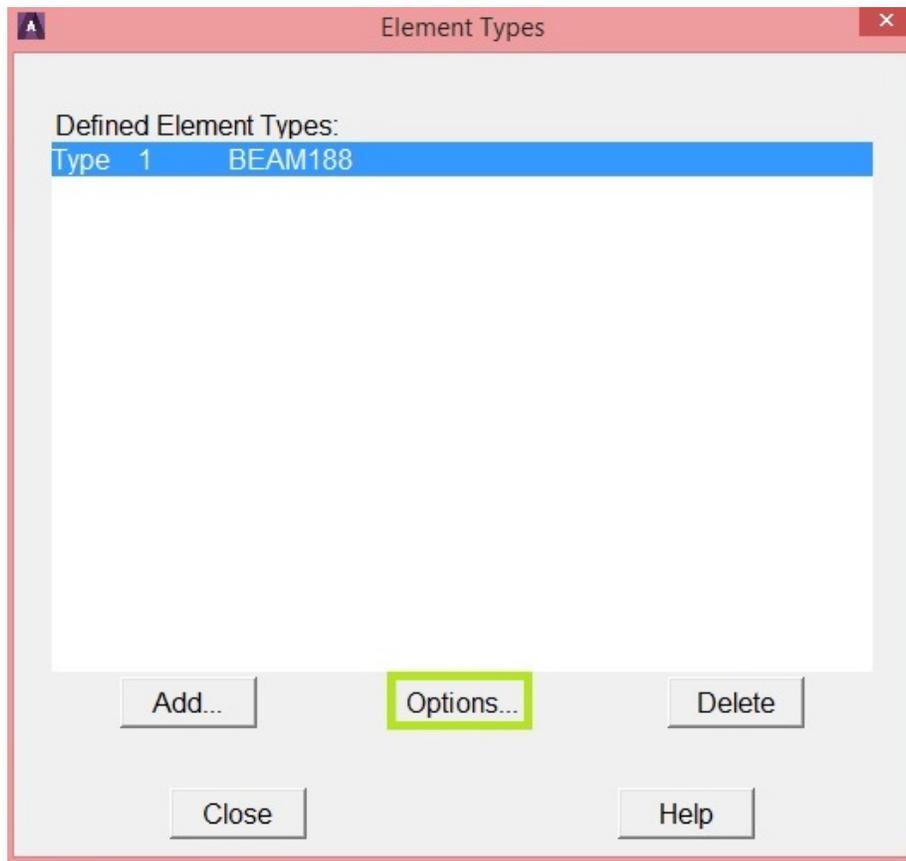


Figure 312: Elaboración propia

En la opción K3 seleccione **Cubic Form**

, presione **OK** y cierra la ventana **Element Type**

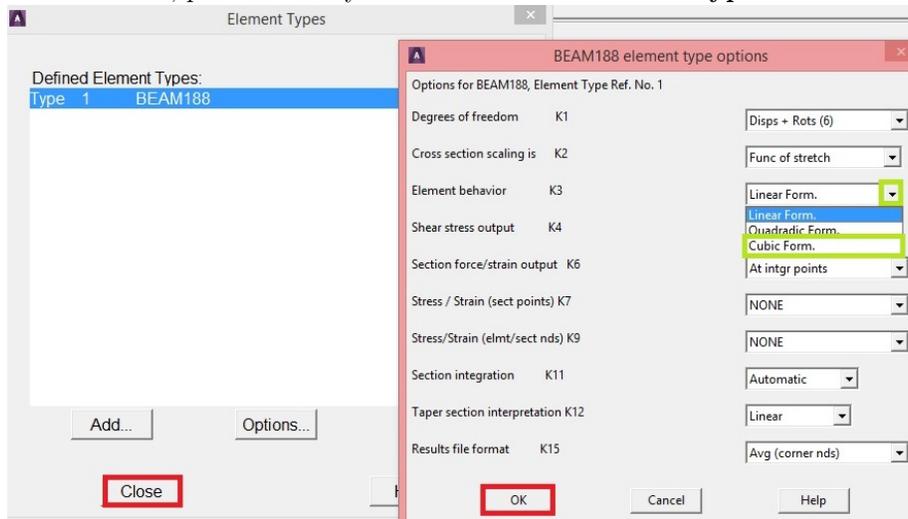


Figure 313: Elaboración propia

A continuación defina las propiedades del material, haga click en **Material Props, Material Models**

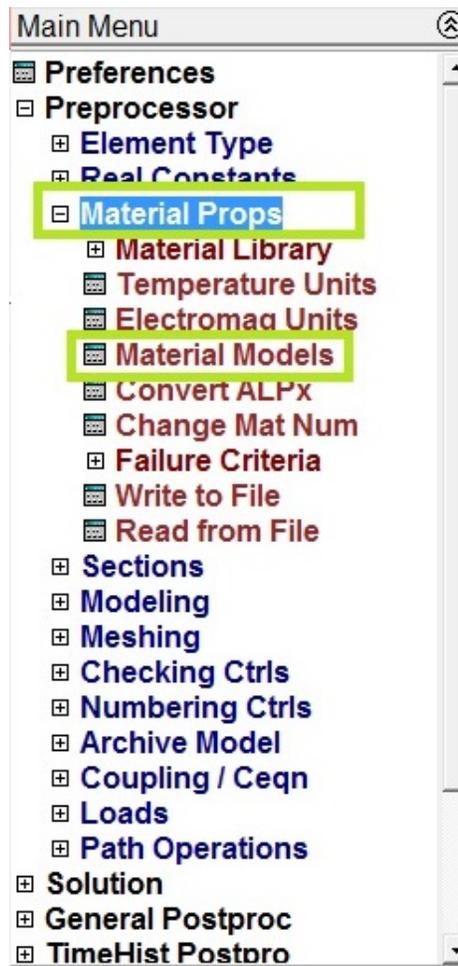


Figure 314: Elaboración propia

En la ventana **Define Material Model Behavior** seleccione **Structural,Linear,Elastic,Isotropic**

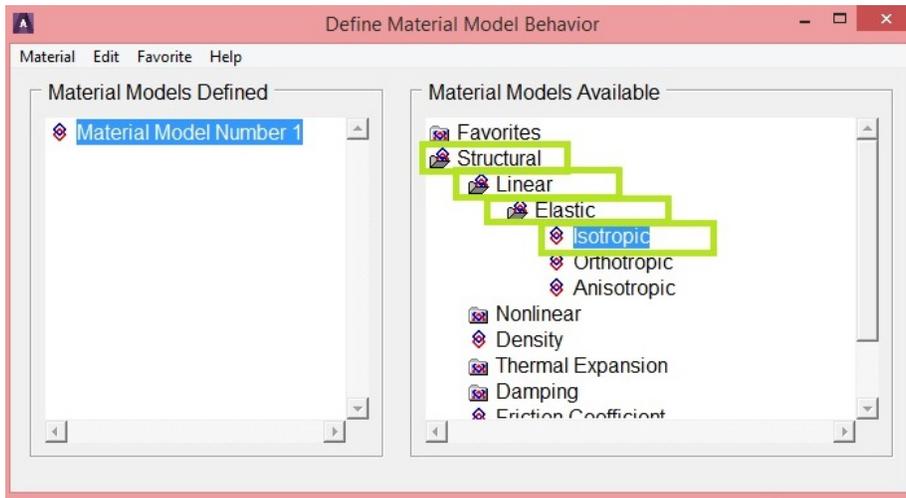


Figure 315: Elaboración propia

Determine el modulo de elasticidad y el coeficiente de poisson.

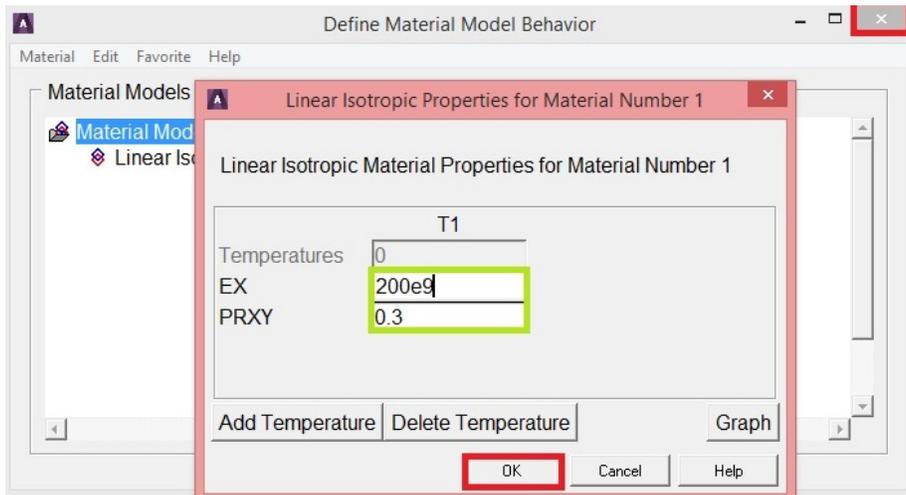


Figure 316: Elaboración propia

De click en **Sections** para definir la seccion, de click en **Beam, Common Sections**

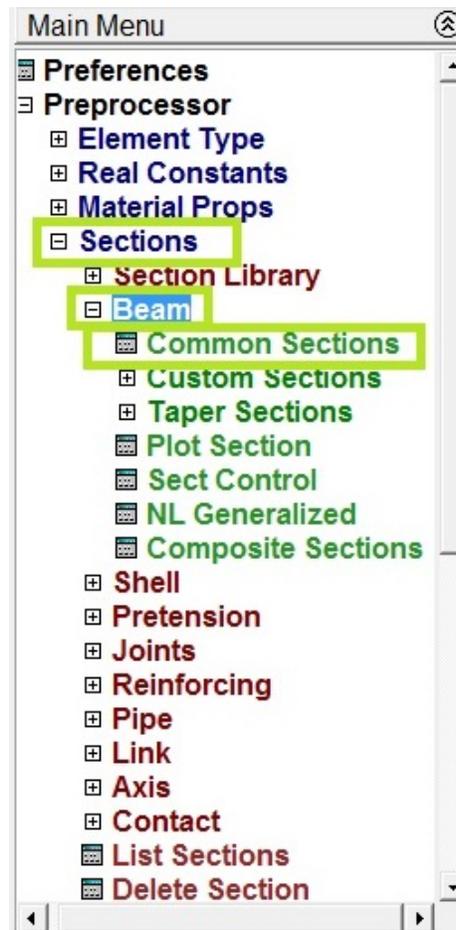


Figure 317: Elaboración propia

Defina la seccion y las dimensiones de la viga.

