

INGENIERÍA MECATRÓNICA



DI_CERO

DIEGO CERVANTES RODRÍGUEZ

INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADORA

COMSOL MULTIPHYSICS 5.6

3.2: Concentrador de Esfuerzo Placa 2D - Tensión/Compresión

Contenido

OBJETIVOS:.....	2
INTRODUCCIÓN TEÓRICA:.....	2
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:	3
CREACIÓN DE LA PIEZA EN COMSOL:.....	4
ANÁLISIS MECÁNICO EN COMSOL:	10
RESULTADO DEL ELEMENTO FINITO EN COMSOL:	17
CONCLUSIÓN:.....	21
ERROR:	21
BIBLIOGRAFÍA:.....	22
MÉTODO ANALÍTICO:	22



OBJETIVOS:

Se examinará el esfuerzo de una placa sometida a tensión con dos barrenos en dos de sus costados, estos agujeros harán que se cree un concentrador de esfuerzo en la placa.

La placa será simulada en COMSOL 5.3a para comprobar los cálculos hechos en el método analítico.

INTRODUCCIÓN TEÓRICA:

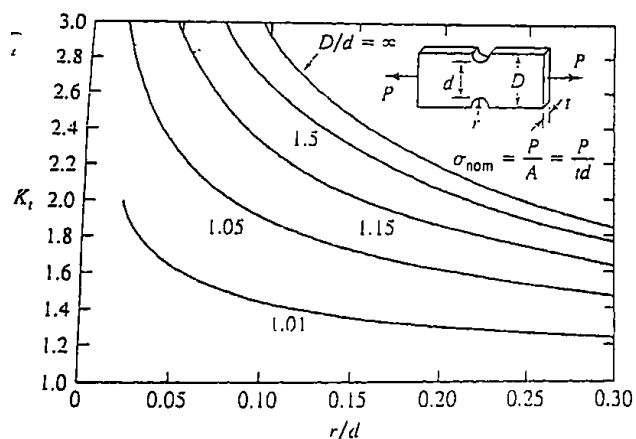
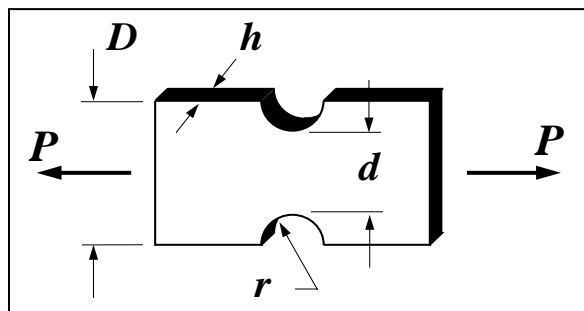
Cuando se hace el análisis de esfuerzo con cualquiera de las causas que lo generan, ya sea: tensión, compresión, flexión o torsión, se considera que la estructura tiene una forma continua, sin ningún tipo de cambio, pero esto no pasa en la vida real ya que a las estructuras se les debe hacer barrenos para sujetarlos con tornillos o para pasar un eje de motor. Por esta razón es que el cálculo del esfuerzo debe ser modificado considerando un factor K_t , que irá en función de las dimensiones de nuestra estructura y al tipo de carga que la estamos sometiendo, este factor se calcula para cada tipo de carga y estructura siguiendo tablas experimentales y gráficos o usando tablas de Excel que hacen el cálculo más exacto por medio de macros.

$$\sigma_{prom} = \text{esfuerzo promedio} = \frac{F}{A_{min}}$$

F = carga externa

A_{min} = Área de sección transversal mínima = $h(d)$

$$\sigma = K_t(\sigma_{prom})$$



Approximate formula
 $K_t \approx B \left(\frac{r}{d} \right)^a$, where:

D/d	B	a
∞	1.110	-0.417
1.50	1.133	-0.366
1.15	1.095	-0.325
1.05	1.091	-0.242
1.01	1.043	-0.142

- 1) Si la pieza o componente a diseñar tiene un área xy mucho mayor a la dimensión z:
 - Hago un análisis de esfuerzo plano con un modelo 2D.
- 2) Si la pieza o componente a diseñar tiene una dimensión z mucho mayor al área xy:
 - Hago un análisis de deformación plana, un modelo 3D lo resumo a uno 2D y resuelvo con matrices.
- 3) Cuando una pieza la puedo rotar alrededor de un eje para formar mi figura 3D, puedo usar:
 - Simetría, donde roto un modelo 2D alrededor de un eje para crear mi figura 3D, por lo que el análisis lo hago en esa pequeña área de revolución que puede crear mi figura.
- 4) Cuando en la figura existe simetría alrededor de sus ejes que se encuentran en el centroide:
 - Es lo mismo analizar una parte de la estructura a analizar la estructura completa.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:

Practica 1. Factor de concentración de esfuerzos geométrico
Se tiene una placa con una ranura como se muestra en la figura, la placa está sujeta a una fuerza de tracción $F = 6000 \text{ lb}$

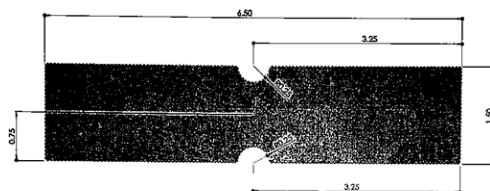


Figura 1. Dimensiones de la placa con las muescas, las dimensiones están en plg.

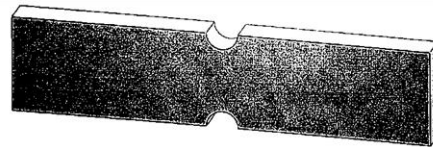


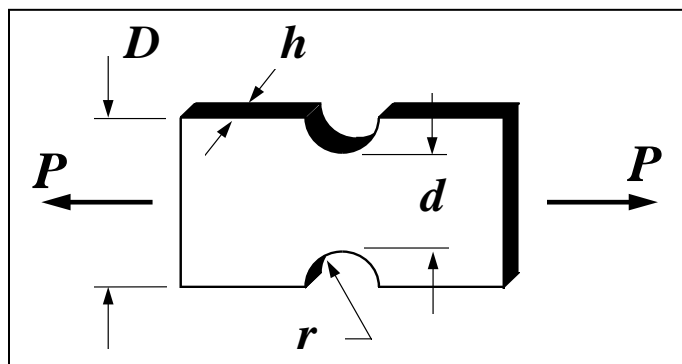
Figura 2. Modelo de la placa, el espesor de la placa $t = 0.5 \text{ plg}$

Datos.

$r = \text{radio de la muesca} = 0.25 \text{ plg}$

$w = \text{Ancho de la placa} = 1.5 \text{ plg}$

$d = \text{dimensión reducida del ancho} = w - 2r = 1 \text{ plg}$



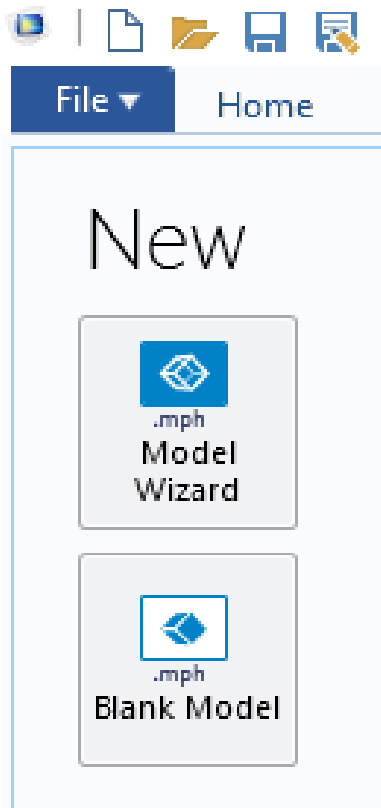
El concentrador de esfuerzo es el siguiente, donde:

- La carga es en forma de tensión, $P = 6000 \text{ [lb]}$.
- El radio de achurado es de, $r = 0.25 \text{ [in]}$.
- La altura total, $D = 1.5 \text{ [in]}$.
- La altura para obtener el área mínima de aplicación de la fuerza y encontrar el esfuerzo promedio es de, $d = 1 \text{ [in]}$.

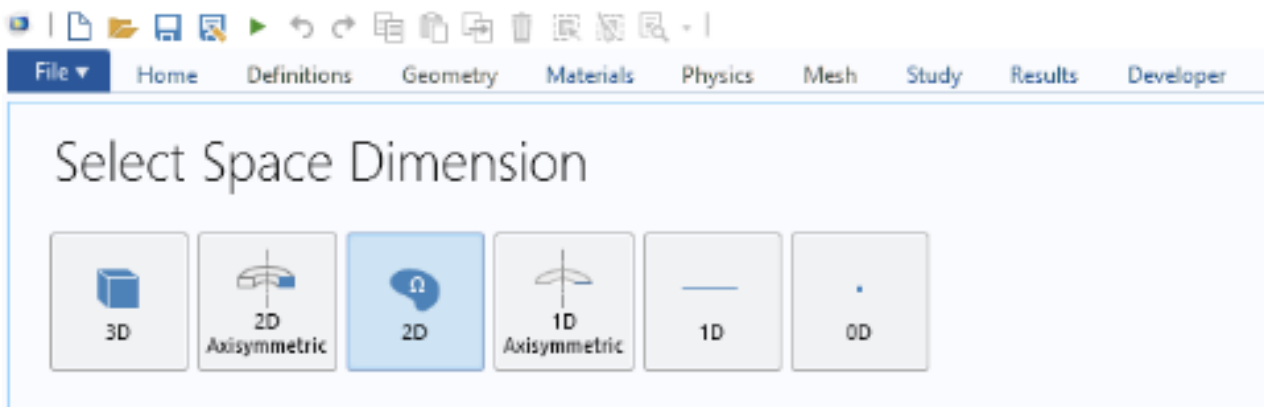
Se comprobarán los datos obtenidos haciendo el modelado de la estructura en COMSOL 5.3a.

CREACIÓN DE LA PIEZA EN COMSOL:

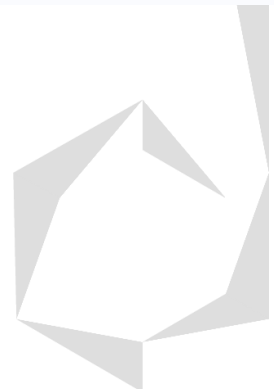
1) Software COMSOL → Model Wizard...

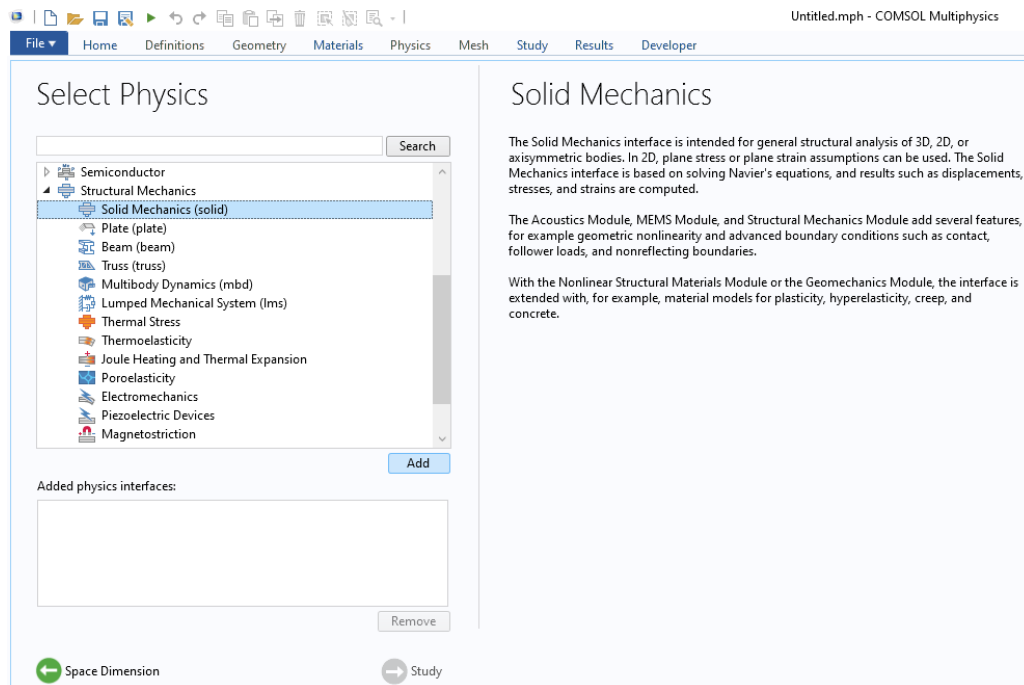


2) ... → 2D (estructura 2D) ...



