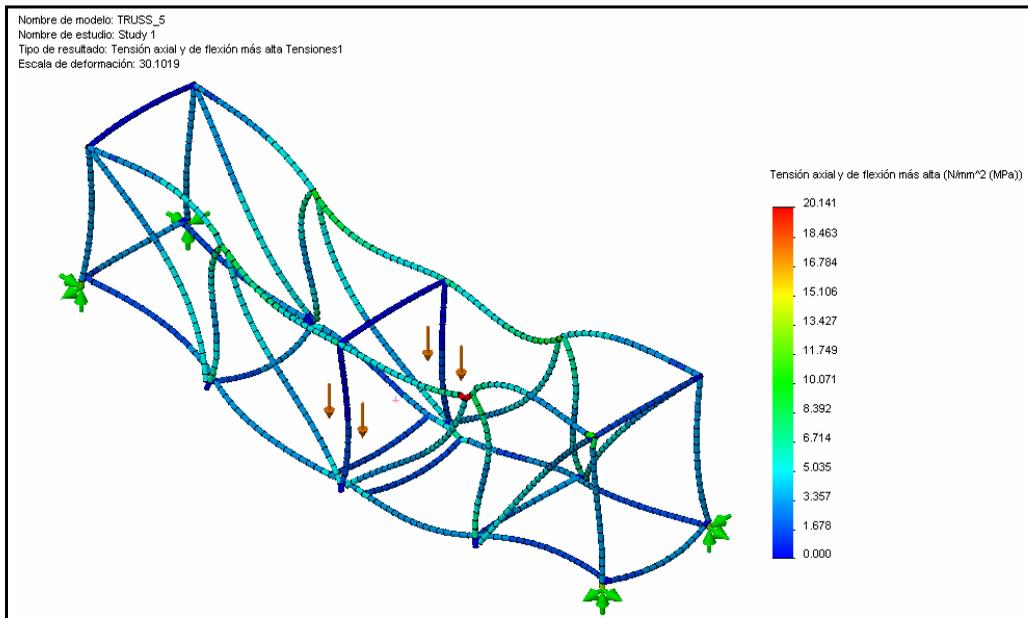




# Proyecto de diseño de un puente con el software SolidWorks®



Dassault Systèmes SolidWorks  
Corporation  
300 Baker Avenue

Fuera de EE. UU.: +1-978-371-5011  
Fax: +1-978-371-7303  
Correo electrónico: [info@solidworks.com](mailto:info@solidworks.com)  
Web: <http://www.solidworks.com/education>

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

La información y el software contenidos en este documento están sujetos a cambio sin previo aviso y no representan un compromiso por parte de Dassault Systèmes SolidWorks Corporation (DS SolidWorks).

No se puede reproducir ni transmitir ningún material de ninguna forma, ni por ningún medio, electrónica o manualmente, con ningún propósito, sin la previa autorización por escrito de DS SolidWorks.

El software que se describe en este documento se proporciona con una licencia que sólo puede usarse o copiarse de acuerdo con los términos de la licencia. Todas las garantías proporcionadas por DS SolidWorks relativas al software y la documentación se establecen en el contrato de licencia y nada de lo indicado o implícito en este documento o su contenido se considerará una modificación de ninguno de los términos, incluyendo las garantías, en el mencionado contrato de licencia.

#### **Avisos de patentes**

El software de 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 patentes extranjeras, (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 la patente de Canadá 2.318.706. Patentes de Estados Unidos y extranjeras pendientes.

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

SolidWorks, 3D PartStream.NET, 3D ContentCentral, SolidWorks eDrawings y el logotipo de SolidWorks eDrawings son marcas registradas y FeatureManager es una marca registrada con propiedad 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.

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

#### **SOFTWARE INFORMÁTICO COMERCIAL - PROPIETARIO**

Derechos restringidos del gobierno de EE. UU. El uso, la reproducción o la divulgación por parte del Gobierno está sujeto a las limitaciones establecidas en FAR 52.227-19 (software informático comercial - derechos restringidos), en DFARS 227.7202 (software informático comercial y documentación del software informático comercial) y en el contrato de licencia, según corresponda.

Contratista/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. Todos los derechos reservados.

Partes de este software © 1986-2010 Siemens Industry Software Limited. Todos los derechos reservados.

Partes de este software © 1998-2010 Geometric Ltd.

Partes de este software © 1996-2010 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

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

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

Partes de este software © 2007 - 2010 DriveWorks Ltd.

Copyright 1984-2010 Adobe Systems Inc. y quienes otorgan sus licencias. Todos los derechos reservados.

Protegido por las patentes de EE. UU. 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 registradas de Adobe Systems Inc. en los Estados Unidos y/o en otros países.

Para obtener más información sobre copyright, en SolidWorks, consulte la sección Ayuda > Acerca de SolidWorks.

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

Partes de este software © 2008 Solversoft Corporation.

PCGLSS © 1992-2007 Computational Applications and System Integration, Inc. Todos los derechos reservados.

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

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

© Copyright 1995-2010, Oracle. Todos los derechos reservados.

Partes de este software © 1996-2010 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

#### **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. Todos los derechos reservados.

Partes de este software © 1995-2009 Spatial Corporation. Este software está basado en parte en el trabajo del Independent JPEG Group.

## Tabla de contenido

<b>Lección 1: Introducción .....</b>	<b>1</b>
Uso de este manual .....	2
Descripción del software SolidWorks .....	2
Requisitos previos.....	2
Convenciones utilizadas en este manual.....	3
Antes de empezar.....	3
Análisis de una estructura mediante SolidWorks y SolidWorks Simulation .....	5
<b>Lección 2: Diseño de estructuras .....</b>	<b>6</b>
¿Qué es una estructura? .....	7
Diseños de estructuras .....	8
Cabezas de armadura.....	8
Vigas .....	9
Resistencia .....	10
Forma de la sección transversal .....	11
Desplazamiento .....	11
Material .....	13
Paredes de las cabezas de armadura .....	14
Triángulos .....	14
<b>Lección 3: Uso de la calculadora de vigas .....</b>	<b>16</b>
Uso de los cálculos de vigas .....	17
Orden de magnitud .....	17
Inicio de SolidWorks y apertura de una pieza .....	18
Adición de SolidWorks Simulation como complemento.....	18
Geometría del modelo .....	19
Simplificación del análisis.....	19
Viga simplemente apoyada.....	20
Sujeciones .....	20

Cargas externas .....	20
Modelo teórico .....	20
¿Por qué son importantes las vigas simplemente apoyadas? .....	21
Datos necesarios para el cálculo de vigas .....	22
Recopilación de datos .....	23
Asignación de un material .....	24
Propiedades de sección .....	25
Uso de la opción Medir.....	27
Calculadora de vigas.....	28
<b>Lección 4: Análisis de la estructura.....</b>	<b>30</b>
Análisis de la estructura.....	31
Descripción de SolidWorks Simulation .....	31
Análisis estructural.....	32
Fases del análisis estructural.....	33
Ciclo de diseño.....	34
Cambios en el modelo.....	34
Creación de un estudio.....	35
Gestor de diseño del FeatureManager y Gestor de estudios de simulación.....	36
Entorno.....	36
Configuración de unidades.....	39
Preprocesamiento.....	39
Material .....	39
Sujeciones .....	40
Fuerzas externas .....	41
Mallado del modelo.....	43
Análisis .....	44
Expectativas .....	44
Terminología.....	45
Flexión y desplazamiento.....	45
Tracción y compresión .....	46
Tensiones.....	46
Límite elástico.....	46
Factor de seguridad .....	47
Posprocesamiento .....	47
Interpretación de los resultados .....	48
Creación de un nuevo trazado .....	49
Iteración de los cambios .....	50
Determinación de la carga.....	50
Edición de los datos de simulación .....	50
Conclusión .....	51

<b>Lección 5: Realización de cambios de diseño .....</b>	<b>52</b>
Adición al diseño .....	53
Apertura del diseño .....	53
Estudio existente.....	53
Cambio de la carga.....	54
Arriostramiento transversal .....	55
Apertura del diseño .....	55
Estudio existente.....	56
¿Qué hizo el arriostramiento transversal? .....	56
Uso de trazados.....	57
Factor del trazado de deformación .....	57
Superposición del modelo .....	58
El eslabón más débil.....	59
Uso de la identificación de valores.....	60
Ajuste del formato de número.....	61
Solución .....	63
Acabado del arriostramiento.....	63
Comparación de tensiones.....	64
Vigas superiores.....	65
Relación resistencia/peso.....	66
Comparación de eficacia .....	67
Investigación adicional .....	68
Lectura del trazado.....	69
<b>Lección 6: Uso de un ensamblaje .....</b>	<b>70</b>
Creación de un ensamblaje .....	71
Ensayo mediante el bloque de prueba.....	71
Cambio del modelo.....	72
Detección de colisión .....	73
Actualización del análisis.....	74
<b>Lección 7: Realización de dibujos de la estructura.....</b>	<b>77</b>
Dibujos.....	78
Creación de un dibujo y vistas.....	78
¿Qué es una tabla de listas de cortes para pieza soldada?.....	80
¿Por qué hay dos elementos de la misma longitud? .....	81
Globos .....	82
<b>Lección 8: Informes y SolidWorks eDrawings® .....</b>	<b>83</b>
Informes y SolidWorks eDrawings .....	84
Creación de un informe .....	84
SolidWorks eDrawings® para compartir información .....	87

## **SolidWorks**

*Serie de diseño de ingeniería y tecnología*

Ventajas de eDrawings.....	87
Visualización de eDrawings.....	87
Creación de un SolidWorks eDrawing .....	88
Interfaz de usuario de eDrawings.....	89
Funciones de eDrawings .....	89
Reproducción de una animación de eDrawings .....	90
Almacenamiento de eDrawings .....	90
Almacenamiento del eDrawing.....	90
Investigación adicional .....	92
<b>Lección 9: Creación y prueba de la estructura .....</b>	<b>93</b>
Creación de la estructura .....	94
Corte a la longitud adecuada.....	94
Prueba de la estructura.....	102
Creación del vano .....	102
Detalles.....	102
Aplicación de la carga .....	103
Uso de objetos comunes con pesos conocidos.....	103
<b>Glosario .....</b>	<b>104</b>

# Lección 1

## Introducción

Cuando termine esta lección, podrá:

- Describir la relación entre las piezas, los ensamblajes y los dibujos.
- Identificar los principales componentes de la interfaz de usuario de SolidWorks.
- Descargar y extraer los archivos de acompañamiento necesarios.

## Uso de este manual

El *Proyecto de diseño de un puente* le ayuda a entender los principios del análisis estructural mediante SolidWorks y SolidWorks Simulation como parte integral de un proceso de diseño creativo y repetitivo.

En este proyecto, aprenderá realizando un análisis estructural completo.

## Descripción del software SolidWorks

SolidWorks es un software de automatización de diseño. En SolidWorks, se croquizan ideas y se experimenta con distintos diseños para crear modelos 3D mediante la sencilla interfaz gráfica de usuario de Windows®.

Los estudiantes, diseñadores, analistas, ingenieros y otros profesionales utilizan SolidWorks para generar piezas sencillas y complejas, ensamblajes y dibujos.

## Requisitos previos

Antes de empezar el *Proyecto de diseño de un puente*, debe completar los siguientes tutoriales en línea integrados en SolidWorks:

- Lección 1: Piezas
- Lección 2: Ensamblajes
- Lección 3: Dibujos

Puede acceder a los tutoriales en línea haciendo clic en **Ayuda, Tutoriales de SolidWorks, Todos los tutoriales de SolidWorks (Grupo 1)**. El tutorial en línea cambia el tamaño de la ventana de SolidWorks y se ejecuta a su lado.

Como alternativa, puede completar las siguientes lecciones de *Introducción al diseño de ingeniería con SolidWorks*:

- Lección 1: Uso de la interfaz
- Lección 2: Funcionalidad básica
- Lección 3: Iniciación práctica en 40 minutos
- Lección 4: Conceptos básicos de ensamblaje
- Lección 6: Conceptos básicos de dibujo

## Convenciones utilizadas en este manual

En este manual se utilizan las siguientes convenciones tipográficas:

Convención	Significado
<b>Sans Serif negrita</b>	Los comandos de las opciones de SolidWorks aparecen en este estilo. Por ejemplo, <b>Insertar</b> , <b>Saliente</b> significa que se elige la opción <b>Saliente</b> del menú <b>Insertar</b> .
<b>Máquina de escribir</b>	Los nombres de operaciones y nombres de archivos aparecen en este estilo. Por ejemplo, <b>Sketch1</b> .
<b>17 Lleve a cabo este paso</b>	Los pasos de las lecciones se enumeran en sans serif negrita.

## Antes de empezar

Si aún no lo ha hecho, copie los archivos de acompañamiento para las lecciones en la computadora antes de empezar este proyecto.

### 1 Inicie SolidWorks.

Mediante el menú **Inicio**, inicie la aplicación SolidWorks.

### 2 Recursos de SolidWorks.

Haga clic en la pestaña **Recursos de SolidWorks**

 y en **Student Curriculum**.



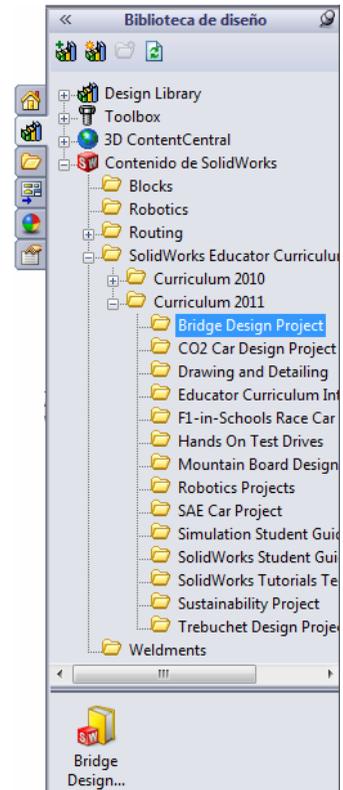
### 3 Contenido de SolidWorks.

Expanda la carpeta SolidWorks Educator Curriculum.

Expanda la carpeta Curriculum <year> que corresponda.

Haga clic en la carpeta Bridge Design Project.

En el panel inferior se muestra un icono que representa un archivo Zip que contiene los archivos de acompañamiento de este proyecto.



### 4 Descargue el archivo Zip.

Presione **Ctrl** y haga clic en el icono de Bridge Design Project - English.

Se le solicitará una carpeta para guardar el archivo Zip.

Pregunte a su profesor dónde debe guardar el archivo Zip. Normalmente la carpeta C:\Temp es una buena ubicación.

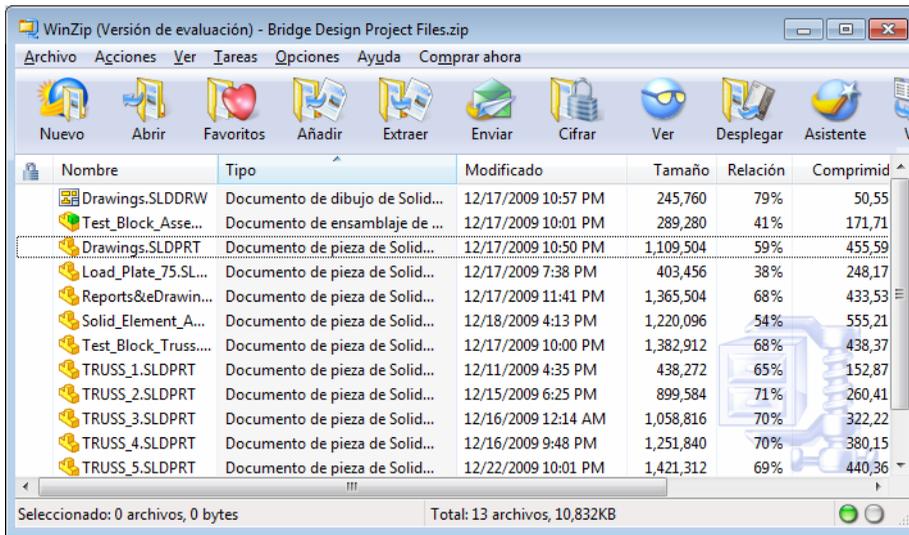
Haga clic en **Aceptar**.



**Sugerencia:** Recuerde donde la guarda.

## 5 Abra el archivo Zip.

Vaya a la carpeta donde ha guardado el archivo Zip en el paso 4.  
Haga doble clic en el archivo Bridge Design Project.zip.



## 6 Haga clic en Extraer.

Haga clic en **Extraer** y vaya a la ubicación donde desee guardar los archivos. El sistema creará automáticamente una carpeta denominada Bridge Design Project\_ENG en la ubicación que especifique. Por ejemplo, puede desear guardarla en **Mis documentos**. Compruebe con su profesor donde debe guardar los archivos.



Ahora tiene una carpeta llamada Bridge Design Project en su disco. Los datos de esta carpeta se utilizarán en los ejercicios.

**Sugerencia:** Recuerde donde la guarda.

## Análisis de una estructura mediante SolidWorks y SolidWorks Simulation

Durante esta sesión, aprenderá a analizar una estructura mediante SolidWorks y SolidWorks Simulation. También puede crear la estructura con madera de balsa (consulte “Creación de la estructura” en la página 94).

Cuando haya tenido la oportunidad de ver lo fácil que es usar el software de modelado de sólidos SolidWorks, utilizará un ensamblaje para comprobar si cada componente encaja correctamente.

A continuación, realizará un dibujo de uno de los componentes, completo con una lista de cortes. Si hay una impresora disponible, puede imprimir una copia de su dibujo.

## **Lección 2**

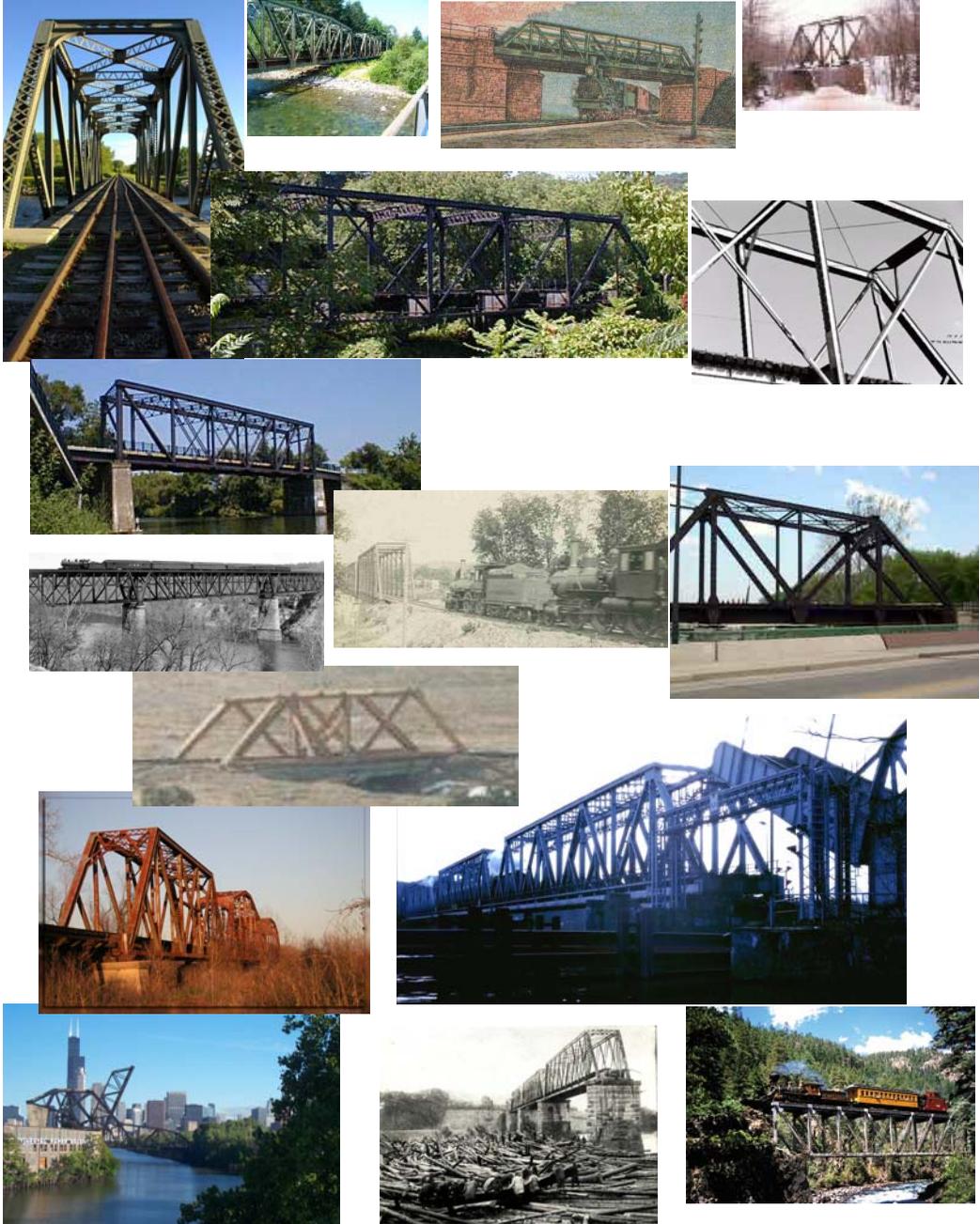
# **Diseño de estructuras**

Cuando termine esta lección, podrá:

- Definir una estructura.
- Describir varios tipos de cabeza de armadura.
- Entender el concepto de viga.
- Entender los factores que proporcionan resistencia a una viga.
- Calcular un momento de inercia.
- Entender la importancia del arriostramiento triangular en una estructura.

## ¿Qué es una estructura?

Las estructuras son armaduras de puentes usadas comúnmente para ferrocarriles, automóviles y tráfico peatonal. Se pueden ver ejemplos de estas estructuras en todo el país y en el mundo.



## Diseños de estructuras

Los diseños de estructuras están pensados para ser estructuras simples y eficaces, lo que significa que son fáciles de construir y logran sus objetivos con la mínima cantidad de materiales. Hay muchos diseños de estructuras distintos; la diferencia se basa en la carga que debe soportar la estructura y el vano que debe cruzar. El diseño de la estructura puede repetirse sobre varios vanos en el mismo puente.

### Cabezas de armadura

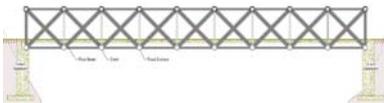
Las cabezas de armadura son tipos de estructuras específicos que se utilizan normalmente en los puentes de ferrocarril. Suelen estar formadas por una superficie de carretera o rieles (plataforma), dos paredes y, a veces, arriostramiento en la parte superior. Ahora va a analizar el diseño de una cabeza de armadura.



Busque **cabeza de armadura** para obtener más información.

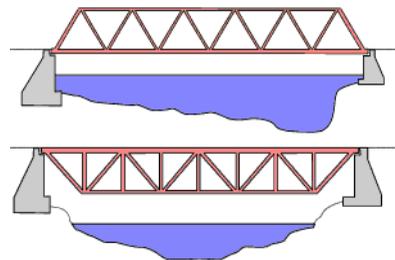
### Cabeza de armadura Brown

La **cabeza de armadura Brown** (se muestra la patente) se usó en el diseño de puentes cubiertos. Esta cabeza de armadura es una cabeza de “caja” (llamada así por su forma de caja) que era tan eficaz que pudo construirse usando sólo las vigas de arriostramiento transversal (diagonal) para soportarla.



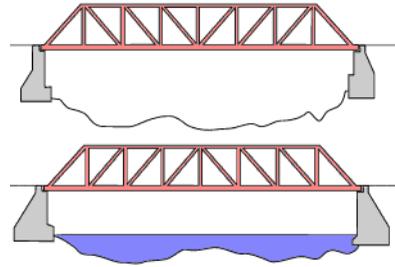
### Cabeza de armadura Warren

La **cabeza de armadura Warren** es otro tipo sencillo y económico. Puede invertirse y usarse con o sin el arriostramiento vertical, dependiendo de la carga que tenga que soportar.



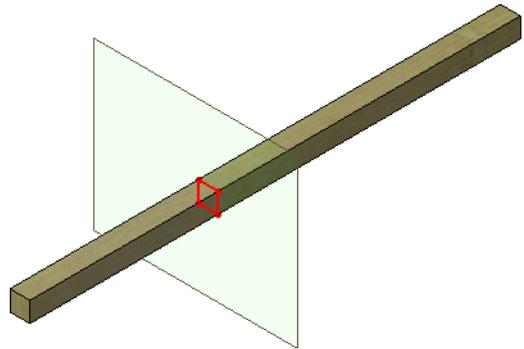
### Cabezas de armadura Pratt y Howe

Las cabezas de armadura Pratt y Howe son muy similares. Al igual que la cabeza de armadura Warren invertida que se mostró anteriormente, las dos tienen arriostramiento vertical y transversal. La diferencia es la dirección del arriostramiento transversal.



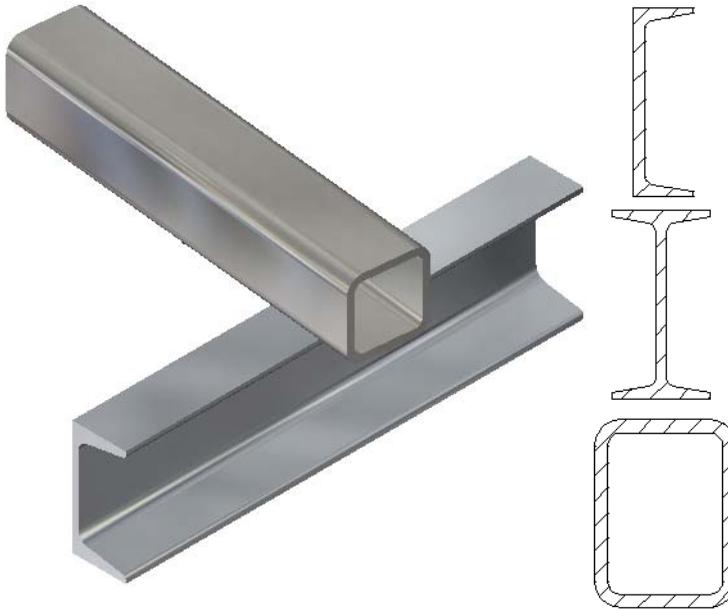
### Vigas

Una **viga** es un objeto que tiene la misma sección transversal en toda su longitud. En este caso, la sección transversal es cuadrada. Las estructuras como las cabezas de armadura están compuestas de vigas.



