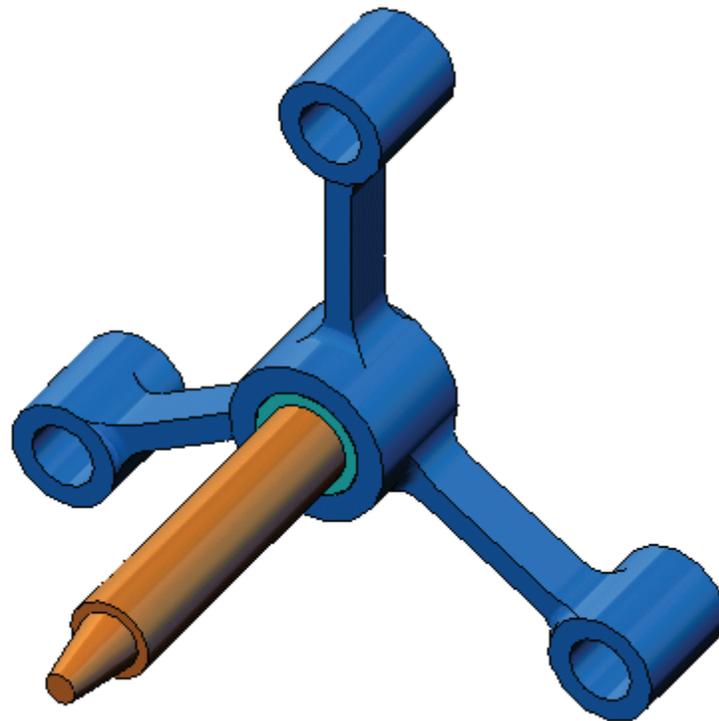




# Introducción a las aplicaciones de análisis de tensión con SolidWorks Simulation, Guía del estudiante



© 1995-2010, Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, una empresa de Dassault Systèmes S.A., 300 Baker Avenue, Concord, Massachusetts 01742 EE. UU. Reservados todos los derechos.

La información y el software especificados en este documento están sujetos a cambio sin previo aviso y no son responsabilidad de Dassault Systèmes SolidWorks Corporation (DS SolidWorks).

No se puede reproducir ni transmitir ningún material en ninguna forma ni a través de ningún medio, electrónico o manual, con ningún propósito sin el consentimiento expreso por escrito de DS SolidWorks.

El software descrito en este documento se proporciona con una licencia y se puede usar o copiar únicamente según los términos de la licencia. Todas las garantías ofrecidas por DS SolidWorks con respecto al software y a la documentación se establecen en el contrato de licencia y nada de lo que establezca o implique este documento o su contenido se considerará o estimará como una modificación o enmienda de las condiciones, incluidas las garantías, de dicho contrato de licencia.

### **Avisos de patentes**

El software CAD mecánico en 3D SolidWorks® está protegido por las patentes de EE. UU. 5.815.154; 6.219.049; 6.219.055; 6.611.725; 6.844.877; 6.898.560; 6.906.712; 7.079.990; 7.477.262; 7.558.705; 7.571.079; 7.590.497; 7.643.027; 7.672.822; 7.688.318; 7.694.238 y 7.853.940, y por las patentes de otros países (por ejemplo, EP 1.116.190 y JP 3.517.643).

El software eDrawings® está protegido por las patentes de EE. UU. 7.184.044 y 7.502.027 y por la patente canadiense 2.318.706.

Patentes en EE. UU. y en otros países pendientes de aprobación.

### **Marcas comerciales y nombres de productos para los productos y servicios SolidWorks**

SolidWorks, 3D PartStream.NET, 3D ContentCentral, SolidWorks eDrawings y el logotipo de SolidWorks eDrawings son marcas comerciales registradas y FeatureManager es una marca comercial registrada conjunta de DS SolidWorks.

CircuitWorks, Feature Palette, FloXpress, PhotoWorks, TolAnalyst y XchangeWorks son marcas comerciales de DS SolidWorks.

FeatureWorks es una marca comercial registrada de Geometric Software Solutions Ltd.

SolidWorks 2011, SolidWorks Enterprise PDM, SolidWorks Simulation, SolidWorks Flow Simulation y eDrawings Professional son nombres de productos de DS SolidWorks.

Otras marcas o nombres de productos son marcas comerciales o marcas comerciales registradas de sus respectivos propietarios.

### **SOFTWARE COMERCIAL INFORMÁTICO - PATENTADO**

Derechos restringidos del gobierno de Estados Unidos El uso, la duplicación o la divulgación por parte del gobierno está sujeta a las restricciones establecidas en FAR 52.227-19 (Software informático comercial - Derechos restringidos), DFARS 252.227-7202 (Software informático comercial y Documentación de software informático comercial) y en este Acuerdo, según corresponda.

Contratante/Fabricante:

Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, 300 Baker Avenue, Concord, Massachusetts 01742, EE. UU.

### **Avisos de copyright para los productos SolidWorks Standard, Premium, Professional y Education**

Partes de este software © 1986-2010 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. Reservados todos los derechos.

Partes de este software © 1986-2010 Siemens Industry Software Limited. Reservados todos los derechos.

Partes de este software © 1998-2010 Geometric Ltd.

Partes de este software © 1996-2010 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

Partes de este software incorporan PhysX™ by NVIDIA 2006 - 2010.

Partes de este software © 2001 - 2010 Luxology, Inc. Reservados todos los derechos, patentes pendientes.

Partes de este software © 2007 - 2010 DriveWorks Ltd.

Copyright 1984-2010 Adobe Systems Inc. y sus concedentes de licencias. Reservados todos los derechos. Protegido por las patentes estadounidenses 5.929.866; 5.943.063; 6.289.364; 6.563.502; 6.639.593; 6.754.382; patentes pendientes.

Adobe, el logotipo de Adobe, Acrobat, el logotipo de Adobe PDF, Distiller y Reader son marcas comerciales registradas o marcas comerciales de Adobe Systems Inc. en los Estados Unidos y en otros países.

Para obtener más información acerca del copyright, consulte Ayuda > Acerca de SolidWorks.

### **Avisos de copyright para los productos de SolidWorks Simulation**

Partes de este software © 2008 Solversoft Corporation.

PCGLSS © 1992-2007 Computational Applications and System Integration, Inc. Reservados todos los derechos.

### **Avisos de copyright para el producto Enterprise PDM**

Outside In® Viewer Technology, © Copyright 1992-2010, Oracle

© Copyright 1995-2010, Oracle. Reservados todos los derechos.

Partes de este software © 1996-2010 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

### **Avisos de copyright para los productos de eDrawings**

Partes de este software © 2000-2010 Tech Soft 3D.

Partes de este software © 1995-1998 Jean-Loup Gailly and Mark Adler.

Partes de este software © 1998-2001 3Dconnexion.

Partes de este software © 1998-2010 Open Design Alliance. Reservados todos los derechos.

Partes de este software © 1995-2009 Spatial Corporation.

Este software está basado en parte en el trabajo del Independent JPEG Group

# Introducción

## Acerca de este curso

*Introducción a las aplicaciones de análisis de tensión con SolidWorks Simulation y sus materiales complementarios* están diseñados para ayudarle en el aprendizaje de SolidWorks Simulation en el ámbito académico.

## Tutoriales en línea

*Introducción a las aplicaciones de análisis de tensión con SolidWorks Simulation* es un recurso adicional y se complementa con los Tutoriales en línea de SolidWorks Simulation.

### Acceso a los tutoriales

Para iniciar los tutoriales en línea, haga clic en **Help, SolidWorks Tutorials, All SolidWorks Tutorials (Ayuda, Tutoriales de SolidWorks, Todos los tutoriales de SolidWorks)**. Se reajusta el tamaño de la ventana de SolidWorks y se muestra una segunda ventana junto a ella con una lista de los tutoriales disponibles. Conforme mueve el puntero sobre los enlaces, se mostrará una imagen del tutorial en la parte inferior de la ventana. Haga clic en el enlace deseado para iniciar el tutorial.

### Convenciones

Establezca la resolución de pantalla en 1280x1024 para visualizar correctamente los tutoriales.

Los iconos siguientes aparecen en los tutoriales:

[Next](#) » Mueve a la pantalla siguiente del tutorial.

💡 Representa una nota o consejo. No es un enlace. La información se encuentra a la derecha del icono. Las notas y los consejos ofrecen pasos que ahorran tiempo y sugerencias útiles.

Screenshot of the SolidWorks Simulation Online Tutorials window. The window title is "SolidWorks Simulation Online Tutorial". It features a navigation bar with "Show", "Back", and "Print" buttons. The main content area has an orange header "SolidWorks Simulation Online Tutorials". Below the header, there is introductory text and a "Conventions" section. A table titled "Tutorials" lists various simulation types with their availability levels. At the bottom, there are 3D model thumbnails for "Frequency, Buckling, and Thermal Lessons".

Tutorials	
Static	Nonlinear (Premium)
Frequency, Buckling, and Thermal (Professional)	Fatigue (Professional)
Drop Test, and Pressure Vessel Design (Professional)	Linear Dynamics (Premium)
Design Studies	

Frequency, Buckling, and Thermal Lessons  
Examples on how to use SolidWorks Simulation to perform frequency, buckling, and thermal analyses.

 Puede hacer clic en la mayoría de botones de la barra de herramientas que aparecen en las lecciones para mostrar el botón de SolidWorks correspondiente. La primera vez que haga clic en el botón, se mostrará el mensaje de control de ActiveX: Un control ActiveX de esta página podría no ser seguro al interactuar con otras partes de la página. ¿Desea permitir esta interacción? Esta es una medida de precaución estándar. Los controles ActiveX de los tutoriales en línea no dañarán su sistema. Si hace clic en **No**, los scripts se deshabilitan para ese tema. Haga clic en **Sí** para ejecutar los scripts y mostrar el botón.

 **Open File (Abrir archivo)** o **Set this option (Establecer esta opción)** abre el archivo o establece la opción automáticamente.

 **Video example (Ejemplo en vídeo)** muestra un vídeo sobre este paso.

 **A closer look at... (Más detalles)** enlaza a más información sobre un tema. Aunque no es necesario para completar el tutorial, ofrece más detalles sobre el tema.

 **Why did I... (¿Por qué debería...?)** enlaza a más información acerca de un procedimiento y los motivos de un método dado. Esta información no es necesaria para completar el tutorial.

### Impresión de los tutoriales

Si lo desea, puede imprimir los tutoriales en línea siguiendo estos pasos:

1 En la barra de herramientas de navegación del tutorial, haga clic en

**Show (Mostrar)**  Show

De esta forma se muestra un índice de los tutoriales en línea.

2 Haga clic con el botón derecho del ratón en el libro que representa la lección que desea imprimir y seleccione **Print (Imprimir)** en el menú de accesos directos.

Aparece el cuadro de diálogo **Print Topics (Imprimir temas)**.

3 Seleccione **Print the selected heading and all subtopics (Imprimir el título seleccionado y todos los subtemas)**, y haga clic en **OK (Aceptar)**.

4 Repita este proceso para cada lección que desee imprimir.

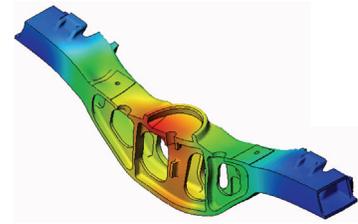
### Línea de productos de SolidWorks Simulation

---

Aunque este curso se centra en la introducción a la simulación lineal estática de cuerpos rígidos con SolidWorks Simulation, la línea de productos completa cubre una amplia gama de áreas de análisis a tener en cuenta. Los párrafos siguientes enumeran la oferta completa de los paquetes y módulos de SolidWorks Simulation.

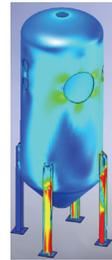
Los estudios estáticos proporcionan herramientas para el análisis de tensión lineal de piezas y ensamblajes cargados con cargas estáticas. Las preguntas típicas que se responderán con este tipo de estudio son:

- ¿Mi pieza se romperá bajo cargas funcionales normales?
- ¿El modelo está “diseñado en exceso”?
- ¿Mi diseño se puede modificar para aumentar el factor de seguridad?



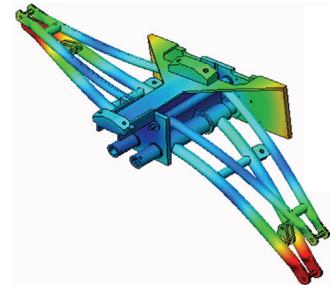
Los estudios de pandeo analizan el rendimiento de las piezas delgadas cargadas en compresión. Las preguntas típicas que se responderán con este tipo de estudio son:

- Las patas de mi recipiente son lo suficientemente fuertes para que no se venza su límite elástico, pero, ¿lo son como para no colapsar a causa de la pérdida de estabilidad?
- ¿Mi diseño se puede modificar para garantizar la estabilidad de los componentes delgados de mi ensamblaje?



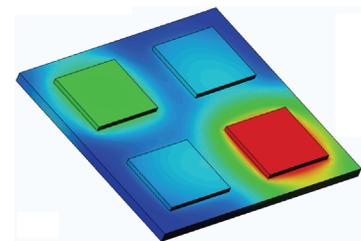
Los estudios de frecuencia ofrecen herramientas para el análisis de modos y frecuencias naturales. Esto es esencial en el diseño de muchos componentes cargados estática y dinámicamente. Las preguntas típicas que se responderán con este tipo de estudio son:

- ¿Mi pieza resonará bajo cargas funcionales normales?
- ¿Las características de frecuencia de mis componentes son adecuadas para la aplicación dada?
- ¿Mi diseño se puede modificar para mejorar las características de frecuencia?



