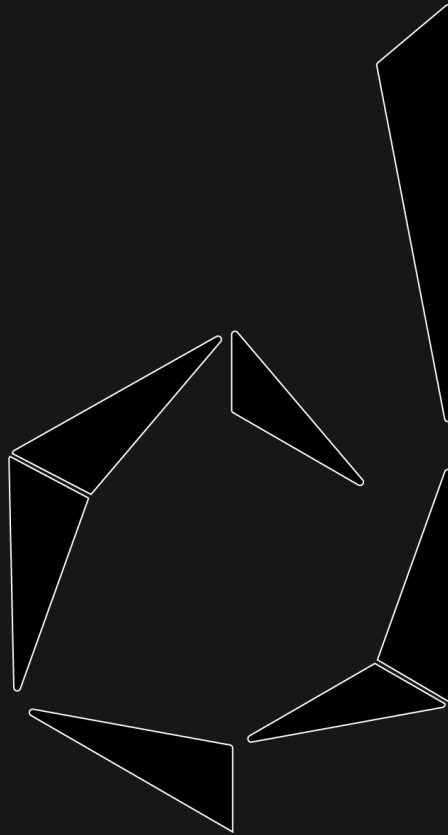


# INGENIERÍA MECATRÓNICA



DI\_CERO

DIEGO CERVANTES RODRÍGUEZ

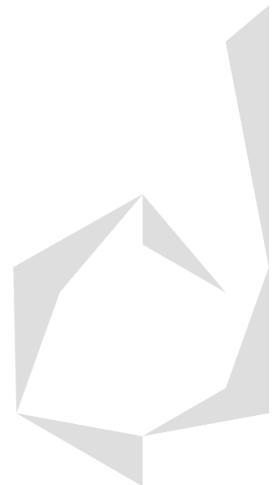
INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADORA

COMSOL MULTIPHYSICS 5.6 Y MATLAB R2021A

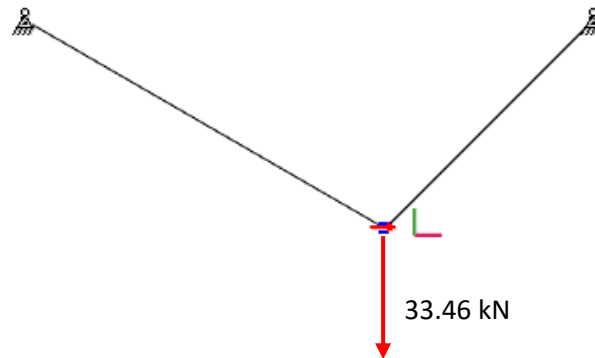
## 1: Análisis de Fuerzas de Reacción y Esfuerzos en Estructuras 2D

## Contenido

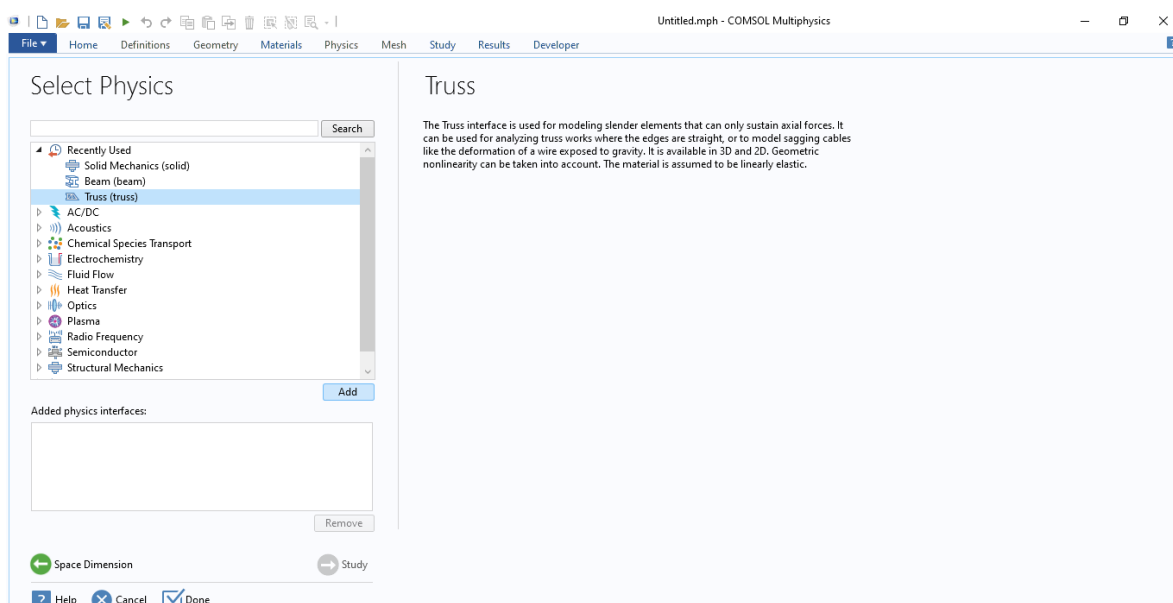
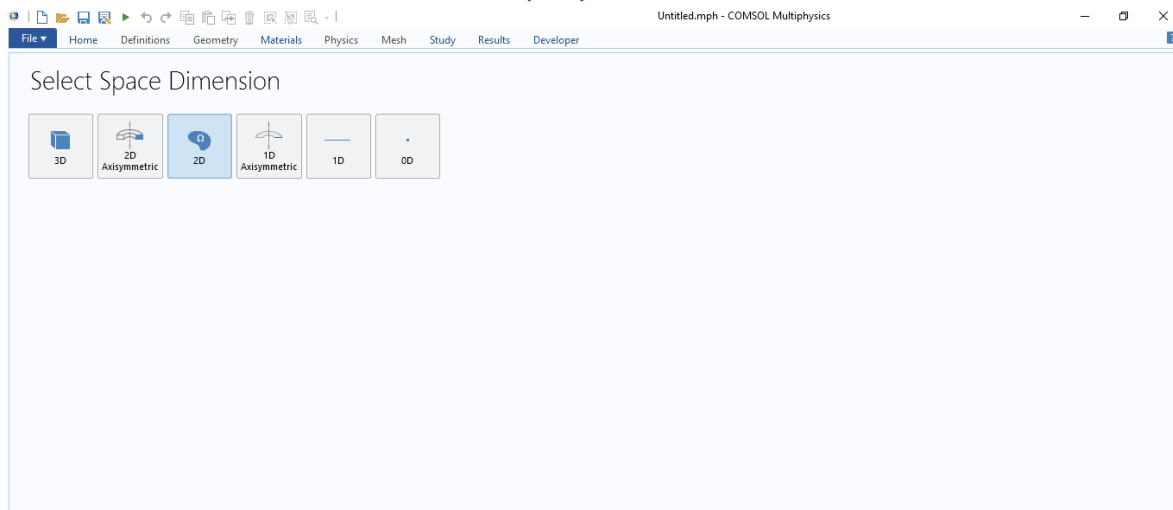
Diagrama de Cuerpo Libre: .....	2
Modelado en COMSOL Multiphysics: .....	2
Código MATLAB: .....	19
Funciones de Apoyo:.....	19
Programa Principal:.....	20