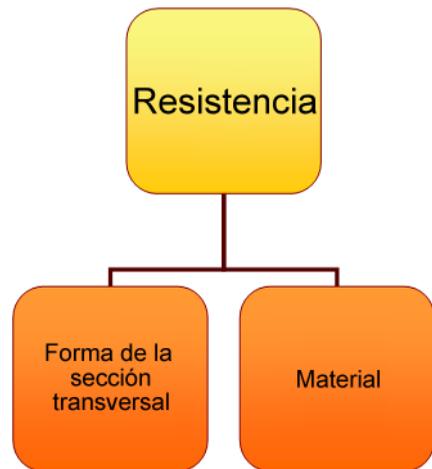
### Vigas de acero

Las vigas de acero utilizan formas estándar, como canales, vigas en I y tubos.



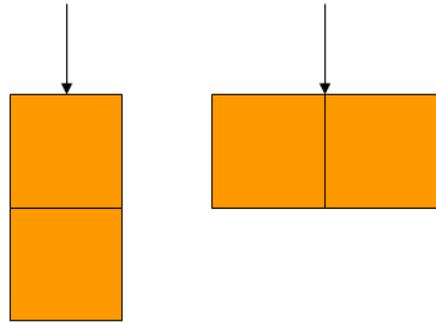
### Resistencia

La resistencia de una viga depende de dos factores: la **forma de la sección transversal** y el **material**.



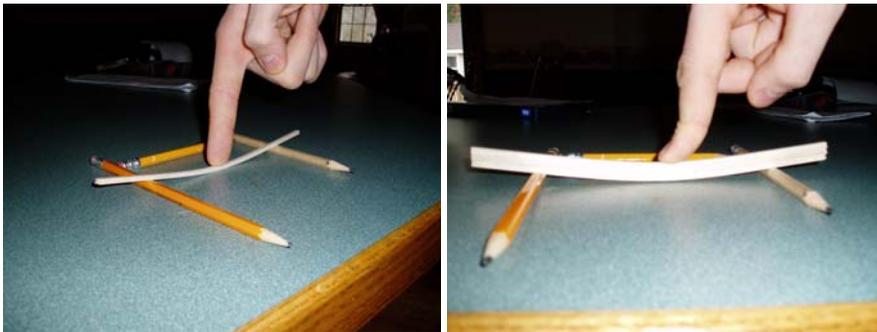
## Forma de la sección transversal

El apilamiento de dos vigas cuadradas crea una sección “más profunda”. Cuánto más profunda sea la sección (izquierda) más resistente será la viga. Las secciones más anchas (derecha) ayudan un poco, pero no demasiado.



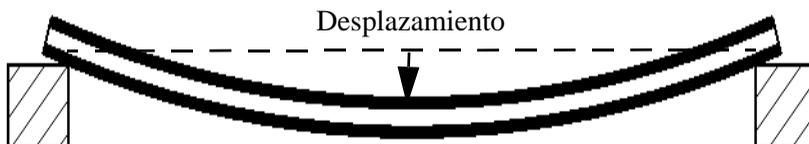
### ¡Pruébalo!

Observe la diferencia en la resistencia entre una viga de madera de balsa y tres vigas apiladas al intentar presionarlas hacia abajo. Utilice lápices para los soportes y la distancia.



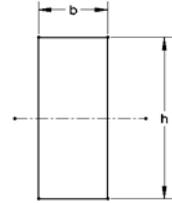
## Desplazamiento

Uno de los resultados que buscaremos en el análisis estructural es el mayor **Desplazamiento**. Es la distancia que se movió la viga desde el inicio cuando se le aplicó una *fuerza externa*. El desplazamiento nos ayudará a determinar la capacidad de la estructura.



### Momento de inercia del área

La razón de que las vigas más profundas sean más resistentes es el **momento de inercia del área**. Se trata de una fórmula calculada con las cotas de anchura (b) y altura (h) de la sección transversal. Es una medida sólo de la resistencia de la sección de la viga, no del material.



El momento de inercia del área se usa en cálculos como la resistencia de una viga a la flexión. Cuánto mayor sea el valor, mayor será la resistencia a la flexión.

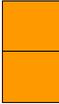
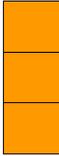
### Cálculo del momento de inercia de la superficie

Mediante la siguiente fórmula, puede calcular este valor para diversas disposiciones de las secciones transversales cuadradas.

$$AreaMomentofInertia = \frac{b \times h^3}{12}$$

### Intente algunos cálculos

Intente algunos cálculos con la fórmula anterior y los valores que se muestran en la tabla siguiente. Los valores se basan en la sección transversal de una viga de madera de balsa cuadrada de **3,175 mm** (1/8”).

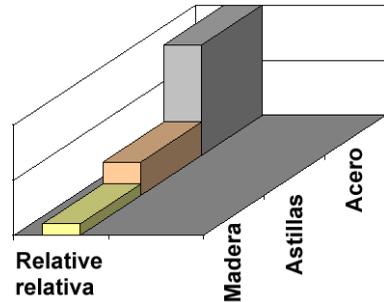
Número de secciones cuadradas	Disposición de las secciones cuadradas	b	h	Momento de inercia del área
1		3,175 mm	3,175 mm	_____
2 apiladas		3,175 mm	2 X 3,175 mm	_____
2 una al lado de la otra		2 X 3,175 mm	3,175 mm	_____
3 apiladas		3,175 mm	3 X 3,175 mm	_____

## Preguntas

1. ¿Qué disposición tiene el mayor valor? \_\_\_\_\_
2. ¿La disposición 2 una al lado de la otra es tan resistente como la de 2 apiladas? \_\_\_\_\_
3. ¿Qué disposición es la más débil? \_\_\_\_\_?

## Material

El material del que está hecho la viga es otro factor crítico para su resistencia. Tome tres materiales como ejemplo: madera, cobre y acero. La resistencia relativa de cada uno se muestra en un gráfico situado a la derecha. En general, el acero es más resistente que el cobre, que a su vez es más resistente que la madera. Tenga en cuenta que existe un amplio intervalo de valores dentro de cada tipo de material y hay varios tipos de *Propiedades de material*, como *Módulo de Young* y *Coefficiente de Poisson*, que se utilizan para definir un material.



**Nota:** Los metales son productos manufacturados y, debido a la forma en que se crean, tienen igual resistencia en todas las direcciones. Este tipo de materiales se denominan materiales *isotrópicos*.



Busque **propiedades de material** para obtener más información.

## Madera como material

La madera es un material especialmente difícil de predecir, debido a las vetas que tiene. Las vetas hacen que la resistencia sea diferente en cada dirección y, por tanto, no es realmente un material isotrópico. La porosidad de la madera de balsa hace que sea muy susceptible a la humedad, lo que puede causar grandes variaciones en los valores de las propiedades.

Los valores que estamos usando son estimaciones. Si elige construir y comprobar una estructura, el resultado será relativo, pero los valores pueden variar.

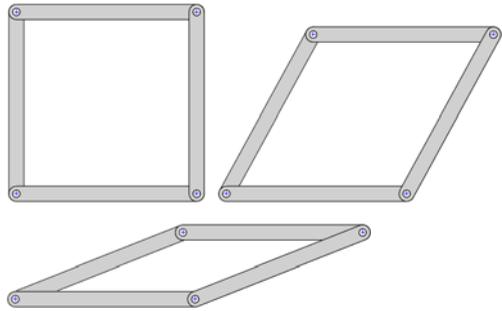
## Paredes de las cabezas de armadura

Las paredes de una cabeza de armadura son mucho más que sólo una barrera para evitar que caigan objetos. Las paredes suelen contener arriostramiento en las direcciones vertical y diagonal. Cuando una cabeza de armadura contiene arriostramiento vertical y diagonal, suele ser más estable.

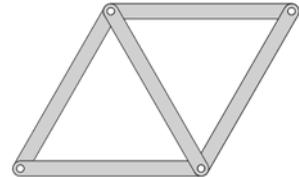
## Triángulos

Muchas estructuras, especialmente los diseños de cabezas de armadura, contienen triángulos. ¿Por qué son tan importantes los triángulos? Una razón es la estabilidad. La estabilidad se logra mediante barras de arriostramiento transversales para formar triángulos. Las formas triangulares crean estabilidad en la cabeza de armadura.

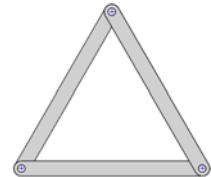
Considere un conjunto de miembros conectados en una forma cuadrada mediante tornillos o pasadores. Manteniendo la parte inferior quieta, empuje la parte superior o el lateral. Puede formar un cuadrado, pero también puede empujarse fácilmente a un paralelogramo aplanado.



La adición de un quinto miembro diagonalmente marca una gran diferencia. La forma está ahora bloqueada en esa posición. La adición ha roto el paralelogramo en dos triángulos.

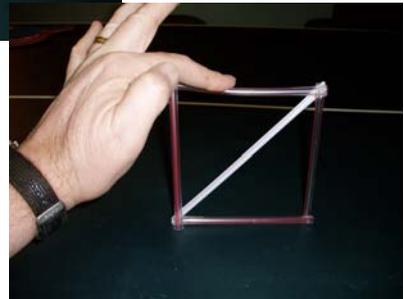
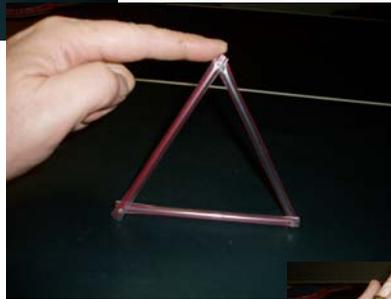
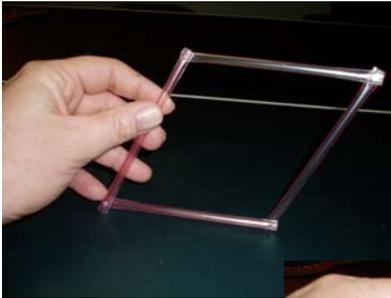


Con los mismos miembros y cierres, cree un triángulo. Esta vez se utilizan menos miembros, pero se consigue estabilidad.



**¡Pruébelo!**

Puede simular este proceso con algo tan flexible como una pajita para beber.  
Utilice pequeños pasadores para conectarlas.



## Lección 3

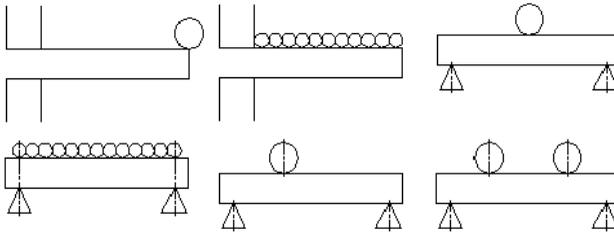
# Uso de la calculadora de vigas

Cuando termine esta lección, podrá:

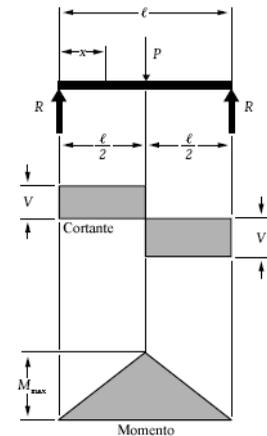
- Iniciar SolidWorks.
- Agregar el software SolidWorks Simulation como complemento.
- Abrir una pieza de SolidWorks existente.
- Entender el funcionamiento de una viga simplemente apoyada.
- Asignar un material.
- Calcular propiedades de sección.
- Utilizar la herramienta de medición.
- Utilizar la calculadora de vigas para calcular un desplazamiento.

## Uso de los cálculos de vigas

Antes de realizar cualquier tipo de análisis, es conveniente tener una idea de los resultados que pueden esperarse. Si bien no sabrá cuánto peso puede soportar la estructura, puede realizar una estimación fundamentada basada en uno o más de los resultados que obtendrá. Es aquí donde pueden utilizarse los cálculos de vigas (fórmulas simples para vigas). A continuación, se detallan algunos de los cálculos de vigas disponibles.



**Nota:** Los cálculos de vigas manuales generalmente incluyen fórmulas y se ven así.



## Orden de magnitud

¿Será el desplazamiento (consulte “Desplazamiento” en la página 11) de 1 mm aproximadamente? ¿O será de 10 mm? La diferencia es **10** veces mayor que la anterior y aumenta por lo que se denomina **Orden de magnitud**. Un cálculo inicial puede darle una idea del orden de magnitud de los resultados. Esto le ayudará a determinar si el análisis se realizó correctamente.

## Preguntas

1. ¿Cuál es el siguiente valor después de 1 mm y 10 mm utilizando un orden de magnitud ascendente? \_\_\_\_\_
2. ¿Cuáles son los valores que faltan en este grupo? 5 mm, \_\_\_\_\_, 500 mm

## Inicio de SolidWorks y apertura de una pieza

### 1 Inicie la aplicación SolidWorks.

En el menú **Inicio**, haga clic en **Programas, SolidWorks, SolidWorks**.

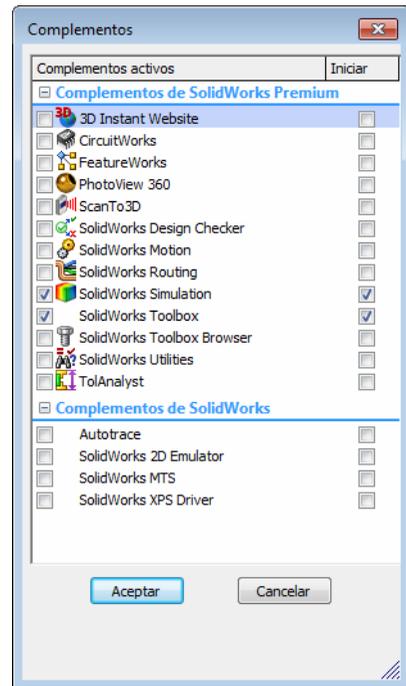
## Adición de SolidWorks Simulation como complemento

SolidWorks Simulation se incluye con la **Edición para educación de SolidWorks**. Para utilizarlo, debe activarlo mediante **Herramientas, Complementos**. Haga clic en **Complementos activos** e **Iniciar** para SolidWorks Simulation y SolidWorks Toolbox, y haga clic en .

### 2 Selecciones de complementos.

Haga clic en **Herramientas, Complementos** y asegúrese de que ambas opciones **Complementos activos** e **Iniciar** de **SolidWorks Simulation** y **SolidWorks Toolbox** estén activadas.

Haga clic en .



**Nota:** Si no se agrega SolidWorks Simulation como complemento, el proyecto no puede completarse.

### 3 Abra el archivo de pieza.

Haga clic en **Abrir** .

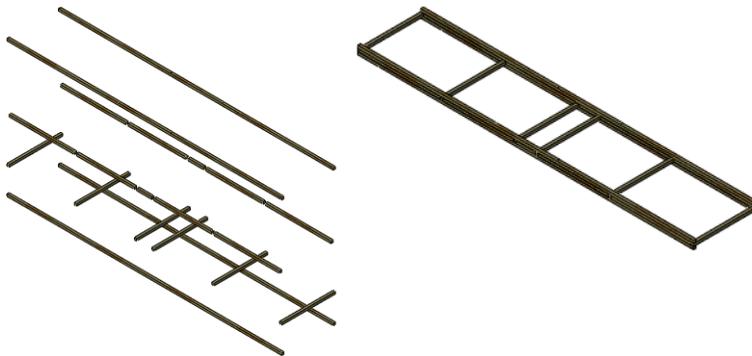
En la ventana **Abrir**, vaya a la carpeta **Bridge Design Project\Student\Lesson 3**.

Seleccione **TRUSS\_1.sldprt** y haga clic en **Abrir**.



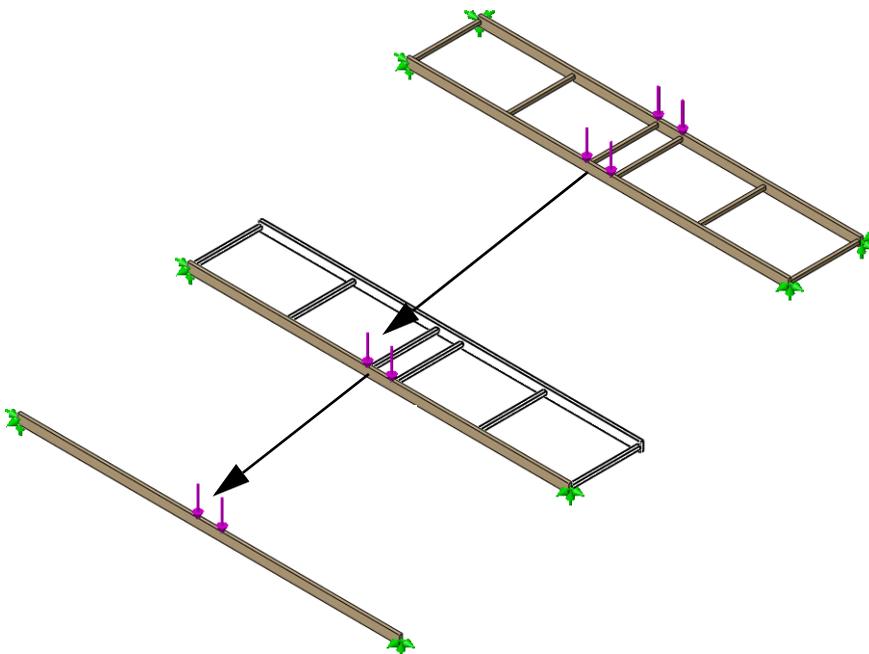
## Geometría del modelo

Este modelo se compone de una serie de *vigas* encontradas. Las vigas representan los palos de madera de balsa. En su proyecto, las vigas se combinan encolándolas. En una estructura real, las vigas se soldarían o unirían con tornillos.



## Simplificación del análisis

El modelo se muestra como dos vigas paralelas conectadas por vigas más pequeñas en diversos lugares. Si tomamos la mitad del modelo (sólo la viga grande) y aplicamos la mitad de las cargas, tendremos una idea de cuáles serán los valores en el análisis real.



## Viga simplemente apoyada

Este tipo de cálculo de viga generalmente se denomina “viga simplemente apoyada” donde los puntos de contacto no están completamente fijos y se aplica una carga. Hay dos definiciones importantes que necesitará conocer: las sujeciones y las cargas externas.

### Sujeciones

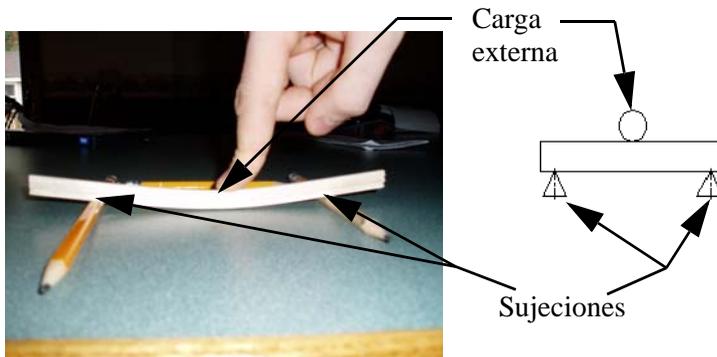
Las sujeciones se utilizan para limitar el movimiento de determinados puntos en el modelo. Estos son generalmente puntos de contacto. También se denominan restricciones.

### Cargas externas

Las cargas o fuerzas externas pueden utilizarse para agregar cargas de **Fuerza** o **Gravedad** a la estructura. La incorporación de una fuerza requiere una ubicación en la estructura, un valor (en Newtons) y una dirección.

### Modelo teórico

Este es el modelo teórico (derecha) de la viga soportada por los lápices en la lección anterior.

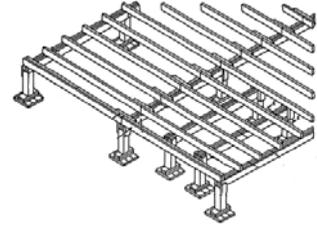


## ¿Por qué son importantes las vigas simplemente apoyadas?

Si bien el modelo teórico puede parecer muy simple, tiene efectos trascendentes. Puede ver ejemplos de la viga simplemente apoyada en muchos lugares.

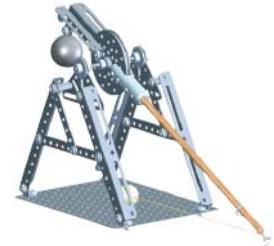
### Estructuras

Los vanos con estructura de madera y acero para casas y edificios se diseñan utilizando vigas simplemente apoyadas.



### Trebuchet (Catapulta)

El brazo del trebuchet o catapulta gira sobre un eje entre las estructuras. El eje es una viga simplemente apoyada.



### Mountainboard (Tabla de montaña)

Si estuviera parado el medio de una mountainboard, usted sería la carga externa y las ruedas serían las sujeciones. La estructura puede aproximarse con una viga simplemente apoyada.

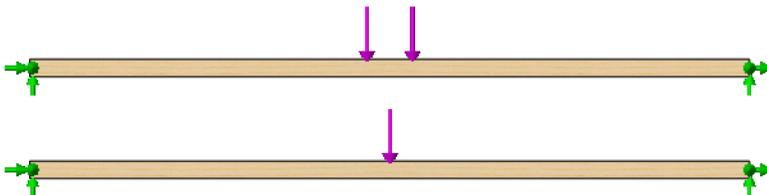


**Nota:** Este ejemplo es un “análisis simplificado” que toma un problema de 3 dimensiones y lo simplifica en problemas de 2 dimensiones. Aún será necesario realizar una simulación completa.

### Suposiciones conservadoras

Los ingenieros generalmente usan “suposiciones conservadoras” para que el análisis sea peor que la realidad para la estructura. Al hacerlo, se agrega un nivel de seguridad adicional al diseño y se lo hace más fuerte de lo que debería ser. A continuación se detallan algunas de las suposiciones que se harán:

1. Usar los extremos de la estructura es peor que usar los puntos de contacto reales.
2. Usar una carga externa simple en el centro es peor que utilizar dos cargas externas cerca del centro.



## Datos necesarios para el cálculo de vigas

Hay diversos datos necesarios para la utilización de este cálculo de vigas. Estos son:

Datos	Ubicación	Definición
Módulo de elasticidad	Propiedades de material	Rigidez por material
Momento de inercia	Propiedades de sección	Resistencia a la flexión
Longitud	Geometría	Longitud para cruzar el vano
Carga	(dada)	Carga externa

### Unidades comunes

En este proyecto, se utilizan unidades métricas comunes. Algunas de las unidades comunes que se utilizan en los sistemas de unidades SI e IPS (pulgada, libras, segundos) son:

Datos	Unidades SI	Unidades IPS
Módulo de elasticidad	Pa, MPa,	psi
Momento de inercia	mm <sup>4</sup> , cm <sup>4</sup> , m <sup>4</sup>	pulg. <sup>4</sup>
Longitud	mm, cm, m	pulg., pie
Carga	N, kN	libra

**Nota:** En este análisis, utilizaremos el sistema de unidades **SI**. El sistema de unidades SI también se denomina Sistema internacional de unidades. Utiliza unidades métricas, como metros, milímetros y Newtons.



Busque **sistema internacional de unidades** para obtener más información.

## Recopilación de datos

Los datos necesarios se recopilarán mediante diferentes herramientas en los pasos siguientes. Se calcularán los valores que faltan en el gráfico incluido a continuación.

**Nota:** Como suposición inicial, asumiremos que la carga de peso total en la estructura completa es de **40 N**. Para el cálculo de vigas, utilizaremos la mitad de ese valor,  $40 \text{ N}/2 = \mathbf{20 \text{ N}}$ .

Datos	Valor	Unidades
Módulo de elasticidad (presión)	???	Pa (Pascales)
Momento de inercia (longitud <sup>4</sup> )	???	cm <sup>4</sup>
Longitud	???	mm
Carga (fuerza)	20	N (Newtons)

## Asignación de un material

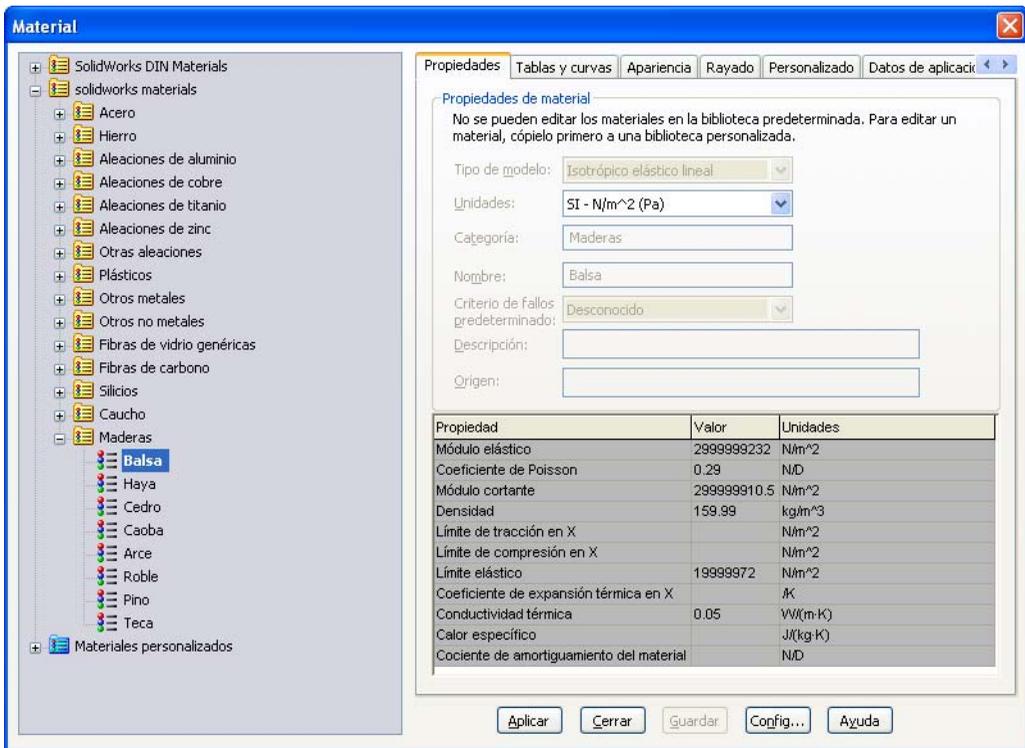
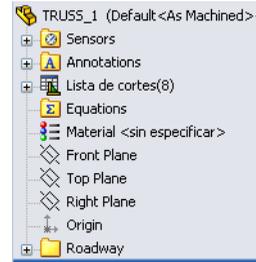
El primer paso consiste en asignar un **Material** a las vigas del modelo. Deseamos crear la estructura con madera de balsa.