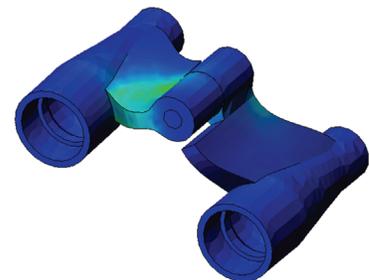
Los estudios térmicos ofrecen herramientas para el análisis de la transferencia térmica mediante conducción, convección y radiación. Las preguntas típicas que se responderán con este tipo de estudio son:

- ¿Los cambios de temperatura afectarán a mi modelo?
- ¿Cómo funciona mi modelo en un entorno con fluctuación de temperatura?
- ¿Cuánto tiempo tarda mi modelo en enfriarse o sobrecalentarse?
- ¿El cambio de temperatura provocará que mi modelo se expanda?
- ¿Las tensiones provocadas por el cambio de temperatura provocarán que mi producto falle (se usarán estudios estáticos, junto a estudios térmicos, para responder a esta pregunta)?



Los estudios de choque se usan para analizar la tensión de las piezas o ensamblajes móviles que impactan contra un obstáculo. Las preguntas típicas que se responderán con este tipo de estudio son:

- ¿Qué ocurrirá si mi producto no se maneja adecuadamente durante el transporte o se cae?
- ¿Cómo se comportará mi producto si se cae en un suelo de madera duro, una alfombra o cemento?



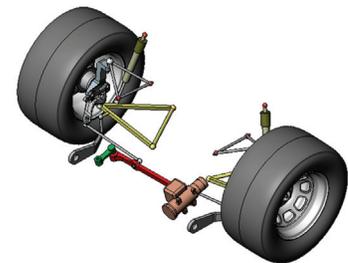
Se aplican estudios de optimización para mejorar (optimizar) su diseño inicial en función de un conjunto de criterios seleccionados, como la tensión máxima, el peso, la frecuencia óptima, etc. Las preguntas típicas que se responderán con este tipo de estudio son:



¿Se puede cambiar la forma de mi modelo manteniendo la finalidad del diseño?

¿Mi diseño se puede hacer más ligero, pequeño o económico sin comprometer la capacidad de rendimiento?

Los estudios de fatiga analizan la resistencia de las piezas y los ensamblajes cargados de forma repetida durante largos periodos de tiempo. Las preguntas típicas que se responderán con este tipo de estudio son:



¿La duración de la vida operativa de mi producto se puede calcular con precisión?

¿La modificación de mi diseño actual contribuirá a ampliar la vida del producto?

¿Mi modelo es seguro si se expone a cargas de temperatura o fuerza fluctuantes durante largos periodos de tiempo?

¿El rediseño de mi modelo ayudará a minimizar el daño provocado por las fuerzas o temperatura fluctuantes?

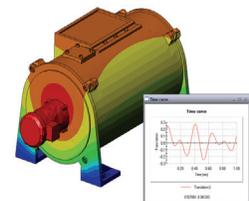
Los estudios no lineales ofrecen herramientas para analizar la tensión en piezas y ensamblajes que experimenten cargas importantes y/o grandes deformaciones. Las preguntas típicas que se responderán con este tipo de estudio son:



¿Las piezas de goma (por ejemplo, anillos tóricos) o de espuma tendrán un buen rendimiento bajo una carga determinada?

¿Mi modelo experimentará un plegado excesivo durante las condiciones de funcionamiento normales?

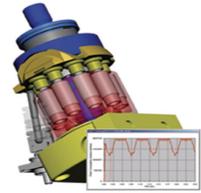
Los estudios dinámicos analizan objetos forzados por cargas que varían en el tiempo. Algunos ejemplos típicos pueden ser cargas de choque de componentes montados en vehículos, turbinas cargadas mediante fuerzas oscilatorias, componentes de aviones cargados aleatoriamente, etc. Se encuentran disponibles tanto linealmente (pequeñas deformaciones estructurales, modelos de material básico) y



no linealmente (grandes deformaciones estructurales, cargas importantes y materiales avanzados). Las preguntas típicas que se responderán con este tipo de estudio son:

¿Tienen un diseño seguro mis montajes cargados por cargas de choque cuando un vehículo pasa por un gran bache en la carretera? ¿Cuánto se deformará en estas circunstancias?

Motion Simulation permite al usuario analizar el comportamiento cinemático y dinámico de los mecanismos. Las fuerzas inerciales y de unión se pueden transferir posteriormente a los estudios de SolidWorks Simulation para continuar con el análisis de la tensión. Las preguntas típicas que se responderán con este módulo son:



¿Cuál es el tamaño correcto del motor o actuador para mi diseño?

¿El diseño de los eslabonamientos, los engranajes o los mecanismos de cierre es óptimo?

¿Cuáles son los desplazamientos, las velocidades y las aceleraciones de los componentes del mecanismo?

¿El mecanismo es eficaz? ¿Se puede mejorar?

El módulo de compuestos permite a los usuarios simular estructuras fabricadas con materiales compuestos laminados.

Las preguntas típicas que se responderán con este módulo son:

¿El modelo de compuestos falla con esta carga determinada?

¿Se puede aligerar la estructura usando materiales compuestos sin comprometer la fuerza y la seguridad?

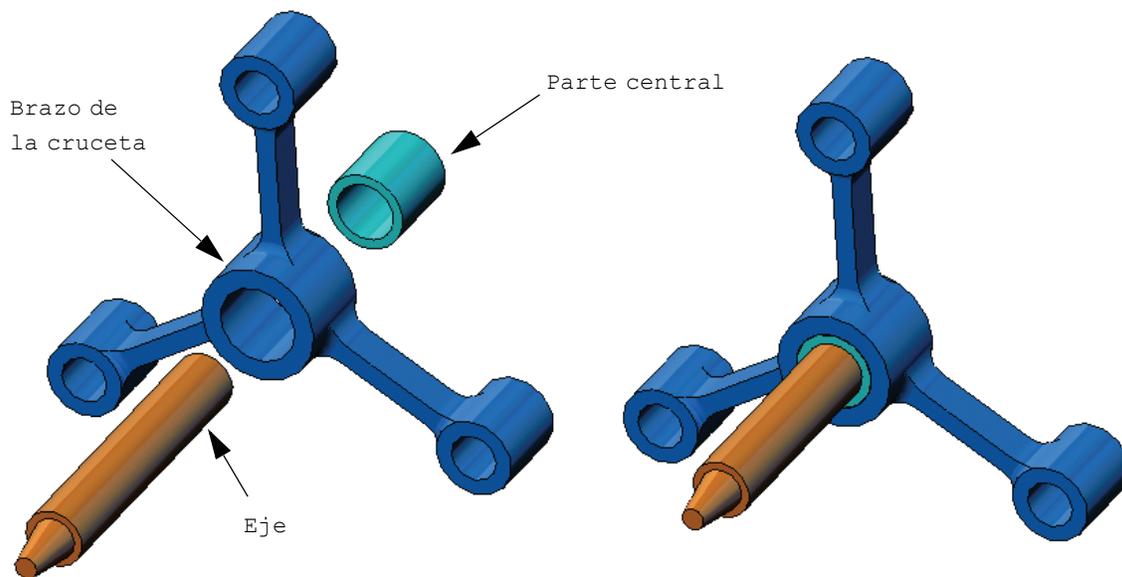
¿Se delaminará mi compuesto de capas?



## Lección 1: Funcionalidad básica de SolidWorks Simulation

---

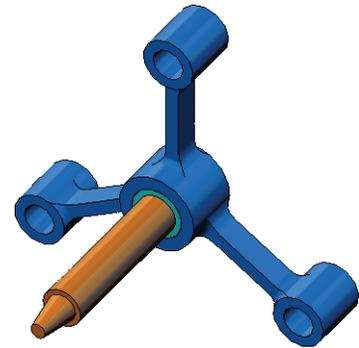
Una vez terminada correctamente esta lección, podrá comprender los conceptos básicos de SolidWorks Simulation y realizar análisis estáticos del siguiente ensamblaje.



## Ejercicio de aprendizaje activo: Realización de un análisis estático

Use SolidWorks Simulation para realizar un análisis estático del ensamblaje Spider .SLDASM que se muestra a la derecha.

A continuación, se proporcionan instrucciones paso a paso.



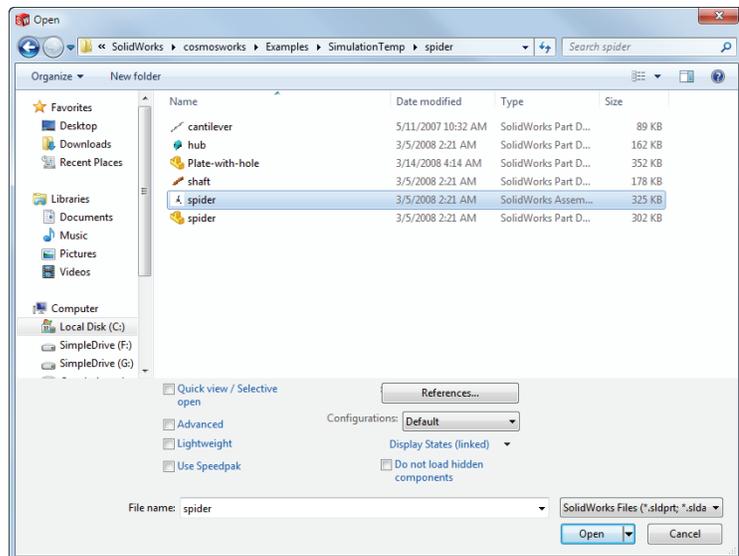
### Creación de un directorio SimulationTemp

Se recomienda guardar los Ejemplos de educación de SolidWorks Simulation en un directorio temporal a fin de guardar la copia original para su uso posterior.

- 1 Cree un directorio temporal denominado SimulationTemp en la carpeta Examples (Ejemplos) del directorio de instalación de SolidWorks Simulation.
- 2 Copie el directorio Ejemplos de educación de SolidWorks Simulation en el directorio SimulationTemp.

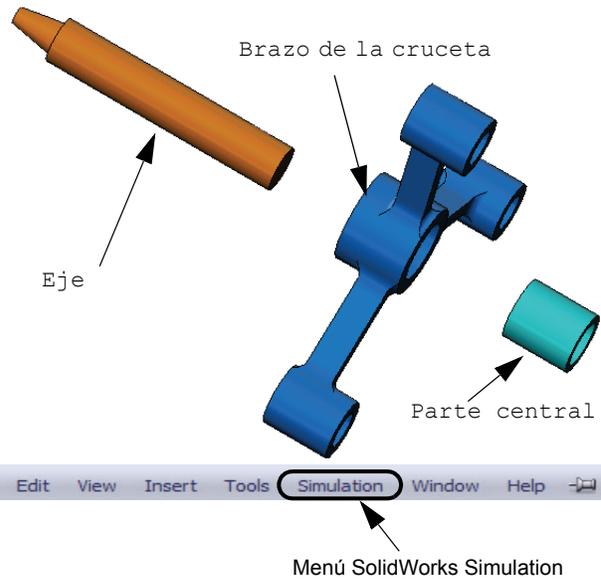
### Apertura del documento Spider .SLDASM

- 1 Haga clic en **Open (Abrir)**  en la barra de herramientas Standard (Estándar). Aparece el cuadro de diálogo **Open (Abrir)**.
- 2 Desplácese a la carpeta SimulationTemp del directorio de instalación de SolidWorks Simulation.
- 3 Seleccione Spider .SLDASM.
- 4 Haga clic en **Open (Abrir)**.



Se abre el ensamblaje spider.SLDASM.

El ensamblaje spider (crucea) tiene tres componentes: eje, parte central y brazo de la crucea. La figura que se incluye a continuación muestra los componentes del ensamblaje en una vista explosionada.



### Selección del menú SolidWorks Simulation

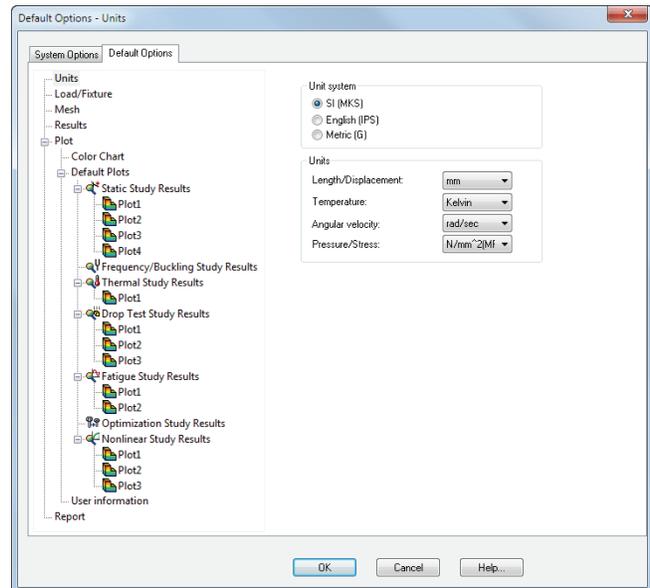
Si SolidWorks Simulation está instalado correctamente, aparece el menú SolidWorks Simulation en la barra de menús de SolidWorks. De lo contrario:

- 1 Haga clic en **Tools, Add-Ins** (Herramientas, Complementos).  
Aparece el cuadro de diálogo **Add-Ins** (Complementos).
- 2 Seleccione las casillas de verificación situadas junto a SolidWorks Simulation.  
Si SolidWorks Simulation no se encuentra en la lista, es necesario instalarlo.
- 3 Haga clic en **OK** (Aceptar).  
El menú Simulation aparecerá en la barra de menús de SolidWorks.

### Establecimiento de las unidades del análisis

Antes de empezar esta lección, estableceremos las unidades del análisis.

- 1 En la barra de menús de SolidWorks, haga clic en **Simulation, Options (Opciones)**.
- 2 Haga clic en la pestaña **Default Options** (Opciones predeterminadas).
- 3 Seleccione **SI (MKS)** en **Unit system (Sistema de unidades)**.
- 4 Seleccione **mm** y **N/mm<sup>2</sup> (MPa)** en los campos **Length/Displacement (Longitud/Desplazamiento)** y **Pressure/Stress (Presión/Tensión)**, respectivamente.
- 5 Haga clic en **OK** (Aceptar).



