



Simulación con **SolidWorks**

Análisis estático lineal

Temario

- Fundamento teórico
- Activación de simulación con SolidWorks
- Casos de aplicación
- Torsión
- Chapa metálica
- Control de malla



0012475

EDITORIAL
MACRO

MTN: 000012475

003.3

V47

Sim

2014

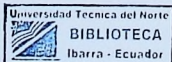
EJ 1.

<SIMULACIÓN ASISTIDA POR COMPUTADOR>

<SOLID WORKS>

Simulación con **SolidWorks**

Análisis estático lineal



UNIVERSIDAD TÉCNICA	
	
DEL NORTE	
BIBLIOTECA	
Via de adquisición:	Donado
Documento N°:	MFC-02-12-2014
Fecha:	02-12-2014
Valor unitario:	50,00
Código de Barras:	045524
SERIE:	





Simulación con SolidWorks

© Derechos de autor registrados:

Empresa Editora Macro EIRL

© Derechos de edición, arte gráfico y diagramación reservados:

Empresa Editora Macro EIRL

Corrección de estilo:

Claudia Prieto Requejo

Coordinación de arte y diseño:

Alejandro Marcas León

Diagramación:

Paul Escobar Tantalean

Edición a cargo de:

© Empresa Editora Macro EIRL

Av. Paseo de la República N.° 5613, Miraflores, Lima, Perú.

☎ Teléfono: (511) 748 0560

✉ E-mail: proyecto@editorialmacro.com

🌐 Página web: www.editorialmacro.com

Primera edición: setiembre de 2014

Tiraje: 1000 ejemplares

Impresión

Talleres gráficos de la Empresa Editora Macro EIRL

Jr. San Agustín N.° 612-624, Surquillo, Lima, Perú

ISBN N.° 978-612-304-214-1

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2014-12571

Prohibida la reproducción parcial o total, por cualquier medio o método, de este libro sin previa autorización de la Empresa Editora Macro EIRL.

Alejandro Vera Lázaro

Ingeniero mecánico egresado de la Universidad Nacional de Trujillo. Diplomado en Computer Aided Design and Computer Aided Engineering CAD-CAE-UCV, especializado en Análisis Vibracional en Máquinas y Estructuras Mecánicas con Modelamiento en Elementos Finitos en Diseño Mecánico. Además, cuenta con una maestría en Ingeniería Mecánica Eléctrica, con mención en Energía (Convenio UNPRG-CARELEC).

En la actualidad, se desempeña como docente en la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Asimismo, es consultor de empresas e instructor de MATLAB y Solidworks Simulation en estudio estático, frecuencial y térmico, así como en Computational Fluids Dynamics (CFD).

Con respecto a su línea de investigación, está dedicado a la aplicación del método de elementos finitos a la ingeniería en diseño de máquinas. Asimismo, está comprometido con la realización de proyectos, planificación y gestión en energías renovables. Por ello, se encuentra involucrado en el diseño y dimensionamiento de sistemas eólicos *onshore* y *offshore*.

Introducción

En el ámbito de la ingeniería, se plantean problemas que pueden ser resueltos a través de diversos métodos científicos que presentan beneficios, pero también ciertas limitaciones. Así, el método empírico aporta soluciones basadas en la experiencia acumulada en la solución de casos similares; sin embargo, este método implica la excesiva formulación de hipótesis simplificadoras. Otra alternativa sería utilizar el método analítico, que se caracteriza por plantear y resolver ecuaciones con cierto grado de complejidad, no obstante, este trata de adaptarse a geometrías simples. Por otro lado, puede utilizarse el método numérico, que se caracteriza por incluir las leyes constitutivas del material, los diferentes tipos de cargas y la geometría; sin embargo, con la técnica de mallado pueden obtenerse soluciones más precisas y con menos simplificaciones.

En este sentido, el presente libro *Simulación con SolidWorks. Análisis estático lineal* tiene por objetivo servir como una iniciación al lector en la simulación asistida por computadora en la ingeniería de diseño mecánico y estructural, a partir de los fundamentos esenciales del método por elementos finitos.

La metodología empleada consiste en la resolución de casos diversos, donde puede apreciarse cómo asignar un material a través de la librería, aplicar diferentes tipos de carga a la pieza que se analizará, el mallado correspondiente y, por último, la solución con el *solver* del *software* para obtener resultados e interpretarlos. En algunos casos, se ha considerado rediseñar, cambiar cargas, remallar, entre otras alternativas, para obtener resultados más óptimos.

El libro está dirigido a diseñadores, y a todo aquel que posea conocimientos básicos de diseño y que esté interesado en conocer el método numérico aplicado a la ingeniería.

Dedicatoria

A Sol por todo el apoyo moral y los consejos acertados en un momento difícil de mi vida. En memoria de Julio Zaldivar, Carlos Gorriti, Luis Aguilar y Edwin Narváez.

Capítulo 1

Fundamento teórico	9
1.1 Simulación con SolidWorks	9
1.1.1 Ventajas del análisis	9
1.1.2 Conceptos básicos del análisis	10
1.1.3 Gestor de simulación	11
1.1.4 Estudios de simulación	12
1.1.5 Pasos del análisis	13
1.1.6 Asesor de simulaciones	14
1.1.7 Investigación de análisis	15
1.1.8 Materiales	16
1.1.9 Sujeciones y cargas	16
1.1.10 Especificar direcciones	17
1.1.11 Mallado	18
1.1.12 Ejecutar estudios	19
1.1.13 Ver resultados	20
1.1.14 ¿Qué errores hay?	20
1.1.15 Parámetros	21
1.1.16 Sistemas de coordenadas	21
1.1.17 Información básica sobre los análisis	24

Capítulo 2

Activación de simulación con SolidWorks	29
2.1 Aplicación 1	31

Capítulo 3

Casos de aplicación	43
3.1 Primer caso	43
3.2 Segundo caso	49
3.3 Tercer caso	58
3.4 Cuarto caso	68
3.5 Quinto caso	75
3.6 Sexto caso	83
3.7 Séptimo caso	91
3.8 Octavo caso	99

Capítulo 4

Torsión	109
4.1 Aplicación 1	109
4.2 Aplicación 2	120
4.3 Aplicación 3	131
4.4 Aplicación 4	143

Capítulo 5

Chapa metálica	169
5.1 Chapa metálica 1	169
5.1.1 Aplicación	169
5.2 Chapa metálica 2	178
5.2.1 Aplicación	178

5.3 Simulación de la chapa metálica 2.....	195
5.3.1 Descripción	195
5.3.2 Información del modelo.....	196
5.3.3 Propiedades del estudio	196
5.3.4 Unidades.....	197
5.3.5 Propiedades del material	197
5.3.6 Cargas y sujeciones.....	197
5.3.7 Información de la malla	198
5.3.8 Información de la malla - detalles.....	198
5.3.9 Fuerzas resultantes	199
Capítulo 6	
Control de malla	203
6.1 Estudio 1.....	203
6.2 Simulación	235
6.2.1 Descripción	235
6.2.2 Suposiciones	235
6.2.3 Información del modelo.....	236
6.2.4 Propiedades del estudio	237
6.2.5 Unidades.....	237
6.2.6 Propiedades del material	238
6.2.7 Cargas y sujeciones	238
6.2.8 Información de la malla	239
6.2.9 Información de la malla - detalles.....	240
6.2.10 Fuerzas resultantes	241
6.2.11 Resultados del estudio.....	241
6.3 Análisis térmico	244
6.4 Simulación de Pieza7	271
6.4.1 Descripción	271
6.4.2 Información del modelo.....	271
6.4.3 Propiedades del estudio	272
6.4.4 Unidades	272
6.4.5 Propiedades del material	273
6.4.6 Cargas y sujeciones	273
6.4.7 Información de la malla	274
6.4.8 Información de la malla - detalles.....	274
6.4.9 Fuerzas resultantes	275
6.4.10 Resultados del estudio	275
6.5 Mallado.....	277
6.5.1 Aplicación.....	277
6.6 Simulación	303
6.6.1 Descripción	303
6.6.2 Información del modelo.....	304
6.6.3 Propiedades del estudio	305
6.6.4 Unidades	305
6.6.5 Propiedades del material	306
6.6.6 Cargas y sujeciones	306
6.6.7 Información de la malla	307
6.6.8 Información de la malla - detalles.....	307
6.6.9 Información sobre el control de malla	308
6.6.10 Fuerzas resultantes	308
6.6.11 Resultados del estudio	309
Bibliografía	311

1.1 SIMULACIÓN CON SOLIDWORKS

Sistema de análisis de diseño que ofrece soluciones de simulación para análisis estáticos lineales y no lineales, de frecuencia, de pandeo, térmicos, de fatiga, de recipiente a presión, de caída, dinámicos lineales y no lineales, y de optimización. Asimismo, permite resolver problemas de manera intuitiva mientras que diseña, ya que presenta programas de resolución de problemas precisos y rápidos (*solvers*). Esto permite ahorrar tiempo y esfuerzo en la búsqueda de resultados de diseño óptimos; de esta manera se reduce el tiempo de salida del producto al mercado. Este sistema satisface sus necesidades de análisis a través de dos paquetes: SolidWorks Simulation Professional y SolidWorks Simulation Premium.

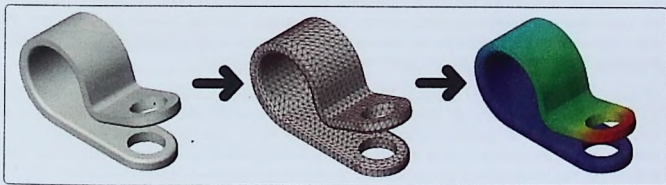


Fig. 1.1 Material analizado

Imagen tomada de <http://help.solidworks.com/2014/Spanish/SolidWorks/cworks/c_Simulation_Studies.htm>

1.1.1 Ventajas del análisis

Tras la construcción de su modelo, deberá comprobar el funcionamiento correcto de este en el campo; pero si no cuenta con herramientas de análisis, forzosamente tendrá que realizar ciclos de desarrollo de productos costosos que demanden una gran cantidad de tiempo.

Por lo general, un ciclo de desarrollo de producto comprende los siguientes pasos: primero, la construcción del modelo; segundo, la construcción de un prototipo del diseño; tercero, la prueba del prototipo en el campo; cuarto, la evaluación de los resultados de las pruebas de campo; y por último, la modificación del diseño conforme a los resultados de la prueba de campo.

Este proceso continúa hasta lograr una solución satisfactoria. En este sentido, el análisis le puede ayudar a disminuir el costo elevado de pruebas de campo, en cuyo lugar se realizará solo una simulación de la prueba de su modelo en la computadora; además, se podrá agilizar la comercialización del producto, a través de la reducción del número de ciclos de desarrollo del mismo; y finalmente, se mejorarán los productos, a través de rápidas pruebas de múltiples conceptos y situaciones previas a la toma de una decisión final. Esta simulación brinda mayor tiempo para idear nuevos diseños.

1.1.2 Conceptos básicos del análisis

El software emplea el método de elemento finito (FEM), que es una técnica numérica utilizada para analizar diseños de ingeniería. Por su generalidad y compatibilidad para ser implementado en computadoras, el FEM es considerado como el método de análisis estándar. A través de la división del modelo en numerosas piezas pequeñas de formas simples —denominadas “elementos”—, este método permite reemplazar de manera eficaz un problema complejo por muchos problemas simples, los cuales serán resueltos de forma simultánea.

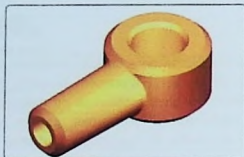


Fig. 1.2 Modelo CAD de una pieza

Imágenes tomadas de <http://help.solidworks.com/2014/Spanish/SolidWorks/cworks/c_Simulation_Studies.htm>

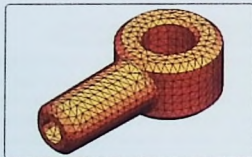


Fig. 1.3 Modelo subdividido en piezas pequeñas

El proceso de división del modelo en pequeñas piezas es conocido como “mallado”; asimismo, los elementos que conforman dicho mallado tienen puntos comunes denominados “nodos”. El comportamiento de cada elemento es evidente bajo cualquier situación de soporte y carga posibles. El método de elemento finito emplea elementos con formas diferentes.

- La respuesta en un elemento depende, a su vez, de la respuesta en los nodos del elemento. De acuerdo al tipo de análisis o del elemento empleado, cada nodo es descrito detalladamente por un número determinado de parámetros. Así, la temperatura de un nodo describe su respuesta en el análisis térmico; en cambio, para el análisis estructural, la respuesta de un nodo generalmente está descrita por tres traslaciones y tres rotaciones, las cuales se denominan “grados de libertad” (GDL). El análisis que utiliza FEM se denomina “análisis de elementos finitos” (FEA).

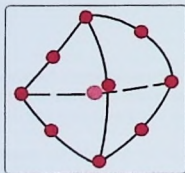


Fig. 1.4 Elemento tetraédrico

Imagen tomada de <http://help.solidworks.com/2014/Spanish/SolidWorks/cworks/c_Simulation_Studies.htm>

Los puntos rojos que figuran en el elemento tetraédrico de la imagen superior representan nodos. Las aristas de un elemento pueden ser curvadas o rectas.

Sobre la base de su conectividad con los demás elementos, el software establece las ecuaciones que determinan el comportamiento de cada elemento, las cuales están relacionadas con la respuesta de cargas, restricciones y propiedades del material. Posteriormente, el programa organiza las ecuaciones en un conjunto mayor de ecuaciones algebraicas simultáneas y soluciona las ecuaciones desconocidas.

Por ejemplo, en el análisis de tensión, el *solver* encuentra los desplazamientos en cada nodo y, posteriormente, el programa calcula las deformaciones unitarias y finalmente las tensiones.

El *software* ofrece los siguientes tipos de estudios:




Tabla 1.1 Tipos e iconos de estudio

Tipo de estudio	Ícono del estudio	Tipo de estudio	Ícono del estudio
Estático		Gráfico de historia-tiempo	
Frecuencia		Armónico	
Pandeo		Vibración aleatoria	
Térmico		Espectro de respuesta	
Estudio de diseño		Calda	
Estático no lineal		Fatiga	
Dinámico no lineal		Diseño de recipiente a presión	

Tabla tomada de <http://help.solidworks.com/2014/Spanish/SolidWorks/cworks/c_Simulation_Studies.htm>

1.1.3 Gestor de simulación

Su función es similar al gestor del Feature Manager, ya que también se encarga de organizar un sistema de análisis. A pesar de que se puede utilizar tanto un sistema de menús como el gestor de simulación para la administración de los estudios de análisis, es preferible el empleo del último, debido a que cuenta con menús contextuales de representación intuitiva. A continuación, se describirá detalladamente la utilización del gestor de simulación.

- ▲ En la parte inferior de la zona de gráficos, el *software* crea una pestaña para cada estudio.
- ▲ Haga clic en la pestaña del gestor de simulación para ver un estudio.
- ▲ Las subcarpetas determinan los parámetros del estudio. Así, cada estudio estructural tiene una subcarpeta:
 - **Sujecciones**  , donde aparecen las definiciones de las restricciones;
 - **Cargas externas**  , donde aparecen las definiciones de carga;
 - **Conexiones**  , donde aparecen las definiciones de contacto. Puede organizar sujeciones, cargas y conectores en carpetas.
- ▲ Los menús contextuales brindan opciones de sensibilidad al contexto. Copiar, pegar y duplicar contribuye a determinar de manera rápida los estudios posteriores.
- ▲ A través del gestor de simulación se puede obtener una visión práctica de la información más relevante de los estudios de análisis en un documento.
- ▲ Cada pestaña del gestor de simulación representa un estudio, el cual tiene una carpeta y subcarpetas en su gestor. Las subcarpetas dependen del tipo de estudio asignado por el *software* para una fácil identificación.

1.1.2 Conceptos básicos del análisis

El *software* emplea el método de elemento finito (FEM), que es una técnica numérica utilizada para analizar diseños de ingeniería. Por su generalidad y compatibilidad para ser implementado en computadoras, el FEM es considerado como el método de análisis estándar. A través de la división del modelo en numerosas piezas pequeñas de formas simples —denominadas “elementos”—, este método permite reemplazar de manera eficaz un problema complejo por muchos problemas simples, los cuales serán resueltos de forma simultánea.

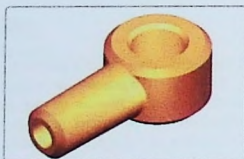


Fig. 1.2 Modelo CAD de una pieza

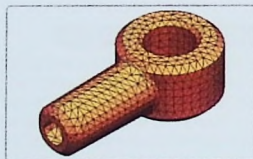


Fig. 1.3 Modelo subdividido en piezas pequeñas

Imágenes tomadas de <http://help.solidworks.com/2014/Spanish/SolidWorks/cworks/c_Simulation_Studies.htm>

El proceso de división del modelo en pequeñas piezas es conocido como “mallado”; asimismo, los elementos que conforman dicho mallado tienen puntos comunes denominados “nodos”. El comportamiento de cada elemento es evidente bajo cualquier situación de soporte y carga posibles. El método de elemento finito emplea elementos con formas diferentes.

- La respuesta en un elemento depende, a su vez, de la respuesta en los nodos del elemento. De acuerdo al tipo de análisis o del elemento empleado, cada nodo es descrito detalladamente por un número determinado de parámetros. Así, la temperatura de un nodo describe su respuesta en el análisis térmico; en cambio, para el análisis estructural, la respuesta de un nodo generalmente está descrita por tres traslaciones y tres rotaciones, las cuales se denominan “grados de libertad” (GDL). El análisis que utiliza FEM se denomina “análisis de elementos finitos” (FEA).

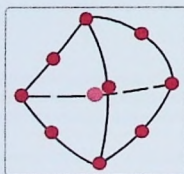


Fig. 1.4 Elemento tetraédrico

Imagen tomada de <http://help.solidworks.com/2014/Spanish/SolidWorks/cworks/c_Simulation_Studies.htm>

Los puntos rojos que figuran en el elemento tetraédrico de la imagen superior representan nodos. Las aristas de un elemento pueden ser curvadas o rectas.

Sobre la base de su conectividad con los demás elementos, el *software* establece las ecuaciones que determinan el comportamiento de cada elemento, las cuales están relacionadas con la respuesta de cargas, restricciones y propiedades del material. Posteriormente, el programa organiza las ecuaciones en un conjunto mayor de ecuaciones algebraicas simultáneas y soluciona las ecuaciones desconocidas.

Por ejemplo, en el análisis de tensión, el *software* encuentra los desplazamientos en cada nodo y, posteriormente, el programa calcula las deformaciones unitarias y finalmente las tensiones.

El *software* ofrece los siguientes tipos de estudios:

Tabla 1.1 Tipos e iconos de estudio

Tipo de estudio	Ícono del estudio	Tipo de estudio	Ícono del estudio
Estático		Gráfico de historia-tiempo	
Frecuencia		Armónico	
Pandeo		Vibración aleatoria	
Térmico		Espectro de respuesta	
Estudio de diseño		Caída	
Estático no lineal		Fatiga	
Dinámico no lineal		Diseño de recipiente a presión	

Tabla tomada de <http://help.solidworks.com/2014/Spanish/SolidWorks/cworks/c_Simulation_Studies.htm>

1.1.3 Gestor de simulación

Su función es similar al gestor del Feature Manager, ya que también se encarga de organizar un sistema de análisis. A pesar de que se puede utilizar tanto un sistema de menús como el gestor de simulación para la administración de los estudios de análisis, es preferible el empleo del último, debido a que cuenta con menús contextuales de representación intuitiva. A continuación, se describirá detalladamente la utilización del gestor de simulación.




- ▲ En la parte inferior de la zona de gráficos, el *software* crea una pestaña para cada estudio.
- ▲ Haga clic en la pestaña del gestor de simulación para ver un estudio.
- ▲ Las subcarpetas determinan los parámetros del estudio. Así, cada estudio estructural tiene una subcarpeta:
 - **Sujecciones**  , donde aparecen las definiciones de las restricciones;
 - **Cargas externas**  , donde aparecen las definiciones de carga;
 - **Conexiones**  , donde aparecen las definiciones de contacto. Puede organizar sujeciones, cargas y conectores en carpetas.
- ▲ Los menús contextuales brindan opciones de sensibilidad al contexto. Copiar, pegar y duplicar contribuye a determinar de manera rápida los estudios posteriores.
- ▲ A través del gestor de simulación se puede obtener una visión práctica de la información más relevante de los estudios de análisis en un documento.
- ▲ Cada pestaña del gestor de simulación representa un estudio, el cual tiene una carpeta y subcarpetas en su gestor. Las subcarpetas dependen del tipo de estudio asignado por el *software* para una fácil identificación.

Tabla 1.2 Tipos e iconos de estudio del gestor de simulación
















Tipo de estudio	Ícono del estudio	Tipo de estudio	Ícono del estudio
Estático		Gráfico de historia-tiempo	
Frecuencia		Armónico	
Pandeo		Vibración aleatoria	
Térmico		Caída	
Estudio de diseño		Fatiga	
Estático no lineal		Diseño de recipiente a presión	
Dinámico no lineal			

Tabla tomada de <http://help.solidworks.com/2014/Spanish/SolidWorks/cworks/c_Simulation_Studies.htm>

- Después de la adecuada ejecución de un estudio, el software elabora los trazados de resultados en la carpeta **Resultados** , de acuerdo a lo determinado en las opciones de resultados, o sino actualiza los trazados de resultados ya existentes.

1.1.4 Estudios de simulación

Durante su ciclo de vida, por lo general, un modelo está supeditado a diferentes entornos de servicios y condiciones de funcionamiento. Por ello, es relevante tomar en consideración los escenarios de cargas, las condiciones de posibles contornos y la evaluación de distintas propiedades del material en el análisis de un modelo determinado. Entre los factores que caracterizan un estudio de simulación, se encuentran las cotas del modelo, el tipo de estudio y opciones relacionadas para determinar la intención del análisis, las propiedades del material, y las condiciones de cargas y contorno.

Para crear un estudio, haga clic en **Nuevo estudio**  (**Administrador de comandos de Simulation**). En segundo lugar, defina un estudio de acuerdo a una determinada característica: nombre, tipo de análisis y propiedades. Cabe indicar que las propiedades del estudio establecen opciones vinculadas con un tipo de análisis específico. De esta manera, los estudios de diseño y fatiga emplean la malla de los estudios asociados; los estudios de caída solo utilizan una malla sólida; y por último, los estudios de diseño de recipientes a presión combinan resultados y no requieren una malla.

A. Tipo de malla basado en las características geométricas

Según sus operaciones de geometría, el programa establece de manera automática el tipo de malla adecuado a los sólidos.

Tabla 1.3 Tipos de malla

Malla sólida	Todos los modelos de sólidos se mullan con elementos sólidos (tetraédricos).
Malla de vaciado	Las geometrías de la superficie y las planchas metálicas con espesor uniforme se mullan con elementos de vaciado triangulares. Solo en los estudios de caída los sólidos de chapa metálica se convierten en sólidos y se mullan con elementos sólidos.
Malla de viga	Los miembros estructurales y las soldaduras se mullan con elementos en viga. Puede tratar una extrusión (mallas con elementos sólidos de forma predeterminada) como una viga haciendo clic con el botón derecho del ratón en el icono del sólido y seleccionando Tratar como viga .
Malla mixta	Cuando hay varias geometrías en el mismo modelo, se genera una malla mixta.

Tabla tomada de <http://help.solidworks.com/2014/Spanish/SolidWorks/cworks/c_Simulation_Studies.htm>

B. Uso de los estudios de simulación

Pueden utilizarse para verificar la seguridad de los productos ya existentes o para diseñar nuevos productos. Así, la línea de simulación con SolidWorks incluye estudios no lineales, de respuesta dinámica, de flujo de fluidos y electromagnéticos. A continuación, conviene detenerse más detalladamente en los usos de los estudios de simulación.

- ▲ **Comprobar un diseño existente.** Al tener una geometría determinada, el objetivo consiste en ejercer control sobre el rendimiento del producto en diversas condiciones de trabajo y evaluar la posibilidad de mejorar el rendimiento o de ahorrar material.
- ▲ **Realizar un nuevo diseño.** El análisis de diseño es empleado para realizar pruebas de diferentes configuraciones geométricas y materiales, con la finalidad de probar la respuesta del modelo ante diferentes condiciones de trabajo.

C. Sugerencias rápidas

Estos mensajes que aparecen mientras se van definiendo los estudios brindan pistas e indicaciones para definir el estudio, ejecutarlo y visualizar los resultados. La mayoría de estos mensajes tienen hipervínculos que permiten ver el elemento relacionado con la interfaz del usuario. Para activar **Sugerencias rápidas**, haga clic en **Ayuda > Sugerencias rápidas**.

D. Asesor de simulaciones

Brinda ayuda para elegir el tipo de estudio, definir cargas, sujeciones y conexiones, e interpretar los resultados.

1.1.5 Pasos del análisis

Los pasos necesarios para realizar un análisis dependen del tipo de estudio. Sin embargo, por lo general, un estudio se completa a través de los siguientes pasos:

- ▲ Cree un estudio especificando el tipo de análisis y las opciones.
- ▲ De ser el caso, defina parámetros del estudio (cota del modelo, propiedad del material, valor de fuerza o cualquier otro dato).

- ▲ Defina propiedades de material¹.
- ▲ Especifique restricciones y cargas².
- ▲ Automáticamente, el programa crea una malla de vaciado para superficie y chapas metálicas de un espesor uniforme. Si desea crear una malla para chapas metálicas³, haga clic con el botón derecho del ratón en el ícono de vaciado y seleccione **Tratar como sólido para mallar con elementos sólidos**.
- ▲ Los miembros estructurales con elementos de viga son mallados de manera automática por el programa.
- ▲ Cuando se presentan diferentes geometrías (sólido, vaciado o miembros estructurales) en el modelo, el programa crea una malla mixta de forma automática.
- ▲ Determine un contacto entre componentes y conjuntos de contactos.
- ▲ Cree el mallado del modelo para dividirlo en piezas pequeñas (elementos).
- ▲ Ejecute el estudio⁴.
- ▲ Ver resultados.

1.1.6 Asesor de simulaciones

Es un conjunto de herramientas que sirven de guía a través del proceso de análisis, ya que reúnen los datos necesarios para la realización del mismo.

Tabla 1.4 Componentes del asesor de simulaciones

Asesor de estudios	Recomienda los tipos de estudio y las salidas previstas. Ayuda a definir sensores y crea estudios automáticamente.
Asesor de sólidos y materiales	Permite especificar cómo se quiere tratar los sólidos dentro de una pieza o un ensamblaje, así como aplicar materiales a los componentes.
Asesor de interacciones	Define interacciones internas entre sólidos en el modelo, al igual que interacciones externas entre el modelo y el entorno. Las interacciones incluyen cargas, sujeciones, conectores y contactos.
Asesor de Crear malla y Ejecutar	Ayuda a definir la malla y ejecutar el estudio.
Asesor de resultados	Proporciona consejos para interpretar y ver la salida de la simulación. Además, ayuda a determinar si la frecuencia o el pandeo pueden plantear problemas.

Tabla tomada de <http://help.solidworks.com/2014/Spanish/SolidWorks/cworks/c_Simulation_Studies.htm>


¹ Si se han definido las propiedades de material en el sistema CAD, este paso no es necesario. Los estudios de fatiga y optimización emplean estudios de referencia para las definiciones de materiales.

² Los estudios de fatiga y optimización emplean estudios indicados para restricciones y cargas. En cambio, los estudios de caída no permiten definir restricciones y cargas distintas de las especificadas en la configuración.

³ Las chapas metálicas se mallan con elementos sólidos en los estudios de caída.

⁴ Si bien es cierto que se pueden definir las propiedades del material, las cargas y restricciones, y crear la malla en cualquier orden, se deberán definir todos los datos necesarios antes de ejecutar el estudio.

El **Asesor de simulaciones** funciona con la interfaz de simulación con SolidWorks, inicia los Property Managers adecuados y enlaza con los temas de ayuda en línea para conseguir información adicional. Este asesor sirve de guía tanto para la selección del tipo de estudio como para el análisis del resultado de la simulación. Por medio del flujo de trabajo y de acuerdo con los requisitos a satisfacer, se emplea cada uno de los asesores individuales.

Para iniciar el **Asesor de simulaciones**, haga clic en **Estudio**  (**Command Manager de Simulation**).


Aparece la pestaña **Asesor de simulaciones**  en el **Panel de tareas**. Para abrir cada asesor, haga clic en una de las siguientes operaciones del Command Manager del simulador:

Tabla 1.5 Operaciones del Command Manager del simulador











Opción		Descripción
Estudio		Acceder al Asesor de estudios
Sujecciones		Acceder a la sección Sujecciones del Asesor de Interacciones
Cargas externas		Acceder a la sección Cargas del Asesor de Interacciones
Conexiones		Acceder a la sección Conexiones del Asesor de Interacciones
Resultados		Acceder al Asesor de resultados

Tabla tomada de <http://help.solidworks.com/2014/Spanish/SolidWorks/cworks/c_Simulation_Studies.htm>

1.1.7 Investigación de análisis

La pestaña **Investigación de análisis**  del **Panel de tareas** brinda recursos y vínculos a la base de conocimiento en línea. Puede acceder a la misma función haciendo clic en **Investigación** en el menú **Simulation**.

A. Recursos en línea

- ▲ **Solicitar licencia en línea** . Puede enviar una solicitud de licencia al vincularse a la página **Servicio de suscripción de Simulation – Formulario de solicitud de licencia**.
- ▲ Conectar con el sitio **Web de SolidWorks Simulation** . Se enlaza con el sitio web del simulador de SolidWorks.
- ▲ **Comunidades** . Se vincula a la página en línea **Grupos de comunidad de SolidWorks Simulation**.
- ▲ **Descargas** . Se vincula a la página en línea **Soporte para la suscripción a SolidWorks Simulation – Descarga**.

B. Base de conocimiento

Para consultar la base de datos de conocimiento de simulación con SolidWorks en línea, escriba las palabras clave en la opción **Buscar** y haga clic en **Ir**. Los resultados de la búsqueda aparecen en el explorador web. Sin embargo, también puede buscar los materiales por su nombre, basta con conectarse en el sitio web **MatWeb** y los resultados aparecerán en el explorador. Si desea explorar más sus propiedades, puede hacer clic en los hipervínculos. Por último, emplee las opciones **Anterior** y **Siguiente** para navegar por los resultados de la búsqueda.

1.1.8 Materiales⁵

Es necesario definir las propiedades de material correspondiente al tipo de análisis y al modelo de material antes de ejecutar un estudio, ya que el modelo de material describe el comportamiento del material y establece las propiedades del mismo. Los modelos de material isotrópico y ortotrópicos lineales pueden utilizarse en todos los estudios estructurales y térmicos, aunque también hay otros modelos de material para estudios de tensión no lineales, como el modelo von Mises de plasticidad disponible para estudios de caída. Las propiedades de material pueden ser especificadas como función de temperatura. Así, para los ensamblajes sólidos, cada componente puede tener un material diferente; para los modelos de vaciado, cada vaciado puede tener un material y un espesor distinto, además, el material de la pieza se emplea para todos los vaciados; para los modelos de viga, cada una puede contar con un material diferente; finalmente, para los modelos de malla mixta, es preferible definir las propiedades de material necesarias para los sólidos y vaciados de manera separada.

Se pueden definir las propiedades del material a través del empleo de materiales asignados a piezas en el sistema CAD, la selección del material de una de las bibliotecas de materiales predeterminados o de una biblioteca definida por el usuario y por medio de la determinación de valores de las propiedades necesarias de forma manual.

El *software* emplea el material asignado a piezas en el sistema CAD de manera predeterminada. Cabe señalar que la asignación de un material a una pieza en el *software* no implica la actualización del material utilizado en el sistema CAD. Para obtener mayor información, consulte la sección **Materiales** de simulación.

1.1.9 Sujeciones y cargas

Definen el entorno del modelo y están representadas por un ícono en el gestor de simulación. El *software* presenta opciones sensibles al contexto para definir las restricciones. Así, por ejemplo, si todas las caras seleccionadas son cilíndricas, el programa espera que defina las restricciones radiales, circunferenciales y axiales. Por otro lado, en el caso de los estudios no lineales y los estudios térmicos transitorios, las cargas y las sujeciones son definidas como función de tiempo.

Asimismo, las cargas y las sujeciones se caracterizan por ser asociativas y ajustarse automáticamente a los cambios en la geometría. Para copiar estudios, carpetas y elementos debe emplearse la función de arrastrar y colocar del gestor de simulación.

La importación de cargas es realizada directamente por el *software* desde SolidWorks Motion y SolidWorks Flow Simulation.

A. Conectores

Sin la necesidad de presentar una geometría detallada, un conector puede simular el comportamiento de un mecanismo. El *software* puede definir conectores de distintos tipos (rígidos, de muelle, espiga, perno, soporte elástico, articulación, soldadura por puntos y conectores de apoyo), los cuales se encuentran presentes en muchos diseños del mundo real.

Para organizar sujeciones, cargas y conectores en carpetas, haga clic con el botón derecho del ratón en la opción correspondiente y seleccione **Crear nueva carpeta**, luego arrástrela o haga clic con el botón derecho del ratón en el nombre de la carpeta y seleccione un elemento para crear en ella.

⁵ En el cuadro de diálogo Material, la propiedad es obligatoria en función del tipo de estudio activo si aparece una descripción roja, en cambio, si aparece una descripción azul, la propiedad es opcional.

1.1.10 Especificar direcciones

En algunas ocasiones, especificar las direcciones es necesario durante la definición del modelo, para definir las cargas, las restricciones y las propiedades del material ortotrópico; y en la visualización de resultados, para visualizar los resultados direccionales (desplazamientos, tensiones, deformaciones unitarias y flujo de calor).

Para identificar direcciones cuando se apliquen cargas o prescriban restricciones distintas de cero, se recomienda utilizar el Property Manager; en cambio, para las direcciones opuestas, utilice valores negativos. En un ensamblaje, puede emplear la geometría de referencia del ensamblaje o de sus componentes, o subensamblajes de referencia.

Tabla 1.6 Tipos de direcciones

Utilizar un plano de referencia	Un plano de referencia (o cara plana) define dos direcciones en su plano y una normal. Las dos direcciones del plano son designadas como Plano dir. 1 (Plano dir. 1) y Plano dir. 2 (Plano dir. 2). Son paralelas a los contornos del plano. Al aplicar restricciones y cargas, seleccione Vista preliminar para identificar la dir. 1 y la dir. 2. La normal es obvia.
Utilizar caras planas	En modo similar a un plano de referencia, una cara plana define dos direcciones en su plano y una normal. Dir. 1 y dir. 2 se definen internamente para cada cara plana. No pueden ser modificadas. Al aplicar restricciones y cargas, seleccione Vista preliminar para identificar la dir. 1 y la dir. 2. La normal es obvia.
Sistemas de coordenadas	Un sistema de coordenadas define 3 direcciones, X, Y y Z. El sistema de coordenadas predeterminado que utiliza el <i>software</i> , llamado "sistema de coordenadas global", se basa en el Plano 1. El origen del sistema de coordenadas global se encuentra dentro del origen de la pieza o del ensamblaje. El Plano 1 es el plano de referencia principal que aparece en el gestor de diseño del Feature Manager y puede tener un nombre diferente. El sistema de referencia muestra las direcciones globales X, Y y Z. A todos los otros sistemas de coordenadas se les denomina "sistemas de coordenadas locales".
Utilizar un eje de referencia	Un eje de referencia define una dirección radial, una dirección circunferencial y una dirección axial. Al aplicar restricciones y cargas, seleccione la casilla de verificación Vista preliminar en el Property Manager para identificar las direcciones positivas. Utilice valores negativos para la dirección opuesta. Al especificar una traslación circunferencial, se especifica un ángulo (Θ) en grados. Esto establece la traslación en la dirección circunferencial (v): $v = r \cdot \Theta \cdot \pi / 180$, donde r es el radio del nodo en el cual se aplica la restricción en relación con el eje de referencia.
Utilizar una cara cilíndrica	Esto es similar a la utilización de un eje de referencia. El eje de la cara cilíndrica se utiliza como el eje de referencia.
Utilizar una arista recta	Una arista recta define una dirección. Al aplicar restricciones y cargas, seleccione la casilla de verificación Vista preliminar en el Property Manager para identificar la dirección positiva.