### 4 Material.

Haga clic con el botón derecho del ratón en la operación **Material** y seleccione **Editar material**. Expanda las carpetas SolidWorks Materials y Woods a la izquierda y haga clic en **Balsa**.

En **Unidades**, seleccione **SI - N/m<sup>2</sup> (Pa)**.

Haga clic en **Aplicar** y luego en **Cerrar**.



**Nota:** El material utilizado, **Balsa**, se elige para que el análisis sea útil para aquellos que realmente diseñarán, construirán y realizarán ensayos de la estructura. La madera de balsa es un material común para los estudiantes que crean proyectos.

El valor del **Módulo elástico** o **Módulo de elasticidad** = **2999999232 N/m<sup>2</sup>**.

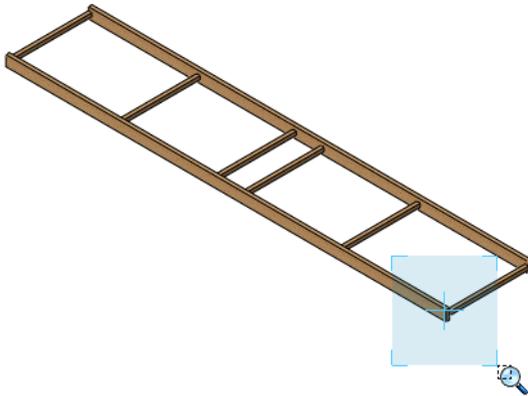
\*Aprenderá más acerca de los materiales, la construcción y los ensayos en lecciones posteriores.

## Propiedades de sección

Las propiedades de sección se basan en la sección transversal de la viga.

### 5 Zoom encuadre.

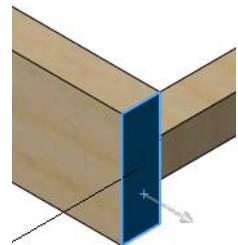
Haga clic en **Ver**, **Modificar**, **Zoom encuadre** y arrastre una ventana, de la parte superior izquierda a la parte inferior derecha, alrededor de la esquina de la estructura como se muestra.



**Nota:** Presione la tecla **Esc** para desactivar la herramienta zoom.

### 6 Selección de cara.

Seleccione la cara como se muestra.

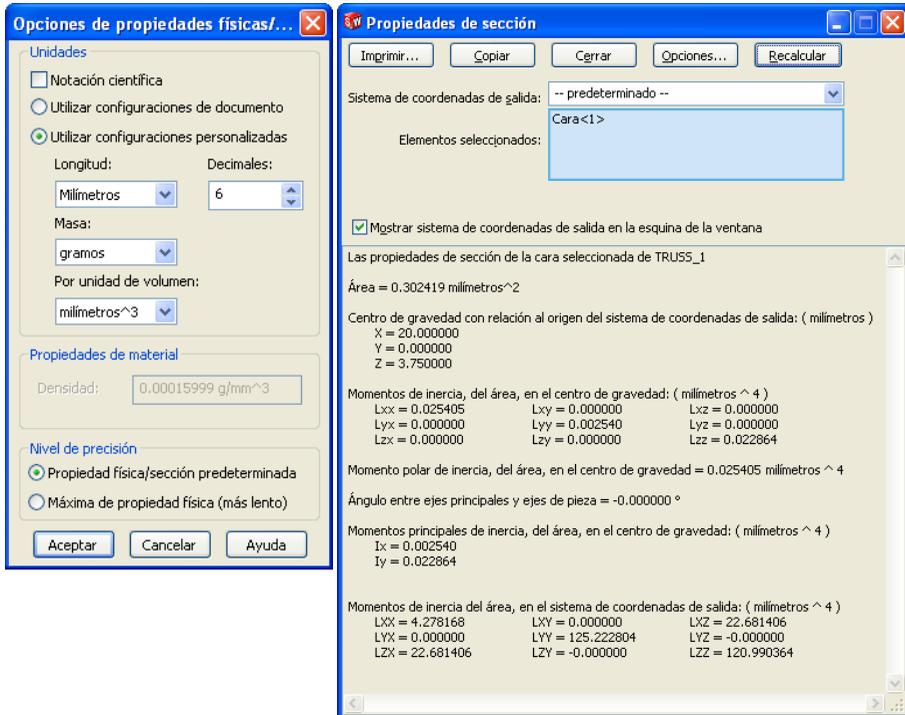


## 7 Propiedades de sección.

Haga clic en **Herramientas, Propiedades de sección**. Haga clic en **Opciones y Utilizar configuraciones personalizadas**. Seleccione **Centímetros** y **6** lugares decimales como se muestra.

Haga clic en **Aceptar** y en **Recalcular**.

Momentos de inercia del área, en el centro de gravedad:  
(centímetros <sup>4</sup>)  $L_{xx} = 0,025405$ . Haga clic en **Cerrar**.



## 8 Zoom.

Haga clic en **Ver, Modificar, Zoom para ajustar** o haga clic en la tecla **f** para volver a la vista completa.

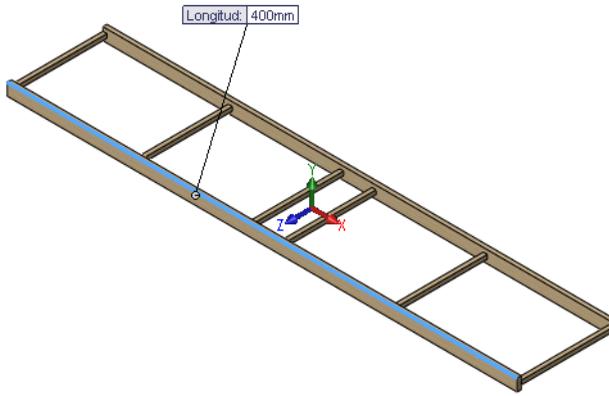
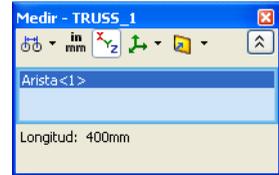
## Uso de la opción Medir

La opción Medir puede utilizarse para medir distancias o ángulos mediante la geometría del modelo.

### 9 Mida.

Haga clic en **Herramientas, Medir**. Seleccione una arista de la viga como se muestra. Se muestra la longitud de la viga.

Longitud: 400 mm.



### 10 Cierre.

Haga clic en la “x” en la esquina superior derecha del cuadro de diálogo para cerrarlo.

## Calculadora de vigas

La calculadora de vigas utiliza la entrada para determinar el mayor desplazamiento de la viga. Recupere los datos desde el gráfico “Recopilación de datos” en la página 23.

**Nota:** Este cuadro de diálogo utiliza la *deflexión* pero en este manual nos referiremos a ella como *desplazamiento*.

### 11 Inicie la calculadora de vigas.

Haga clic en **Toolbox, Calculadora de vigas** .

### 12 Configuración.

Desactive los valores en el campo **Deflexión** (el botón **Calcular** no estará disponible hasta que se desactive dicho campo). Utilice las barras de desplazamiento para acceder a la opción **Soporte en ambos extremos, cargado en el medio**. Haga clic en **Eje Y local, Métrico y Deflexión**.

### 13 Escriba los valores.

Escriba o copie y pegue los valores que se incluyen a continuación en el cuadro de diálogo:

Datos	Valor	Unidades
Módulo de elasticidad (presión)	<b>2999999232</b>	Pa (Pascuales)
Momento de inercia (longitud <sup>4</sup> )	<b>0,025405</b>	cm <sup>4</sup>
Longitud	<b>400</b>	mm
Carga (fuerza)	<b>20</b>	N (Newtons)

Haga clic en **Calcular**. El desplazamiento es de aproximadamente **35 mm** en la zona de carga (centro de la viga). Haga clic en **Finalizar**.



**Nota:** El botón **Calcular** no estará disponible hasta que el campo **Deflexión** esté desactivado.

### Preguntas

1. ¿Es este desplazamiento mayor o menor que una pulgada? \_\_\_\_\_
2. Convertir el desplazamiento a pulgadas:  $35 \text{ mm} / 25,4 =$  \_\_\_\_\_ pulg.

### 14 Cierre la pieza.

Haga clic en **Archivo, Cerrar** para cerrar la pieza.

Cuando aparezca el mensaje **Save changes to TRUSS\_1?**, haga clic en **No guardar**.

## **Lección 4**

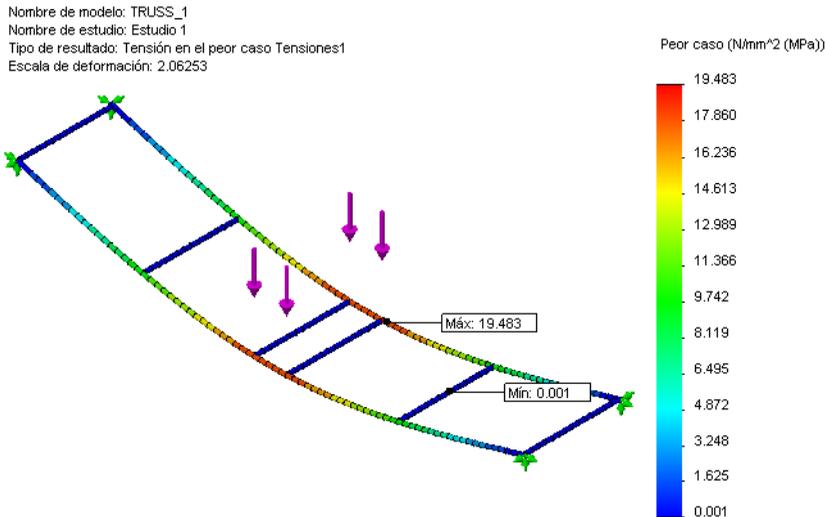
# **Análisis de la estructura**

Cuando termine esta lección, podrá:

- Entender lo que hace SolidWorks Simulation.
- Describir las fases de un análisis estructural.
- Comprender el entorno del análisis, incluidas las sujeciones y las cargas.
- Utilizar SolidWorks Simulation.
- Ver el resultado de un análisis.

## Análisis de la estructura

Durante esta lección, utilizará SolidWorks Simulation para analizar la estructura de viga.



## Descripción de SolidWorks Simulation

SolidWorks Simulation es una herramienta de análisis estructural para diseñadores incorporada a SolidWorks. Mediante este software podrá analizar el modelo sólido directamente. También puede configurar fácilmente las unidades, el tipo de material, las cargas externas, etc. mediante un estudio. Puede realizar los cambios en el modelo sólido y actualizar el resultado del análisis estructural.

Hay varios pasos para el análisis:

1. Crear un diseño en SolidWorks.  
SolidWorks Simulation puede analizar piezas y ensamblajes.
2. Crear un nuevo estudio estático en SolidWorks Simulation. Los proyectos de SolidWorks Simulation contendrán toda la configuración y los resultados de un problema, así como cada proyecto que esté asociado al modelo. Esto incluye: la adición de sujeciones y cargas externas, y el mallado del modelo.
3. Ejecutar el análisis. Esto a veces se denomina resolución.
4. Ver los resultados de SolidWorks Simulation que incluye trazados, informes y eDrawings.

## Análisis estructural

El análisis estructural es un proceso de ingeniería que utiliza la física y las matemáticas para predecir el comportamiento de una estructura bajo cargas externas como pesos y presiones. Entre los muchos productos que requieren un análisis estructural se encuentran los edificios, los puentes, los aviones, los barcos y los automóviles.

Mediante el análisis estructural podemos determinar las *tensiones*, *el factor de seguridad* y los *desplazamientos*.

*Tensiones:* Las cargas externas aplicadas a una estructura crean tensiones y fuerzas internas que pueden hacer que la estructura falle o se rompa.

*Factor de seguridad:* El factor de seguridad (FDS) es la relación de la tensión real dividida por la tensión máxima que el material puede soportar.

$$\frac{\textit{MaximumStressunderLoading}}{\textit{MaximumStressoftheMaterial}} = FOS$$

Si tenemos un valor de **FDS > 1**, la estructura es segura. Si tenemos un valor de **FDS < 1**, la estructura no se considera segura.

*Desplazamientos:* Como se mencionó en una lección anterior, las cargas externas aplicadas a una estructura pueden forzar que la estructura se mueva desde su posición sin carga. El desplazamiento es la distancia que un punto se mueve desde su posición original.

El análisis estructural se utiliza en muchos campos de la industria manufacturera:

- **Edificios y puentes**  
Pisos, paredes y cimientos.
- **Aviones**  
Fuselaje de aviones, alas y tren de aterrizaje.
- **Barcos**  
Cascos, mamparos y superestructuras.
- **Automóviles**  
Chasis, carrocería y pruebas de colisiones.

## Razones para el análisis de diseño

Después de crear el diseño en SolidWorks, puede ser necesario responder a preguntas como:

- ¿La cubierta de la cabeza de armadura cubre el vano necesario?
- ¿Cuál es el diseño más eficaz para la cabeza de armadura?
- ¿Cuál es la carga máxima que puede soportar la cabeza de armadura?

En ausencia de herramientas de análisis, se llevan a cabo costosos ciclos de diseño de prueba de prototipos para asegurarse de que el rendimiento del producto cumpla con las expectativas del cliente. En cambio, el análisis de diseño permite realizar los ciclos de diseño de forma rápida y económica en modelos informáticos. Aun cuando el costo de fabricación no sea un aspecto importante, el análisis de diseño proporciona grandes ventajas para la calidad del producto, ya que permite a los ingenieros detectar problemas de diseño mucho más rápidamente que si se tiene que crear un prototipo. El análisis de diseño facilita también el estudio de muchas opciones de diseño y ayuda a desarrollar diseños optimizados. Los análisis rápidos y económicos a menudo revelan soluciones no intuitivas y suponen una ventaja para los ingenieros, al permitirles entender mejor el comportamiento del producto.

## Fases del análisis estructural

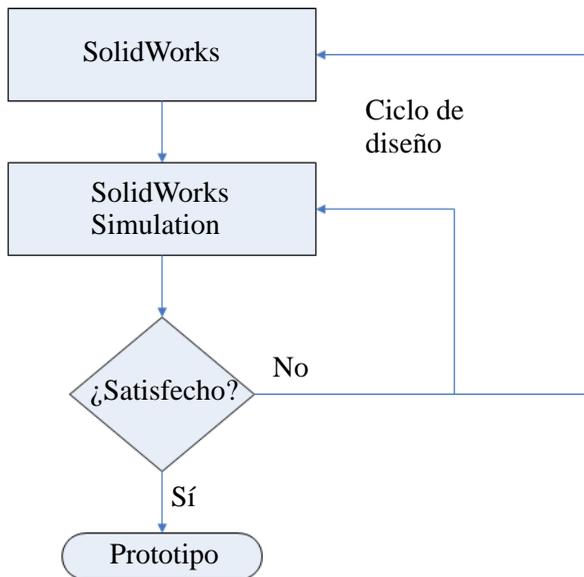
SolidWorks Simulation le guía a través de las diferentes fases del análisis estructural. Esto es lo que sucede en estas fases:

- **Preprocesamiento:** En esta fase, agregará la información necesaria acerca de la estructura y el entorno en el que se encuentra. Esto incluye materiales, sujeciones y cargas externas aplicadas a la estructura.
- **Análisis:** El modelo se descompone en pequeñas piezas llamadas elementos mediante un proceso llamado mallado. En este proyecto, los elementos son **Elementos de viga**. A continuación, esta información se utiliza para crear un modelo de elementos finitos y resolverlo. Incluye la página **Analizar** del asistente de SolidWorks Simulation.
- **Posprocesamiento:** El resultado se presenta en forma de gráfico para que puedan identificarse las áreas con problemas. Incluye las páginas **Optimizar** y **Resultados** del asistente de SolidWorks Simulation.

Una vez completadas todas las fases, puede guardar toda la información del análisis con el modelo. Cuando se guarde la información del análisis, los cambios futuros serán más rápidos.

## Ciclo de diseño

El **Ciclo de diseño** se utiliza para realizar un cambio en el modelo o la información de preprocesamiento. Los cambios en el modelo deben ser cambios de tamaño, como la longitud de las vigas. Los cambios en la información de preprocesamiento incluirían cambios en el material, las sujeciones o la carga. Cambie las fuerzas del modelo que se va a volver a analizar hasta que se alcance la mejor solución.



## Cambios en el modelo

La pieza de SolidWorks ahora es muy simple, pero se agregarán laterales y barras de arriostamiento y verá por qué son aspectos importantes de la estructura. Ábralo y observe el modelo y lo que representa.

### 1 Vuelva a abrir el archivo de pieza.

Haga clic en **Abrir** 📁.

En la ventana **Abrir**, vaya a la carpeta Bridge Design Project\Student\Lesson 3.

Seleccione TRUSS\_1.sldprt y haga clic en **Abrir**.

Esta es la misma pieza utilizada en la lección anterior.



## Creación de un estudio

Para realizar un análisis estructural, debe crearse un nuevo estudio.

SolidWorks Simulation utiliza un **estudio** para guardar y organizar todos los datos asociados con un análisis estructural.

El estudio también se utiliza para especificar el tipo de análisis que está ejecutando. Hay muchos tipos disponibles. Estos son:

- **Estático**
- **De frecuencia**
- **De pandeo**
- **Térmico**
- **Prueba de caída**
- **De fatiga**
- **No lineal**
- **Dinámico lineal**
- **Diseño de recipiente a presión**

En este proyecto, utilizaremos un análisis **Estático**. Este tipo de estudio se utiliza para predecir dónde fallará una estructura debido a la tensión.

Acceda al estudio desde el menú desplegable **Simulation**.

### 2 Cree un nuevo estudio.

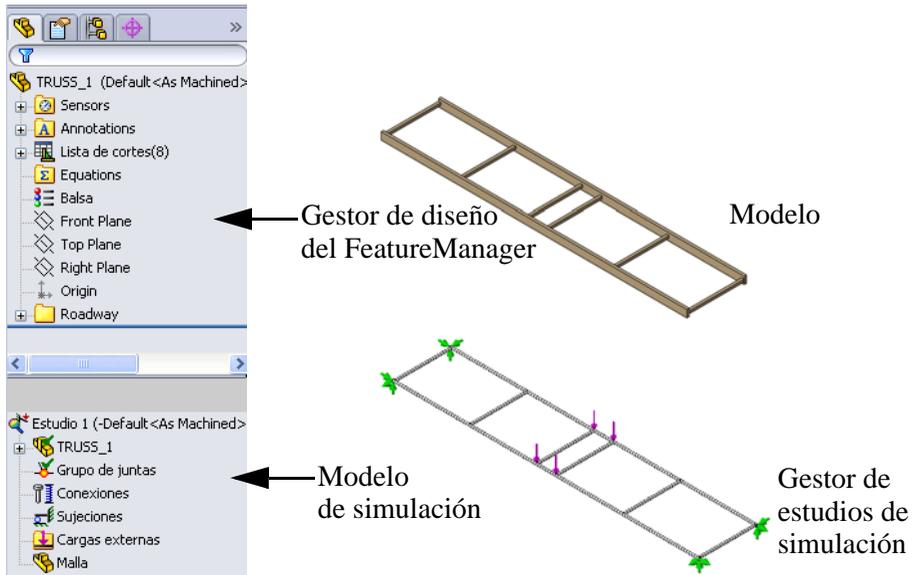
Haga clic en **Simulation, Estudio**. Utilice el nombre predeterminado **Study 1** y haga clic en **Estático**.

Haga clic en .



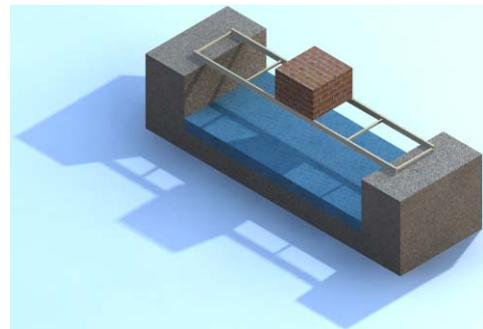
## Gestor de diseño del FeatureManager y Gestor de estudios de simulación

El **Gestor de diseño del FeatureManager** aparece arriba del **Gestor de estudios de simulación** en la parte izquierda de la pantalla. El gestor superior enumera las operaciones de la geometría del modelo mientras que el gestor inferior enumera las operaciones del modelo de simulación o análisis.



## Entorno

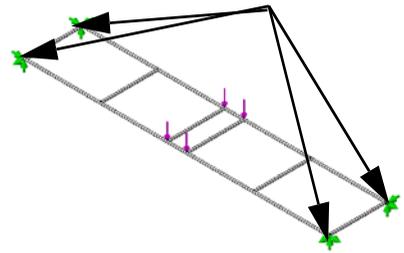
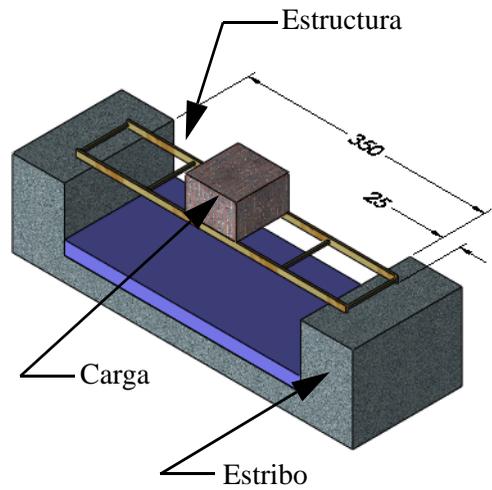
El entorno describe el modo en que se utiliza la estructura. En este caso, el modelo representa una estructura que cruza un río. Al conocer la colocación de la estructura y las cargas externas que deben cruzarla, podemos determinar dos aspectos críticos necesarios para SolidWorks Simulation: Las **sujeciones** y las **cargas externas**.



## Sujeciones

Las **sujeciones** son las áreas de la estructura que se fijarán y tendrán una limitación en el movimiento. El vano se define como la distancia de cruce que no está soportada, en este caso **350 mm**. En cada extremo, hay **25 mm** de superposición, donde los extremos de la estructura están soportados por el estribo o puntal. El vano siempre es inferior a la longitud total de la estructura.

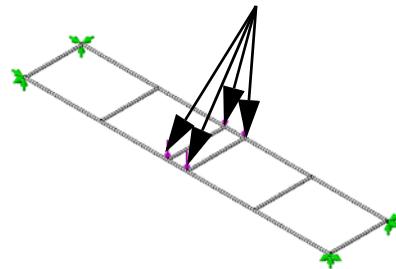
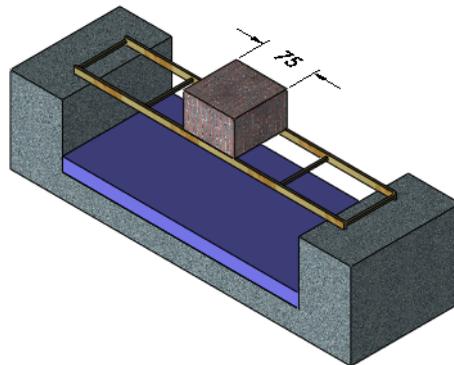
Las sujeciones se definen en los extremos del modelo en cuatro lugares.



## Cargas externas

El modelo debe tener **cargas externas** que imponen fuerzas a la estructura. Digamos que hay una pila de ladrillos rectangular en el centro del vano, cruzando la estructura. Supongamos que el peso total de los ladrillos es **40 N**.

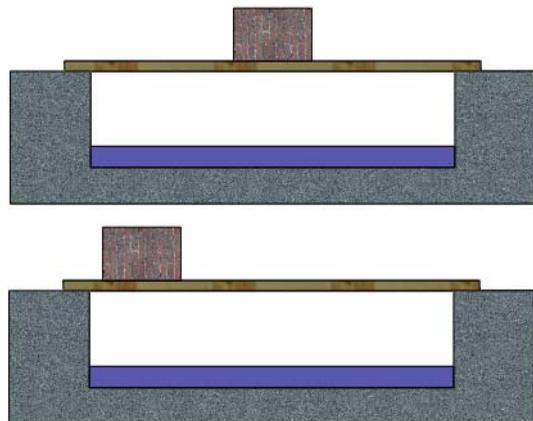
Hay cuatro puntos de carga, uno para cada punto donde las vigas se conectan cerca del centro del vano. Esto significa que la carga de cada punto es  $40 \text{ N}/4 = \mathbf{10 \text{ N}}$  (aproximadamente 2,25 libras).



### ¿Por qué está la carga en el centro?

Al usar el modelo de análisis estructural, a los ingenieros les gusta realizar lo que se denomina análisis del “peor caso”. Es la situación en la que es más probable que la estructura se rompa debido a las condiciones del entorno.

Colocar la carga del centro del vano es el peor caso para una estructura de cabeza de armadura como esta.



## ¿Cuánto cree que soportará?

La estructura es bastante débil en este punto, pero la reforzará a lo largo de este manual. ¿Cuál es la fuerza máxima que puede soportar? Haga una suposición.

Fuerza = \_\_\_\_\_N

**Nota:** Si piensa en libras (lb), empiece a pensar en el sistema métrico. Convierta las libras a newtons (N) mediante esta fórmula:

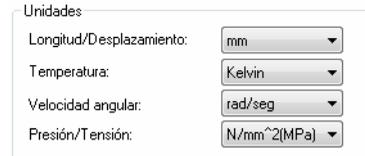
1 libra = 4,4482 N

## Configuración de unidades

Las unidades pueden configurarse para crear resultados coherentes durante todo el análisis. En este ejemplo, se seleccionarán las unidades mm y MPa.

### 3 Establezca las unidades.

Haga clic en **Simulation, Opciones** y en **Aceptar**. Haga clic en la pestaña **Opciones predeterminadas**. En **Unidades**, seleccione **mm** para **Longitud/desplazamiento** y **N/mm<sup>2</sup> (MPa)** para **Presión/Tensión**.



Haga clic en **Aceptar**.

## Preprocesamiento

La primera fase del análisis estructural es el preprocesamiento, que recopila toda la información necesaria y la aplica al modelo de simulación. La información que suministraremos o crearemos incluye:

- **Material:** El material de las vigas.
- **Sujeciones:** Posiciones que no pueden moverse libremente.
- **Cargas externas:** Fuerzas que se aplican al modelo.
- **Malla:** Modelo de simulación, basado en el modelo, que divide las vigas en pequeñas partes denominadas elementos.