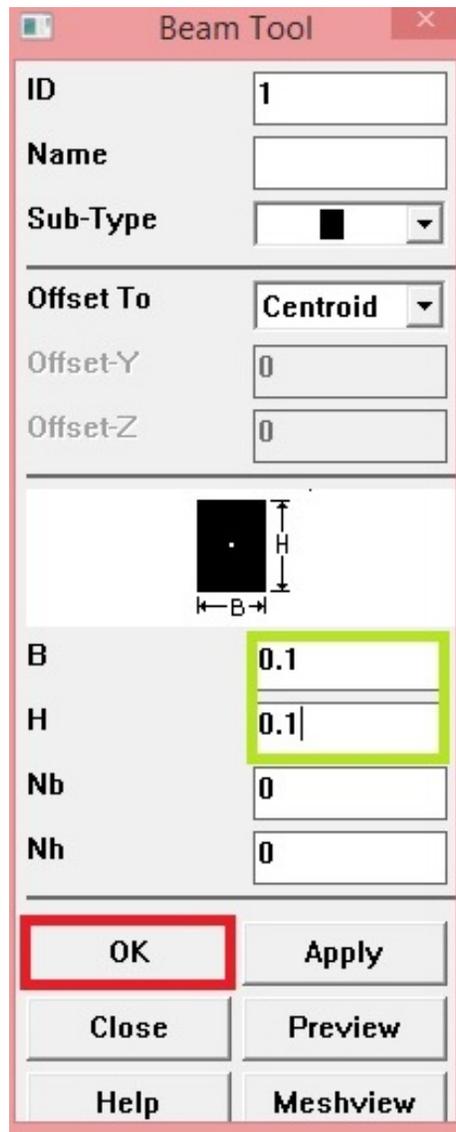


Figure 318: Elaboración propia

Ahora se generan los puntos dando click en **Modeling>Create,Keypoints, In active CS**

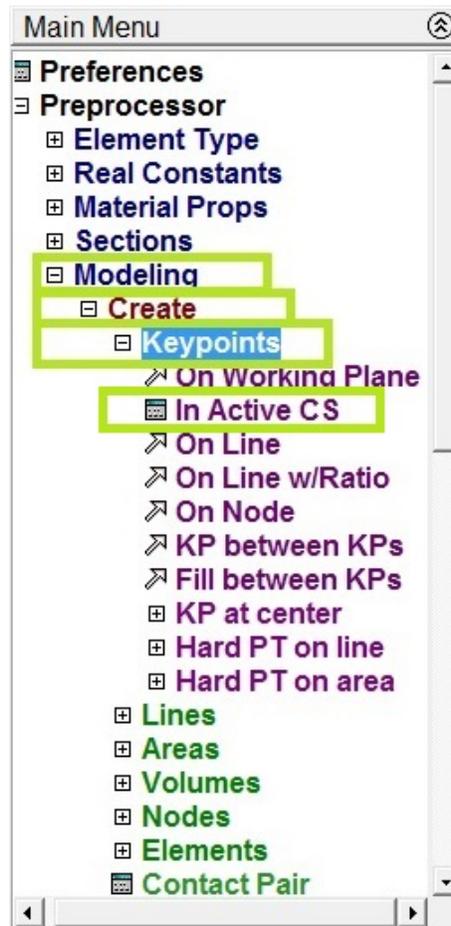


Figure 319: Elaboración propia

Asigne un numero para el keypoint y asigne la coordena correspondiente, es importe resaltar que para este ejercicio se opto por convertir la carga distribuida en una puntual, así que al momento de definir las coordenadas se calculó el nuevo punto de aplicación de la carga.