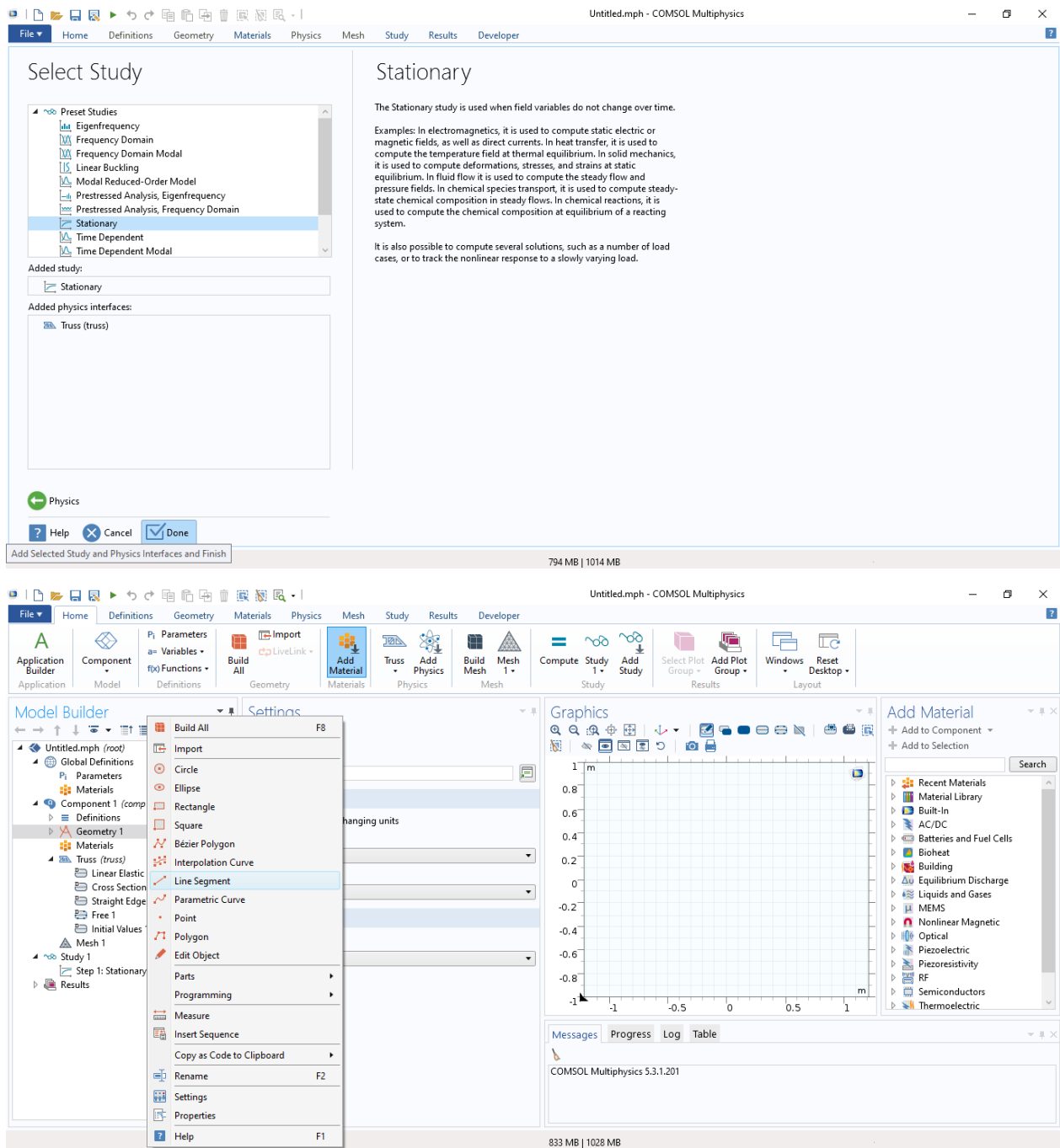


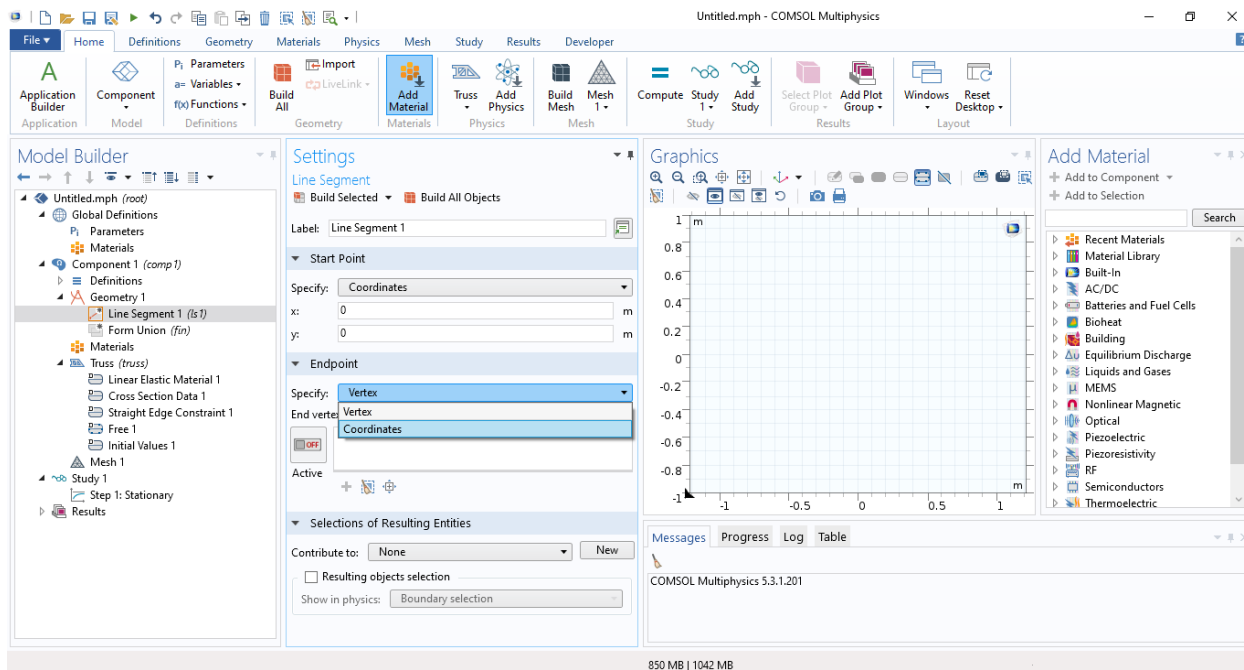
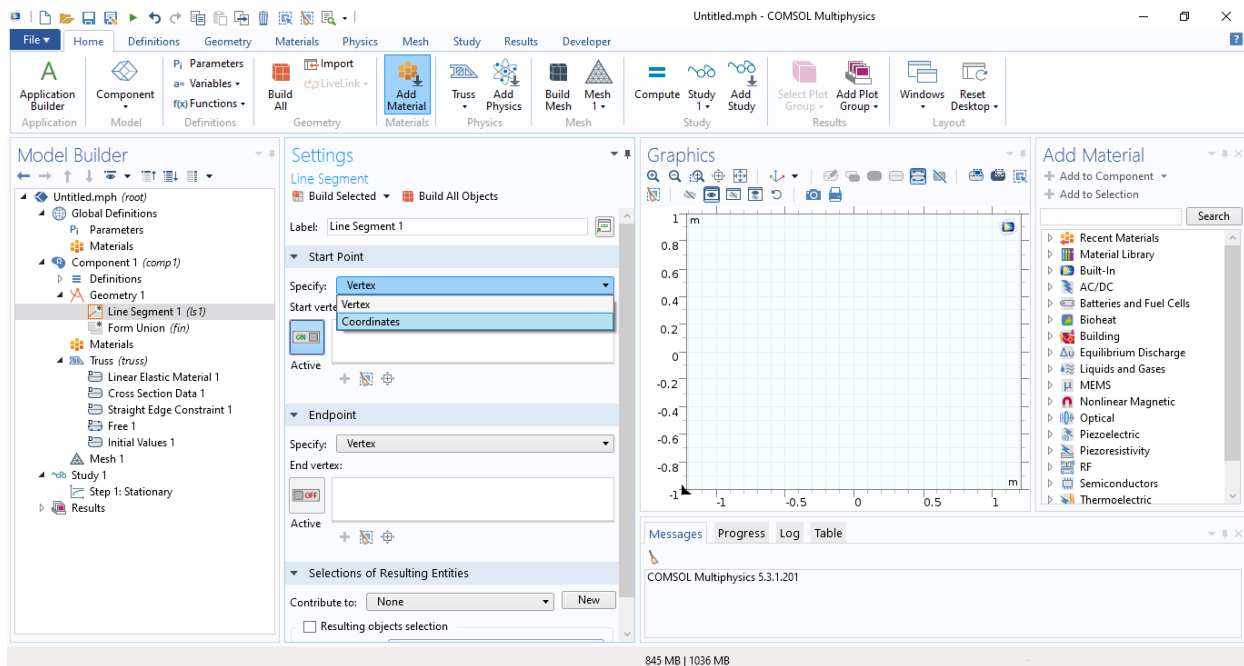
## Diagrama de Cuerpo Libre:

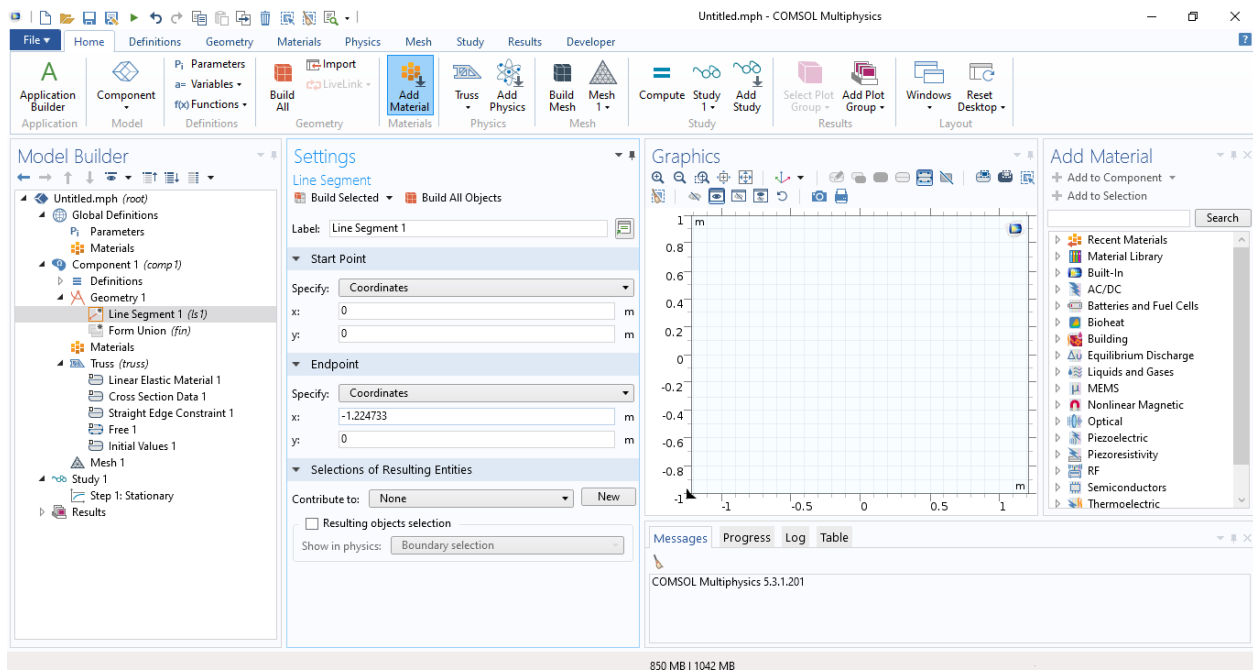


## Modelado en COMSOL Multiphysics:

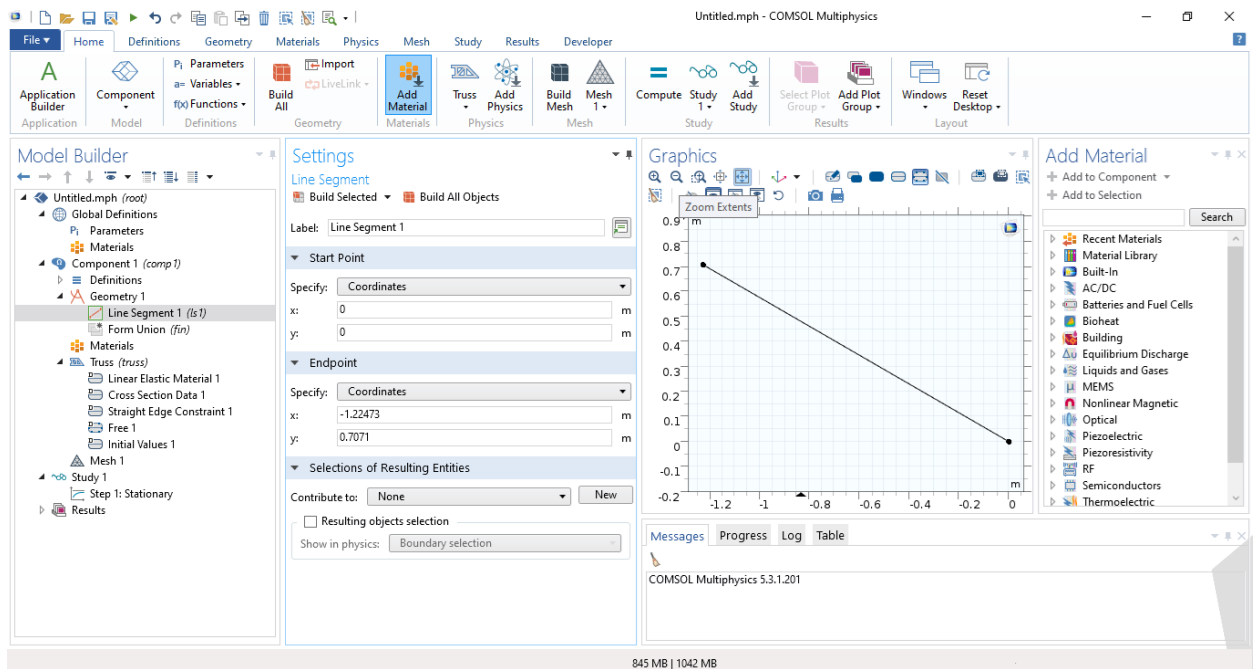


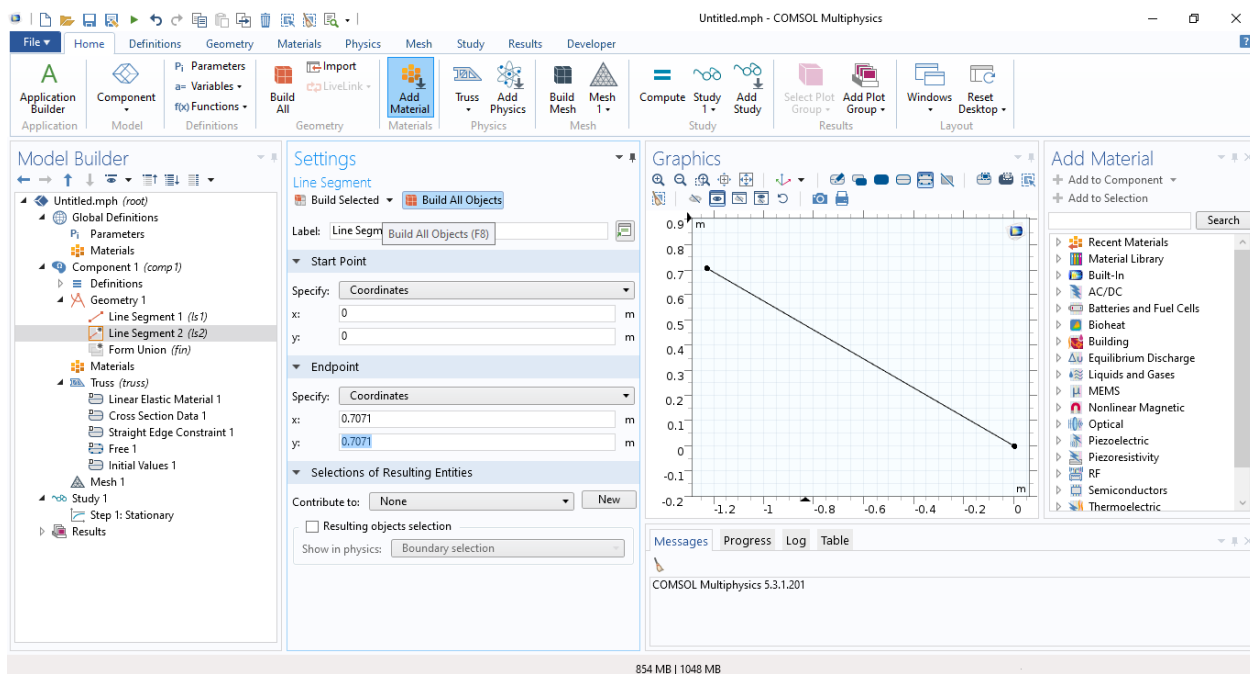
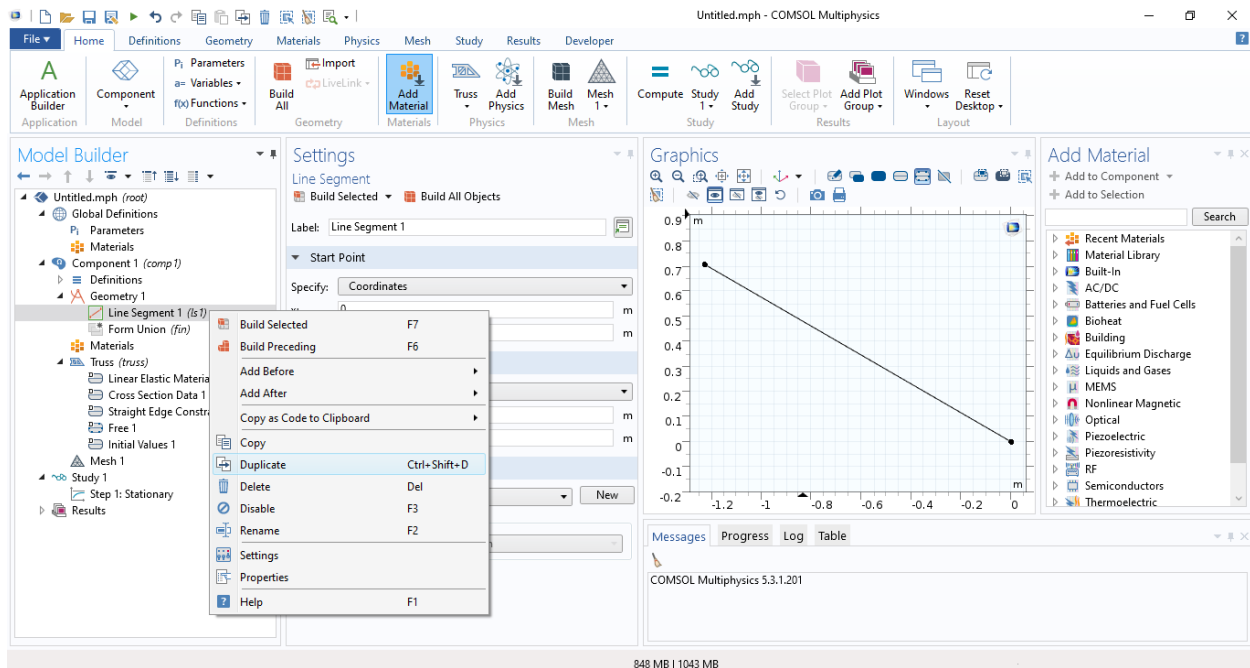