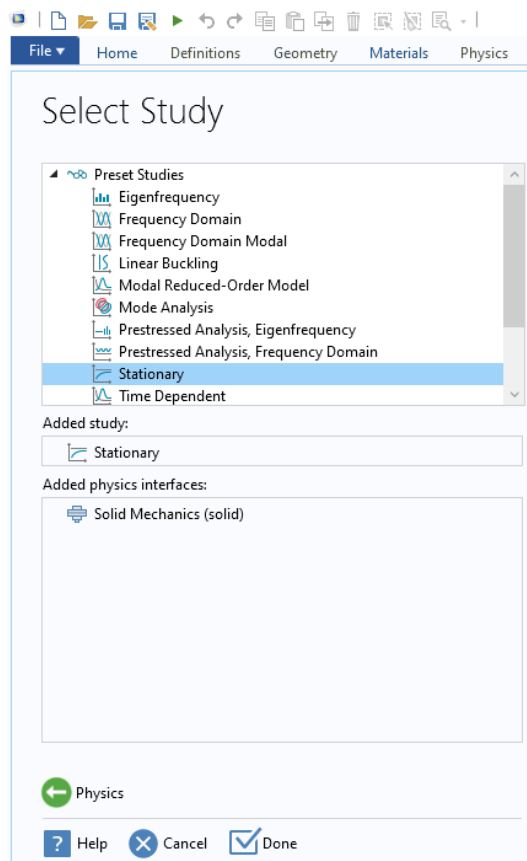
3) ...->Solid Mechanics -> Add...



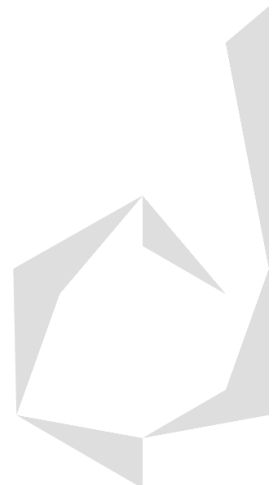


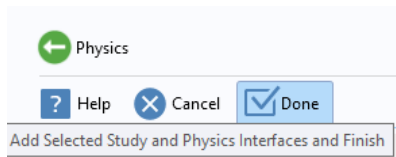
4) ... → Study...

5) ... → Select Study → Stationary...

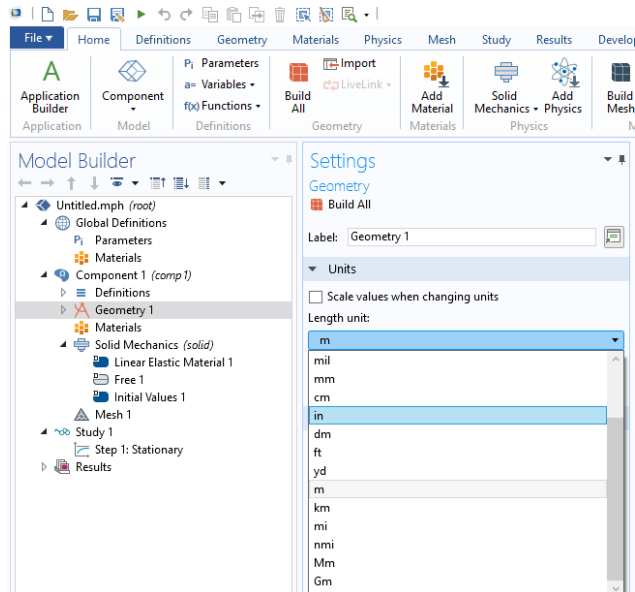


6) ...->Done.

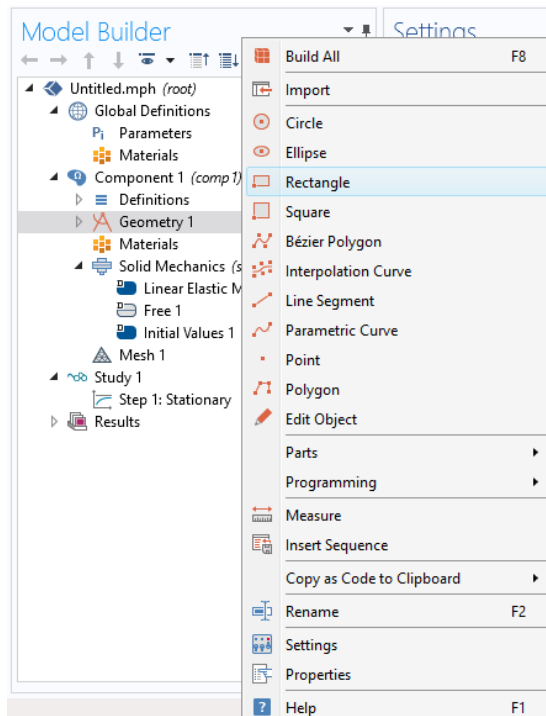




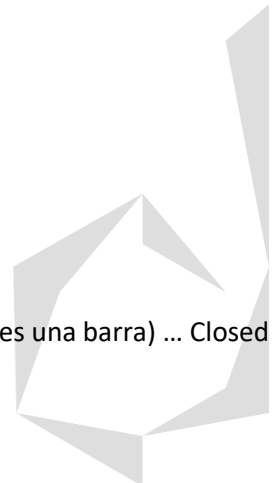
7) Geometry → Length unit (Seleccionar la unidad de longitud) ...

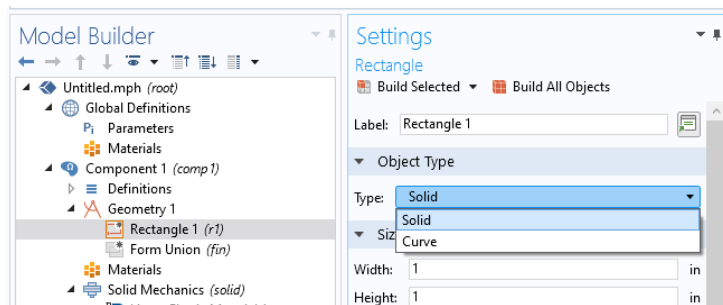


8) Añadir figuras → Clic derecho (Geometry) → Rectangle...

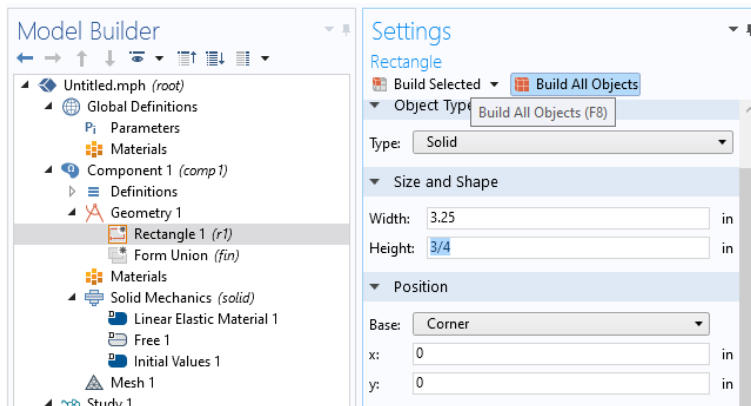


9) Indicar tipo de elemento que estoy analizando → Type → Open curve (si es una barra) ... Closed curve o Solid (si es una placa) ...

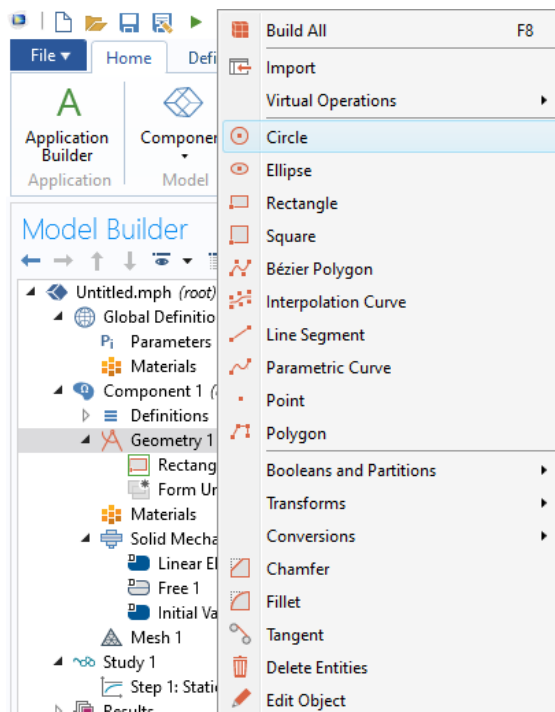




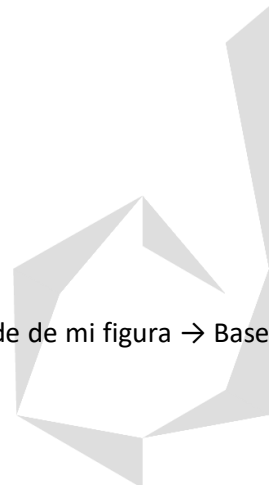
10) Indicar ancho (width), alto (height) y posición de mi placa (Rectangle) → indicar posición inicial de mi figura → Base → x: y: → Build All Objects...

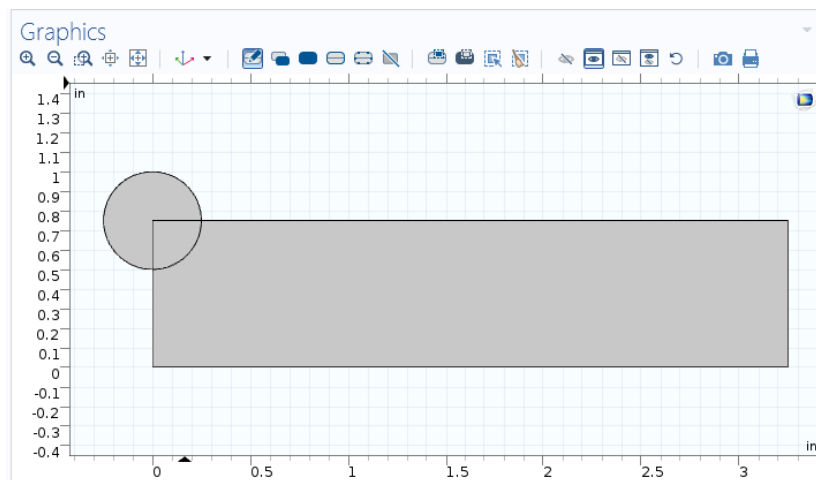
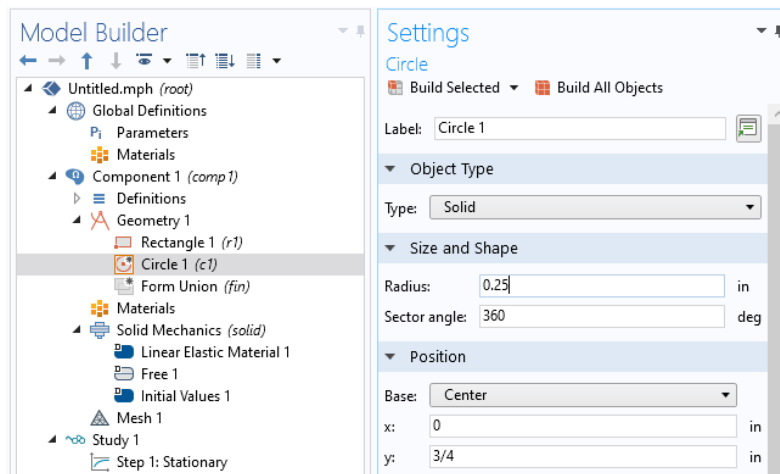


11) Añadir figuras → Clic derecho (Geometry) → Circle...