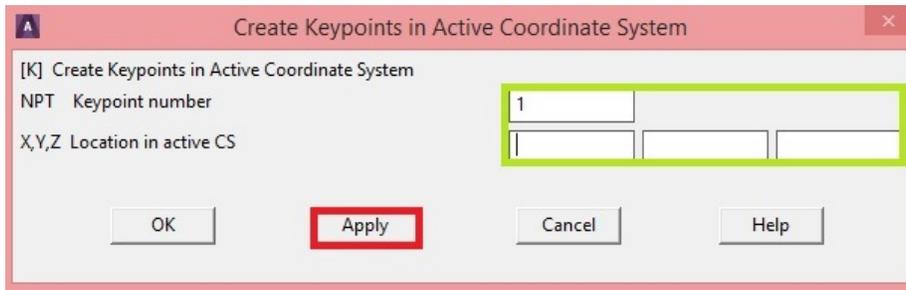


Figure 320: Elaboración propia

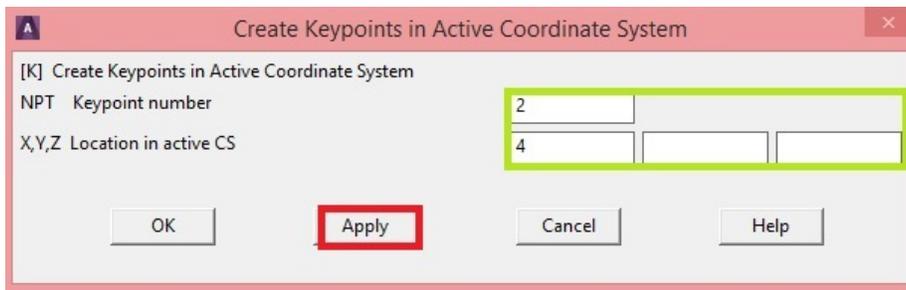


Figure 321: Elaboración propia

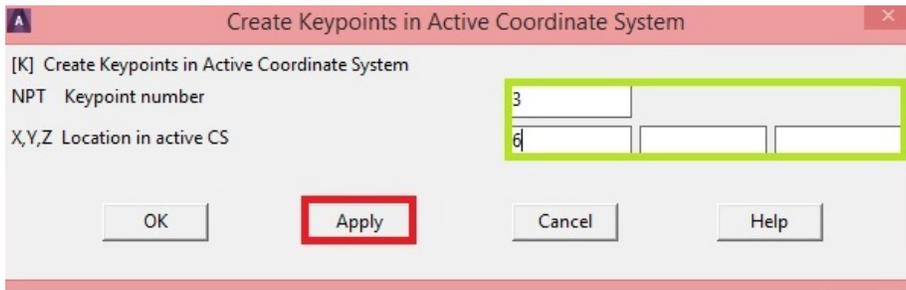


Figure 322: Elaboración propia

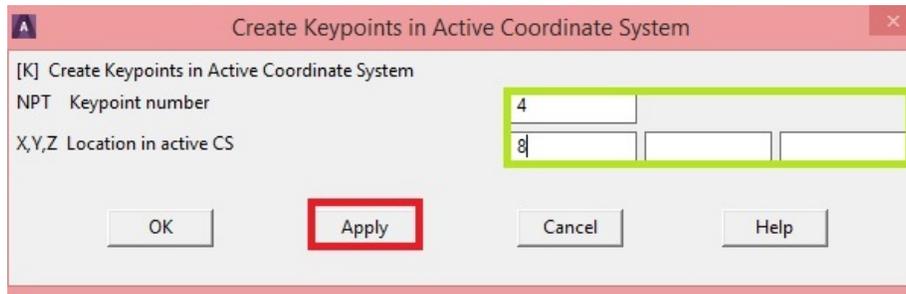


Figure 323: Elaboración propia

Para unir los keypoints de click en **Lines, Lines, Straight Line**



Figure 324: Elaboración propia

Seleccione en orden y uno a uno los keypoints, luego de click en **OK**

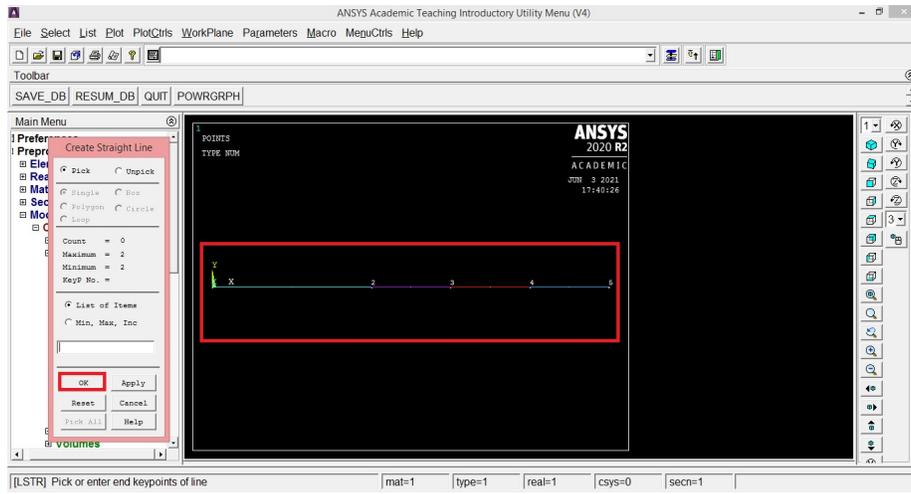


Figure 325: Elaboración propia

Para mallar la viga haga click en **Mesh**, **Mesh Toll**



Figure 326: Elaboración propia

En la sección Lines de click en **Set**

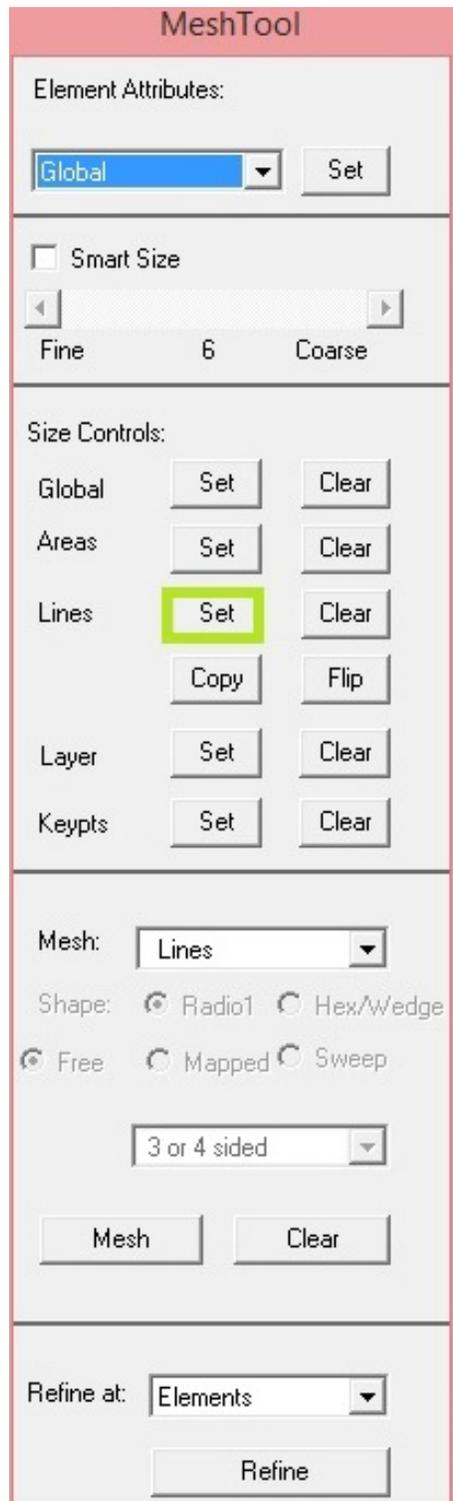


Figure 327: Elaboración propia

Seleccione toda la viga y de click en **OK**

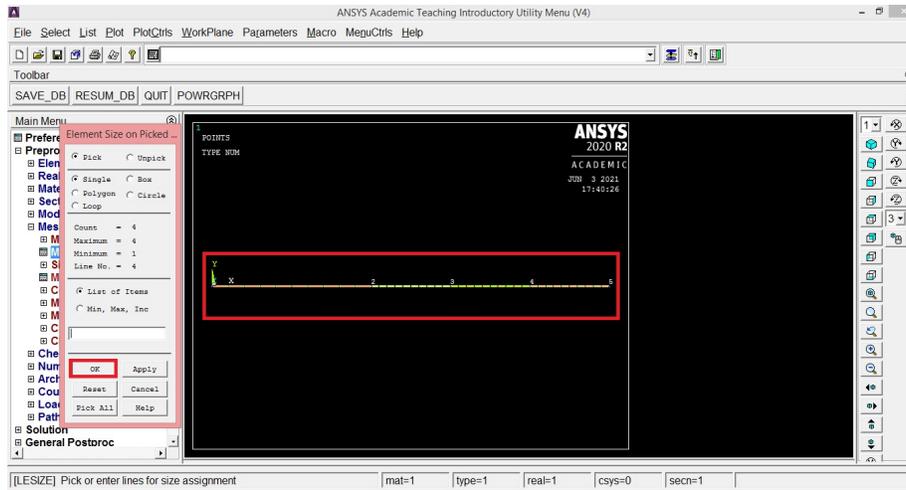


Figure 328: Elaboración propia

En el recuadro divisions indique el numero de divisiones para la linea y de click en **OK**

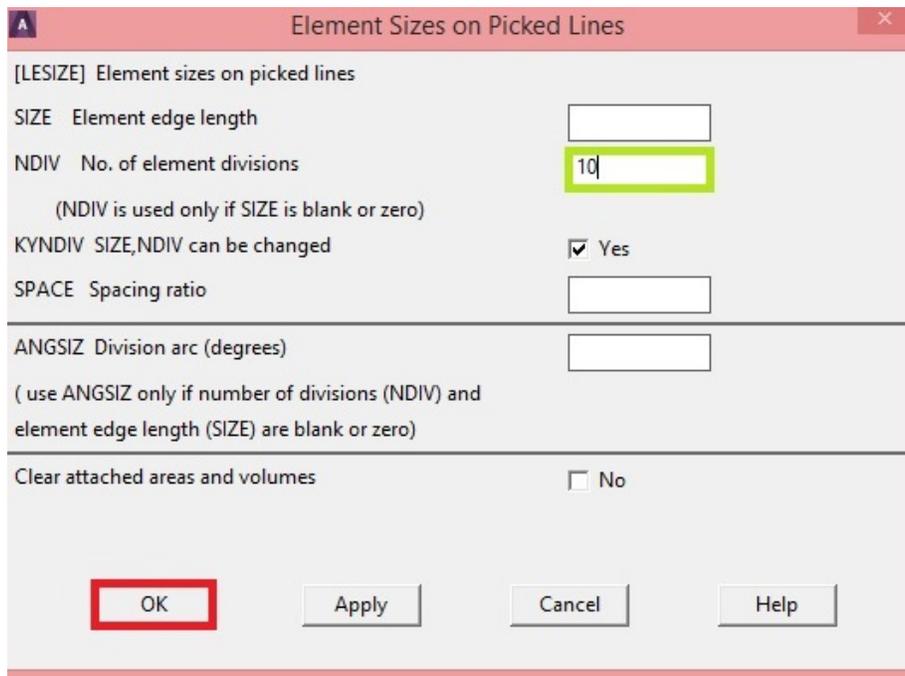


Figure 329: Elaboración propia

Luego en la ventana **Mesh Tool** de click en **Mesh**

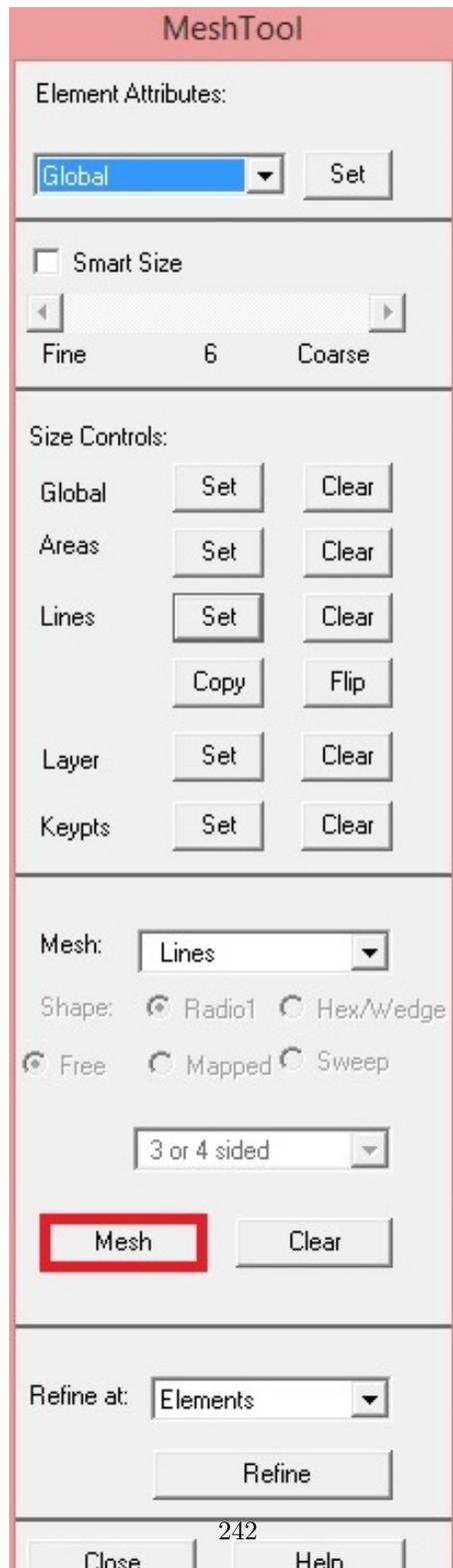


Figure 330: Elaboración propia

Seleccione las líneas , de click en **OK** y cierre la ventana de **Mesh**

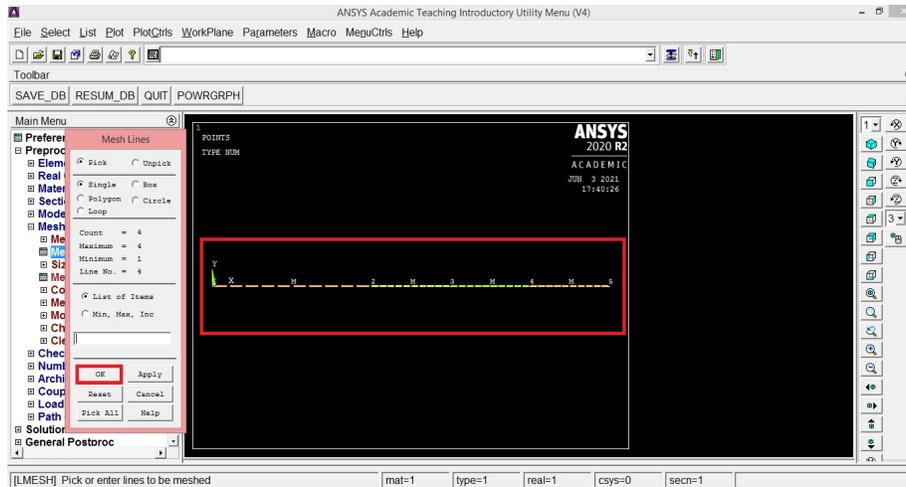


Figure 331: Elaboración propia

Para hacer visibles los keypoints y asignar las fuerzas y las restricciones de click en **Plot, Keypoints, Keypoints**