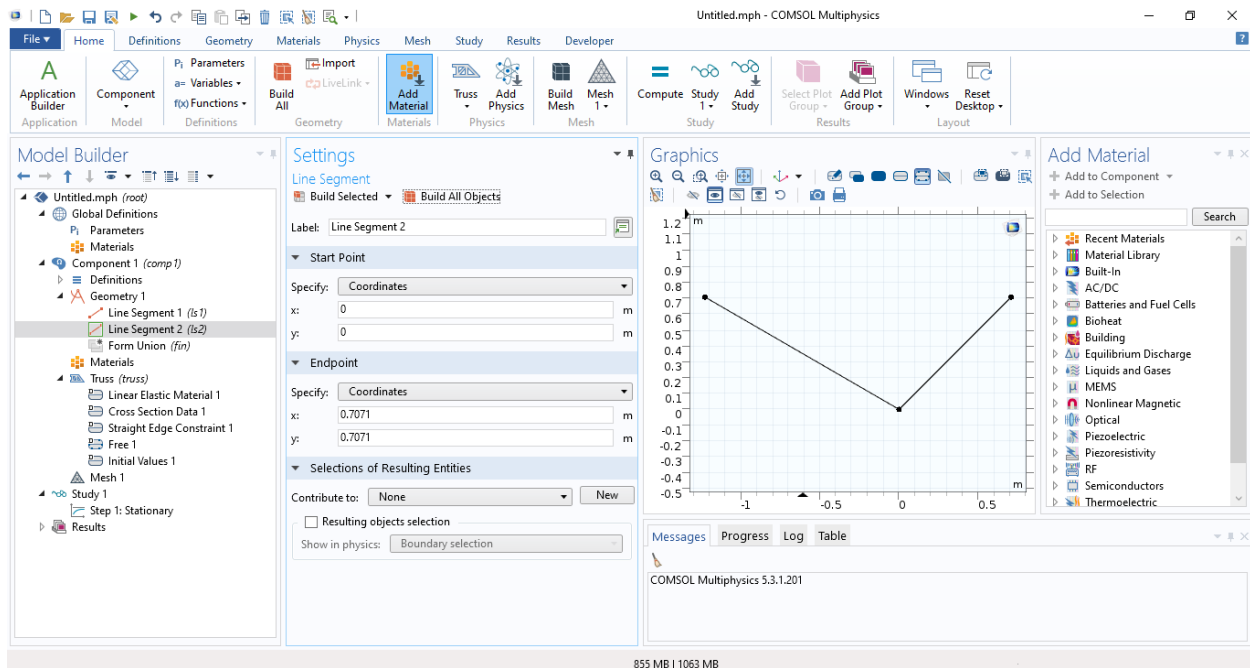




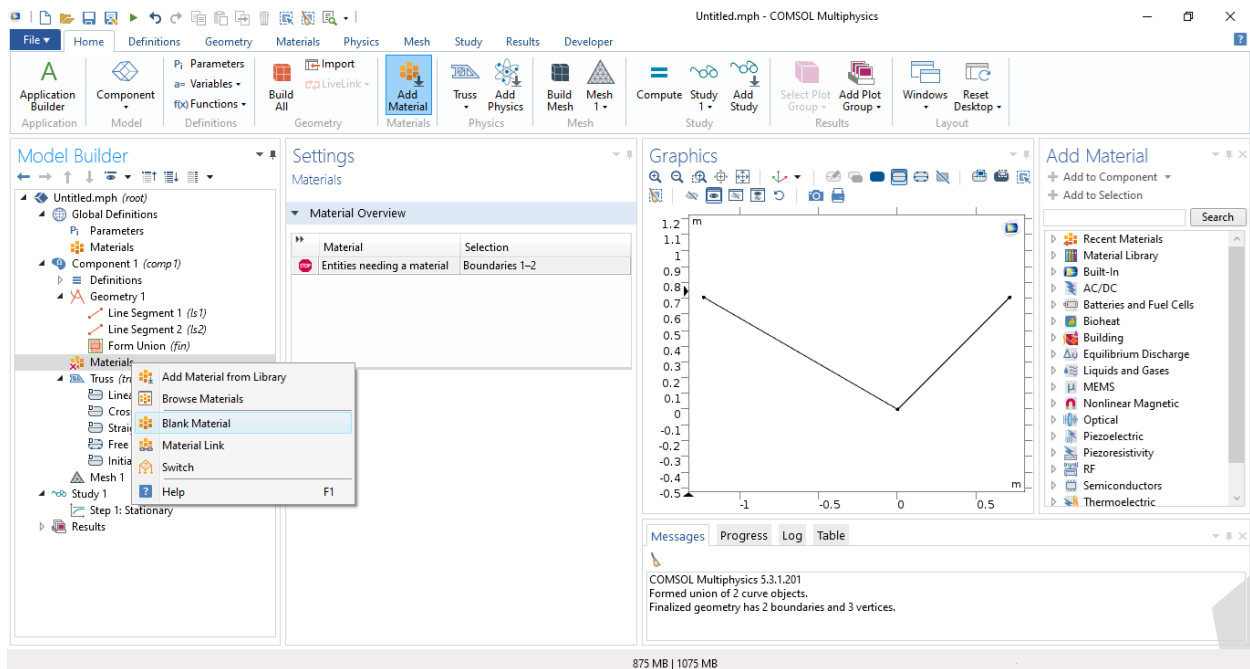
Para introducir la recta del problema lo puedo hacer por medio de coordenadas xy por fuera sabiendo su punto inicial y final o el programa podría calcular el largo de la recta, pero tendría que meter su ángulo de inclinación en radianes.



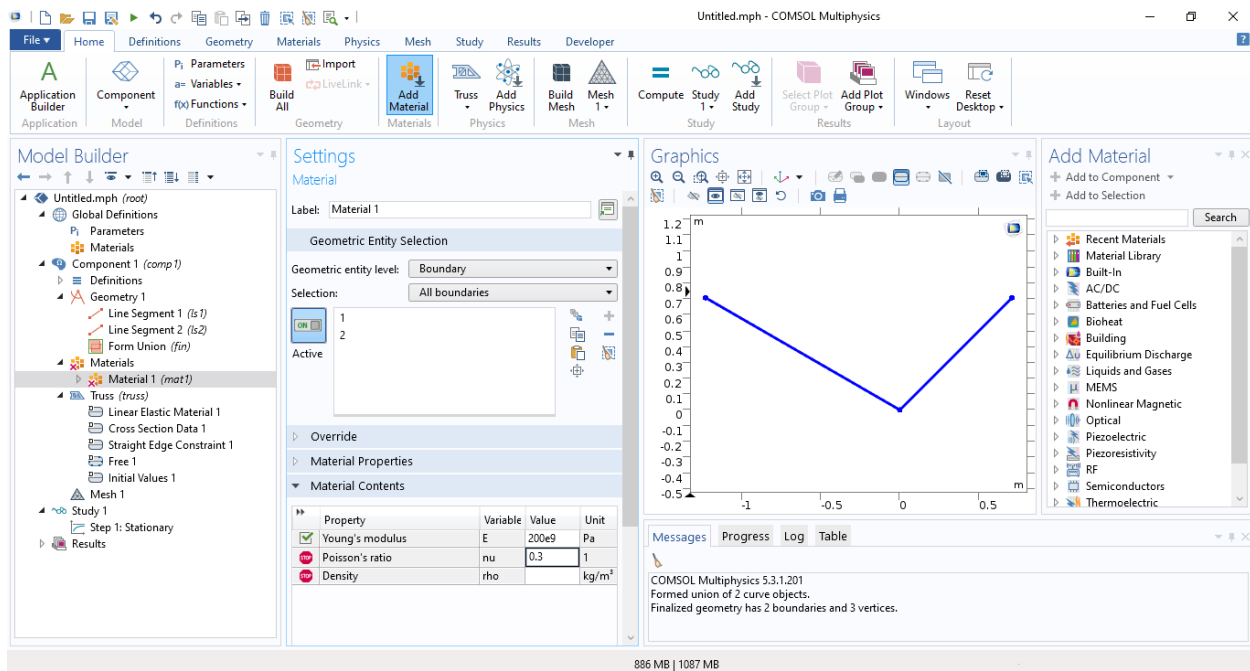
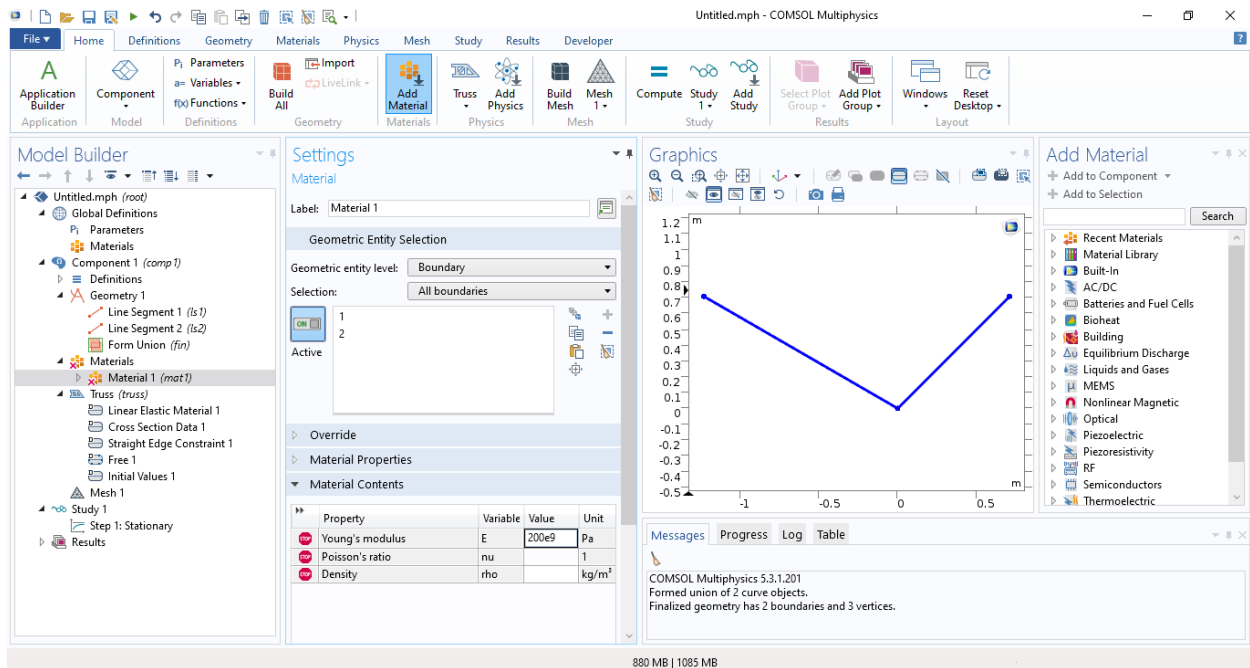