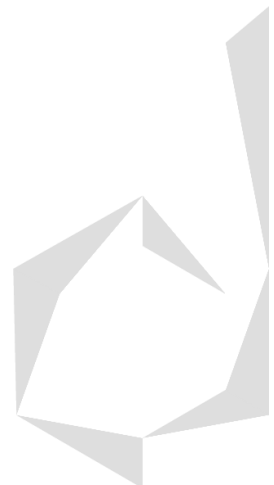
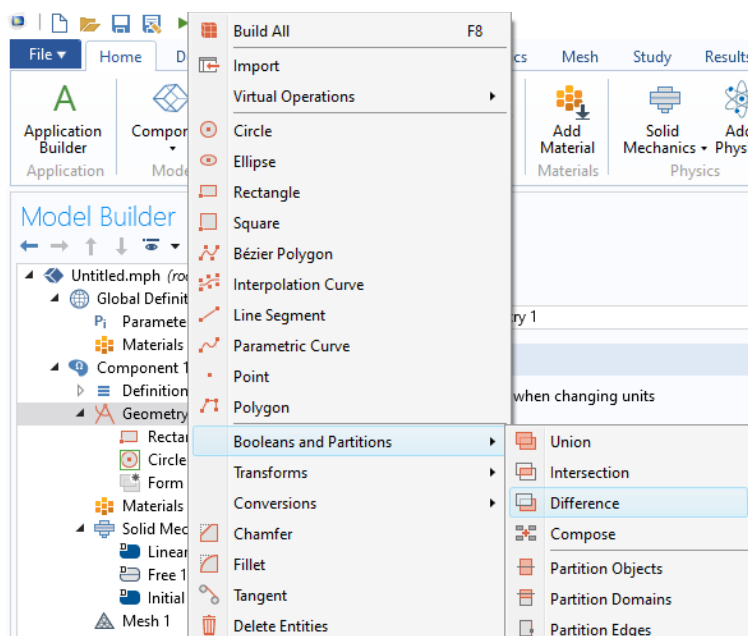


12) Indicar el radio de mi círculo (Circle) → introducir la posición del centroide de mi figura → Base → x: y: → Build All Objects...

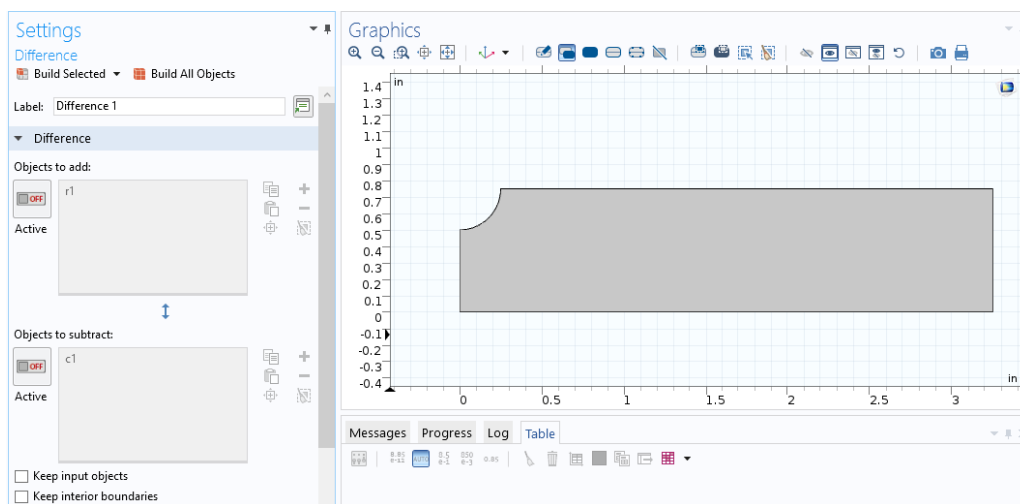
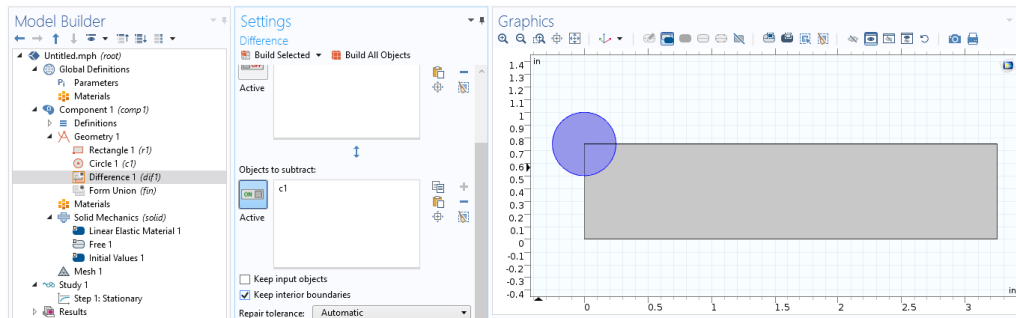




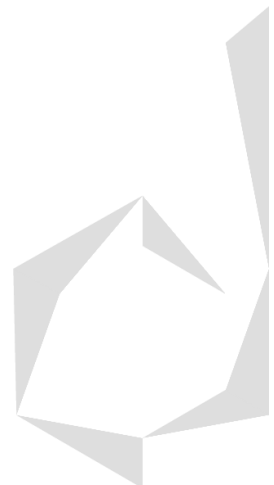
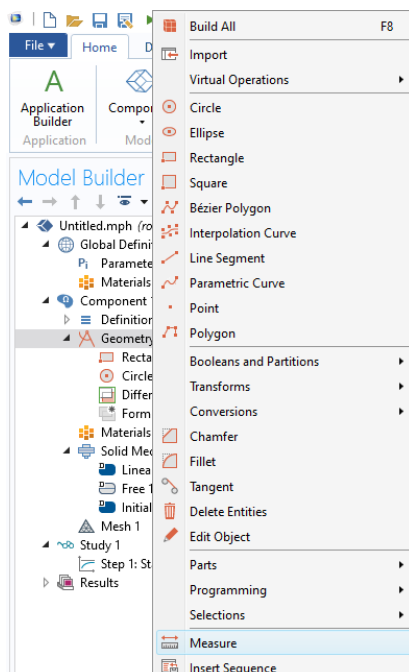
13) Extraer una figura de otra para crear el agujero → Clic derecho (Geometry) → Booleans and Partitions → Difference...



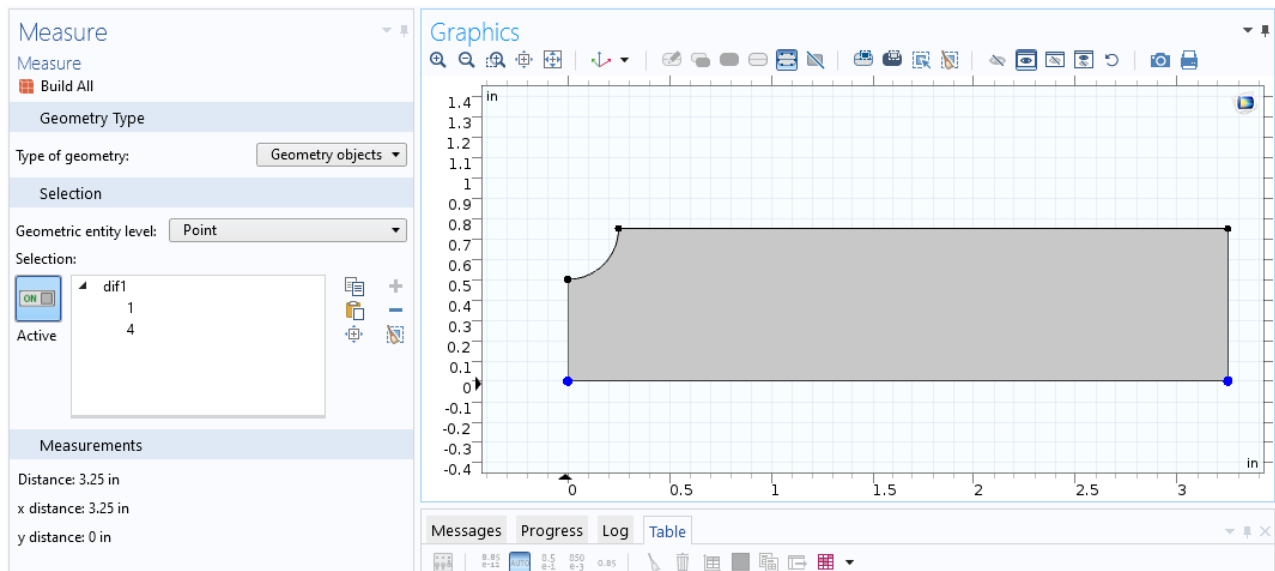
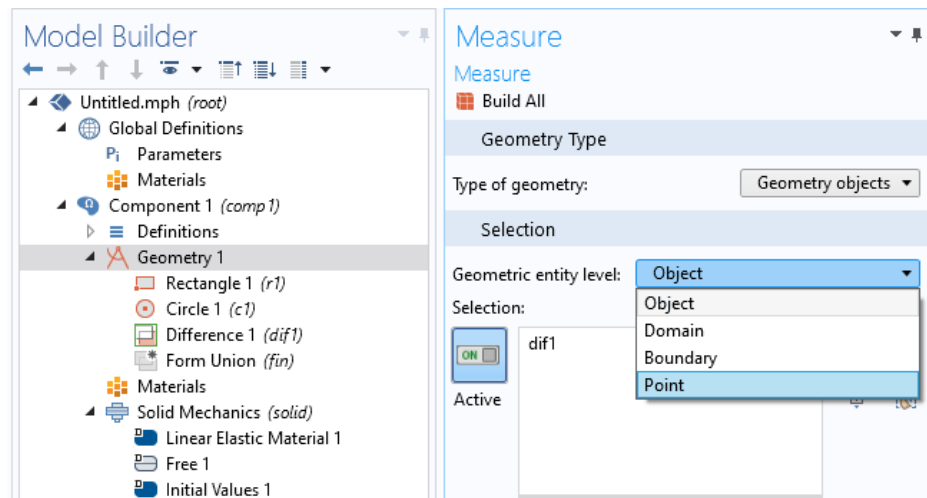
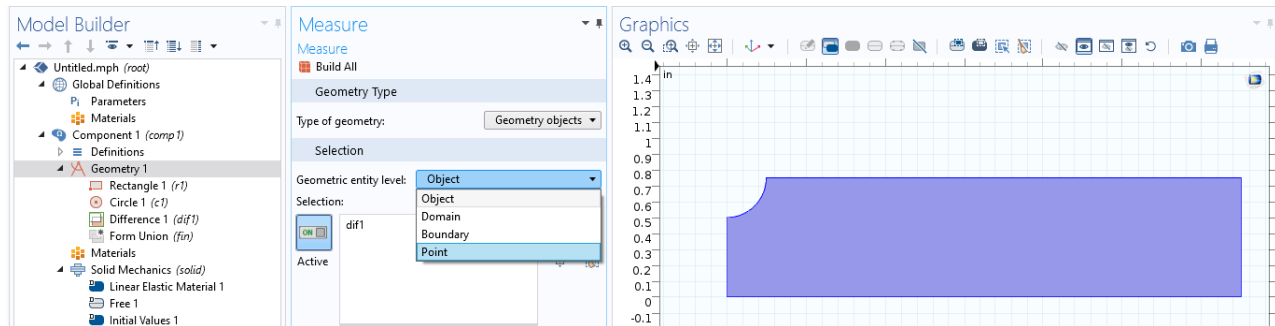
14) ...-> Seleccionar primero la figura que quiero conservar → Objects to add → escoger después la figura que quiero extraer → Objects to subtract → Desmarcar el checkbox → Keep interior boundaries → Build All Objects...