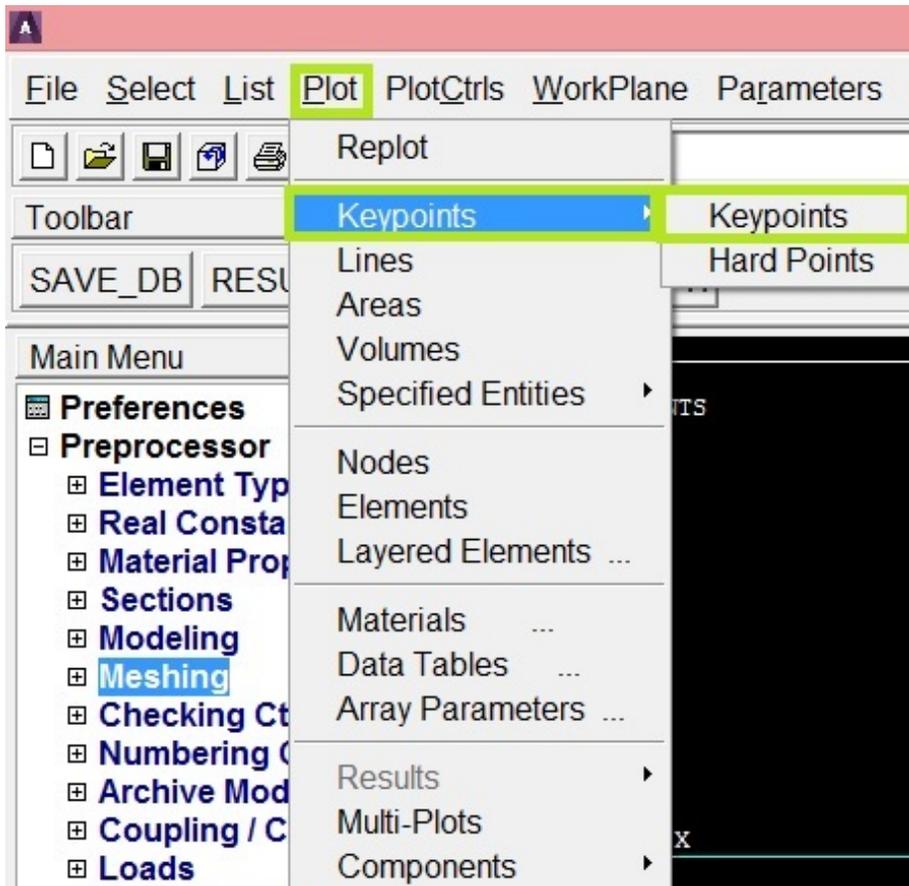


Figure 332: Elaboración propia

Para definir las restricciones de click en **Loads, Define Loads, Apply, structural, Displacement, On keypoints**

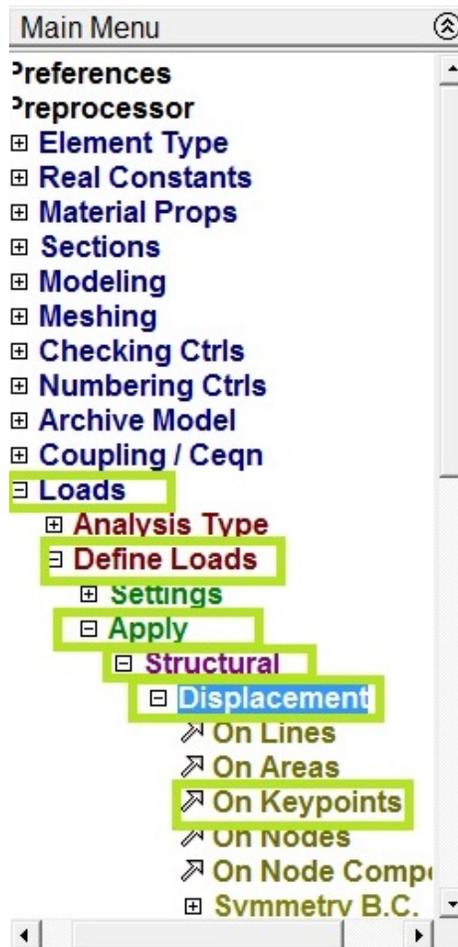


Figure 333: Elaboración propia

Seleccione el nodo y de click en **OK**

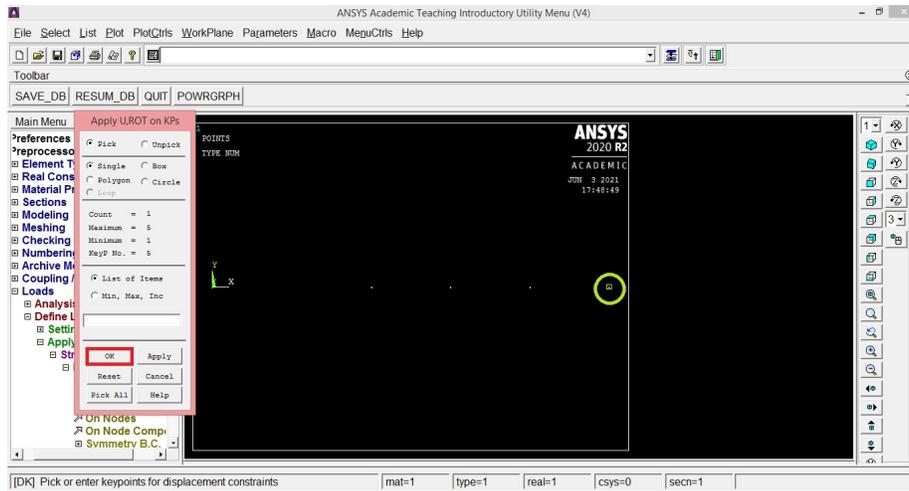


Figure 334: Elaboración propia

Seleccione **All Dof** y de click en **OK**

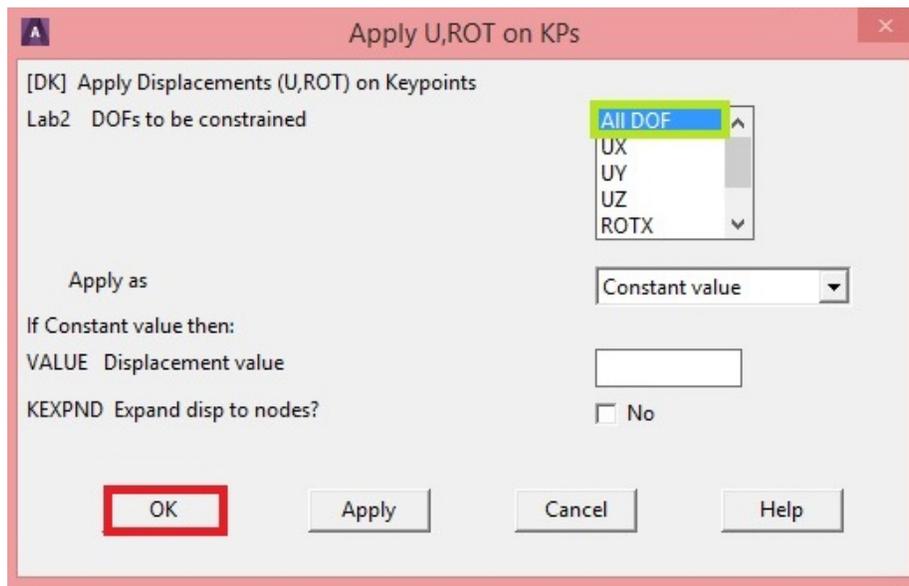


Figure 335: Elaboración propia

Ahora es momento de definir las cargas, recuerde que se mencionó que la carga triangular se transformó en puntual, por lo que su magnitud va a cambiar respecto a la que aparece en el diagrama del problema.