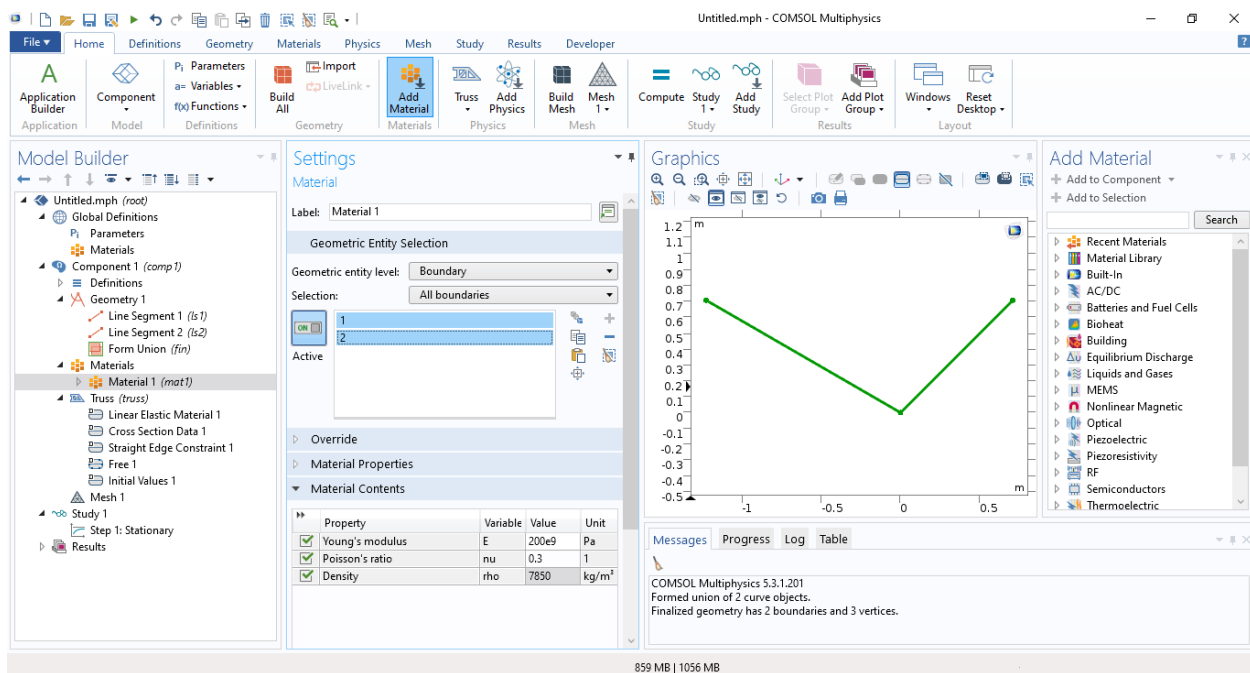
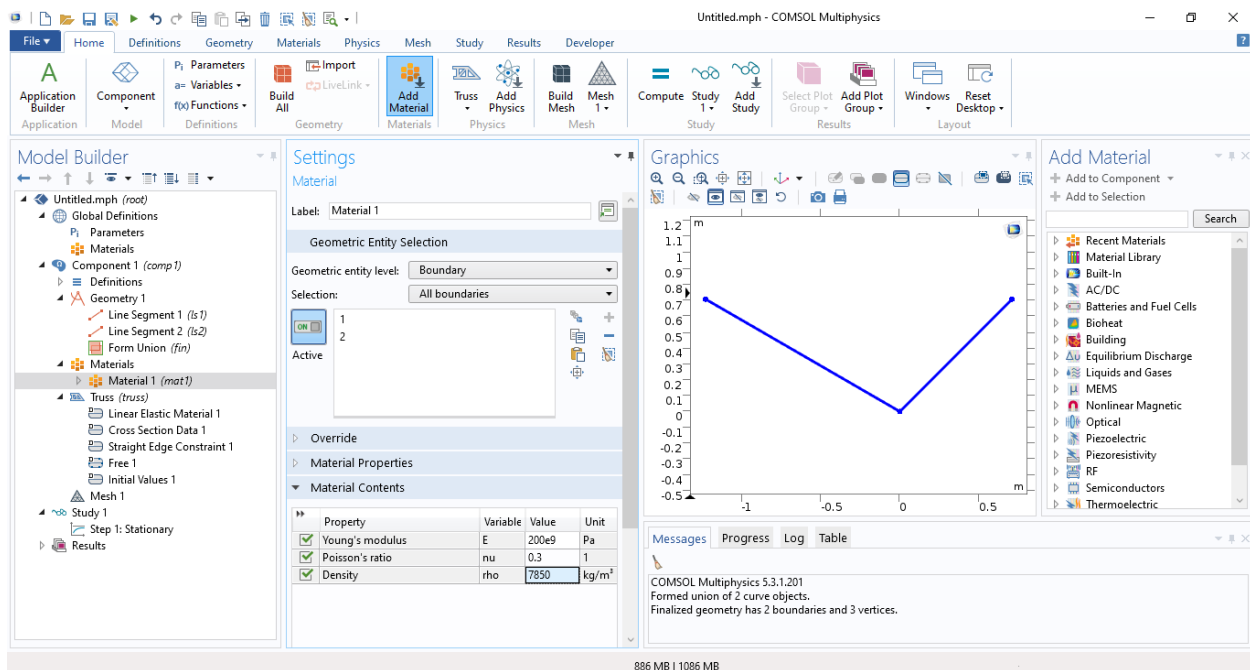


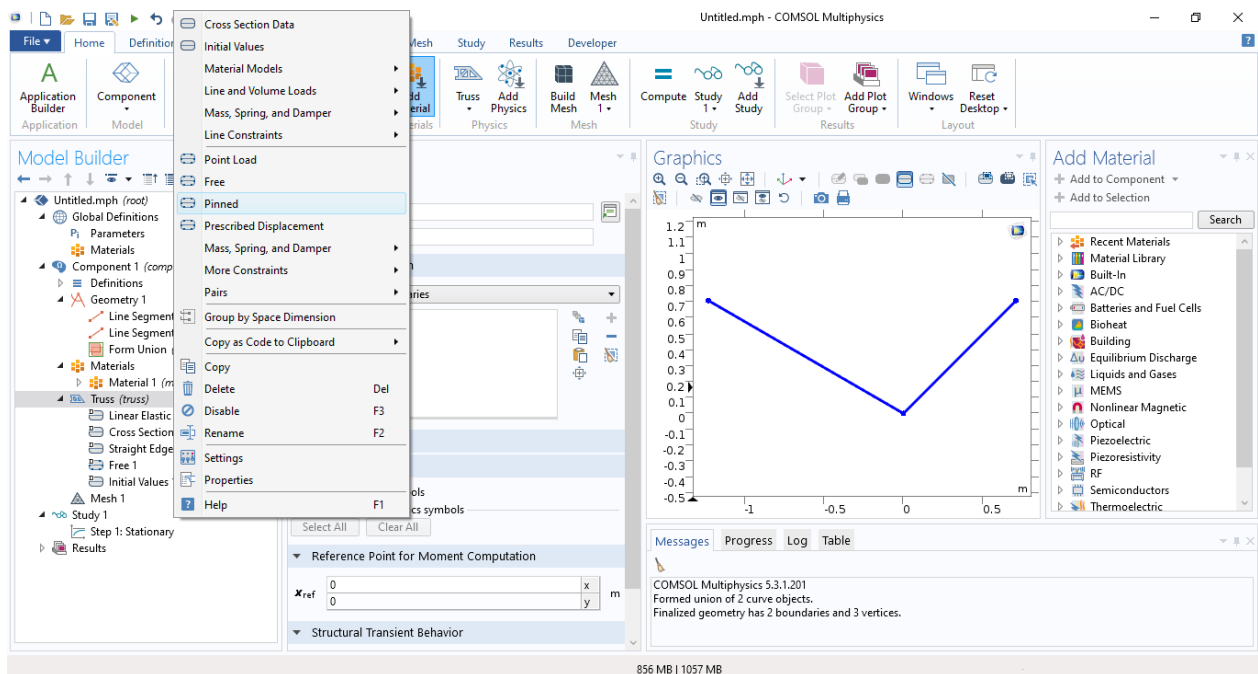
Se introduce un material en blanco, del cual se debe conocer su módulo de elasticidad, coeficiente de poisson y densidad.



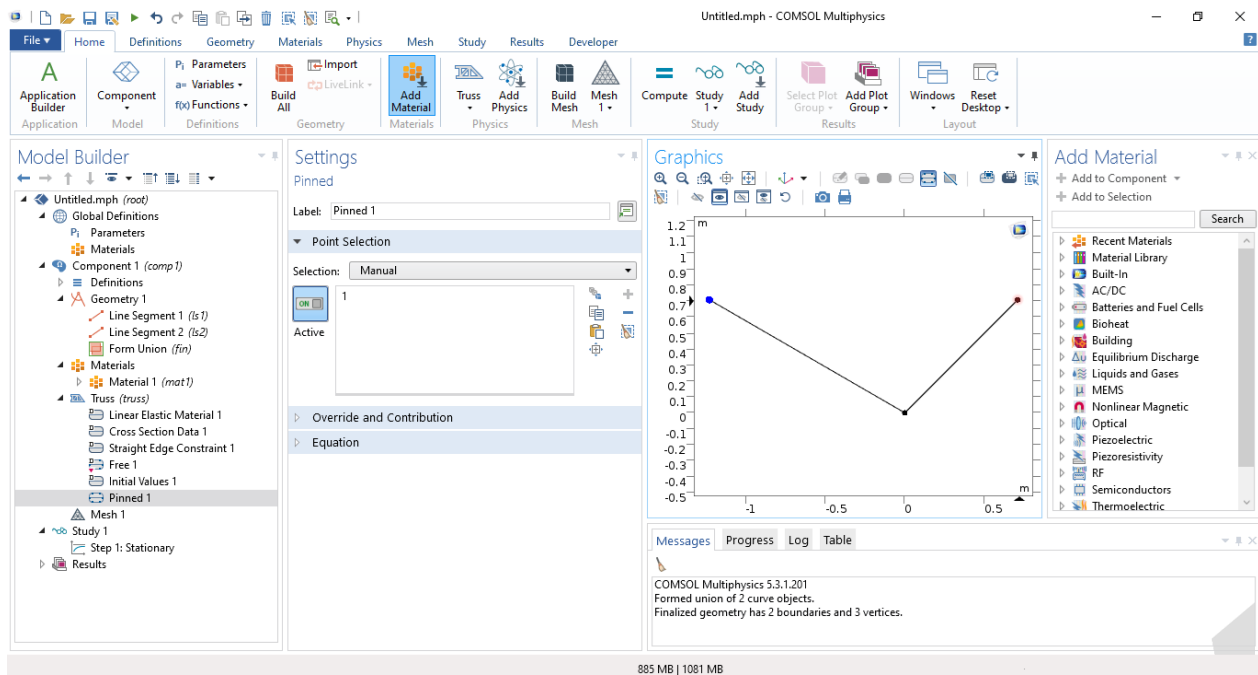


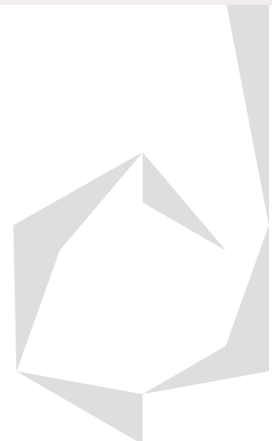
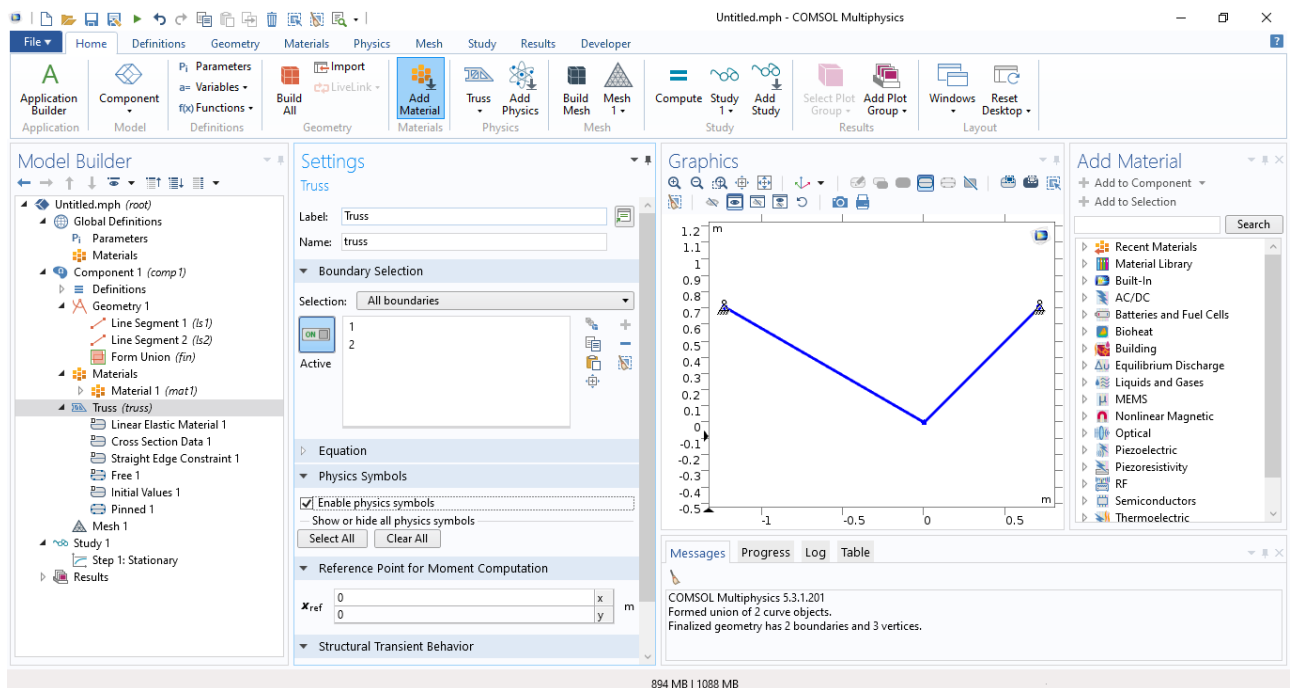
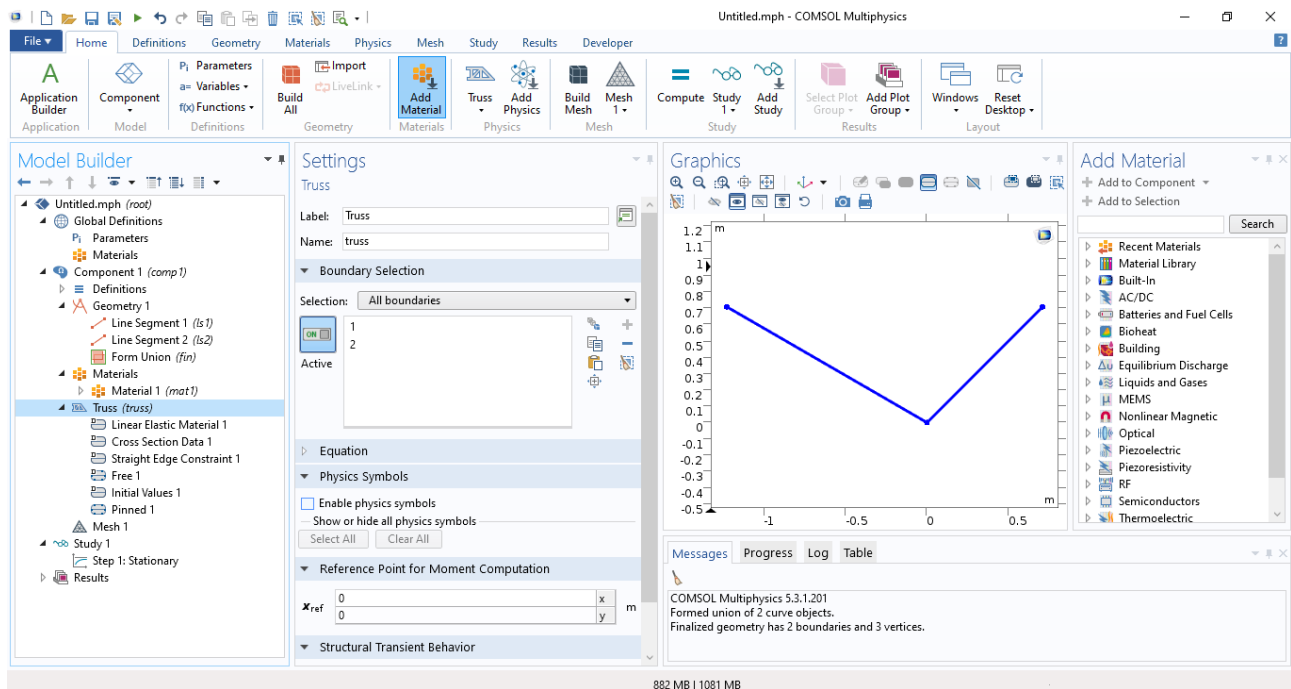