Tabla tomada de <http://help.solidworks.com/2014/Spanish/SolidWorks/cworks/c_Specifying_Directions.htm>

1.1.11 Mallado⁶

El análisis de elementos finitos (FEA) brinda una técnica numérica óptima para analizar los diseños de ingeniería. Primero, se crea un modelo geométrico; luego, se subdivide el modelo en pequeñas partes (elementos), que están conectadas en puntos comunes (nodos). Precisamente, el proceso de subdivisión del modelo en partes minúsculas se denomina "mallado". Así, los programas de análisis de elementos consideran al modelo como una red de elementos interconectados.

El mallado es una fase crucial en el análisis de diseño, donde se crea de manera automática una malla conformada por elementos sólidos, de vaciado y de viga. La malla sólida corresponde a los modelos voluminosos o complejos en 3D; los elementos de vaciado son adecuados para las piezas delgadas, como las chapas metálicas; por último, los elementos de viga corresponden a los miembros estructurales.

La calidad de la malla es determinante en la precisión de la solución: cuanto más delgada es la malla, mayor es la precisión. Factores como la geometría creada, opciones de malla activas, control de malla, condiciones de contacto influyen en la malla generada.

Respecto al tamaño del elemento y la tolerancia de la malla, el *software* sugiere medidas globales. De esta manera, el tamaño global de un elemento está relacionado con la longitud promedio de una arista del elemento. Cabe señalar que la cantidad de elementos incrementa rápidamente al emplear un tamaño global del elemento más pequeño.

A. Tipo de malla basado en las características geométricas

Sobre la base de sus operaciones de geometría, el programa determina de forma automática el tipo de malla adecuada para los sólidos.

- ▲ **Malla sólida⁷.** Todos los modelos de sólidos son mallados a través de elementos sólidos (tetraédricos).
- ▲ **Malla de vaciado.** Para mallar las geometrías de la superficie y las planchas metálicas con espesor uniforme, son necesarios los elementos de vaciado triangulares. En cambio, las chapas metálicas definidas en un estudio de caída se mallan con elementos sólidos.
- ▲ **Malla de viga.** Se emplean elementos en viga para mallar los miembros estructurales y las soldaduras. Puede tratar mallas con elementos sólidos de forma predeterminada (extrusión), como una viga, haciendo clic con el botón derecho del ratón en el ícono del sólido y seleccionando **Tratar como viga**.
- ▲ **Malla mixta.** Es generada cuando existen varias geometrías en el mismo modelo.

B. Métodos adaptativos para estudios estáticos



Brindan ayuda en la búsqueda de una solución apropiada para los estudios estáticos. Existen dos tipos de métodos adaptativos: método-h, que emplea elementos más pequeños en regiones que cuentan con errores relativos altos; y el método-p, que incrementa el orden polinomial de elementos con errores relativamente altos.

⁶ Para ampliar la información, consulte Vera, A. (2011). *Técnicas de mallado*. Manuscrito inédito, USAT, Perú.

⁷ Los estudios de caída solo emplean una malla sólida. Los estudios de diseño y fatiga utilizan la malla de los estudios asociados. Los estudios de diseño de recipientes a presión combinan resultados y no necesitan una malla.

1.1.12 Ejecutar estudios^a

Tras asignar los materiales, definir las cargas y restricciones, y mallar el modelo, se debe ejecutar el estudio para calcular los resultados. En caso de ejecutar un estudio antes de generar el mallado, el software se encarga de mallar el modelo y ejecutar el estudio.

Para ejecutar un estudio, haga clic en el gestor de simulación con el botón derecho del ratón y seleccione **Ejecutar**, o haga clic en **Ejecutar**  en la barra de herramientas de simulación. En cambio, si desea ejecutar todos los estudios, haga clic en la flecha hacia abajo en **Ejecutar**  (Administrador de comandos de simulación) y seleccione **Ejecutar todos los estudios**. Finalmente, para ver sus resultados, mueva el cursor sobre la pestaña del estudio de simulación que esté ejecutando.

A. Solvers

Emplea una nueva tecnología para solucionar grandes sistemas de ecuaciones simultáneas, con la finalidad de reducir los requerimientos de tiempo de solución, espacio en disco y memoria. En su mayoría, los solvers de simulación con SolidWorks son cien veces más rápidos que los solvers convencionales.

El software cuenta con tres opciones para afrontar problemas de distintos tipos y tamaños: automática, donde el software elige el solver tipo Direct Sparse o el solver tipo FFEPlus de forma automática; el solver tipo Direct Sparse; y el solver tipo FFEPlus (iterativo).

Seleccione el solver al definir las propiedades de un estudio. Siempre que se utilice la misma malla, ambos solvers deben ofrecer respuestas similares; sin embargo, el rendimiento y la velocidad cambian de acuerdo al tipo y tamaño del problema. Así, los dos solvers son eficaces para los problemas pequeños, aunque cabe indicar que el solver FFEPlus es mucho más eficaz para problemas grandes (más de 300 000 grados de libertad).

B. Estado del solver

Al ejecutar un estudio, se visualiza la ventana **Estado del solver**, la cual contiene el uso de memoria, el tiempo transcurrido, la información específica del estudio (grados de libertad, número de nodos o número de elementos), información de solver y advertencias.

Puede acceder al trazado de convergencia y a los parámetros del solver a través de los estudios estáticos que emplea el solver tipo FFEPlus. Este trazado muestra la forma en que converge la solución, mientras los parámetros permiten manipular las interacciones del solver con la finalidad de mejorar en precisión o mejorar la velocidad con resultados menos exactos. Pueden utilizarse valores predefinidos del solver o cambiarse el umbral máximo de iteraciones y el umbral de detención.

Si desea mejorar la precisión, debe disminuir el valor correspondiente al umbral de detención; en cambio, si quiere mejorar la velocidad sin importar la precisión, puede incrementar el valor del umbral de detención o disminuir el número máximo de iteraciones^b.

^a Cuando uno o varios estudios de simulación se ejecutan, lo hacen como procesos en segundo plano. Por ello, después de finalizar la sesión, la simulación sigue ejecutándose en segundo plano. Al completar la simulación, los resultados son guardados en el directorio asignado.

^b Haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta Resultados y seleccione Mensajes del solver si quiere ver los mensajes después de terminar el análisis. Los tipos de mensajes están conformados por número de nodos, tiempo de solución, errores o advertencias. Debe tomar en cuenta que estos mensajes son los mismos que aparecen en la ventana durante el análisis. Para mayor información, consulte la sección Estudios de diseño.

1.1.13 Ver resultados

Después de que el análisis es ejecutado, el software origina trazados de resultados predeterminados personalizables. Para ver un trazado, haga doble clic en el ícono correspondiente al gestor de simulación.

Tras ejecutar el análisis, el software genera trazados de resultados predeterminados personalizables. Puede ver un trazado haciendo doble clic en su ícono en el gestor de simulación; asimismo, puede definir otros trazados haciendo clic en la carpeta de resultados o seleccionando la opción **Definir**. Una vez que los trazados son definidos, pueden utilizarse sistemas de coordenadas de referencia. Así, pueden verse las tensiones radiales y tangenciales seleccionando un eje cuando defina los trazados de tensión.

Las herramientas de visualización de resultados están compuestas por trazados de bordes, trazados de sección, Iso, animación, sondeo y vistas explosionadas. Respecto a los trazados de sección, pueden elegirse herramientas de corte plana, cilíndrica y/o esférica. Para la visualización conveniente de los trazados de sección y los trazados Iso, se proporciona una utilidad de recorte para una visualización adecuada.

Puede generar un informe para Internet que esté estructurado de manera automática por todos los trazados disponibles, para lo cual se requiere de la ayuda del asistente para informes en la personalización del informe y en la inclusión de los trazados de resultados. Para emplear el **Asistente para Informes**, haga clic con el botón derecho del ratón en carpeta **Informe** y seleccione **Definir**.

Los trazados de resultados pueden ser guardados en formatos eDrawings, mapa de bits, JPEG, VRML, XGL y ZGL; mientras que las animaciones pueden ser guardadas en archivos de video AVI. Estos trazados de resultados pueden ser incluidos automáticamente en el informe de estudio. Al margen del formato que se emplee en un trazado, para guardarlo es necesario hacer clic con el botón secundario del ratón en el ícono del trazado y seleccionar **Guardar como**. En cambio, si quiere guardar todos los trazados exclusivamente en formato JPEG, seleccione **Actualizar todos los trazados en archivos JPEG automáticamente**, que se encuentra en el cuadro de diálogo informe.

1.1.14 ¿Qué errores hay?

Permite visualizar los errores y advertencias en el estado actual de un estudio de simulación. Para hacer uso de esta aplicación, haga clic con el botón derecho del ratón en el ícono **Estudio**, que tiene un ícono de error, y seleccione **¿Qué errores hay?**

Para ejecutar el estudio, antes debe corregir todo error que se encuentre en este; sin embargo, cuando solo se presenta una advertencia en una operación, todavía puede ejecutar el estudio o visualizar los resultados existentes. Los errores o advertencias pueden ser identificados a través de los íconos que conforman el gestor de simulación.

Tabla 1.7 Íconos de error y advertencia

Ícono	Descripción
	Se encuentra al lado de un nombre de Estudio en la parte superior del gestor de Simulation y sirve para indicar un error con el estudio.
	Señala un error con una operación de un estudio y al hacerlo invalida la operación de Simulation.
	Junto a las carpetas Resultados o Malla , este ícono de advertencia indica que los resultados no son actuales.

Tabla tomada de <http://help.solidworks.com/2014/Spanish/SolidWorks/cworks/e_Simulation_Studies.htm>

El cuadro de diálogo está provisto de columnas que presentan características como el tipo, conformado por error (⊗) y advertencia (⚠); operación, nombre de la operación del estudio y su icono en el gestor de simulación; y por último, la explicación de la advertencia o del error. Asimismo, el cuadro de diálogo presenta las siguientes casillas de verificación: **Mostrar errores**, que visualiza los mensajes de error; y **Mostrar advertencias**, que permite ver los mensajes de advertencia.

1.1.15 Parámetros

Deben emplearse en los estudios de diseño y vincularse a variables de acuerdo a la iteración de un escenario de diseño de evaluación u optimización. Estos parámetros pueden crearse para cotas de modelo, variables globales y operaciones de estudios de simulación o *motion*.

Para permitir que los parámetros dirijan el valor numérico de la operación asociada, deben vincularse los parámetros a los campos de entrada. Por ejemplo, si **Fuerza 1** (Force 1) es un parámetro de fuerza, en lugar de introducir un valor numérico, puede ser vinculado al campo de entrada de fuerza. Por ello, si se cambia el valor del parámetro **Fuerza 1**, también se cambia de manera automática la entrada de fuerza vinculada.

1.1.16 Sistemas de coordenadas

A. Sistema de coordenadas global

Está relacionado en forma predeterminada con la entrada direccional. Es necesario indicar que el sistema de coordenadas global (X, Y y Z) está basado en el **Plano 1** (Plane 1), cuyo origen concuerda con el origen de la pieza o ensamblaje, y que puede encontrarse ubicado en el gestor de diseño del Feature Manager con un nombre diferente. El sistema de referencia muestra las direcciones globales X, Y y Z.

La siguiente figura muestra la relación entre el sistema de coordenadas global y **Plano 1** (Plane 1), **Plano 2** (Plane 2) y **Plano 3** (Plane 3).

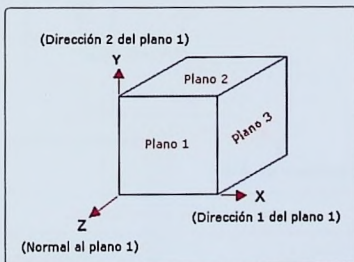


Fig. 1.5 Relación entre sistema de coordenadas global y planos

Imagen tomada de <http://help.solidworks.com/2014/Spanish/SolidWorks/cworks/c_Simulation_Studies.htm>

B. Sistemas de coordenadas locales

Estos sistemas de coordenadas diferentes del sistema de coordenadas global permiten especificar restricciones y cargas en cualquier dirección deseada. Por ejemplo, si se define una fuerza sobre una cara cilíndrica, esta se puede aplicar en las direcciones radial, circunferencial o axial. En este caso, debe seleccionar un eje como geometría de referencia. En cambio, si se elige una cara esférica, se pueden elegir las direcciones radiales, de longitud o de latitud que aplican a las restricciones. Por otro lado, cuando se visualizan los resultados, pueden emplearse planos y ejes de referencia, así se pueden observar tensiones sobre una cara cilíndrica en dirección radial.

a. **Utilizar planos y ejes de referencia.** Pueden utilizarse para definir propiedades de material ortotrópico o para aplicar cargas y restricciones direccionales.

▲ **Utilizar planos de referencia.** Define un sistema de coordenadas cartesianas, tal como puede observarse en la siguiente figura.

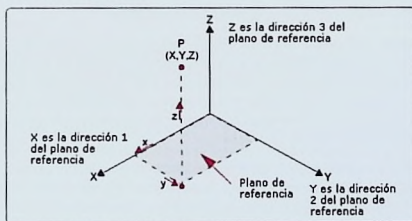


Fig.1.7 Sistema de coordenadas cartesianas

Imagen tomada de <http://help.solidworks.com/2014/Spanish/SolidWorks/cworks/c_Simulation_Studies.htm>

▲ **Utilizar ejes de referencia**¹⁰. Define el sistema de coordenadas cilíndricas, como se ilustra en la figura.

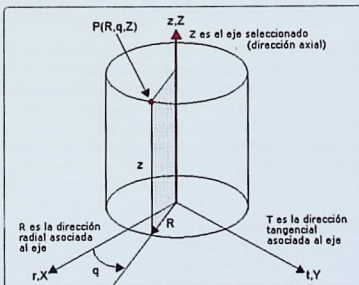


Fig. 1.8 Sistema de coordenadas cilíndricas

Imagen tomada de <http://help.solidworks.com/2014/Spanish/SolidWorks/cworks/c_Simulation_Studies.htm>

¹⁰ Para obtener mayor información, consulte la sección **Cargas y restricciones**

1.1.17 Información básica sobre los análisis¹¹

Proporciona información teórica básica para el empleo del *software*. Así, determina la función de cada tipo de análisis, las suposiciones sobre las que se basa cada análisis, los datos necesarios que deben ingresarse para realizarlo y los resultados que debería mostrar; además, brinda una breve descripción para la ejecución de cada análisis. Se presentan los siguientes temas:

A. Análisis estático lineal

Al aplicar cargas a un sólido, este se deforma y el efecto de las cargas es transmitido a través del sólido. A su vez, las cargas externas inducen fuerzas internas y reacciones para renderizar el sólido a un estado de equilibrio. Precisamente, el análisis estático lineal calcula los desplazamientos, las deformaciones unitarias, las tensiones y las fuerzas de reacción bajo el efecto de cargas aplicadas. El análisis estático lineal cumple las siguientes suposiciones:

- ▲ **Suposición estática.** Toda carga es aplicada de forma lenta y gradual hasta que complete sus magnitudes; luego, las cargas permanecen constantes (no varían en el tiempo). A partir de esta suposición, se pueden ignorar las fuerzas inerciales y de amortiguación causadas por pequeñas aceleraciones y velocidades poco relevantes. En cambio, las cargas que varían con el tiempo y que inducen fuerzas inerciales o de amortiguación relevantes pueden garantizar el análisis dinámico; por ello, por ningún motivo pueden ser despreciadas.

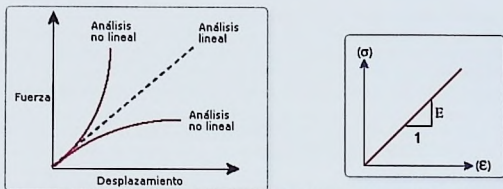
Tiene gran importancia verificar la suposición estática, ya que una carga dinámica puede generar tensiones de hasta el doble del cociente de amortiguamiento viscoso de las tensiones generadas por las cargas estáticas de la misma magnitud. En el caso de una estructura con un 5 % de amortiguación, las tensiones dinámicas son diez veces mayores que las tensiones estáticas. El peor de los casos se presenta en la resonancia¹².

El análisis estático puede ser empleado para calcular la respuesta estructural de los sólidos que giran a velocidades constantes o se trasladan con aceleraciones constantes, ya que las cargas generadas no sufren modificaciones con el tiempo. Se recomienda utilizar estudios dinámicos lineales o no lineales para calcular la respuesta estructural provocada por cargas dinámicas, las cuales incluyen cargas oscilatorias, impactos, colisiones y cargas aleatorias.

- ▲ **Suposición de linealidad.** La relación entre cargas y respuestas inducidas es lineal. Por ello, si se duplican las cargas, la respuesta del modelo (desplazamientos, deformaciones unitarias y tensiones) también se duplica. Se puede realizar la suposición de linealidad si todos los materiales del modelo cumplen con la ley de Hooke (cuando la tensión es directamente proporcional a la deformación unitaria), si los desplazamientos inducidos son suficientemente pequeños como para ignorar el cambio en la rigidez causado por la carga o si las condiciones de contorno no cambian durante la aplicación de las cargas¹³.

¹¹ No resulta conveniente sustentar sus decisiones de diseño exclusivamente en los resultados obtenidos con CosmosWorks. Por ello, esta información debe emplearse junto con los datos experimentales y la experiencia práctica, ya que las pruebas de campo son obligatorias para validar su diseño definitivo. Este *software* ayuda a reducir el tiempo de salida al mercado de sus productos sin necesidad de eliminar las pruebas de campo por completo.

¹² Consulte la sección "Análisis dinámico".



¹³ Las cargas deben ser constantes en cuanto a magnitud, dirección y distribución. No deben cambiar mientras se deforma el modelo.

Fig. 1.9 Ejes de fuerza y desplazamiento

Imágenes tomadas de <http://help.solidworks.com/2014/Spanish/SolidWorks/cworks/c_Simulation_Studies.htm>

B. Análisis de frecuencias

Cada estructura tiene la tendencia de hacer vibrar a las frecuencias naturales o resonantes. Cada frecuencia natural se asocia a una forma determinada, llamada forma modal, que el modelo tiende a adoptar al vibrar a esa frecuencia.

La estructura tiene grandes desplazamientos y tensiones cuando una estructura es activada adecuadamente por una carga dinámica con una frecuencia coincidente con una de sus frecuencias naturales: este fenómeno es denominado "resonancia". En el caso de los sistemas sin amortiguar, a nivel teórico, la resonancia causa un movimiento ilimitado; sin embargo, la amortiguación limita la respuesta de las estructuras a causa de las cargas resonantes.

Los estudios estáticos no pueden ser utilizados para evaluar la respuesta si el diseño está sujeto a entornos dinámicos. Por ello, sería más conveniente emplear los estudios de frecuencia, que ayudarían a evitar la resonancia¹⁴, y los sistemas de aislamiento de vibración en el diseño. Además, forman parte de la base necesaria para la evaluación de la respuesta de sistemas dinámicos lineales en los que la respuesta de un sistema a un entorno dinámico se presupone que corresponde a la suma de las contribuciones de los modelos empleados en el análisis.

Un modelo real presenta una cantidad infinita de frecuencias naturales; sin embargo, un modelo de elementos finitos tiene una cantidad finita de frecuencias que corresponde a la cantidad de grados de libertad considerada en el modelo. Solo son necesarios algunos de los primeros modos para la mayoría de los fines.

Las frecuencias naturales y las formas modales respectivas dependen de la geometría, las propiedades de material y las condiciones de soporte. El cálculo de frecuencias naturales y formas modales se denomina análisis modal, de frecuencia y de modo normal.

- ¹⁴ **Efecto de las cargas en el análisis de frecuencias.** Por lo general, la construcción de la geometría de un modelo es creada sobre la base de la forma original del modelo. Sin embargo, algunas cargas (el peso propio de la estructura) siempre están presentes y pueden causar efectos considerables en la forma de la estructura y en sus propiedades modales. En la mayoría de los casos, este efecto es omitido, debido a que las desviaciones inducidas son pequeñas.

¹⁴ La resonancia solo debe emplearse en el diseño de ciertos dispositivos.

Las características de modalidad de un sólido se ven afectadas por las cargas. De esta manera, las cargas comprensivas disminuyen las frecuencias de resonancia, mientras que las cargas de tracción las aumentan. Este hecho es fácilmente demostrable a través de la modificación de la tensión de las cuerdas de un violín: cuanto más alta sea la tensión, más alta será la frecuencia (tono).

Para un estudio de frecuencia, las cargas no tendrán que ser definidas; sin embargo, si son definidas, se debe tener en consideración sus efectos¹⁵.

- ▲ **Cargas dinámicas.** Para calcular la respuesta motivada por cargas dinámicas y excitaciones de la base, utilice estudios dinámicos lineales. Cabe señalar que no debe considerarse ni el efecto de cargas estáticas en frecuencias ni las formas de modo.

C. Análisis dinámico

Los estudios estáticos parten del presupuesto de que las cargas son constantes o bien son aplicadas muy lentamente hasta alcanzar sus valores completos; por ello, la velocidad y aceleración de cada partícula del modelo se supone nula. En consecuencia, los estudios estáticos desprecian las fuerzas de inercia y amortiguación. Sin embargo, en muchos casos prácticos, las cargas no son aplicadas lentamente ni cambian con el tiempo o la frecuencia, por lo cual debe utilizarse un estudio dinámico. Así, por regla general, si la frecuencia de una carga es mayor que un tercio de la frecuencia más baja (fundamental), entonces debe utilizarse un estudio dinámico.

Los estudios de frecuencia conforman la base de los estudios dinámicos lineales. El *software* se encarga de calcular la respuesta del modelo a través de la acumulación de la contribución de cada modo al entorno de carga; en la mayoría de los casos, aquellos que contribuyen significativamente a la respuesta solo son los modos más bajos. La contribución de un modo está determinado por ciertas características (contenido, magnitud, dirección, duración y ubicación de la frecuencia de la carga).

La realización de un análisis dinámico incluye objetivos, como el diseño de sistemas estructurales y mecánicos que funcionen satisfactoriamente en entornos dinámicos, y la modificación de características del sistema (geometría, mecanismos de amortiguamiento, propiedades de material, entre otras), con la finalidad de disminuir los efectos de la vibración.

D. Análisis de pandeo linealizado

Bajo el efecto de la carga axial, los modelos delgados frecuentemente se deforman. Así, el pandeo es un tipo de deformación repentina producida cuando la energía de la membrana almacenada (axial) se transforma en energía de deformación sin cambios en las cargas aplicadas de manera externa. En términos matemáticos, al producirse el pandeo, la rigidez se convierte en única. Por ello, el pandeo linealizado soluciona un problema de autovector para el cálculo de los factores de pandeo críticos y formas modales de pandeo asociadas.

¹⁵ En caso de incluirse el efecto de carga en las frecuencias resonantes, deberá utilizarse el *solver* Direct Sparse. Cuando la opción *Solver* se establece en automático, se utilizará el *solver* Direct Sparse (*solver* directo de dispersión matricial) si las cargas son definidas para un estudio de frecuencia

El pandeo puede afectar a un modelo en diferentes formas y bajo niveles de carga diferentes. La forma que adopta el modelo cuando es pandeado es "forma modal del pandeo", mientras que la carga se denomina "carga crítica o de pandeo". El análisis de pandeo se encarga de calcular una determinada cantidad de modos de acuerdo a lo requerido por el cuadro de diálogo de pandeo. Por lo general, los diseñadores muestran un mayor interés en el modo más bajo, ya que está asociado a la carga crítica más baja. En caso el pandeo sea el factor de diseño crítico, entonces, el cálculo de múltiples modos de pandeo podrá determinar las áreas débiles del modelo. Así, las formas modales pueden ayudar a modificar el modelo o, de lo contrario, pueden contribuir a evitar un determinado modo de pandeo.

Para un procedimiento más enérgico aplicado al estudio del comportamiento de los modelos, se requiere del empleo de códigos de diseño de análisis no lineal.

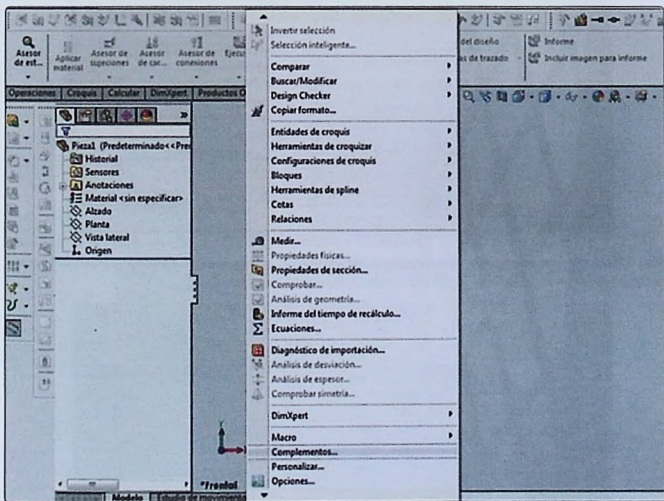
- 4. **Cuándo utilizar el análisis de pandeo.** Bajo el efecto de cargas axiales pequeñas, las piezas delgadas y los ensamblajes con piezas delgadas que se cargan en dirección axial se deforman. Por ello, es posible que estas estructuras presenten errores a causa del pandeo, mientras que las tensiones se mantienen por debajo de los niveles críticos. Así, la carga del pandeo se convierte en un factor de diseño crítico. A diferencia del caso anteriormente descrito, cuando las estructuras son voluminosas, no es necesario el análisis de pandeo, ya que el error se produce previamente a causa de las tensiones altas.

E. Análisis térmico

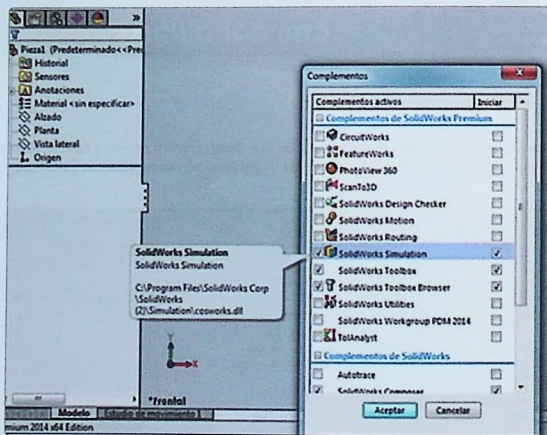
Se encarga de calcular la distribución de temperatura en un cuerpo producida por tres mecanismos: conducción, convección y radiación. A través de estos mecanismos, la energía calorífica fluye desde el medio con mayor temperatura hasta el medio con menor temperatura. Las transferencias de calor por conducción y convección necesitan la presencia de un medio interviniente, a diferencia de la transferencia de calor por radiación que no la requiere. Por medio de un termostato pueden controlarse las fuentes de flujo de calor y de potencia calorífica.

Activación de simulación con SolidWorks

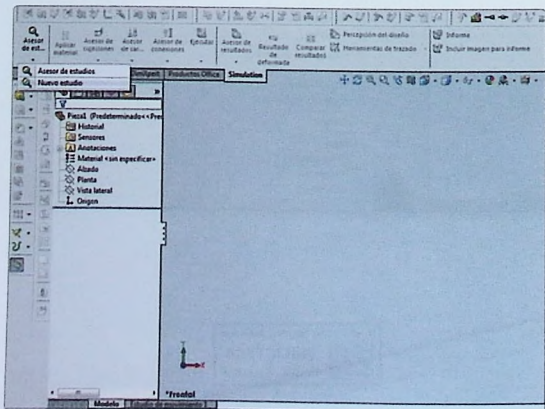
Paso 1. Para iniciar la simulación estática lineal de una pieza, primero active la opción **Simulation**. En el menú principal, despliegue la barra **Herramientas** y elija la opción **Complementos** (se encuentra en la parte inferior).



Paso 2. Una vez que aparece la ventana de **Complementos**, active **SolidWorks Simulation**, conforme se aprecia en la figura.

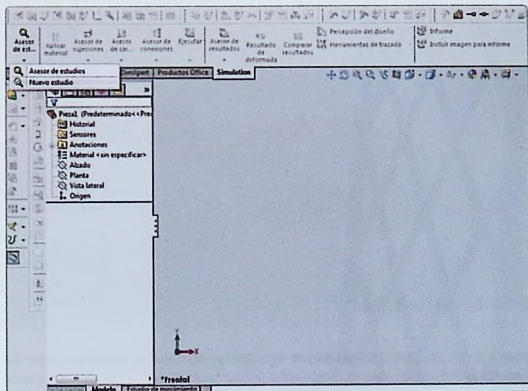


Paso 3. Una vez que aparece la nueva pestaña **Simulation**, ya puede realizar estudios estáticos lineales. Es decir, el software está listo para realizar las simulaciones pertinentes.

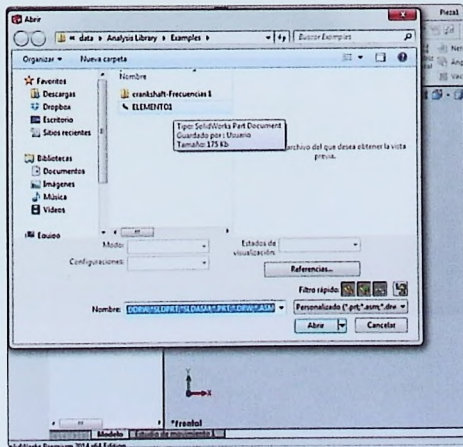


2.1 APLICACIÓN 1

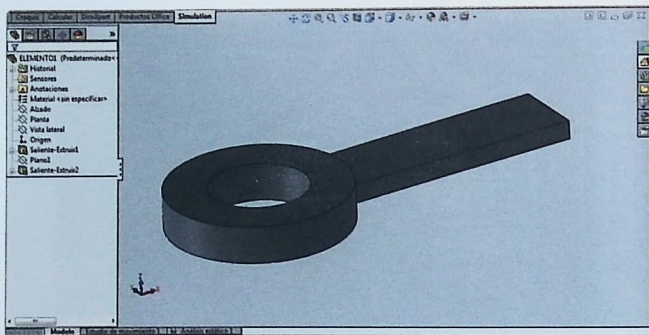
Paso 1. Ejecute el menú **Abrir** y seleccione la pieza a trabajar.



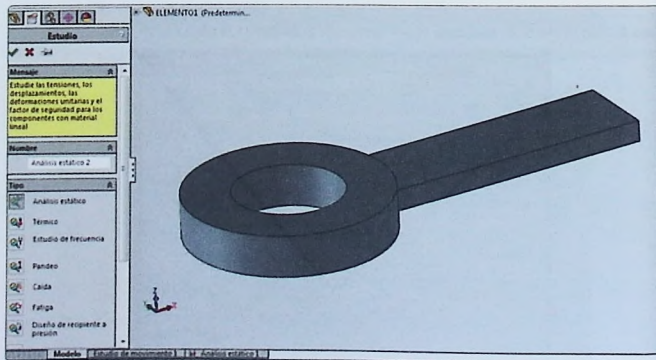
Paso 2. Elija la pieza, en este caso con el nombre de **ELEMENTO1**, y haga clic en **Abrir**.



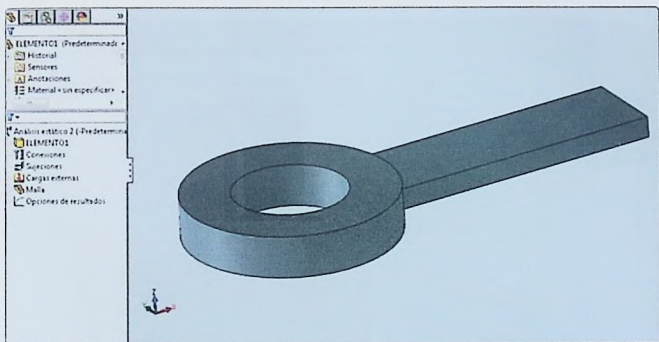
Paso 3. Haga clic en el ícono **Simulation**, donde aparecerá otra pestaña llamada **Asesor de estudios**.



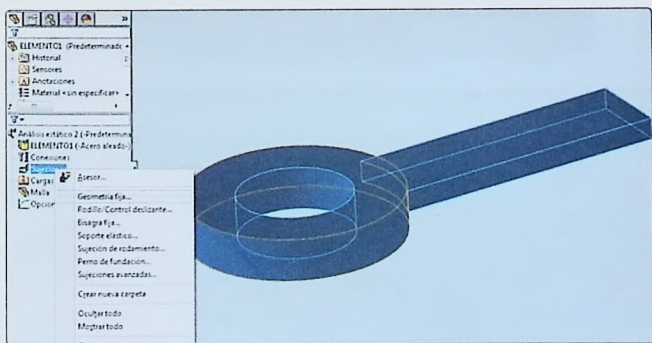
Paso 4. Haga clic en la pestaña **Asesor de estudios** y elija **Nuevo estudio**, donde se desplegará automáticamente la siguiente ventana. Seleccione la opción **Análisis estático** y haga clic en **Aceptar**.



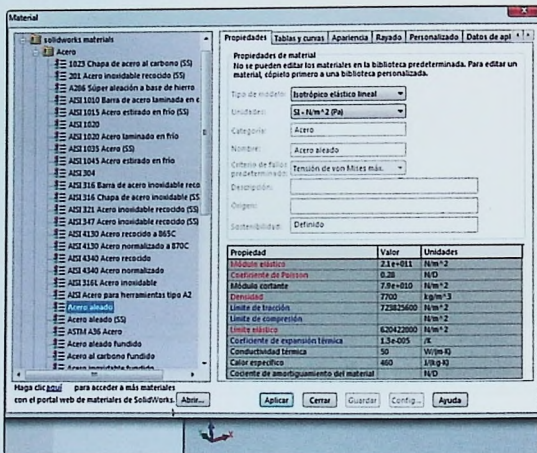
Paso 5. Después de que haga clic en **Aceptar**, aparecerá esta nueva ventana.



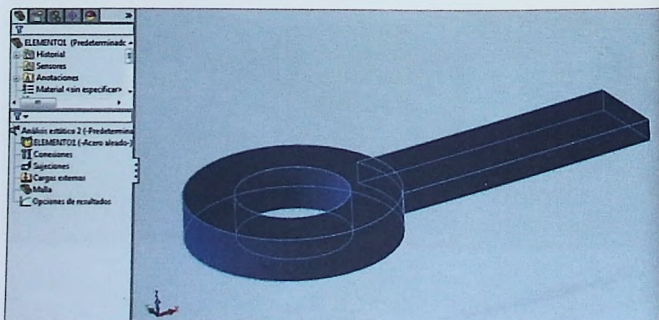
Paso 6. Elija el ícono que tiene el mismo nombre de la pieza elegida, en este caso **ELEMENTO1**. Para **Asignar material**, haga clic con el botón derecho del ratón y elija **Aplicar/Editar material**.