Seleccione **Force/Moment, On Keypoints**



Figure 336: Elaboración propia

De click en el nodo en que está la carga, y presione **OK**

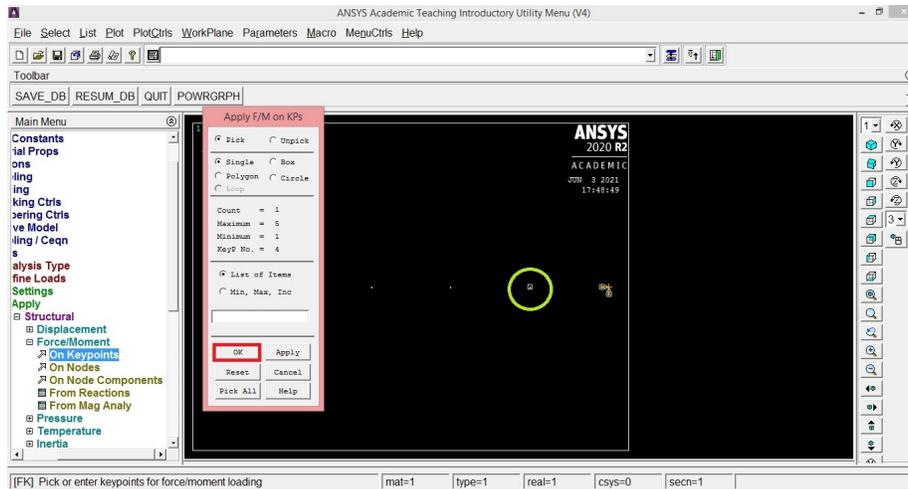


Figure 337: Elaboración propia

Defina el valor de la carga e indique el eje

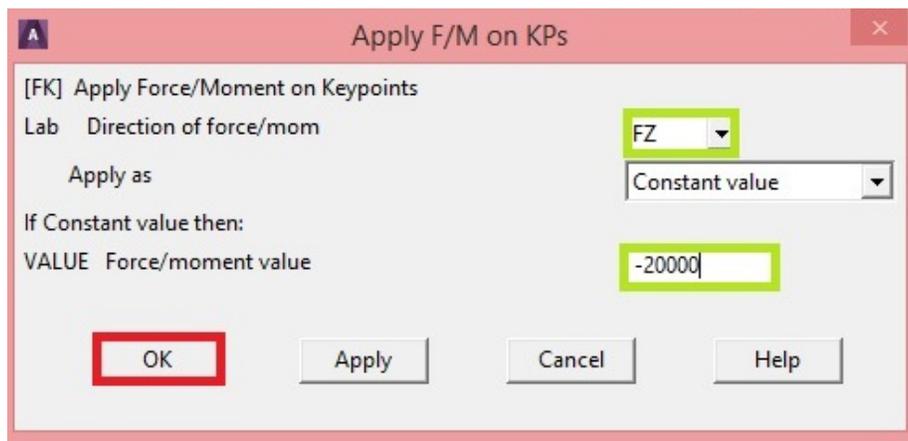


Figure 338: Elaboración propia

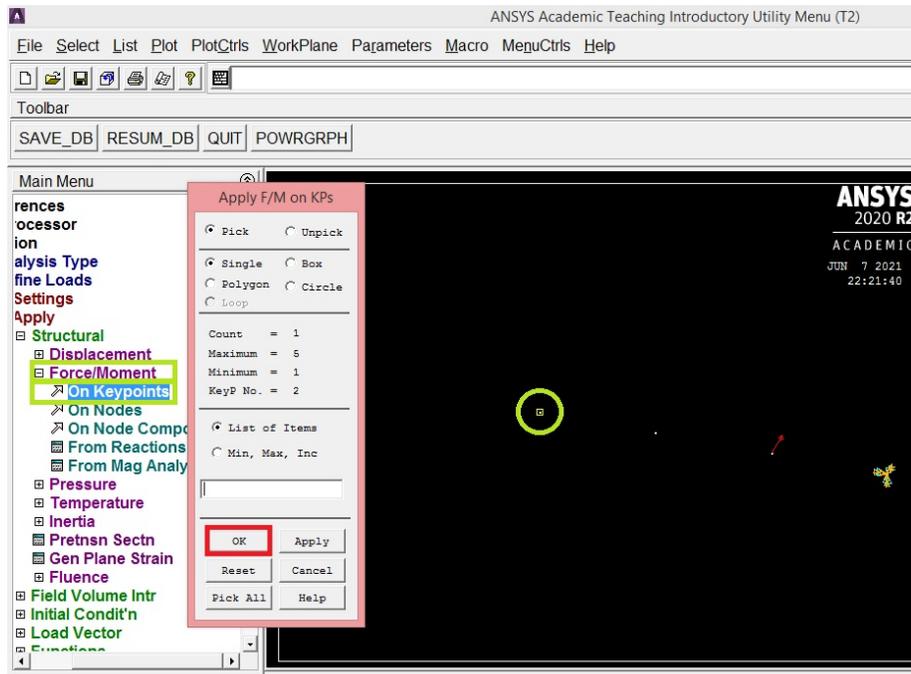


Figure 339: Elaboración propia

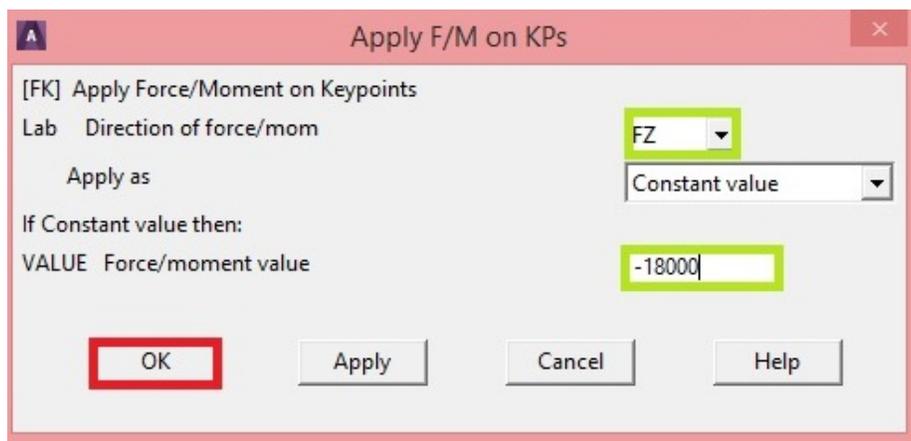


Figure 340: Elaboración propia

Ahora puede dar click en **Solution, Solve,Current LS**

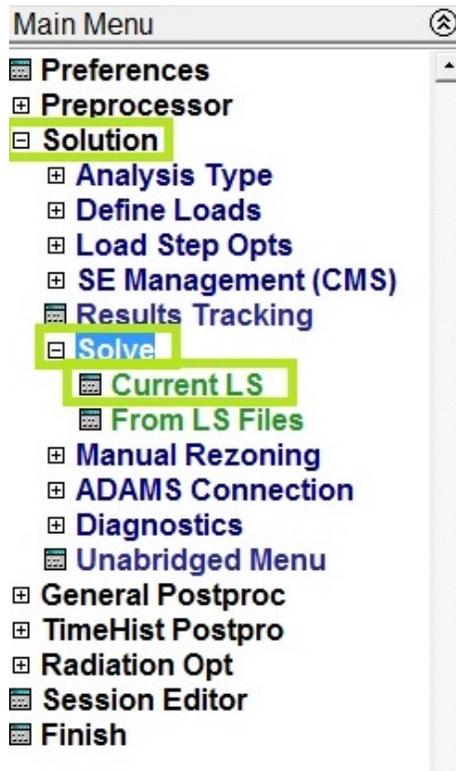


Figure 341: Elaboración propia

De click en **OK** cuando se abra la pestaña solve Current Load Step



Figure 342: Elaboración propia

Espere a que Ansys resuelva el modelo y despues cierre las ventanas.

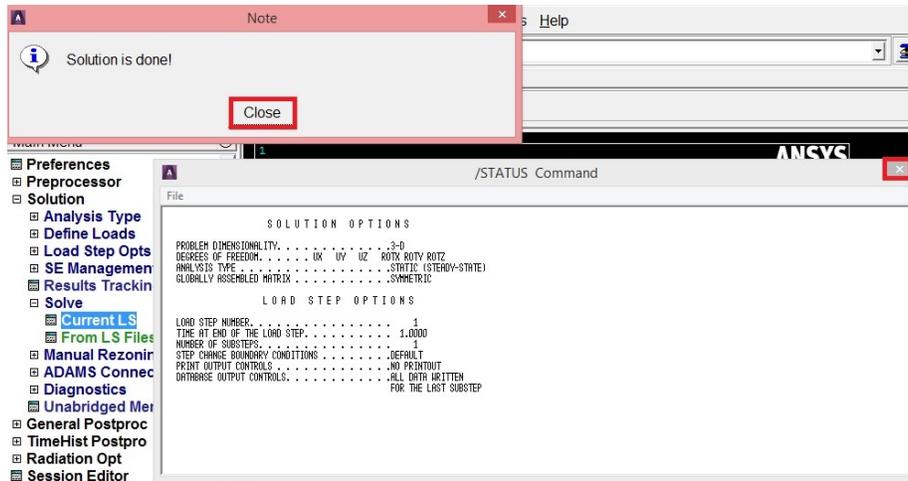


Figure 343: Elaboración propia

Para ver las graficas de fuerza cortante y momento flector siga los siguientes pasos.