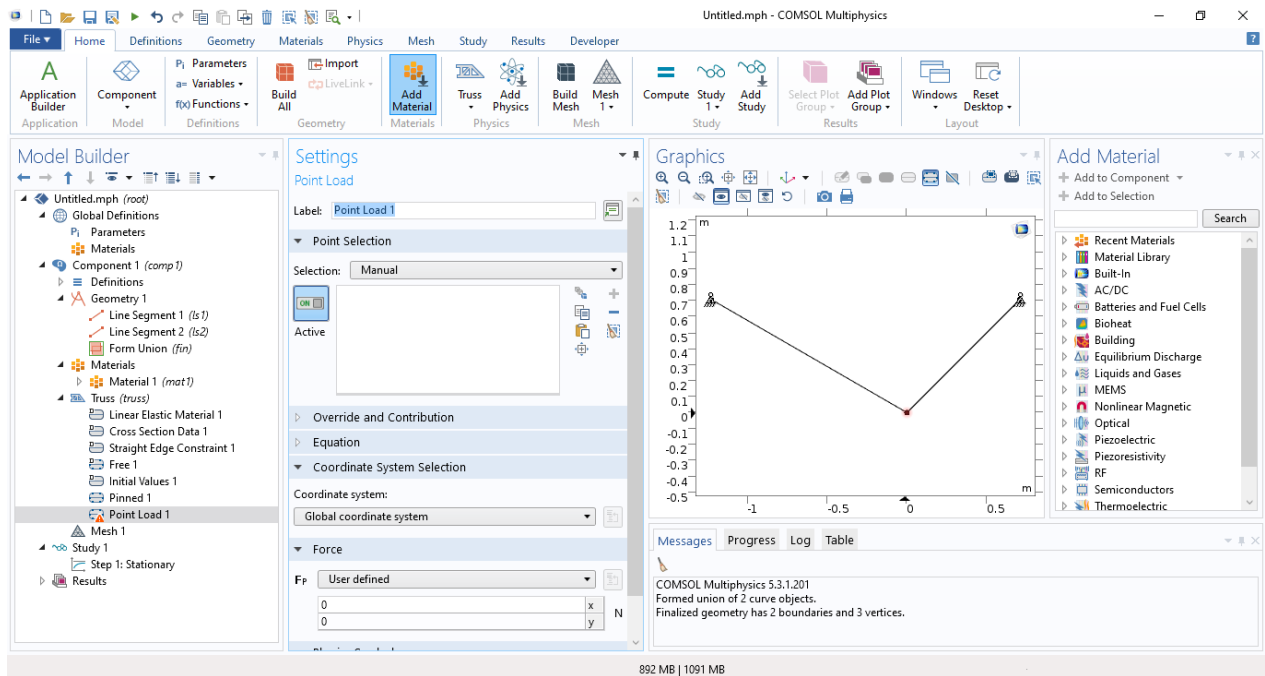




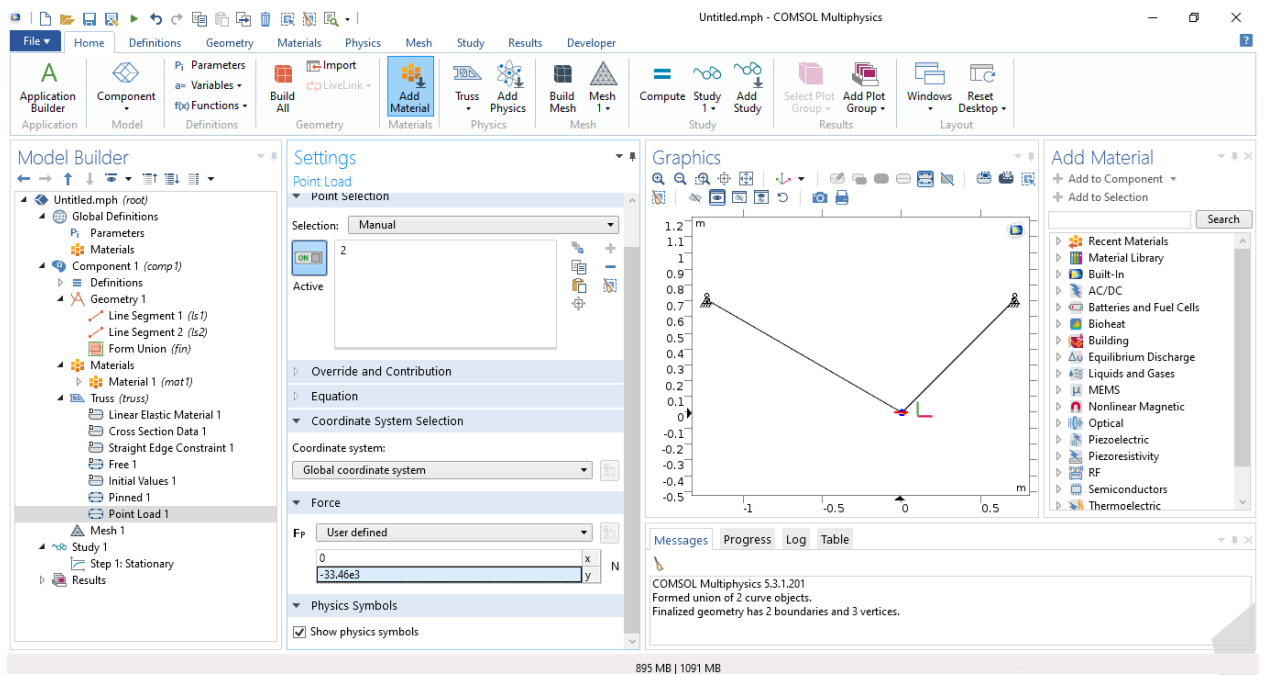
Ahora se agregan los soportes con la opción de Pinned.

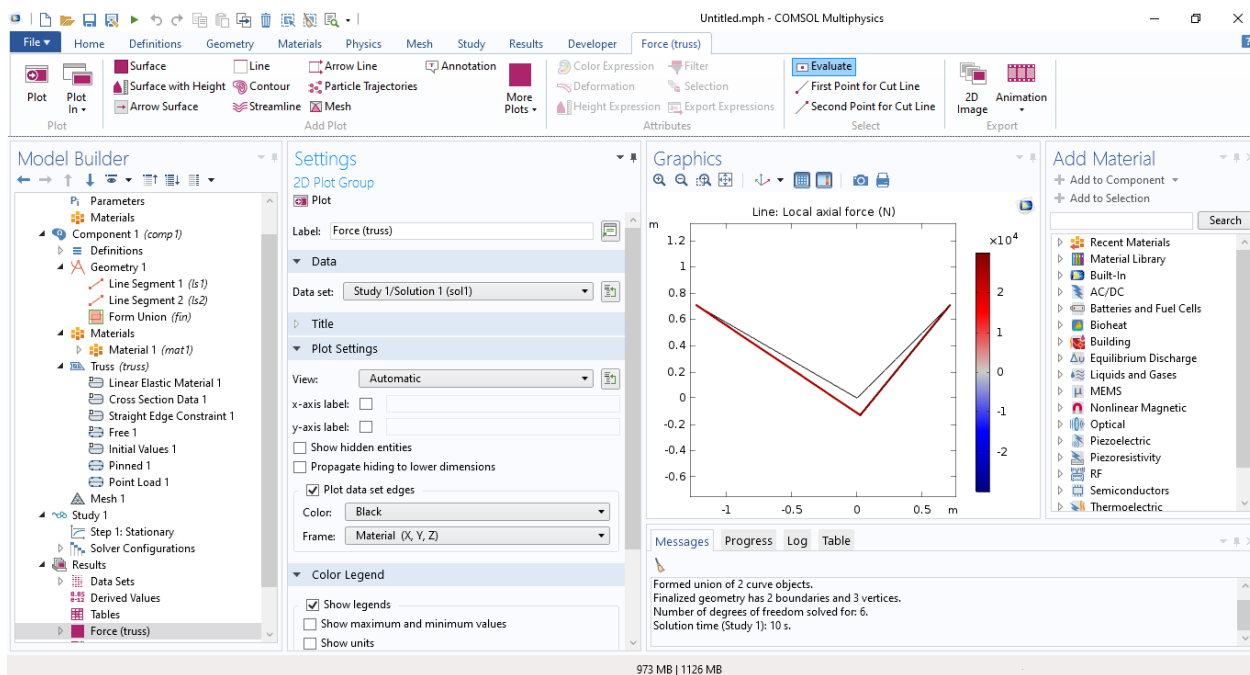
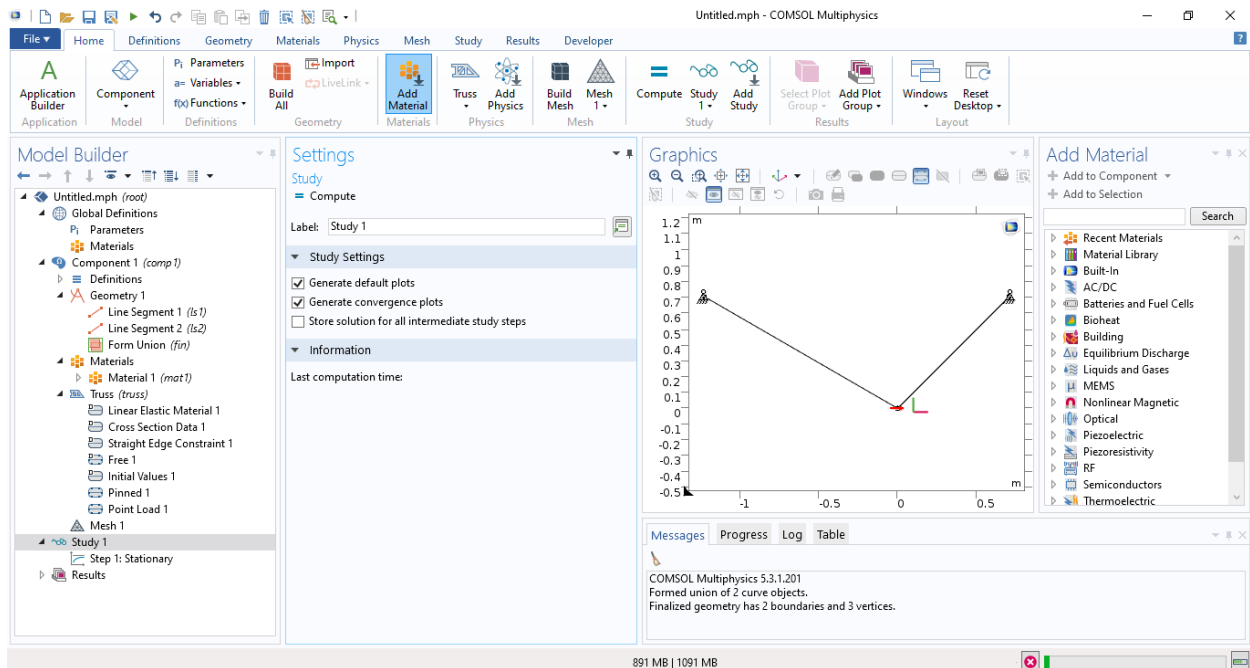




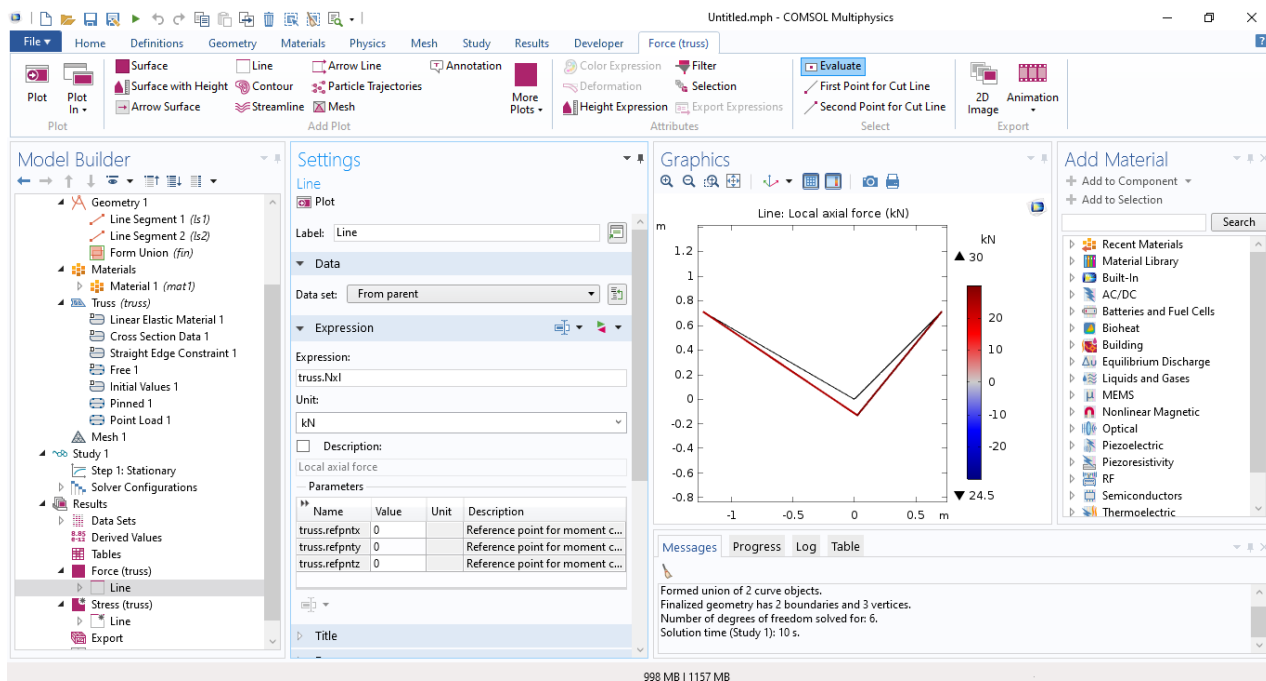


Y la carga externa con la opción de Point Load.