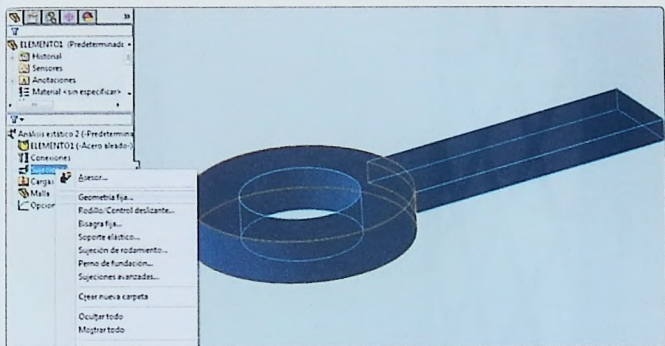
Paso 7. En la siguiente figura, aparece una biblioteca de distintos materiales con sus respectivas propiedades mecánicas, térmicas, entre otras. Haga clic en **Aplicar** y **Cerrar**.



Paso 8. Después de aplicar el material, el dibujo se convertirá en un ente real con todas las propiedades asignadas.

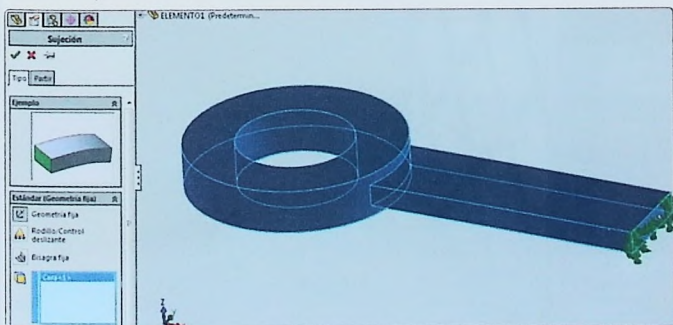


Paso 9. Ahora seleccione la opción **Sujecciones**, la cual permite sujetar la pieza, pues no se puede realizar ningún estudio si esta no se encuentra sujeta. Luego, elija la opción **Geometría fija**.

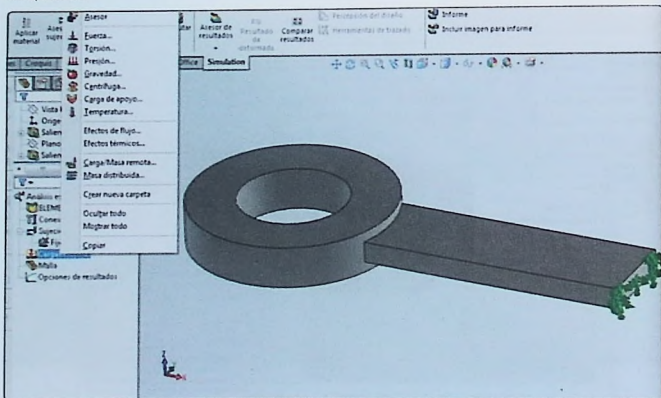


Paso 10. Mueva la pieza y haga clic en la **Cara<1>**. A continuación, aparecerán dos detalles:

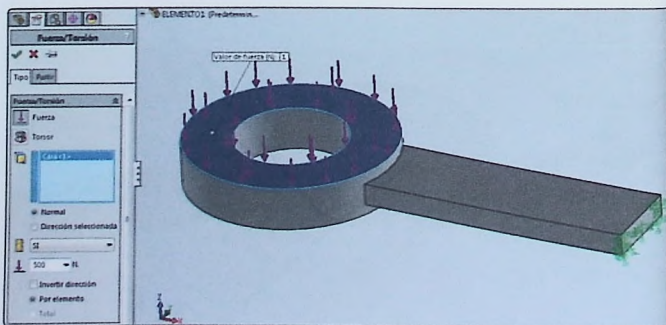
- ▲ La sujeción en la **Cara<1>** (a manera de flechas color verde).
- ▲ El nombre de la cara elegida en la parte inferior de la ventana y la opción **Aceptar**.



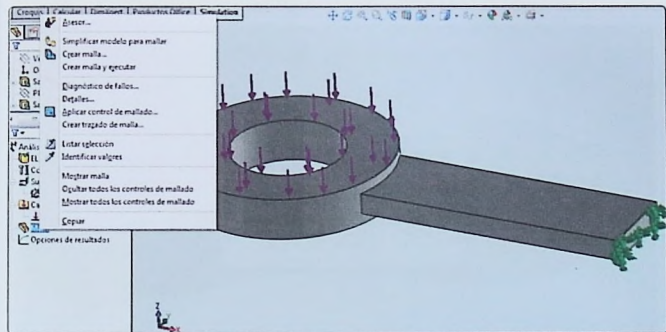
Paso 11. Seleccione **Cargas externas**, haga clic con el botón derecho del ratón y aparecerá una serie de opciones.



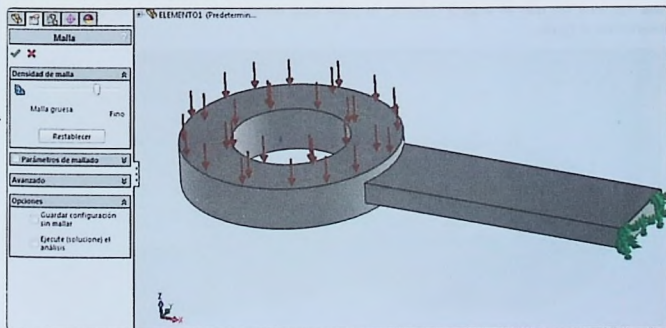
Paso 12. Seleccione **Fuerza** y coloque el cursor en la cara donde desea aplicar la fuerza, tal como se aprecia en la figura. Luego, coloque el módulo de dicha fuerza en la ventana, en este caso se ha considerado 500 N, y haga clic en **Aceptar**.



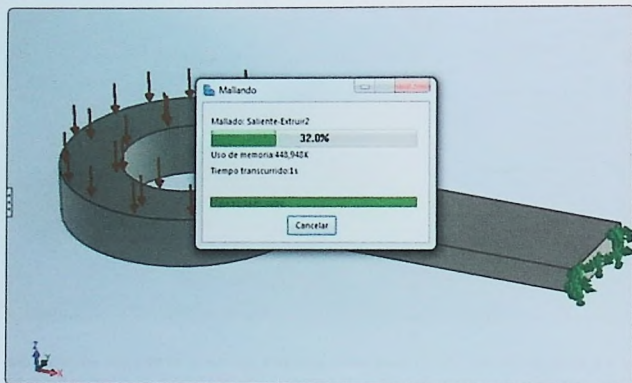
Paso 13. Seleccione la opción **Malla** y haga clic con el botón derecho del ratón en **Crear malla**.



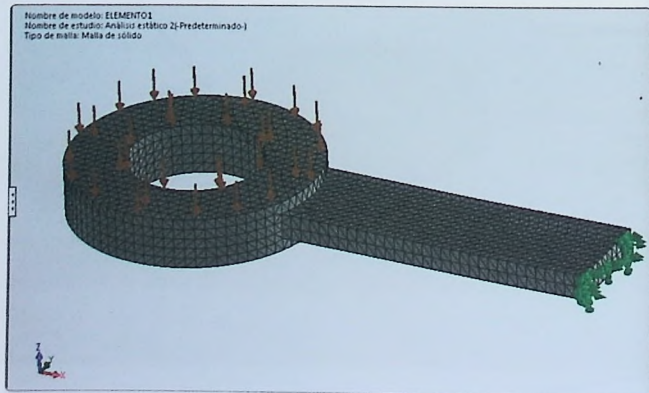
Paso 14. Después de hacer clic en **Crear malla**, aparecerá una nueva ventana con un cursor que le permitirá engrosar o afinar el tipo de malla. En el caso de la presente imagen, se acercó el cursor hacia la zona fina y se hizo clic en **Aceptar**.



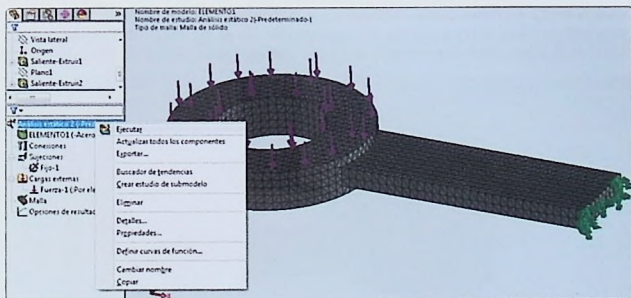
Paso 15. Después de aceptar, comienza a crearse la malla y se observa una ventana que muestra el porcentaje de avance (el tiempo es variable según la complejidad de la pieza).



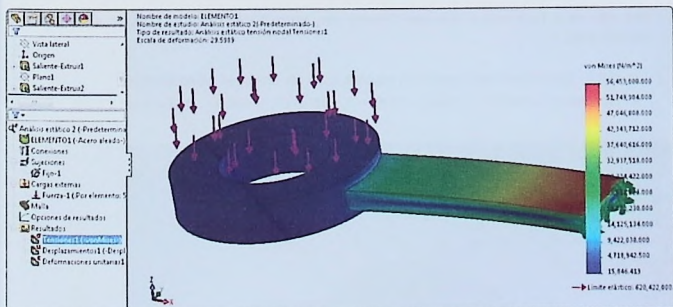
Paso 16. Una vez que se llega al 100 %, la malla está creada sobre la pieza, tal como se puede observar en la figura.



Paso 17. Seleccione la primera opción de la ventana, **Análisis estático 2** (este número puede variar de acuerdo a la cantidad de estudios realizados), haga clic con el botón derecho del ratón y presione el botón **Ejecutar**.



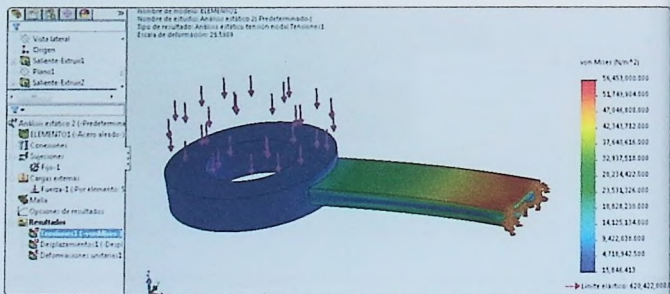
Paso 18. El *software* resuelve todas las ecuaciones diferenciales que enlazan la geometría de la pieza, la estabilidad y sus propiedades constitutivas (método de los elementos finitos). Se obtienen los resultados que se encuentran en la parte inferior izquierda de la ventana: tensiones, desplazamientos y deformaciones.



Análisis de resultados

A. Tensiones

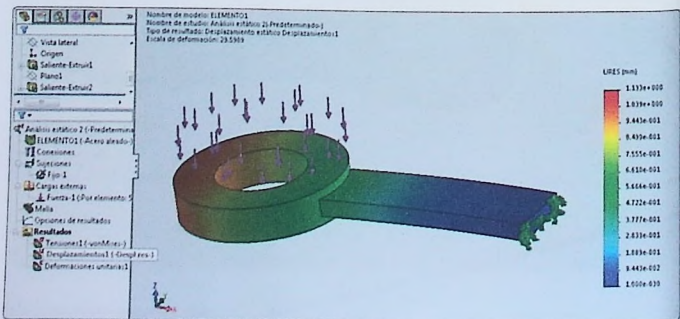
Se observa que el límite elástico del material es 620,422,000.000 N/m² (en la pantalla aparece como N/m^{^2}). Asimismo, puede identificarse que la zona que sufre los esfuerzos tensionales más altos está muy cerca de la zona de fijación, cuyo valor más alto es 56, 453,000.000, que comparado con el límite elástico implica que resistirá las cargas a las que fue sometido (en este caso, la fuerza)



B. Desplazamientos

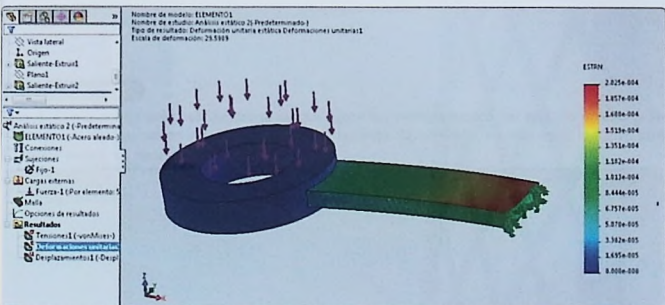
Los desplazamientos más altos se generan en donde está aplicada la fuerza de 500 N y el valor más alto es 1.133 mm; al ser una cantidad muy pequeña, la pieza no colapsa. Es importante resaltar que:

- ▲ URES: Desplazamiento resultante, en este caso las unidades están en mm.
- ▲ La notación científica: $1.133e + 000 = 1.133 \times 10^0$; $9.443e - 001 = 9.443 \times 10^{-1}$.



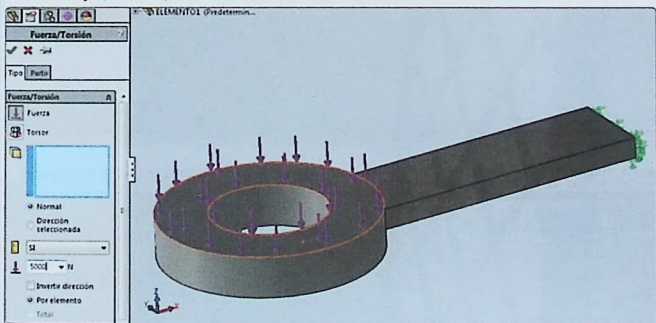
C. Deformaciones

Se entiende como el cambio de posición relativa de los desplazamientos respecto a cada uno de los ejes. En este caso, el valor máximo de deformación es bastante pequeño según la escala 2.025×10^{-4} .

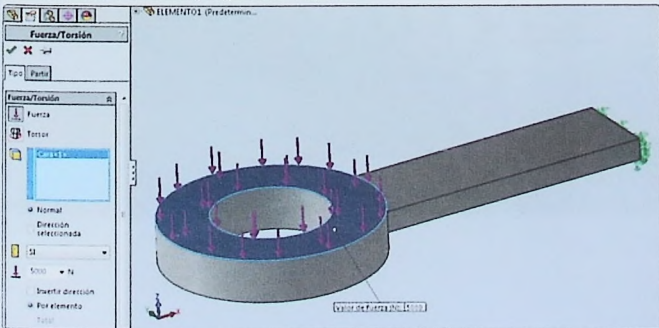


3.1 PRIMER CASO

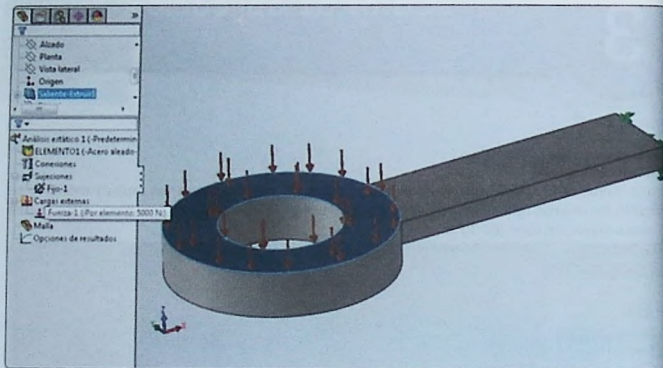
Paso 1. Como primer caso, se tomará la misma figura del ejemplo básico del capítulo anterior y se realizarán los mismos pasos hasta antes de colocar la carga. Sin embargo, en este caso, la fuerza será 10 veces mayor, es decir, 5000 N.



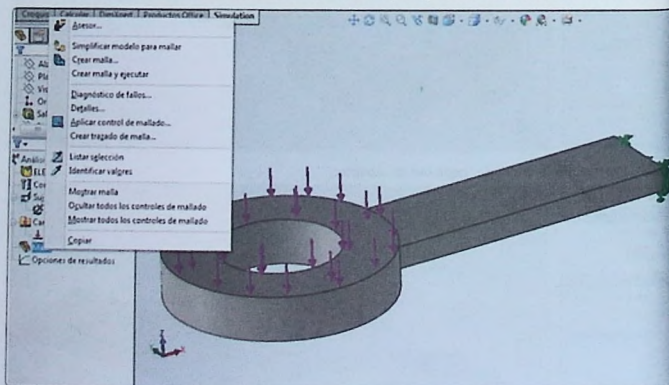
Paso 2. Seleccione la entidad y haga clic en **Aceptar**.



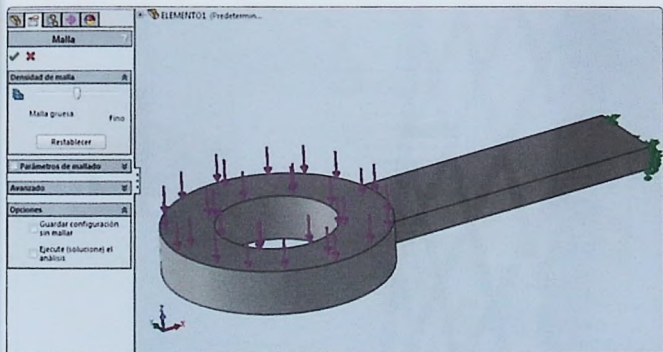
Paso 3. Verifique en el Administrador de simulación.



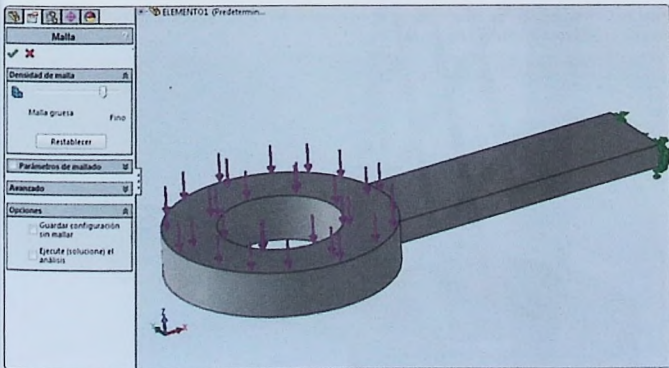
Paso 4. Haga clic con el botón derecho del ratón en **Malla** y luego seleccione la opción **Crear malla**.



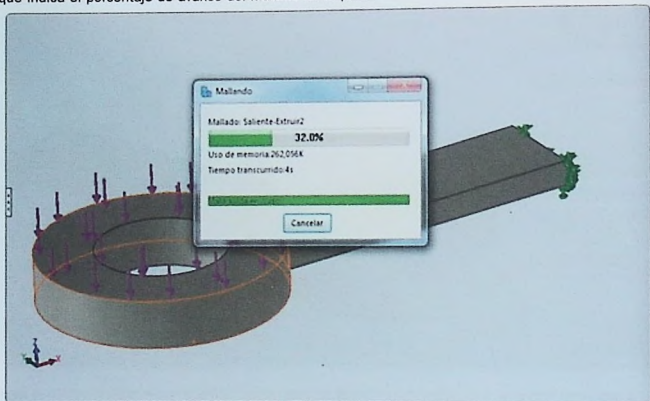
Paso 5. En la ventana **Control de mallado**, utilice el cursor para afinar o engrosar la malla. Posteriormente, trabaje con **Parámetros de mallado**.



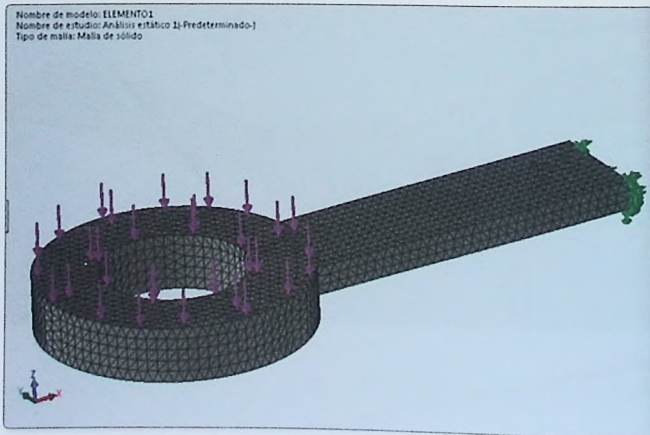
Paso 6. Mueva el cursor hacia la izquierda para afinar la malla en forma libre para este primer ejemplo.



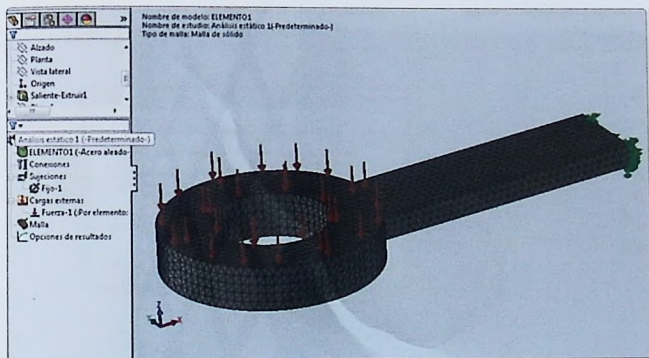
Paso 7. Luego de presionar el botón **Aceptar**, la pieza comienza a mallarse y se observa una ventana que indica el porcentaje de avance del mallado de la pieza.



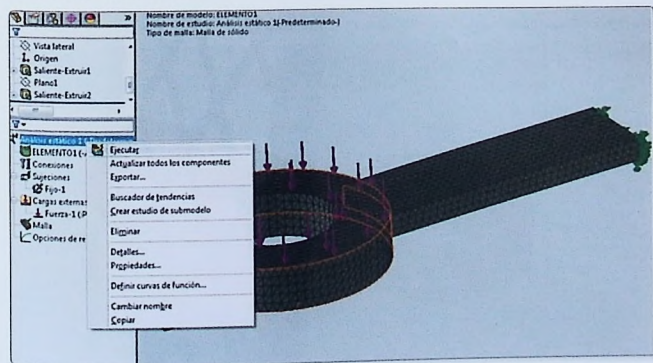
Paso 8. Cuando terminó de crearse la malla, se observa aproximadamente la siguiente geometría de mallado (el cursor fue movido libremente).



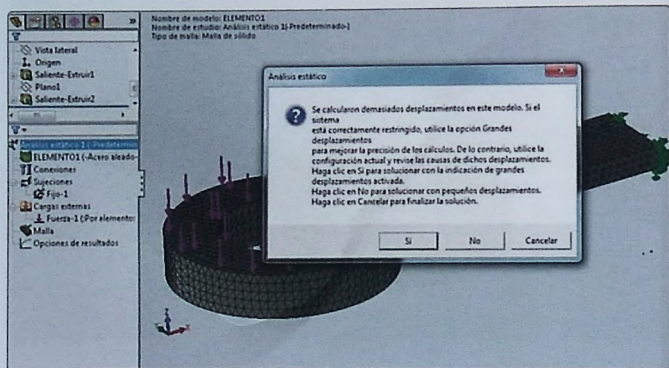
Paso 9. Para ejecutar el análisis estático lineal, sitúese en la primera herramienta de la ventana y haga clic con el botón derecho del ratón.



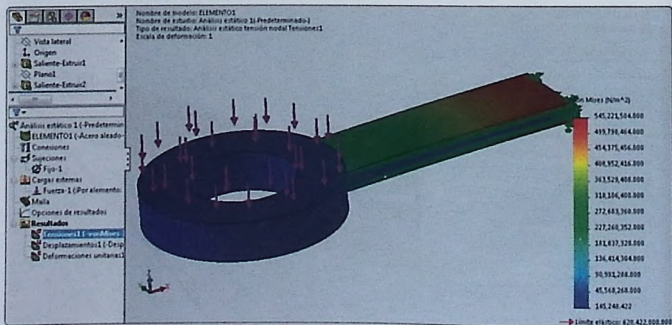
Paso 10. Haga clic en Ejecutar.



Paso 11. Si aparece el siguiente cuadro de diálogo, haga clic en la opción **No** para que aparezcan los resultados. El cuadro aparece debido a la fuerza colocada (diez veces mayor), ya que las restricciones no siempre resistirán la carga.

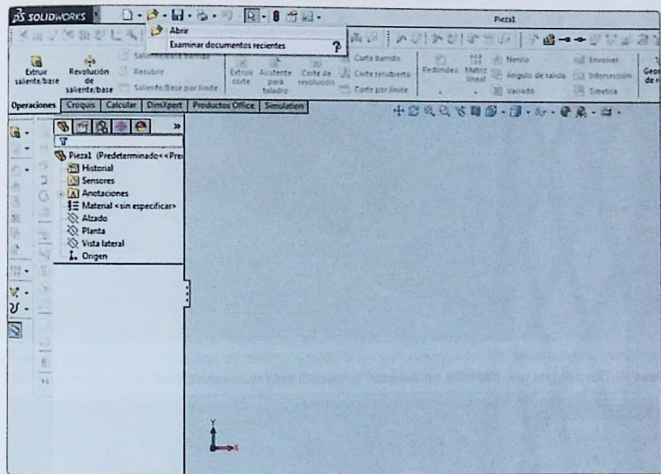


Paso 12. En Resultados, haga clic en Tensiones 1 (-vonMises-).

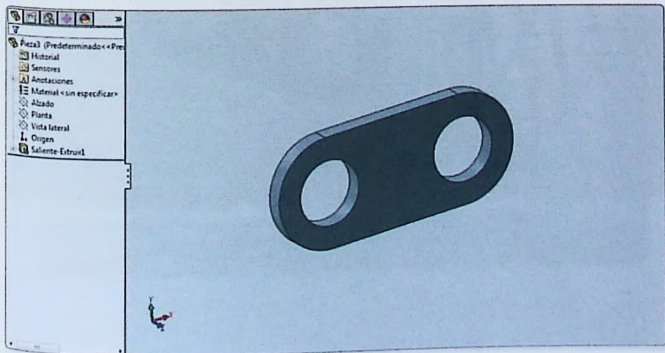


3.2 SEGUNDO CASO

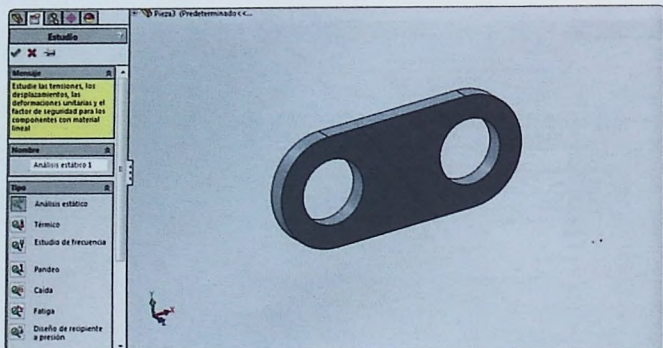
Paso 1. Ejecute el menú **Abrir** y seleccione la pieza a trabajar.



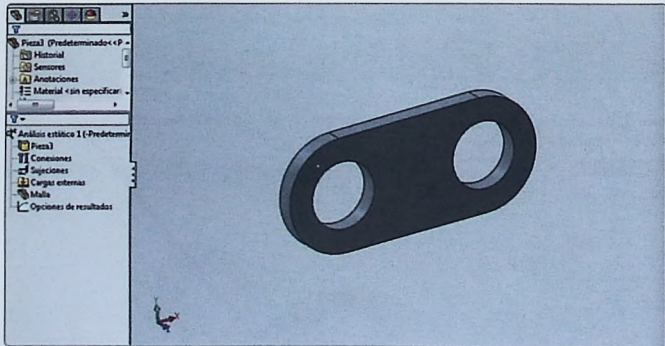
Paso 2. Una vez seleccionada la pieza a trabajar, haga clic en la pestaña **Simulation**, donde aparecerá otra pestaña llamada **Asesor de estudios**.



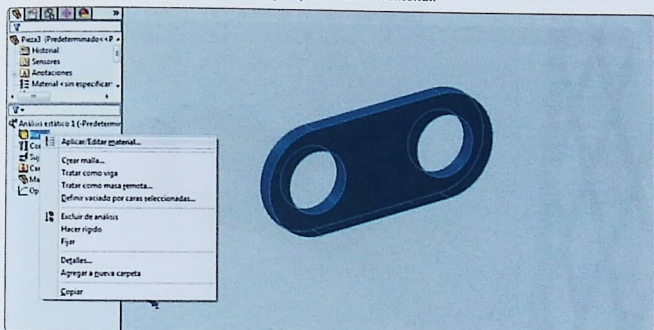
Paso 3. Haga clic en la pestaña **Asesor de estudios** y elija **Nuevo estudio**, de la cual se desplegará automáticamente la ventana que aparece en la figura. Haga clic en **Análisis estático** y en **Aceptar**.



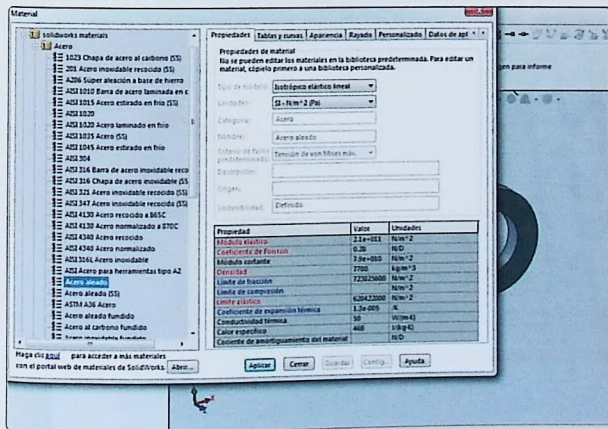
Paso 4. Después de que haga clic en **Aceptar**, aparecerá esta nueva ventana.



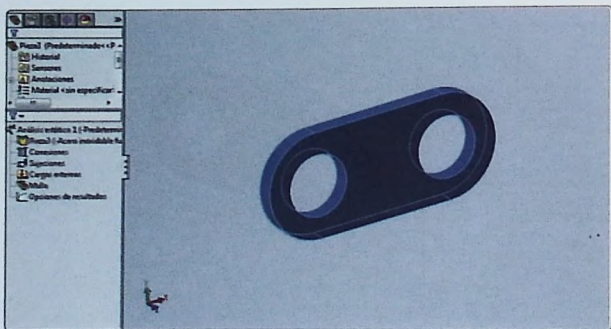
Paso 5. Seleccione el ícono que tiene el mismo nombre de la pieza elegida, haga clic con el botón derecho del ratón en **Asignar material** y elija **Aplicar/Editar material**.



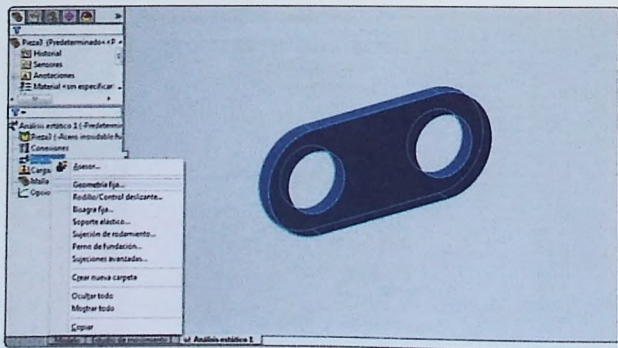
Paso 6. Aparece una biblioteca de distintos materiales con sus respectivas propiedades mecánicas, térmicas, entre otras. Seleccione el material, y haga clic en **Aplicar** y **Cerrar**.



Paso 7. Después de que haga clic en **Aplicar** y **Cerrar**, el dibujo se convertirá en un ente real con todas las propiedades asignadas.

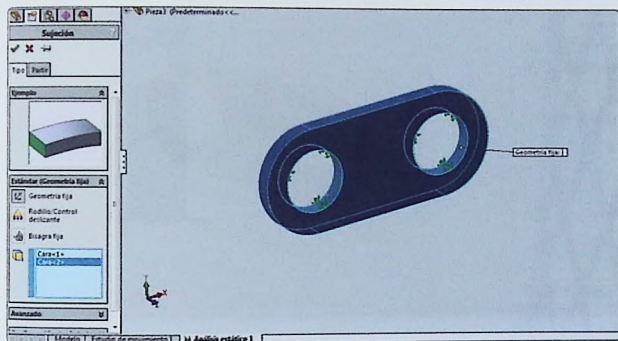


Paso 8. Seleccione la opción **Sujeciones**, la cual permite sujetar la pieza, pues no se puede realizar ningún estudio si esta no se encuentra sujeta. Luego, elija **Geometría fija**.

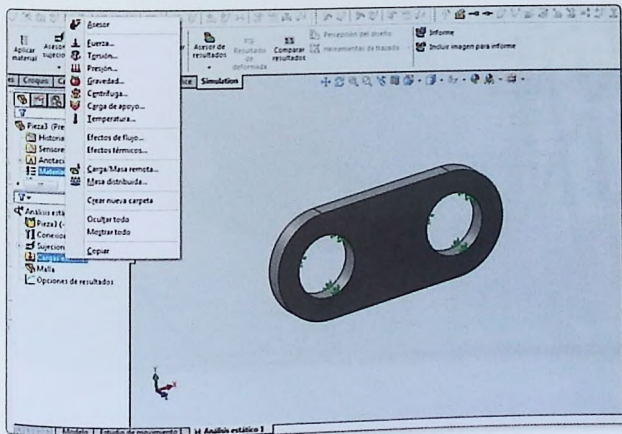


Paso 9. Mueva la pieza, haga clic en la **Cara<1>** y aparecerán dos detalles:

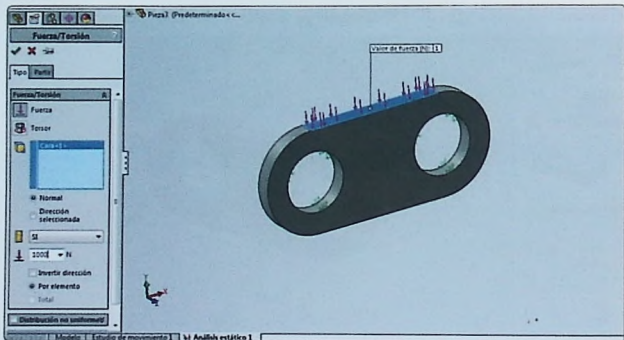
- ▲ La sujeción en la **Cara<1>** (a manera de flechas color verde).
- ▲ El nombre de la cara elegida en la parte inferior de la ventana y la opción **Aceptar**.



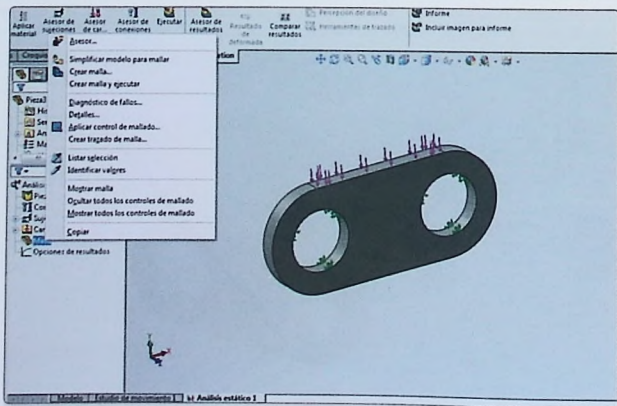
Paso 10. Seleccione la opción **Cargas externas**, haga clic con el botón derecho del ratón y aparecerá una serie de opciones. Haga clic en la opción **Fuerza**.