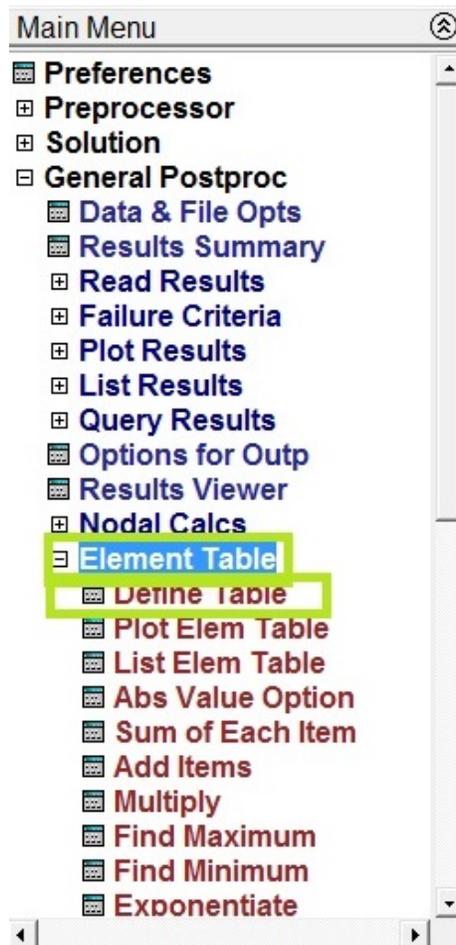


Figure 344: Elaboración propia

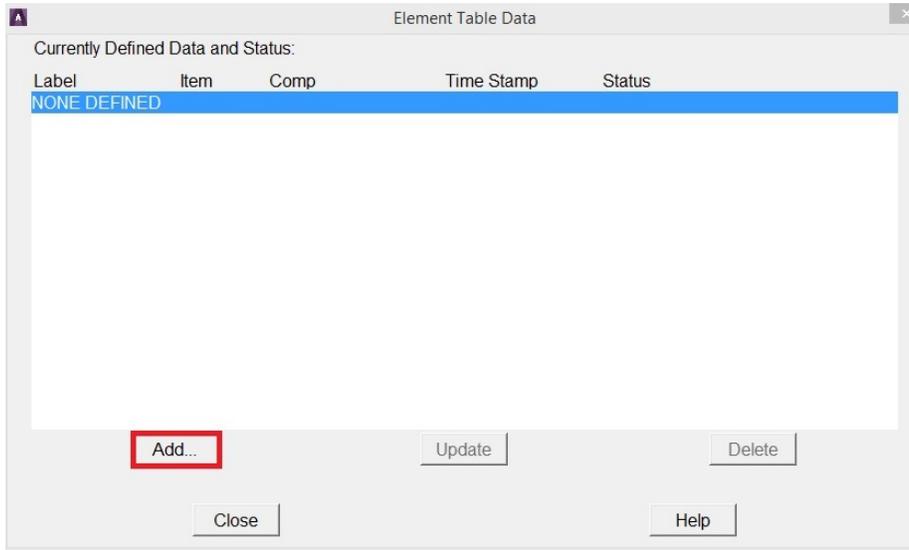


Figure 345: Elaboración propia

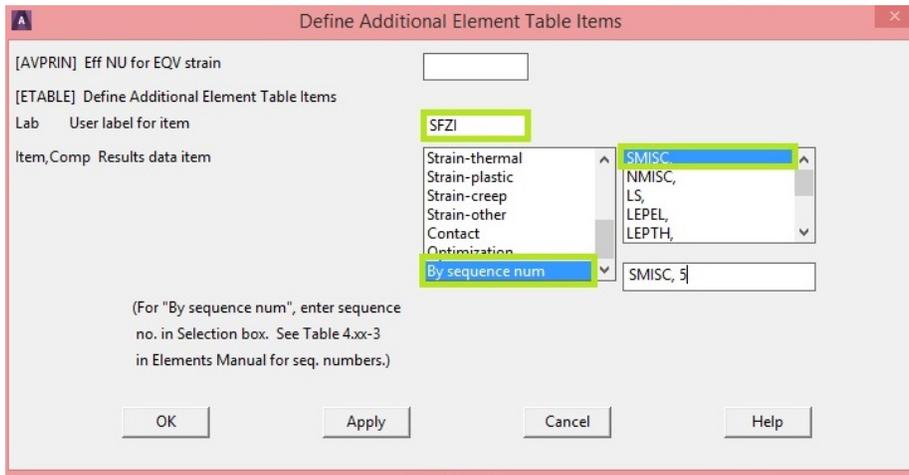


Figure 346: Elaboración propia

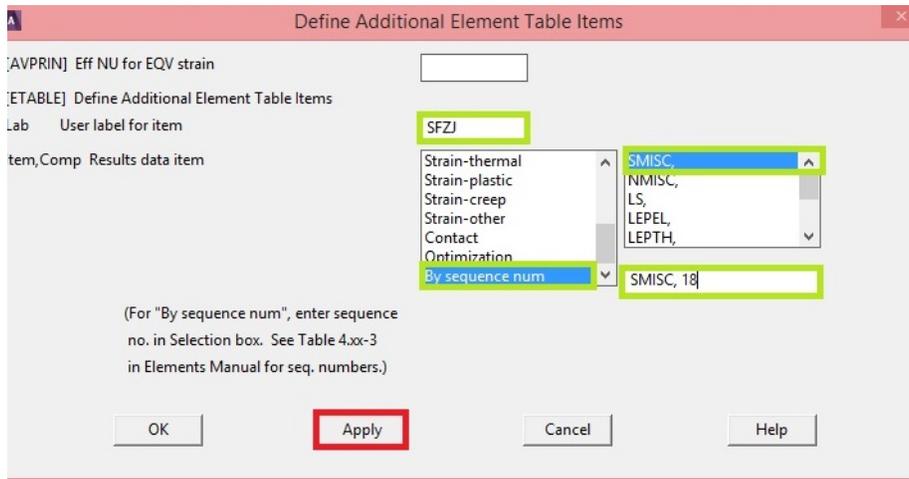


Figure 347: Elaboración propia

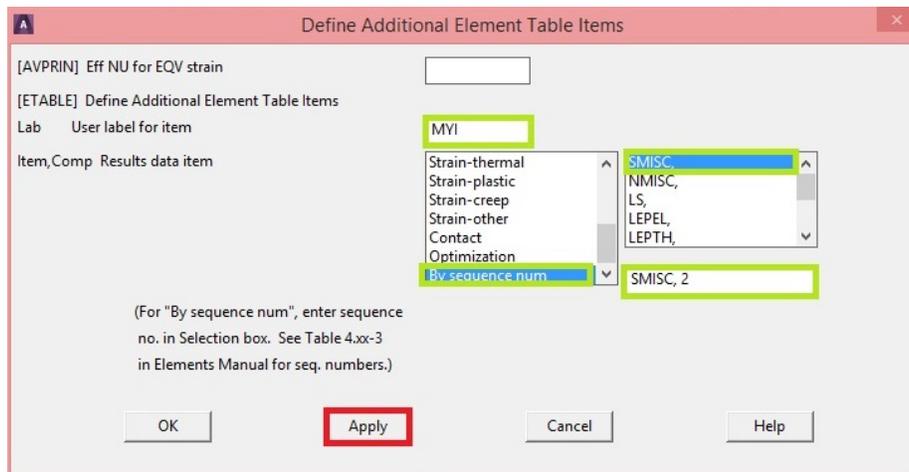


Figure 348: Elaboración propia

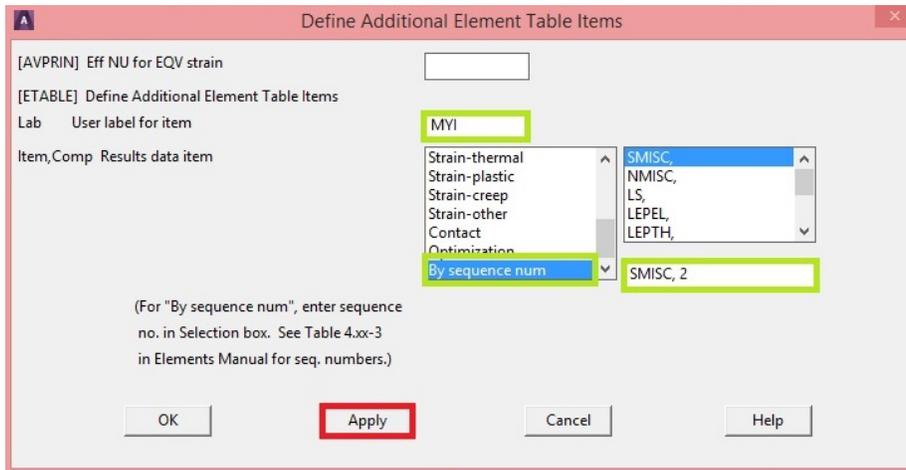


Figure 349: Elaboración propia

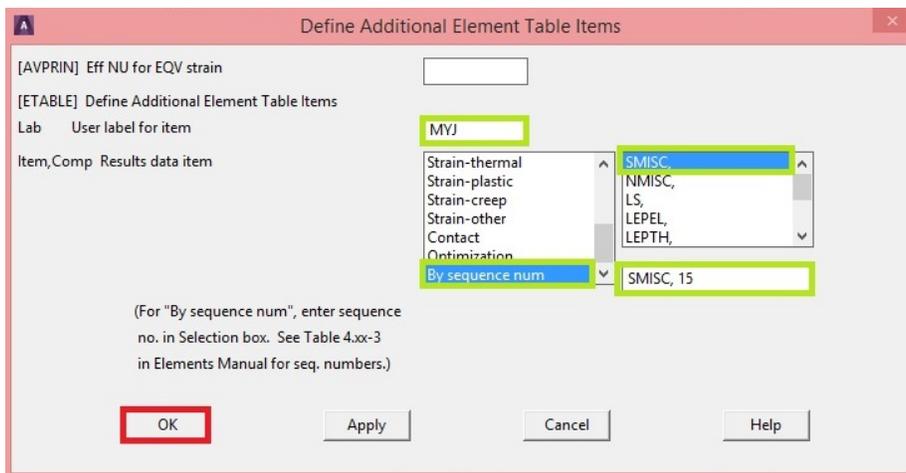


Figure 350: Elaboración propia

Para ver las tablas de click en **Plot resul,Contour Plot,Line Eleme Res**



Figure 351: Elaboración propia

Para el esfuerzo cortante

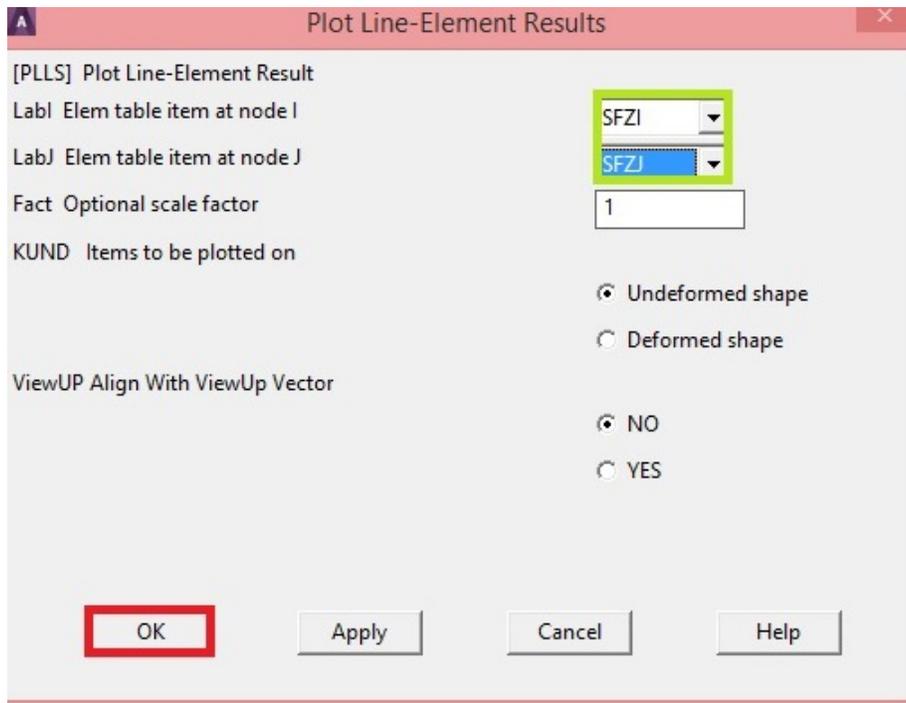


Figure 352: Elaboración propia

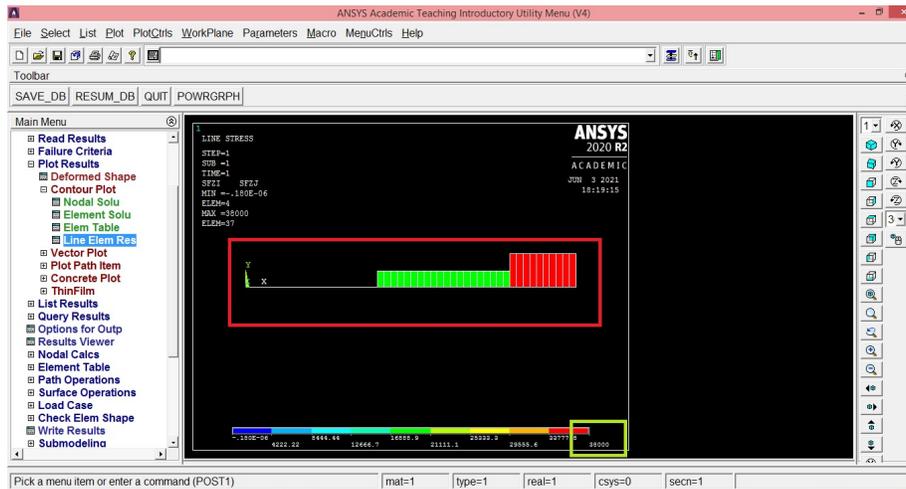


Figure 353: Elaboración propia

Para el momento

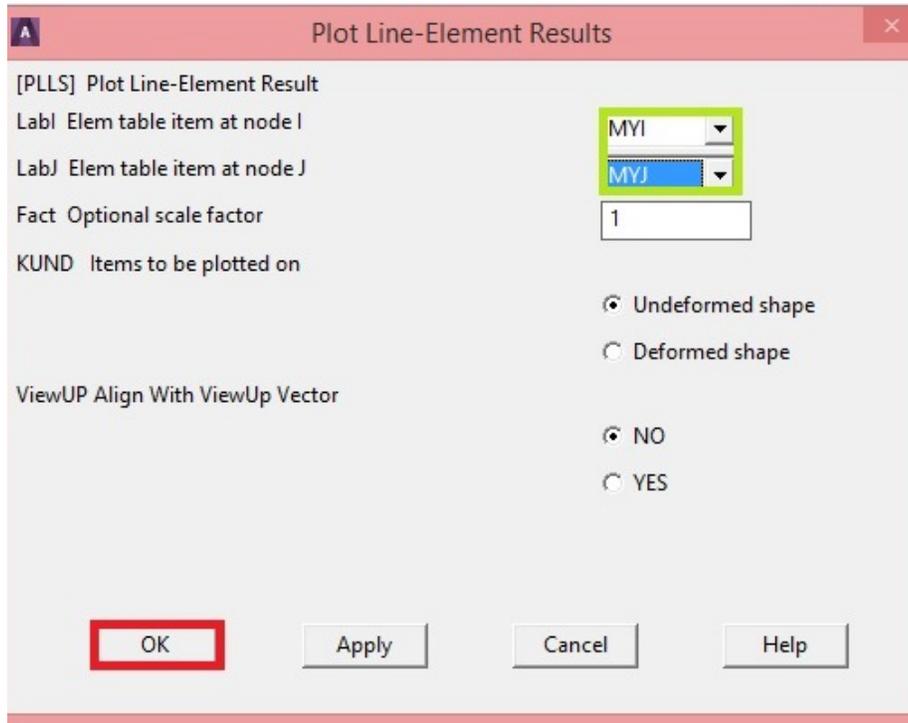


Figure 354: Elaboración propia

7 Otras aplicaciones