15) Medir distancias → clic derecho (Geometry) → Measure...



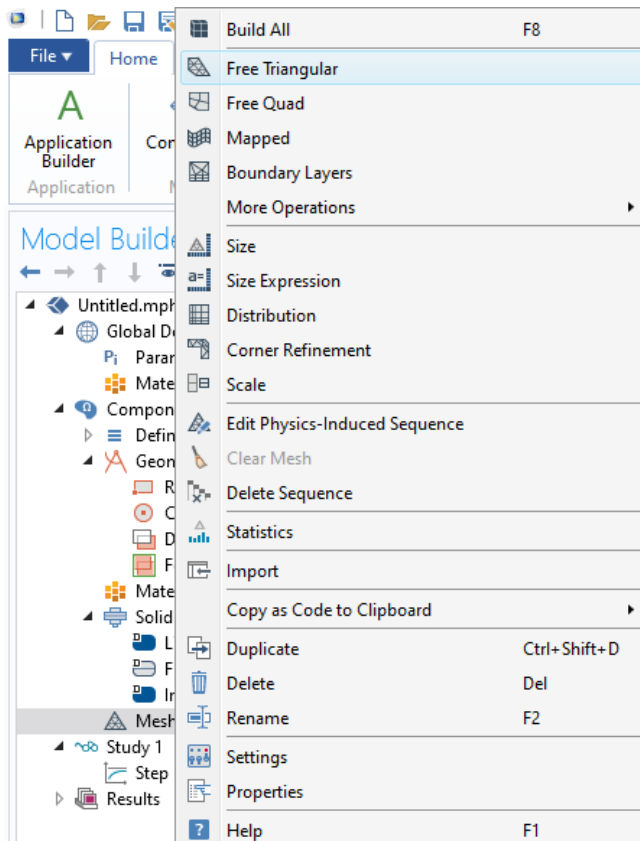
16) ... → Geometry entity level → Point (para medir distancias de punto a punto) → elegir puntos → Build All...



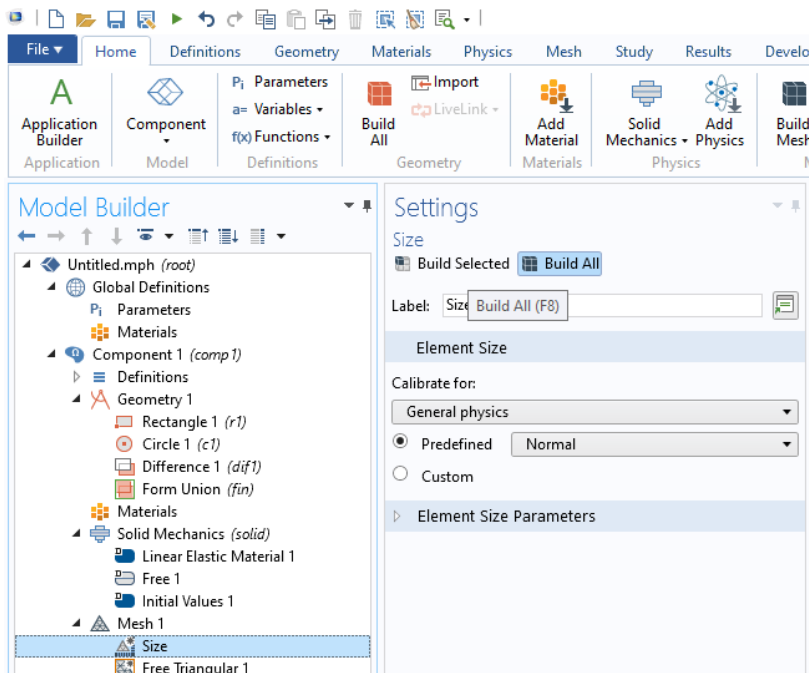
ANÁLISIS MECÁNICO EN COMSOL:

17) Seleccionar la rejilla para la precisión del análisis de esfuerzo → Clic derecho (Mesh) → Free Triangular...

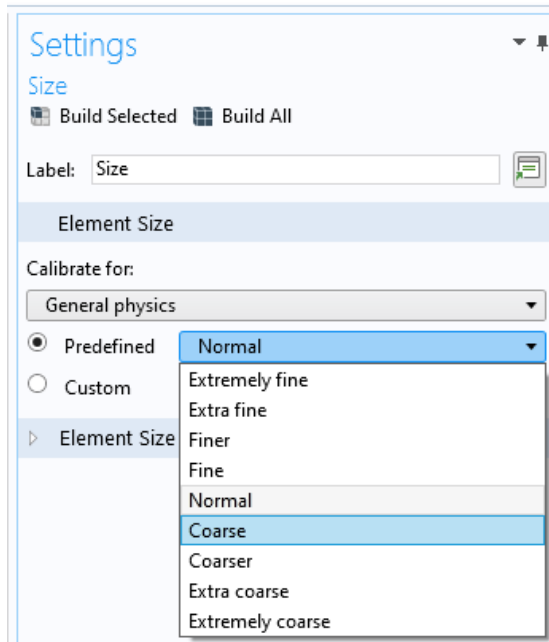




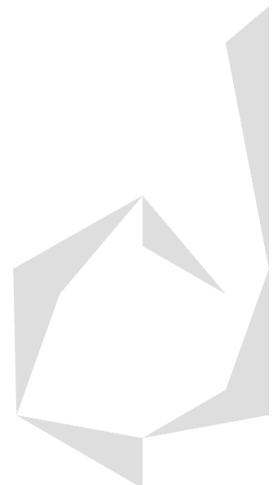
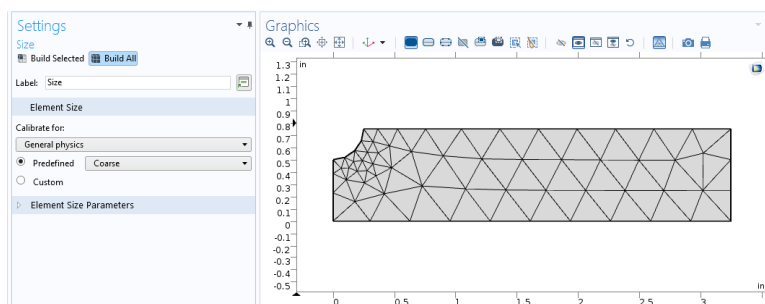
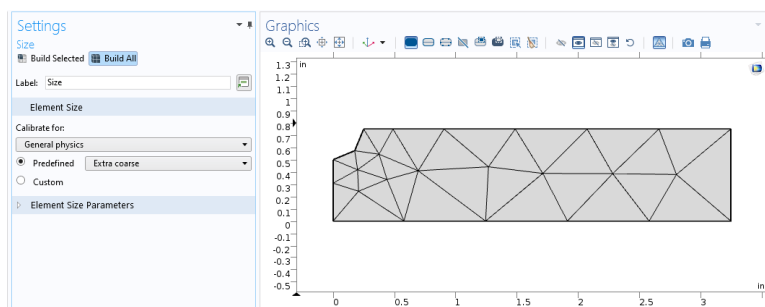
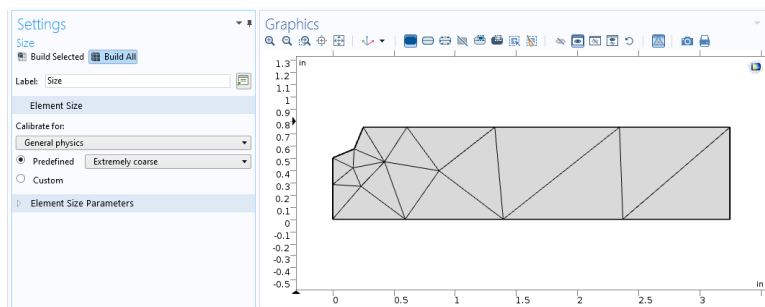
18) ... → Introducirse en Size (dentro de Mesh) → Element Size → Calibrate for: → Seleccionar el tamaño de la rejilla → Build All...

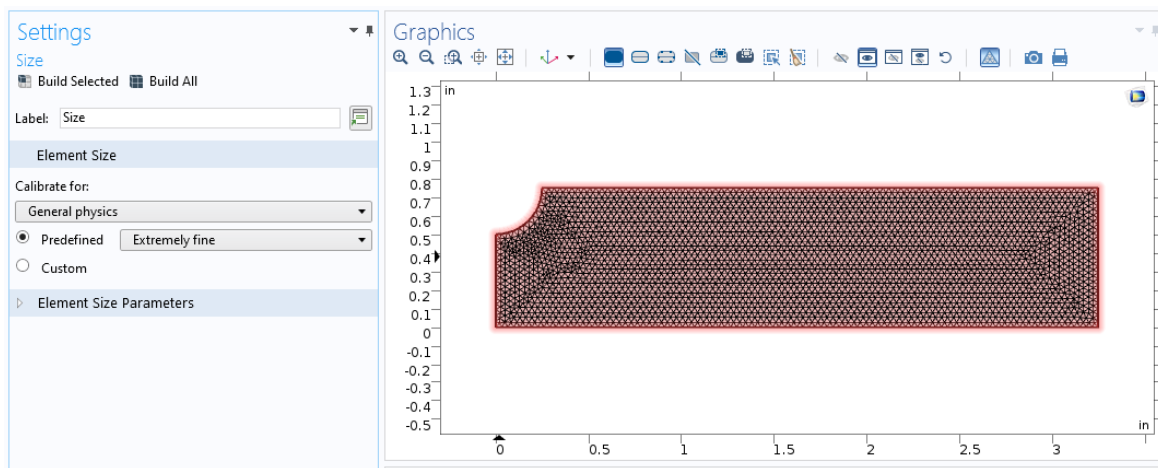
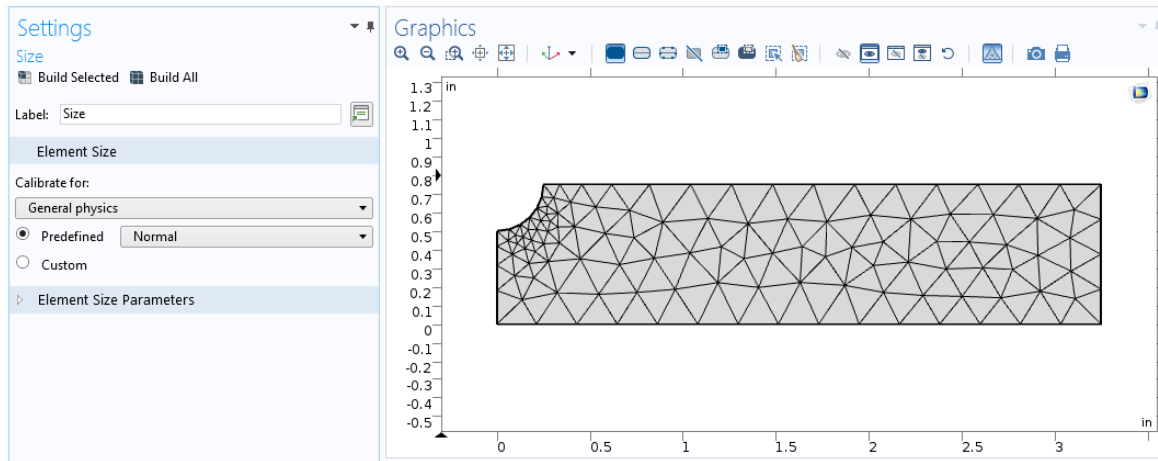


Los tamaños predefinidos de la rejilla son Coarser, Coarse, Normal, Finner, Extra Fine, etc. Y van a crear una rejilla con menos o con más precisión yendo de abajo hacia arriba en el menú.