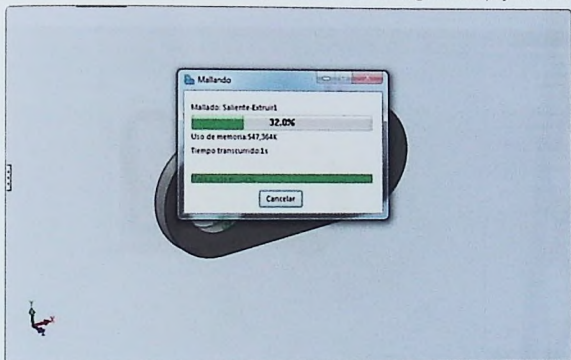
Paso 11. Acerque el cursor a la cara donde se desea aplicar la fuerza, tal como se aprecia en la figura, y en la ventana coloque el módulo de dicha fuerza. En este caso, se consideró 1000 N y se hizo clic en **Aceptar**.



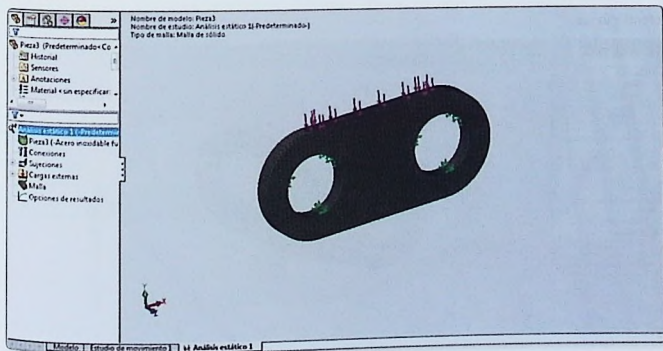
Paso 12. Seleccione la opción **Malla** y haga clic con el botón derecho del ratón en **Crear malla**.



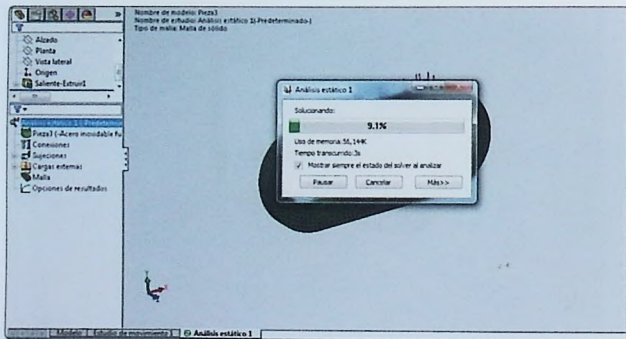
Paso 13. Después de que haga clic en el botón **Aceptar**, comienza a crearse la malla y se observa una ventana que muestra el porcentaje de avance (el tiempo es variable según la complejidad de la pieza).



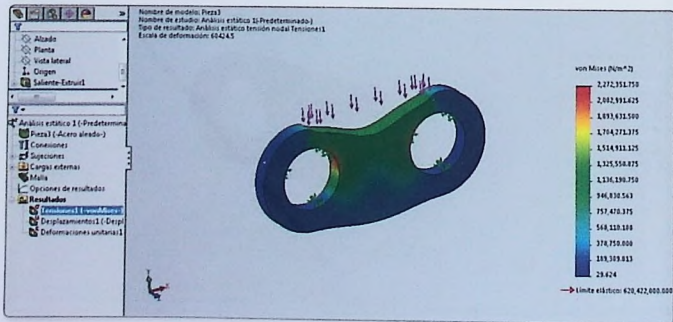
Paso 14. Una vez que se llegó al 100 %, la malla está creada sobre la pieza, tal como se puede observar.



Paso 15. Haga clic con el botón derecho del ratón en la primera opción de la ventana, **Análisis estático 1** (este número puede variar de acuerdo a la cantidad de estudios realizados), y presione el botón **Ejecutar**.



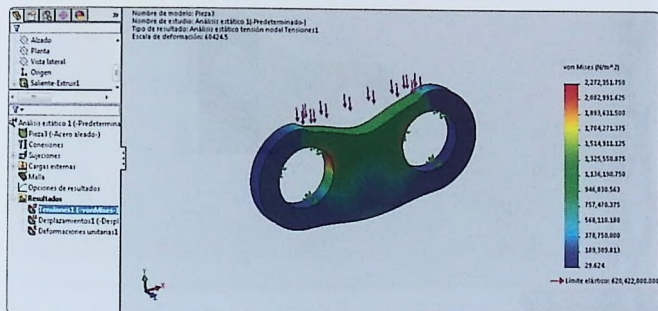
Paso 16. El software resuelve todas las ecuaciones diferenciales que enlazan la geometría de la pieza, la estabilidad y sus propiedades constitutivas (método de los elementos finitos). Se obtienen los siguientes resultados, ubicados en la parte inferior de la ventana: tensiones, desplazamientos y deformaciones.



Análisis de resultados

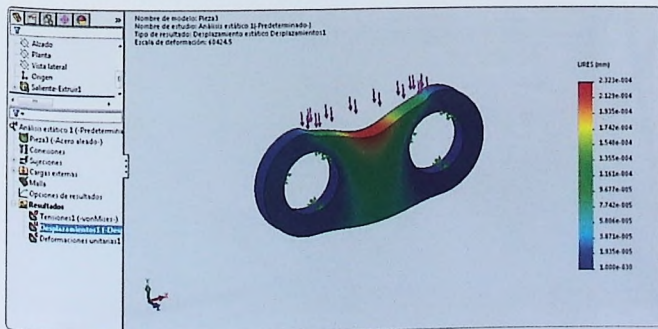
A. Tensiones

Se observa que el límite elástico del material es $620,422,000.000 \text{ N/m}^2$. Asimismo, se aprecia que la zona que sufre los esfuerzos tensionales más altos está muy cerca de la zona de fijación y su valor más alto es $2,272,351,750 \text{ N/m}^2$, que comparado con el límite elástico implica que el material no resistirá.



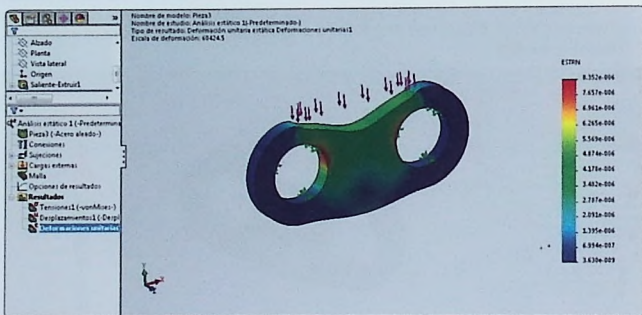
B. Desplazamientos

Los desplazamientos más altos se generan en donde está aplicada la fuerza de 1000 N y el valor más alto es $2.323 \times 10^{-4} \text{ mm}$. Esta cifra es muy alta y origina el colapso de la pieza.



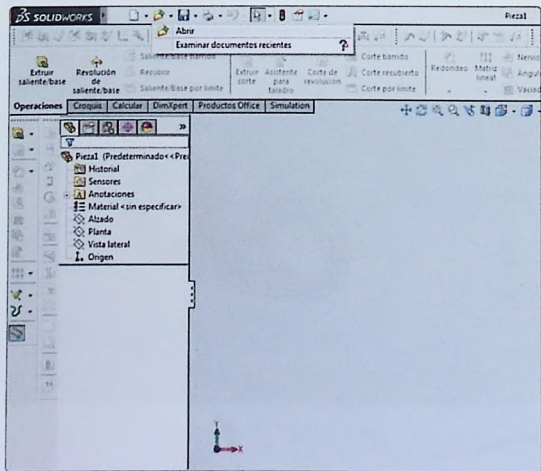
C. Deformaciones

Se entiende como el cambio de posición relativa de los desplazamientos respecto a cada uno de los ejes. En este caso, según la escala, el valor máximo de deformación es alto: 8.352×10^{-6} .

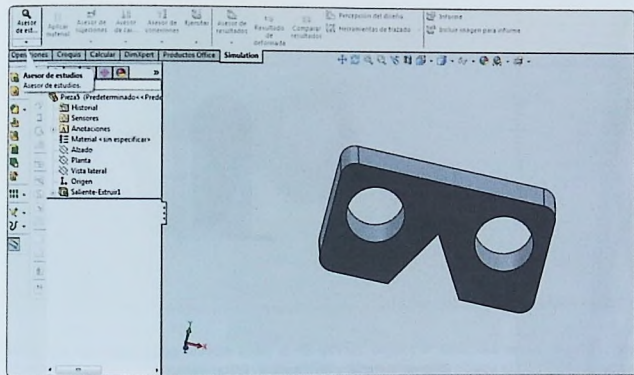


3.3 TERCER CASO

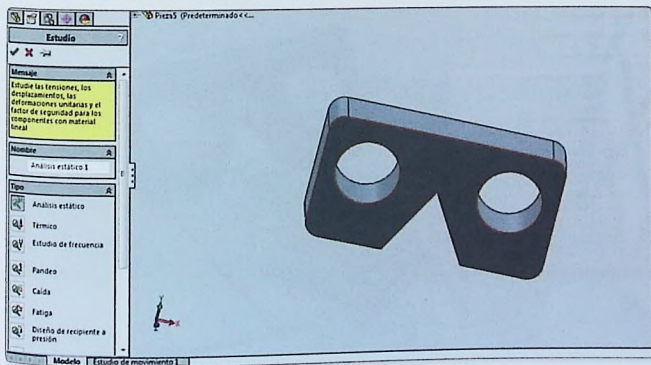
Paso 1. Ejecute el menú Abrir y seleccione la pieza a trabajar.



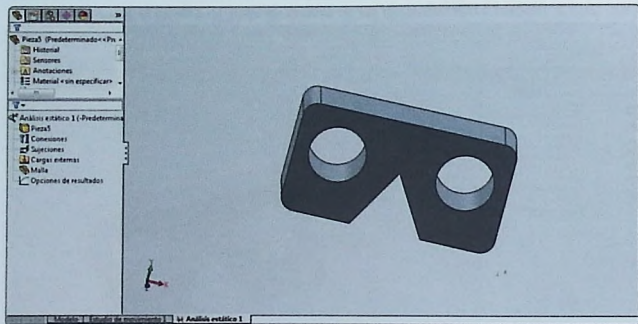
Paso 2. Una vez seleccionada la pieza a trabajar, haga clic en la pestaña **Simulation** y aparecerá otra pestaña llamada **Asesor de estudios**.



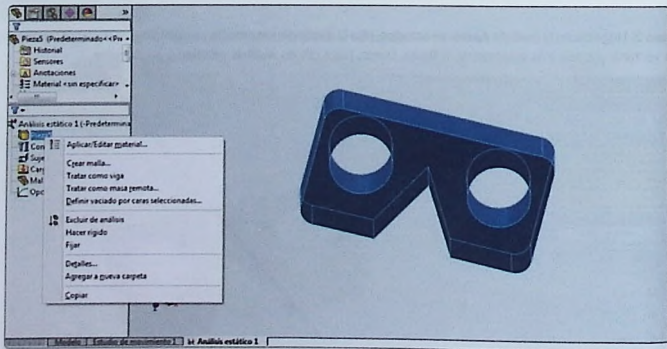
Paso 3. Haga clic en la pestaña **Asesor de estudios**, elija la opción **Nuevo estudio** y se desplegará automáticamente la ventana ubicada a la izquierda de la figura. Luego, haga clic en **Análisis estático** y en **Aceptar**.



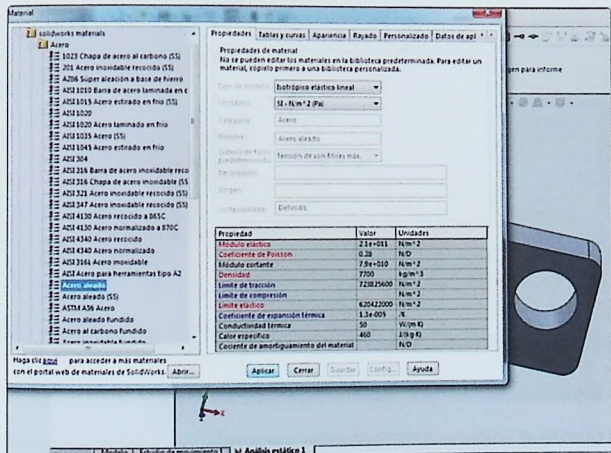
Paso 4. Después de que haga clic en **Aceptar**, aparecerá esta nueva ventana.



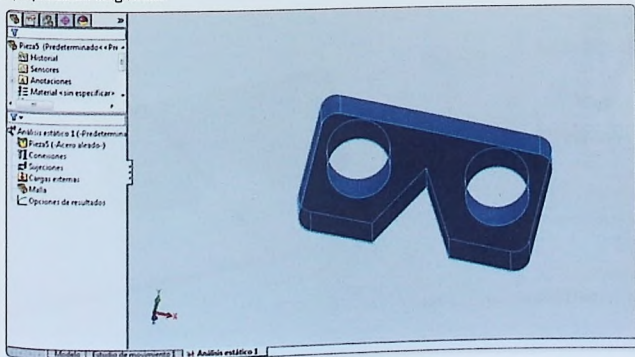
Paso 5. Elija el ícono que tiene el mismo nombre de la pieza seleccionada, haga clic con el botón derecho del ratón en la opción **Asignar material** y elija **Aplicar/Editar material**.



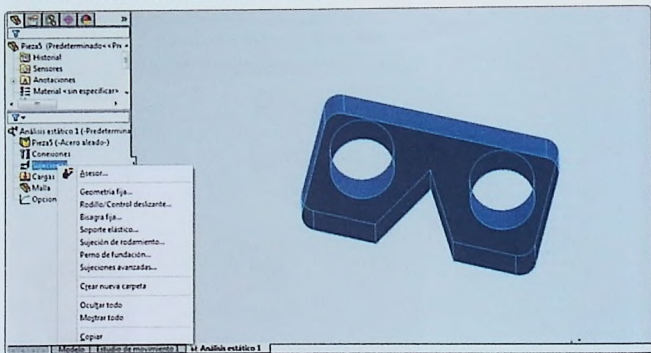
Paso 6. Aparece una biblioteca de distintos materiales con sus respectivas propiedades mecánicas, térmicas, entre otras. Haga clic en **Aplicar** y **Cerrar**.



Paso 7. Después de que haga clic en **Aplicar** y **Cerrar**, el dibujo se convertirá en un ente real con todas las propiedades asignadas.

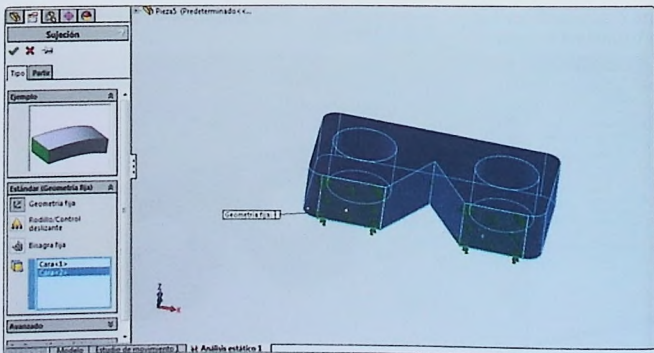


Paso 8. Ahora seleccione la opción **Sujecciones**, pues no se puede realizar ningún estudio si la pieza no se encuentra sujeta. Luego, elija la opción **Geometría fija**.

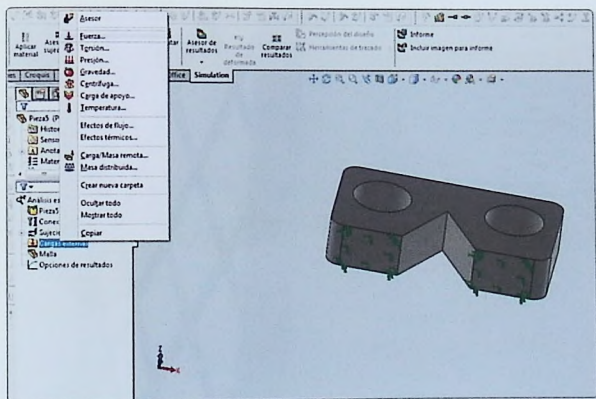


Paso 9. Mueva la pieza, haga clic en la **Cara<1>** y aparecerán dos detalles:

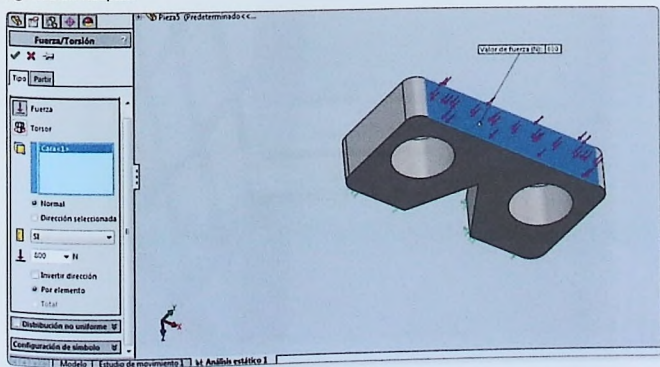
- ▲ La sujeción en la **Cara<1>** (a manera de flechas color verde).
- ▲ El nombre de la cara elegida en la parte inferior de la ventana y elija la opción **Aceptar**.



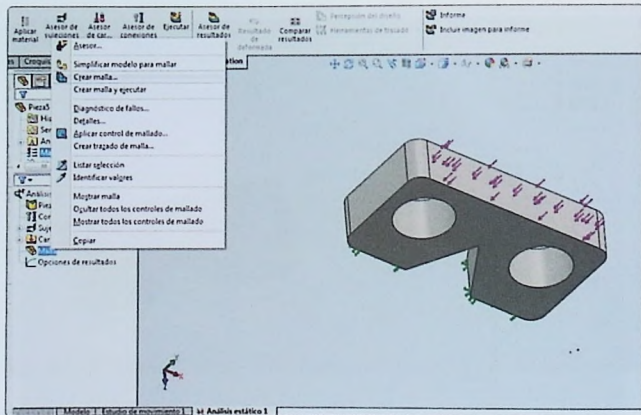
Paso 10. Seleccione la opción **Cargas externas**, haga clic con el botón derecho del ratón y aparecerá una serie de opciones. Haga clic en **Fuerza**.



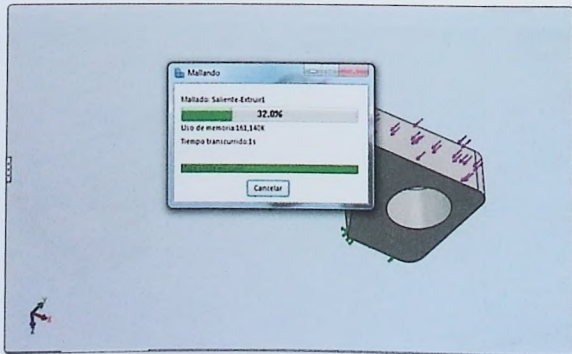
Paso 11. Acerque el cursor a la cara donde se desea aplicar la fuerza, tal como se aprecia en la figura. Luego, coloque el módulo de dicha fuerza en la ventana, en este caso se ha considerado 800 N, y haga clic en **Aceptar**.



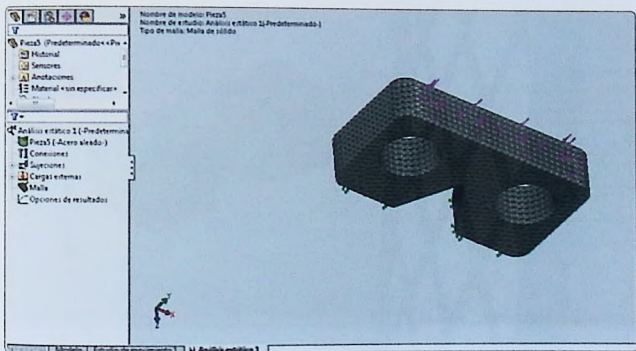
Paso 12. Seleccione la opción **Malla** y haga clic con el botón derecho del ratón en **Crear malla**.



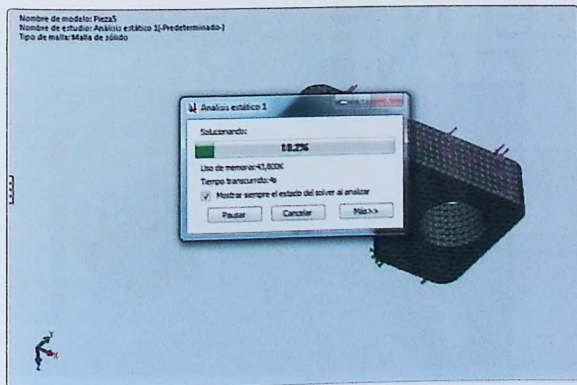
Paso 13. Después de que haga clic en **Aceptar**, comienza a crearse la malla y se observa una ventana que muestra el porcentaje de avance (el tiempo es variable según la complejidad de la pieza).



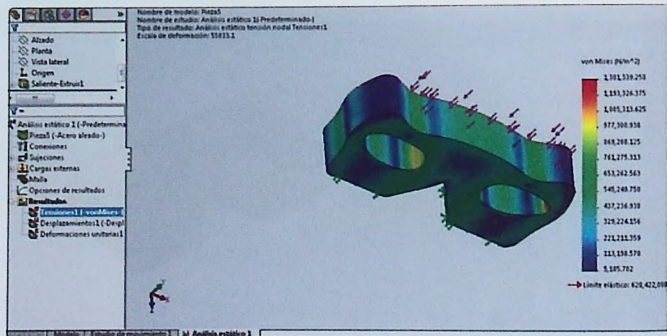
Paso 14. Una vez que se llegó al 100 %, la malla está creada sobre la pieza, tal como se puede observar. Ahora seleccione la primera opción de la ventana, **Análisis estático 1** (este número puede variar de acuerdo a la cantidad de estudios realizados), haga clic con el botón derecho del ratón y presione el botón **Ejecutar**.



Paso 15. El *software* resuelve todas las ecuaciones diferenciales que enlazan la geometría de la pieza, la estabilidad y sus propiedades constitutivas (método de los elementos finitos).



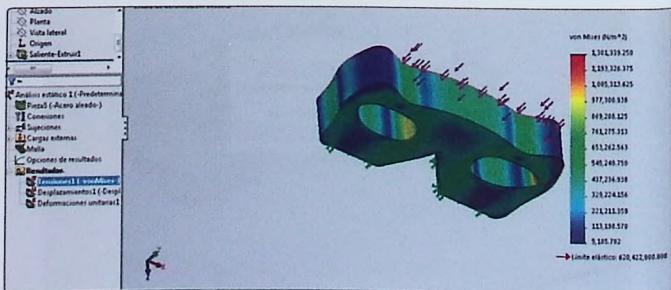
Paso 16. Se obtienen los siguientes resultados, localizados en la parte inferior izquierda de la ventana: tensiones, desplazamientos y deformaciones.



Análisis de resultados

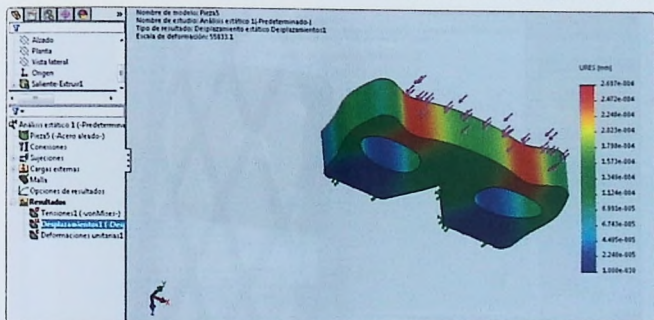
A. Tensiones

Se observa que el límite elástico del material es 620,422,000.000 N/m². Asimismo, se puede apreciar que la zona que sufre los esfuerzos tensionales más altos está muy cerca de la zona de fijación y su valor más alto es 1,301,339,250 N/m², que comparado con el límite elástico implica que el material no resistirá.



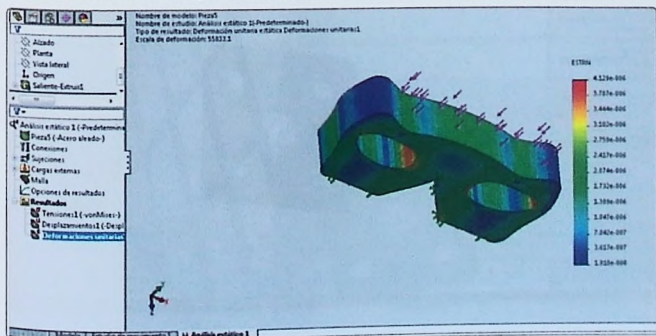
B. Desplazamientos

Los desplazamientos más altos se generan en donde está aplicada la fuerza de 1000 N y el valor más alto es 2.697×10^{-4} mm. Esta cifra es considerada muy alta y ocasiona el colapso de la pieza.



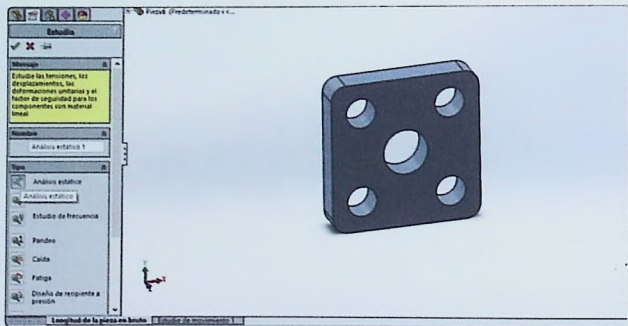
C. Deformaciones

Se entiende como el cambio de posición relativa de los desplazamientos respecto a cada uno de los ejes. En este caso, según la escala, el valor máximo de deformación es alto: 4.129×10^{-6} .

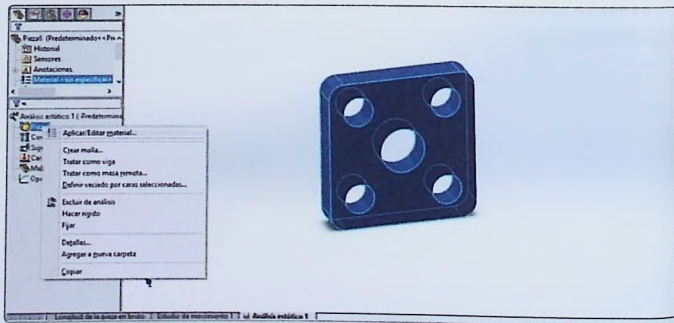


3.4 CUARTO CASO

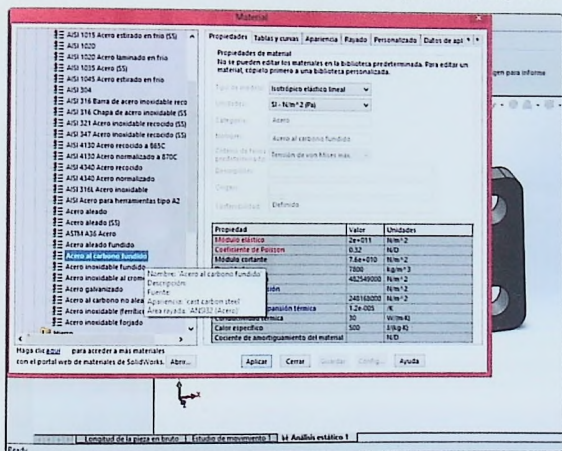
Paso 1. Elija la pieza a trabajar y seleccione la opción **Simulation**. Luego, haga clic en **Estudio** y elija el tipo de estudio a realizar, en este caso se eligió la opción **Análisis estático**.



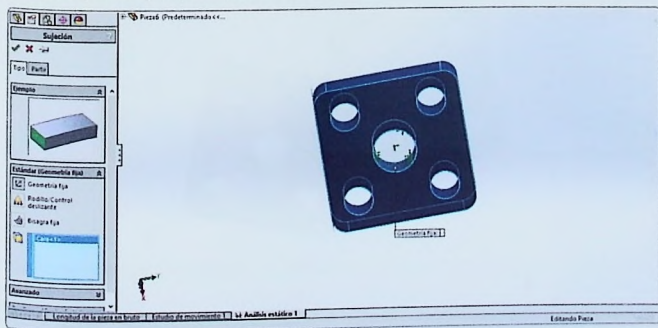
Paso 2. Elija el ícono que tiene el mismo nombre de la pieza seleccionada, haga clic con el botón derecho del ratón en **Asignar material** y elija **Aplicar/Editar material**.



Paso 3. Una vez seleccionado el material asignado para la pieza elegida, haga clic en **Aplicar y Cerrar**; de esta manera, el dibujo se convertirá en un ente real con todas las propiedades asignadas.

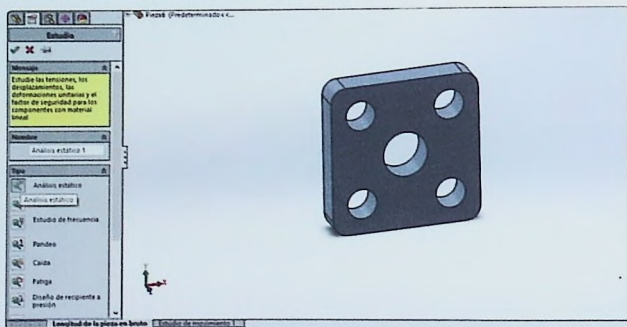


Paso 4. Ahora seleccione la opción **Sujeción**, pues no se puede realizar ningún estudio si la pieza no se encuentra sujeta. Luego, elija la opción **Geometría fija**.

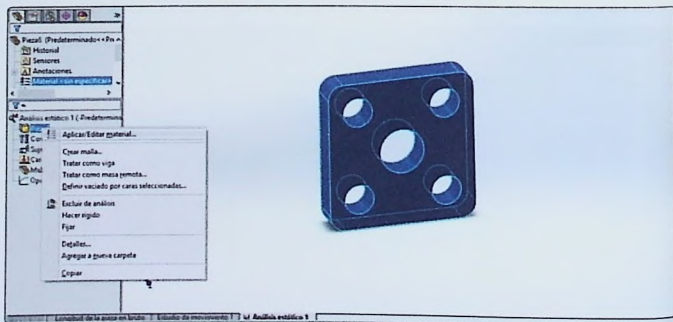


3.4 CUARTO CASO

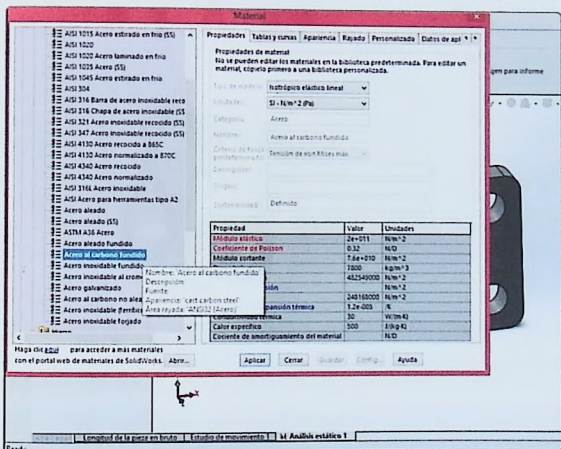
Paso 1. Elija la pieza a trabajar y seleccione la opción **Simulation**. Luego, haga clic en **Estudio** y elija el tipo de estudio a realizar, en este caso se eligió la opción **Análisis estático**.



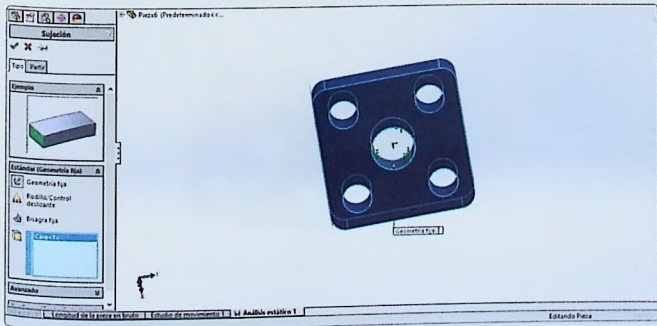
Paso 2. Elija el ícono que tiene el mismo nombre de la pieza seleccionada, haga clic con el botón derecho del ratón en **Asignar material** y elija **Aplicar/Editar material**.



Paso 3. Una vez seleccionado el material asignado para la pieza elegida, haga clic en **Aplicar y Cerrar**; de esta manera, el dibujo se convertirá en un ente real con todas las propiedades asignadas.

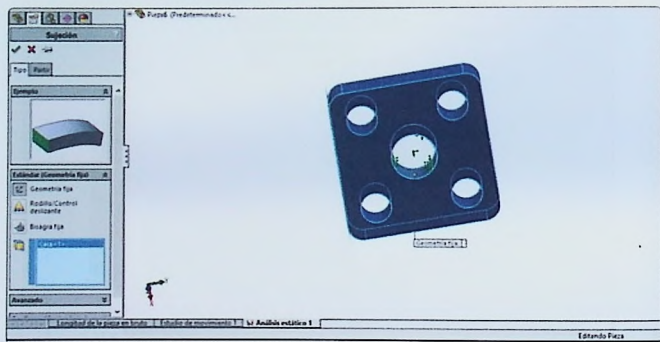


Paso 4. Ahora seleccione la opción **Sujeción**, pues no se puede realizar ningún estudio si la pieza no se encuentra sujeta. Luego, elija la opción **Geometría fija**.

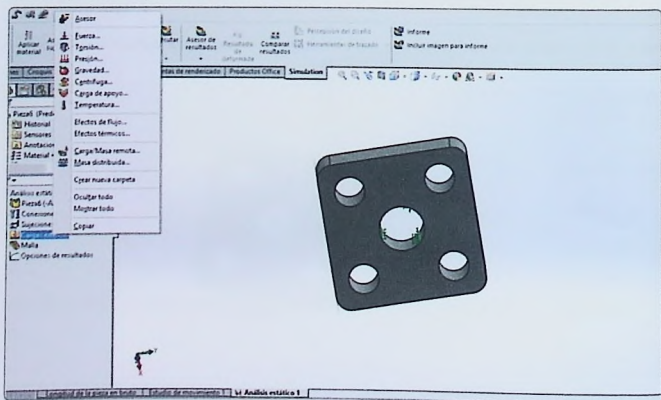


Paso 5. Mueva la pieza, haga clic en la **Cara<1>** y aparecerán dos detalles:

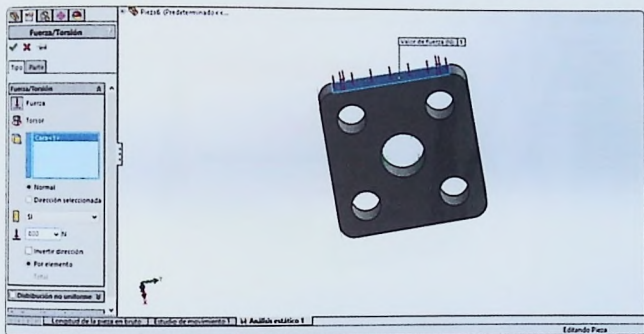
- ▲ La sujeción en la **Cara<1>** (a manera de flechas color verde).
- ▲ El nombre de la cara elegida en la parte inferior de la ventana y haga clic en **Aceptar**.



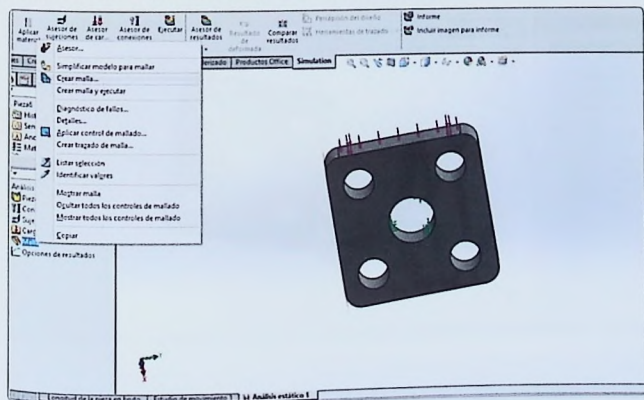
Paso 6. Seleccione la opción **Cargas externas**, haga clic con el botón derecho del ratón y aparecerá una serie de opciones. Haga clic en **Fuerza**.