## Material

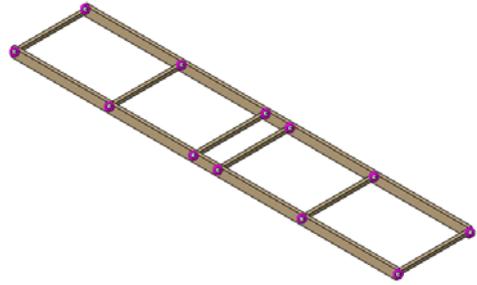
Material es un valor obligatorio que establece las propiedades del material y el aspecto de la geometría del modelo. En este caso, se aplicará a todas las vigas a la vez.

### 4 Establezca el material.

Haga clic en **Simulation, Material, Aplicar el material a todo**. Expanda la carpeta **Woods** y seleccione **Balsa**. Haga clic en **Aplicar** y en **Cerrar**.

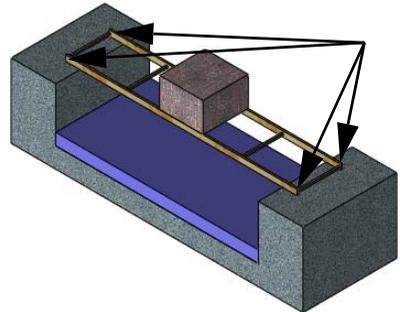
## ¿Qué son las uniones?

Las uniones se generan automáticamente donde se encuentran las líneas constructivas de las vigas. Estas uniones se utilizarán para encontrar las sujeciones y las cargas externas que siguen.



## Sujeciones

Las sujeciones se utilizan para limitar el movimiento de determinados puntos en el modelo. Se asignarán sujeciones a los puntos donde los extremos de la estructura se asientan en el estribo.

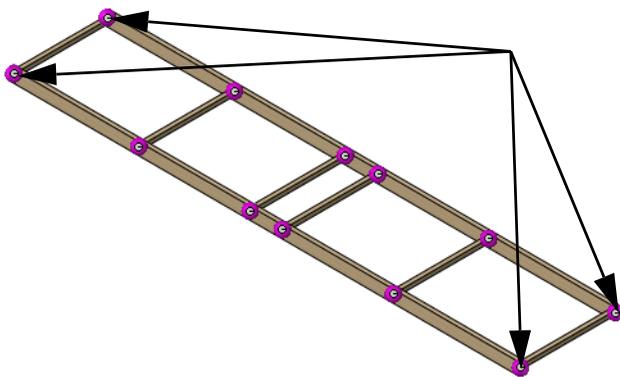


## ¿Qué tipo de sujeciones?

En este proyecto, el puente se colocará sobre el estribo de modo que cruce el vano. El puente entrará en contacto con el estribo pero no se pegará ni se adjuntará de ninguna manera.

### 5 Agregue sujeciones.

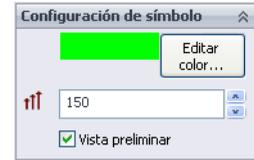
Haga clic en **Simulation, Cargas/Sujeción, Sujeciones**. Haga clic en **Inamovible (sin traslación)**  y seleccione las uniones como se muestra.



**Nota:** Para corregir errores, haga clic con el botón derecho en el cuadro donde aparecen las selecciones y seleccione **Borrar selecciones**. Cuando el cuadro esté vacío, vuelva a realizar la selección.

## 6 Tamaño de los símbolos.

Expanda la sección **Configuración de símbolo** y aumente el valor de **Tamaño de símbolo** a **150**. Esto aumenta el tamaño de los símbolos y los hace más visibles. Haga clic en .

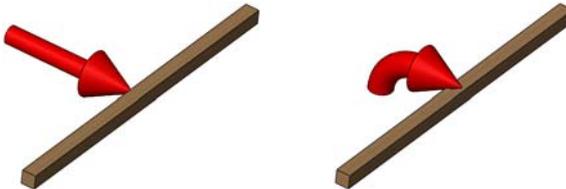


## Fuerzas externas

La fuerza total sobre la estructura se dividirá de manera equitativa en cuatro fuerzas de **5 N** colocadas cerca del centro de la estructura.

### Fuerzas

Las fuerzas tienen dirección y un valor (magnitud). Pueden ser una *fuerza* directa como para sostener un peso o un *momento* que se pliega o gira como el pomo de una puerta.



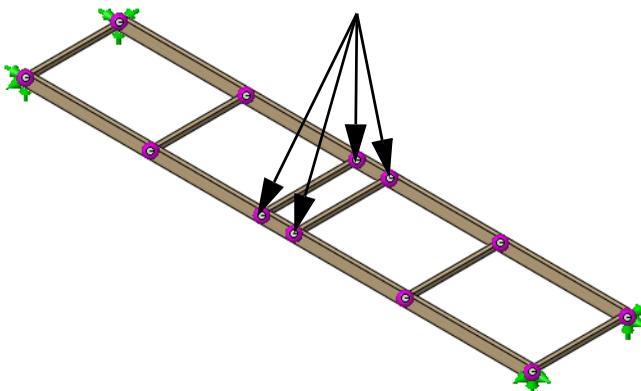
### Gravedad

La gravedad utiliza el peso de la estructura como una carga. No es significativa en este proyecto y no se considerará.

## 7 Agregue fuerzas.

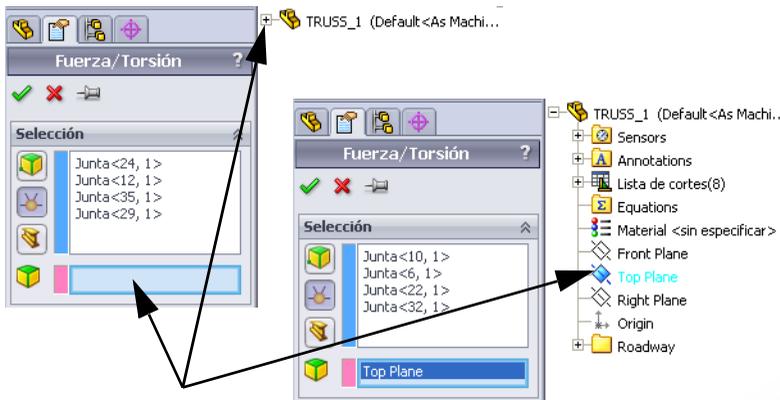
Haga clic en **Simulation, Cargas/Sujeción, Fuerza**.

Haga clic en **Uniones**  y seleccione las juntas visibles como se muestra.



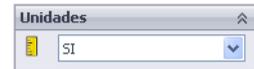
### 8 Establezca la dirección.

Haga clic en el campo **Dirección** y expanda el Gestor de diseño del FeatureManager desplegable. Haga clic en la operación **Top Plane**.



### 9 Establezca las unidades.

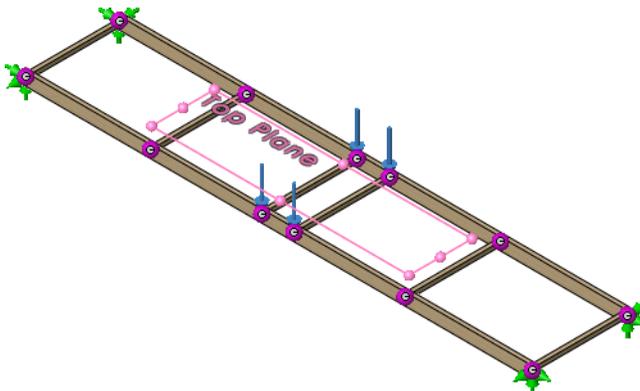
Asegúrese de que las **Unidades** se establezcan en **SI**.



### 10 Asigne una fuerza.

Haga clic en **Normal al plano**  y establezca el valor en **10 N** como se muestra. Haga clic en **Invertir dirección** para que las flechas apunten hacia abajo.

Haga clic en .



**Sugerencia:** Las opciones de **Configuración de símbolo** pueden utilizarse como las opciones de las sujeciones para aumentar o reducir el tamaño del símbolo. Se han establecido en **150**.

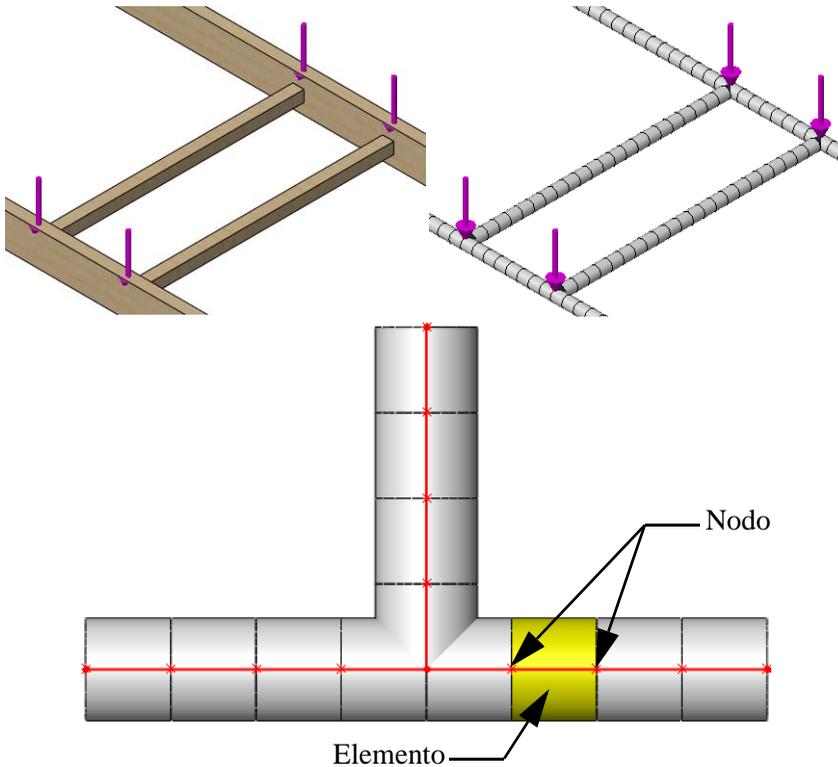
## 11 Guardar.

Haga clic en **Guardar**  para guardar el modelo y los datos de simulación.

**Sugerencia:** Es buena idea guardar periódicamente y evitar la pérdida no intencional de los datos.

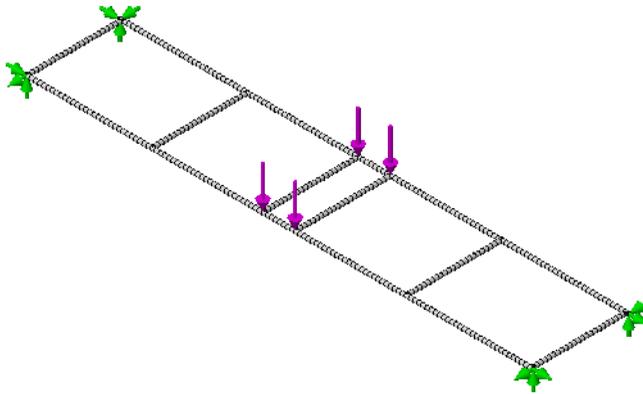
## Mallado del modelo

La malla debe crearse para generar las pequeñas piezas utilizadas en el análisis. El modelo del análisis se compone de una serie de nodos y elementos conectados.



## 12 Mallado.

Haga clic en **Simulation, Malla, Crear**. Se crea una malla utilizando la geometría del modelo.



**Nota:** Este paso se incluye automáticamente en **Simulation, Ejecutar** pero se muestra aquí para resaltar la malla.

## Análisis

El análisis es lo más fácil. SolidWorks Simulation toma su entrada y hace el trabajo para averiguar el resultado. Utilizará la configuración predeterminada para que el resultado sea más rápido.

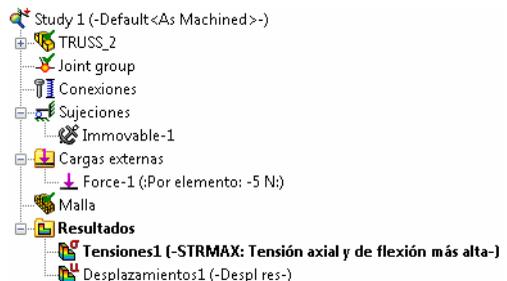
## Expectativas

En la lección anterior, los cálculos de vigas se utilizaron para determinar un desplazamiento aproximado basado en un análisis simplificado de una viga simplemente apoyada. Ese análisis determinó que el desplazamiento fue de aproximadamente **35 mm**. Esperamos que el desplazamiento obtenido del análisis de simulación se encuentre en el mismo orden de magnitud; entre **3,5 mm** y **350 mm**; se espera que se aproxime al resultado de **35 mm**.

## 13 Ejecute.

Haga clic en **Simulation, Ejecutar**. Cuando la ejecución se complete, verá dos operaciones en la carpeta **Results** del Gestor de estudios de simulación.

La simulación está lista para el posprocesamiento.



## Terminología

Mientras se ejecuta el análisis, veremos algunos términos que pueden ayudarle a interpretar el resultado.

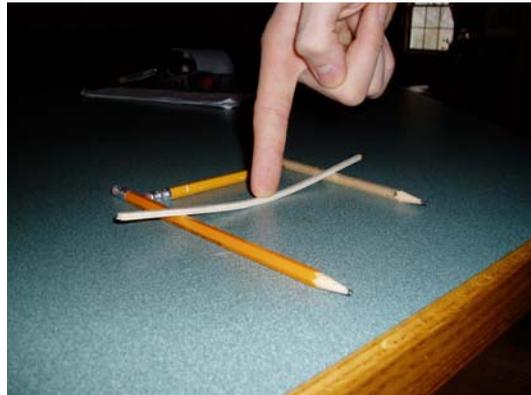
### Flexión y desplazamiento

La **flexión** está causada por una carga que se aplica a una viga. La carga provoca la flexión de la viga y se mueve en la dirección de la carga.

El **desplazamiento** es el movimiento de la viga desde su posición original. El desplazamiento del “peor caso” se produce cuando la carga está en el centro de la viga.

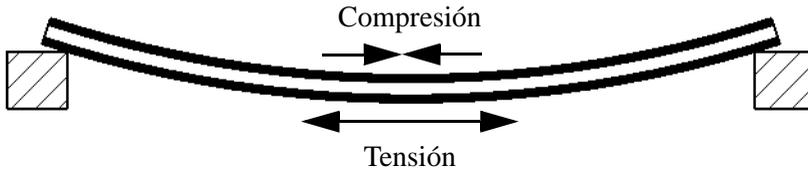
Puede ver el desplazamiento si es lo suficientemente grande, pero generalmente es muy pequeño.

¿Hay un lugar en su casa donde el piso cruja cuando camina sobre él? El crujido es provocado por el desplazamiento de la viga del piso que se flexiona bajo la carga de su peso.



## Tracción y compresión

Cuando la viga se flexiona, su parte superior (la cara en la que se aplica la carga) se comprime (se une), mientras que la cara opuesta sufre tensión (se separa).



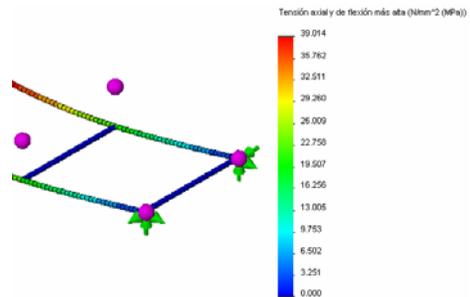
Busque **tensión y compresión** para obtener más información.

## Tensiones

La **tensión** es una cantidad medida por la fuerza por área de unidad dentro de una estructura; está causada por cargas externas aplicadas fuera de la estructura. La tensión no puede verse pero puede hacer que la estructura se rompa.

Las unidades comunes son los newtons por metro cuadrado, los pascales y las libras por pulgada cuadrada (psi).

La tensión puede hacer que la viga se rompa bajo una carga. SolidWorks Simulation proporciona mapas en los que se muestran las áreas con tensiones altas y bajas en la estructura.



## Límite elástico

¿Cuánto puede soportar la viga antes de que se rompa? Utilizamos el **Límite elástico** como límite de la resistencia de la viga en función de las tensiones que soporta la viga. Tanto la sección de la viga como el material contribuyen a la resistencia.

**Nota:** En metales, el material suele flexionarse por la carga, pero vuelve a su forma original cuando la carga se elimina. El límite elástico es el punto en el que el material se flexiona y permanece flexionado cuando se elimina la carga. Se denomina deformación plástica.

## Factor de seguridad

El **factor de seguridad** (FDS) es una forma rápida de ver el resultado del análisis. Se define como la relación de la tensión más alta y el límite elástico del material.

Si el **FDS** > 1, el diseño está . Si el **FDS** < 1, el diseño falla.

**Nota:** Normalmente los ingenieros diseñan para un FDS superior a 2. En general, las estructuras se “sobrediseñan” por motivos de seguridad y fiabilidad.



Busque **tensión (física)**, **límite elástico** o **factor de seguridad** para obtener más información.

## Posprocesamiento

Una vez completado el análisis, el posprocesamiento puede comenzar. El posprocesamiento produce dos trazados en la carpeta Results del Gestor de estudios de simulación que pueden verse y modificarse. Estos trazados le ayudarán a comprender y modificar la estructura del puente.

Cuando comienza el posprocesamiento, dos trazados se publican en la carpeta Results:

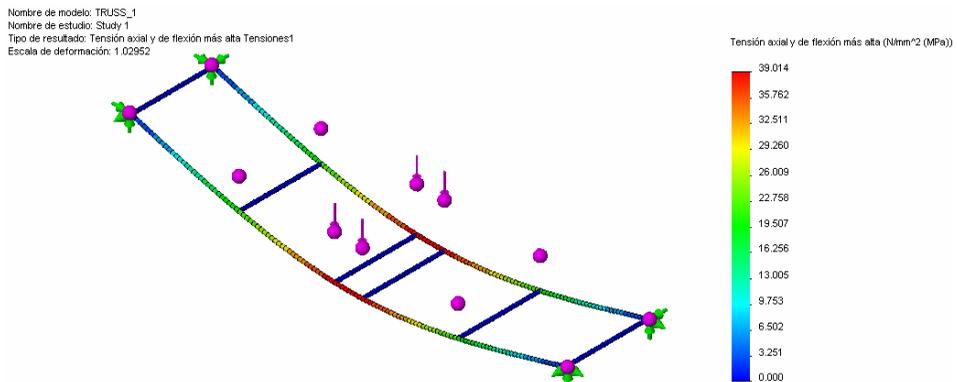
Stress 1 (-STRMAX-High axial and bending) y

Displacement1 (-Res disp-).

El trazado de tensiones se selecciona y se visualiza automáticamente.

### 14 Distribución de la tensión.

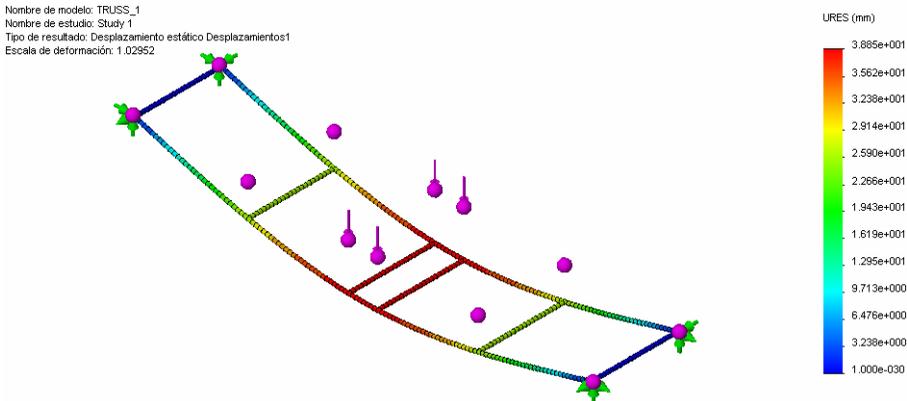
En la pantalla se muestra el modelo con desplazamiento. La **distribución de la tensión** está representada mediante los colores en el modelo desplazado. En el gráfico se muestra la distribución; los colores cálidos para las tensiones más altas y los colores fríos para las tensiones más bajas.



**Nota:** Las uniones  pueden estar ocultas. Haga clic con el botón derecho del ratón en Joint group y seleccione **Ocultar** o **Mostrar**.

## 15 Desplazamiento.

Haga doble clic en el trazado Displacement1 (-Res disp-) para verlo.



## Interpretación de los resultados

Los trazados de tensiones y desplazamientos son útiles porque nos indican los valores reales y dónde son más altos. ¿Qué es un MPa? Tratemos de entender lo que significan los resultados. Estos son los resultados por el momento (*los suyos pueden variar un poco*):

Tensión	Desplazamiento
39,014 MPa (Megapascals)	3,885e+001 mm

## Números

El desplazamiento se muestra en la notación científica. (sus resultados pueden tener una combinación de formatos diferente).

3,880e+001 significa  $3,880 \times 10^1$  o  $3,880 \times 10^1 = 3,880 \times 10 = \underline{\hspace{2cm}}$  mm

¿A cuántas pulgadas equivale? Divida el resultado anterior por 25,4 =        pulg.

## Unidades

Entender las unidades es importante para interpretar los resultados. Las unidades de longitud como mm o pulgadas son familiares. Es posible que la tensión no lo sea. Las unidades de tensión son aquellas de presión, que miden fuerza/superficie. Quizás haya visto psi (libras por pulgada cuadrada) al inflar un neumático de bicicleta. Esta es la presión de un neumático en unidades comunes:

60 psi =  $4,136854 \times 10^5$  Pa = 0,4136854 MPa (1 MPa =  $1 \text{ N/mm}^2 = 1.000.000 \text{ Pa}$ )

## Creación de un nuevo trazado

Lo que necesitamos saber es: ¿cuánta tensión puede soportar la estructura? La mejor solución es crear un trazado de **Factor de seguridad**. Se trata de un proceso de tres pasos.

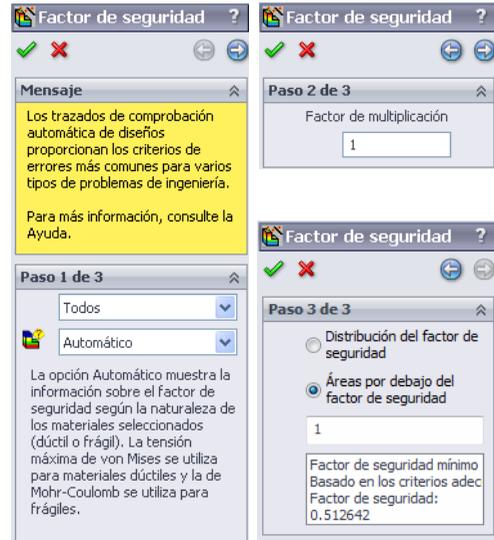
### 16 Trazado de factor de seguridad.

Haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta **Results** en el Gestor de estudios de simulación y seleccione **Definir trazado de factor de seguridad**.

Mantenga la configuración predeterminada y haga clic en **Siguiente**.

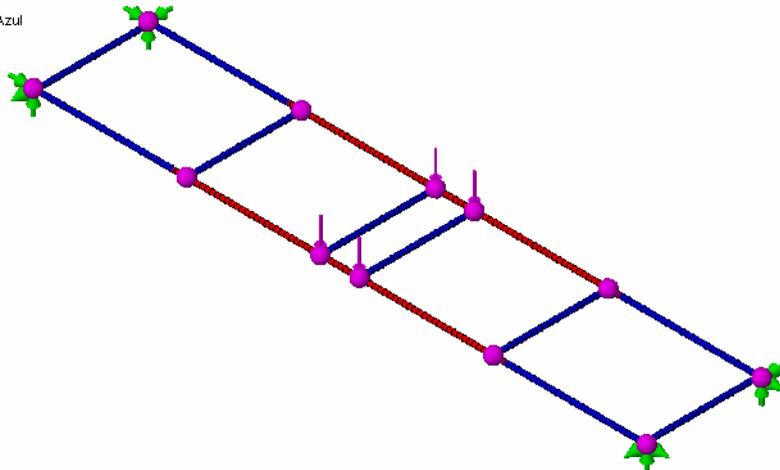
Mantenga el **Factor de multiplicación** en 1 y haga clic en **Siguiente**.

Haga clic en **Áreas debajo del factor de seguridad** y haga clic en .



**Nota:** El factor de seguridad actual se incluye en el cuadro de diálogo como 0,512642 ó 0,5 aproximadamente. Esto es menos que el valor mínimo de 1.

Nombre de modelo: TRUSS\_1  
Nombre de estudio: Study 1  
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
Criterio: Automático  
Rojo < FOS = 1 < Azul



## ¿Qué nos indica el trazado de factor de seguridad?

Las áreas que están por debajo del factor de seguridad se muestran en rojo en el trazado. Si un FDS de **1** es el límite, eso significa que la carga es demasiado pesada para que la estructura la soporte.

La carga debe reducirse.

## Iteración de los cambios

Puesto que la estructura no puede soportar la carga, el siguiente paso consiste en averiguar cuál es la carga que la estructura puede soportar. Para hacerlo, cambiaremos la carga y volveremos a analizar la estructura hasta que podamos obtener un FDS de aproximadamente 1. Esto se denomina *iteración*.

## Determinación de la carga

Antes de repetir un cambio y disminuir la carga, necesitamos decidir cuál es la disminución necesaria. La información actual nos indica que el FDS es de aproximadamente **0,5** para una carga de  $4 \times 10 \text{ N} = 40 \text{ N}$ .

Si multiplicamos el FDS por la carga total, el resultado debería producir un FDS de aproximadamente 1.

$\text{FDS} \times \text{carga total} = 0,5 \times 40 \text{ N} = 20 \text{ N}$  o **5 N** por cara.

Mediante la iteración, volveremos a analizar el modelo para ver si esta fórmula puede validarse.

## Edición de los datos de simulación

Los datos de simulación, como una carga externa, puede editarse para reflejar el nuevo valor. Los resultados no se actualizarán hasta que el análisis se haya ejecutado nuevamente.

### 17 Edite la carga externa.

Haga clic con el botón derecho del ratón en la operación Force-1 (:Per item: -10 N:) y seleccione **Editar definición**. Establezca la carga en **5 N** y haga clic en .



### 18 Vuelva a ejecutar.

Haga clic en **Simulation, Ejecutar** para volver a ejecutar el análisis.

### 19 Factor de seguridad.

Haga doble clic en el resultado Factor of Safety 1 (-Automatic-). El FDS es azul, lo que significa mayor que 1.

### 20 Cierre la pieza.

Haga clic en **Archivo, Cerrar** y, a continuación, en **Guardar** para guardar los cambios.