## Paso 1: Creación de un estudio

El primer paso para realizar un análisis consiste en crear un estudio.

- 1 Haga clic en **Simulation, Study (Estudio)** en el menú principal de SolidWorks en la parte superior de la pantalla.

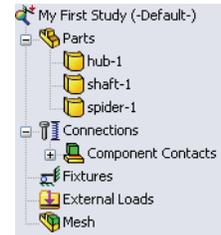
Aparece el PropertyManager **Study** (Estudio).

- 2 En **Name (Nombre)**, escriba My First Study (Mi primer estudio).

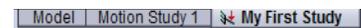
- 3 En **Type (Tipo)**, escriba **Static** (Estático).

- 4 Haga clic en **OK** (Aceptar).

SolidWorks Simulation crea un árbol de estudio de Simulation situado bajo el árbol de diseño de FeatureManager.



También se crea una pestaña en la parte inferior de la ventana para que navegue entre los distintos estudios y su modelo.



## Paso 2: Asignación de materiales

Todos los componentes del ensamblaje están hechos de acero aleado.

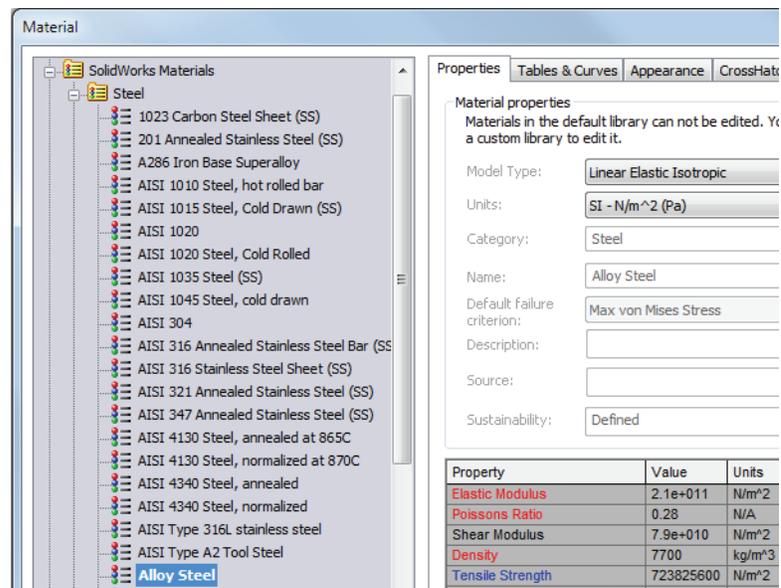
### Asignación de acero aleado a todos los componentes.

- 1 En el árbol de SolidWorks Simulation Manager, haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta Parts (Piezas) y haga clic en **Apply Material to All (Aplicar el material a todo)**.

Aparece el cuadro de diálogo Material.

- 2 Haga lo siguiente:

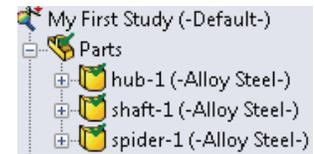
- a) Expanda la carpeta de la biblioteca SolidWorks Materials (Materiales de Solidworks).
- b) Expanda la categoría Steel (Acero).
- c) Seleccione **Alloy Steel** (Acero aleado).



**Nota:** Las propiedades mecánicas y físicas del acero aleado aparecen en la tabla situada a la derecha.

- 3 Haga clic en **Apply (Aplicar)**.
- 4 Cierre la ventana **Materials (Materiales)**.

El acero aleado se asigna a todos los componentes y aparece una marca de verificación al lado del icono de cada componente. Observe que el nombre del material asignado aparece al lado del nombre del componente.



### Paso 3: Aplicación de sujeciones

Repararemos los tres taladros.

- 1 Utilice las teclas de **flecha** para girar el ensamblaje como se muestra en la figura.
- 2 En el árbol de estudio de Simulation, haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta **Fixtures (Sujeciones)** y haga clic en **Fixed Geometry (Geometría fija)**.

Aparece el PropertyManager **Fixture**.

- 3 Asegúrese de que el **Type (Tipo)** esté establecido en **Fixed Geometry (Geometría fija)**.
- 4 En la zona de gráficos, haga clic en las caras de los tres taladros, que se indican en la figura que se muestra a continuación.

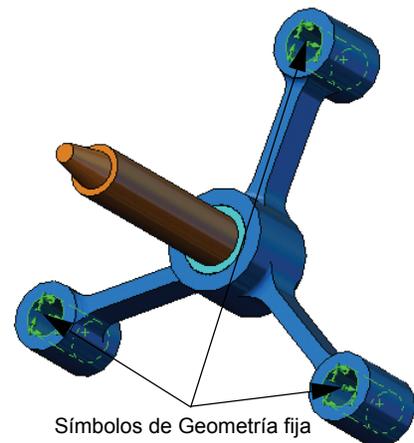


Aparecen **Face (Cara) <1>**, **Face (Cara) <2>** y **Face (Cara) <3>** en el cuadro **Faces, Edges, Vertices for Fixture (Caras, aristas o vértices para sujeción)**.

- 5 Haga clic en .

Se aplica la sujeción **Fixed (Fijo)** y sus símbolos aparecen en las caras seleccionadas.

Además, aparece un elemento **Fixed-1 (Fija 1)** en la carpeta **Fixtures (Sujeciones)** del árbol de estudio de Simulation. El nombre de la sujeción puede modificarse cuando lo desee.



## Paso 4: Aplicación de cargas

Aplicaremos una fuerza normal de 2.250 N (505,82 lbf) a la cara que se muestra en la figura.

1 Haga clic en el icono **Zoom to Area (Zoom encuadre)**  en la parte superior de la zona de gráficos y amplíe la pieza achaflanada del eje.

2 En el árbol de SolidWorks Simulation Manager, haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta **External Loads (Cargas externas)** y seleccione **Force (Fuerza)**.

Aparece el PropertyManager **Force/Torque (Fuerza/ Momento de torsión)**.

3 En la zona de gráficos, haga clic en la cara que se muestra en la figura.

Aparece **Face (Cara) <1>** en el cuadro de lista **Faces and Shell Edges for Normal Force (Caras y aristas de vaciado para fuerza normal)**.

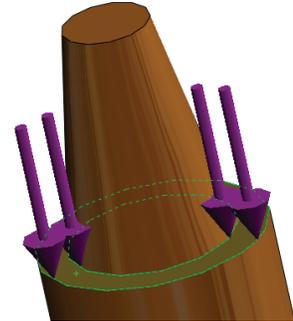
4 Asegúrese de que esté seleccionada la opción **Normal** como la dirección.

5 Asegúrese de que la opción **Units (Unidades)** esté establecida en **SI**.

6 En el cuadro **Force Value (Valor de fuerza)** , escriba **2.250**.

7 Haga clic en .

SolidWorks Simulation aplica la fuerza a la cara seleccionada y aparece el elemento **Force-1 (Fuerza-1)** en la carpeta **External Loads (Cargas externas)**.



### Para ocultar los símbolos de cargas y sujeciones

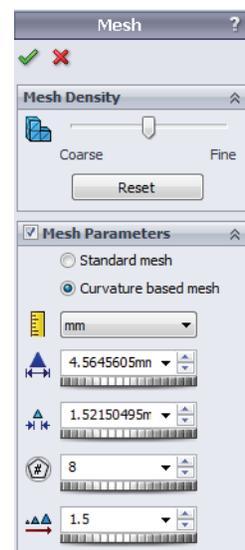
En el árbol SolidWorks Simulation Manager, haga clic con el botón derecho del ratón en **Fixtures (Sujeciones)** o en la carpeta **External Loads (Cargas externas)** y haga clic en **Hide All (Ocultar todo)**.

## Paso 5: Mallado del ensamblaje

El mallado divide el modelo en piezas más pequeñas denominadas elementos. Según las cotas geométricas del modelo, SolidWorks Simulation sugiere un tamaño de elemento predeterminado (en este caso, 4,564 mm) que puede modificarse según sea necesario.

1 En el árbol de estudio de Simulation, haga clic con el botón derecho del ratón en el icono **Mesh (Malla)** y seleccione **Create Mesh (Crear malla)**.

Aparece el PropertyManager **Mesh (Malla)**.

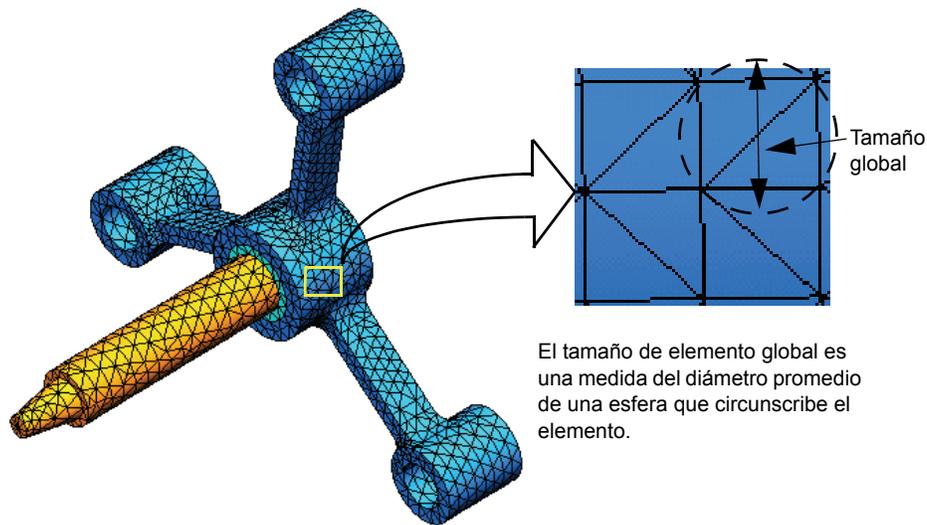


2. Expanda **Mesh Parameters (Parámetros de malla)** seleccionando la casilla de verificación.

Asegúrese de que la opción **Curvature based mesh (Malla basada en curvatura)** esté seleccionada.

Mantenga los valores predeterminados de **Maximum element size (Tamaño máximo de elemento)** , **Minimum element size (Tamaño mínimo de elemento)** , **Min number of elements in a circle (N.º mín. de elementos en un círculo)**  y **Element size growth ratio (Cociente de crecimiento del tamaño del elemento)**  sugeridos por el programa.

3. Haga clic en **OK (Aceptar)** para comenzar el mallado.



### Paso 6: Ejecución del análisis

En el árbol de estudio de Simulation, haga clic con el botón derecho del ratón en el icono *My First Study* (Mi primer estudio) y haga clic en **Run (Ejecutar)** para iniciar el análisis.

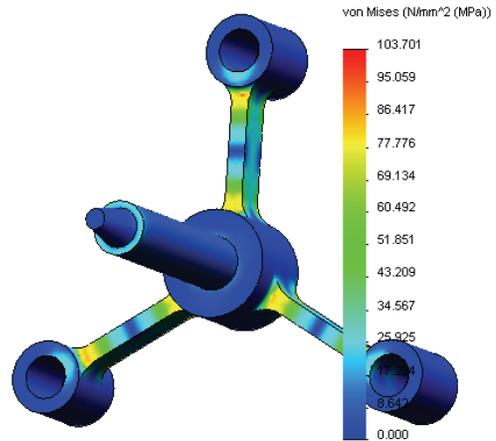
Cuando el análisis termina, SolidWorks Simulation crea automáticamente trazados de resultados predeterminados guardados en la carpeta *Results* (Resultados).

## Paso 7: Visualización de los resultados

### Tensión de von Mises

- Haga clic en el signo “más”  situado junto a la carpeta Results (Resultados). Aparecen todos los iconos de los trazados predeterminados.

**Nota:** Si no aparece ningún trazado predeterminado, haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta Results (Resultados) y seleccione **Define Stress Plot (Definir trazado de tensiones)**. Establezca las opciones en el PropertyManager y haga clic en .



- Haga doble clic en Stress1 (-vonMises-) (Tensión 1) para mostrar el trazado de tensiones.

**Nota:** Para mostrar la anotación que indica los valores mínimos y máximos en el trazado, haga doble clic en la leyenda y seleccione las casillas de verificación **Show min annotation (Mostrar una anotación mínima)** y **Show max annotation (Mostrar una anotación máxima)**. Luego, haga clic en .

### Animación del trazado

- Haga clic con el botón derecho del ratón en Stress1 (-vonMises-) (Tensión 1) y haga clic en **Animate (Animar)**.

Aparece el PropertyManager **Animation (Animación)** y la animación se inicia automáticamente.

- Detenga la simulación haciendo clic en el botón **Stop (Detener)** .

La animación se debe detener para guardar el archivo .avi en el disco.

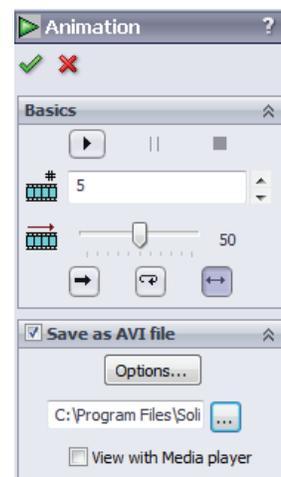
- Seleccione **Save as AVI File (Guardar como archivo AVI)**, haga clic en  para examinar y seleccione la carpeta de destino en la que se guardará el archivo .avi.

- Haga clic en  para **Play (Reproducir)** la animación.

La animación se reproduce en el área de gráficos.