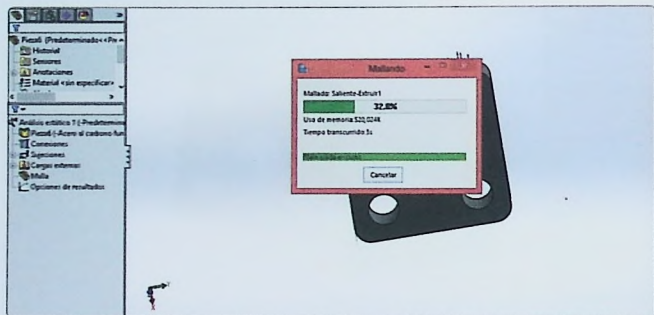
Paso 7. Acerque el cursor a la cara donde se desea aplicar la fuerza, tal como se aprecia en la figura. Luego, coloque el módulo de dicha fuerza, en este caso se consideró 800 N, y haga clic en **Aceptar**.



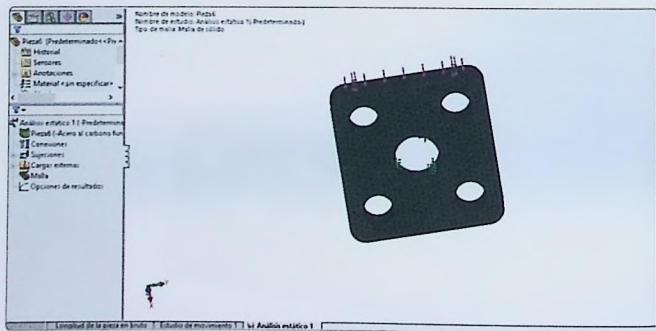
Paso 8. Seleccione la opción **Malla** y haga clic derecho en **Crear malla**.



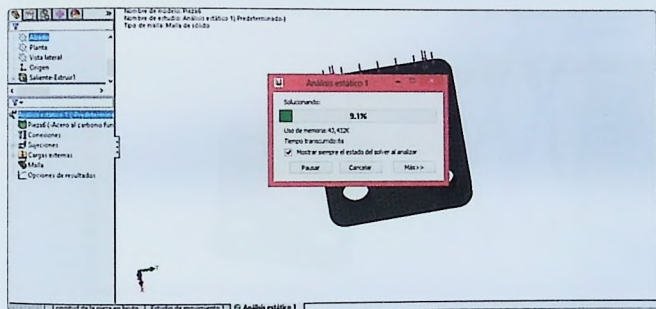
Paso 9. Después de que haga clic en **Aceptar**, comienza a crearse la malla y se observa una ventana que muestra el porcentaje de avance (el tiempo es variable según la complejidad de la pieza).



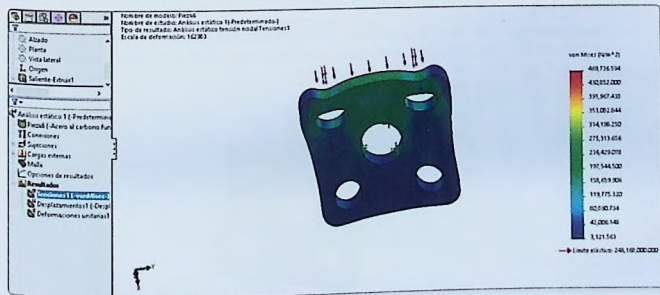
Paso 10. Una vez que se llegó al 100 %, la malla está creada sobre la pieza, tal como se puede observar.



Paso 11. Seleccione la primera opción de la ventana, **Análisis estático 1** (este número puede variar de acuerdo a la cantidad de estudios realizados), haga clic con el botón derecho del ratón y elija la opción **Ejecutar**. El software resuelve todas las ecuaciones diferenciales que enlazan la geometría de la pieza, la estabilidad y sus propiedades constitutivas (método de los elementos finitos).



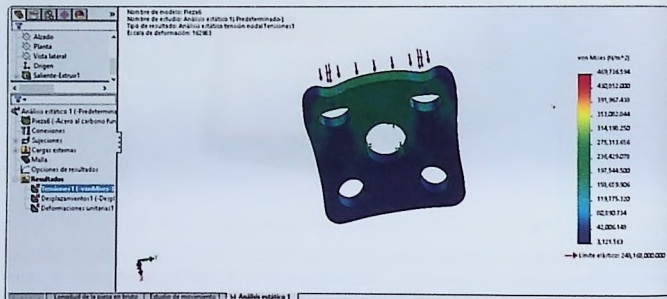
Paso 12. Se obtienen los siguientes resultados, que se encuentran en la parte inferior izquierda de la ventana: tensiones, desplazamientos y deformaciones.



Análisis de resultados

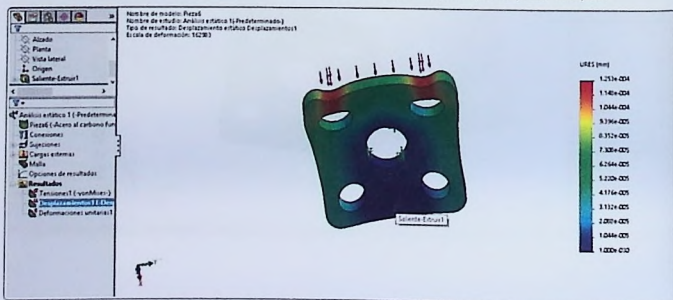
A. Tensiones

Se observa que el límite elástico del material es 248,168,000.000 N/m². Asimismo, se aprecia que la zona que sufre los esfuerzos tensionales más altos está muy cerca de la zona de fijación, cuyo valor más alto es 469,736.594 N/m², que comparado con el límite elástico implica que resistirá.



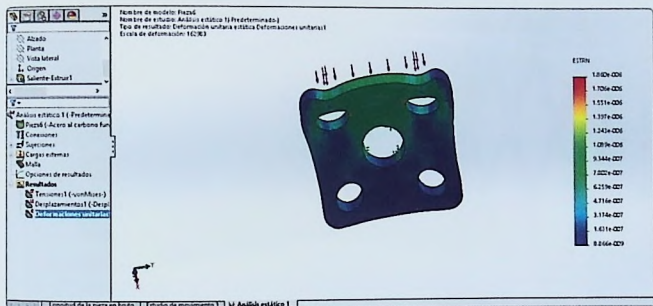
B. Desplazamientos

Los desplazamientos más altos se generan en donde se aplica la fuerza de 800 N y el valor más alto es 1.253×10^{-4} mm. Esta cifra es considerada baja e impide que la pieza colapse.



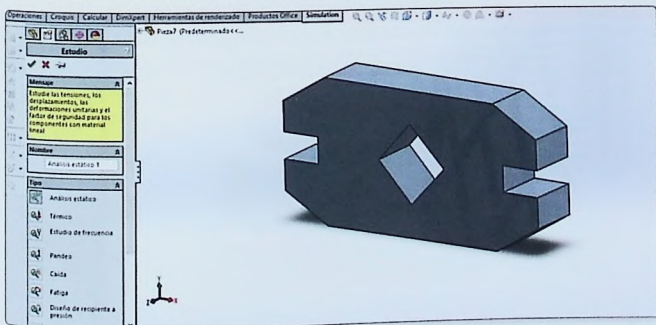
C. Deformaciones

Se entiende como el cambio de posición relativa de los desplazamientos respecto a cada uno de los ejes. En este caso, según la escala, el valor máximo de deformación es bastante bajo: 1.860×10^{-6} .

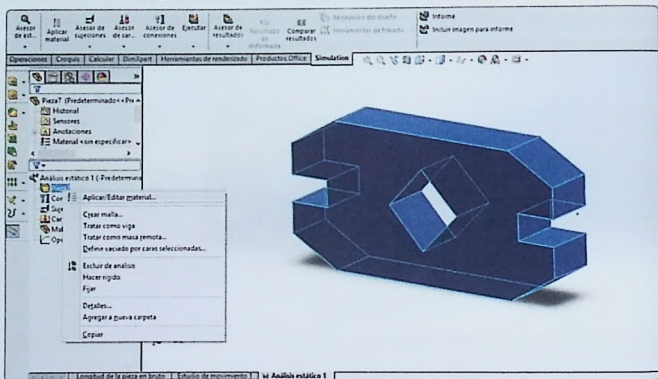


3.5 QUINTO CASO

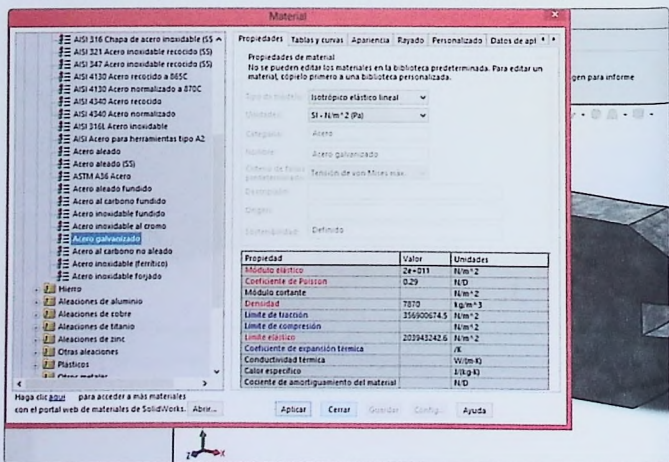
Paso 1. Elija la pieza a trabajar y seleccione la opción **Simulation**. Luego, seleccione la opción **Nuevo estudio** y elija el tipo de estudio a realizar, en este caso se eligió la opción **Análisis estático**.



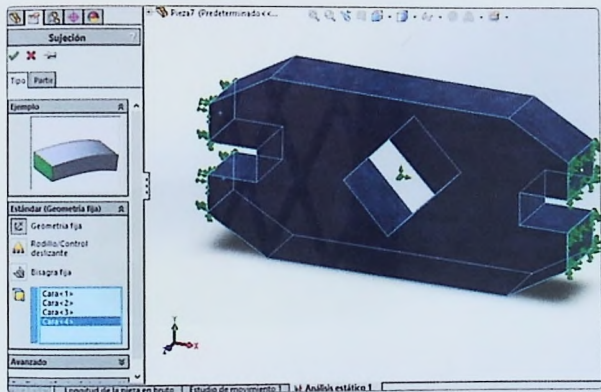
Paso 2. Seleccione el ícono que tiene el mismo nombre de la pieza elegida, haga clic con el botón derecho del ratón en **Asignar material** y elija la opción **Aplicar/Editar material**.



Paso 3. Una vez seleccionado el material asignado para la pieza elegida, haga clic en **Aplicar** y **Cerrar**, de esta manera, el dibujo se convierte en un ente real con todas las propiedades asignadas.

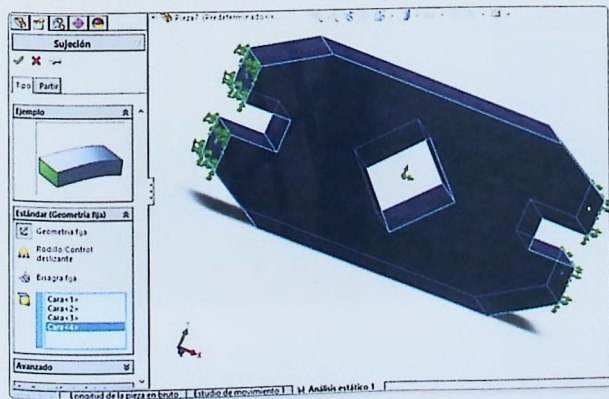


Paso 4. Ahora seleccione la opción **Sujeción**, pues no se puede realizar ningún estudio si la pieza no se encuentra sujeta. Luego, elija **Geometría fija**.

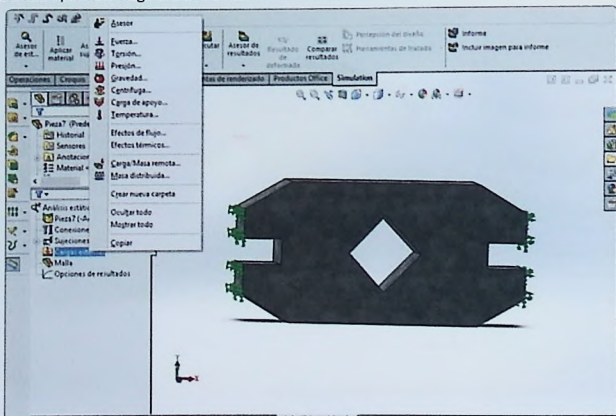


Paso 5. Mueva la pieza, haga clic en la **Cara<1>** y aparecerán dos detalles.

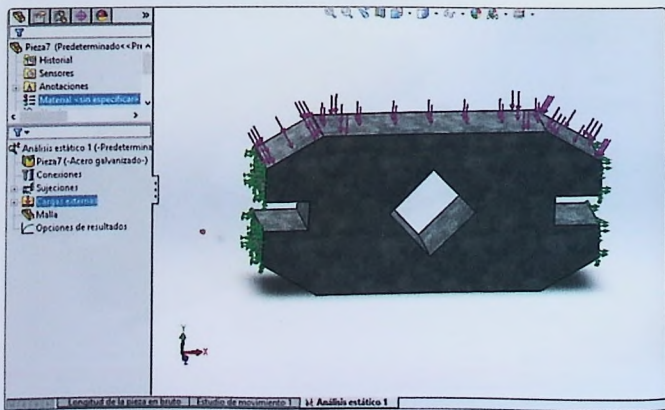
- ▲ La sujeción en la **Cara<1>** (a manera de flechas color verde).
- ▲ El nombre de la cara elegida en la parte inferior de la ventana y la opción **Aceptar**.



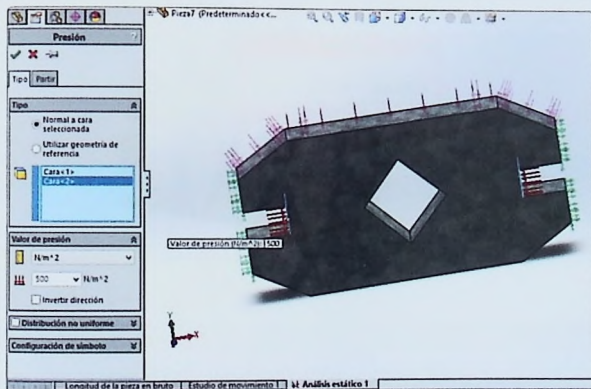
Paso 6. Seleccione la opción **Cargas externas**, haga clic con el botón derecho del ratón y aparecerán las siguientes opciones. Haga clic en **Fuerza**.



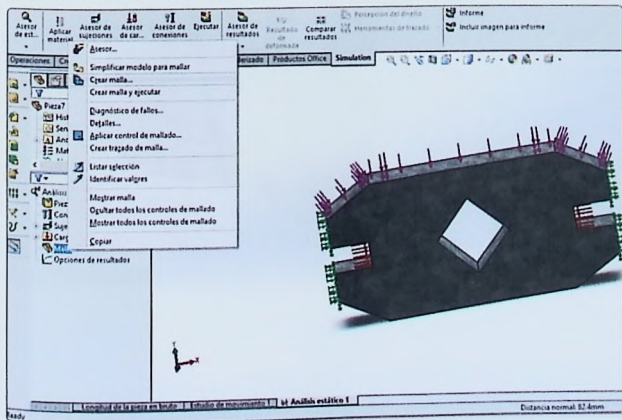
Paso 7. Arrastre el cursor a la cara donde desea aplicar la fuerza, tal como se aprecia en la figura, y en la ventana aparecerá el módulo de dicha fuerza. En este caso, se consideró 700 N y se hizo clic en **Aceptar**.



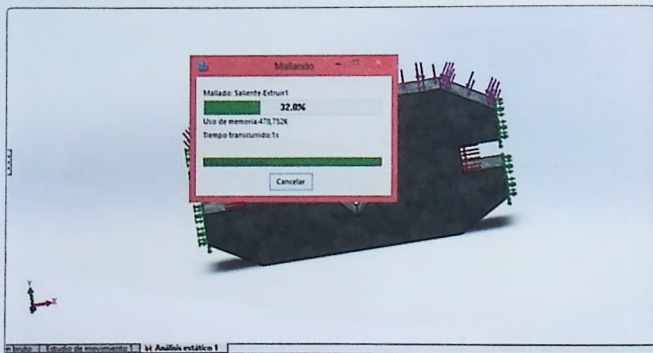
Paso 8. Seleccione la opción **Presión**, acerque el cursor a la cara donde desea aplicarla, tal como se aprecia en la figura, y en la ventana aparecerá el módulo de dicha presión. En este caso, se consideró 500 N/m^2 y se hizo clic en **Aceptar**.



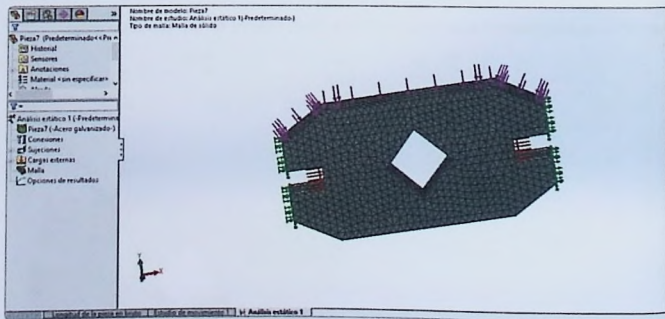
Paso 9. Seleccione la opción **Malla** y haga clic con el botón derecho del ratón en **Crear malla**.



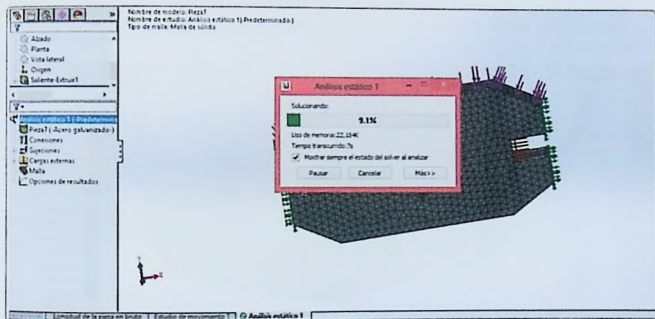
Paso 10. Después de que haga clic en **Aceptar**, comienza a crearse la malla y se observa una ventana que muestra el porcentaje de avance (el tiempo es variable según la complejidad de la pieza).



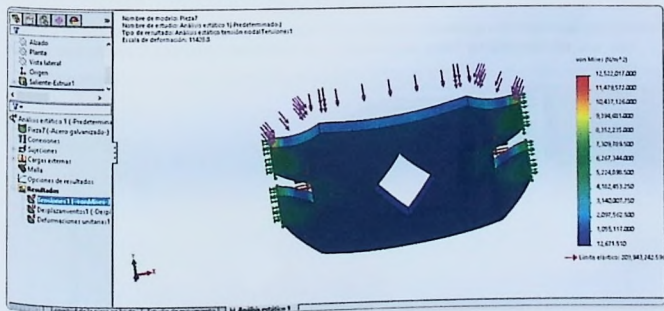
Paso 11. Una vez que se llegó al 100 %, la malla está creada sobre la pieza, tal como se puede observar.



Paso 12. Seleccione la primera opción de la ventana, **Análisis estático 1** (este número puede variar de acuerdo a la cantidad de estudios realizados), haga clic con el botón derecho del ratón y elija la opción **Ejecutar**. El software resuelve todas las ecuaciones diferenciales que enlazan la geometría de la pieza, la estabilidad y sus propiedades constitutivas (método de los elementos finitos).



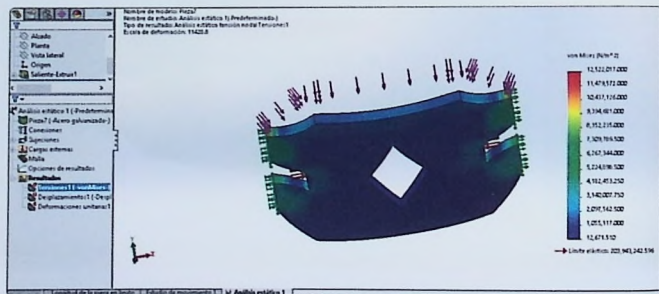
Paso 13. Se obtienen los siguientes resultados, que se encuentran en la parte inferior izquierda de la ventana: tensiones, desplazamientos y deformaciones.



Análisis de resultados

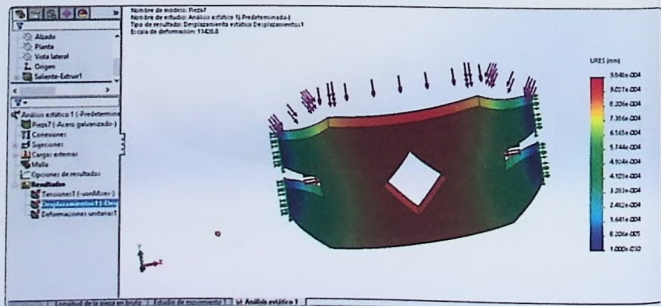
A. Tensiones

Se observa que el límite elástico del material es 203,943,242.596 N/m². Asimismo, se aprecia que la zona que sufre los esfuerzos tensionales más altos está muy cerca de la zona de fijación, cuyo valor más alto es 12, 522,017.000 N/m², que comparado con el límite elástico implica que resistirá.



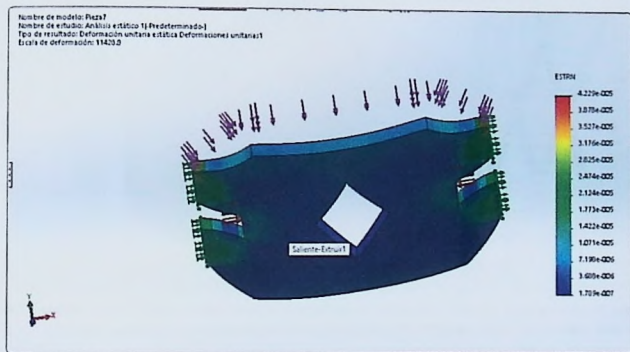
B. Desplazamientos

Los desplazamientos más altos se generan en donde está aplicada la fuerza de 700 N y el valor más alto es 1.848×10^{-4} mm. Esta cantidad es considerada muy baja e impide que la pieza colapse.



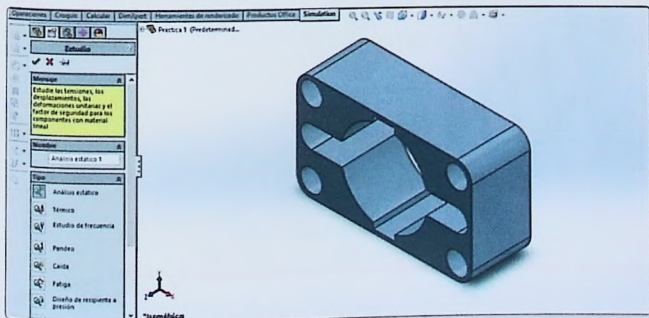
C. Deformaciones

Se entiende como el cambio de posición relativa de los desplazamientos respecto a cada uno de los ejes. En este caso, según la escala, el valor máximo de deformación es bastante pequeño: 4.229×10^{-5} .

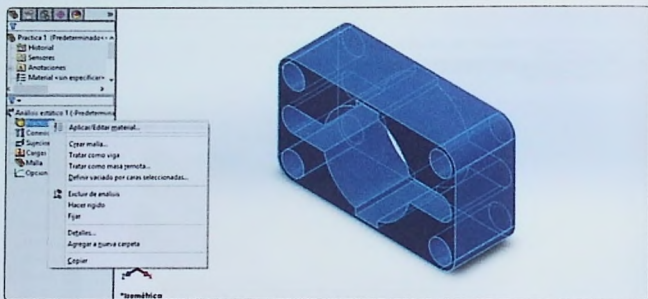


3.6 SEXTO CASO

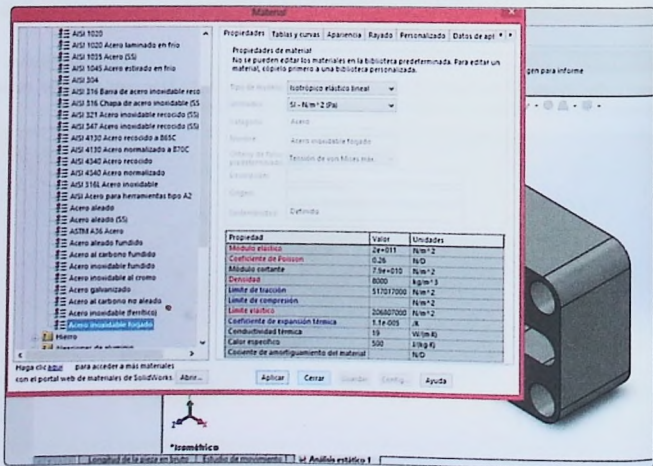
Paso 1. Elija la pieza a trabajar y seleccione la opción **Simulation**; luego, seleccione la opción **Nuevo estudio** y elija el tipo de estudio a realizar. En este caso, elija la opción **Análisis estático**.



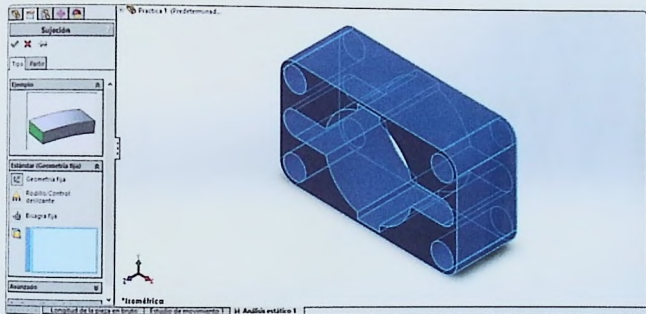
Paso 2. Seleccione el icono que tiene el mismo nombre de la pieza elegida, haga clic con el botón derecho del ratón en **Asignar material** y elija la opción **Aplicar/Editar material**.



Paso 3. Una vez seleccionado el material asignado para la pieza elegida, haga clic en **Aplicar** y **Cerrar**; de esta manera, el dibujo se convertirá en un ente real con todas las propiedades asignadas.

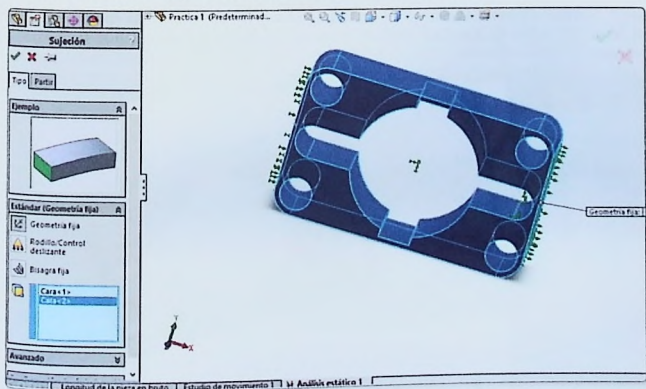


Paso 4. Ahora seleccione la opción **Sujeciones**, pues no se puede realizar ningún estudio si la pieza no se encuentra sujeta. Luego, elija la opción **Geometría fija**.

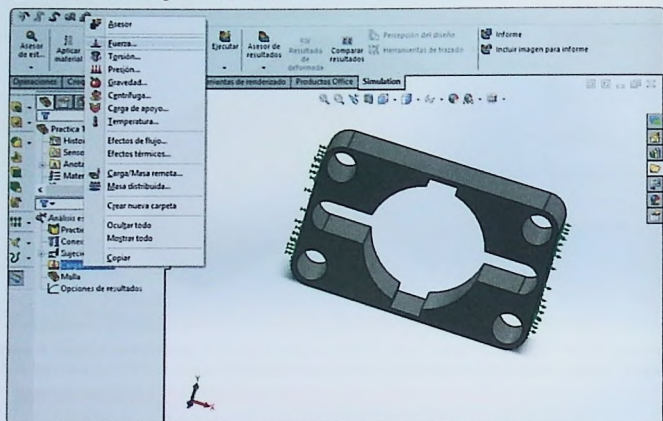


Paso 5. Mueva la pieza, haga clic en la **Cara<1>** y aparecerán dos detalles:

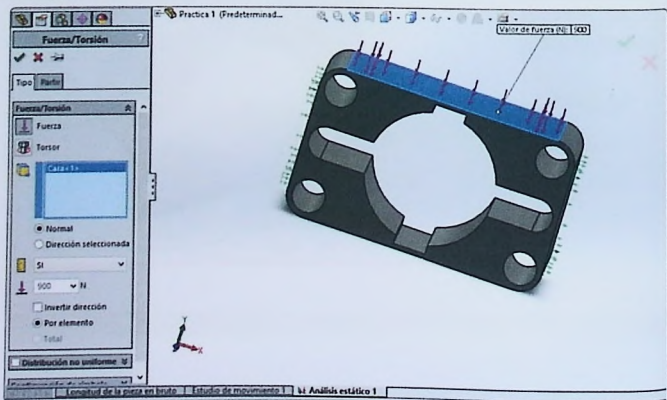
- ▲ La sujeción en la **Cara<1>** (a manera de flechas color verde).
- ▲ El nombre de la cara elegida en la parte inferior de la ventana y la opción **Aceptar**.



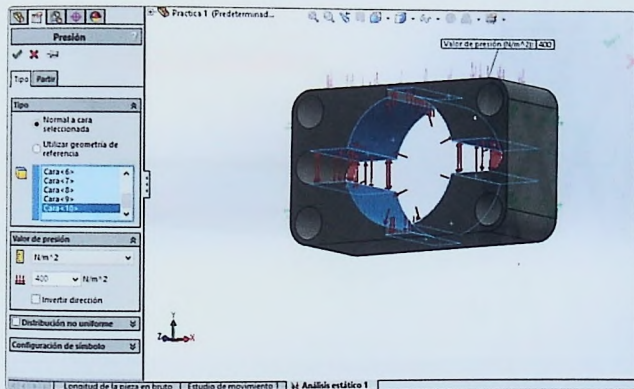
Paso 6. Seleccione la opción **Cargas externas**, haga clic con el botón derecho del ratón y aparecerán las siguientes opciones. Haga clic en **Fuerza**.



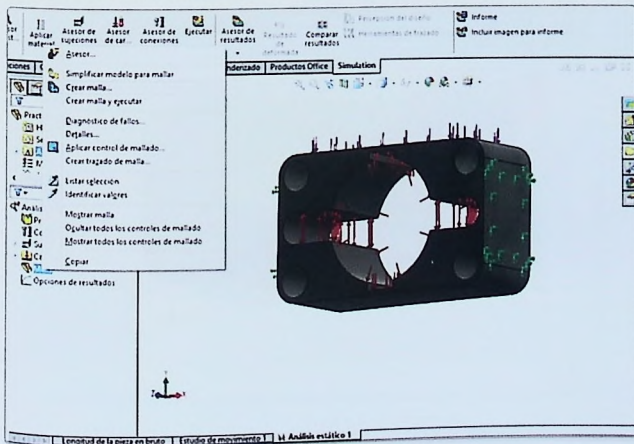
Paso 7. Acerque el cursor a la cara donde se desea aplicar la fuerza, tal como se aprecia en la figura, y en la ventana aparecerá el módulo de dicha fuerza. En este caso, se consideró 900 N y se hizo clic en **Aceptar**.



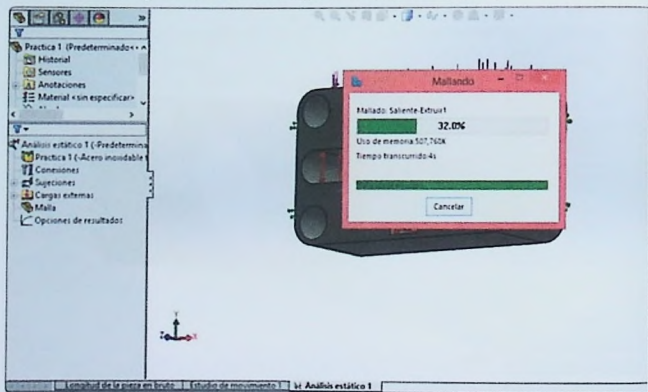
Paso 8. Seleccione la opción **Presión**, acerque el cursor a la cara donde se desea aplicar la presión, tal como se aprecia en la figura, y en la ventana aparecerá el módulo de dicha presión. En este caso, se consideró 400 N/m^2 y se hizo clic en **Aceptar**.



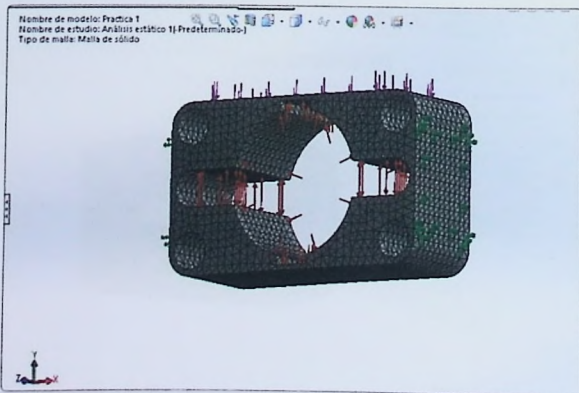
Paso 9. Seleccione la opción **Malla** y haga clic con el botón derecho con el ratón en **Crear malla**.



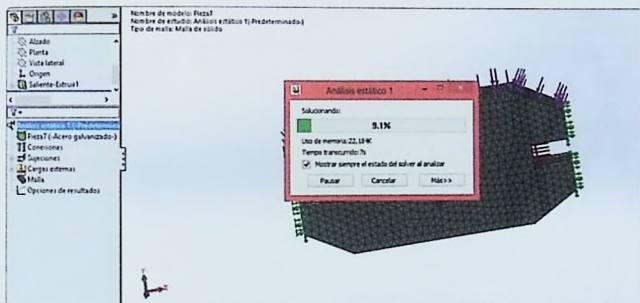
Paso 10. Después de aceptar, comienza a crearse la malla y se observa una ventana que muestra el porcentaje de avance (el tiempo es variable según la complejidad de la pieza).



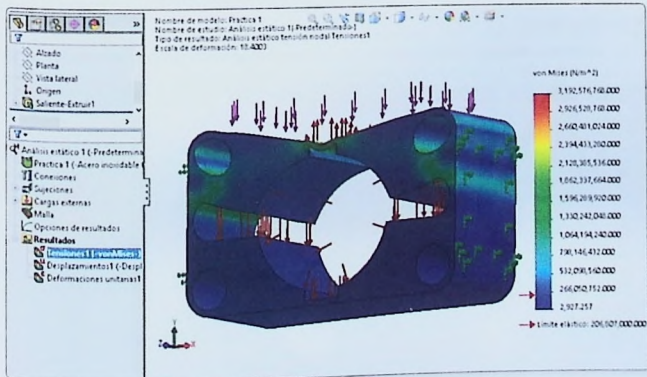
Paso 11. Una vez que llega al 100 %, la malla está creada sobre la pieza, tal como se puede observar.



Paso 12. Seleccione la primera opción de la ventana, **Análisis estático 1** (este número puede variar de acuerdo a la cantidad de estudios realizados), haga clic con el botón derecho del ratón y elija la opción **Ejecutar**. El *software* resuelve todas las ecuaciones diferenciales que enlazan la geometría de la pieza, la estabilidad y sus propiedades constitutivas (método de los elementos finitos).