Ansys permite visualizar otros resultados además de los que se mostraron en cada explicación, también permite visualizar como se deforma un elemento, generando una animación o directamente mostrando como quedara el elemento después de ser sometido a estas cargas. Para acceder a estos resultados siga los siguientes pasos :

Para la explicación se retoma el problema 7, primero de click en **General Postproc** luego en **Plot result**, seleccione **Deform shape**

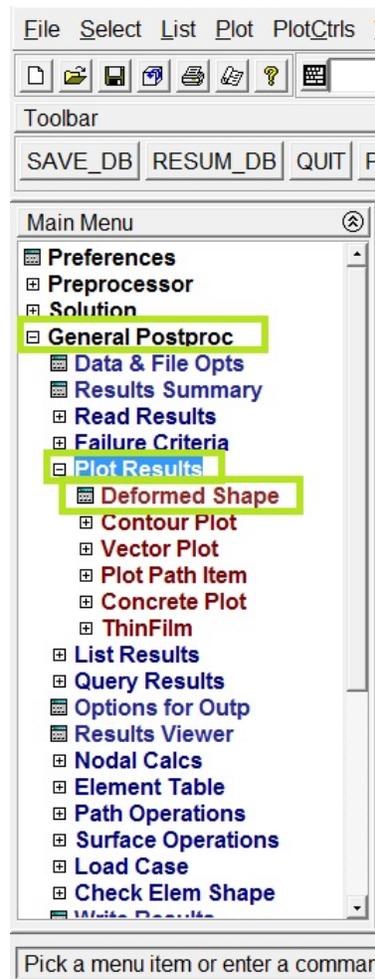


Figure 355: Elaboración propia

para ver únicamente la deformación del elemento seleccione **Def shape only**

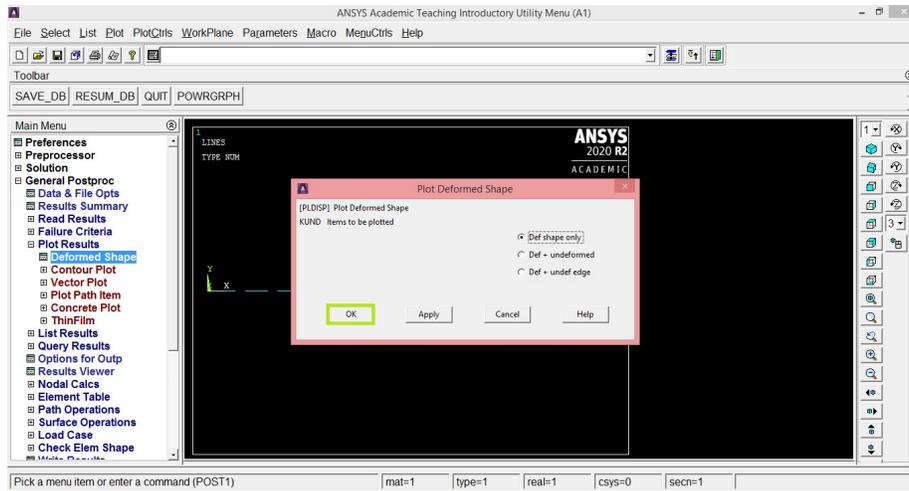


Figure 356: Elaboración propia

Para visualizar el desplazamiento de click en el simbolo de vista isometrica.

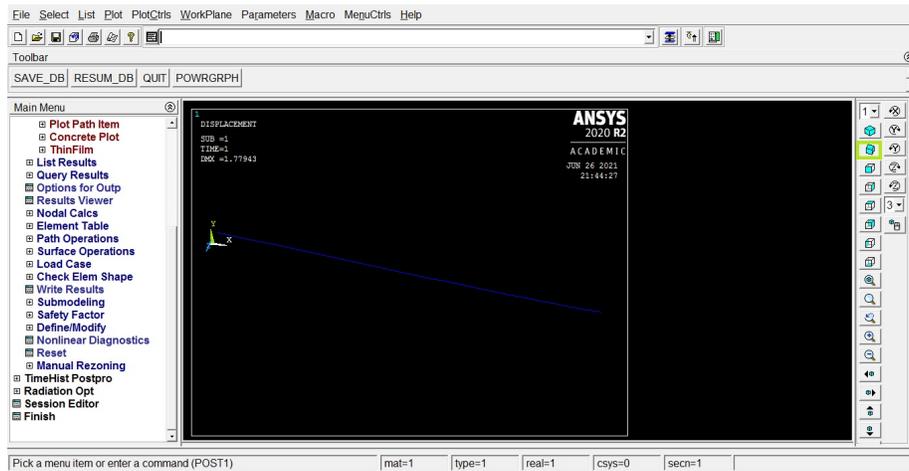


Figure 357: Elaboración propia

Si quiere ver el elemento sin deformar y deformado de click en **Def + Un-deformed**

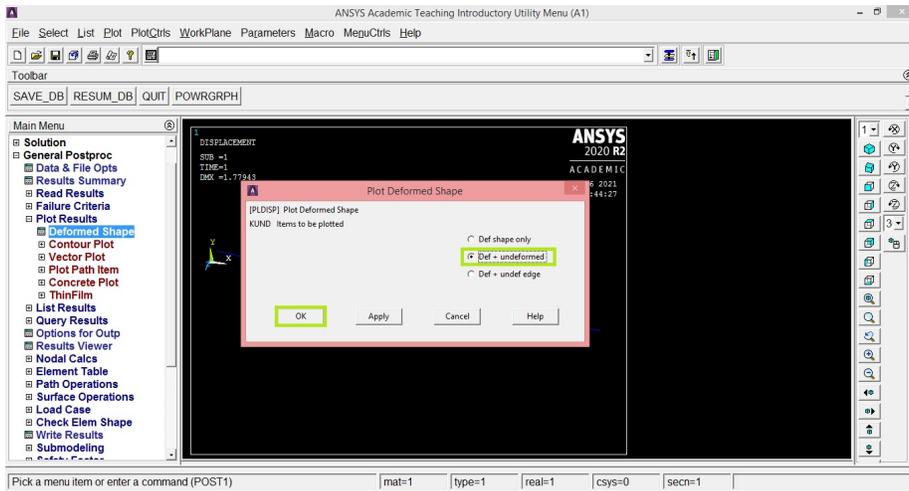


Figure 358: Elaboración propia

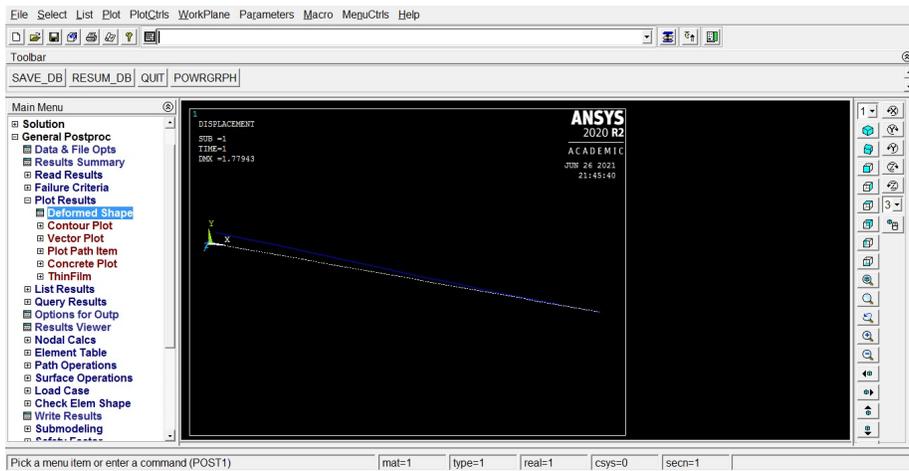


Figure 359: Elaboración propia

Para ver una simulación de la deformación primero escriba el comando /es-
hape, 1 de este modo tendrá una mejor vista del elemento.