## **Conclusión**

A partir del análisis, es obvio que la estructura era inadecuada para soportar la carga inicial. Mediante SolidWorks Simulation, hemos podido repetir y descubrir la mayor carga que puede soportar la estructura.

## Lección 5

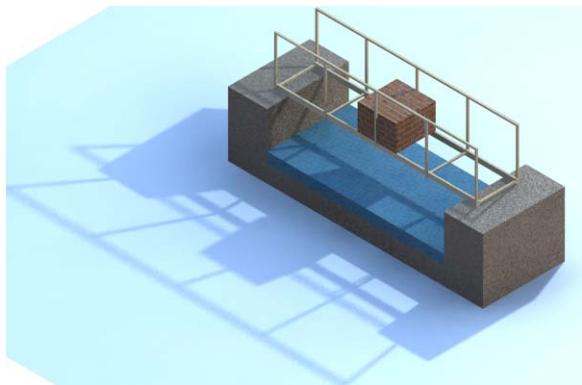
# Realización de cambios de diseño

Cuando termine esta lección, podrá:

- Entender la importancia del arriostramiento transversal.
- Averiguar la carga máxima.
- Ver trazados de desplazamiento.
- Editar trazados y gráficos para mejorar la visualización.
- Calcular la relación resistencia/peso.

## Adición al diseño

Basándonos en el análisis de la estructura realizado con SolidWorks Simulation, podemos concluir que la estructura necesita un refuerzo. Esta versión tiene paredes laterales agregadas que refuerzan el diseño y le permiten soportar cargas mayores.



## Apertura del diseño

### 1 Abra el archivo de pieza.

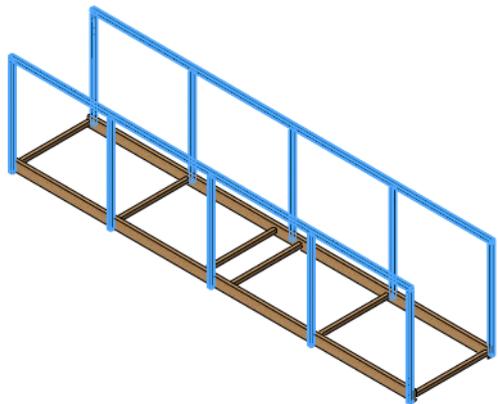
Haga clic en **Abrir** .

En la ventana **Abrir**, vaya a la carpeta Lesson 5.

En la ventana **Abrir**, vaya a la carpeta Bridge Design Project\Student\Lesson 5.

Seleccione TRUSS\_2.sldprt y haga clic en **Abrir**.

Esta versión tiene laterales compuestos de miembros verticales y horizontales.

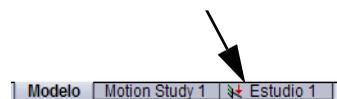


## Estudio existente

Esta pieza es igual a la anterior con la adición de las paredes. También tiene un estudio denominado **Study 1** que utiliza los mismos valores que la pieza anterior.

### 2 Acceda a un estudio existente.

Haga clic en la pestaña **Study 1** ubicada en la parte inferior izquierda de la pantalla. Aparece el Gestor de estudios de simulación. El análisis tiene sujeciones, cargas externas y malla.



### 3 Ejecute el análisis.

Haga clic en **Simulation, Ejecutar**.

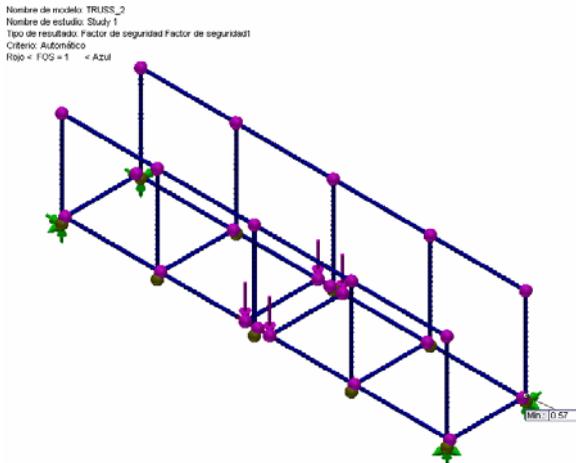
La simulación está lista para el posprocesamiento. Tenga en cuenta que el trazado de factor de seguridad *no* se crea automáticamente.

### 4 Trazado de factor de seguridad.

Haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta Results en el Gestor de estudios de simulación y seleccione **Definir trazado de factor de seguridad**. Utilice el mismo procedimiento que en “Creación de un nuevo trazado” en la página 49.

### 5 Etiquetas.

Haga clic con el botón derecho del ratón en el resultado Factor of Safety1 (-Automatic-) y seleccione **Opciones de gráfico**. Haga clic en **Mostrar anotación mín.** y en .



Los resultados muestran que el FDS ha disminuido en comparación con una carga inicial similar en la lección anterior.

## Cambio de la carga

Repetiremos las cargas externas para ver cuánto puede soportar esta versión de la estructura, usando nuevamente un FDS de **1** como objetivo. En la lección anterior aprendimos que la multiplicación de la carga total por el factor de seguridad producía la carga máxima permitida.

$$20 \text{ N} \times 0,57 = 11,4 \text{ N} \text{ cada carga es de } 11,4 \text{ N}/4 = \mathbf{2,85 \text{ N}}$$

**6 Edite la carga externa.**

Haga clic con el botón derecho del ratón en la operación Force-1 (:Per item: - 10 N:) y seleccione **Editar definición**. Establezca la carga en **2,85 N** y haga clic en .

**7 Vuelva a ejecutar.**

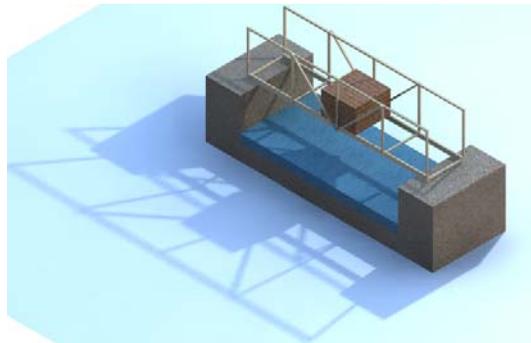
Haga clic en **Simulation, Ejecutar** para volver a ejecutar el análisis. El FDS mínimo nuevamente debería acercarse a **1**.

**8 Cierre la pieza.**

Haga clic en **Archivo, Cerrar** y, a continuación, en **Guardar** para guardar los cambios.

**Arriostramiento transversal**

En una lección anterior, se trató sobre el valor de los triángulos y el arriostramiento transversal (“Triángulos” en la página 14). Veremos una estructura con cierto arriostramiento transversal para ver como cambia el resultado. Igual que antes, la carga permanece con el mismo valor (**3,45 N** en cuatro lugares) y todo es igual, con excepción del arriostramiento agregado.

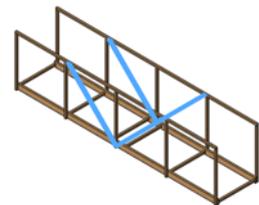
**Apertura del diseño****1 Abra el archivo de pieza.**

Haga clic en **Abrir** .

En la ventana **Abrir**, vaya a la carpeta Lesson 5.

Seleccione TRUSS\_3.sldprt y haga clic en **Abrir**.

Esta versión es similar a la anterior con la adición de arriostramiento transversal en la sección central.

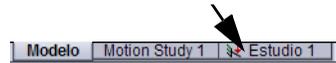


## Estudio existente

Esta pieza es igual a la anterior con la adición de las paredes. También tiene un estudio denominado **Study 1** que utiliza los mismos valores que la pieza anterior.

### 2 Acceda a un estudio existente.

Haga clic en la pestaña **Study 1** ubicada en la parte inferior izquierda de la pantalla. Aparece el Gestor de estudios de simulación. El análisis tiene sujeciones, cargas externas y malla.



### 3 Ejecute el análisis.

Haga clic en **Simulation, Ejecutar**.

La simulación está lista para el posprocesamiento. Cree el trazado de FDS. El valor es mayor que 1 (agregue etiquetas utilizando el procedimiento que se muestra en el paso 5 en la página 54).

### 4 Edite la carga externa.

Haga clic con el botón derecho del ratón en la operación **Force-1** y seleccione **Editar definición**. Establezca la carga en **4,5 N** y haga clic en .

### 5 Vuelva a ejecutar.

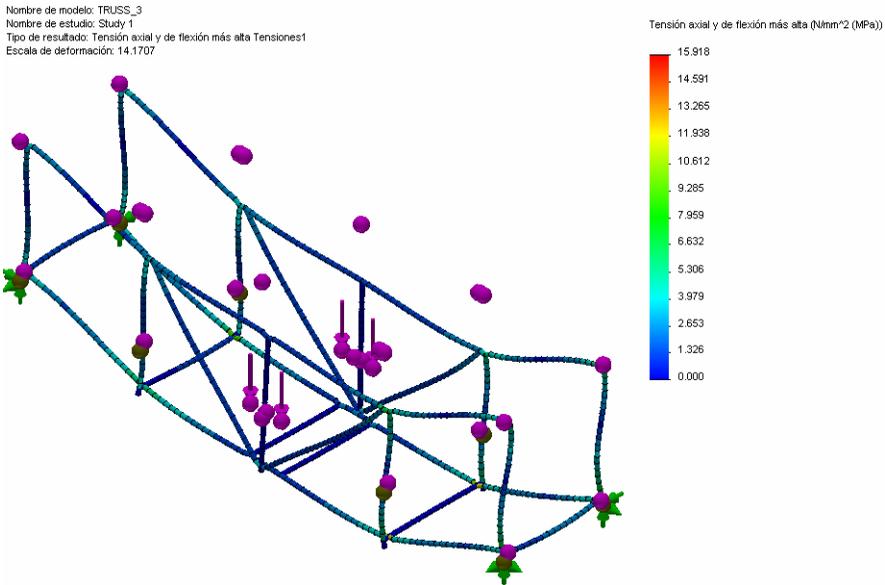
Haga clic en **Simulation, Ejecutar** para volver a ejecutar el análisis. El FDS mínimo nuevamente debería acercarse a 1.

## ¿Qué hizo el arriostramiento transversal?

El arriostramiento transversal crea triángulos que “rigidizan” la estructura y le ayudan a resistir la flexión y la torsión. Para ver su efectividad, veremos el resultado.

## 6 Trazado de tensiones.

Haga doble clic en el trazado Stress1 (-STRMAX: Highest axial and bending-) para ver el trazado de tensiones.



## Uso de trazados

Hay muchas opciones que pueden utilizarse para facilitar la lectura y la comprensión de los trazados. Analizaremos algunas opciones para cambiar el aspecto de los mismos.

## Factor del trazado de deformación

Es posible que la forma deformada del trazado de tensión utilice un desplazamiento exagerado, que puede resultar muy grande. Para exagerar el desplazamiento, puede establecer la forma deformada en un valor **Automático** o **Definido por el usuario** de su elección.

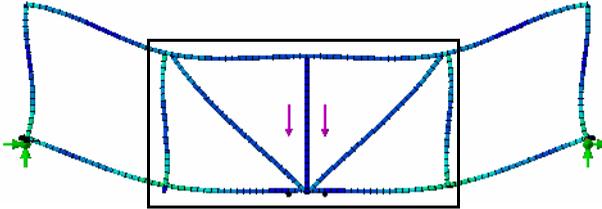
## 7 Forma deformada.

Haga clic con el botón derecho del ratón en el trazado Stress1 (-STRMAX: Highest axial and bending-) y seleccione **Editar definición**. Asegúrese de que las opciones **Forma deformada** y **Automático** estén seleccionadas. Haga clic en



## 8 Vista frontal.

Haga clic en **Frontal**  en el icono **Orientación de vista**  y observe la distribución de la tensión del modelo desde el frente. La sección central del modelo, con arriostramiento transversal, mantiene su forma mejor que los extremos debido a la resistencia agregada por el arriostramiento.



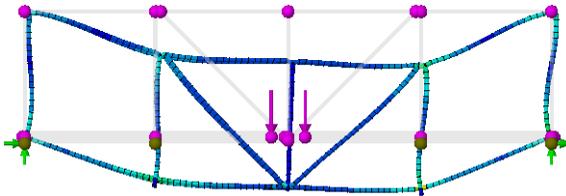
## Superposición del modelo

Las opciones de configuración le permite superponer la forma no deformada y cambiar el aspecto del gráfico para mostrar los cambios en un color distinto.

## 9 Configuración.

Haga clic con el botón derecho del ratón en el trazado **Stress1 (-STRMAX: Highest axial and bending-)** y seleccione **Configuración**.

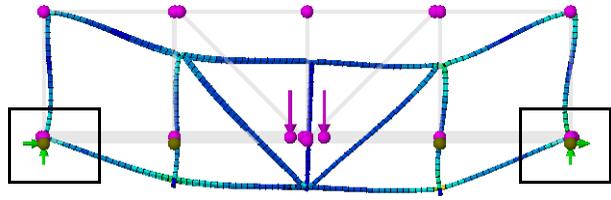
En **Opciones de borde**, seleccione **Discreto**. En **Opciones de trazado de deformación**, haga clic en **Superponer el modelo sobre la forma deformada** y establezca la **Transparencia** en **0,7**. Haga clic en .



**Nota:** El título y los gráficos de colores pueden moverse mediante las acciones de arrastrar y colocar.

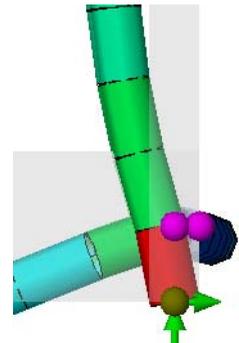
## El eslabón más débil

¿Conoce la expresión “el eslabón más débil”? El significado literal es la parte más vulnerable de una cadena, el eslabón que es más fácil que se rompa.



Si observa atentamente la sección inferior izquierda de la imagen, verá la etiqueta o el valor de tensión más alto. Este es el eslabón más débil, un área de *tensión alta*.

Debe haber un área de tensión alta similar (en rojo) a la derecha, cerca de la sujeción. Si amplía la vista con el zoom podrá verla.

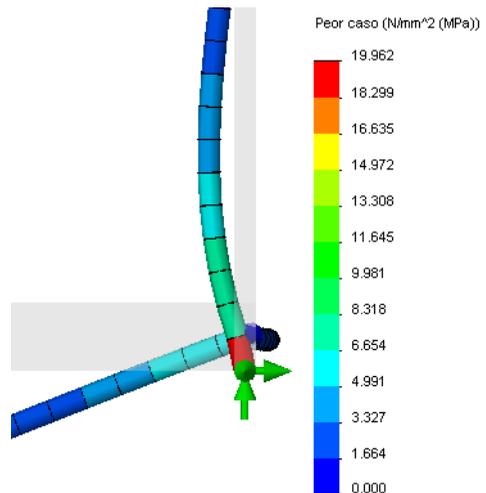


## Colores de distribución de la tensión

La distribución de la tensión siempre incluye un gráfico de colores que permite comparar los colores con los valores de tensión reales. La tensión máxima está en amarillo/rojo/naranja y la más baja está en tonos azules.

Se utiliza SolidWorks Simulation para identificar los “eslabones más débiles” del modelo para que puedan repararse.

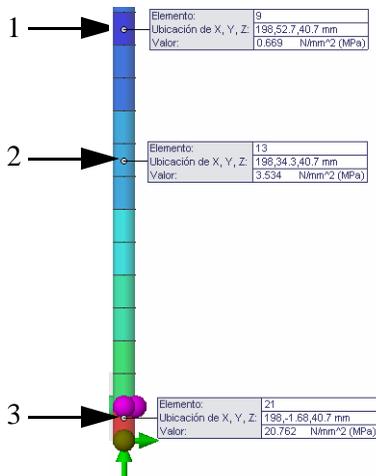
Tenga en cuenta que la tensión más alta quizás no haga que la estructura falle. Siga la flecha **Límite elástico**, que es el punto de fallo.



## Uso de la identificación de valores

Las identificaciones de valores le permiten obtener información más detallada de un trazado mediante la selección directa de los elementos. El elemento recibirá una etiqueta que muestra el valor exacto, por tipo, de dicho elemento. Los trazados también pueden generarse a partir de los datos de la identificación de valores.

- 10 Agregue una instancia de identificación de valores.** Haga clic en **Simulation, Herramientas de resultados, Identificar valores**. Seleccione los elementos de arriba hacia abajo, en orden, como se muestra. Los valores muestran que el valor de tensión aumenta considerablemente del primero a los últimos elementos seleccionados.

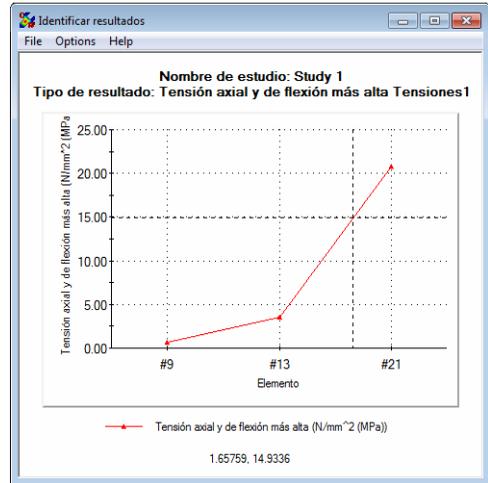


**Nota:** Realice selecciones similares a las que se muestran aquí. Las etiquetas que se ven pueden tener valores y números de elementos algo diferentes.

### 11 Trazado.

Haga clic en **Trazado**  para crear una instancia de **Identificar resultados**. El cambio en el valor de tensión en esos pocos elementos es significativa como lo demuestra el trazado.

Haga clic en la “x” para cerrar el cuadro de diálogo **Identificar resultados** y en  para cerrar el PropertyManager **Identificar resultados**.



### 12 Isométrica.

Haga clic en **Isométrica**  en el icono **Orientación de vista** .

### 13 Forma deformada.

Haga clic con el botón derecho del ratón en el trazado **Stress1 (-STRMAX: Highest axial and bending-)** y seleccione **Editar definición**. Haga clic en **Forma deformada** y en **Automático**. Haga clic en .

### 14 Anime.

Haga clic en **Simulation, Herramientas de resultados, Animar**. Mueva el control deslizante de **Velocidad** al valor de **10** como se muestra.

Haga clic en .



**Sugerencia:** El control deslizante de **Cuadros** puede utilizarse para crear una animación más suave aumentando la cantidad de cuadros.

### Ajuste del formato de número

Los valores que acompañan los gráficos utilizan un formato de número basado en el tamaño. Por ejemplo, si los números son muy pequeños o muy grandes, se utiliza una notación científica. Puede cambiar el formato de número para facilitar la lectura de los gráficos. Aquí se muestra el mismo número en tres formatos de número diferentes.

Notación científica	Flotante	General
3,727e+000	3,727	3,73

### 15 Desplazamiento.

Haga doble clic en el trazado Displacement1 (-Res disp-). Los números de desplazamiento tienden a ser pequeños y en este gráfico van de 0 a 4 mm aproximadamente. Se expresan en notación científica pero sería más fácil leerlos en formato decimal.

### 16 Opciones de gráfico.

Haga clic con el botón derecho del ratón en el trazado Displacement1 (-Res disp-) y seleccione **Opciones de gráfico**. En **Posición/Formato**, seleccione **Formato de número flotante**.

Los números son tan fáciles de leer como los números de formato flotante.

Haga clic en .



## Solución

Ahora que se han identificado las zonas débiles, se pueden solucionar. ¿Cuál cree que es la mejor solución para este problema?

1. Aumente la carga para aumentar el FDS a un valor mayor que 1.
2. Agregue arriostramiento transversal a las secciones sin arriostramiento.

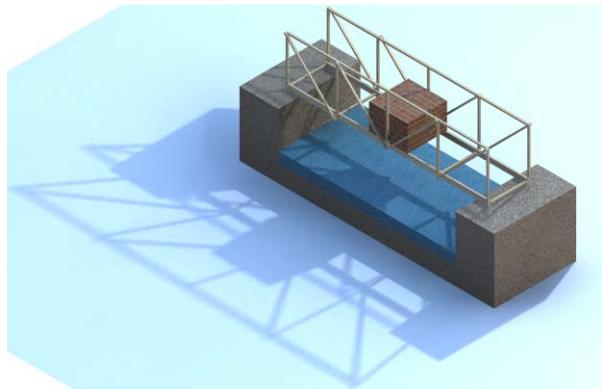
Elegiremos el elemento 2 y luego maximizaremos la carga sobre la estructura.

### 17 Cierre la pieza.

Haga clic en **Archivo, Cerrar** y, a continuación, en **Guardar** para guardar los cambios.

## Acabado del arriostramiento

Para completar el arriostramiento transversal, se han agregado miembros en las secciones externas. Veamos qué hace esto en la estructura.



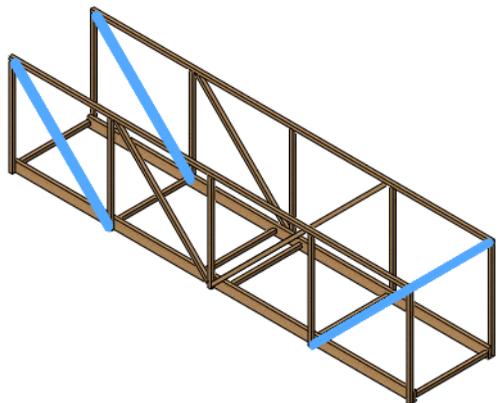
### 1 Abra el archivo de pieza.

Haga clic en **Abrir** .

En la ventana **Abrir**, vaya al directorio **Structure** (Estructura).

Seleccione **TRUSS\_4.sldprt** y haga clic en **Abrir**.

Esta versión es similar a la anterior con un arriostramiento transversal total.



### 2 Vuelva a ejecutar.

Abra el estudio existente **Study 1** y vuelva a ejecutar el análisis.

## Comparación de tensiones

El arriostramiento agregado parece haber sido muy efectivo. ¿Cómo podemos asegurarlo? La tensión máxima se ha reducido.

¿Usted espera que el valor de FDS aumente o disminuya? \_\_\_\_\_

### 3 Trazado de factor de seguridad.

Cree un trazado de factor de seguridad y verifique el valor del FDS.

### 4 Maximice la carga externa.

Nuevamente, maximizaremos la carga para un factor de seguridad de 1.

$$4,90 \times 4,5 \text{ N} = \text{_____ N}$$

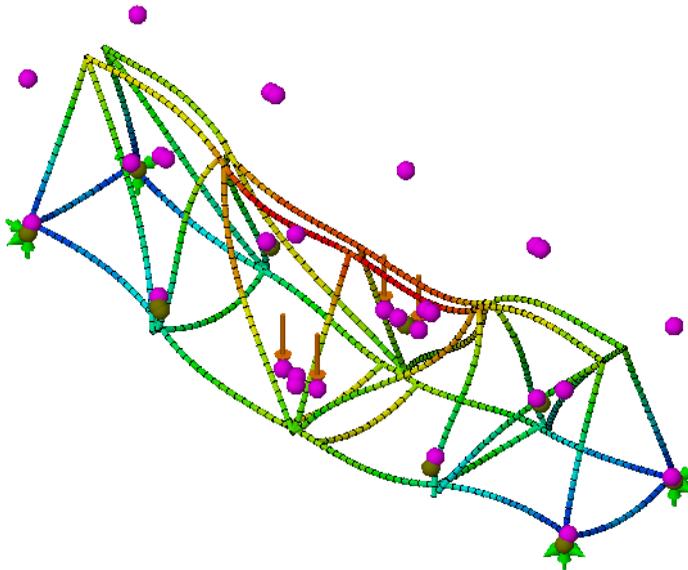
Edite la carga externa de la operación Force-1 y establézcala en **22 N**.

### 5 Vuelva a ejecutar.

Haga clic en **Simulation, Ejecutar** para volver a ejecutar el análisis. El FDS mínimo nuevamente debería acercarse a 1.

### 6 Desplazamiento.

Haga doble clic en el trazado Displacement1 (-Res disp-). Anime el trazado.



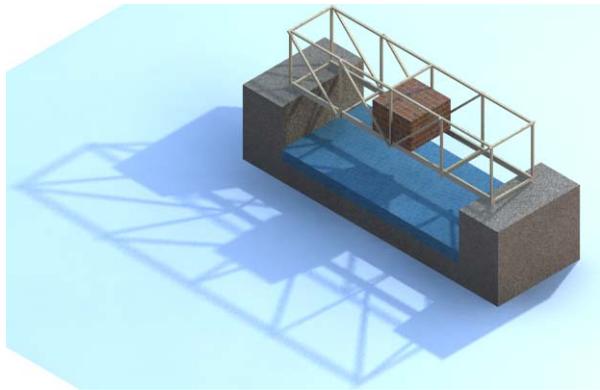
Los desplazamientos son más pequeños pero quizás advierta que el modelo tiene una forma extraña. Las partes superiores de las paredes se flexionan hacia dentro. Se requieren algunos arriostramientos adicionales.

### 7 Cierre la pieza.

Haga clic en **Archivo, Cerrar** y, a continuación, en **Guardar** para guardar los cambios.

## Vigas superiores

Para completar la estructura, se han agregado miembros en la parte superior de las paredes, conectándolas. Veamos qué hace esto en la estructura.



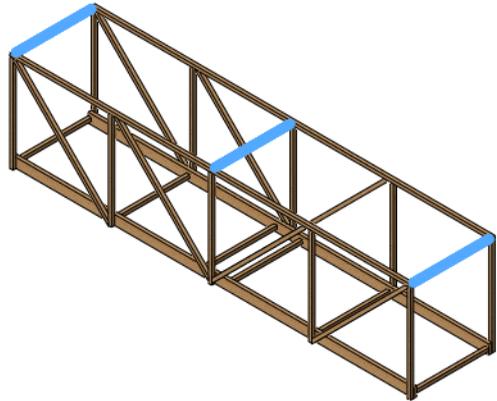
### 1 Abra el archivo de pieza.

Haga clic en **Abrir** .

En la ventana **Abrir**, vaya al directorio **Structure** (Estructura).

Seleccione **TRUSS\_5.sldprt** y haga clic en **Abrir**.

Esta versión es similar a la anterior con tres barras de arriostramiento superiores agregadas.



### 2 Maximice la carga.

Abra el estudio existente **Study 1**.