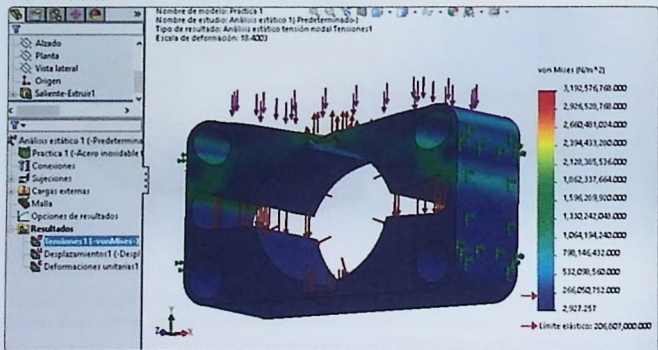
Paso 13. Se obtienen los siguientes resultados, que se encuentran en la parte inferior de la ventana: tensiones, desplazamientos y deformaciones.



Análisis de resultados

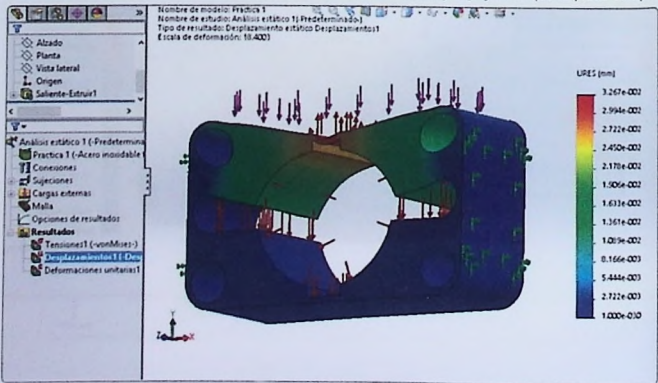
A. Tensiones

Se observa que el límite elástico del material es 206,807,000.000 N/m². Asimismo, se aprecia que la zona que sufre los esfuerzos tensionales más altos está muy cerca de la zona de fijación, cuyo valor más alto es 3,192,576.768 N/m², que comparado con el límite elástico implica que no resistirá.



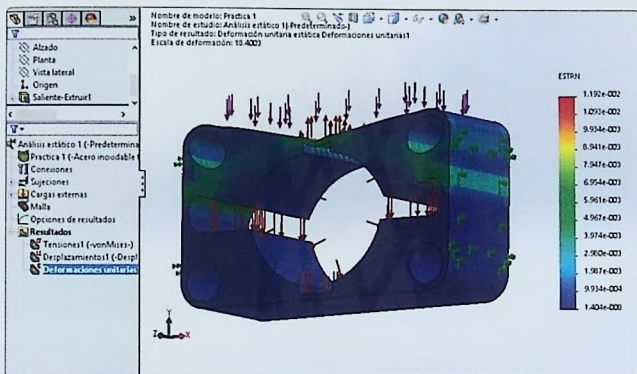
B. Desplazamientos

Los desplazamientos más altos se generan en donde está aplicada la fuerza de 900 N y el valor más alto es 3.267×10^{-2} mm. Esta cantidad es considerada muy baja y evita que la pieza colapse.



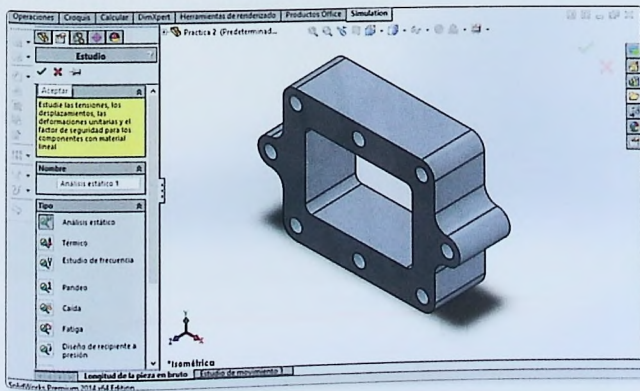
C. Deformaciones

Se entiende como el cambio de posición relativa de los desplazamientos respecto a cada uno de los ejes. En este caso, según la escala, el valor máximo de deformación es bajo: 1.192×10^{-2} .

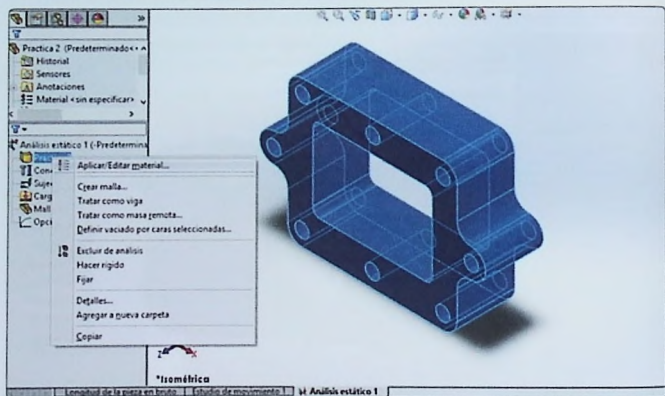


3.7 SÉPTIMO CASO

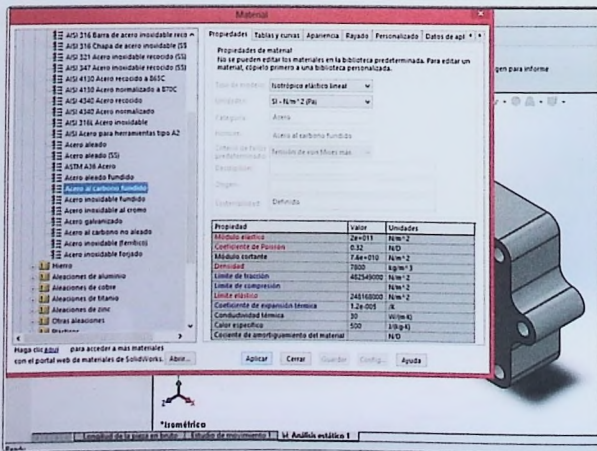
Paso 1. Elija la pieza a trabajar y seleccione la opción **Simulation**; luego, seleccione la opción **Nuevo estudio** y elija el tipo de estudio a realizar. En este caso, se eligió la opción **Análisis estático**.



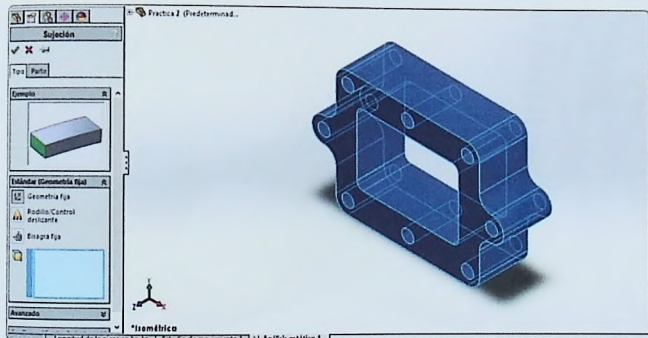
Paso 2. Elija el ícono que tiene el mismo nombre que la pieza elegida, haga clic con el botón derecho del ratón en **Asignar material** y elija **Aplicar/Editar material**.



Paso 3. Una vez seleccionado el material asignado para la pieza elegida, haga clic en **Aplicar y Cerrar**; de esta manera, el dibujo se convertirá en un ente real con todas las propiedades asignadas.

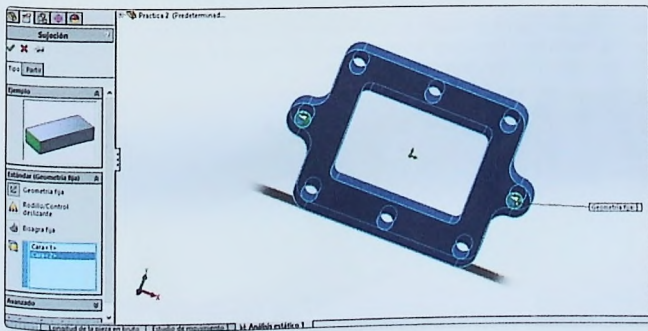


Paso 4. Ahora seleccione la opción **Sujeción**, pues no se puede realizar ningún estudio si la pieza no se encuentra sujeta. Luego, elija la opción **Geometría fija**.

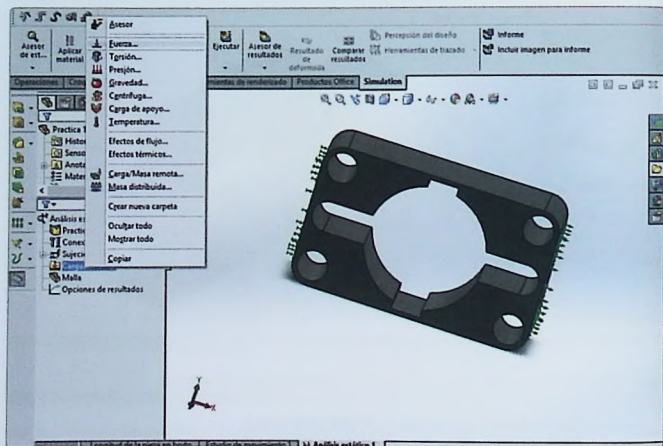


Paso 5. Mueva la pieza, haga clic en la **Cara<1>** y aparecerán dos detalles:

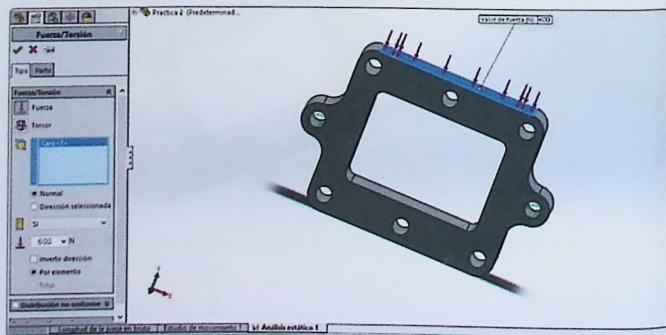
- ▲ La sujeción en la **Cara<1>** (a manera de flechas color verde).
- ▲ El nombre de la cara elegida en la parte inferior de la ventana y la opción **Aceptar**.



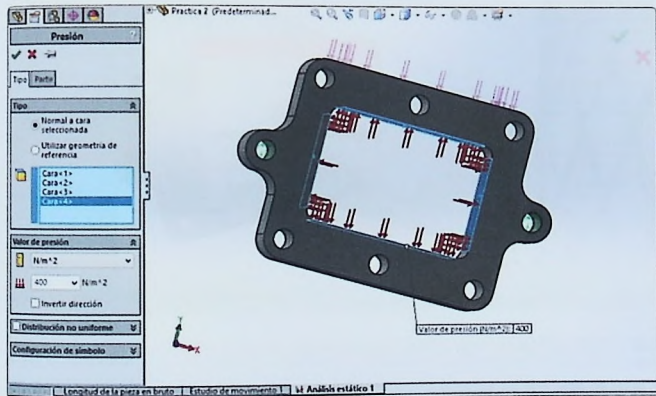
Paso 6. Seleccione la opción **Cargas externas**, haga clic con el botón derecho del ratón y aparecerán las siguientes opciones.



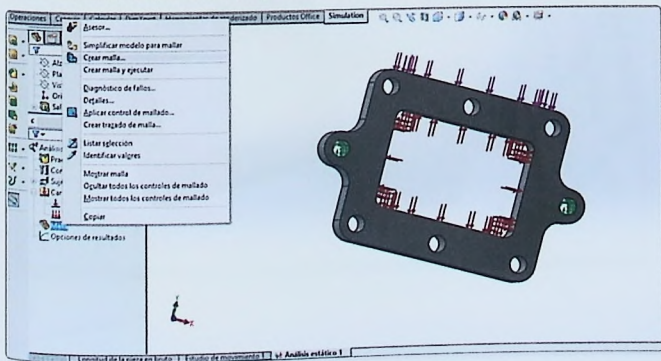
Paso 7. Seleccione la opción **Fuerza**, acerque el cursor a la cara donde se desea aplicar la fuerza, tal como se aprecia en la figura, y en la ventana aparecerá el módulo de dicha fuerza. En este caso, se consideró 600 N y se hizo clic en la opción **Aceptar**.



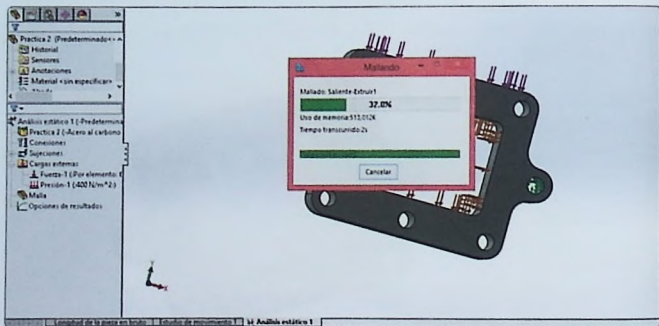
Paso 8. Seleccione la opción **Presión**, acerque el cursor a la cara donde se desea aplicar la presión, tal como se aprecia en la figura, y en la ventana aparecerá el módulo de dicha presión. En este caso, se consideró 400 N/m^2 y se hizo clic en **Aceptar**.



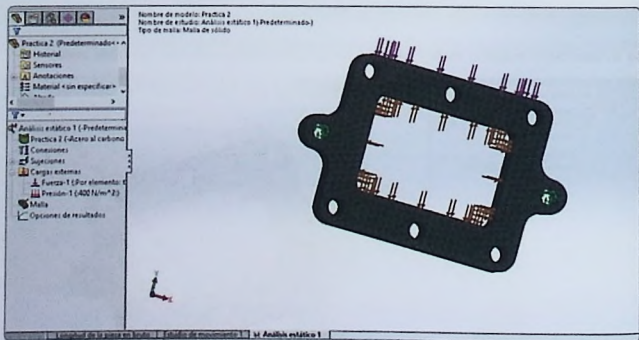
Paso 9. Seleccione la opción **Malla** y haga clic con el botón derecho del ratón en **Crear malla**.



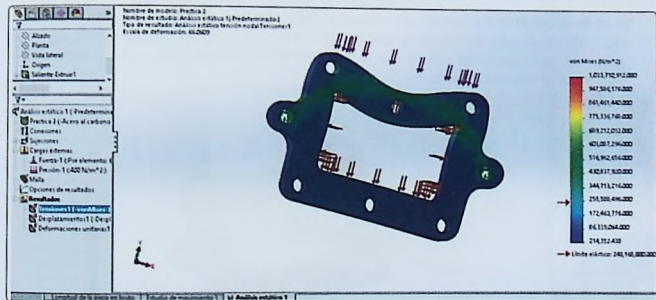
Paso 10. Después de aceptar, comienza a crearse la malla y se observa una ventana que muestra el porcentaje de avance (el tiempo es variable según la complejidad de la pieza).



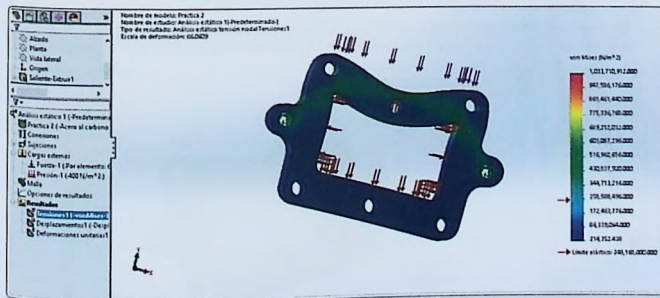
Paso 11. Una vez que se llegó al 100 %, la malla está creada sobre la pieza, tal como se puede observar.



Paso 12. Seleccione la primera opción de la ventana, **Análisis estático 1** (este número puede variar de acuerdo a la cantidad de estudios realizados), haga clic con el botón derecho del ratón y elija la opción **Ejecutar**.



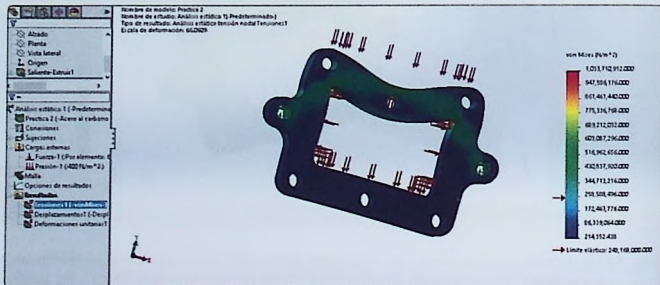
Paso 13. El **software** resuelve todas las ecuaciones diferenciales que enlazan la geometría de la pieza, la estabilidad y sus propiedades constitutivas (método de los elementos finitos). Se obtienen los siguientes resultados ubicados en la parte inferior de la ventana: tensiones, desplazamientos y deformaciones.



Análisis de resultados

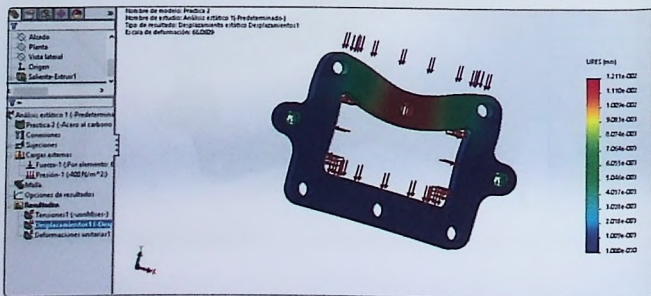
A. Tensiones

Se observa que el límite elástico del material es 248,168,000.000 N/m². Asimismo, se aprecia que la zona que sufre los esfuerzos tensionales y la presión más alta está muy cerca de la zona de fijación, cuyo valor más alto es 1,033,710,912 N/m², que comparado con el límite elástico implica que el material no resistirá.



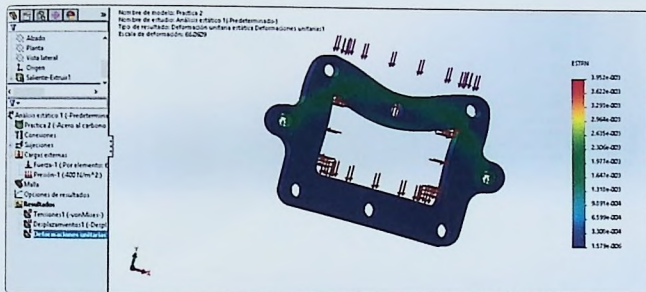
B. Desplazamientos

Los desplazamientos más altos se generan en donde está aplicada la fuerza de 600 N y el valor más alto es 1.211×10^{-2} mm. Esta cantidad es considerada baja e impide que la pieza colapse.



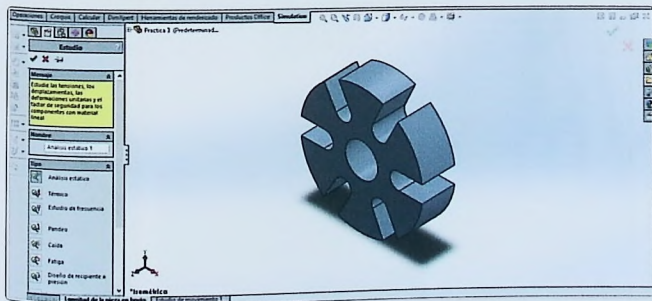
C. Deformaciones

Se entiende como el cambio de posición relativa de los desplazamientos respecto a cada uno de los ejes. En este caso, según la escala, el valor máximo de deformación es bastante bajo: 3.952×10^{-3} .

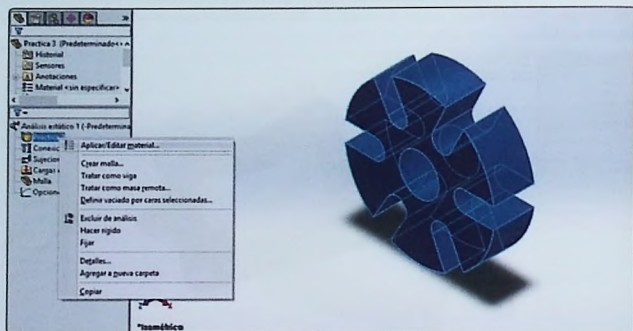


3.8 OCTAVO CASO

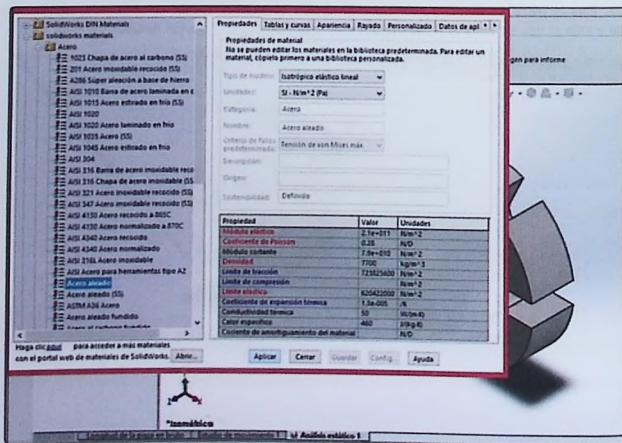
Paso 1. Elija la pieza a trabajar y seleccione la opción **Simulation**; luego, seleccione la opción **Nuevo estudio** y elija el tipo de estudio a realizar. En este caso, se eligió la opción **Análisis estático**.



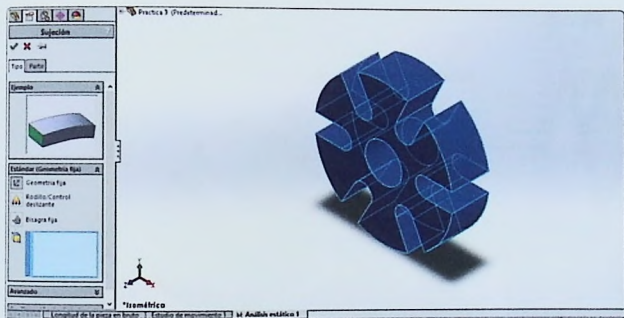
Paso 2. Seleccione el icono que tiene el mismo nombre de la pieza elegida, haga clic con el botón derecho del ratón en **Asignar material** y elija la opción **Aplicar/Editar material**.



Paso 3. Una vez seleccionado el material asignado para la pieza elegida, haga clic en **Aplicar** y **Cerrar**; de esta manera, el dibujo se convertirá en un ente real con todas las propiedades asignadas.

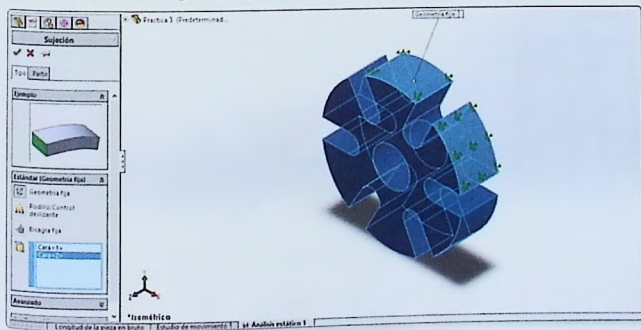


Paso 4. Seleccione la opción **Sujeción**, pues no se puede realizar ningún estudio si la pieza no se encuentra sujeta. Luego, elija la opción **Geometría fija**.

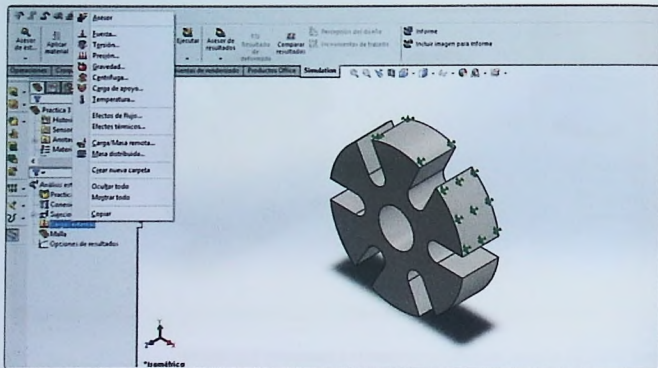


Paso 5. Mueva la pieza, haga clic en la **Cara<1>** y aparecerán dos detalles:

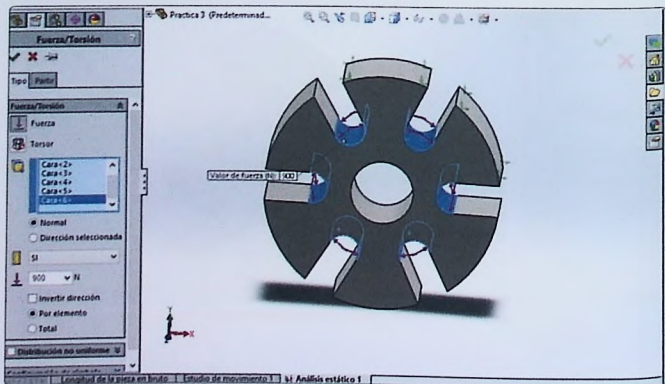
- ▲ La sujeción en la **Cara<1>** (a manera de flechas color verde).
- ▲ El nombre de la cara elegida en la parte inferior de la ventana y la opción **Aceptar**.



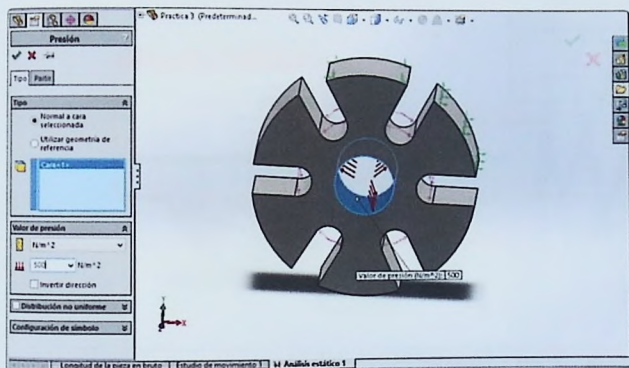
Paso 6. Seleccione la opción **Cargas externas**, haga clic con el botón derecho del ratón y aparecerán las opciones que observa en la figura. Haga clic en la opción **Fuerza**.



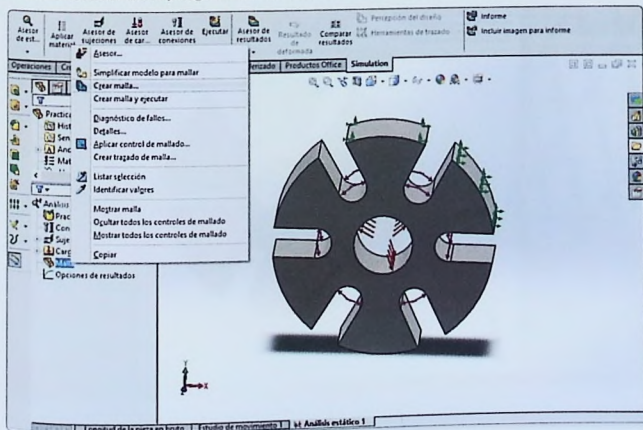
Paso 7. Acerque el cursor a la cara donde se desea aplicar la fuerza, tal como se aprecia en la figura, y en la ventana se coloca el módulo de dicha fuerza. En este caso, se consideró 900 N y se hizo clic en **Aceptar**.



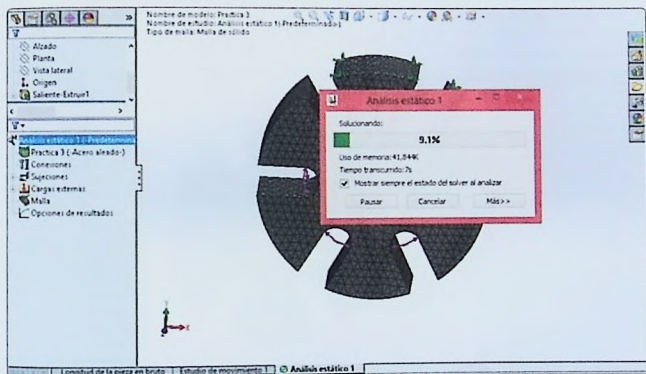
Paso 8. Seleccione la opción **Presión**, acerque el cursor a la cara donde se desea aplicar la presión, tal como se aprecia en la figura, y en la ventana se coloca el módulo de dicha presión. En este caso, se consideró 500 N/m^2 y se hizo clic en **Aceptar**.



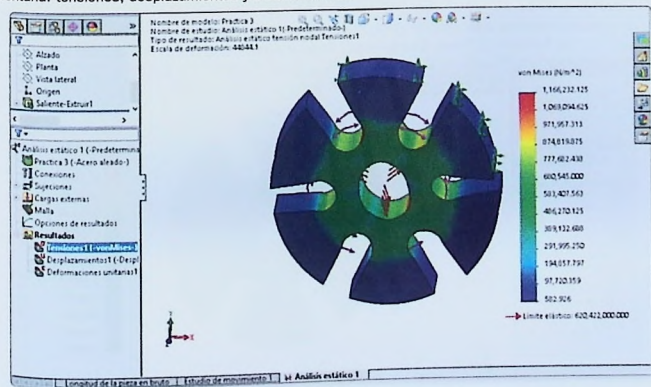
Paso 9. Seleccione **Malla** y haga clic con el botón derecho del ratón en **Crear malla**.



Paso 12. Seleccione la primera opción de la ventana, **Análisis estático 1** (este número puede variar de acuerdo a la cantidad de estudios realizados), haga clic con el botón derecho del ratón y elija la opción **Ejecutar**. El **software** resuelve todas las ecuaciones diferenciales que enlazan la geometría de la pieza, la estabilidad y sus propiedades constitutivas (método de los elementos finitos).



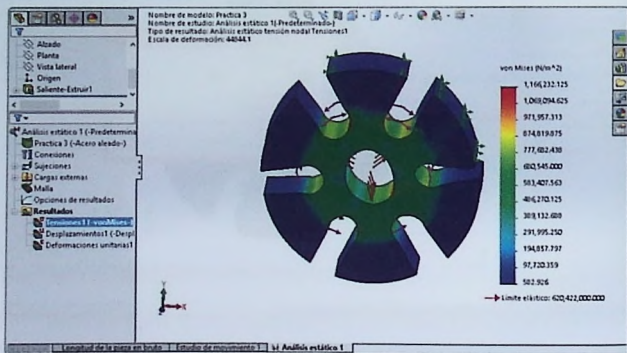
Paso 13. Se obtienen los siguientes resultados, que se encuentran en la parte inferior izquierda de la ventana: tensiones, desplazamientos y deformaciones.



Análisis de resultados

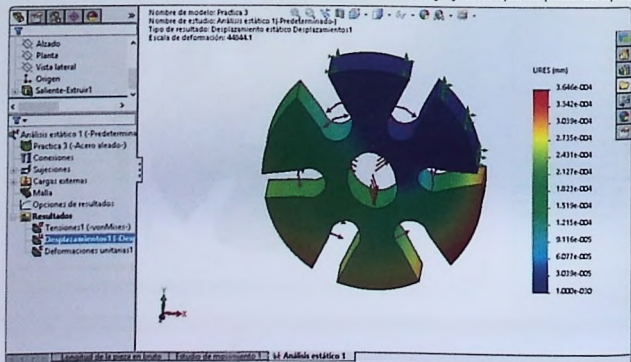
A. Tensiones

Se observa que el límite elástico del material es $620,422,000.000 \text{ N/m}^2$. Asimismo, puede identificarse que la zona que sufre los esfuerzos tensionales y la presión más alta está muy cerca de la zona de fijación, cuyo valor más alto es $1,166,232.125 \text{ N/m}^2$, que comparado con el límite elástico implica que resistirá.



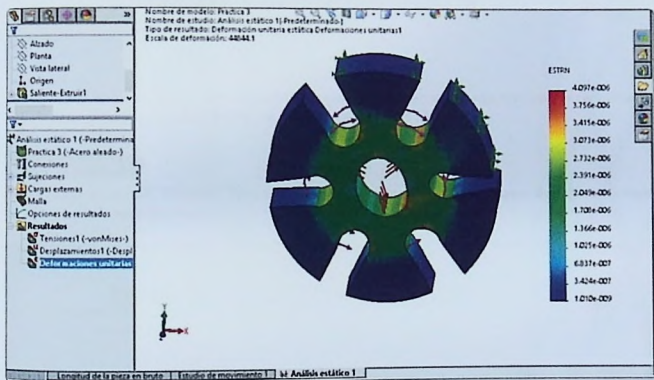
B. Desplazamientos

Los desplazamientos más altos se generan en donde está aplicada la fuerza de 900 N y el valor más alto es $3.646 \times 10^{-4} \text{ mm}$. Esta cantidad es considerada baja y evita que la pieza colapse.



C. Deformaciones

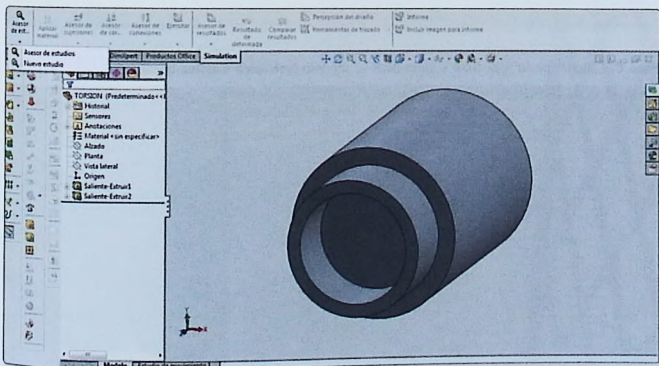
Se entiende como el cambio de posición relativa de los desplazamientos respecto a cada uno de los ejes. En este caso, el valor máximo de deformación es bastante bajo, según la escala 4.097×10^{-6} .



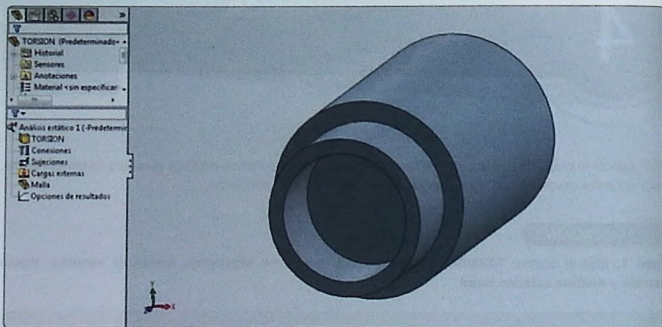
Para aplicar la carga de torsión, deben tomarse en cuenta los mismos criterios que para la carga **Fuerza**, pero no debe olvidarse que solo pueden seleccionarse caras cilíndricas.

4.1 APLICACIÓN 1

Paso 1. Elija el archivo **TORSIÓN**, abra el dibujo y seleccione **Simulation**, **Asesor de estudios**, **Nuevo estudio** y **Análisis estático lineal**.



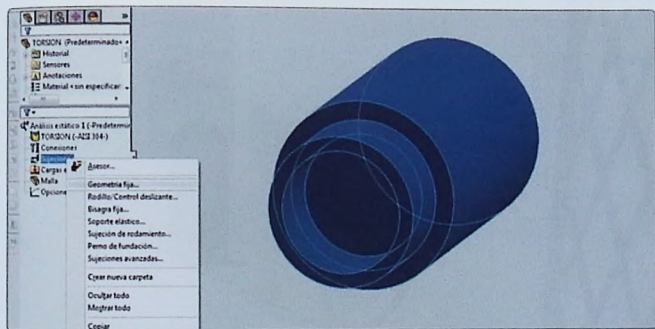
Paso 2. Una vez en la ventana de Análisis, elija el material.