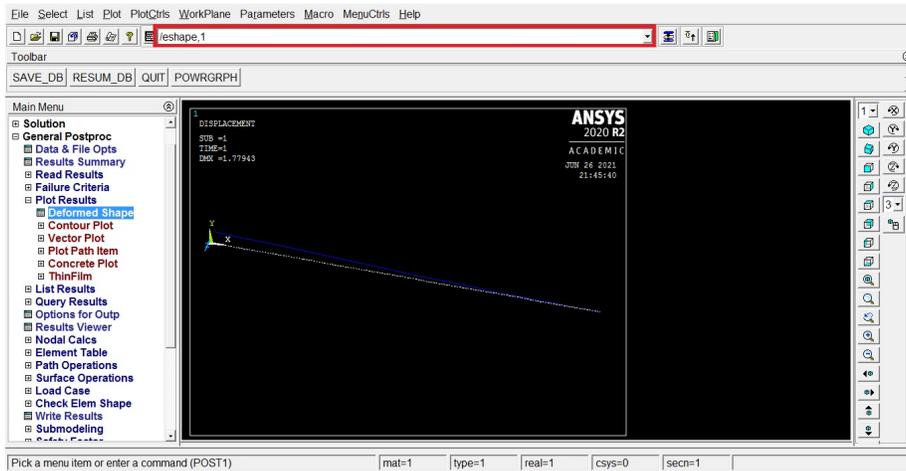


Figure 360: Elaboración propia

Luego en la barra superior seleccione **Plot, Elements**

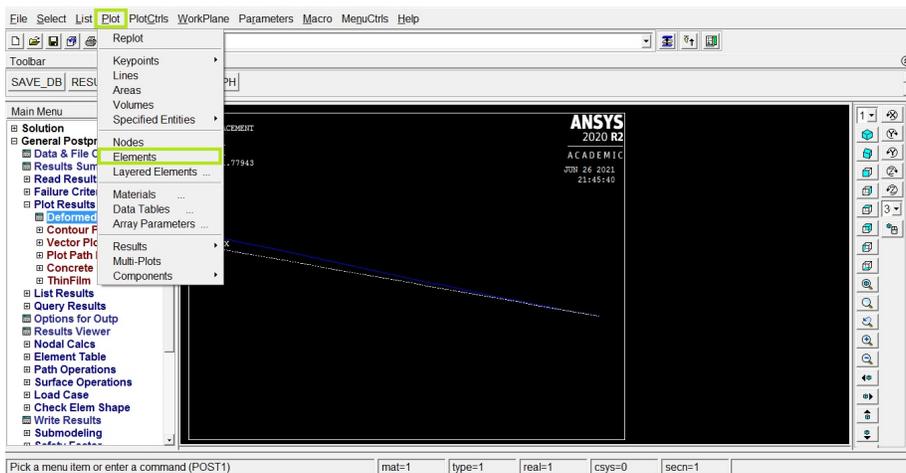


Figure 361: Elaboración propia

Para ver la animación de click en **PlotCtrls , Animate, Deformed Results**

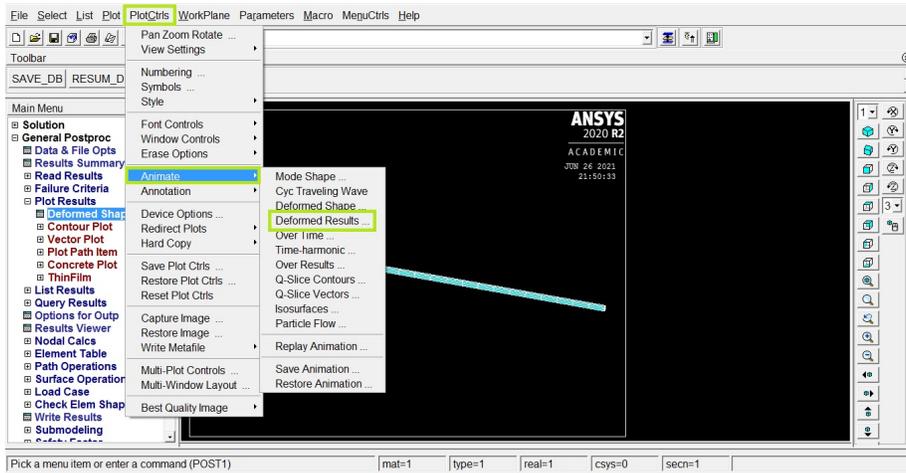


Figure 362: Elaboración propia

Seleccione USUM y OK

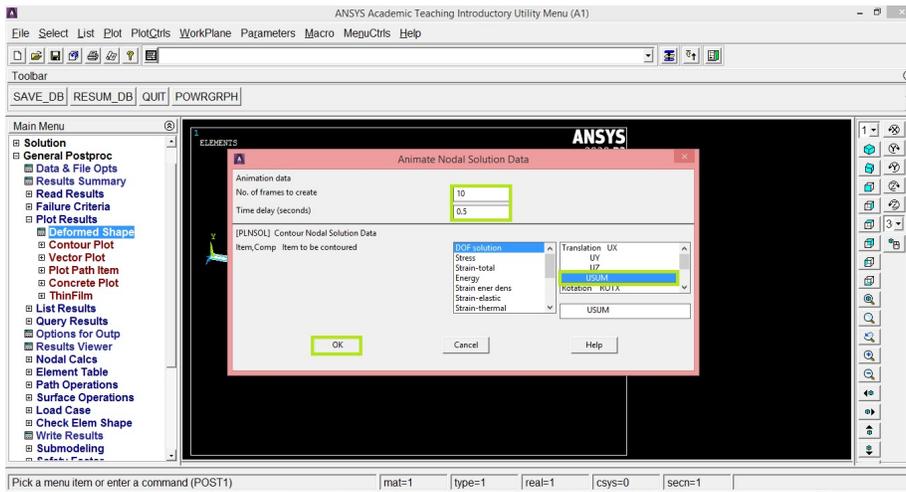


Figure 363: Elaboración propia

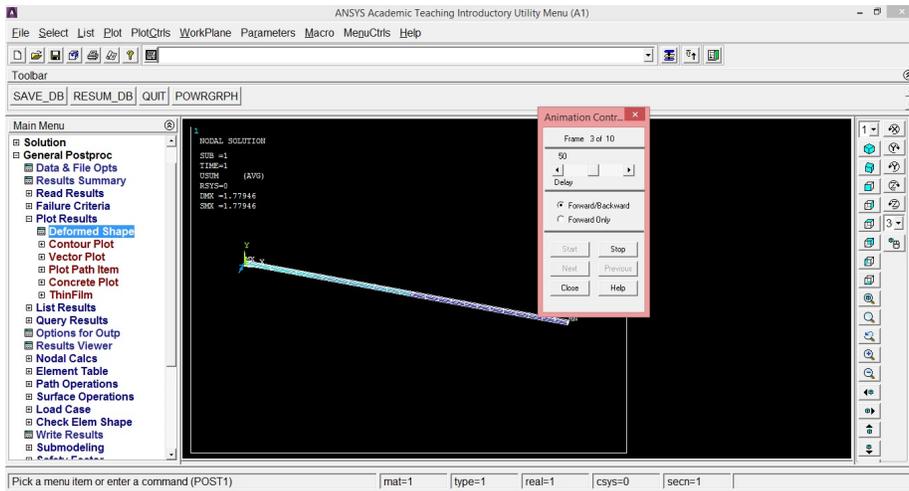


Figure 364: Elaboración propia

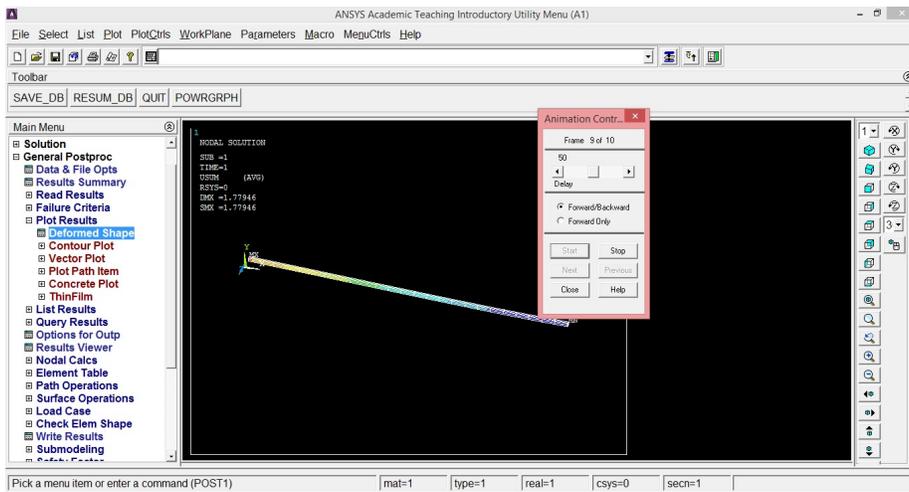


Figure 365: Elaboración propia

8 Conclusiones

- Es posible resolver ejercicios de los libros Mecanica de materiales de Beer y Resistencia de materiales de Singer por medio del uso de software, obteniendo resultados similares a los obtenidos mediante la aplicación de metodos analiticos.
- Se puede generar un material de guia para el uso de Ansys en la solución de ejercicios modelo de resistencia de materiales.

9 Bibliografía

Beer,F.,Johnsont,R.,DeWolf,J.,Mazurek,David.(2010),Mecanica de Materiales, quinta edición,Mc graw hill.

Figura 1 : Beer,F.,Johnsont,R.,DeWolf,J.,Mazurek,David.(2010),Mecanica de Materiales, quinta edición,Mc graw hill., pag.80

Figura 63 :Beer,F.,Johnsont,R.,DeWolf,J.,Mazurek,David.(2010),Mecanica de Materiales, quinta edición,Mc graw hill., pag. 67

Figura 110 : Beer,F.,Johnsont,R.,DeWolf,J.,Mazurek,David.(2010),Mecanica de Materiales, quinta edición,Mc graw hill., pag. 159

Figura 153:Beer,F.,Johnsont,R.,DeWolf,J.,Mazurek,David.(2010),Mecanica de Materiales, quinta edición,Mc graw hill., pag.162

Figura 194 :Beer,F.,Johnsont,R.,DeWolf,J.,Mazurek,David.(2010),Mecanica de Materiales, quinta edición,Mc graw hill., pag 317

Figura 255: Resistencia de Materiales,Pytel, Singer.(2005)cuarta edicion,Alfaomega, Oxford, pag.99

Figura 304 : Resistencia de Materiales ,Pytel, Singer.(2005)cuarta edicion, ALfaomega, Oxford,pag. 98