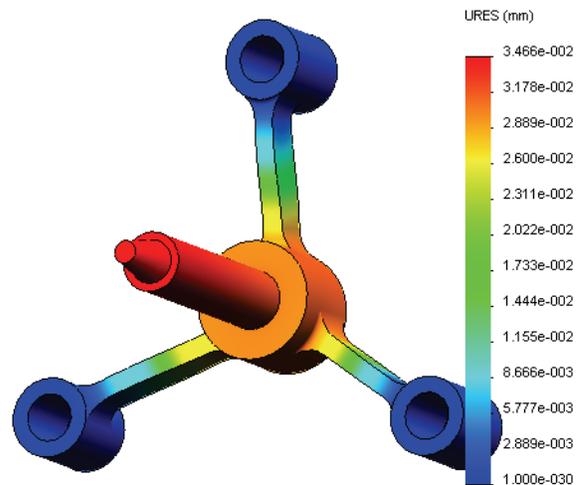
- Haga clic en  para **Stop (Detener)** la animación.

- Haga clic en  para cerrar el PropertyManager **Animation (Animación)**.



## Visualización de los desplazamientos resultantes

- 1 Haga doble clic en Displacement1 (--Res disp-) (Desplazamiento 1) para mostrar el trazado de desplazamientos resultante.



## ¿Es seguro el diseño?

El **Factor of Safety wizard (Asistente para Factor de seguridad)** puede ayudarle a responder a esta pregunta. Utilizaremos el asistente para calcular el factor de seguridad en todos los puntos del modelo. En el proceso, necesitará seleccionar un criterio de fallos del límite elástico.

- 1 Haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta Results (Resultados) y seleccione **Define Factor of Safety Plot (Definir factor de trazado de seguridad)**.

Aparece el **PropertyManager Factor of Safety wizard (Asistente para Factor de seguridad) Step 1 of 3 (Paso 3 de 3)**.

- 2 En **Criterion (Criterio)** , haga clic en **Max von Mises stress (Tensión de von Mises máx)**.

---

**Nota:** Hay varios criterios de límite elástico disponibles. El criterio von Mises suele usarse para comprobar fallos de límite elástico de materiales dúctiles.

---



- Haga clic en  **Next (Siguiente)**.

Aparece el **PropertyManager** Factor of Safety wizard (Asistente para Factor de seguridad) **Step 2 of 3 (Paso 3 de 3)**.

- Establezca **Units (Unidades)**  en **N/mm<sup>2</sup> (MPa)**.

- En **Set stress limit to (Establecer límite de tensión)**, seleccione **Yield strength (Límite elástico)**.

---

**Nota:** Cuando el material cede, sigue deformándose en forma plástica a mayor velocidad. En un caso extremo, puede continuar deformándose aunque no se aumente la carga.

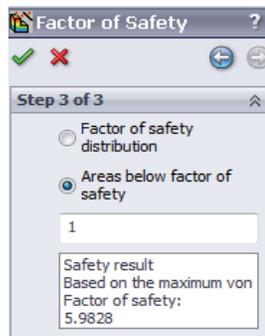
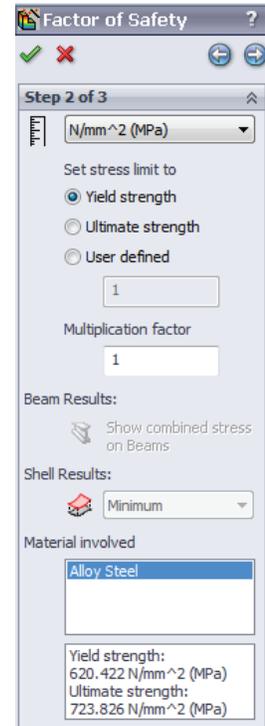
---

- Haga clic en  **Next (Siguiente)**.

Aparece el **PropertyManager** Factor of Safety wizard (Asistente para Factor de seguridad) **Step 3 of 3 (Paso 3 de 3)**.

- Seleccione **Areas below factor of safety (Áreas por debajo del factor de seguridad)** e introduzca **1**.

- Haga clic en  para generar el trazado.



Inspeccione el modelo y busque las áreas no seguras que se muestran en rojo. Puede observarse que el trazado no tiene ninguna parte en color rojo, lo que indica que todas las ubicaciones son seguras.

## ¿Cuán seguro es el diseño?

- 1 Haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta **Results** (Resultados) y seleccione **Define Factor of Safety Plot (Definir factor de trazado de seguridad)**.

Aparece el PropertyManager **Factor of Safety** wizard (Asistente para Factor de seguridad) **Step 1 of 3 (Paso 1 de 3)**.

- 2 En la lista **Criterion (Criterio)**, seleccione **Max von Mises stress (Tensión de von Mises máx)**.

- 3 Haga clic en **Next (Siguiente)**.

Aparece el PropertyManager **Factor of Safety** wizard (Asistente para Factor de seguridad) **Step 2 of 3 (Paso 1 de 3)**.

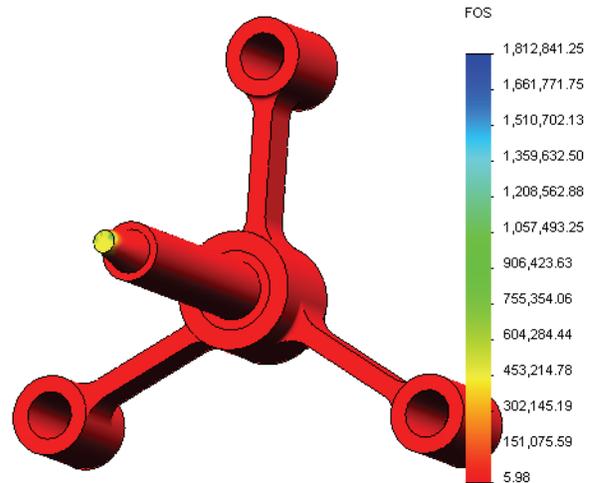
- 4 Haga clic en **Next (Siguiente)**.

Aparece el PropertyManager **Factor of Safety** wizard (Asistente para Factor de seguridad) **Step 3 of 3 (Paso 1 de 3)**.

- 5 En **Plot results (Trazado de resultados)**, haga clic en **Factor of safety distribution (Distribución del factor de seguridad)**.

- 6 Haga clic en .

El trazado generado muestra la distribución del factor de seguridad. El factor más pequeño de seguridad es aproximadamente de 5,98.

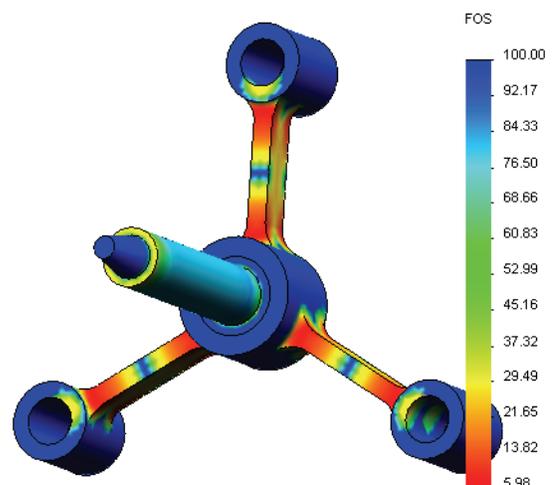


**Nota:** Un factor de seguridad de 1,0 en una ubicación significa que el material está alcanzando el límite elástico. Por ejemplo, un factor de seguridad de 2,0 significa que el diseño es seguro en esa ubicación y que el material alcanzará el límite elástico si dobla las cargas.

Puesto que algunas regiones del modelo experimentan muy poca tensión, el valor máximo del factor de seguridad es muy alto (por encima de 1.800.000). Para que el trazado sea más significativo, cambiaremos el valor máximo de la leyenda a 100.

- 7 Haga doble clic en la leyenda, haga clic en **Defined (Definido)** y escriba **100** en el campo **Max (Máx.)**.

- 8 Haga clic en  para mostrar el trazado modificado.



## Guardado de todos los trazados generados

- 1 Haga clic con el botón derecho del ratón en el icono **My First Study** (Mi primer estudio) y haga clic en **Save all plots as JPEG files (Guardar todos los trazados como imágenes .jpeg)**.

Aparece la ventana **Browse for Folder (Buscar carpeta)**.

- 2 Vaya al directorio donde desee guardar todos los trazados de resultados.
- 3 Haga clic en **OK** (Aceptar).

## Generación de un informe del estudio

La utilidad **Report (Informe)** le ayuda a documentar su trabajo rápida y sistemáticamente para cada estudio. El programa genera informes estructurados preparados como documentos de Word que describen todos los aspectos relacionados con el estudio.

- 1 Haga clic en **Simulation (Simulación), Report (Informe)** en el menú principal de SolidWorks en la parte superior de la pantalla.

Aparece el cuadro de diálogo **Report Options (Opciones de informe)**.

La sección **Report sections (Secciones de informe)** le permite elegir secciones que se incluirán en el informe generado. Utilice casillas de verificación al lado de cada sección para incluirla o excluirla del informe.

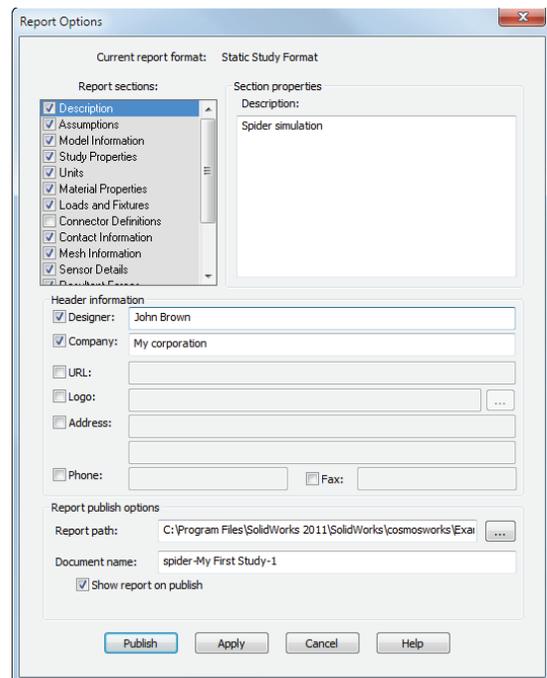
- 2 Es posible personalizar cada sección del informe. Por ejemplo, seleccione la sección **Description (Descripción)** en **Report sections (Secciones de informe)** y escriba el texto que desee en el campo **Section properties (Propiedades de sección)**.

El resto de las secciones se personalizarían de la misma manera.

- 3 Los nombres de **Designer (Diseñador)** y **Company (Empresa)**, **Logo (Logotipo)** y otra información de propiedad se introduce en la sección **Header information (Información de encabezado)**.

Tenga en cuenta que los formatos aceptables para los archivos de logotipo son **archivos JPEG (\*.jpg)**, **archivos GIF (\*.gif)**, o **archivos de mapa de bits (\*.bmp)**.

- 4 En **Report publishing options (Opciones de publicación de informe)**, especifique en **Report path** la ruta de acceso al informe donde el documento de Word se guardará y seleccione la casilla de verificación **Show report on publish (Mostrar informe al publicar)**.



**5 Haga clic en Publish (Publicar).**

El informe se abre en su documento de Word. Para completar el informe, edite el documento de Word según sea necesario.

Además, el programa crea un icono  en la carpeta Report (Informe) del árbol de SolidWorks Simulation Manager.

Para modificar cualquier sesión del informe, haga clic con el botón derecho del ratón en el icono del informe y haga clic en **Edit Definition (Editar definición)**. Modifique la sección y haga clic en **OK (Aceptar)** para reemplazar el informe existente.

**Paso 8: Guardado del trabajo y salida de SolidWorks**

- 1 Haga clic en  en la barra de herramientas **Standard (Estándar)** o haga clic en **File, Save (Archivo, Guardar)**.
- 2 Haga clic en **File, Exit (Archivo, Salir)** en el menú principal.

## Evaluación de cinco minutos

---

- 1 ¿Cómo inicia una sesión de SolidWorks Simulation?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 2 ¿Qué hace si el menú SolidWorks Simulation no está en la barra de menús de SolidWorks?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 3 ¿Qué tipos de documento puede analizar SolidWorks Simulation? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 4 ¿Qué es un análisis? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 5 ¿Por qué es importante un análisis? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 6 ¿Qué es un estudio de análisis? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 7 ¿Qué tipo de análisis puede realizar SolidWorks Simulation? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 8 ¿Qué calcula un análisis estático? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 9 ¿Qué es la tensión? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 10 ¿Cuáles son los pasos principales para realizar un análisis? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 11 ¿Cómo puede cambiar el material de una pieza? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 12 En el asistente para Verificación de diseño se muestra un factor de seguridad de 0,8 en algunas ubicaciones. ¿Es seguro el diseño? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## Proyectos: Deflexión de una viga debido a una fuerza final

Algunos problemas simples tienen respuestas exactas. Uno de estos problemas es una viga cargada por una fuerza en su extremo como se muestra en la figura. Utilizaremos SolidWorks Simulation para solucionar este problema y comparar los resultados con la solución exacta.

### Tareas

1 Abra el archivo `Front_Cantilever.sldprt` ubicado en la carpeta `Examples (Ejemplos)` del directorio de instalación de SolidWorks Simulation.

2 Mida la anchura, la altura y la longitud de la viga voladiza.

3 Guarde la pieza con otro nombre.

4 Cree un estudio **Static (Estático)**.

5 Asigne **Alloy Steel (Acero aleado)** a la pieza. ¿Cuál es el valor del módulo elástico en psi?

**Respuesta:** \_\_\_\_\_

6 Repare una de las caras de los extremos de la viga voladiza.

7 Aplique una fuerza descendente a la arista superior de la otra cara del extremo con una magnitud de **500 N**.

8 Malle la pieza y ejecute el análisis.

9 Trace el desplazamiento en la dirección Y. ¿Cuál es el desplazamiento Y máximo en el extremo libre de la viga voladiza?