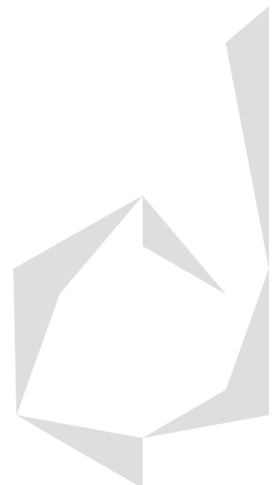
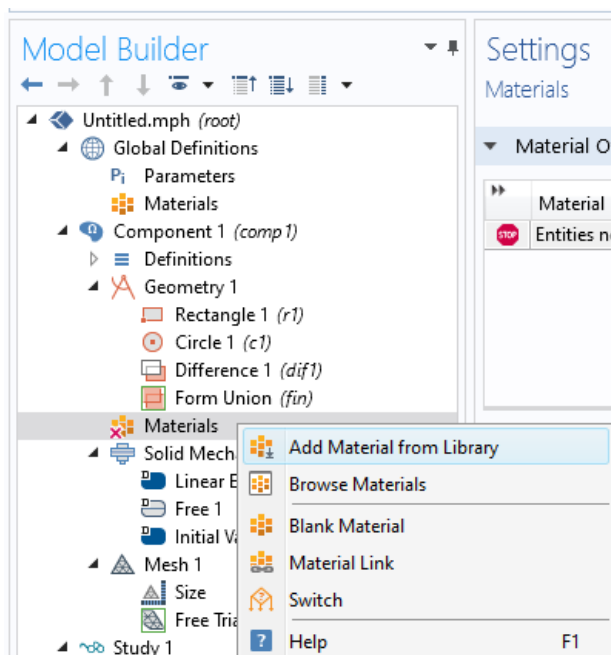


19) El tamaño de la rejilla va directamente relacionado con la precisión en la que se vaya a hacer el cálculo.

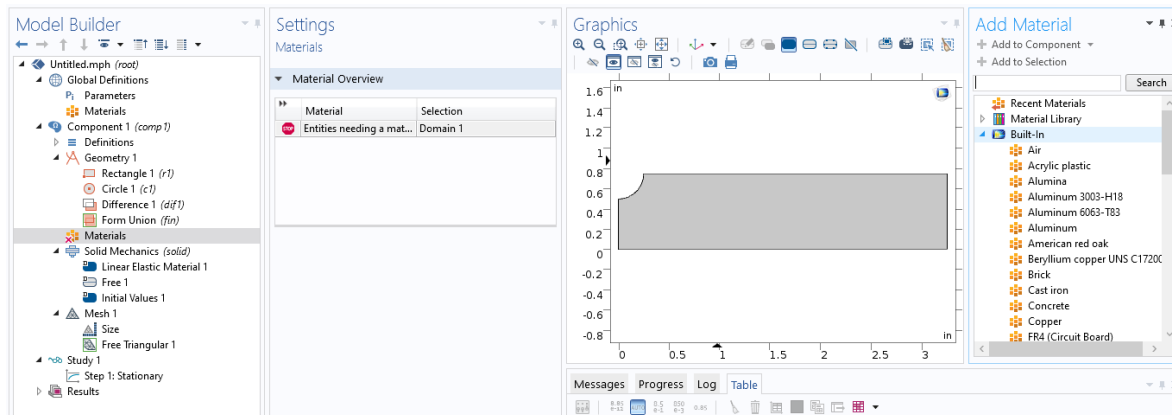




20) **Abrir biblioteca de materiales para añadir un material a mi estructura** → Clic derecho a Materials
→ Add Material form Library...

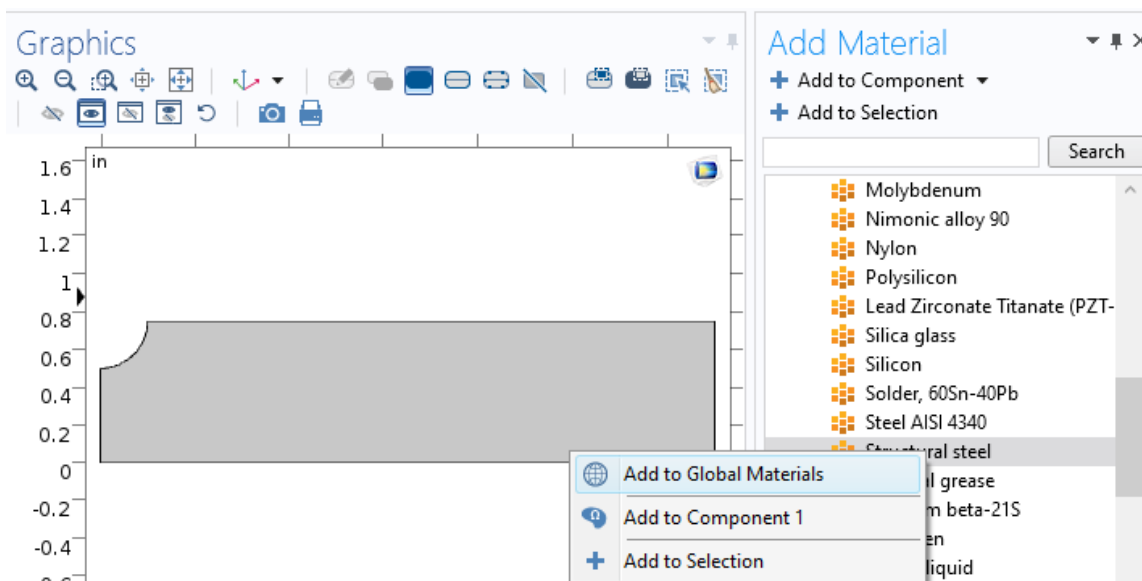


- 21) **Añadir un material** → Ir a la ventana emergente a la derecha de mi figura → Seleccionar Built in
 → Dar clic derecho en el material que quiero agregar...

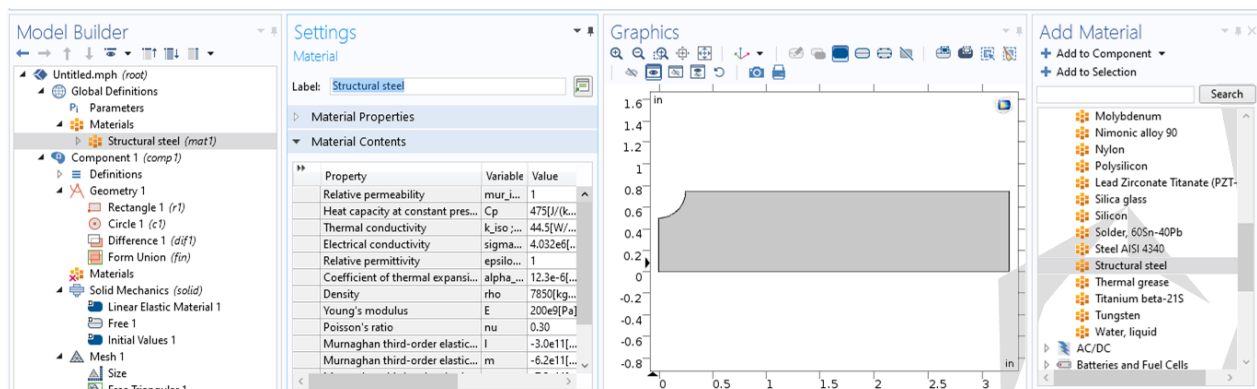


- 22) **Para elegir el material para toda mi estructura** → Add to Component 1...

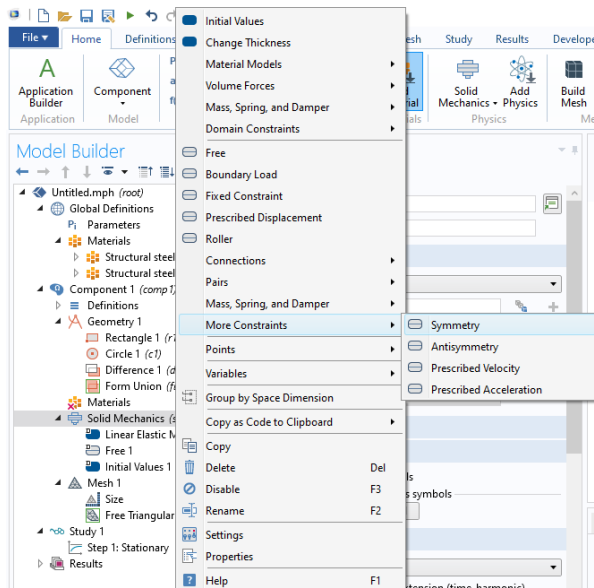
- 23) **...Agregar el material solo a una parte de mi estructura** → Add to Selection → Seleccionar la estructura de ese material en específico...



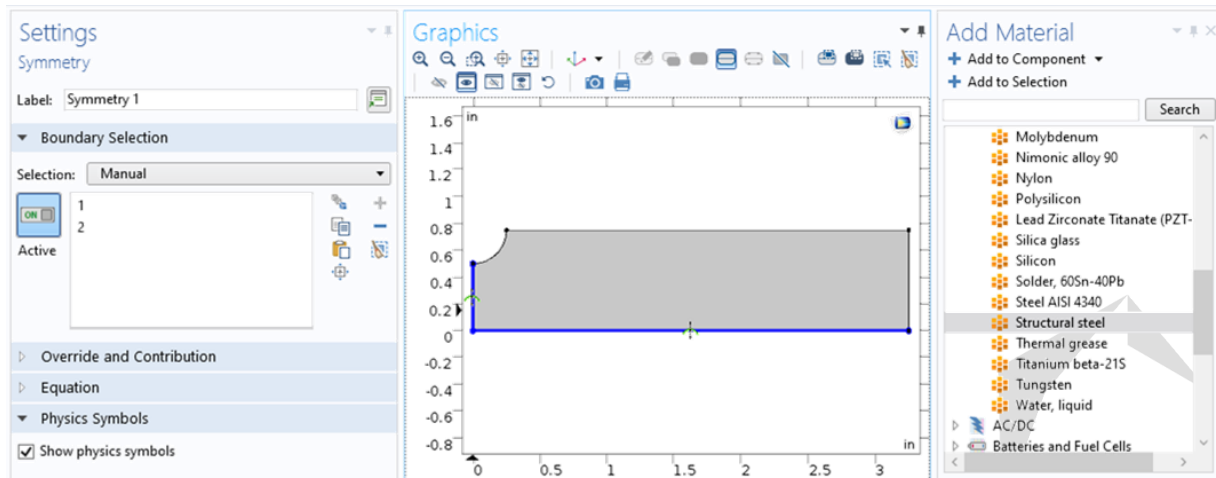
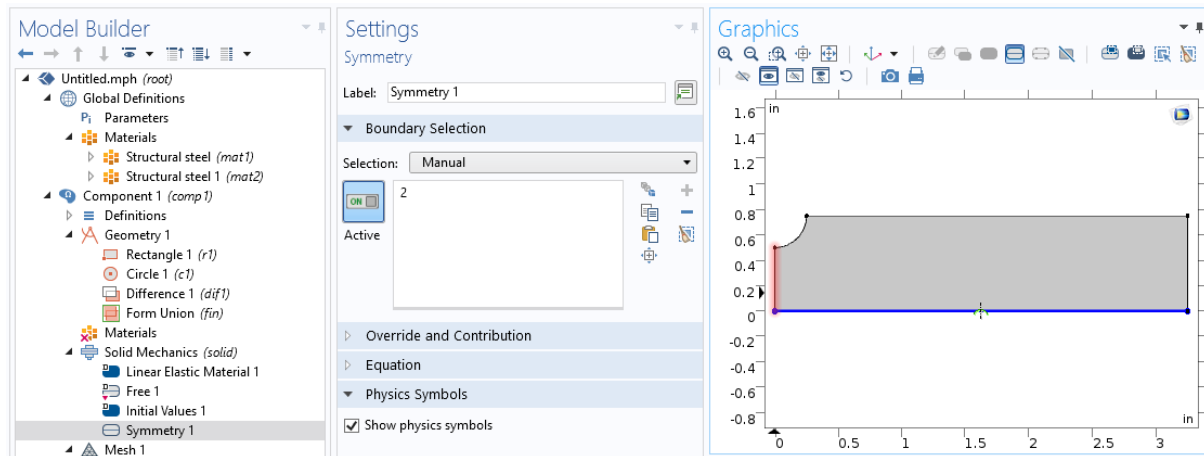
Al agregar el material, este aparecerá dentro de la pestaña de materiales.