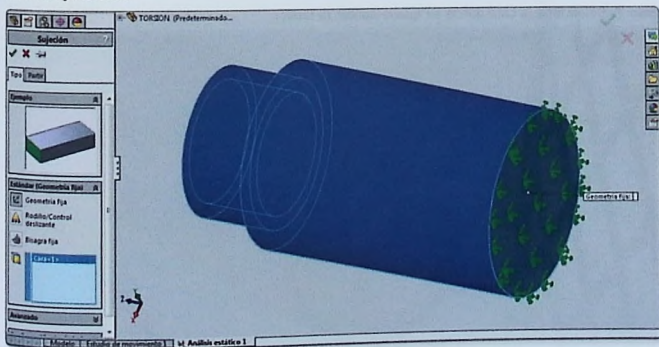
Paso 3. Elija la opción AISI 304 y seleccione el modelo Isotrópico elástico lineal.

Propiedad	Valor	Unidades
Modulo elastico	1.9e+011	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.29	N/D
Modulo cortante	7.5e+10	N/m ²
Densidad	8000	kg/m ³
Limite de tension	517607000	N/m ²
Limite de compresion		N/m ²
Limite elastico	290007000	N/m ²
Coefficiente de expansion termica	1.6e-05	K ⁻¹
Conductividad termica	14	W/m-K
Calor especifico	502	J/kg-K
Coefficiente de amortiguamiento del material		N/D

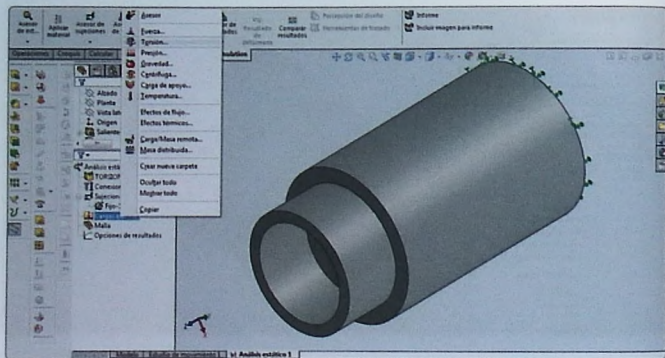
Paso 4. Haga clic derecho en **Sujecciones** y seleccione la opción **Geometría fija**.



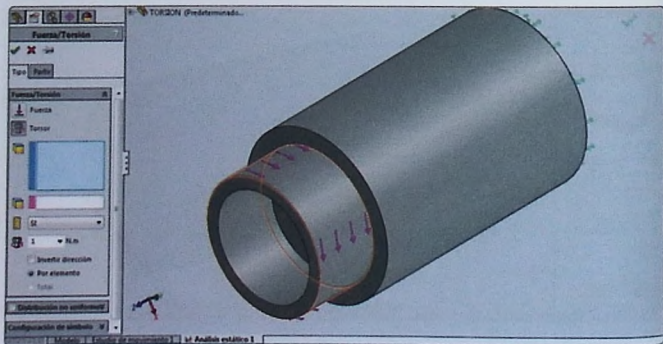
Paso 5. Fije la base.



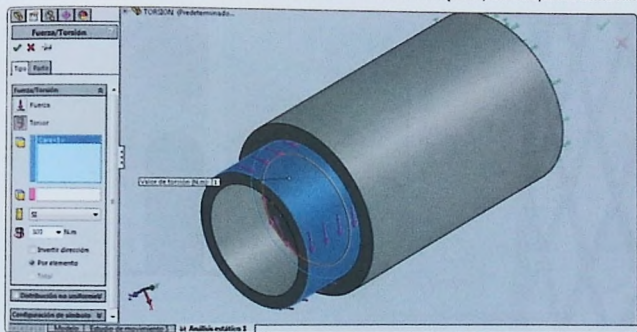
Paso 6. Seleccione la opción **Cargas externas** y haga clic en **Torsión**.



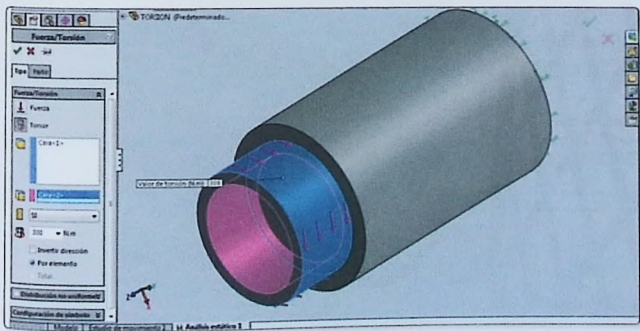
Paso 7. Seleccione la cara donde se quiere aplicar la torsión.



Paso 8. Seleccione la unidad y el valor de la torsión, en este caso es 300 Nm (en la pantalla aparece como N.m).



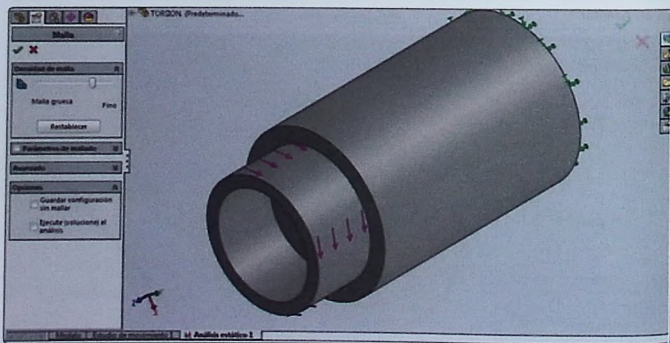
Paso 9. Seleccione la otra entidad según la cual gira el momento torsor, en este caso la cara 2, y haga clic en Aceptar.



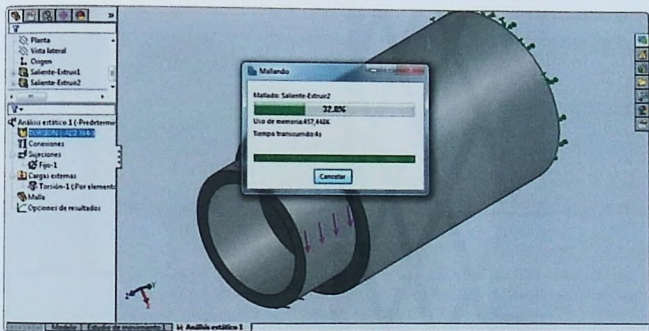
Paso 10. Haga clic en **Malla** y seleccione **Crear malla**.



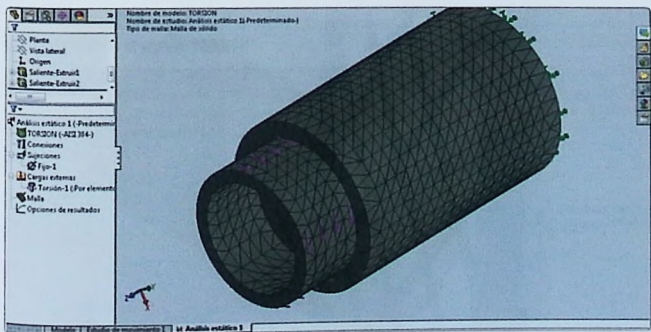
Paso 11. Afine el grosor de la malla con el cursor y haga clic en **Aceptar**.



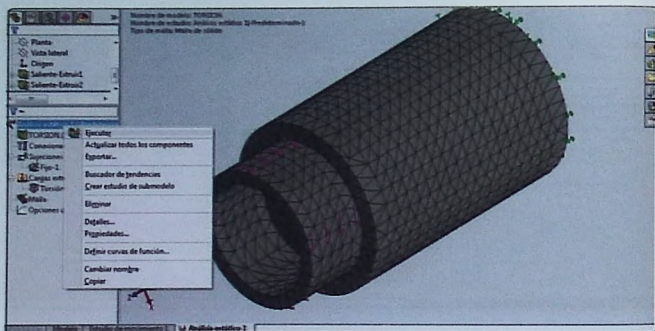
Paso 12. El programa comienza el proceso de mallado.



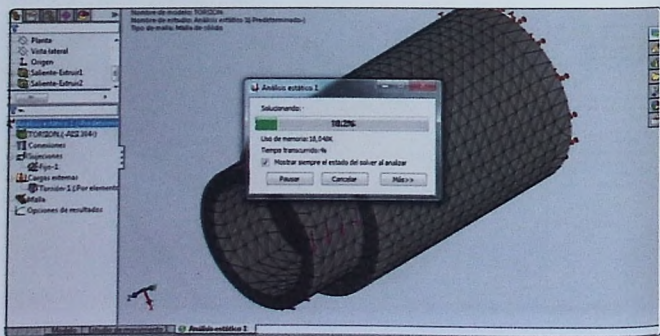
Paso 13. La malla está terminada.



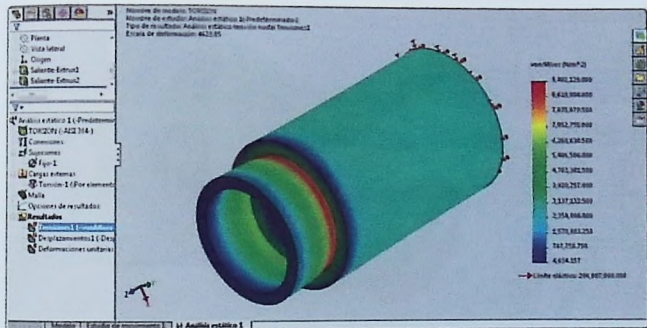
Paso 14. Seleccione la opción **Análisis estático** y haga clic en **Ejecutar** para que el *solver* pueda arrojar los resultados.



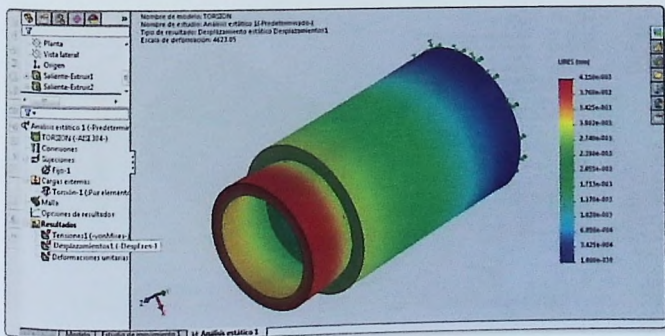
Paso 15. El mallado se está procesando.



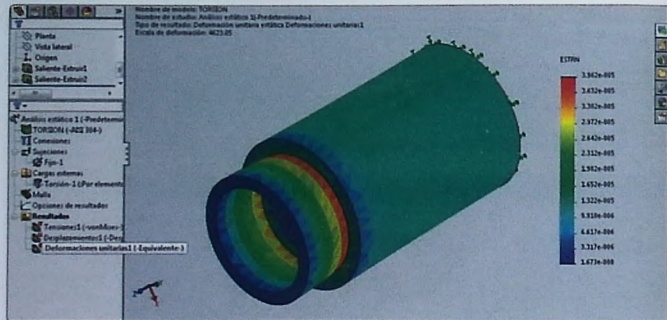
Paso 16. Haga clic en **Resultados** y seleccione la opción **Tensiones1 (-vonMises-)**.



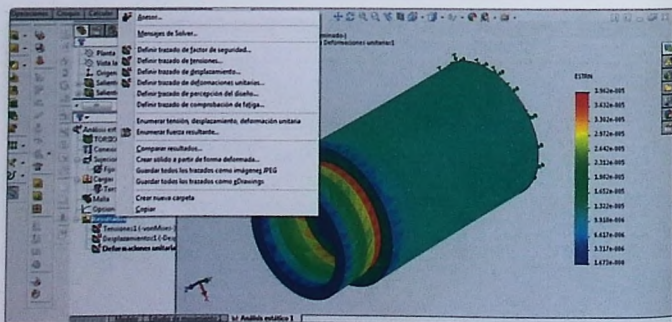
Paso 17. Haga clic en **Resultados** y seleccione la opción **Desplazamientos1 (-Despl res-)**.



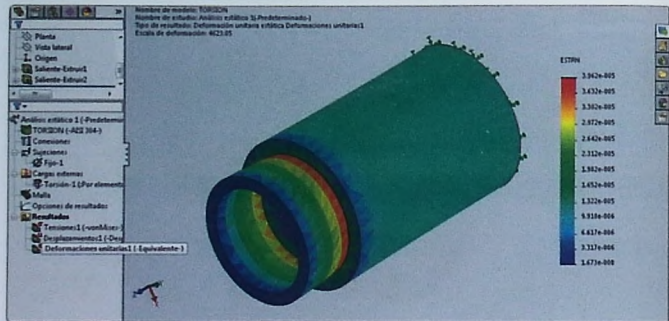
Paso 18. Haga clic en **Resultados** y seleccione la opción **Deformaciones unitarias1 (-Equivalente-)**.



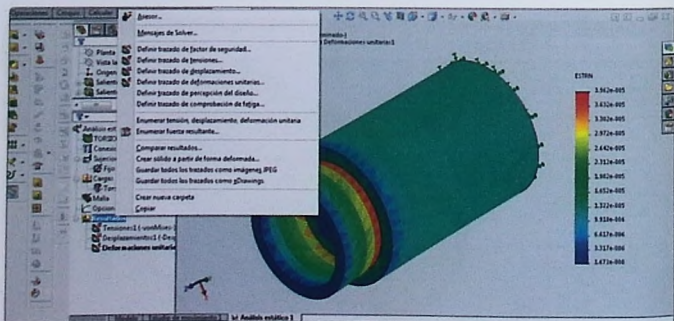
Paso 19. Haga clic en **Resultados** y seleccione la opción **Definir trazado de factor de seguridad**.



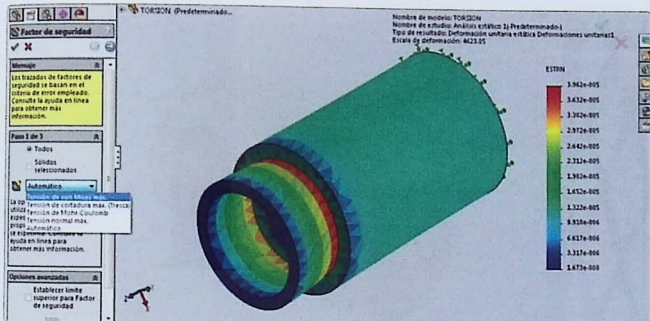
Paso 18. Haga clic en **Resultados** y seleccione la opción **Deformaciones unitarias 1 (-Equivalente-)**.



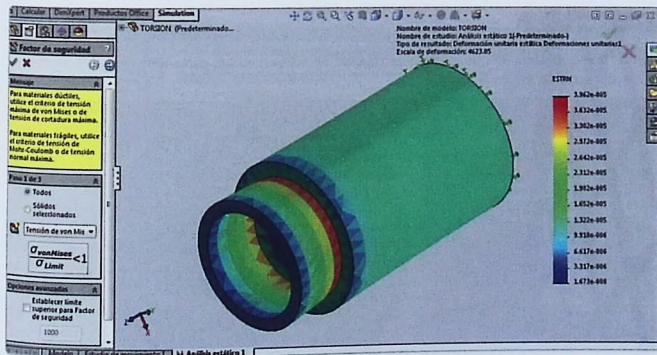
Paso 19. Haga clic en **Resultados** y seleccione la opción **Definir trazado de factor de seguridad**.



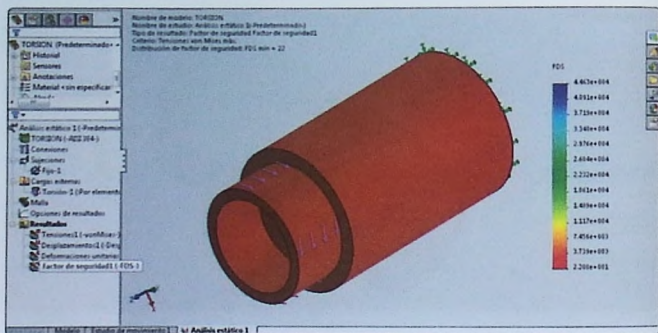
Paso 20. Despliegue la pestaña **Automático** y seleccione **Tensión de von Mises máx.**



Paso 21. Aparece una nueva ventana, **Factor de seguridad**, haga clic en **Aceptar**.

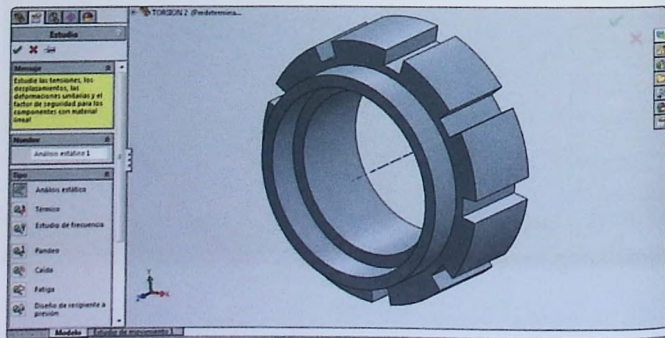


Paso 22. El resultado es 2.2, ya que la pieza está totalmente roja. Según la escala, este es un factor de seguridad bastante bajo, aunque seguro.

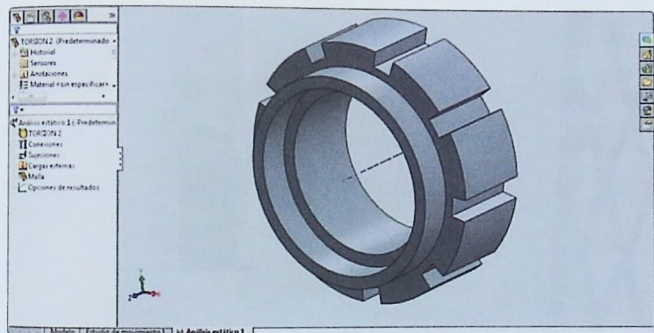


4.2 APLICACIÓN 2

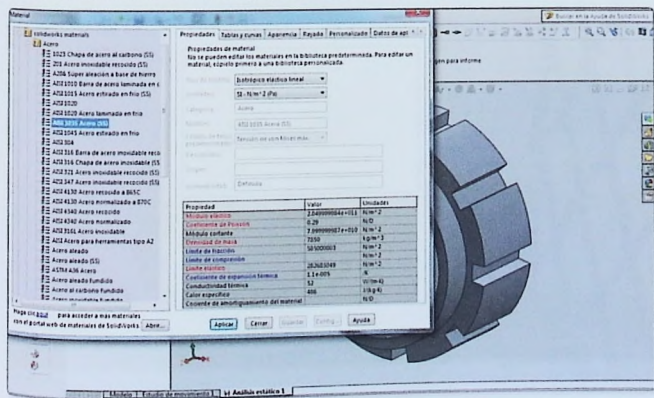
Paso 1. Como la geometría de la pieza es circular, es necesario usar comandos para torsión. Aplique un estudio estático lineal.



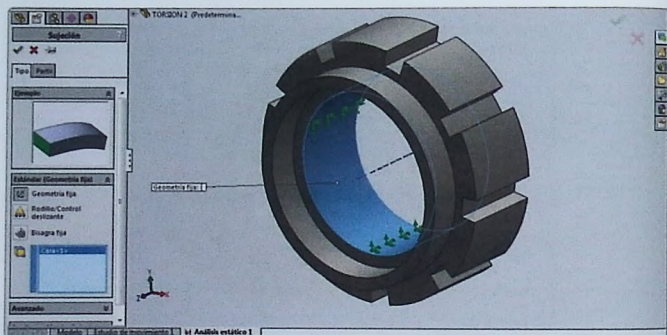
Paso 2. Con la nueva ventana de administración, primero seleccione el material de la pieza.



Paso 3. Seleccione AISI 1035 Acero (SS) de la biblioteca de materiales.



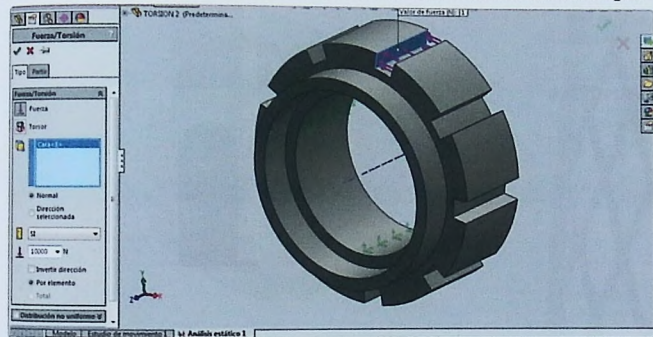
Paso 4. En Sujeción, fije la parte circular central de la pieza.



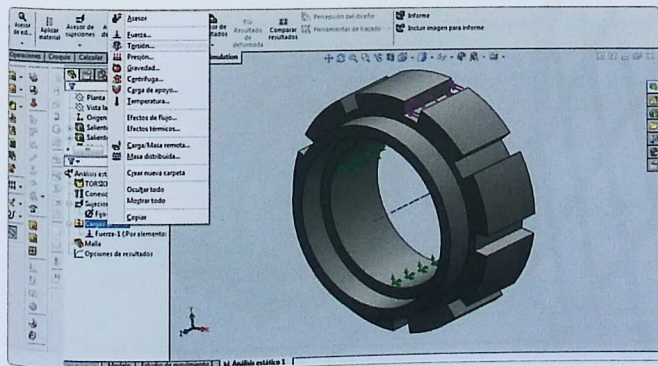
Paso 5. Asigne cargas sobre la pieza.



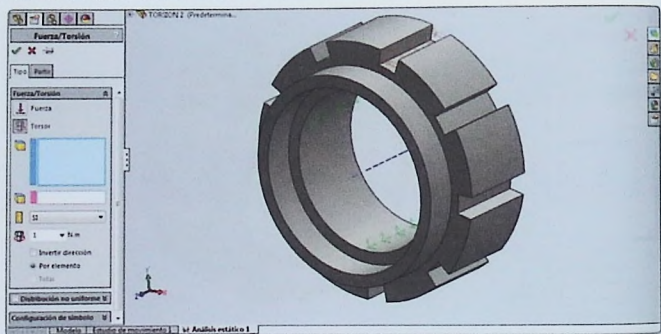
Paso 6. Coloque una fuerza normal a una de las caras de la pieza, tal como se muestra en la figura.



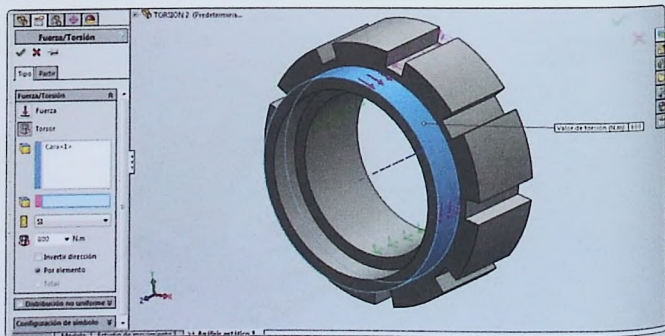
Paso 7. Aplique una carga de torsión.



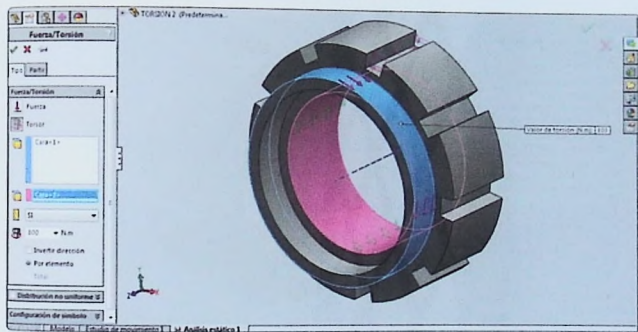
Paso 8. Para aplicar torsión, seleccione una cara circular de la pieza.



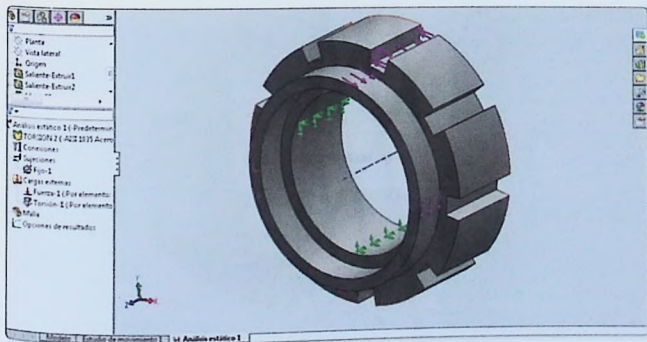
Paso 9. Seleccione la cara y luego la carga de torsión, tal como se muestra en la figura. Primero, seleccione la cara.



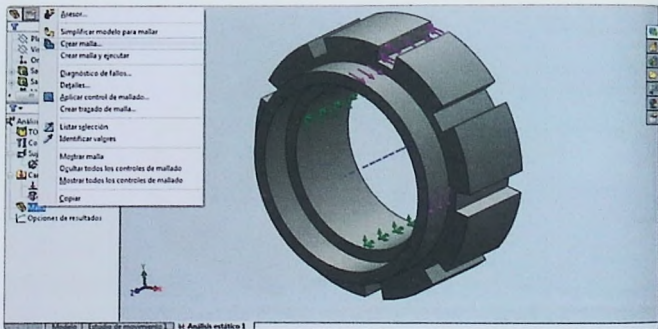
Paso 10. Luego, seleccione la carga torsional en la segunda ventana.



Paso 11. Como se observa, la pieza está lista para ser mallada.



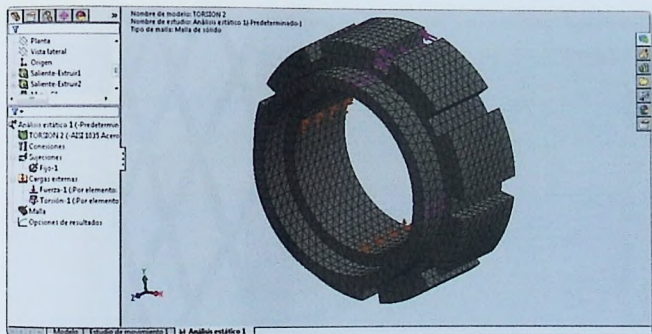
Paso 12. En la opción Malla, haga clic en **Crear malla**.



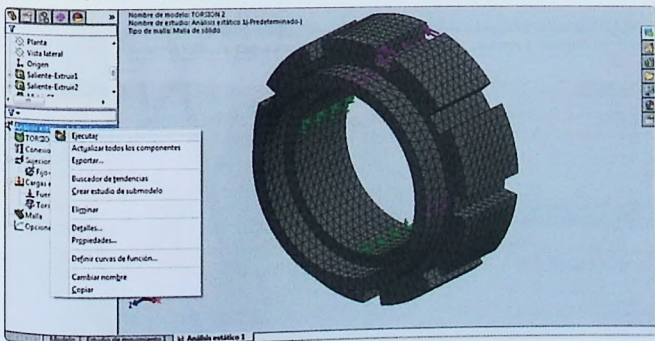
Paso 13. Ajuste el cursor en forma libre, preferentemente afinando un poco, y haga clic en **Aceptar**.



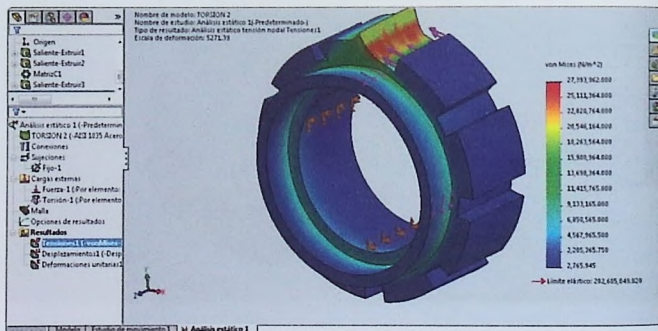
Paso 14. La pieza está mallada.



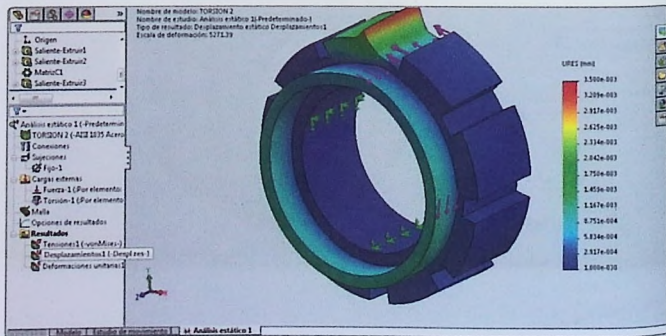
Paso 15. Haga clic en Ejecutar.



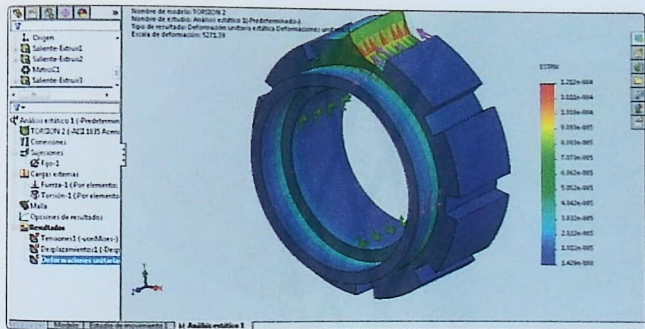
Paso 16. En **Resultados**, haga clic en cada una de las opciones. En **Tensiones 1**, se observa que el límite elástico del material es muy superior al valor más alto de la tensión generada, lo cual implica que la pieza resistirá. Como se explicó anteriormente, la deformación exagerada se debe a la escala.



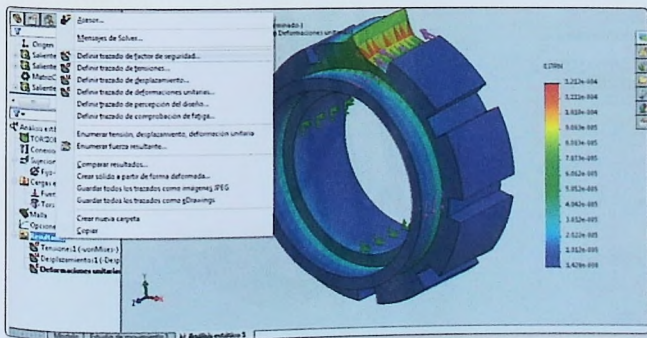
Paso 17. Como se observa en la figura, el valor más alto de los desplazamientos es 0.0035 mm. Este valor, considerado muy bajo, incluso permite aumentar las cargas sin problemas en caso de que sea necesario.



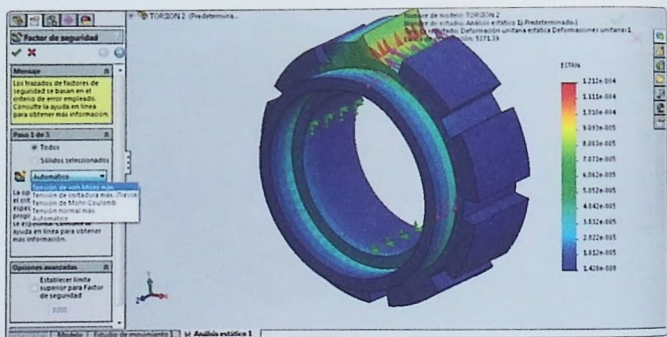
Paso 18. Por último, haga clic en **Deformaciones unitarias**.



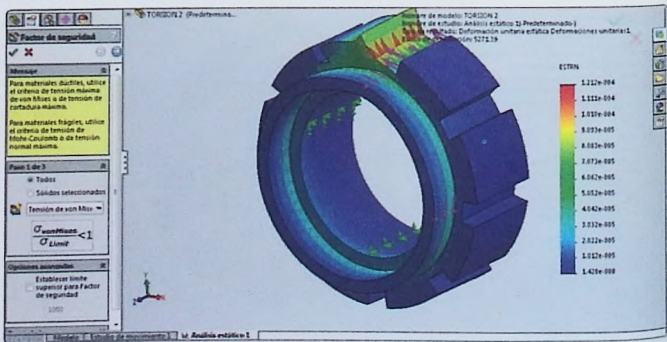
Paso 19. Haga clic con el botón derecho del ratón en **Resultados** y haga clic en **Definir trazado de seguridad**.



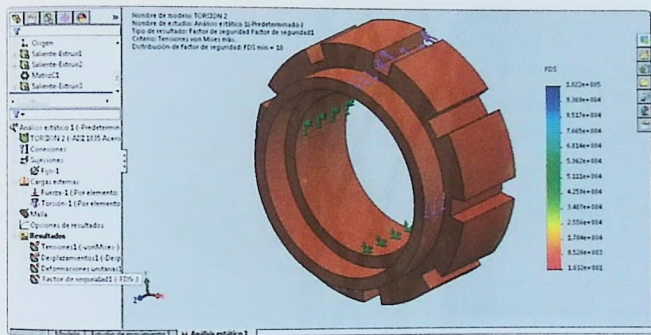
Paso 20. Seleccione Tensión de von Mises máx.



Paso 21. Haga clic en Aceptar.

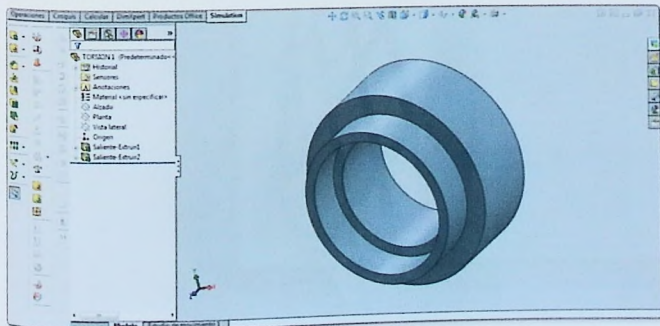


Paso 22. Se observa que el resultado global es 1.022.

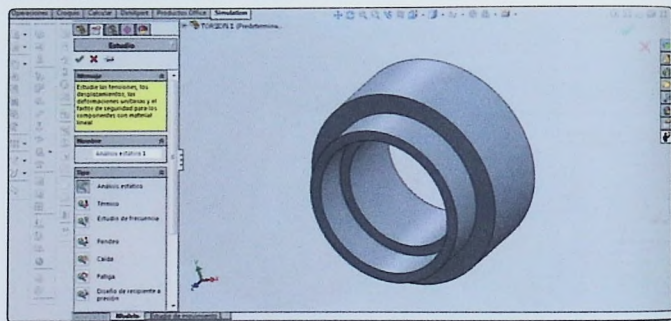


4.3 APLICACIÓN 3

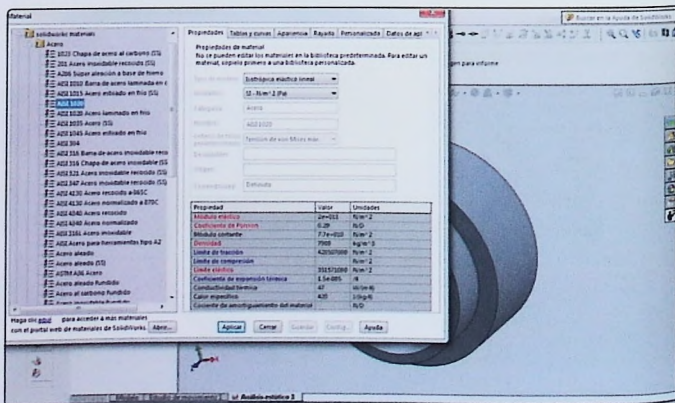
Paso 1. Seleccione el archivo TORSIÓN1.