**Respuesta:** \_\_\_\_\_

10 Calcule el desplazamiento vertical teórico en el extremo libre con la siguiente fórmula:

$$UY_{Theory} = \frac{4FL^3}{Ewh^3}$$

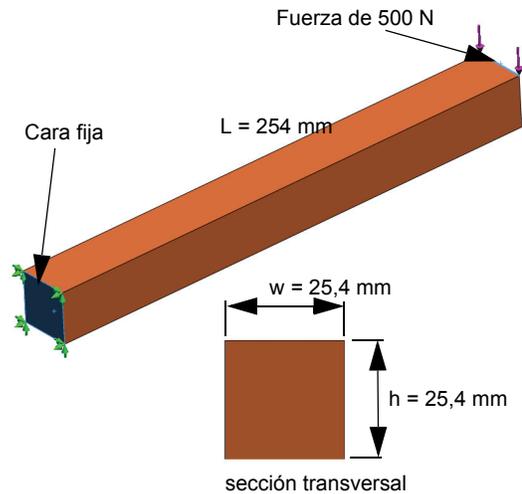
donde  $F$  es la fuerza,  $L$  es la longitud de la viga,  $E$  es el módulo de elasticidad,  $w$  y  $h$  son la anchura y la altura de la viga respectivamente.

**Respuesta:** \_\_\_\_\_

11 Calcule el error en el desplazamiento vertical con la siguiente fórmula:

$$ErrorPercentage = \left( \frac{UY_{Theory} - UY_{COSMOS}}{UY_{Theory}} \right) 100$$

**Respuesta:** \_\_\_\_\_



## Hoja de vocabulario de la lección 1

---

Nombre: \_\_\_\_\_ Clase: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

*Complete los espacios en blanco con las palabras adecuadas.*

- 1 Secuencia de creación de un modelo en SolidWorks, fabricación y prueba de un prototipo: \_\_\_\_\_
- 2 Escenario *hipotético* de tipo de análisis, materiales, cargas y sujeciones: \_\_\_\_\_
- 3 Método que SolidWorks Simulation utiliza para realizar análisis: \_\_\_\_\_
- 4 Tipo de estudio que calcula los desplazamientos, las deformaciones unitarias y las tensiones: \_\_\_\_\_
- 5 Proceso de subdivisión del modelo en pequeñas piezas: \_\_\_\_\_
- 6 Piezas pequeñas de formas simples creadas durante el mallado: \_\_\_\_\_
- 7 Elementos que comparten puntos comunes: \_\_\_\_\_
- 8 Fuerza que actúa en un área dividida por esa área: \_\_\_\_\_
- 9 Colapso repentino de diseños alargados debido a cargas axiales de compresión: \_\_\_\_\_
- 10 Estudio que calcula el calor que alcanza un diseño: \_\_\_\_\_
- 11 Número que proporciona una descripción general del estado de tensión: \_\_\_\_\_
- 12 Tensiones normales en planos en los que las tensiones de cortadura desaparecen: \_\_\_\_\_
- 13 Frecuencias en las que un sólido tiende a vibrar: \_\_\_\_\_
- 14 Tipo de análisis que puede ayudarle a evitar la resonancia: \_\_\_\_\_

## Cuestionario de la lección 1

---

Nombre: \_\_\_\_\_ Clase: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

*Instrucciones: Responda a cada pregunta escribiendo la respuesta correcta en el espacio proporcionado.*

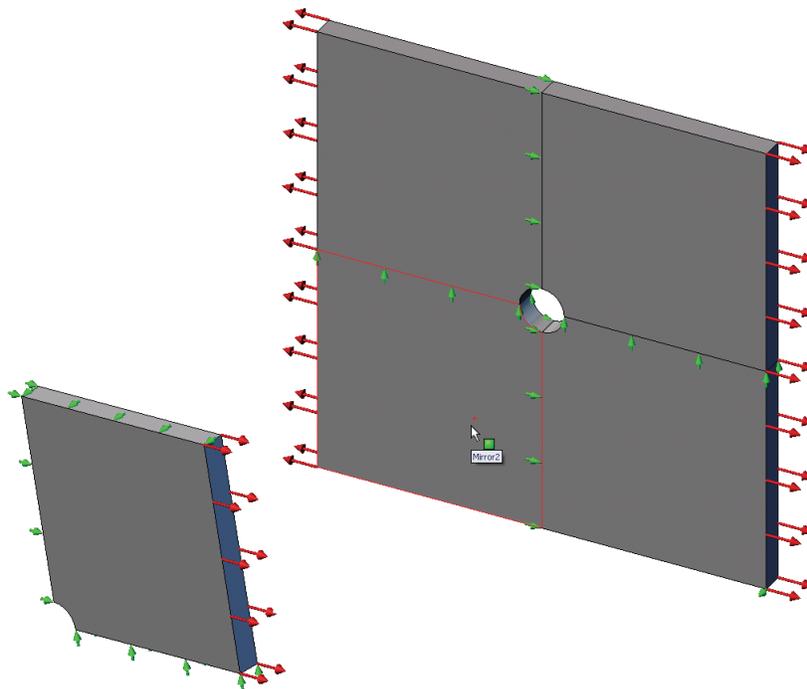
- 1 La prueba del diseño se realiza creando un estudio. ¿Qué es un estudio? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 2 ¿Qué tipo de análisis puede realizar SolidWorks Simulation? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 3 Después de obtener los resultados de un estudio, cambió el material, las cargas y/o las sujeciones. ¿Debe volver a mallar? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 4 Después de mallar un estudio, cambió la geometría. ¿Debe volver a mallar el modelo? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 5 ¿Cómo crea un estudio estático? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 6 ¿Qué es una malla? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 7 En un ensamblaje ¿cuántos iconos prevé ver en la carpeta Solids (Sólidos)? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



## Lección 2: Métodos adaptativos en SolidWorks Simulation

---

Una vez que esta lección se complete correctamente, usted podrá (a) utilizar métodos adaptativos para mejorar la precisión de los resultados y (b) aplicar sujeciones de simetría para analizar un cuarto de su modelo original.



Calculará las tensiones de una chapa cuadrada de 500 mm x 500 mm x 25 mm (19,68 pulg. x 19,68 pulg. x 0,98 pulg.) con un taladro de 25 mm (0,98 pulg.) de radio en el centro. La chapa está sometida a una presión de tracción de 1 MPa (145,04 psi).

Comparará la concentración de tensión en el taladro con los resultados teóricos conocidos.

## Ejercicio de aprendizaje activo: Parte 1

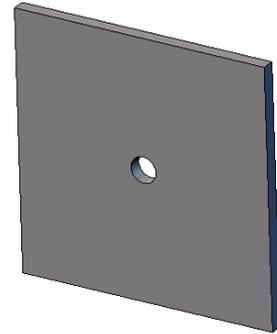
---

Use SolidWorks Simulation para realizar un análisis estático de la pieza `Plate-with-hole.SLDPRT` que se muestra a la derecha.

Calculará las tensiones de una chapa cuadrada de 500 mm x 500 mm x 25 mm (19,68 pulg. x 19,68 pulg. x 0,98 pulg.) con un taladro de 25 mm (0,98 pulg.) de radio en el centro. La chapa está sometida a una presión de tracción de 1 MPa (145,04 psi).

Comparará la concentración de tensión en el taladro con los resultados teóricos conocidos.

A continuación, se proporcionan instrucciones paso a paso.



### Creación del directorio `Simulationtemp`

Se recomienda guardar los Ejemplos de educación de SolidWorks Simulation en un directorio temporal a fin de guardar la copia original para su uso posterior.

- 1 Cree un directorio temporal denominado `Simulationtemp` en la carpeta `Examples` (Ejemplos) del directorio de instalación de SolidWorks Simulation.
- 2 Copie el directorio `SolidWorks Simulation Education Examples` (Ejemplos de educación de SolidWorks Simulation) en el directorio `Simulationtemp`.

### Apertura del documento `Plate-with-hole.SLDPRT`

- 1 Haga clic en **Open**  (Abrir) en la barra de herramientas Standard (Estándar). Aparece el cuadro de diálogo **Open** (Abrir).
- 2 Desplácese a la carpeta `Simulationtemp` del directorio de instalación de SolidWorks Simulation.
- 3 Seleccione `Plate-with-hole.SLDPRT`.
- 4 Haga clic en **Open** (Abrir).

La pieza `Plate-with-hole.SLDPRT` se abre.

Observe que la pieza tiene dos configuraciones: (a) `Quarter plate` (Cuarto de chapa) y (b) `Whole plate` (Chapa completa). Asegúrese de que la configuración `Whole plate` se encuentre activa.

---

**Nota:** Las configuraciones del documento se incluyen en la pestaña `ConfigurationManager`  en la parte superior del panel izquierdo.

---

## Selección del menú SolidWorks Simulation

Si SolidWorks Simulation tiene los complementos adecuados, aparece el menú SolidWorks Simulation en la barra de menús de SolidWorks. De lo contrario:



- 1 Haga clic en **Tools, Add-Ins** (Herramientas, Complementos).  
Aparece el cuadro de diálogo **Add-Ins** (Complementos).
- 2 Seleccione las casillas de verificación situadas junto a SolidWorks Simulation.  
Si SolidWorks Simulation no se encuentra en la lista, necesita instalar SolidWorks Simulation.
- 3 Haga clic en **OK** (Aceptar).  
El menú SolidWorks Simulation aparecerá en la barra de menús de SolidWorks.

## Establecimiento de las unidades del análisis

Antes de empezar esta lección, estableceremos las unidades del análisis.

- 1 Haga clic en **Simulation, Options** (Opciones).
- 2 Haga clic en la pestaña **Default Options** (Opciones predeterminadas).
- 3 Seleccione **SI (MKS)** en **Unit system (Sistema de unidades)** y **mm** y **N/mm<sup>2</sup> (MPa)** como unidades de longitud y tensión, respectivamente.
- 4 Haga clic en .

## Paso 1: Creación de un estudio

El primer paso para realizar un análisis consiste en crear un estudio.

- 1 Haga clic en **Simulation, Study** (Estudio) en el menú principal de SolidWorks en la parte superior de la pantalla.  
Aparece el PropertyManager **Study** (Estudio).
- 2 En **Name** (Nombre), escriba `Whole plate` (Chapa completa).
- 3 En **Type** (Tipo), escriba **Static** (Estático).
- 4 Haga clic en .

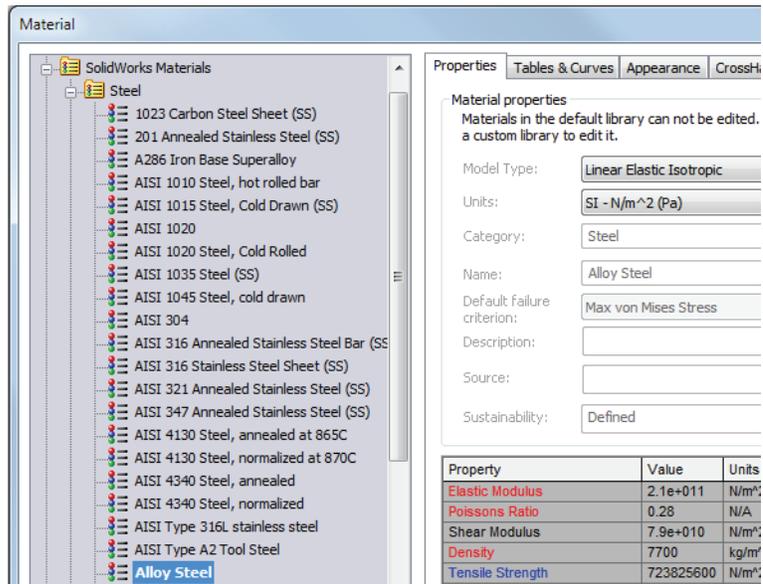
SolidWorks Simulation crea un árbol de estudio de Simulation situado bajo el árbol de diseño de FeatureManager.

## Paso 2: Asignación de materiales

### Asignación de acero aleado

- 1 En el árbol de SolidWorks Simulation Manager, haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta `Plate-with-hole` (Chapa con orificio) y haga clic en **Apply Material to All Bodies** (Aplicar material a todos los sólidos).

Aparece el cuadro de diálogo **Material**.



- 2 Haga lo siguiente:
  - a) Expanda la carpeta de la biblioteca SolidWorks Materials (Materiales de Solidworks).
  - b) Expanda la categoría Steel (Acero).
  - c) Seleccione **Alloy Steel** (Acero aleado).

**Nota:** Las propiedades mecánicas y físicas del acero aleado aparecen en la tabla situada a la derecha.

- 3 Haga clic en **OK** (Aceptar).

## Paso 3: Aplicación de sujeciones

Aplice sujeciones para evitar las rotaciones fuera del plano y los movimientos de cuerpos libres.

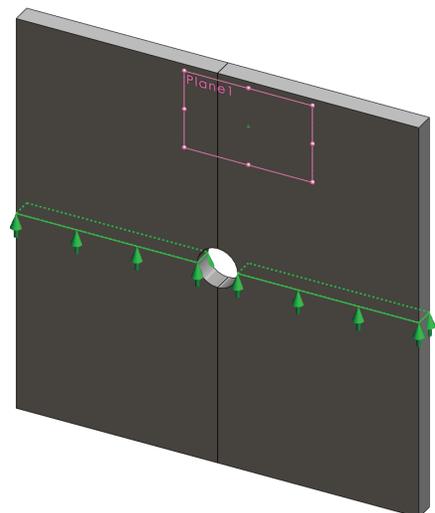
- 1 Presione la barra espaciadora y seleccione **\*Trimetric** (Trimétrica) en el menú **Orientation** (Orientación).

La orientación del modelo es como puede verse en la figura.

- 2 En el árbol de estudio de Simulation, haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta `Fixtures` (Sujeciones) y haga clic en **Advanced Fixtures** (Sujeciones avanzadas).