24) Añadir simetría → Clic derecho a Solid Mechanics → More Constraints → Symmetry...

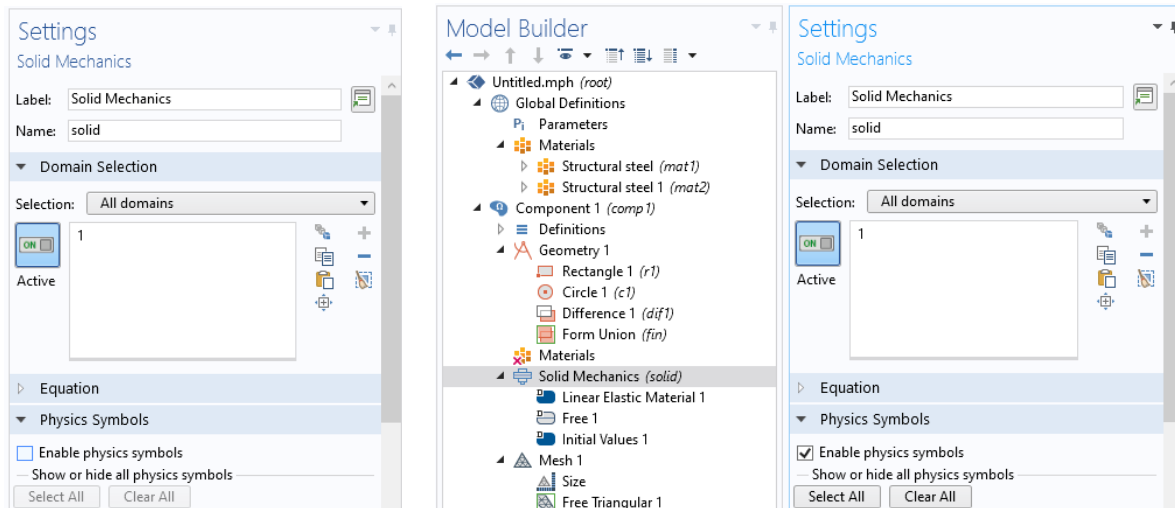


25) ...Seleccionar los ejes donde existe simetría en mi análisis → Aparecerán con color azul los ejes de simetría seleccionados...

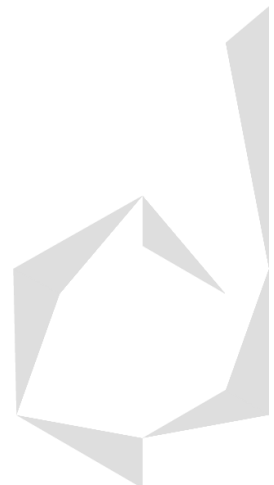
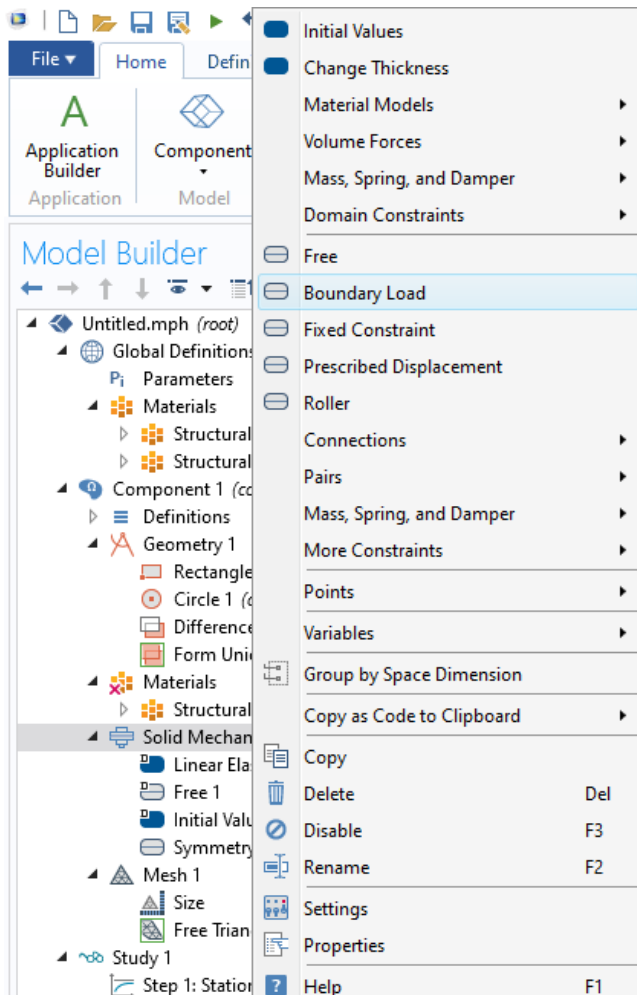


26) **Añadir cargas externas y apoyos** → Solid Mechanics → Seleccionar el checkbox:

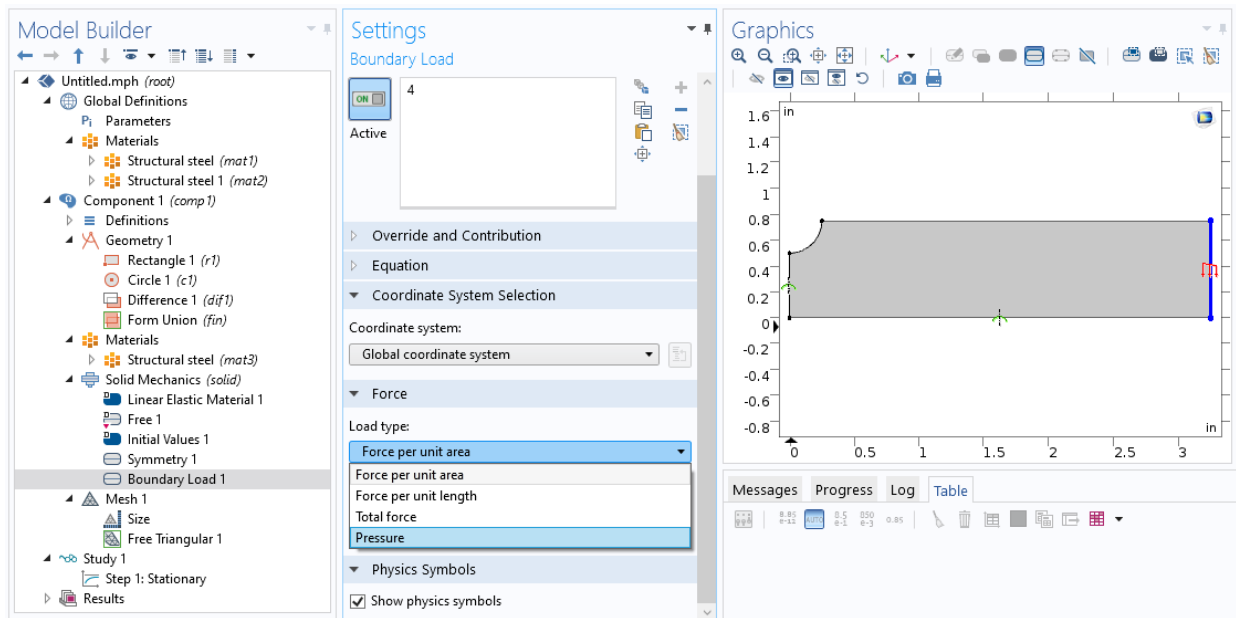
- ✓ Enable Physics symbols: Para hacer que sea visible la simbología de cargas externas y/o cargas en la figura.



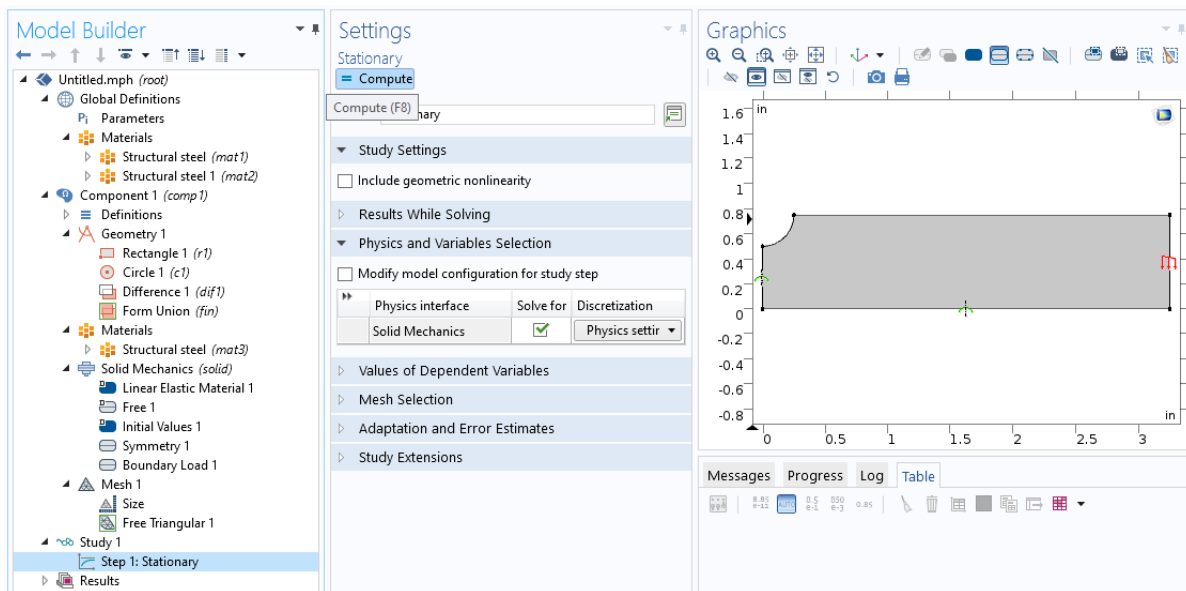
27) **Agregar cargas externas** → Clic derecho Solid Mechanics → Boundary Load...



28) ...Seleccionar la cara de mi estructura donde se aplica la carga → Load Type → Indicar el tipo de carga que estoy colocando...



29) Obtener todos los cálculos y datos de mi elemento mecánico → Meterme a Study → Dar clic al botón que dice Compute...