### 3 Análisis y ediciones.

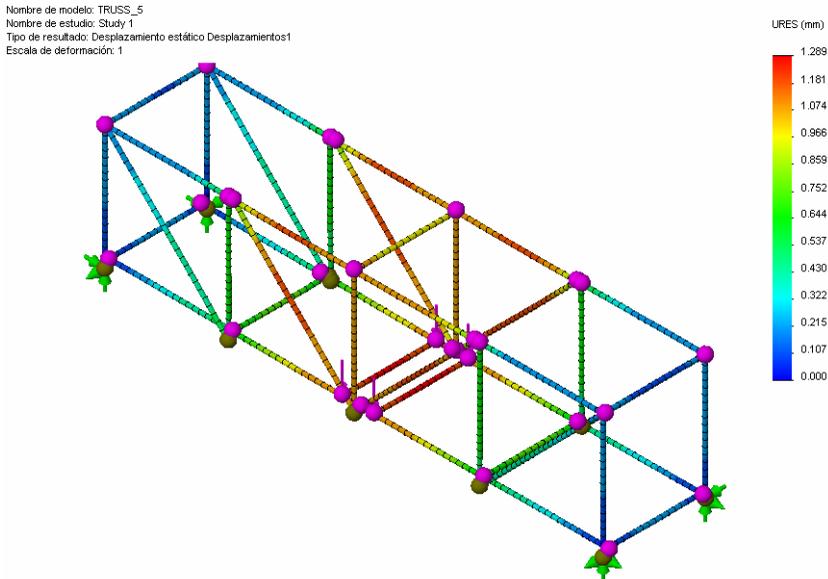
Ejecute el análisis y cree un trazado de **FDS**. El **FDS** debe ser inferior a **1**.

Para aumentar el **FDS** a más de **1**, reduzca la carga a **20 N** y vuelva a ejecutar.

#### 4 Desplazamiento.

Si bien el arriostramiento adicional hizo muy poco para cambiar la carga máxima, reduce el desplazamiento máximo.

Haga clic con el botón derecho del ratón en el desplazamiento y seleccione **Editar definición**. Establezca el valor de **Forma deformada** en **Escala real** y haga clic en . También haga clic en **Opciones de gráfico** y seleccione **Flotante** como el **Número de formato**.



### Relación resistencia/peso

Esta es sólo una de las muchas estructuras que pueden diseñarse para soportar una carga. Si hubiera tres estructuras diferentes que soportaran tres cargas distintas ¿cómo podría determinar qué diseño es el más eficaz? Puede usar la **relación resistencia/peso** (carga máxima/peso de la estructura).

#### ¿Qué hace nuestro peso de la estructura?

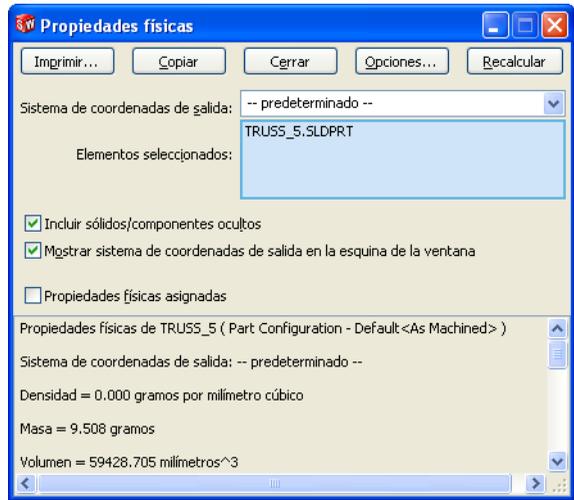
Mediante SolidWorks, averiguar las propiedades de la masa es fácil. Se han calculado para el modelo automáticamente.

**5 Propiedades físicas.**

Haga clic en **Herramientas, Propiedades físicas** para ver una lista de las propiedades físicas de la pieza. La información clave es la línea de **Masa**. Es el peso total de la estructura en gramos.

Haga clic en **Cerrar**.

**Nota:** Conversión de gramos a newtons:  
1 gramo es aproximadamente 0,01 newton.



**Comparación de eficacia**

Utilice la información del siguiente gráfico para calcular la **capacidad de carga máxima** y la **eficacia** para cada iteración en el diseño. ¿Qué diseño es el más eficaz?

Estructura	Carga máxima	Peso de la estructura	Eficacia (Carga máxima/peso)
TRUSS_1	20 N	4,566 g = _____ N	_____
TRUSS_2	11,4 N	7,418 g = _____ N	_____
TRUSS_3	18 N	8,266 g = _____ N	_____
TRUSS_4	88 N	9,130 g = _____ N	_____
TRUSS_5	80 N	9,508 g = _____ N	_____

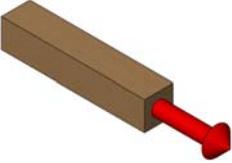
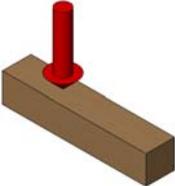
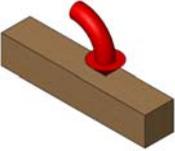
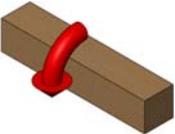
¿Qué iteración de la estructura ha resultado ser la más eficaz? \_\_\_\_\_

**6 Cierre la pieza.**

Haga clic en **Archivo, Cerrar** y, a continuación, en **Guardar** para guardar los cambios.

## Investigación adicional

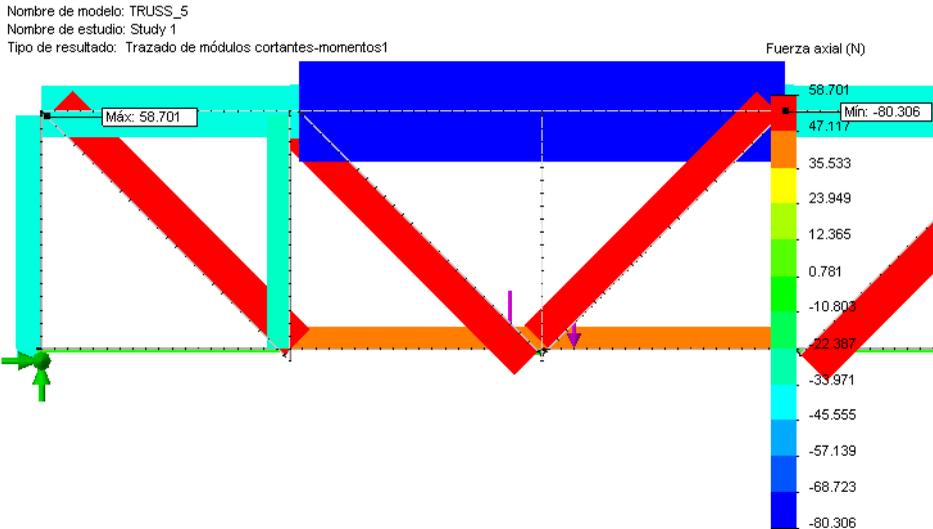
Cada simulación puede tener múltiples trazados para mostrar los resultados de diferentes maneras, pero el análisis de vigas tiene un tipo único, el **Diagrama de vigas**. Este trazado puede utilizarse para mostrar diversas cantidades directamente en las vigas. Las fuerzas y cortaduras se muestran en Newtons (**N**), los momentos y la torsión en Newton-Metros (**N-m**).

Tipo de fuerza de vigas	Dirección de fuerza
Fuerza axial	
Fuerza cortante (direccional)	
Momento (direccional)	
Torsión	

Un diagrama de viga puede agregarse a los resultados haciendo clic con el botón derecho del ratón en la carpeta Results y seleccionando **Definir diagramas de vigas**. También se debe seleccionar uno de los tipos anteriores.

## Lectura del trazado

Como ejemplo, observe el trazado utilizando la **Fuerza axial**. La fuerza axial en los miembros del arriostramiento angular es de color rojo, lo que significa que el valor se encuentra entre **47 N** y **53 N**. Los arriostramientos están en tensión, porque sus valores de fuerza axial son positivos.



**Nota:** Las fuerzas axiales en el miembro vertical más cercano a las cargas externas son muy pequeñas porque los arriostramientos absorben la mayor parte de la carga.

## **Lección 6**

# **Uso de un ensamblaje**

Cuando termine esta lección, podrá:

- Abrir un ensamblaje.
- Mover los componentes del ensamblaje.
- Comprobar las interferencias entre los componentes del ensamblaje.
- Realizar un cambio en una pieza mientras está en el ensamblaje.

## Creación de un ensamblaje

Los ensamblajes son archivos de SolidWorks que contienen varias piezas. Podemos usar un ensamblaje para comprobar si un bloque de prueba, que representa un vehículo, puede moverse por la estructura.

### Ensayo mediante el bloque de prueba

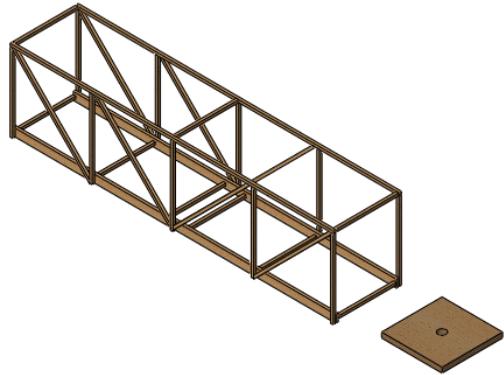
Si fuera a construir esta estructura y realizar un ensayo de ella, tendría que cumplir ciertos criterios de longitud, anchura y altura. Uno de los criterios sería una prueba para ver si un bloque de madera de un determinado tamaño y longitud podría pasar.

#### 1 Abra el archivo de ensamblaje.

Haga clic en **Abrir** .

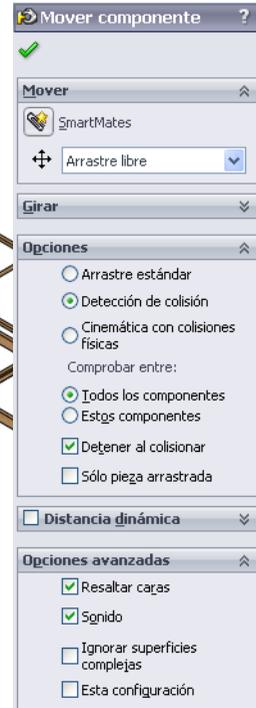
En la ventana **Abrir**, vaya a la carpeta Bridge Design Project\Student\Lesson 6. Seleccione Test\_Block\_Assembly.sldasm y haga clic en **Abrir**.

El ensamblaje incluye una copia de la estructura previa y una representación de un bloque de madera.



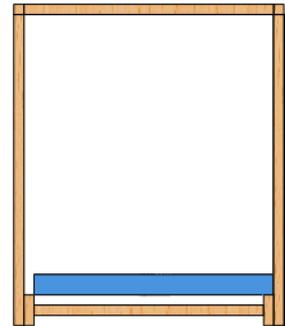
**2 Mueva el componente.**

Seleccione el componente Load\_Plate\_75 y haga clic en **Herramientas, Componente, Mover** en la barra de herramientas Ensamblaje. En el cuadro de diálogo, haga clic en **Detección de colisión, Todos los componentes, Resaltar caras y Sonido**. Seleccione y arrastre Load\_Plate\_75 a través de la estructura. Debería moverse suavemente a través de la estructura y de vuelta a la posición inicial fuera de la estructura.

**3 Ajuste.**

El bloque se ajusta a la estructura. De hecho, hay un margen mayor del necesario. Para obtener la estructura más eficaz, deseamos limitar la anchura de la estructura para que el bloque se ajuste a un margen muy pequeño.

Haga clic en .

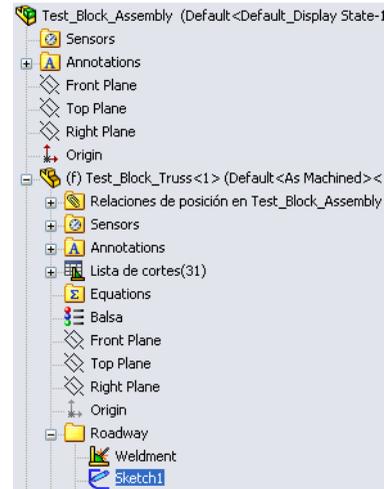
**Cambio del modelo**

Los cambios realizados en un modelo afectan el ensamblaje y el análisis.

#### 4 Expanda las operaciones.

En el FeatureManager, haga doble clic en el componente **Test\_Block\_Truss** y, a continuación, en la carpeta **Roadway** para expandirla.

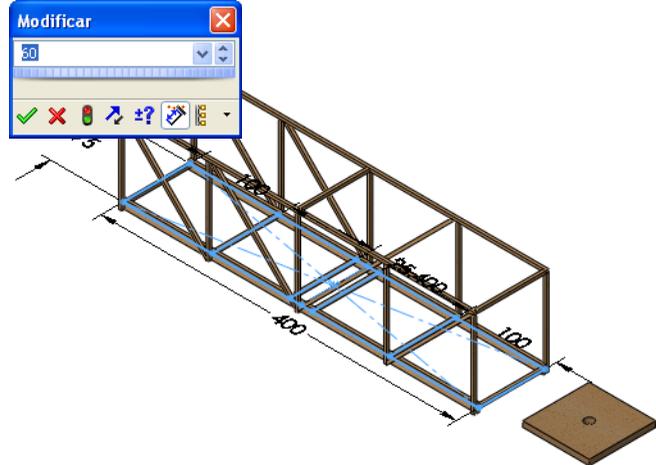
Haga doble clic en la operación **Sketch1**.



#### 5 Cambie la cota.

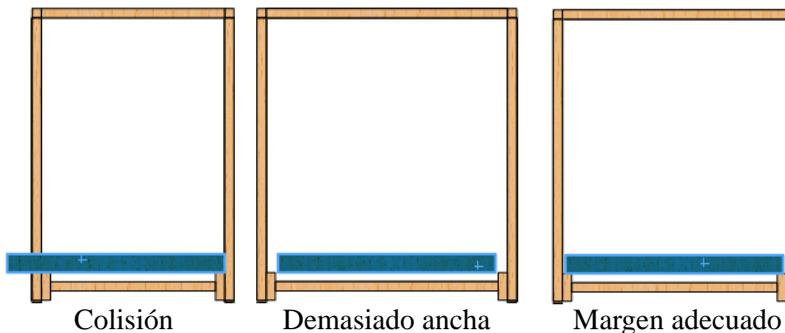
Haga doble clic en la cota **75** y cámbiela a **60**. Haga clic en

**Reconstrucción**  y en . El tamaño de la pieza de la estructura cambia.



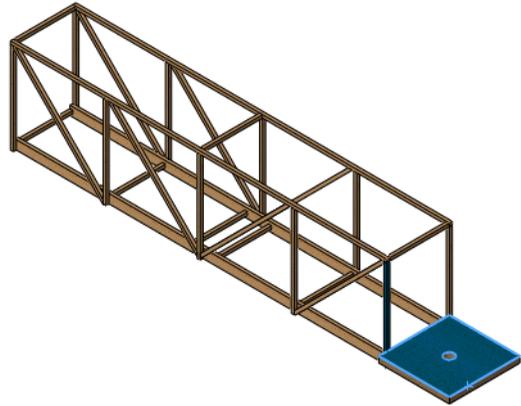
#### Detección de colisión

Los márgenes son pequeñas distancias entre las piezas diseñadas para que encajen correctamente. Si cualquier pieza es demasiado pequeña o demasiado grande, el ensamblaje no encajará correctamente.



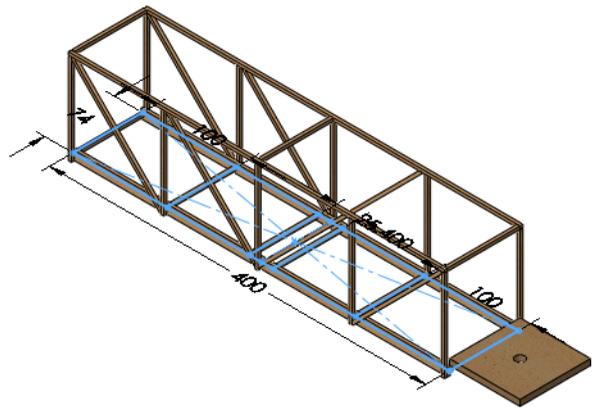
**6 Mueva.**

Utilice el mismo procedimiento **Mover** de antes (paso 2) e intente mover el bloque por la estructura. Colisiona con la estructura.



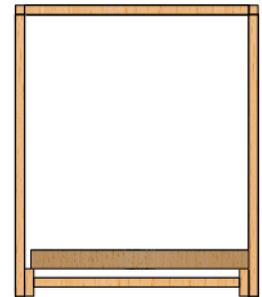
**7 Aumente la anchura.**

Mediante el mismo procedimiento de cambio de cota (paso 5), cambie la cota a **74 mm**.



**8 Corrija el tamaño.**

Este tamaño proporciona un pequeño margen y permite que el bloque se deslice.



**9 Abra la pieza.**

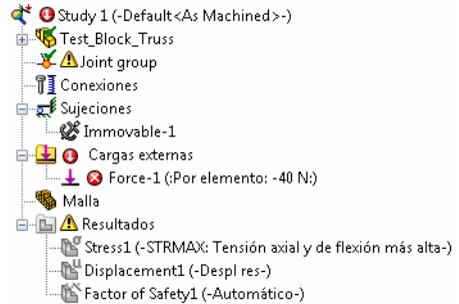
Haga clic con el botón derecho del ratón en **Test\_Block\_Truss** en el FeatureManager y seleccione **Abrir pieza** . La pieza de la estructura se abre en su propia ventana.

**Actualización del análisis**

El modelo ha cambiado y ahora es más angosto. El cambio del modelo producirá diversos errores en las uniones que, a su vez, provocarán errores en las sujeciones, las cargas y la malla.

## 10 Advertencias y errores.

Haga clic en el estudio Study 1. Hay marcadores de advertencia y error en diversas operaciones.



## 11 Grupo de juntas.

Haga clic con el botón derecho del ratón en Joint Group y seleccione **Editar**.

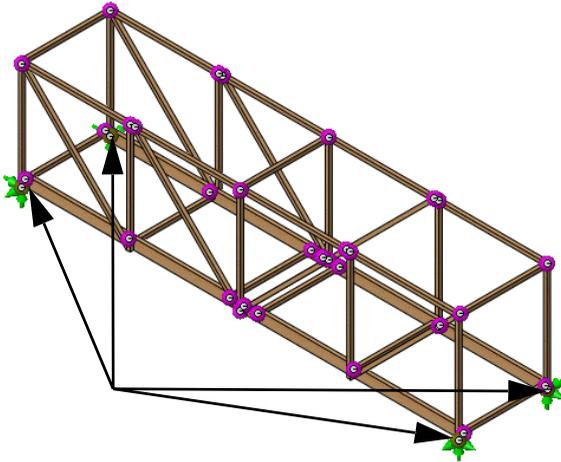
Haga clic en **Calcular** y en .

El mensaje dice Joints are recalculated. Calculated joints may look same, but the order may be different. Re-definition of fixture/load/connection may be required (Las uniones se han recalculado. Las uniones calculadas pueden parecer iguales, pero el orden puede ser diferente. Probablemente sea necesario redefinir la sujeción/carga/conexión.) Haga clic en **Aceptar**.



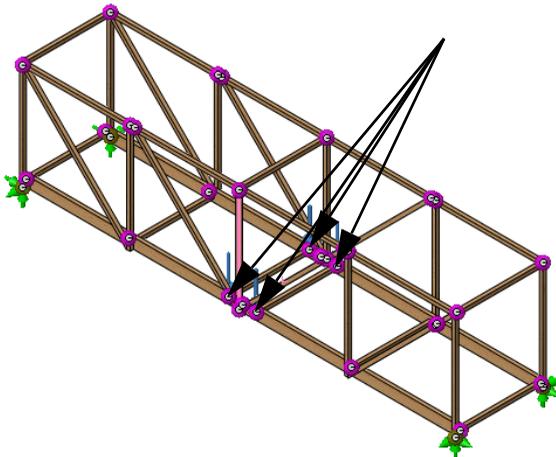
## 12 Sujeción.

Haga clic con el botón derecho del ratón en **Immovable-1** y seleccione **Editar definición**. Verifique que se hayan seleccionado las mismas cuatro uniones (verdes) y haga clic en .



## 13 Carga.

Haga clic con el botón derecho del ratón en la carga externa **Force-1** (:Per item: -40 N:) y seleccione **Editar definición**. Haga clic en el campo de selección y seleccione las mismas cuatro uniones como se muestra y haga clic en .



## 14 Malle y ejecute.

Haga clic con el botón derecho del ratón en la operación **Mesh** y seleccione **Crear malla y ejecutar**. Los cambios son insignificantes. Haga clic en **Archivo, Cerrar** y guarde todos los cambios.

# Lección 7

## Realización de dibujos de la estructura

Cuando termine esta lección, podrá:

- Agregar una vista de dibujo de la pieza.
- Crear una tabla de listas de cortes para pieza soldada.
- Agregar globos a una vista de dibujo.

## Dibujos

SolidWorks permite crear fácilmente dibujos de piezas y ensamblajes. Estos dibujos están totalmente asociados a las piezas y ensamblajes a los que hacen referencia. Si cambia una cota en el dibujo acabado, ese cambio se propagará al modelo. De igual forma, si cambia el modelo, el dibujo se actualizará automáticamente.

Los dibujos comunican tres cosas acerca de los objetos que representan:

- **Forma:** Las *vistas* comunican la forma de un objeto.
- **Tamaño:** Las *cotas* comunican el tamaño de un objeto.
- **Otra información:** Las *notas* comunican información no gráfica acerca de procesos de fabricación, como taladrado, escariado, refrentado, pintura, enchapado, esmerilado, tratamiento térmico, eliminación de rebabas, etc.

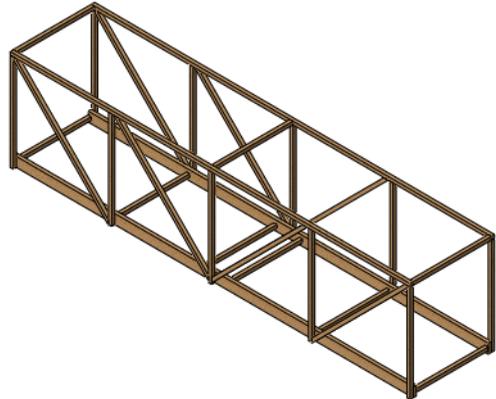
## Creación de un dibujo y vistas

Una vez completado el modelo, puede hacerse un dibujo con esa pieza. En este ejemplo, se ha asociado una hoja de dibujo en blanco a la pieza.

### 1 Abra el archivo de pieza **Dibujos**.

En la ventana **Abrir**, vaya a la carpeta Bridge Design Project\Student\Lesson 7.

La pieza es un modelo completo de la estructura.





#### 4 Propiedades de la vista del dibujo.

Seleccione **Sombreado con aristas**  en **Estilo de visualización**. Haga clic en **Escala de hoja**.

Haga clic en  para completar la vista.



#### ¿Qué es una tabla de listas de cortes para pieza soldada?

La **Tabla de listas de cortes para pieza soldada** es una lista de los miembros o vigas de la pieza. Están organizadas en grupos por longitud e incluyen un número de elemento, cantidad, descripción y longitud. Toda esta información se extrae de la pieza.

#### 5 Lista de cortes para pieza soldada.

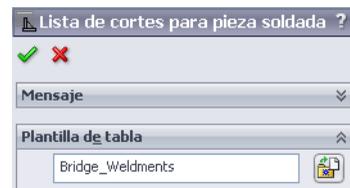
Haga clic en **Insertar, Tablas, Lista de cortes para pieza soldada**  y seleccione la vista de dibujo.

Seleccione el archivo

Bridge\_Weldments.sldwldtbt como la

**Plantilla de tabla**. El archivo se guarda en la misma carpeta que la pieza.

Haga clic en  y mueva el cursor al dibujo.



**6 Coloque la tabla.**

Vaya a la esquina superior izquierda del dibujo y haga clic para colocar la tabla.

Nº DE ELEMENTO	CANT.	DESCRIPCIÓN	LONGITUD
1	6	VIGA PRINCIPAL	400
2	9	VIGA LATERAL	77
3	4		95
4	4		84
5	2		92
6	10	VIGA VERTICAL	97
7	8	VIGA DE ARRIOSTRAMIENTO TRANSVERSAL	141

The image shows a 3D wireframe model of a bridge structure. Below the model is a table with the following data:

Nº DE ELEMENTO	CANT.	DESCRIPCIÓN	LONGITUD
1	6	VIGA PRINCIPAL	400
2	9	VIGA LATERAL	77
3	4		95
4	4		84
5	2		92
6	10	VIGA VERTICAL	97
7	8	VIGA DE ARRIOSTRAMIENTO TRANSVERSAL	141

Below the table is a SolidWorks interface with the text "Structure Design" and "Drawings".

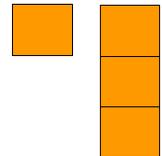
**7 Cambie el tamaño de las columnas.**

Arrastre los bordes de las columnas y las filas de la tabla para cambiar su tamaño. Puede cambiarse el tamaño de todos los bordes de las columnas y las filas.

	A	B	C	D
	Nº DE ELEMENTO	CANT.	DESCRIPCIÓN	LONGITUD
1	1	6	VIGA PRINCIPAL	400
2	2	9	VIGA LATERAL	77
3	3	4		95
4	4	4		84
5	5	2		92
6	6	10	VIGA VERTICAL	97
7	7	8	VIGA DE ARRIOSTRAMIE	141

**¿Por qué hay dos elementos de la misma longitud?**

Se utiliza una viga diferente para representar la pila de tres vigas que conforman la parte inferior del puente. Así que, aunque los elementos 1 al 3 tienen la misma longitud, se consideran vigas diferentes.



**Sugerencia:** En la sección de construcción se incluirán los tamaños reales de las vigas individuales.

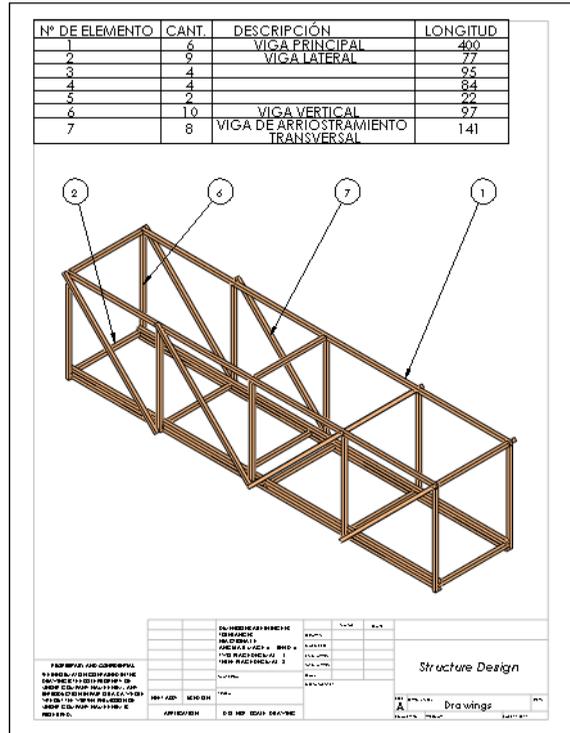
## Globos

Los globos etiquetan los miembros de la pieza y los relacionan con los números de la lista de cortes en la lista de cortes para pieza soldada.