Aparece el PropertyManager **Fixture**.

- 3 Asegúrese de que la opción **Type** (Tipo) esté establecida en **Use Reference Geometry** (Utilizar geometría de referencia).

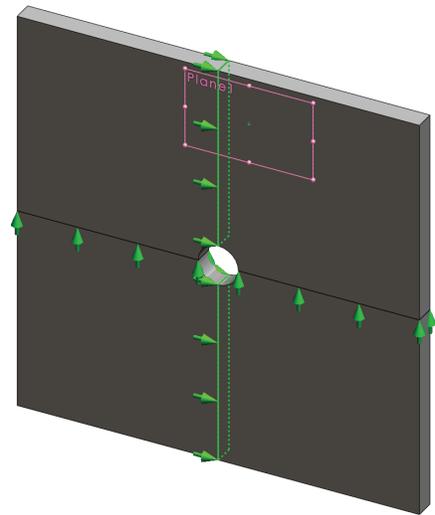


- 4 En la zona de gráficos, seleccione las 8 aristas que se muestran en la figura.  
Aparecen de Edge<1> a Edge<8> en el cuadro **Faces, Edges, Vertices for Fixture** (Caras, aristas o vértices para sujeción).
- 5 Haga clic en el cuadro **Face, Edge, Plane, Axis for Direction** (Cara, arista, plano o eje para dirección) y seleccione Plane1 (Plano 1) en el árbol de FeatureManager desplegable.
- 6 En **Translations** (Traslaciones), seleccione **Along plane Dir 2**  (A lo largo del plano Dir. 2).
- 7 Haga clic en .

Las sujeciones se aplican y sus símbolos aparecen en las aristas seleccionadas.

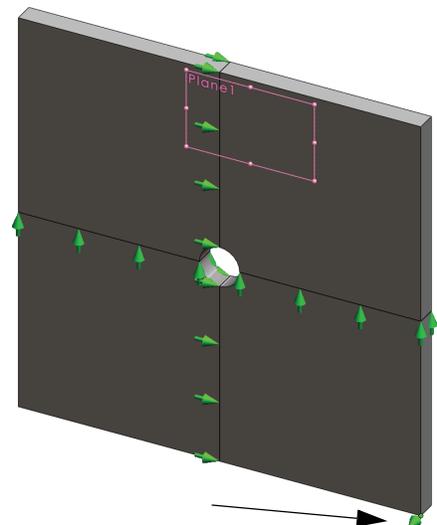
Además, aparece un icono de sujeción  (Reference Geometry-1) (Geometría de referencia-1) en la carpeta **Fixtures** (Sujeciones).

De forma similar, siga los pasos 2 al 7 para aplicar sujeciones al conjunto vertical de aristas como se muestra en la figura para restringir las 8 aristas **Along plane Dir 1**  (A lo largo del plano Dir. 1) de Plane1 (Plano 1).



Para evitar el desplazamiento del modelo en la dirección Z global, se debe definir una sujeción en el vértice que se muestra en la figura a continuación.

- 1 En el árbol de SolidWorks Simulation Manager, haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta **Fixtures** (Sujeciones) y haga clic en **Advanced Fixtures** (Sujeciones avanzadas).  
Aparece el PropertyManager **Fixture**.
- 2 Asegúrese de que la opción **Type** (Tipo) esté establecida en **Use reference geometry** (Utilizar geometría de referencia).
- 3 En la zona de gráficos, haga clic en el vértice que se muestra en la figura.  
Aparece **Vertex (Vértice) <1>** en el cuadro **Faces, Edges, Vertices for Fixture** (Caras, aristas o vértices para sujeción).



- Haga clic en el cuadro **Face, Edge, Plane, Axis for Direction** (Cara, arista, plano o eje para dirección) y seleccione `Plane1` (Plano 1) en el árbol de FeatureManager desplegable.
- En **Translations** (Traslaciones), seleccione **Normal to Plane**  (**Normal al plano**).
- Haga clic en .

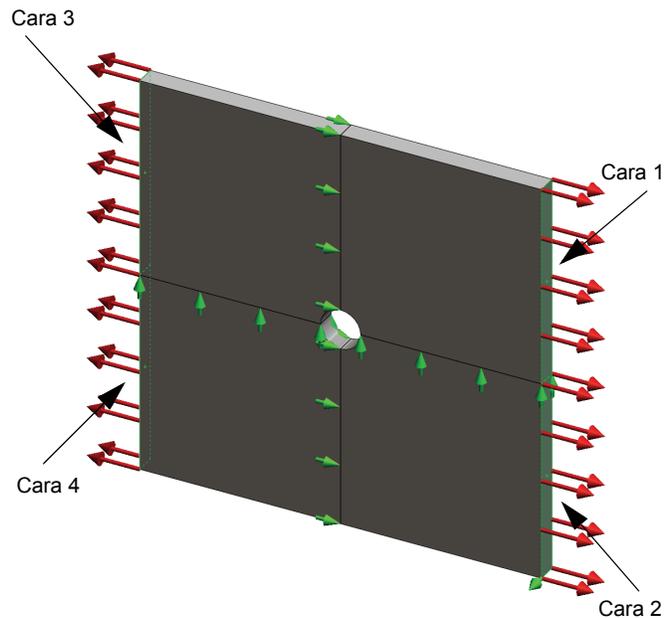
#### Paso 4: Aplicación de presión

Aplique una presión de 1 MPa (145,04 psi) normal a las caras como se muestra en la figura.

- En el árbol de SolidWorks Simulation Manager, haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta **External Loads** (Cargas externas) y haga clic en **Pressure** (Presión).

Aparece el PropertyManager **Pressure**.

- En **Type** (Tipo), seleccione **Normal to selected face** (Normal a la cara seleccionada).
- En la zona de gráficos, seleccione las cuatro caras que se muestran en la figura.



Aparecen de Face (Cara) <1> a Face (Cara) <4> en el cuadro de lista **Faces for Pressure** (Caras para presión).

- Asegúrese de que la opción **Units (Unidades)** esté establecida en **N/mm<sup>2</sup> (MPa)**.
- En el cuadro **Pressure value** (Valor de presión) , escriba **1**.
- Marque la casilla **Reverse direction** (Invertir dirección).
- Haga clic en .

SolidWorks Simulation aplica la presión normal a las caras seleccionadas y aparece el icono `Pressure-1` (Presión-1)  en la carpeta **External Loads** (Cargas externas).

#### Para ocultar los símbolos de cargas y sujeciones

En el árbol SolidWorks Simulation Manager, haga clic con el botón derecho del ratón en **Fixtures** (Sujeciones) o en la carpeta **External Loads** (Cargas externas) y haga clic en **Hide All (Ocultar todo)**.

### Paso 5: Mallado del modelo y ejecución del estudio

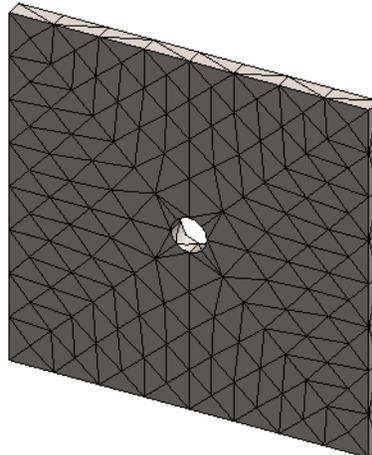
El mallado divide el modelo en piezas más pequeñas denominadas elementos. Según las cotas geométricas del modelo, SolidWorks Simulation sugiere un tamaño de elemento predeterminado que puede modificarse según sea necesario.

- 1 En el árbol de SolidWorks Simulation Manager, haga clic con el botón derecho del ratón en el icono Mesh (Malla) y seleccione **Create Mesh (Crear malla)**.  
Aparece el PropertyManager **Mesh (Malla)**.
- 2 Expanda **Mesh Parameters (Parámetros de malla)** seleccionando la casilla de verificación.  
Asegúrese de que la opción **Curvature based mesh (Malla basada en curvatura)** esté seleccionada.
- 3 Escriba **50 mm** para **Maximum element size (Tamaño máximo de elemento)**  y acepte los valores predeterminados para el resto de los parámetros [**Minimum element size (Tamaño mínimo de elemento)** , **Min number of elements in a circle (N.º mín. de elementos en un círculo)**  y **Element size growth ratio (Cociente de crecimiento del tamaño del elemento)** ].
- 4 Marque **Run (solve) the analysis (Ejecutar (solucionar) el análisis)** en **Options (Opciones)** y haga clic en .

---

**Nota:** Para ver el trazado de la malla, haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta Mesh (Malla) y seleccione **Show Mesh (Mostrar malla)**

---



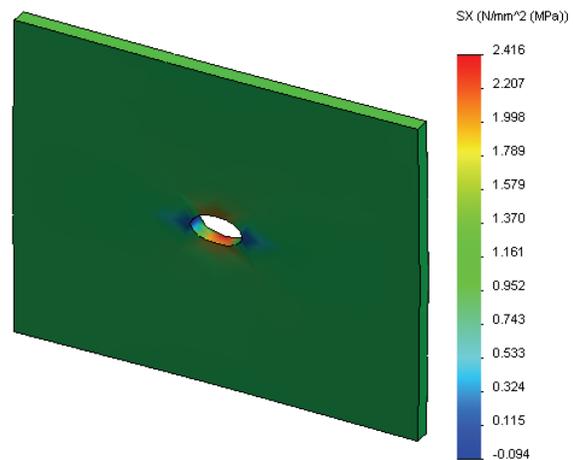
## Paso 6: Visualización de los resultados

### Tensión normal en la dirección X global.

- 1 Haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta **Results** (Resultados)  y seleccione **Define Stress Plot (Definir trazado de tensiones)**.  
Aparece el PropertyManager **Stress Plot (Trazado de tensiones)**.
- 2 En **Display (Visualización)**.
  - a) Seleccione **SX: Tensión normal de X** en el campo **Componente**.
  - b) Seleccione **N/mm^2 (MPa)** en **Units (Unidades)**.
- 3 Haga clic en .

Se muestra la tensión normal en el trazado de dirección X.

Observe la concentración de tensiones en el área alrededor del taladro.



## Paso 7: Verificación de los resultados

La tensión normal máxima  $\sigma_{\text{máx}}$  de una chapa con una sección transversal rectangular y un taladro circular central es proporcionada por:

$$\sigma_{\text{max}} = k \cdot \left( \frac{P}{t(D-2r)} \right) \quad k = 3.0 - 3.13 \left( \frac{2r}{D} \right) + 3.66 \left( \frac{2r}{D} \right)^2 - 1.53 \left( \frac{2r}{D} \right)^3$$

donde:

D = anchura de la chapa = 500 mm (19,69 pulg.)

r = radio del taladro = 25 mm (0,98 pulg.)

t = espesor de la chapa = 25 mm (0,98 pulg.)

P = Fuerza axial de tracción = Presión \* (D \* t)

El valor analítico de la tensión normal máxima es  $\sigma_{\text{máx}} = 3,0245$  MPa (438,67 psi).

El resultado de SolidWorks Simulation, sin utilizar ningún método adaptativo, es SX = 2,416 MPa (350,41 psi).

Este resultado se desvía de la solución teórica en aproximadamente un 20,1%. Pronto verá que esta desviación insignificante puede atribuirse al grosor de la malla.

## Ejercicio de aprendizaje activo: Parte 2

En la segunda parte del ejercicio, modelará el cuarto de chapa con ayuda de las sujeciones de simetría.

**Nota:** Las sujeciones de simetría pueden utilizarse para analizar sólo una parte del modelo. Este método puede representar un ahorro considerable de tiempo, particularmente si está trabajando con modelos grandes.

Las condiciones de simetría requieren que la geometría, las cargas, las propiedades de materiales y las sujeciones sean equivalentes en el plano de simetría.

### Paso 1: Activación de nueva configuración

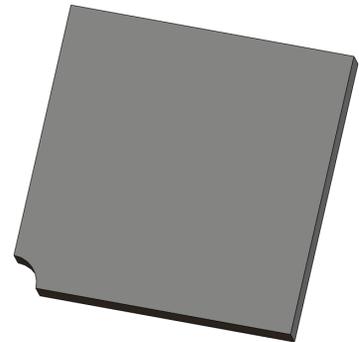
- 1 Haga clic en la pestaña ConfigurationManager .
- 2 En el gestor de **ConfigurationManager**, haga doble clic en el icono de Quarter plate (Cuarto de chapa).



Se activará la configuración Quarter plate (Cuarto de chapa).

El modelo del cuarto de chapa aparece en la zona de gráficos.

**Nota:** Para acceder a un estudio asociado con una configuración inactiva, haga clic con el botón derecho del ratón en su icono y seleccione **Activate SW configuration (Activar configuración de SW)**.

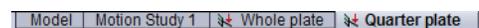


### Paso 2: Creación de un estudio

El nuevo estudio que usted crea se basa en la configuración Quarter plate (Cuarto de chapa) activa.

- 1 Haga clic en **Simulation, Study** (Estudio) en el menú principal de SolidWorks en la parte superior de la pantalla.  
Aparece el PropertyManager **Study** (Estudio).
- 2 En **Name (Nombre)**, escriba Quarter plate (Cuarto de chapa).
- 3 En **Type (Tipo)**, escriba **Static** (Estático).
- 4 Haga clic en .

SolidWorks Simulation crea un árbol representativo para el estudio situado en una pestaña en la parte inferior de la pantalla.



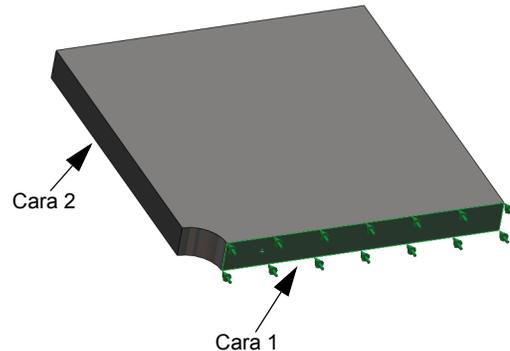
### Paso 3: Asignación de materiales

Siga el procedimiento que se describe en el Paso 2 de la Parte 1 para asignar el material **Alloy Steel (Acero aleado)**.