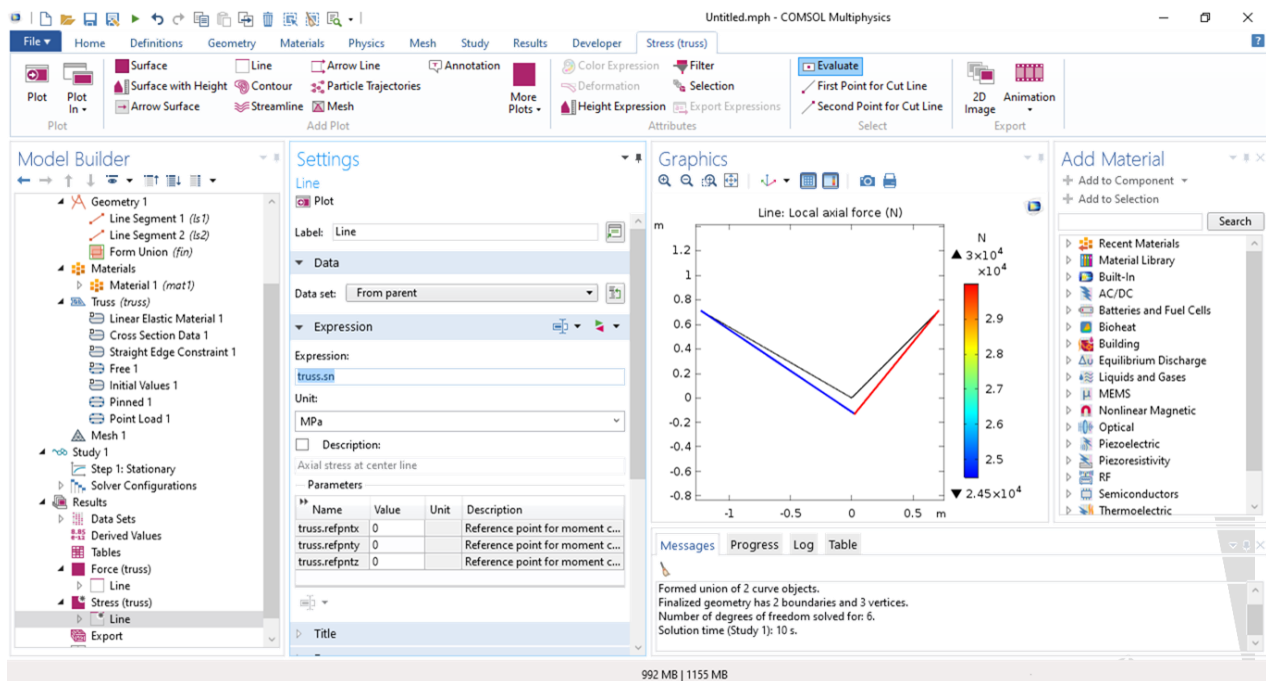




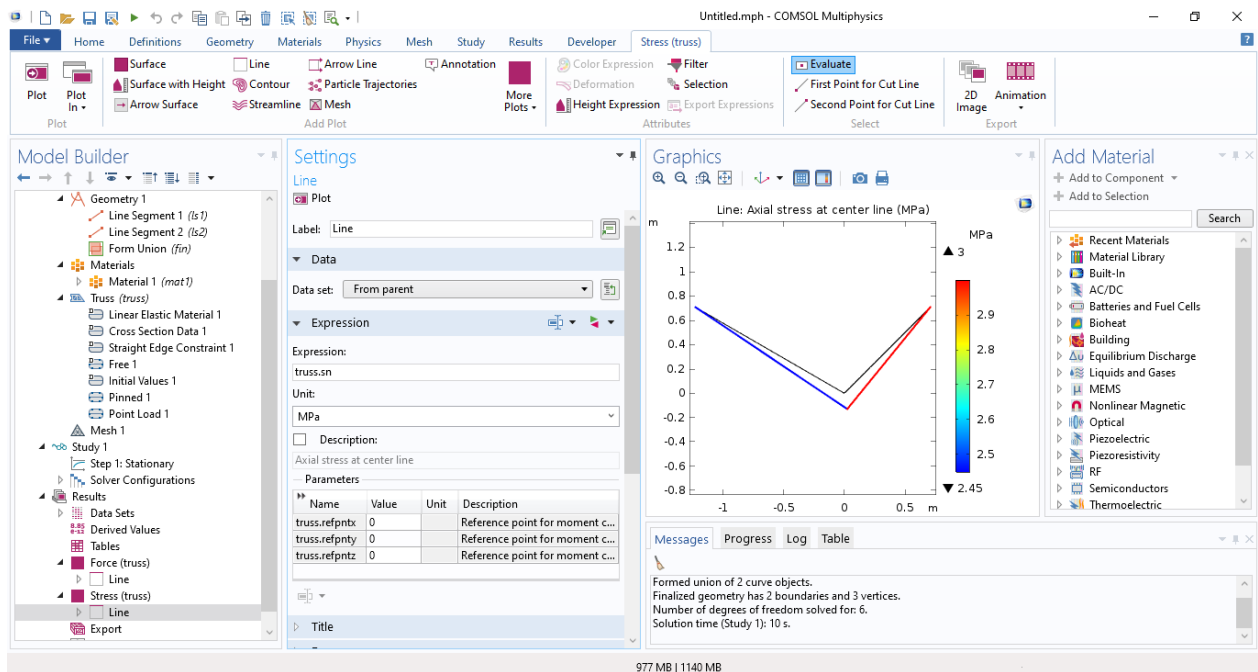
Con el siguiente comando se calculan las fuerzas axiales de reacción sentidas por los elementos del análisis mecánico: **truss.Nxl**



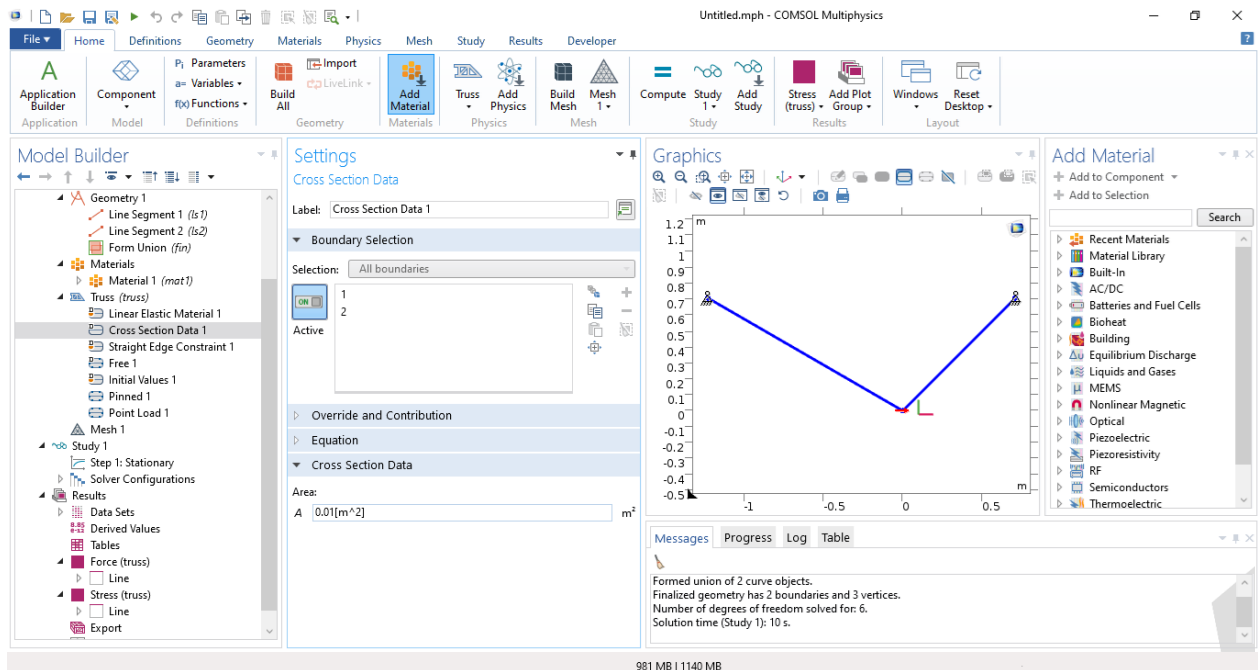
Mientras que con el siguiente comando se calculan los esfuerzos axiales sentidos por los elementos del análisis mecánico: **truss.sn**



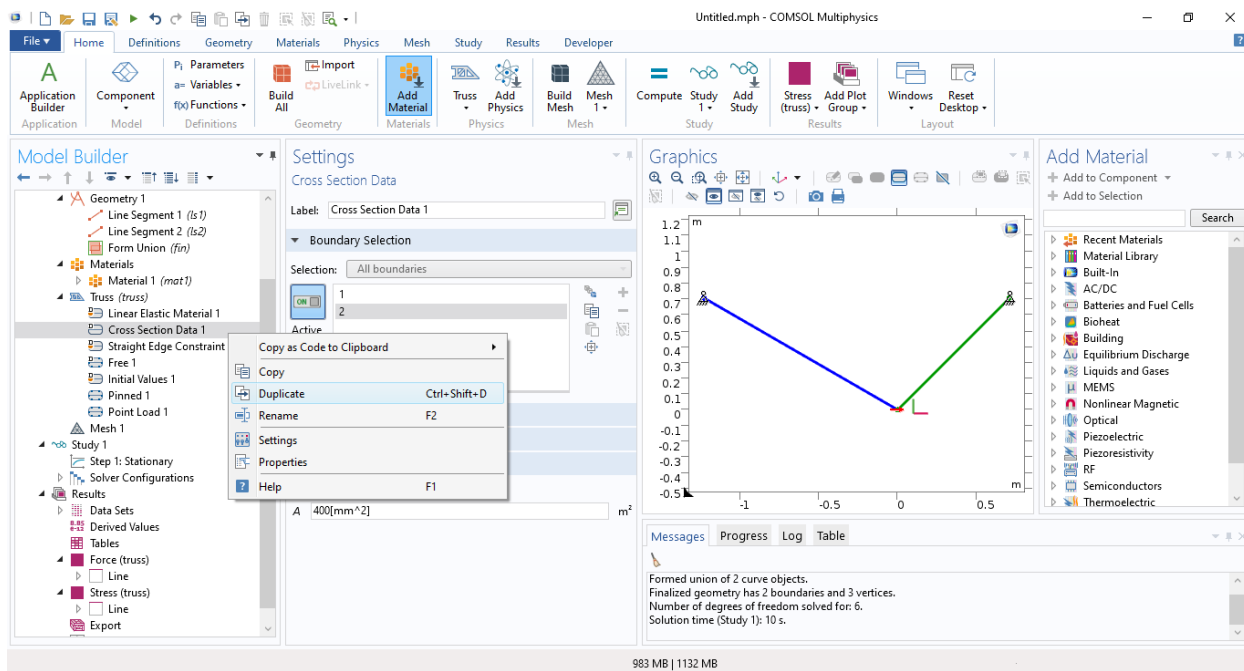
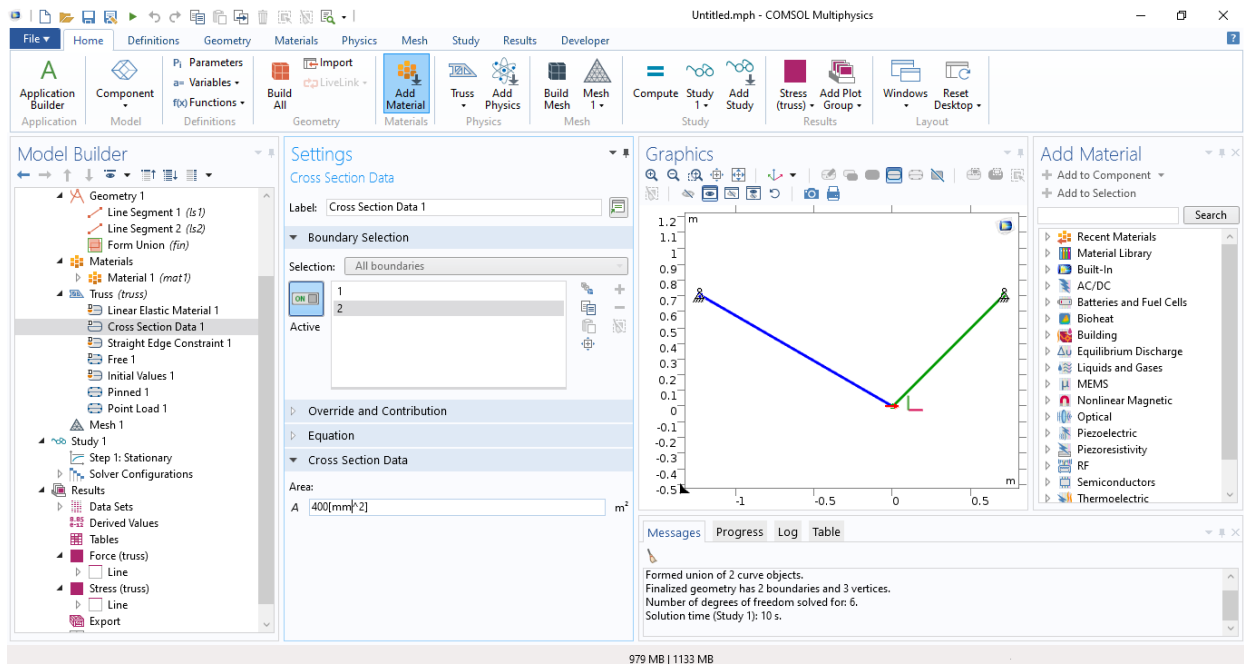