### 8 Globos.

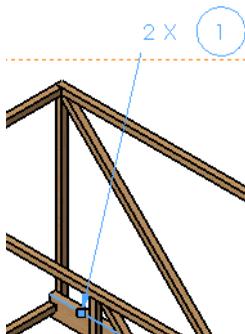
Seleccione **Globo**  en la barra de herramientas Anotación. Haga clic en el miembro y, a continuación, haga clic para colocar el texto. Repita el proceso para agregar algunos globos. Haga clic en .

**Nota:** Puede mover los globos arrastrando el texto.



### 9 Cantidades de globos.

Puede establecerse la cantidad de elementos en un globo. Haga clic en un globo y en **Cantidad**. Seleccione una **Colocación** y haga clic en .



### 10 Cierre el dibujo y la pieza.

Haga clic en **Archivo, Cerrar** y guarde todos los archivos.

## **Lección 8**

# **Informes y SolidWorks eDrawings®**

Cuando termine esta lección, podrá:

- Crear un informe HTML.
- Cargar el complemento SolidWorks eDrawings.
- Describir un archivo de SolidWorks eDrawings.
- Crear SolidWorks eDrawings a partir de datos de SolidWorks Simulation.
- Guardar el archivo SolidWorks eDrawings como un archivo HTML.

## Informes y SolidWorks eDrawings

Hay muchas formas de generar datos a partir del análisis estructural. Un **informe** es útil para imprimirlo, y ver texto y datos estadísticos. Use **SolidWorks eDrawings** para ver, compartir y manipular los trazados de resultados de análisis sin tener que abrir la pieza.

### 1 Abra el archivo de pieza Reports&eDrawings.

En la ventana **Abrir**, vaya a la carpeta Bridge Design Project\Student\Lesson 8. Abra el archivo de pieza Reports&eDrawings. Ejecute el análisis.

## Creación de un informe

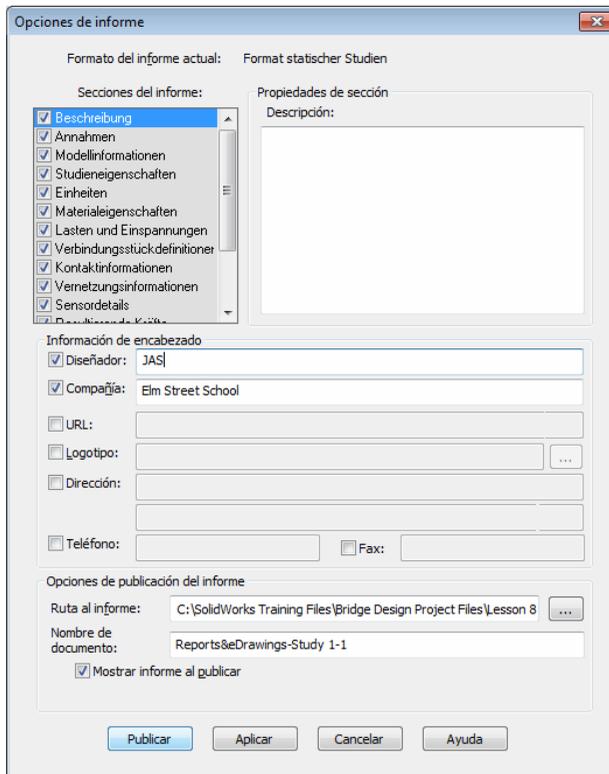
Mediante SolidWorks Simulation, puede crear un informe que puede imprimirse y captura todos los datos importantes.

### 2 Informe.

Haga clic en **Simulation, Informe**.

### 3 Cuadro de diálogo.

Haga clic en **Diseñador** y en **Empresa**. En **Diseñador**, agregue sus iniciales. En **Empresa**, agregue el nombre de su escuela.

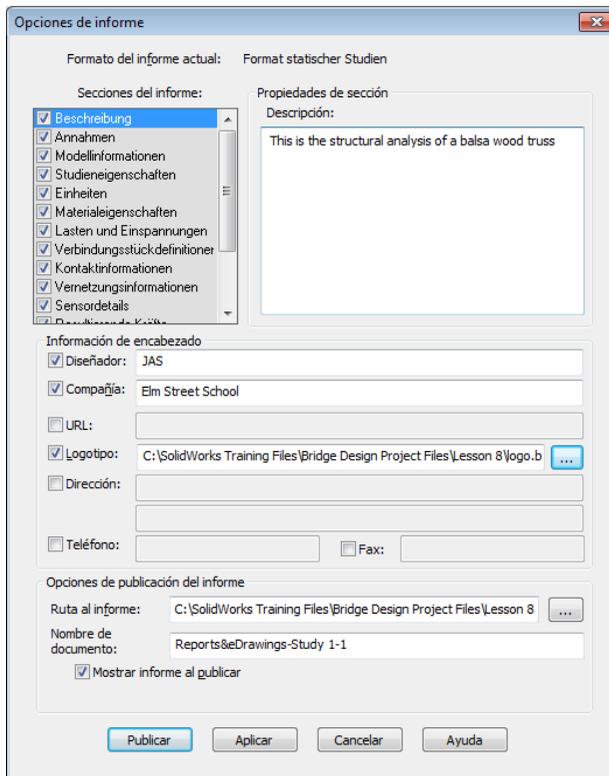


#### 4 Logotipo.

Haga clic en **Logotipo**. Haga clic en el botón **Examinar** y seleccione el archivo logo.bmp en la carpeta Lesson 8.

#### 5 Descripción.

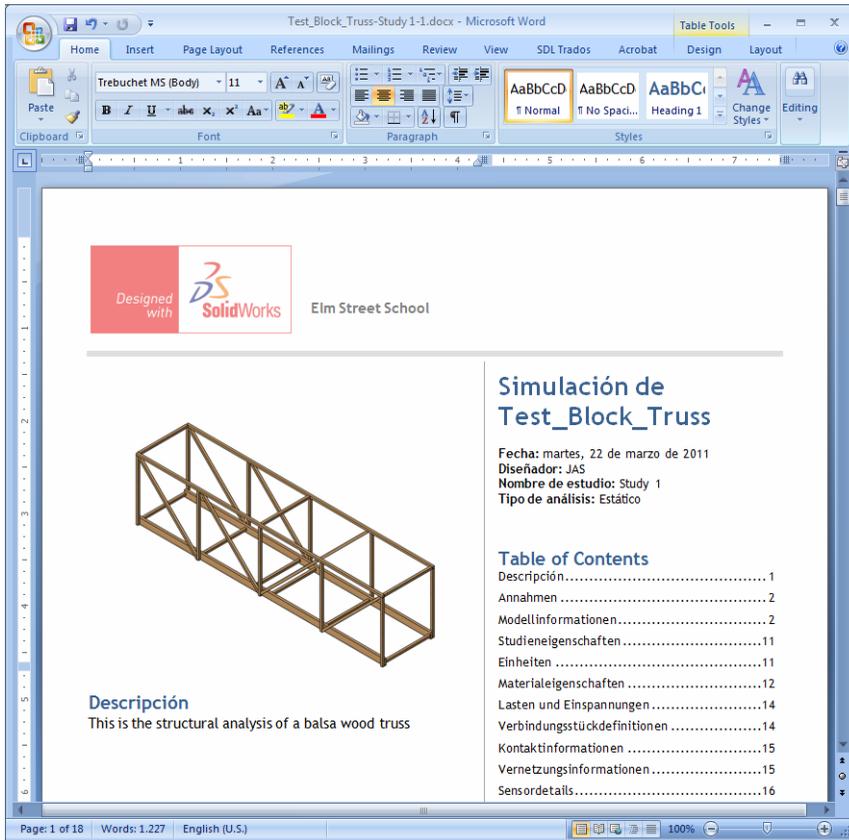
Haga clic en **Descripción**, escriba This is the structural analysis of a balsa wood truss (Este es el análisis estructural de una cabeza de armadura de madera de balsa) en la sección de comentarios y haga clic en **Publicar**.



**Sugerencia:** La **Ruta del informe** puede establecerse para recibir el informe y los datos asociados.

## 6 Informe.

El informe, completado con datos e imágenes, aparece en una nueva ventana cuando se genera. Cierre la ventana o imprima el informe.



Los resultados se colocan en la misma carpeta que la pieza de forma predeterminada. Puede imprimirse y abrirse independientemente de SolidWorks o SolidWorks Simulation.

**Nota:** No cierre la pieza.

## **SolidWorks eDrawings® para compartir información**

eDrawings® es una herramienta de comunicaciones por correo electrónico diseñada para mejorar significativamente el uso compartido y la interpretación de dibujos mecánicos 2D. Los eDrawings son lo suficientemente pequeños para enviarlos por correo electrónico, se ven de forma independiente y son mucho más fáciles de entender que los dibujos 2D en papel.

### **Ventajas de eDrawings**

- Los destinatarios no necesitan tener la aplicación SolidWorks para ver el archivo.
- Se pueden ver piezas, ensamblajes y dibujos fuera de SolidWorks.
- Los archivos son lo suficientemente compactos como para enviarse por correo electrónico.
- La creación de eDrawings es rápida y sencilla.
- Haga clic en  para publicar un eDrawing a partir de cualquier archivo de SolidWorks.
- También puede crear eDrawings a partir de otros sistemas de CAD.

### **Visualización de eDrawings**

Puede ver eDrawings de una forma muy dinámica e interactiva. A diferencia de los dibujos 2D estáticos, los eDrawings pueden animarse y verse de forma dinámica desde todos los ángulos. La capacidad de interactuar con eDrawings fácilmente, de forma interactiva, la convierte en una herramienta de colaboración de diseño muy eficaz.

eDrawings Professional le brinda la posibilidad de realizar marcas y anotaciones de los eDrawings que mejoran aún más la colaboración en el diseño.

### **Visualización de animaciones de eDrawing**

Una animación demuestra automáticamente cómo se relacionan las vistas de los dibujos entre ellas y con el diseño físico. Con el clic de un botón, los eDrawings “animan” todas las vistas contenidas en cada hoja del dibujo, transformando una vista en otra.

La animación muestra de forma continua el eDrawing desde diferentes vistas. Este movimiento dinámico es similar a girar una pieza con la mano para inspeccionarla.

## Creación de un SolidWorks eDrawing

Los eDrawings son una forma fácil de compartir datos, especialmente los datos de imágenes generados por SolidWorks Simulation.

### 7 Trazado.

Haga doble clic en el trazado Displacement1 (-Res disp-) para activarlo. Este es el trazado que se guardará en el eDrawing.

### 8 Guardar.

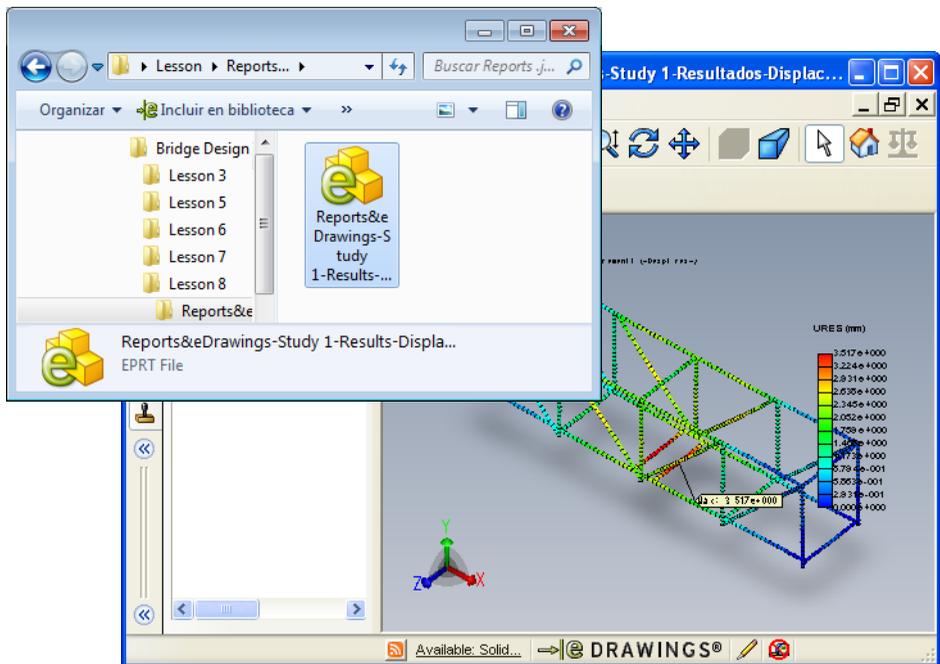
Haga clic en **Simulation, Herramientas de resultados, Guardar como**. Guarde los datos utilizando el tipo de archivo eDrawings Files (\*.analysis eprt). Haga clic en **Guardar**.

El nombre predeterminado tiene la forma: part name-study name-results-plot type. En este caso es Reports&eDrawings-Study 1-Results-Displacement1.analysis.

Se guarda en la misma carpeta creada por el informe.

### 9 Abra el eDrawing.

Haga doble clic en el archivo eDrawings en la carpeta. Haga clic en **Siguiente**. Aparece la ventana eDrawings.



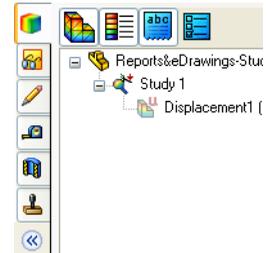
**Nota:** Si eDrawings no se ha utilizado antes, puede aparecer una solicitud de permiso de carga.

## Interfaz de usuario de eDrawings

Hay una serie de botones grandes  o pequeños  en las barras de herramientas de eDrawings. Los grandes tienen etiquetas de texto. Para cambiar entre grandes y pequeños, haga clic en **Ver, Barras de herramientas, Botones grandes**.

### 10 Configuración.

Haga clic en la pestaña **Análisis**  y en las opciones **Mostrar malla** , **Mostrar leyenda**  y **Mostrar título** .

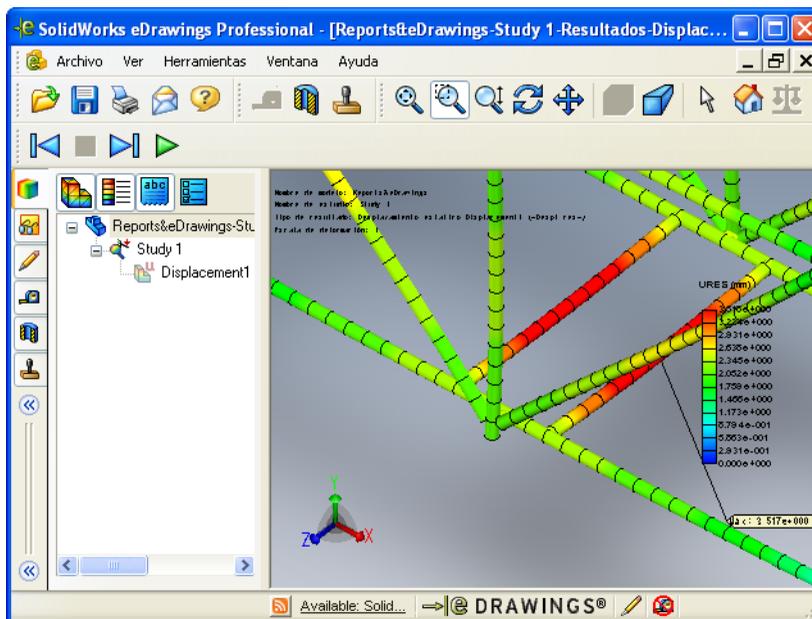


## Funciones de eDrawings

Puede animar, acercar, alejar, desplazar y girar la imagen usando diversas herramientas.

### 11 Mueva los componentes.

Haga clic en **Zoom encuadre**  y arrastre una ventana alrededor de la sección central de la estructura.



## Reproducción de una animación de eDrawings

### 12 Reproduzca la animación.

Haga clic en **Reproducir** . Esto inicia un bucle de reproducción continuo que muestra cada vista de la secuencia. La secuencia de animación está controlada por el sistema; no puede establecerla el usuario.

### 13 Detenga la animación.

Haga clic en **Detener**  para detener la animación.

### 14 Restablezca la vista.

Para devolver la animación al inicio de la secuencia, haga clic en **Inicio** .

## Almacenamiento de eDrawings

Haga clic en **Guardar**  o en **Archivo, Guardar**, o bien presione **Ctrl+S** para guardar el archivo actualmente abierto en el visor de eDrawings. Puede guardar los archivos con los siguientes tipos de archivo:

- Archivos de eDrawings (\*.eprt, \*.easm o \*.edrw)
- Archivos Zip de eDrawings  
Un archivo Zip de eDrawings contiene el visor de eDrawings y el archivo de eDrawings. Puede descomprimir el archivo Zip de eDrawings y ejecutar el archivo ejecutable de eDrawings para extraer el visor de eDrawings y abrir el archivo de eDrawings, ambos incrustados
- Archivos HTML de eDrawings
- Archivos ejecutables de eDrawings  
Puede guardar los archivos como archivos ejecutables (\*.exe) de eDrawings autoextraíbles que contengan el visor de eDrawings y el archivo de eDrawings. Algunos programas de correo electrónico, programas antivirus y la configuración de seguridad de Internet impiden que se reciba correo electrónico con archivos ejecutables adjuntos
- Archivos de imágenes BMP, TIFF, JPEG, PNG o GIF  
Puede guardar todos los tipos de archivo que pueda abrir en el visor de eDrawings como archivos BMP (\*.bmp), TIFF (\*.tif), JPEG (\*.jpg), PNG (\*.png) o GIF (\*.gif)

## Almacenamiento del eDrawing

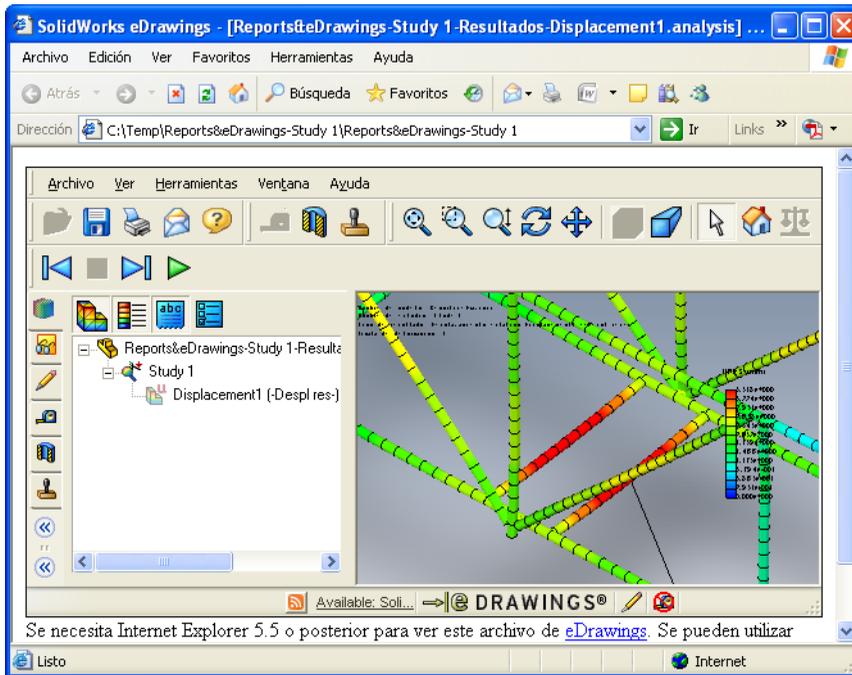
### 15 Guarde el eDrawing.

Haga clic en **Archivo, Guardar como**. En **Tipo**: Haga clic en **eDrawing HTML Files (\*.htm)** para guardar los eDrawing como un archivo HTML. Este archivo se puede ver en un explorador Web. Haga clic en **Guardar**.

Guarde el archivo en la carpeta **Reports&eDrawings-Study 1**.

## 16 Envíe por correo electrónico el eDrawing a su profesor.

Abra el archivo HTML. Haga clic en **Enviar**  y envíe el eDrawing completo a su profesor como un archivo adjunto a un mensaje de correo electrónico.

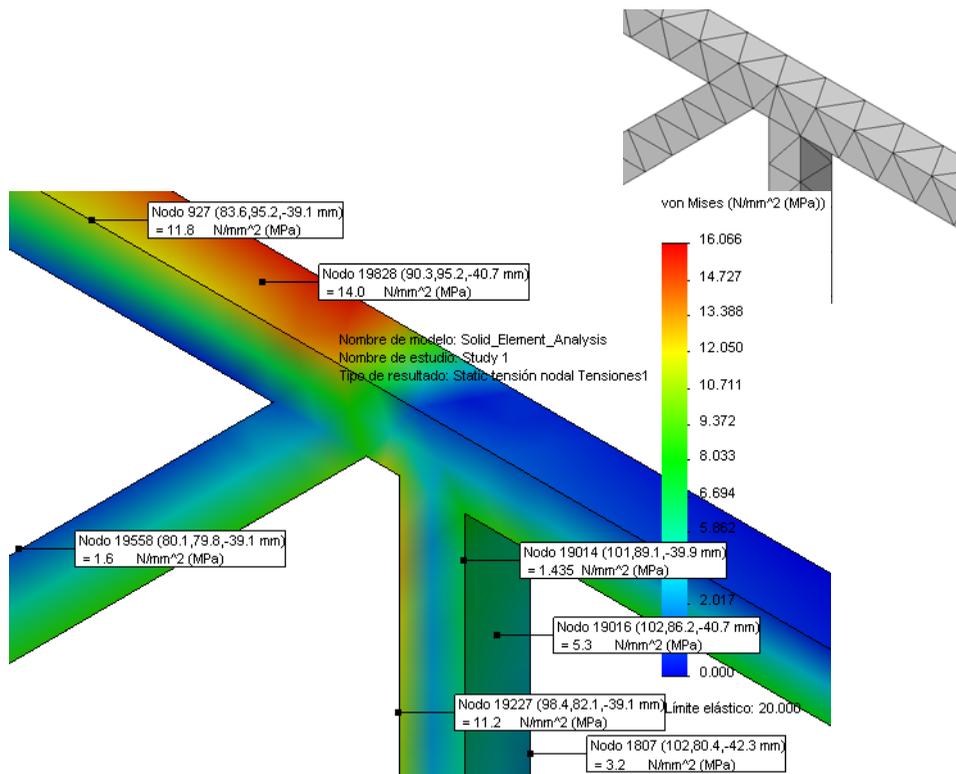


## 17 Cierre todos los archivos.

## Investigación adicional

Una malla de viga es un método muy rápido y eficiente para analizar un modelo de viga y funciona bien para reflejar el estado general de la estructura. Sin embargo, los elementos de viga no pueden analizar lo que sucede a través del espesor de la viga porque sólo generan resultados en los nodos que se encuentran en la línea constructiva de la viga.

La utilización de una malla sólida crea elementos y nodos a través del espesor del modelo. Esto proporciona varios nodos a través del espesor y los resultados correspondientes.



Para explorar, abra el archivo de pieza `Solid_Element_Analysis` y haga clic en **Simulation, Ejecutar**. Los trazados de resultados se organizan de la misma manera que los resultados de análisis de viga.

## **Lección 9**

# **Creación y prueba de la estructura**

Cuando termine esta lección, podrá:

- Abrir e imprimir archivos PDF informativos.
- Cortar las vigas con las longitudes adecuadas.
- Ensamblar las vigas para crear la armadura.
- Probar la armadura aplicando una carga.

## Creación de la estructura

Si la clase decide crear realizar un ensayo de la estructura, necesitará palos de madera de balsa de 1/8" x 1/8". Son necesarias longitudes de al menos 24" o 400 mm. También es necesario pegamento y un cuchillo para cortar los palos.

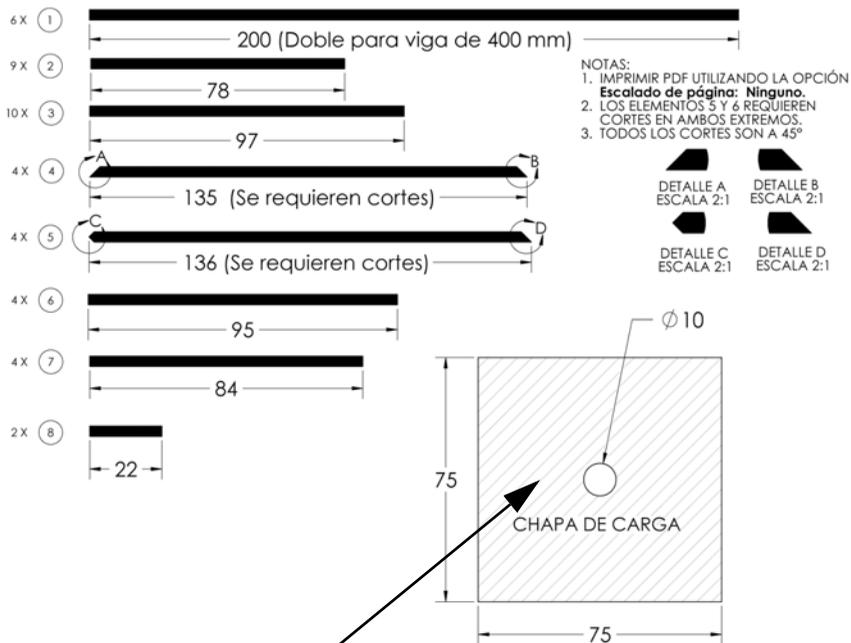
### Corte a la longitud adecuada

Hay **43** miembros con **7** longitudes distintas necesarias para construir esta estructura. Hay dos archivos PDF que pueden ayudarle en el proceso de construcción. Se encuentran en la misma carpeta que estas instrucciones.

#### 1 Abra e imprima los archivos PDF.

Vaya a la carpeta `_ENG`, abra el archivo `Measuring Chart.PDF` e imprímalo con las precauciones indicadas en el archivo PDF y en la siguiente nota.