### Paso 4: Aplicación de sujeciones

Aplique sujeciones en las caras de la simetría.

- 1 Utilice las teclas de **flecha** para girar el modelo como se muestra en la figura.
- 2 En el árbol de estudio de Simulation, haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta **Fixtures** (Sujeciones) y seleccione **Advanced Fixtures** (Sujeciones avanzadas).



Aparece el PropertyManager **Fixtures** (Sujeciones).

- 3 Establezca el **Type (Tipo)** en **Symmetry** (Simetría).
- 4 En la zona de gráficos, haga clic en la **Face 1 (Cara 1)** y **Face 2 (Cara 2)** que se muestran en la figura.  
Face<1> y Face<2> aparecen en el cuadro **Planar Faces for Fixture** (Caras planas para sujeción).
- 5 Haga clic en .

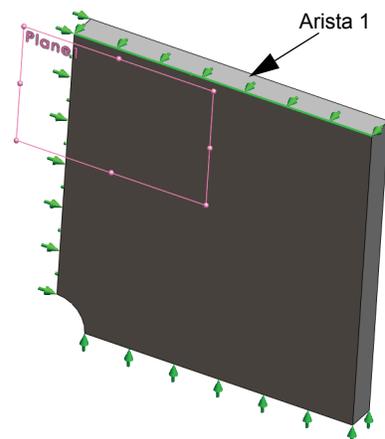
A continuación, aplique una restricción a la arista superior de la chapa para evitar el desplazamiento en la dirección Z global.

#### Para restringir la arista superior:

- 1 En el árbol de SolidWorks Simulation Manager, haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta **Fixtures** (Sujeciones) y seleccione **Advanced Fixtures** (Sujeciones avanzadas).

Establezca el **Type (Tipo)** en **Use reference geometry** (Utilizar geometría de referencia).

- 2 En la zona de gráficos, haga clic en la arista superior de la chapa que se muestra en la figura.  
Aparece **Edge (Arista) <1>** en el cuadro **Faces, Edges, Vertices for Fixture** (Caras, aristas o vértices para sujeción).



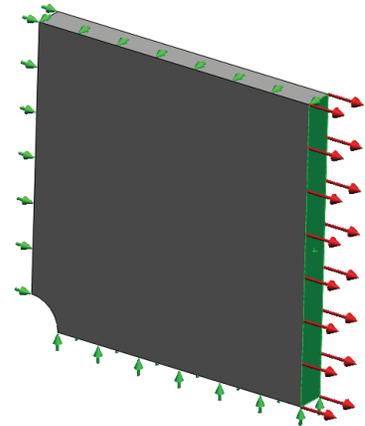
- 3 Haga clic en el cuadro **Face, Edge, Plane, Axis for Direction** (Cara, arista, plano o eje para dirección) y seleccione **Plane1 (Plano 1)** en el árbol de FeatureManager desplegable.

- 4 En **Translations (Traslaciones)**, seleccione **Normal to plane (Normal al plano)**  .  
Asegúrese de que los otros dos componentes estén desactivados.
- 5 Haga clic en  .  
Luego de aplicar todas las sujeciones, aparecen dos elementos (Symmetry-1) y (Reference Geometry-1) en la carpeta Fixtures.

### Paso 5 Aplicación de presión

Aplique una presión de 1 MPa (145,04 psi) como se muestra en la figura a continuación:

- 1 En el árbol de SolidWorks Simulation Manager, haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta External Loads (Cargas externas) y seleccione **Pressure (Presión)**.  
Aparece el PropertyManager **Pressure**.
- 2 En **Type (Tipo)**, seleccione **Normal to selected face (Normal a la cara seleccionada)**.
- 3 En la zona de gráficos, seleccione la cara que se muestra en la figura.

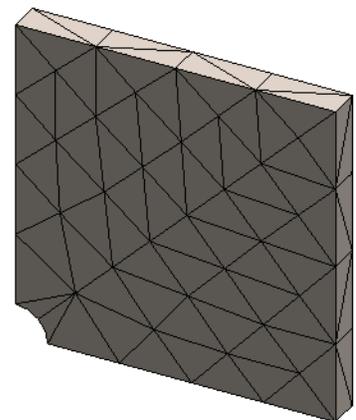


- 1 Aparece Face (Cara) <1> en el cuadro de lista **Faces for Pressure (Caras para presión)**.
- 2 Establezca **Units (Unidades)**  en **N/mm^2 (MPa)**.
- 3 En el cuadro **Pressure value (Valor de presión)**  , escriba **1**.
- 4 Marque la casilla **Reverse direction (Invertir dirección)**.
- 5 Haga clic en  .

SolidWorks Simulation aplica la presión normal a las caras seleccionadas y aparece el icono Pressure-1 (Presión-1)  en la carpeta External Loads (Cargas externas).

### Paso 6 Mallado del modelo y ejecución del análisis

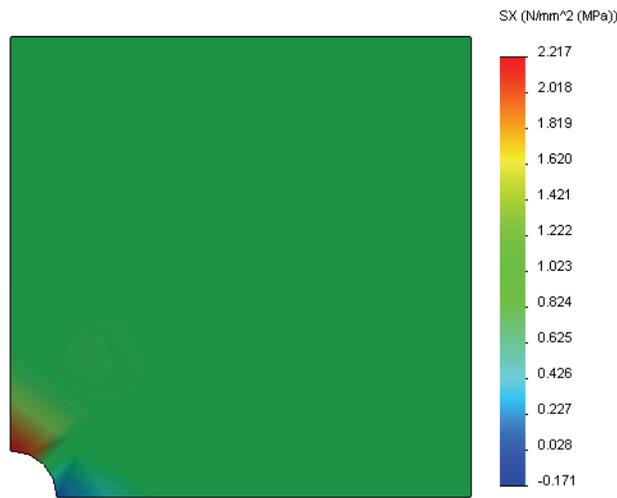
Aplique la misma configuración de malla a continuación del procedimiento que se describe en el Paso 5 de la Parte 1, Mallado del modelo y ejecución del análisis en la página 2-7. Luego, proceda a **Run (Ejecutar)** el análisis. El trazado de la malla es como puede verse en la figura.



### Paso 7 Visualización de tensiones normales en la dirección X global

- 1 En el árbol de estudio de Simulation, haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta Results (Resultados)  y seleccione **Define Stress Plot (Definir trazado de tensiones)**.
- 2 En el PropertyManager **Stress Plot (Trazado de tensiones)**, en **Display (Visualización)**:
  - a) Seleccione **SX: X Normal stress (SX: Tensión normal de X)**.
  - b) Seleccione **N/mm<sup>2</sup> (MPa)** en **Units (Unidades)**.
- 3 En **Deformed Shape (Forma deformada)**, seleccione **True Scale (Escala real)**.
- 4 En **Property (Propiedad)**:
  - a) Seleccione **Associate plot with name view orientation (Asociar el trazado con orientación de vista etiquetada)**.
  - b) Seleccione **\*Front (Frontal)** en el menú.
- 5 Haga clic en .

La tensión normal en la dirección X aparece en la forma deformada real de la chapa.



### Paso 8 Verificación de los resultados

Para el cuarto de modelo, la tensión SX normal máxima es 2,217 MPa (321,55 psi). Este resultado es comparable con los resultados de la chapa completa.

Este resultado se desvía de la solución teórica en aproximadamente un 36%. Como se mencionó en la conclusión de la Parte 1 de esta lección, usted verá que esta desviación puede atribuirse al grosor de la malla computacional. Puede optimizar la precisión utilizando un tamaño de elemento menor manualmente o utilizando métodos adaptativos automáticos.

En la Parte 3, utilizará el método adaptativo h para optimizar la precisión.

### Ejercicio de aprendizaje activo: Parte 3

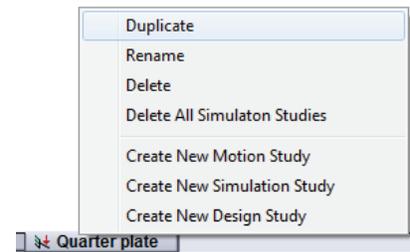
En la tercera parte del ejercicio, aplicará el método adaptativo h para solucionar el mismo problema para la configuración `Quarter plate` (Cuarto de chapa).

Para demostrar la capacidad del método adaptativo h, mallará primero el modelo con un tamaño de elemento grande y luego observará de qué manera el método h cambia el tamaño de la malla para optimizar la precisión de los resultados.

#### Paso 1 Definición de un nuevo estudio

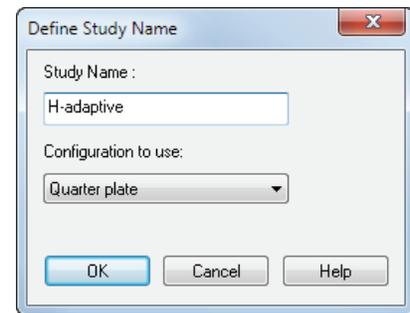
Crearé un nuevo estudio duplicando el estudio anterior.

- 1 Haga clic con el botón derecho en el estudio `Quarter plate` (Cuarto de chapa) en la parte inferior de la pantalla y seleccione **Duplicate** (Duplicar).



Aparece el cuadro de diálogo **Define Study Name** (Definir nombre de estudio).

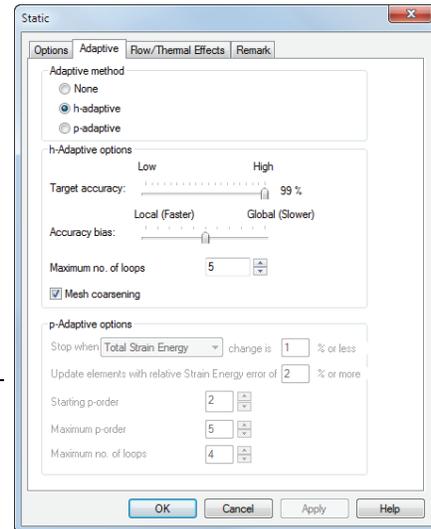
- 2 En el cuadro **Study Name (Nombre de estudio)**, escriba `H-adaptive` (adaptativo h).
- 3 En **Configuration to use (Configuración a utilizar)**: seleccione **Quarter plate (Cuarto de chapa)**.
- 4 Haga clic en **OK** (Aceptar).



## Paso 2 Establecimiento de los parámetros del método adaptativo h

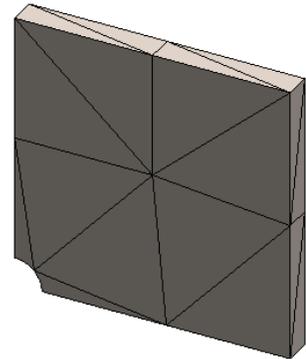
- 1 En el gestor de estudio de Simulation, haga clic con el botón derecho del ratón en H-adaptive (Adaptativo h) y seleccione **Properties (Propiedades)**.
- 2 En el cuadro de diálogo, en la pestaña **Options (Opciones)**, seleccione **FFEPlus** en **Solver (Solucionador)**.
- 3 En la pestaña **Adaptive (Adaptivo)**, en **Adaptive method (Método adaptativo)**, seleccione **h-adaptive (adaptativo h)**.
- 4 En **h-Adaptive options (Opciones de adaptativo h)**, realice lo siguiente:
  - a) Mueva el control deslizante de **Target accuracy (Precisión de destino)** a **99%**.
  - b) Establezca el valor de **Maximum no. of loops (N° de bucles máximo)** en **5**.
  - c) Seleccione **Mesh coarsening (Grosor de malla)**.
- 5 Haga clic en **OK (Aceptar)**.

**Nota:** Al duplicar el estudio, todas las carpetas del estudio original se copian en el nuevo estudio. Mientras las propiedades del nuevo estudio permanezcan sin cambios, no es necesario redefinir las propiedades de materiales, cargas, sujeciones, etc.



## Paso 3: Nuevo mallado del modelo y ejecución del estudio

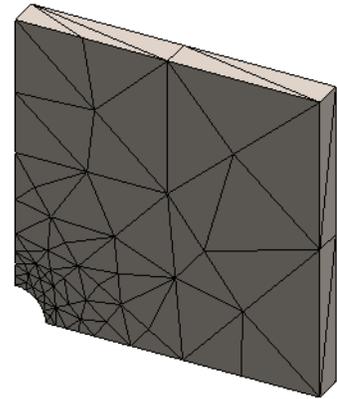
- 1 En el árbol de SolidWorks Simulation Manager, haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta Mesh (Malla) y seleccione **Create Mesh (Crear malla)**.  
Aparece un mensaje de advertencia que indica que el nuevo mallado eliminará los resultados del estudio.
- 2 Haga clic en **OK (Aceptar)**.  
Aparece el PropertyManager **Mesh (Malla)**.
- 3 Escriba **125 mm (4,92 pulg.)** para **Maximum element size (Tamaño máximo de elemento)** , y acepte los valores predeterminados para el resto de los parámetros [**Minimum element size (Tamaño mínimo de elemento)** , **Min number of elements in a circle (N.º mín. de elementos en un círculo)** , y **Element size growth ratio (Cociente de crecimiento del tamaño del elemento)** ].  
Este valor alto para el tamaño de elemento global se utiliza para demostrar de qué manera el método adaptativo h afina la malla para obtener resultados precisos.
- 4 Haga clic en . La imagen anterior muestra la malla gruesa inicial.
- 5 Haga clic con el botón derecho del ratón en el icono **H-adaptive (adaptativo h)** y seleccione **Run (Ejecutar)**.