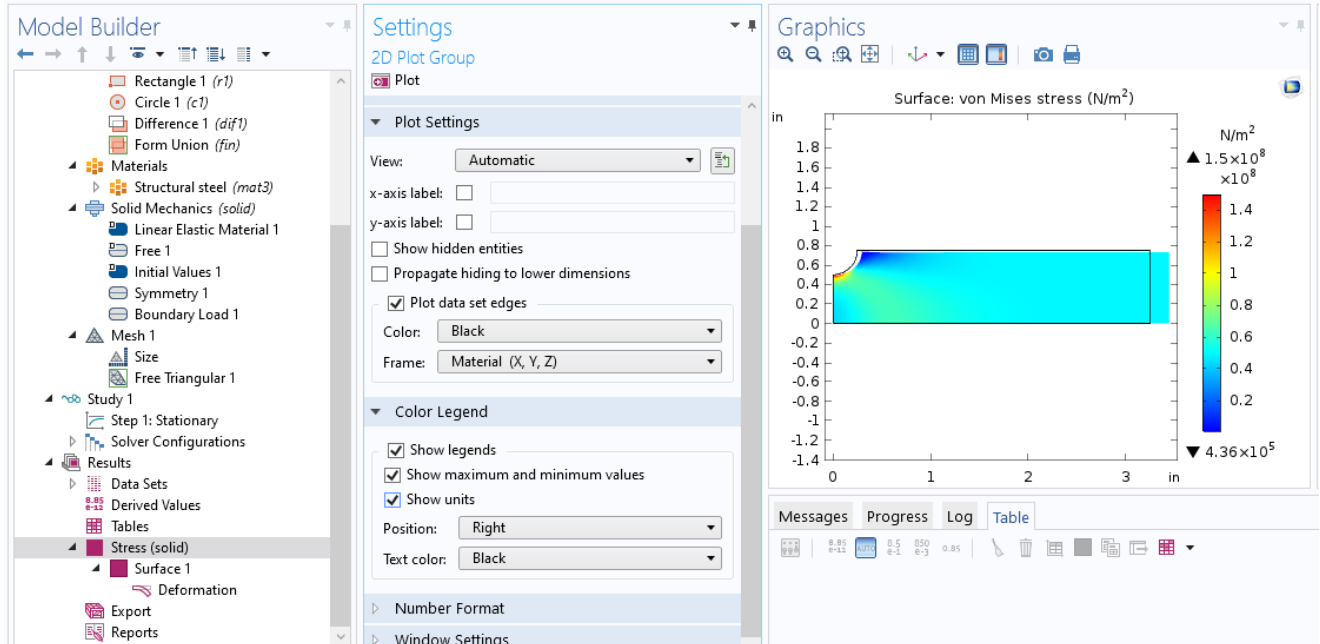
RESULTADO DEL ELEMENTO FINITO EN COMSOL:

30) ...Aparecerá Results (sirve para visualizar todos los cálculos que se hayan hecho de la estructura) → En un principio el cálculo que se hace por default es el de los esfuerzos (Stress)...

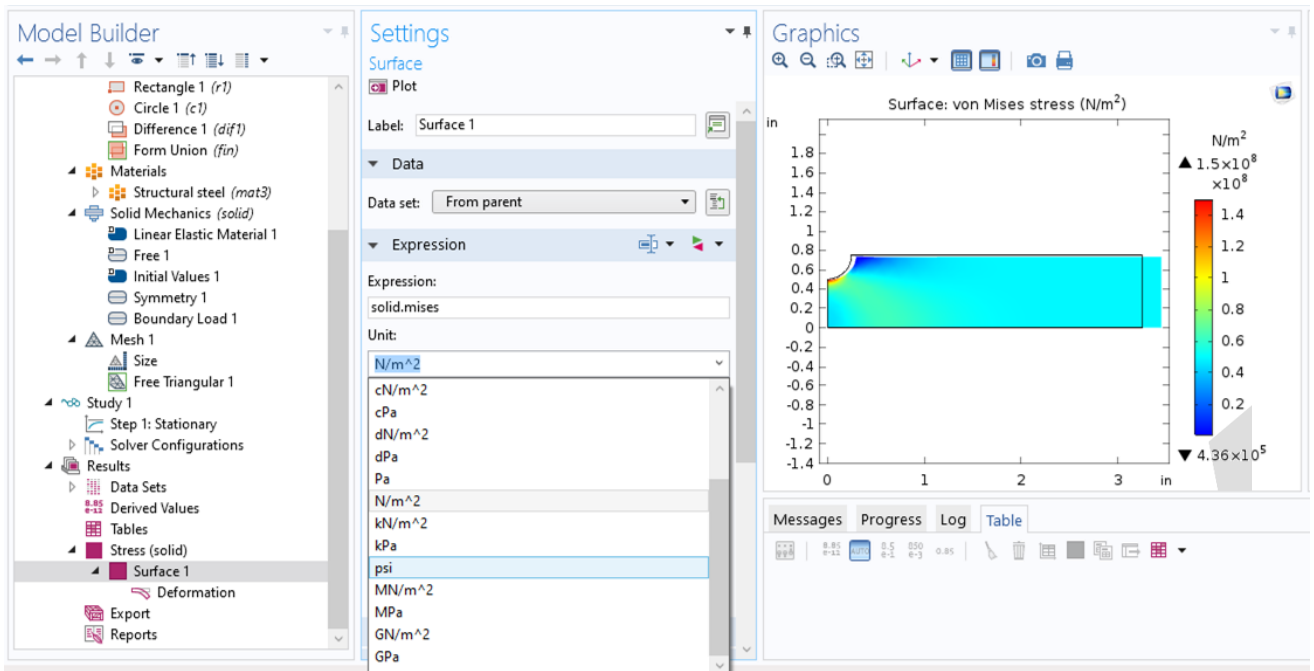
31) ...Podré visualizar como se deforma la estructura debido a las cargas → existe una barra que me mostrará los datos numéricos del cálculo → Position (para cambiar la posición de la barra numérica) → Plot...

32) ...Dar clic en las siguientes checkboxes para visualizar los datos en el área de trabajo

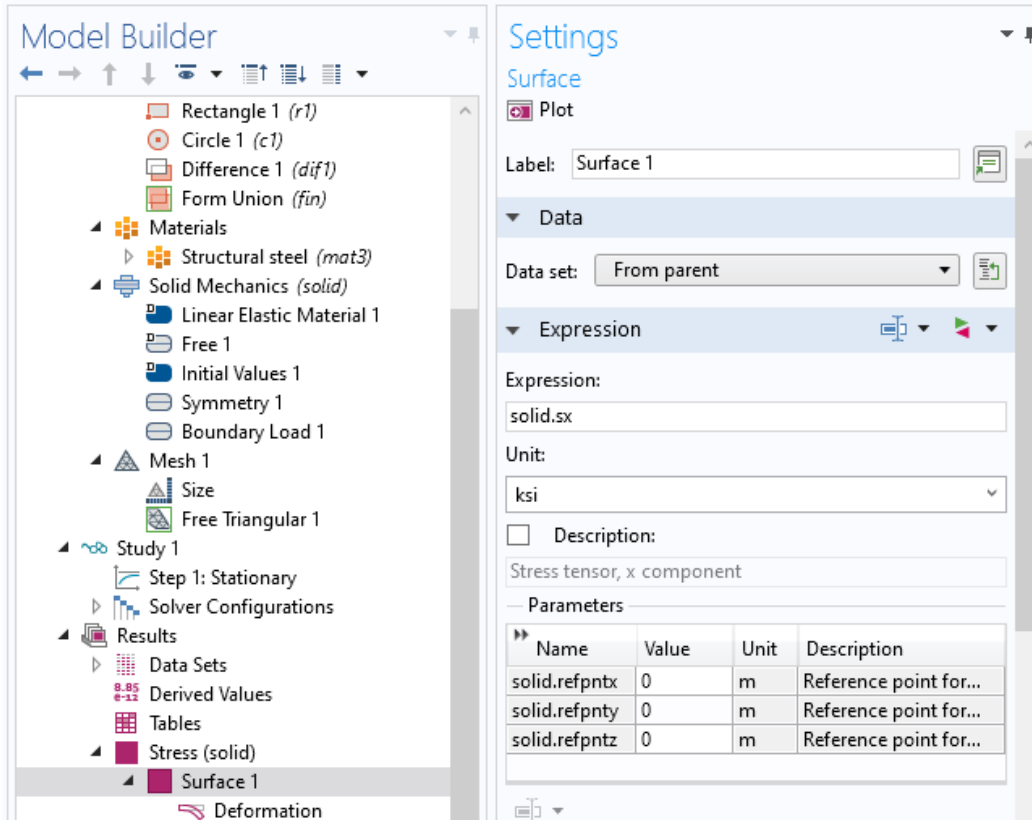
- ✓ Show legends
- ✓ Show máximo and mínimo values
- ✓ Show units.



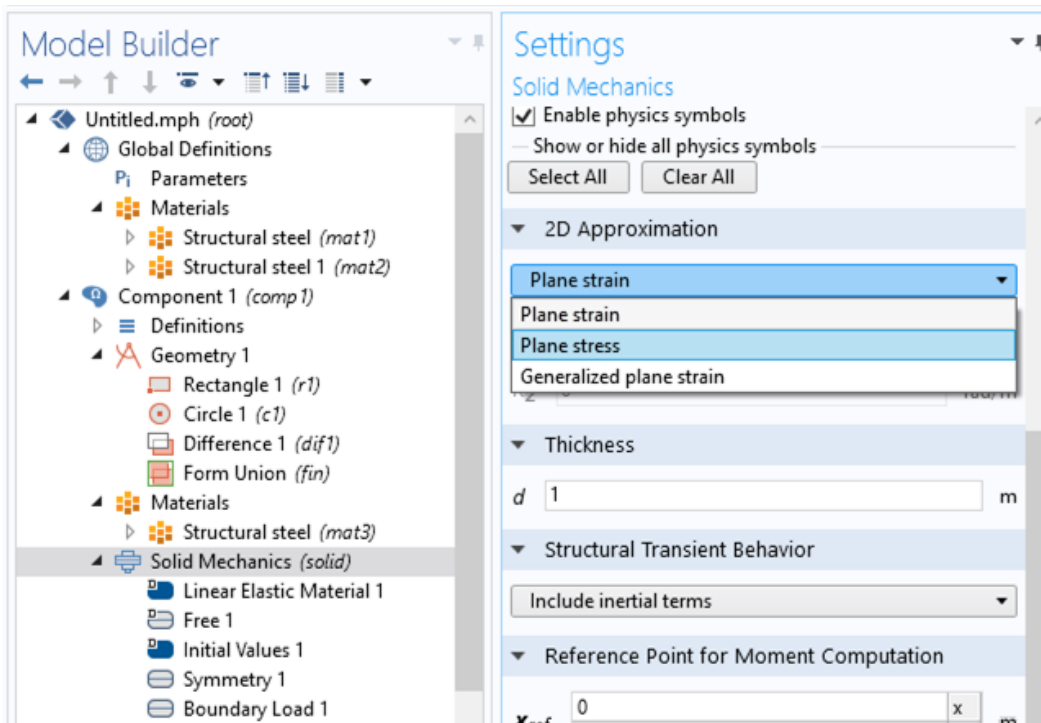
33) Seleccionar unidades en las que quiero que se desplieguen mis datos numéricos → Surface → especificar la unidad dentro de Unit → Dar clic al botón de Plot...