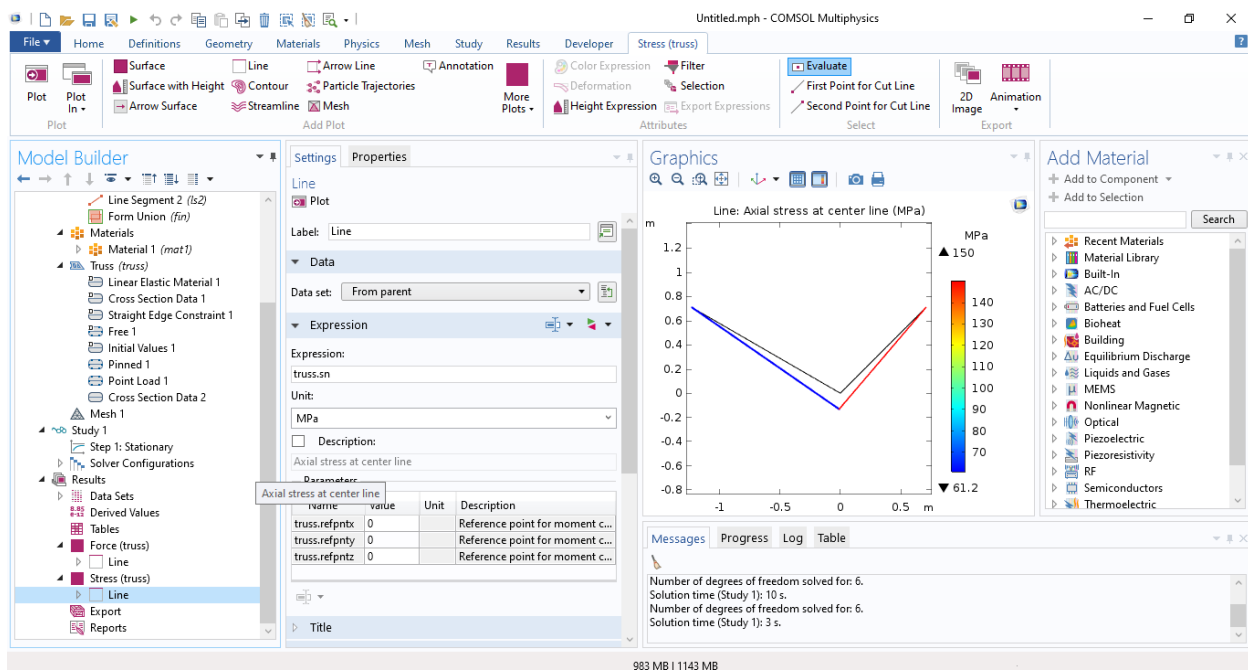
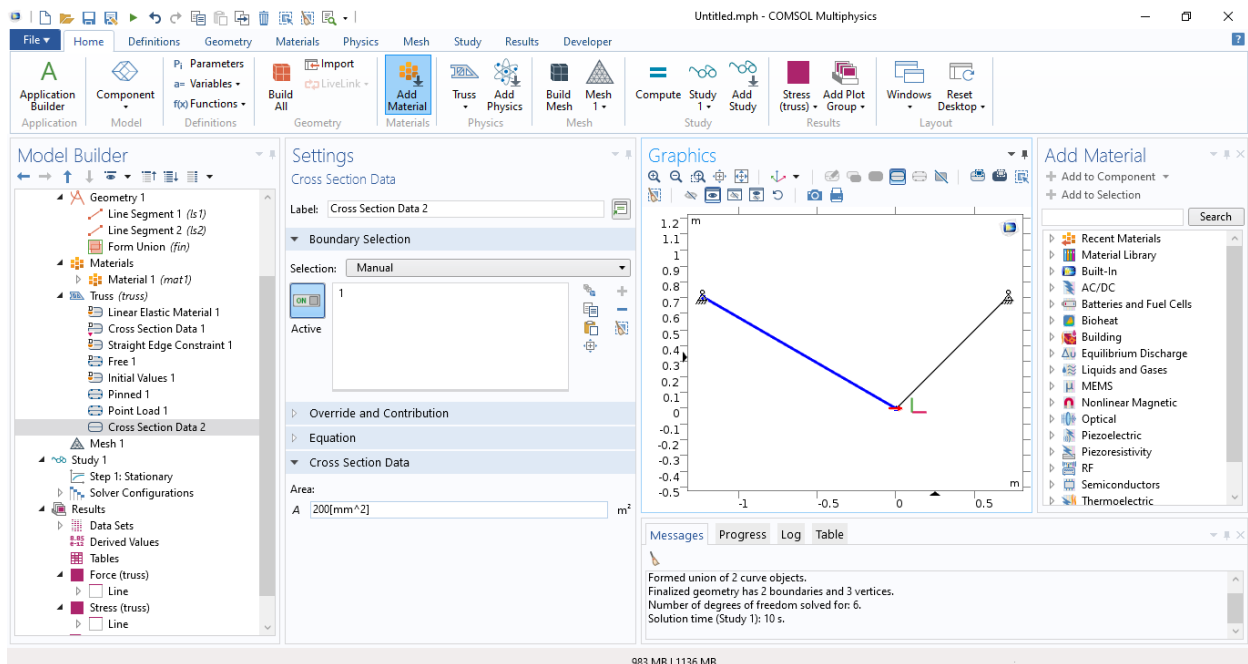


Pero para poder calcular bien el esfuerzo se debe saber cuál es el área de sección transversal de los brazos de la estructura, especificando su unidad de medida entre corchetes [].

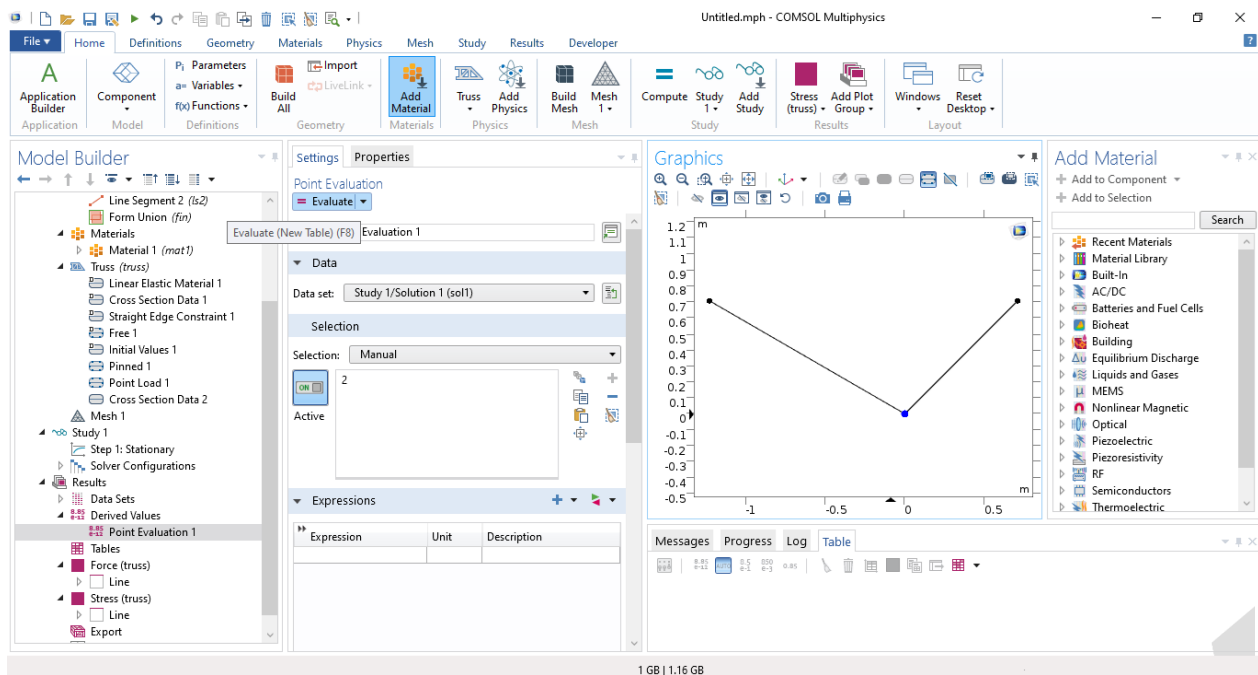
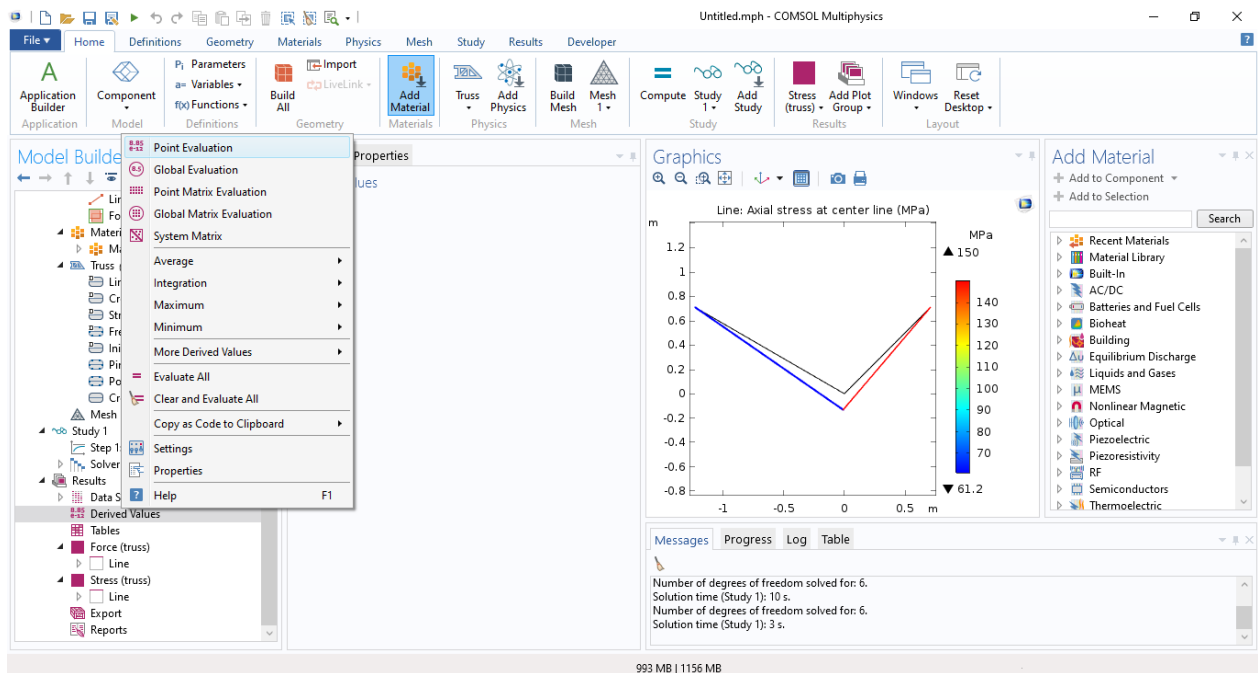