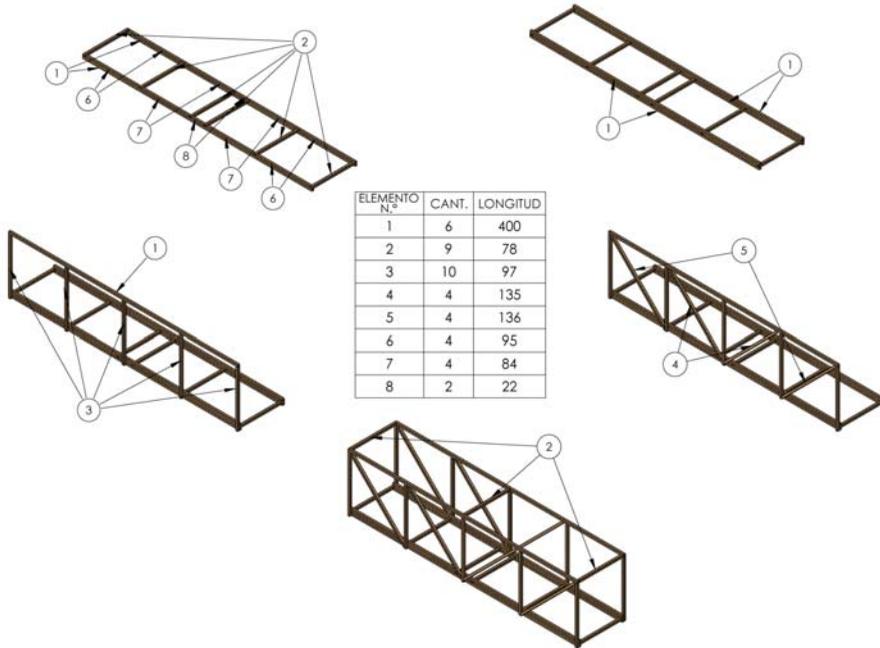
↙ Mida y corte los miembros de acuerdo con este gráfico de longitudes. Todas las cotas están en **mm**



↙ Corte esta forma de Load Plate (chapa de carga) para realizar una prueba de la anchura interna de la estructura

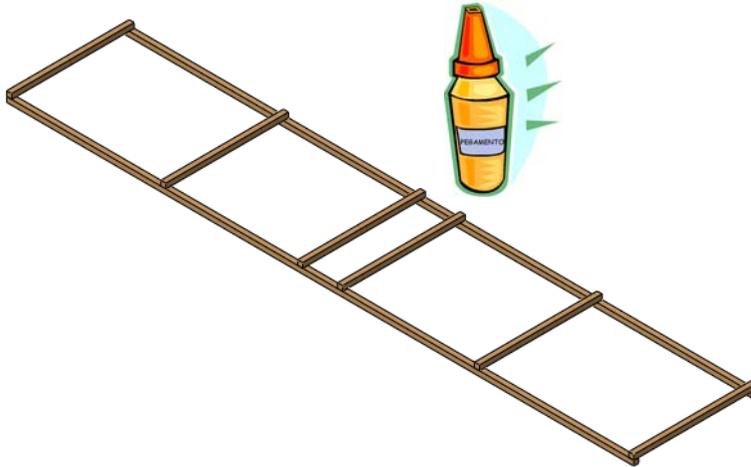
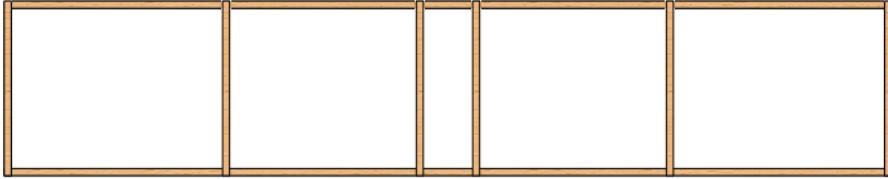
**Nota:** Imprima este PDF utilizando la opción **Escalado de página: Ninguno** para obtener valores exactos.

Abra el archivo Construction Guide.PDF e imprímalo.



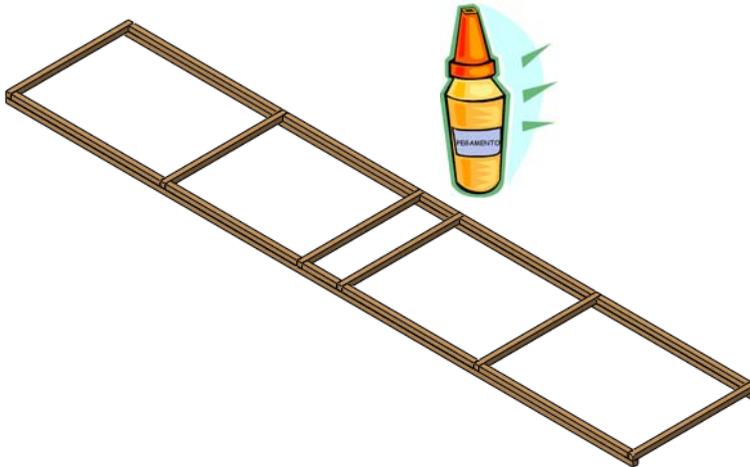
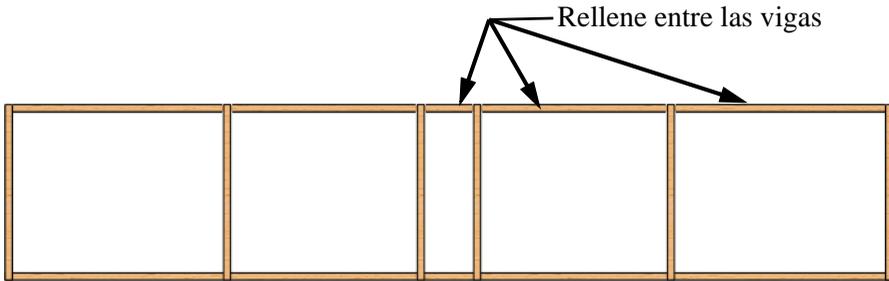
**2 Estructura inferior.**

Pegue las vigas transversales de los extremos a las vigas longitudinales. No pegue todavía las vigas transversales interiores.



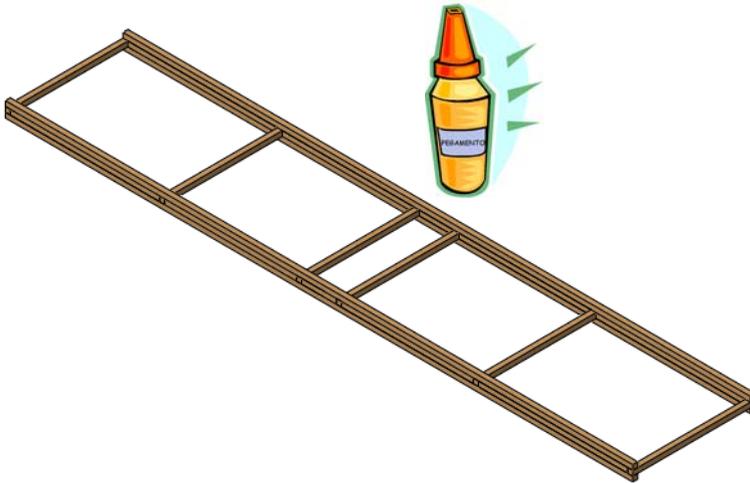
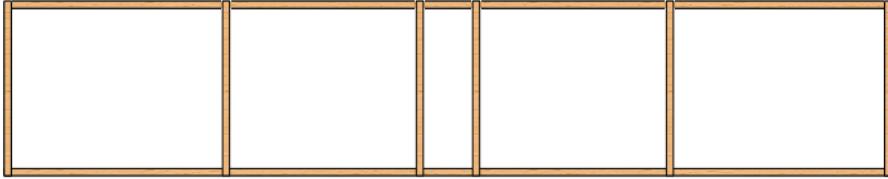
**3 Rellene las vigas.**

Rellene entre las vigas (zona sombreada) cortándolas para que encajen y colocándolas en su sitio. Pegue todas las vigas.

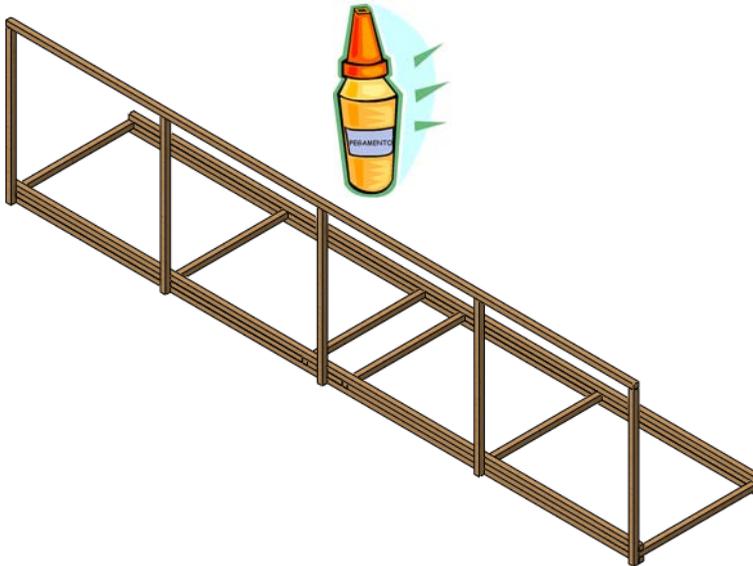
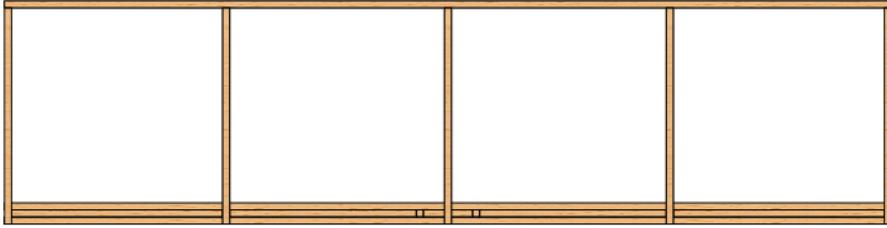


**4 Rieles externos triples.**

Pegue las vigas largas sobre las vigas de relleno, como se muestra. Pegue todas las vigas.



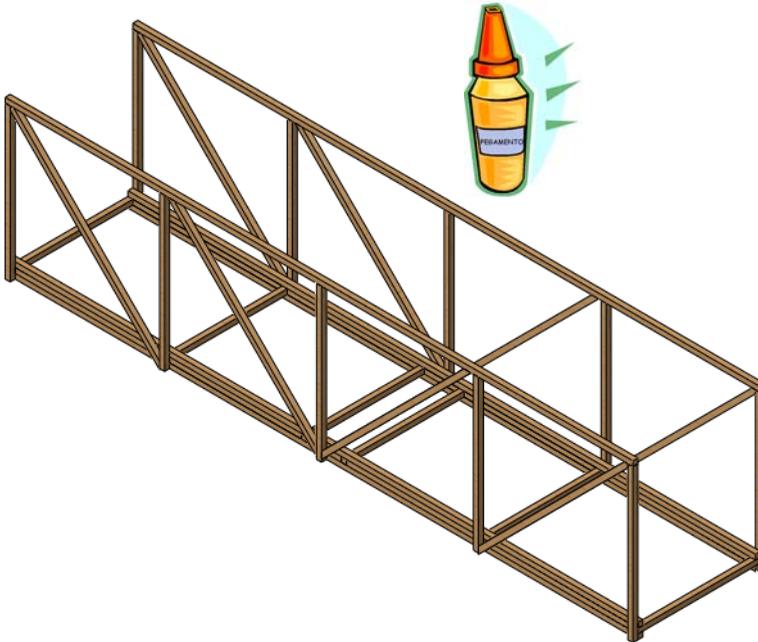
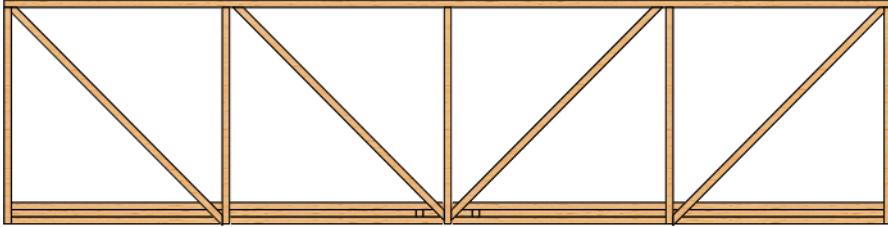
**5 Paredes laterales.**  
Pegue todas las vigas.



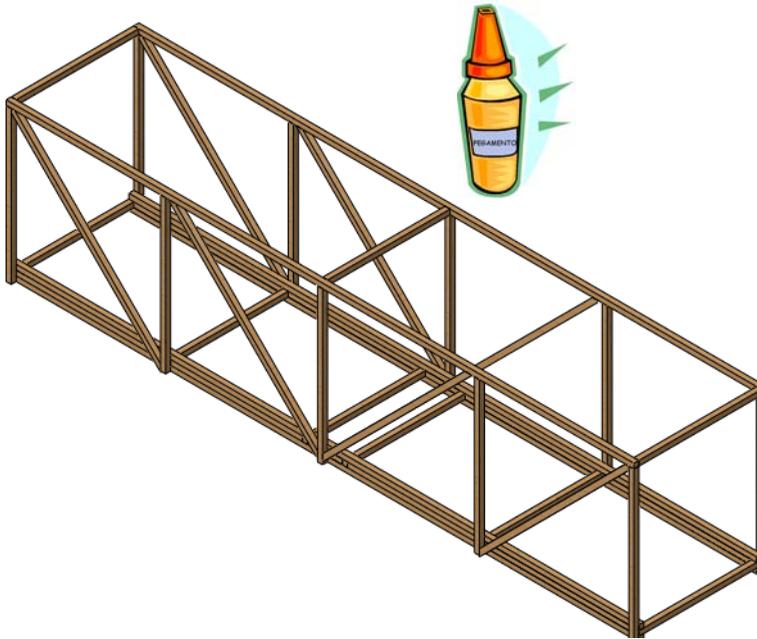
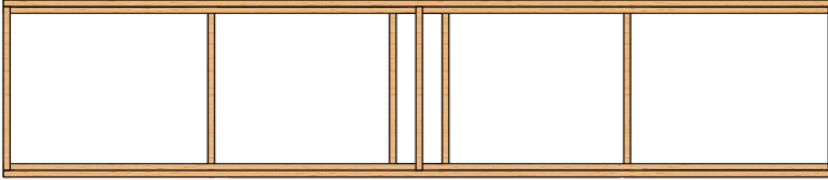
**Sugerencia:** Quizás desee crear un lateral y, a continuación, agregarle arriostramiento transversal (paso 6 en la página 100) antes de empezar con el lateral opuesto.

**6 Arriostramiento transversal.**

Todos los miembros del arriostramiento deben cortarse (a 45 grados) para ajustarse a las estructuras existentes. Pegue todas las vigas.



**7 Soportes transversales superiores.**  
Pegue todas las vigas.



## Prueba de la estructura

Se puede realizar una prueba de la estructura colocándola en un espacio vacío y aplicando una carga en el centro del puente. Consulte los siguientes detalles para obtener más información.

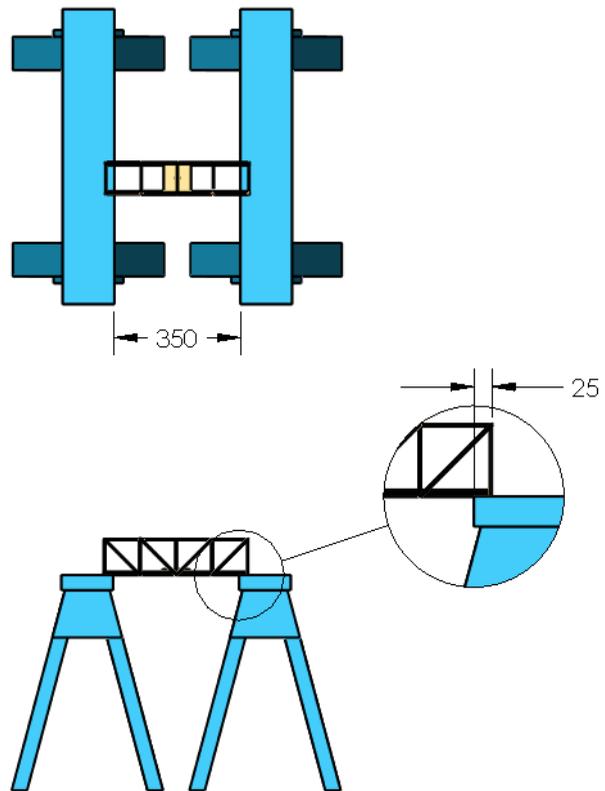
## Creación del vano

Una forma de crear un vano es colocar dos caballetes a una determinada distancia, como se muestra a continuación. Al colocar el modelo de forma que se superponga a cada caballete en la misma medida, se simula el entorno del análisis.

## Detalles

Utilice dos superficies que sean fuertes y tengan igual altura (unos caballetes o unas tablas son adecuados) para crear el vano de **350 mm** que es necesario. Cada extremo de la estructura debe superponerse a la superficie **25 mm**.

**Sugerencia:** Asegúrese que las tablas o los caballetes sean lo suficientemente fuertes para soportar la carga sin flexionarse.



## Aplicación de la carga

Para medir la resistencia de una estructura, esta debe cargarse como se modeló.

### Uso de objetos comunes con pesos conocidos

Se pueden usar muchos objetos comunes para aplicar la carga. Las comidas pueden venir en diferentes tamaños; pueden pesarse y usarse. También pueden usarse monedas para aplicar una carga en incrementos muy pequeños. Tomemos un penique como ejemplo.

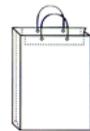
**1 penique** aplica una fuerza de aproximadamente **0,0245 N** a la estructura. Esto no es mucho, no está cercano a la carga total que nos gustaría probar. ¿Realmente alguien desea contar cientos o miles de peniques para cada prueba? Se pueden hacer paquetes de monedas en grandes cantidades para depositarlos en un banco. Los paquetes de peniques contienen 50 monedas. Realice algunos cálculos para grandes números de peniques, paquetes y costo.



Peniques	Carga (N)	Paquetes de peniques	Costo (\$)
50	$50 \times 0,0245 = 1,225$	1	\$ 0,50
100	___ X 0,0245 = _____	___	___
500	___ X 0,0245 = _____	___	___
1000	___ X 0,0245 = _____	___	___
5000	___ X 0,0245 = _____	___	___

### Sujeción de la carga

Suspenda una bolsa de las compras con una manija de sogas o algo más fuerte de la chapa de carga pasando la sogas por el taladro de la chapa y sujetándolo con una uña o un lápiz. Agregue la carga llenando la bolsa lentamente con los pesos que ha elegido.



# Glosario

<b>Término</b>	<b>Definición</b>
<b>análisis</b>	Proceso que modela el comportamiento de una estructura para determinar si puede soportar las cargas externas para las que está diseñada. Se calculan cantidades como los desplazamientos, las tensiones y el factor de seguridad.
<b>animar</b>	Ver un modelo o eDrawing de forma dinámica. La animación simula movimiento o muestra distintas vistas.
<b>cabeza de armadura</b>	Estructura de puente sencilla normalmente usada por los ferrocarriles.
<b>cara</b>	Área seleccionable (plana o de otra forma) de un modelo o superficie con contornos que ayudan a definir la forma del modelo o la superficie. Por ejemplo, un sólido rectangular tiene seis caras.
<b>carga externa</b>	Fuerza o presión que se aplica a una estructura desde el exterior. Para una cabeza de armadura, puede ser el peso de un tren.
<b>componente</b>	Cualquier pieza o subensamblaje dentro de un ensamblaje.
<b>croquis</b>	Un croquis 2D es un conjunto de líneas y otros objetos 2D en un plano o cara que forma la base para una operación, como una base o un saliente. Un croquis 3D no es plano y puede usarse para guiar el trazado de un barrido o un recubrimiento, por ejemplo.
<b>desplazamiento</b>	Movimiento de una viga desde su posición original cuando se aplica una carga.

<b>Término</b>	<b>Definición</b>
<b>dibujo</b>	Representación 2D de una pieza o un ensamblaje 3D. La extensión de un archivo de dibujo de SolidWorks es *.slddrw.
<b>distribución de la tensión</b>	“Mapa” de colores que muestra el grado de tensión en cualquier lugar de la pieza. Los colores se utilizan para representar intervalos de valores de tensión.
<b>documento</b>	Un documento de SolidWorks es un archivo que contiene una pieza, un ensamblaje o un dibujo.
<b>eDrawing</b>	Representación compacta de una pieza, un ensamblaje o un dibujo. Los eDrawings son lo suficientemente compactos como para enviarse por correo electrónico y pueden crearse para distintos tipos de archivo CAD, incluidos SolidWorks y datos de SolidWorks.
<b>elemento</b>	Una simple forma utilizada para representar una pequeña parte del modelo. La suma de todos los elementos representa el modelo completo.
<b>ensamblaje</b>	Documento en el que las piezas, las operaciones y otros ensamblajes (subensamblajes) se acoplan. Las piezas y los subensamblajes existen en documentos independientes del ensamblaje. La extensión de un archivo de ensamblaje de SolidWorks es *.sldasm.
<b>entorno</b>	Factores externos que afectan a la estructura. Incluyen las cargas externas aplicadas a ella y los lugares donde está restringido el movimiento.
<b>estructura</b>	Conjunto de vigas que se utiliza para formar una sola pieza. En SolidWorks, este tipo de pieza se denomina pieza soldada; varias piezas soldadas para formar una sola.
<b>estudio de simulación</b>	Carpeta utilizada para guardar un análisis completo, incluyendo: materiales, sujeciones, cargas externas y malla.
<b>etapas del análisis estructural</b>	Las etapas en un análisis genérico incluidos el preprocesamiento (configuración), análisis y posprocesamiento (ver los resultados). Específicamente, utilizamos SolidWorks Simulation.

<b>Término</b>	<b>Definición</b>
<b>factor de seguridad</b>	Valor que se calcula en el análisis y que determina si una estructura es lo suficientemente resistente como para soportar las cargas externas aplicadas a ella.
<b>flexión</b>	Lo que le ocurre a una viga cuando se carga a lo largo. También se denomina flexión.
<b>gestor de diseño del FeatureManager</b>	Se encuentra en la parte izquierda de la ventana de SolidWorks y proporciona una vista general de la pieza, el ensamblaje o el dibujo activos.
<b>gestor del estudio de simulación</b>	Estructura del gestor, similar al Gestor de diseño del FeatureManager, que contiene las operaciones que conforman una simulación.
<b>hoja de dibujo</b>	Página de un documento de dibujo.
<b>límite elástico</b>	Límite de resistencia de una viga basado en las tensiones de la viga.
<b>línea</b>	Entidad de croquis recta con dos puntos finales. Una línea se puede crear proyectando una entidad externa, como una arista, un plano, un eje o una curva de croquis en el croquis.
<b>mallado</b>	Proceso de división del modelo en pequeñas piezas denominadas elementos.
<b>material</b>	Lo que se utiliza para crear las vigas de la estructura. En una estructura real, normalmente es acero, pero puede ser madera u hormigón. Nosotros usamos madera.
<b>modelo</b>	Geometría de sólidos 3D en un documento de ensamblaje o pieza. Si un documento de ensamblaje o pieza contiene varias configuraciones, cada configuración será un modelo independiente.

<b>Término</b>	<b>Definición</b>
<b>newton</b>	Unidad de fuerza del Sistema internacional de unidades (SI) (m-kg-s). Una fuerza de un newton acelerará una masa de un kilo a la velocidad de un metro por segundo. En el sistema inglés tradicional, un newton representa aproximadamente 0,225 libras de fuerza (lbf). El newton toma su nombre de Isaac Newton (1642-1727), que fue la primera persona en entender claramente la relación entre fuerza (F), masa (m) y aceleración (a), expresada mediante la fórmula $F = ma$ .
<b>nodo</b>	Punto utilizado para conectar y dar forma a los elementos.
<b>operación</b>	Forma individual que, combinada con otras operaciones, compone una pieza o un ensamblaje. Las operaciones siempre se enumeran en el gestor de diseño del FeatureManager.
<b>pascal</b>	Unidad de presión y tensión del Sistema internacional de unidades (SI) (m-kg-s). Se define como un newton por metro cuadrado. En el sistema inglés tradicional, un newton representa aproximadamente $145,04 \times 10^{-6}$ libras por pulgada cuadrada (psi). Puesto que se trata de una cantidad muy pequeña, con frecuencia se utilizan las unidades relacionadas MPa (Megapascales) y kPa (kilopascales). El pascal toma su nombre de Blaise Pascal (1623-1662), un famoso matemático y físico.
<b>pieza</b>	Un solo objeto 3D compuesto por operaciones. Una pieza puede pasar a ser un componente de un ensamblaje y puede representarse en 2D en un dibujo. Ejemplos de piezas son tornillos, pasadores, chapas, etc. La extensión de un archivo de pieza de SolidWorks es *.sldprt.
<b>resistencia</b>	La resistencia o rigidez de una viga incluye la forma de sección transversal (momento de inercia de la superficie) y el material.
<b>restricción</b>	Describe qué pieza del modelo no puede moverse en el análisis.

<b>Término</b>	<b>Definición</b>
<b>SolidWorks Simulation</b>	Software dentro de SolidWorks que se utiliza para realizar un análisis estructural.
<b>sujeción</b>	Las sujeciones se utilizan para limitar el movimiento de puntos en el modelo. También se denominan restricciones.
<b>tensión</b>	Cantidad medida por la fuerza por unidad de superficie dentro de una estructura causada por cargas externas aplicadas fuera de la estructura. Las unidades comunes son los Pascales y las libras por pulgada cuadrada.
<b>tensión y compresión</b>	Fuerzas internas de una viga causadas por la flexión.
<b>viga</b>	Miembro estructural con una sección transversal constante. Suele cargarse de forma que se flexione.
<b>vista etiquetada</b>	Vista específica de una pieza o un ensamblaje (isométrica, superior, etc.), o un nombre definido por el usuario para una vista concreta. Las vistas etiquetadas de una lista de orientación de vistas pueden insertarse en dibujos.
<b>zona de gráficos</b>	Zona de la ventana de SolidWorks en la que aparece la pieza, el ensamblaje o el dibujo.