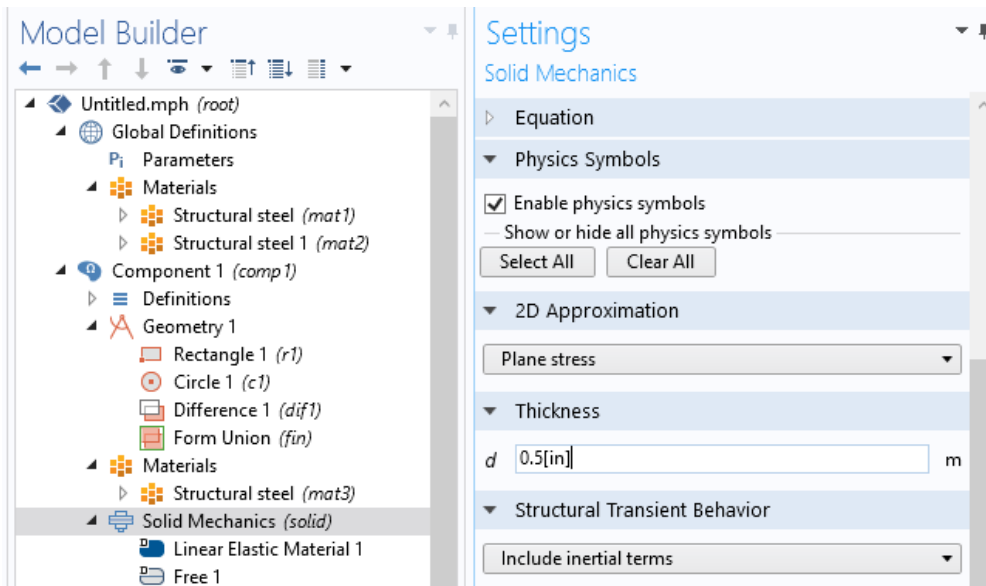
En específico la unidad [ksi] no se encuentra en la lista de unidades predefinidas dentro de Unit, pero puedo indicarlo con el teclado tal cual como ksi.



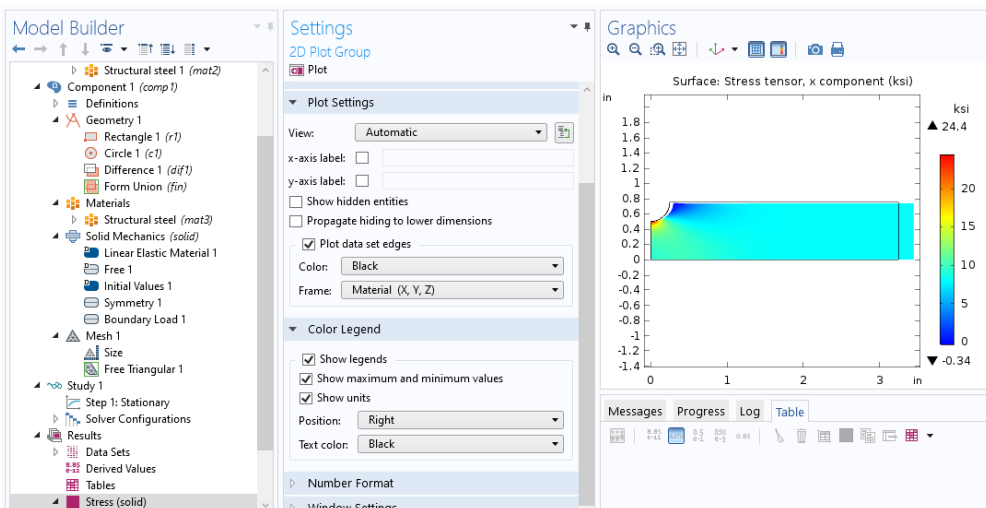
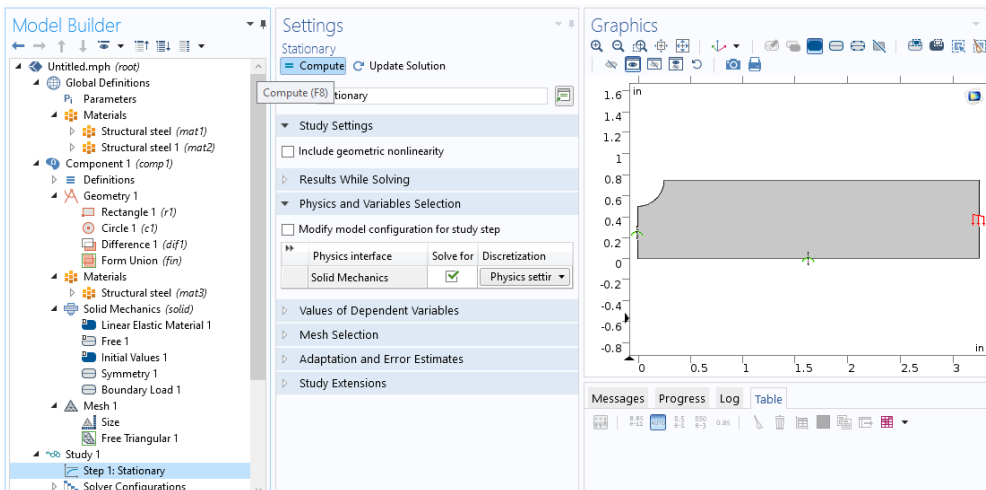
34) ...Podimos ver que el cálculo se realizó sin la necesidad de indicar el espesor de la placa → el espesor se puede indicar en Solid Mechanics → 2D Aproximation → Plane Stress → Thickness...

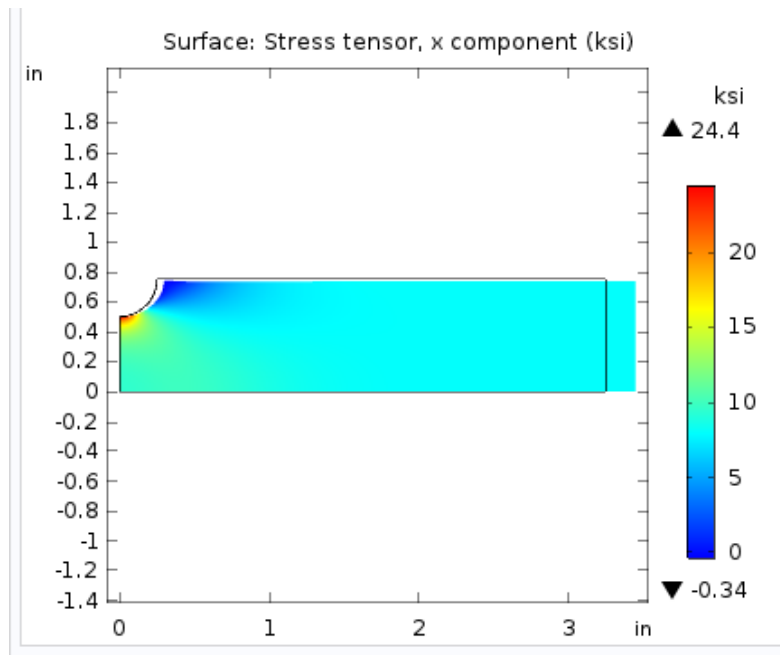


35) ...La magnitud se debe indicar con todo y su unidad puesta en corchetes []...



36) ...Al volver a ejecutar el cálculo podemos ver que dio el mismo resultado → Study → Step 1: Stationary → Compute...





$$\sigma_{max} = 24.4[MPa]$$

Este resultado varía dependiendo del tipo de rejilla (Mesh) que haya elegido para hacer el cálculo.

CONCLUSIÓN:

Con el método numérico apoyado por el programa COMSOL podemos comprobar que esté bien hecho el método analítico y visualizar los desplazamientos y/o deformaciones que tendrá nuestra estructura después de haberle aplicado la carga de manera gráfica, aunque además para los concentradores de esfuerzos pudimos ver que ciertamente en las ranuras es donde se concentra la mayoría del esfuerzo generado en el elemento, aparte pudimos observar que su análisis puede ser simplificado dependiendo de la simetría de la figura o de si ésta puede ser creada a través de un área de revolución.

ERROR:

$$error = \frac{|valor\ obtenido\ en\ el\ programa| - |valor\ analítico|}{|valor\ obtenido\ en\ el\ programa|} * 100[\%]$$

Un error menor al 11% es aceptable entre ambos métodos analítico y numérico.

σ_{max} :

$$error = \frac{|24.4| - |22.57|}{|24.4|} * 100 = 7.5\%$$



BIBLIOGRAFÍA:

MECÁNICA DE MATERIALES (5TA EDICIÓN) – FERDINAND P. BEER.

MÉTODO ANALÍTICO:

Module 2-15
Stress Concentration Factor for a Notched Flat Bar in Axial Tension

The diagram shows a cross-section of a flat bar with a central notch. The bar has a total height of D and a thickness of h . The notch has a fillet radius of r and the width of the bar at the narrowest point is d . Axial loads P are applied to the ends of the bar, pulling it apart.

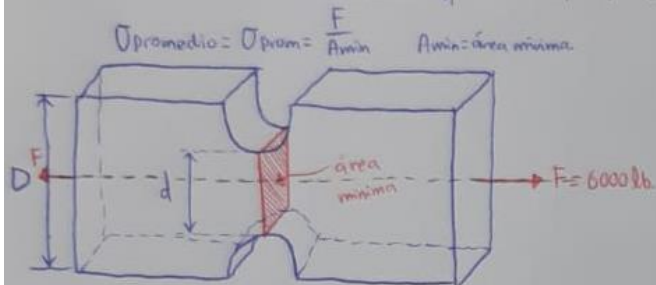
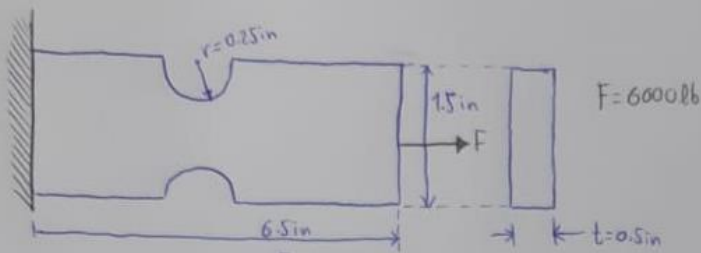
$$\sigma_{x(nominal)} = \frac{P}{hd}$$

P =	6,000	lbf.	Applied load
d =	1.000	in	Smaller height
D =	1.500	in	Larger height
r =	0.250	in	Fillet radius
h =	0.500	in	Bar thickness
K _t =	1.881		Stress concentration factor
S _{nominal}	12,000	psi	Nominal stress
S _{actual}	22,572	psi	Actual stress

Note: The underlying chart for this data requires that

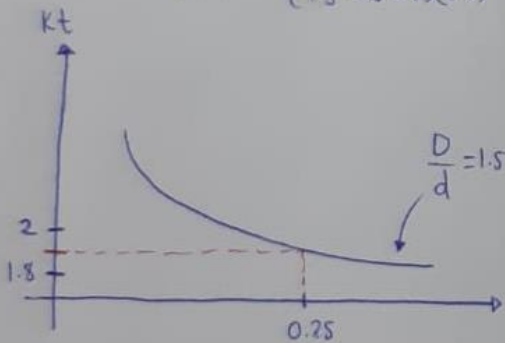
$$0.02 \leq r/d \leq 0.3 \text{ and } 1.01 \leq D/d \leq 2$$

Práctica 3 Encontrar por el método Analítico: σ_{max}



$$\sigma_{prom} = \frac{F}{A_{min}}$$

$$\sigma_{prom} = \frac{F}{A_{min}} = \frac{6000 \text{ lb}}{(1.5 - 0.5 - 0.5)(0.5)} = 12,000 [\text{psi}]$$



selec de las graficas de concentraciones de esfuerzo.

$$\sigma_{max} = Kt (\sigma_{prom})$$

$$\frac{D}{d} = \frac{1.5}{1} = 1.5 [\text{Adimensional}]$$

$$\frac{r}{d} = \frac{0.25}{1} = 0.25 [\text{Adimensional}]$$

En el macro de excell (macro) llamado MOD2-15.xls puden meter los datos para obtener un dato de Kt más exacto.

$$Kt = 1.881$$

$$\sigma_{max} = 1.881 (12,000) = 22,572 \text{ psi} = 22.57 [\text{ksi}]$$