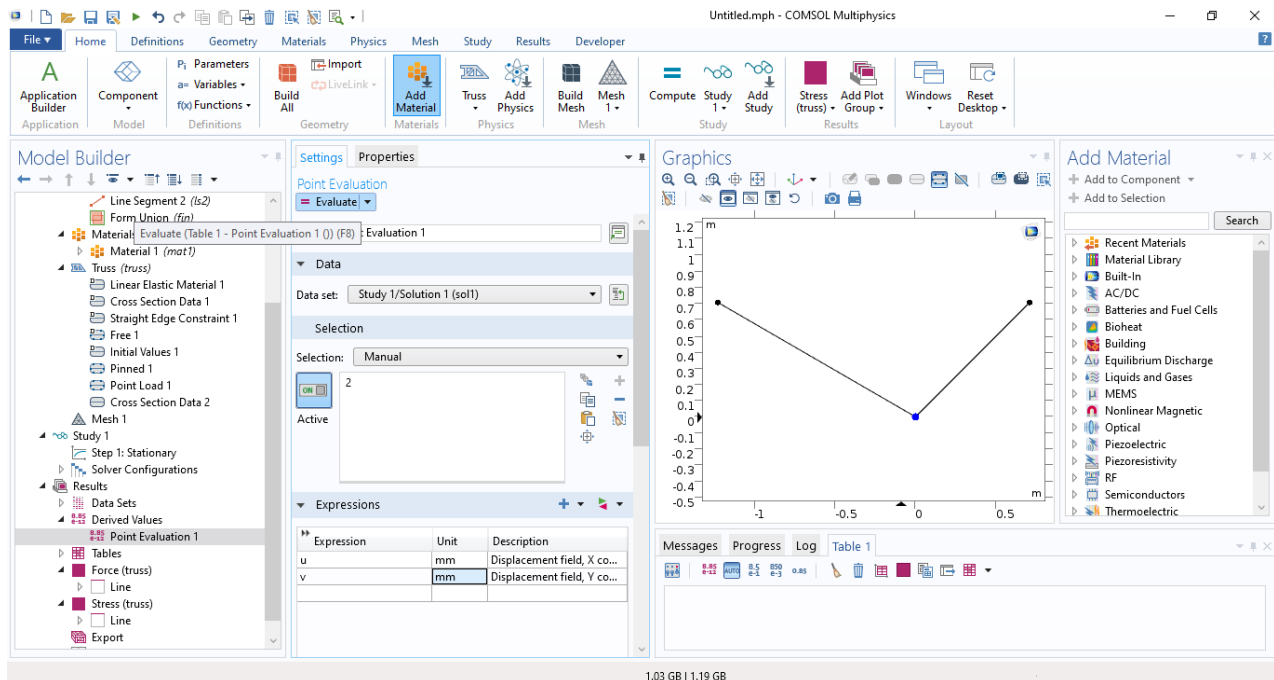






Con la opción de Point Evaluation se puede conocer el desplazamiento de alguno de los nodos del sistema.





## Código MATLAB:

### Funciones de Apoyo:

%MATRIZ DE RIGIDEZ EN ESTRUCTURA 2D

%Esta función devuelve la matriz de rigidez del elemento para un elemento %de armadura 2D con módulo de elasticidad E, área de sección transversal %A, longitud L y ángulo theta (en grados).

%El tamaño de la matriz de rigidez del elemento es 4 x 4, osea que es para %una estructura 2D.

```
function y = a_MatrizRigidezEstructura2D(E, A, L, theta)
x = theta*pi/180;           %Convierte el ángulo de inclinación a radianes
C = cos(x);                 %Componente horizontal del elemento
S = sin(x);                 %Componente vertical del elemento
y = E*A/L*[C*C  C*S  -C*C  -C*S ;
           C*S  S*S  -C*S  -S*S ;
           -C*C  -C*S  C*C  C*S ;
           -C*S  -S*S  C*S  S*S];
```

%ENSAMBLE DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ CON LA MATRIZ GLOBAL K EN ESTRUCTURA 2D

%Esta función ensambla la matriz de rigidez del elemento k del elemento de %la armadura 2D con los nodos i y j en la matriz de rigidez global K. Esta

%función devuelve la matriz de rigidez global K después de ensamblar la %matriz de rigidez del elemento k.

```

function y = b_EnsambleMatrizRigidez_y_MatrizGlobal_K(K,k,i,j)
K(2*i-1,2*i-1) = K(2*i-1,2*i-1) + k(1,1);
K(2*i-1,2*i) = K(2*i-1,2*i) + k(1,2);
K(2*i-1,2*j-1) = K(2*i-1,2*j-1) + k(1,3);
K(2*i-1,2*j) = K(2*i-1,2*j) + k(1,4);
K(2*i,2*i-1) = K(2*i,2*i-1) + k(2,1);
K(2*i,2*i) = K(2*i,2*i) + k(2,2);
K(2*i,2*j-1) = K(2*i,2*j-1) + k(2,3);
K(2*i,2*j) = K(2*i,2*j) + k(2,4);
K(2*j-1,2*i-1) = K(2*j-1,2*i-1) + k(3,1);
K(2*j-1,2*i) = K(2*j-1,2*i) + k(3,2);
K(2*j-1,2*j-1) = K(2*j-1,2*j-1) + k(3,3);
K(2*j-1,2*j) = K(2*j-1,2*j) + k(3,4);
K(2*j,2*i-1) = K(2*j,2*i-1) + k(4,1);
K(2*j,2*i) = K(2*j,2*i) + k(4,2);
K(2*j,2*j-1) = K(2*j,2*j-1) + k(4,3);
K(2*j,2*j) = K(2*j,2*j) + k(4,4);
y = K;

%VECTOR DE ESFUERZOS EN ESTRUCTURA 2D
%Esta función retorna el esfuerzo del elemento, dado su módulo de
%elasticidad, longitud, ángulo de inclinación en grados y el vector de
%desplazamiento de nodos u.
function y = c_VectorEsfuerzosEstructura2D(E, L, theta, u)
x = theta * pi/180;           %Convierte el ángulo de inclinación a radianes
C = cos(x);                   %Componente horizontal del elemento
S = sin(x);                   %Componente vertical del elemento
y = E/L*[-C -S C S]* u;      %Fórmula del esfuerzo retornado

```

### Programa Principal:

```

%ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO: NODOS DE UNA ESTRUCTURA 2D
%Fuerzas de Reacción y Esfuerzos Axiales en Estructuras 2D con MATLAB
E1=200e9;    %Módulo de Elasticidad barra 1
E2=E1;       %Módulo de Elasticidad barra 2

L1=1.4142;%Longitud cable AB
L2=1;%Longitud cable AC

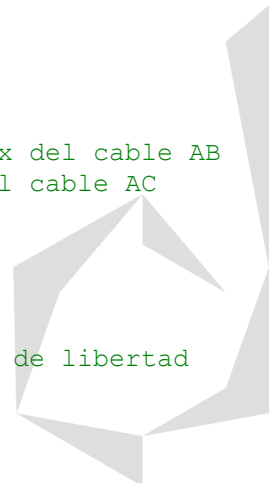
A1=4e-4;%Área secc transversal cable AB
A2=2e-4;%Área secc transversal cable AC

theta1=180-30;%ángulo en grados medido desde el eje positivo x del cable AB
theta2=45;%ángulo en grados medido desde el eje positivo x del cable AC

%Obtención de las matrices de rigidez de la estructura 2D
k1=a_MatrizRigidezEstructura2D(E1,A1,L1,theta1);
k2=a_MatrizRigidezEstructura2D(E2,A2,L2,theta2);

%Cada uno de estos se saca con el #de nodos por el #de grados de libertad

```



```

%de cada uno, tenemos 3 nodos con 2 grados de libertad cada uno
K=zeros(6,6);

%CREAR MIS ELEMENTOS
K=b_EnsambleMatrizRigidez_y_MatrizGlobal_K(K,k1,1,2);
%Esto dice que el elemento 1, osea el cable AB va del nodo 1 al 2
%El nodo A es el nodo 1
%El nodo B es el nodo 2
%El nodo C es el nodo 3

K=b_EnsambleMatrizRigidez_y_MatrizGlobal_K(K,k2,1,3);
%Esto dice que el elemento 2, osea el cable AC va del nodo 1 al 3

%VAMOS A REALIZAR LA OPERACIÓN
%K{Q}={R}, donde Q son los desplazamientos de cada uno de los grados de
%libertad y R son las reacciones en cada nodo
%Q3=0, Q4=0, por eso eliminamos la filas y columnas 3 y 4
%También Q5=0, Q6=0 por eso igual eliminamos la filas y columnas 5 y 6
%Tomamos las filas y columnas que no hayamos eliminado
%Extraeremos el sistema y lo guardaremos en un subsistema llamado k

%Con K(1:2, ...) sacamos de la fila 1 a la 2 de la matriz K
%Con K(..., 1:2) sacamos de las columnas 1 a la 2
k=[K(1:2,1:2)];

%Estos son los valores de las fuerzas externas
f=[0;-33.46e3];

%Con esto se calculan los desplazamientos pero en sus coordenadas xy
q=k\f;

%Esta sería la magnitud del desplazamiento
%Lo multiplico por 1e3 para que el resultado aparezca en mm
desplazamiento=sqrt(q(1)^2+q(2)^2)*1e3;

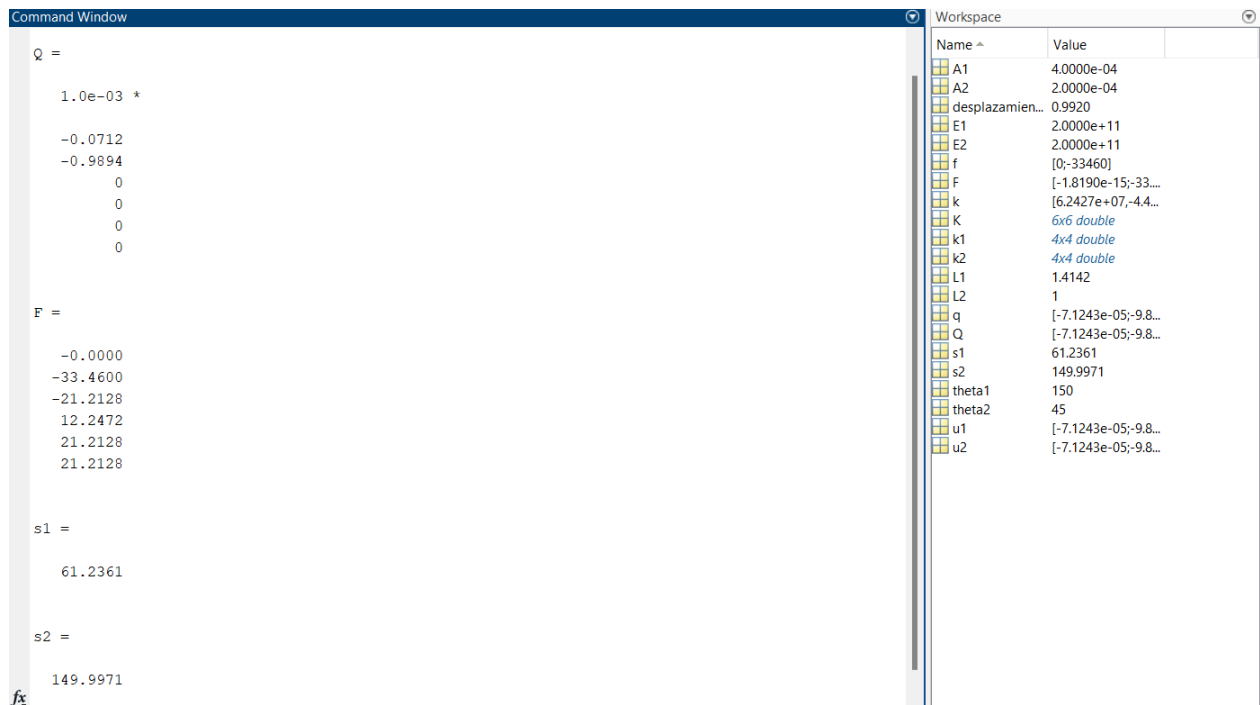
%Cuando se quite el punto y coma al final de la operación, esta aparecerá
%en pantalla cuando se ejecute el programa
%Este es el vector global de desplazamientos
Q=[q(1);q(2);0;0;0;0]

%Con esto se calculan las fuerzas de reacción en los apoyos en kN
F=(K*Q)/1e3

%Ahora retomo los grados de libertad en los nodos de cada elemento para
%calcular el esfuerzo.
%El elemento 1 tiene 2 nodos cada uno con 2 grados de libertad cada uno
u1=[q(1);q(2);0;0];
%Con esto calculamos el esfuerzo del elemento 1, osea el cable AB
%Lo dividimos entre 1e6 para que se vea como MPa el resultado
s1=c_VectorEsfuerzosEstructura2D(E1,L1,theta1,u1)/1e6

%El elemento 1 tiene 2 nodos cada uno con 2 grados de libertad cada uno
u2=[q(1);q(2);0;0];
%Con esto calculamos el esfuerzo del elemento 2, osea el cable AC
%Lo dividimos entre 1e6 para que se vea como MPa el resultado
s2=c_VectorEsfuerzosEstructura2D(E2,L2,theta2,u2)/1e6

```



Los resultados obtenidos con el programa de MATLAB son muy parecidos a los obtenidos con COMSOL, de esa forma se puede comprobar que un cálculo de elemento finito fue realizado de forma correcta, haciendo el mismo análisis en MATLAB, COMSOL y de forma analítica para al final comparar resultados y comprobar su similitud.