#### Paso 4: Visualización de resultados

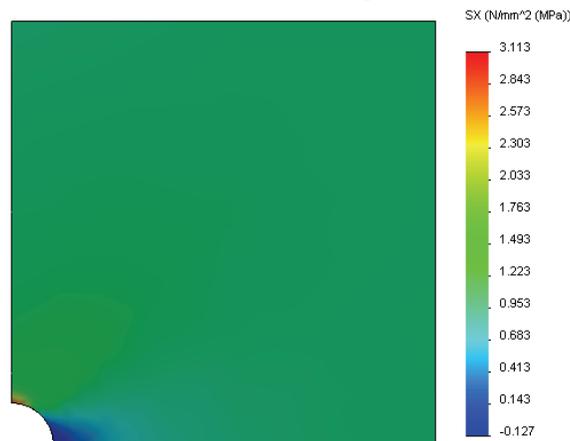
Con la aplicación del método adaptativo h, el tamaño de la malla original se reduce. Observe la transición del tamaño de la malla de una malla más gruesa (bordes de la chapa) a una malla más fina en la ubicación del taladro central.

Para ver la malla convertida, haga clic con el botón derecho del ratón en el icono Mesh (Malla) y seleccione **Show Mesh (Mostrar malla)**.



#### Visualización de tensión normal en la dirección X global

En el árbol de SolidWorks Simulation Manager, haga doble clic en el trazado de **Stress2 (X-normal) (Tensión 2 (normal a X))** en la carpeta Results (Resultados) .



El valor analítico de la tensión normal máxima es  $\sigma_{\text{máx}} = 3,113 \text{ MPa}$  (451,5) psi.

El resultado de SolidWorks Simulation con la aplicación del método adaptativo h es  $SX = 3,113 \text{ MPa}$ , que se acerca más a la solución analítica (error aproximado: 2,9%).

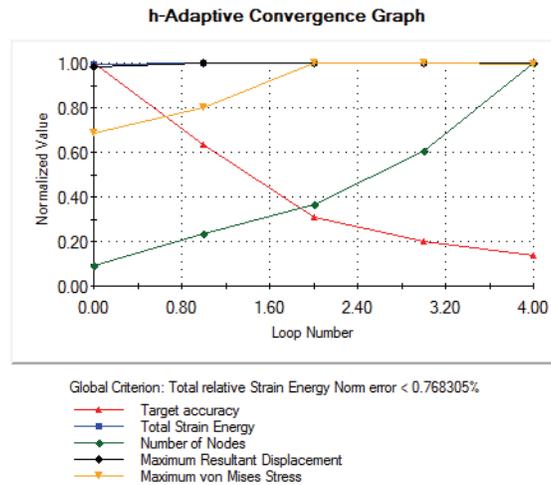
---

**Nota:** La precisión deseada establecida en las propiedades del estudio (en su caso, 99%) no significa que las tensiones resultantes estarán dentro del error máximo de 1%. En el método de elementos finitos, se utilizan otras mediciones distintas de las tensiones para evaluar la precisión de la solución. Sin embargo, se puede concluir que, puesto que el algoritmo adaptativo refina la malla, la solución de la tensión es más precisa.

---

### Paso 9 Visualización de gráficos de convergencia

- 1 En el árbol de estudio de Simulation, haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta Results (Resultados)  y seleccione **Define Adaptive Convergence Graph (Definir gráfico de convergencia adaptativo)**.
- 2 En el PropertyManager, marque todas las opciones y haga clic en  .  
Se muestra el gráfico de convergencia de todas las cantidades marcadas.



---

**Nota:** Para optimizar aún más la precisión de la solución, es posible continuar con las iteraciones de adaptabilidad h iniciando ejecuciones de estudios consecutivos. Cada ejecución de estudio posterior utiliza la malla final correspondiente a la última iteración de la ejecución anterior como la malla inicial para la nueva ejecución. Para intentar esto, proceda a **Run (Ejecutar)** el estudio H-adaptive (adaptativo h) nuevamente.

---

## Evaluación de cinco minutos

---

1 Si modifica material, cargas o sujeciones, los resultados se invalidan mientras que la malla no. ¿Por qué?

---

---

2 ¿Invalida el cambio de una cota la malla actual?

---

---

3 ¿Cómo activa una configuración?

---

---

4 ¿Qué es un movimiento de cuerpo rígido?

---

---

5 ¿Qué es el método adaptativo h y cuándo se utiliza?

---

---

6 ¿Cuál es la ventaja de utilizar el método adaptativo h para mejorar la precisión en comparación con la utilización del control de malla?

---

---

7 ¿Cambia el número de elementos en iteraciones del método adaptativo p?

---

---

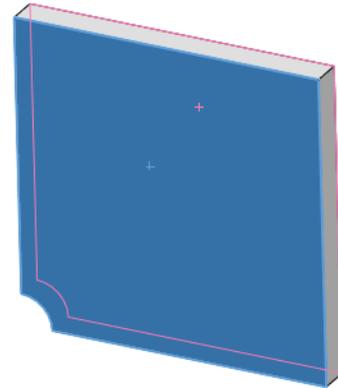
## Proyectos: Modelado del cuarto de chapa con una malla sólida

---

Utilice la malla sólida para solucionar el modelo del cuarto de chapa. Aplicará el control de malla para mejorar la precisión de los resultados.

### Tareas

- 1 Haga clic en **Insert, Surface, Mid Surface (Insertar, Superficie, Superficie media)** en el menú principal de SolidWorks en la parte superior de la pantalla.
- 2 Seleccione las superficies delantera y posterior de la chapa, como se muestra.
- 3 Haga clic en **OK (Aceptar)**.
- 4 Cree un estudio **Static (Estático)** denominado Shells-quarter.
- 5 Expanda la carpeta Plate-with-hole (Chapa con orificio), haga clic con el botón derecho en SolidBody (Cuerpo sólido) y seleccione **Exclude from Analysis (Excluir de análisis)**.
- 6 Defina un vaciado de **25 mm (pulg.)** (formulación **Thin (Delgada)**). Para ello:
  - a) Haga clic con el botón derecho del ratón en SurfaceBody (Cuerpo superficial) en la carpeta Plate-with-hole (Chapa con orificio) del árbol de estudio de Simulation y seleccione **Edit Definition (Editar definición)**.
  - b) En el PropertyManager **Shell Definition (Definición de vaciado)**, seleccione **mm** y escriba **25 mm** para **Shell thickness (Espesor de vaciado)**.
  - c) Haga clic en .
- 7 Asigne **Alloy Steel (Acero aleado)** al vaciado. Para ello:
  - a) Haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta Plate-with-hole (Chapa con orificio) y seleccione **Apply Material to All Bodies (Aplicar material a todos los sólidos)**.
  - b) Expanda la biblioteca SolidWorks Materials (Materiales de SolidWorks) y seleccione **Alloy Steel (Acero aleado)** en la categoría Steel (Acero).
  - c) Seleccione **Apply (Aplicar)** y **Close (Cerrar)**.
- 8 Aplique sujeciones de simetría a las dos aristas que se muestran en la figura.



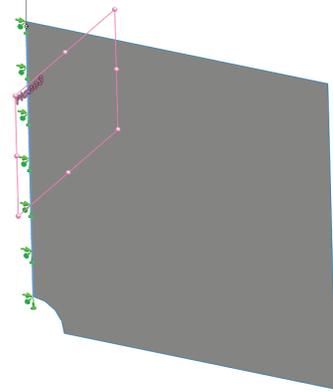
---

**Nota:** Para una malla de vaciado, es suficiente restringir una arista en lugar de la cara.

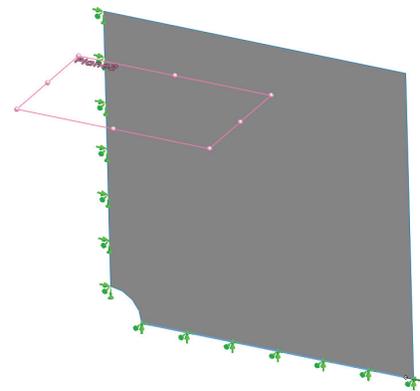
---

- a) Haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta Fixtures (Sujeciones) y seleccione **Advanced Fixtures (Sujeciones avanzadas)**.

- b) En el campo **Faces, Edges, Vertices for Fixture (Caras, aristas o vértices para sujeción)**, seleccione la arista indicada en la figura.
- c) En el campo **Face, Edge, Plane, Axis for Direction (Cara, arista, plano o eje para dirección)**, seleccione Plane3 (Plano 3).
- d) Restrinja la traslación **Normal to Plane (Normal al plano)** y las rotaciones **Along Plane Dir 1 (A lo largo del plano Dir. 1)** y **Along Plane Dir 2 (A lo largo del plano Dir. 2)**.
- e) Haga clic en .

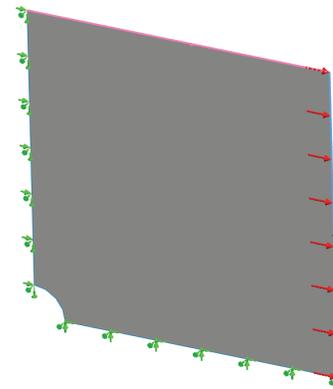


- 9 Con el mismo procedimiento, aplique una sujeción de simetría a la otra arista que se muestra en la figura. Esta vez, utilice la operación Plane2 (Plano 2) para el campo **Face, Edge, Plane, Axis for Direction (Cara, arista, plano o eje para dirección)**.



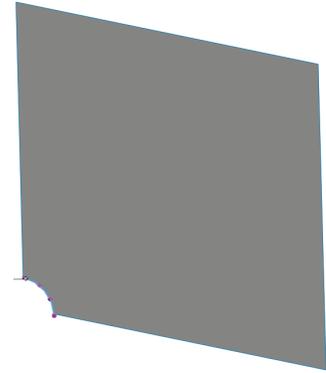
- 10 Aplique una **Pressure** de **1 N/mm<sup>2</sup> (MPa)** a la arista que se muestra en la figura.

- a) Haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta **External Loads (Cargas externas)** y seleccione **Pressure (Presión)**.
- b) En **Type (Tipo)**, seleccione **Use reference geometry (Usar geometría de referencia)**.
- c) En el campo **Faces, Edges for Pressure (Caras y aristas para presión)**, seleccione la arista vertical que se muestra en la figura.
- d) En el campo **Face, Edge, Plane, Axis for Direction (Cara, arista, plano o eje para dirección)**, seleccione la arista que se indica en la figura.
- e) Especifique **1 N/mm<sup>2</sup> (MPa)** en el cuadro de diálogo **Pressure Value (Valor de presión)**.
- f) Haga clic en .



11 Aplique control de malla a la arista que se muestra en la figura. La utilización de un tamaño de elemento menor mejora la precisión.

- a) En el árbol de estudio de Simulation, haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta Mesh (Malla) y seleccione **Apply Mesh Control (Aplicar control de malla)**. Aparece el PropertyManager **Mesh Control (Control de malla)**.
- b) Seleccione la arista del taladro como se muestra en la figura.
- c) Haga clic en .



12 Malle la pieza y ejecute el análisis.

- a) En el árbol de estudio de Simulation, haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta Mesh (Malla) y seleccione **Apply Mesh Control (Aplicar control de malla)**. Aparece el PropertyManager **Mesh Control (Control de malla)**.
- b) Seleccione la arista del taladro como se muestra en la figura.
- c) Haga clic en .

13 Trace la tensión en la dirección X. ¿Cuál es la tensión SX máxima?

**Respuesta:** \_\_\_\_\_

14 Calcule el error en la tensión SX normal con la siguiente fórmula:

$$ErrorPercentage = \left( \frac{SX_{Theory} - SX_{SIMULATION}}{SX_{Theory}} \right) 100$$

**Respuesta:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## Hoja de vocabulario de la lección 2

---

Nombre: \_\_\_\_\_ Clase: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

*Complete los espacios en blanco con las palabras adecuadas.*

1 Método que mejora los resultados de la tensión mediante el ajuste automático de la malla en regiones de concentración de tensión:

\_\_\_\_\_

2 Método que mejora los resultados de la tensión aumentando el orden polinómico:

\_\_\_\_\_

3 Tipo de grados de libertad que tiene un nodo de un elemento tetraédrico:

\_\_\_\_\_

4 Tipos de grados de libertad que tiene un nodo de un elemento de vaciado:

\_\_\_\_\_

5 Material con propiedades elásticas iguales en todas las direcciones:

\_\_\_\_\_

6 Tipo de malla adecuado para modelos de gran tamaño:

\_\_\_\_\_

7 Tipo de malla adecuado para modelos delgados:

\_\_\_\_\_

8 El tipo de malla adecuado para modelos con piezas delgadas y de gran tamaño:

\_\_\_\_\_

## Cuestionario de la lección 2

---

Nombre: \_\_\_\_\_ Clase: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

*Instrucciones: Responda a cada pregunta escribiendo la respuesta correcta en el espacio proporcionado.*

1 ¿Cuántos nodos hay en elementos de vaciado de calidad alta y de borrador?

---

---

2 ¿Requiere el cambio de espesor de un vaciado un nuevo mallado?

---

---

3 ¿Cuáles son los métodos adaptativos y cuál es la idea básica para su formulación?

---

---

---

4 ¿Cuál es el beneficio de utilizar varias configuraciones en su estudio?

---

---

5 ¿Cómo puede crear rápidamente un estudio nuevo que tiene pequeñas diferencias a partir de un estudio existente?

---

---

6 Cuando no hay métodos adaptativos disponibles, ¿qué puede hacer para establecer confianza en los resultados?

---

---

7 ¿En qué orden calcula el programa las tensiones, los desplazamientos y las deformaciones unitarias?

---

---

8 En una solución adaptativa, indique cuál es la cantidad que coincide más rápido:  
¿El desplazamiento o la tensión?

---

---