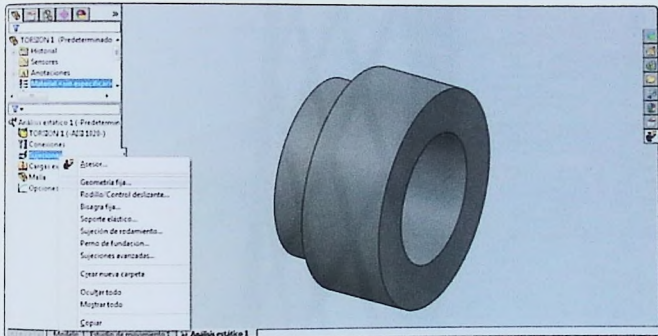
Paso 2. Dirija la pieza a la ventana Simulation y seleccione Análisis estático lineal.



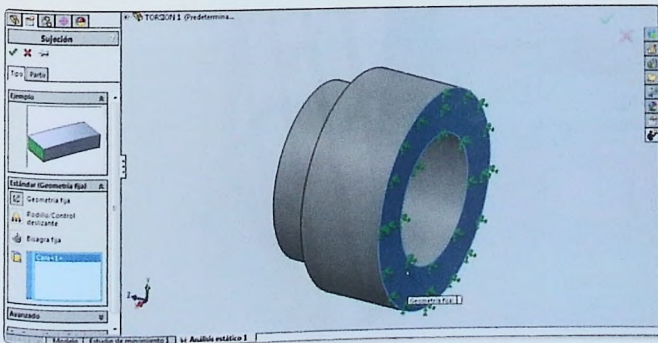
Paso 3. Seleccione el material AISI 1020, haga clic en Aplicar y Cerrar.



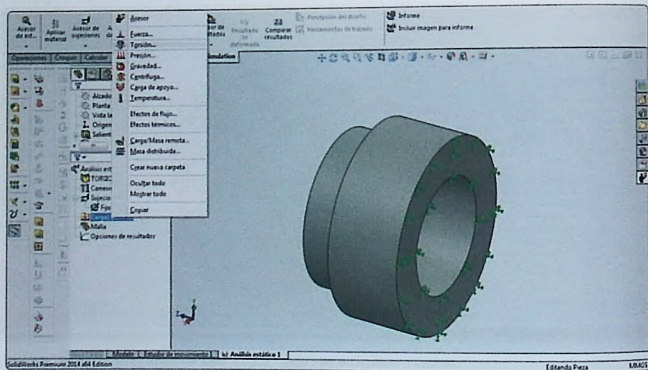
Paso 4. Haga clic en **Sujeciones**, gire la pieza y aplique **Geometría fija**.



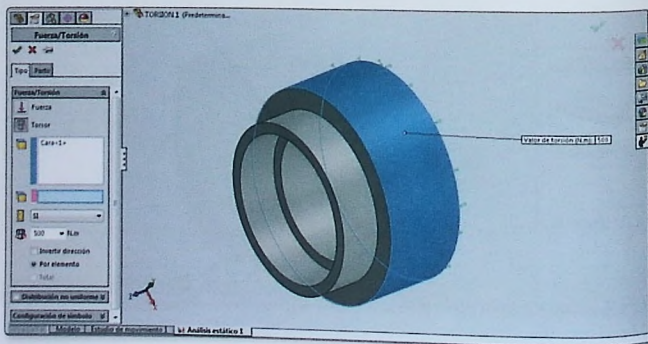
Paso 5. Seleccione la **Cara<1>** y haga clic en **Aceptar**.



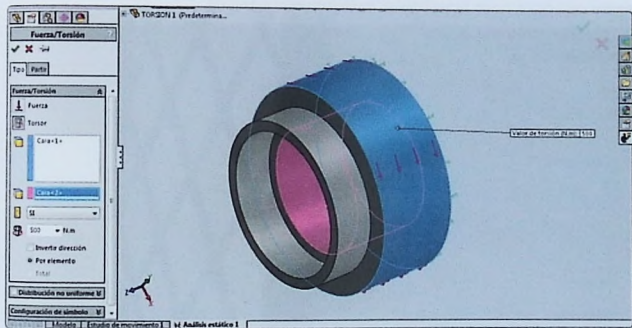
Paso 6. Haga clic en **Cargas externas** y seleccione **Torsión**.



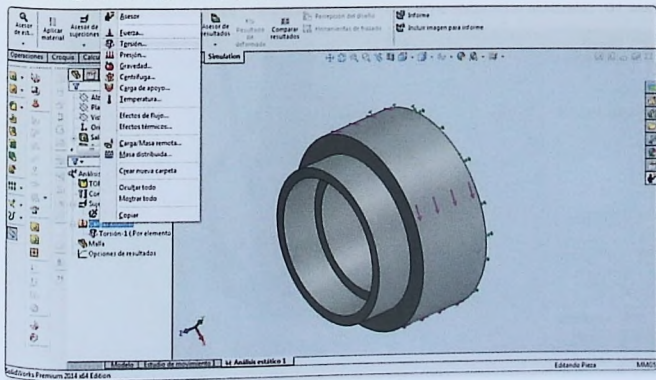
Paso 7. Seleccione la cara donde se aplicará el torsor y añada el valor de 500 Nm.



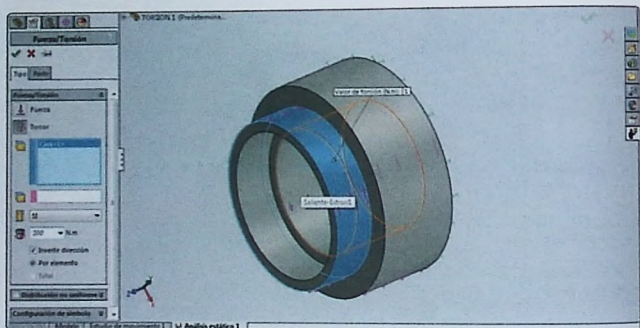
Paso 8. Dirija la segunda casilla (Cara<2>) y haga clic en Aceptar.



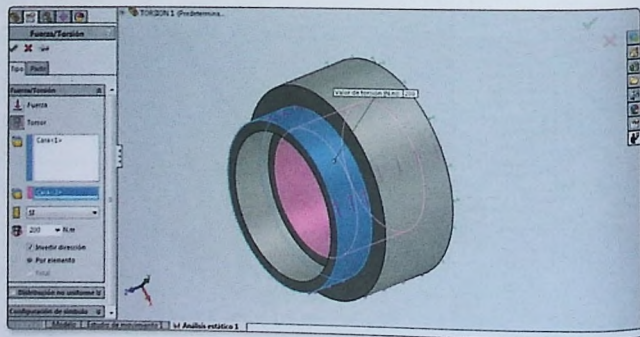
Paso 9. Haga clic en Carga externa y aplique Torsión.



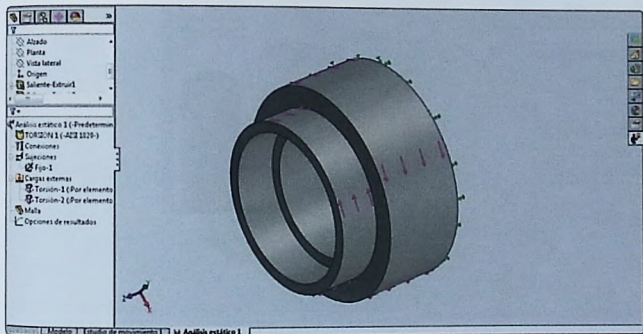
Paso 9. Seleccione el valor de la cara (200 Nm) y haga clic en el recuadro correspondiente a **Invertir dirección** para que el nuevo torsor vaya en sentido opuesto al primero.



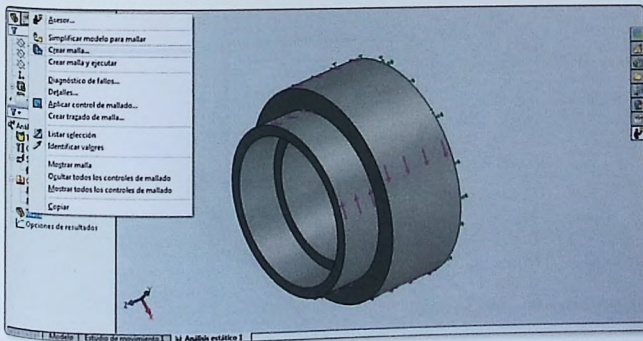
Paso 10. Seleccione la dirección en la segunda casilla (**Cara<2>**) y haga clic en **Aceptar**.



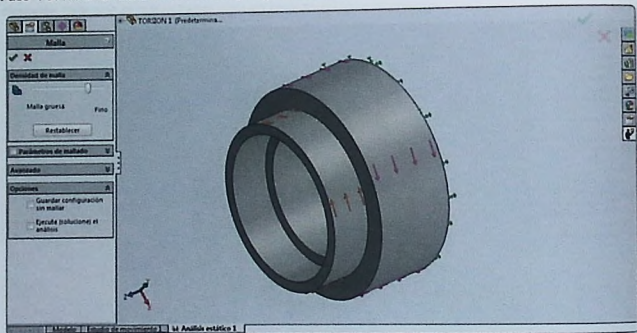
Paso 11. Como se puede observar, la pieza tiene una sujeción de **Geometría fija** y dos torsores (T1 y T2).



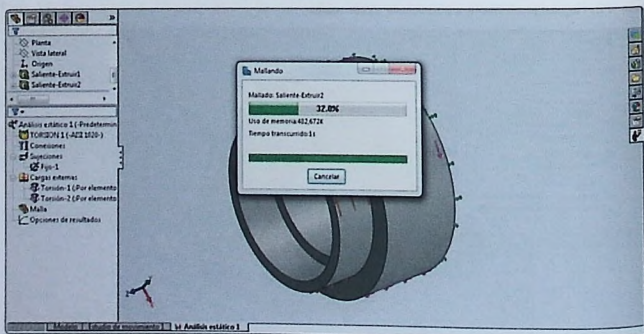
Paso 12. Haga clic en **Malla** y seleccione **Crear malla**.



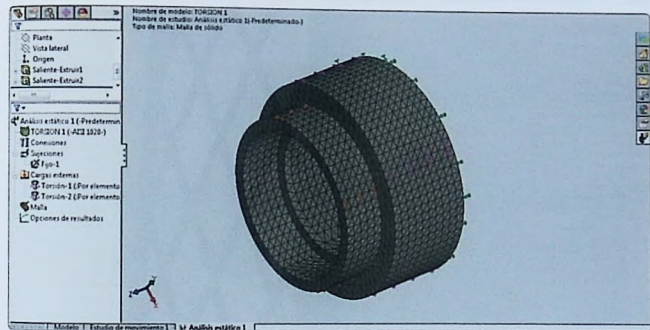
Paso 13. Afine la malla con el cursor y haga clic en **Aceptar**.



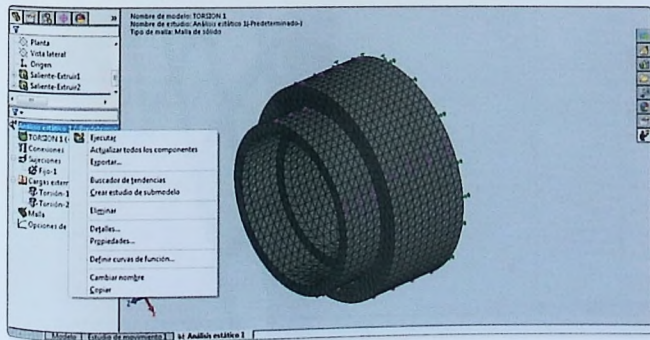
Paso 14. Tal como se observa, la pieza se está mallando.



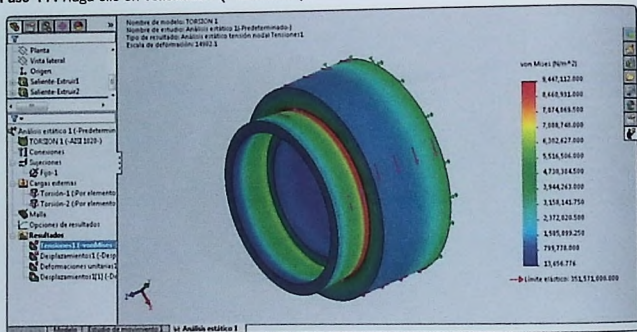
Paso 15. Pieza mallada



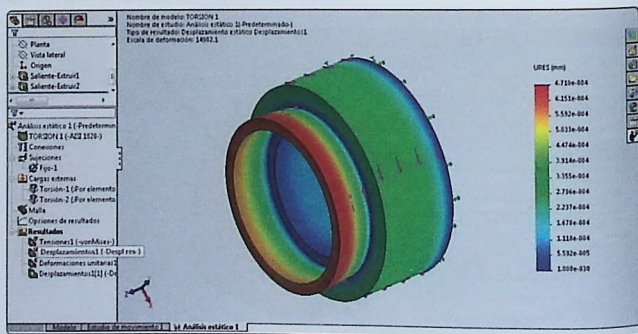
Paso 16. Seleccione **Análisis estático lineal** y haga clic en **Ejecutar**. El **solver** comienza a resolver las ecuaciones diferenciales generadas internamente y arroja los resultados.



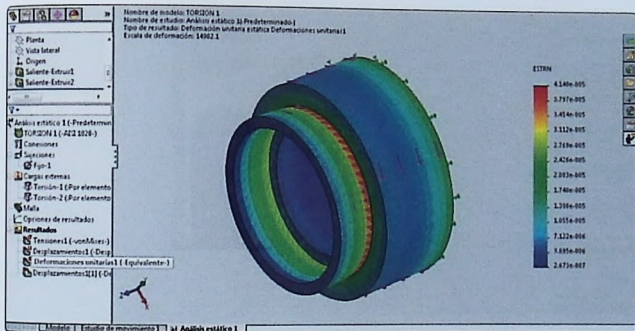
Paso 17. Haga clic en Tensiones1 (-vonMises-).



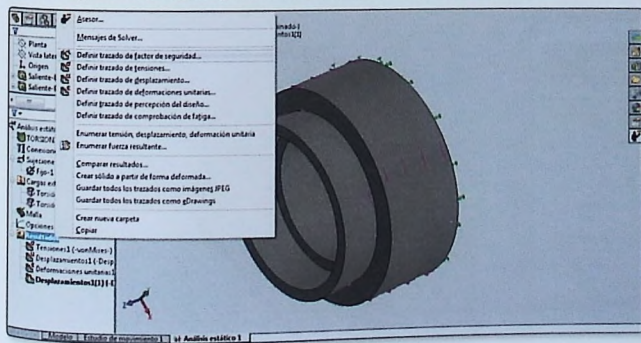
Paso 18. Haga clic en Desplazamientos1.



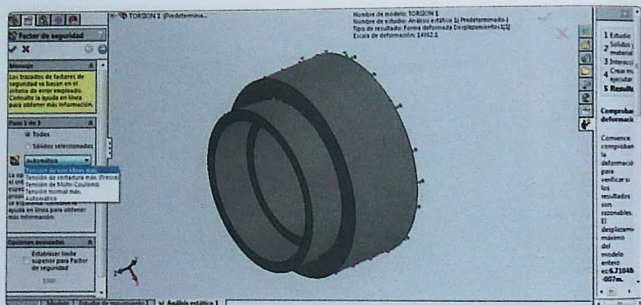
Paso 19. Haga clic en **Deformaciones unitarias1 (-Equivalente-)**.



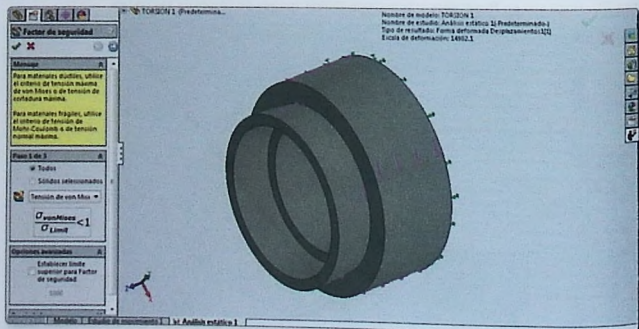
Paso 20. Haga clic en **Resultados** y seleccione **Definir trazado de factor de seguridad**.



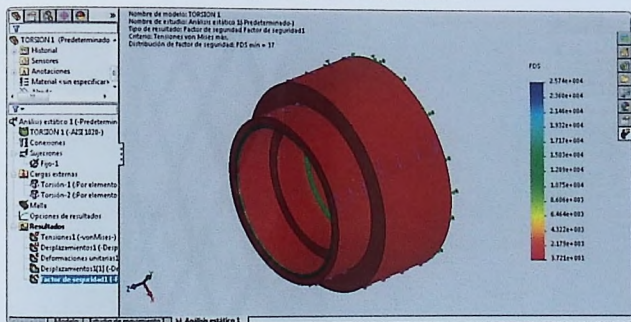
Paso 21. Haga clic en Automático y seleccione la opción Tensión de von Mises máx.



Paso 22. Haga clic en Aceptar.

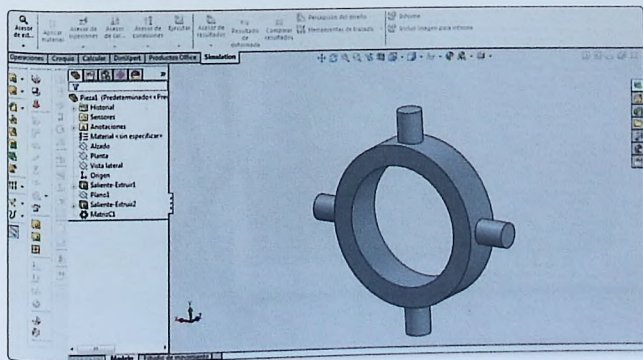


Paso 23. Se observa que el factor de seguridad global es muy elevado: 37.

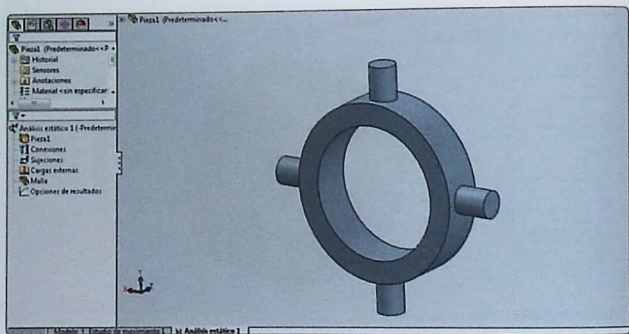


4.4 APLICACIÓN 4

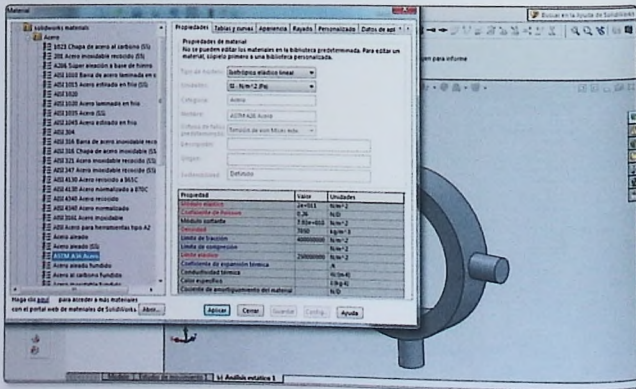
Paso 1. Seleccione la pieza a trabajar.



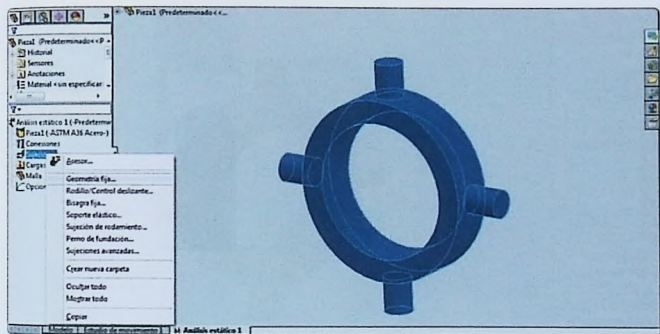
Paso 2. Trabaje con la siguiente pieza.



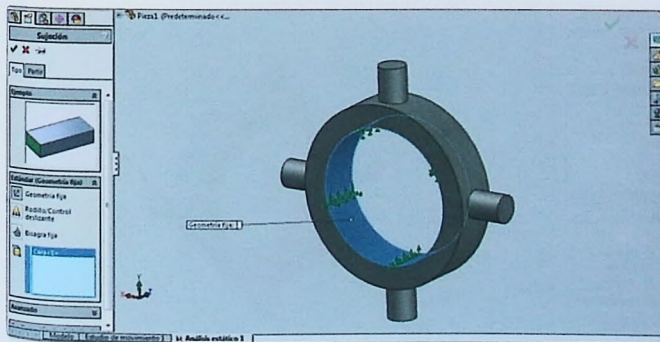
Paso 3. Asigne el material.



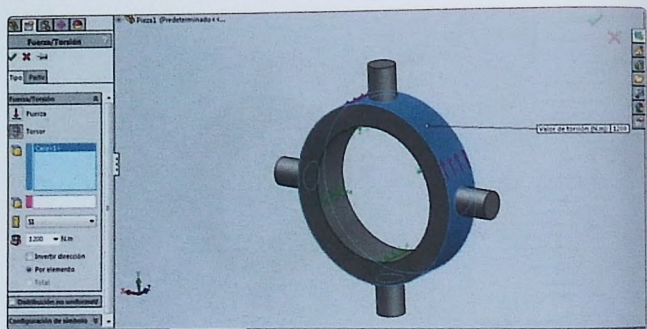
Paso 4. Asigne Sujeciones y haga clic en **Geometría fija**.



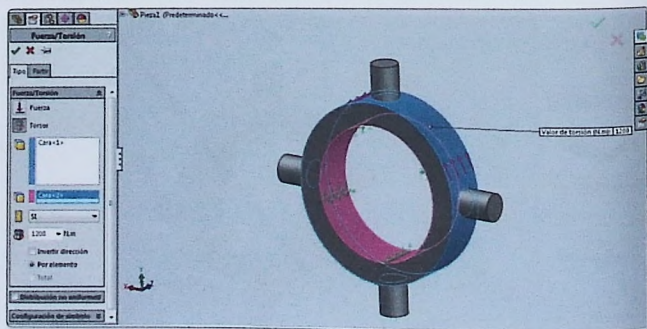
Paso 5. Haga clic con el cursor en la cara interna de la pieza, tal como se muestra en la figura.



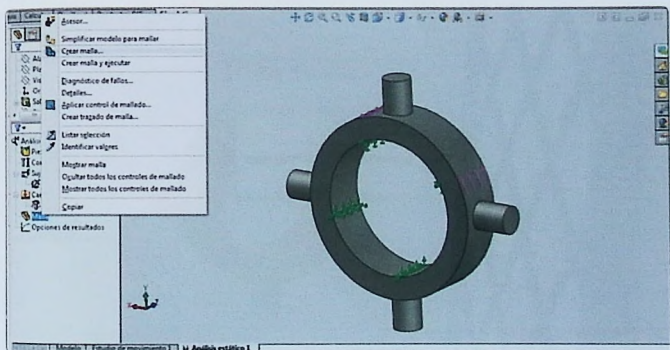
Paso 6. Aplique una carga de torsión de 1200 Nm en la cara externa.



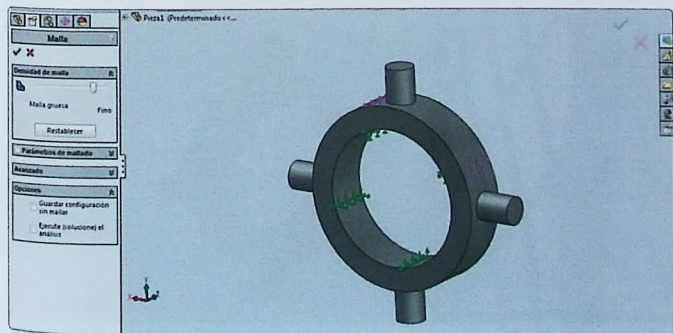
Paso 7. En la figura, observe que se muestra tanto la torsión como la cara seleccionada.



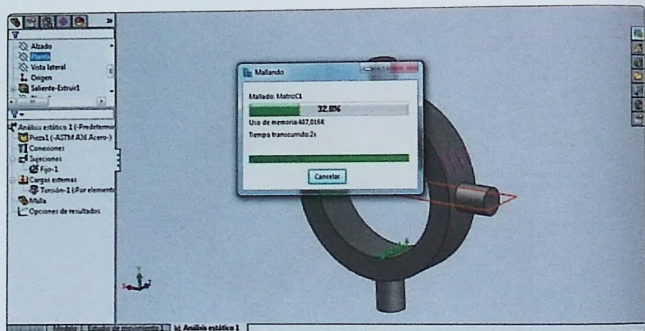
Paso 8. Seleccione **Malla** y haga clic en **Crear malla**.



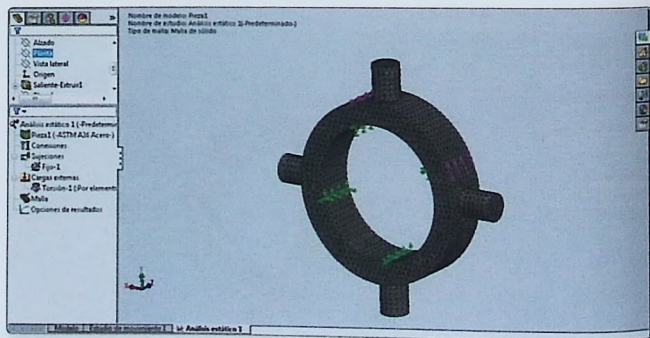
Paso 9. Mueva el cursor para afinar el mallaado.



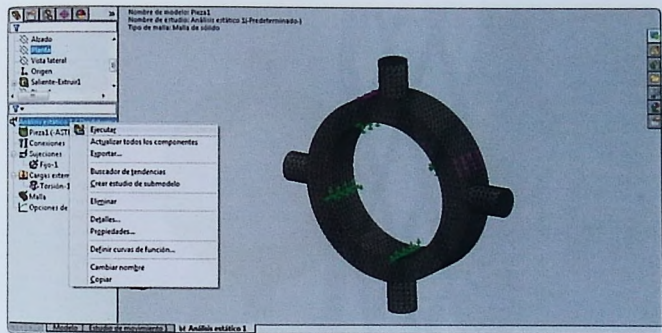
Paso 10. Observe cómo se va generando la malla en la pieza.



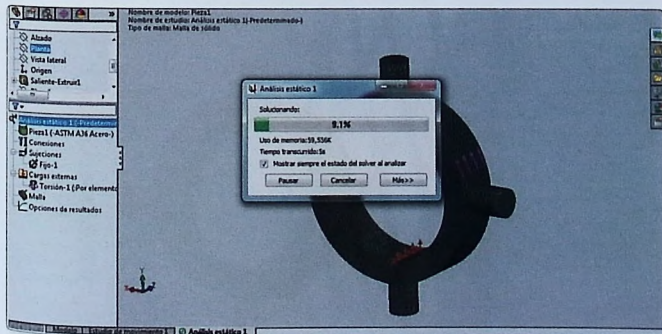
Paso 11. La pieza está mallada.



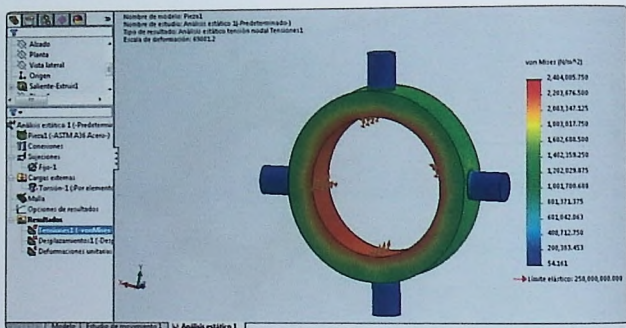
Paso 12. Aplique **Ejecutar** para obtener los resultados.



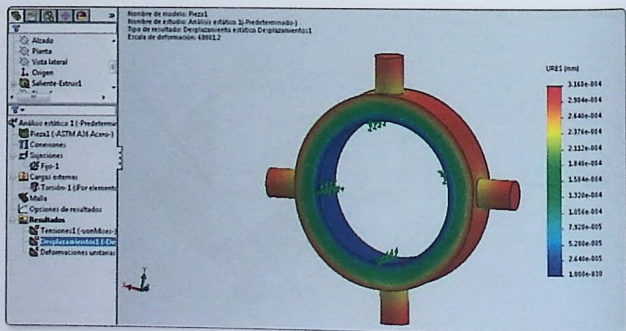
Paso 13. Observe cómo el **solver** está procesando los resultados.



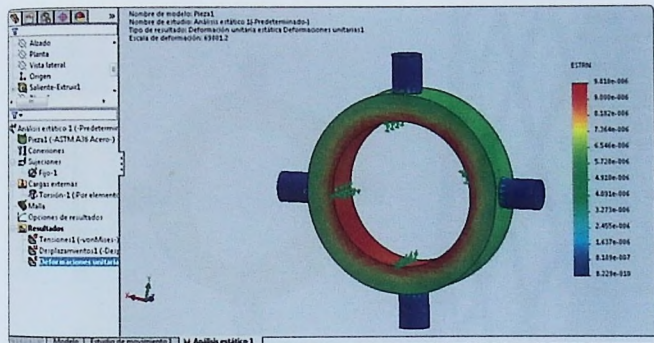
Paso 14. En Resultados, haga clic en Tensiones1 (-vonMises-).



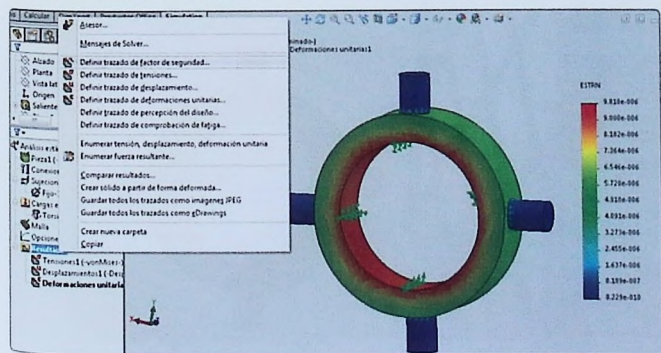
Paso 15. En Resultados, haga clic en Desplazamientos1.



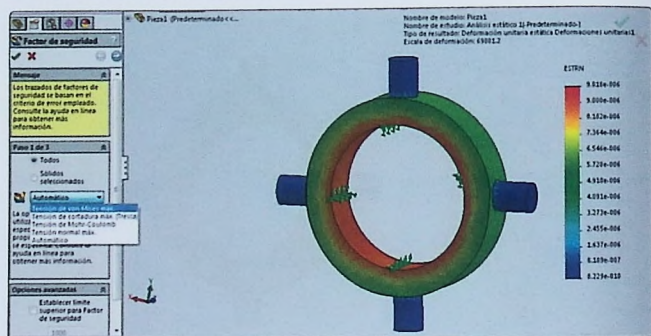
Paso 16. En Resultados, haga clic en Deformaciones unitarias.



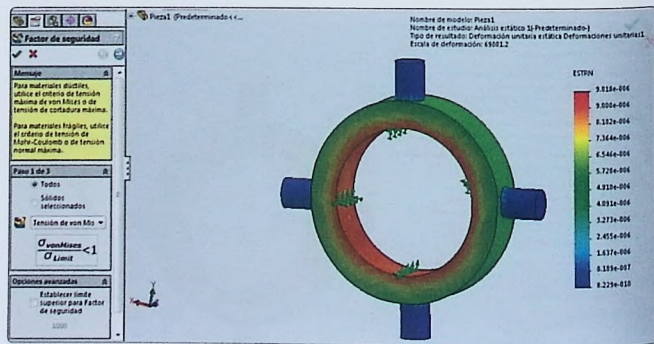
Paso 17. Para conocer el factor de seguridad, haga clic con el botón derecho del ratón en Resultados y en Definir trazado de factor de seguridad.



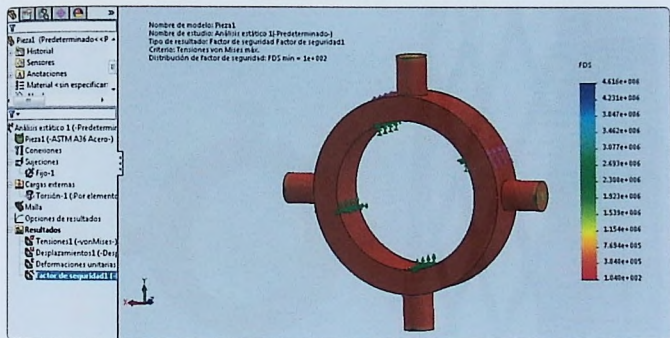
Paso 18. Seleccione Tensión de von Mises máx.



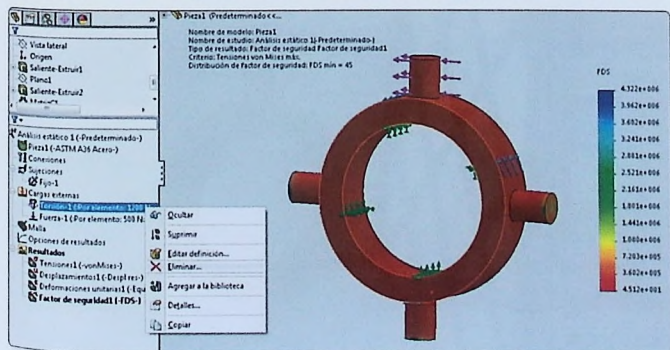
Paso 19. Haga clic en Aceptar.



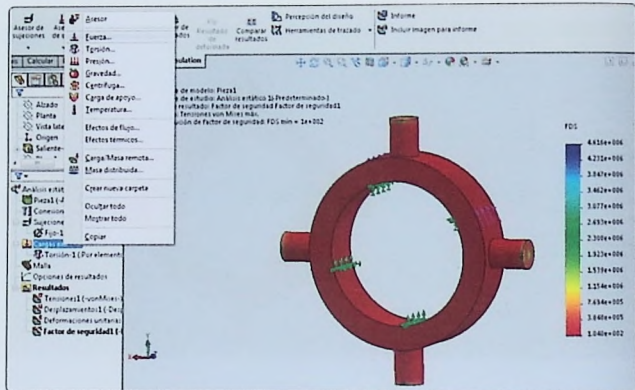
Paso 20. Ante un factor de seguridad tan alto (100), se pueden realizar dos acciones: se cambia el material o se coloca más carga, de acuerdo al objetivo para el que fue diseñada la pieza.



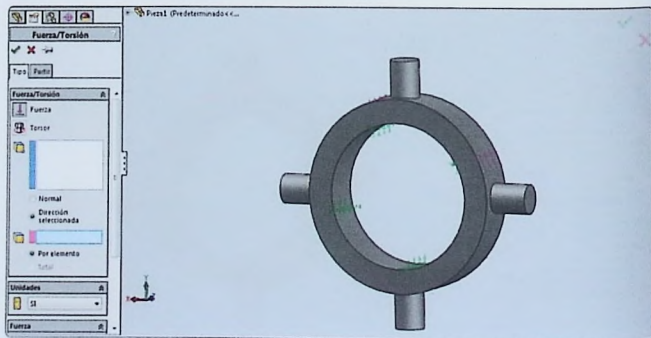
Paso 21. Para aplicar más carga, coloque una fuerza en uno de los salientes cilíndricos de la pieza. Además, puede aumentar el valor del torsor o eliminar el torsor inicial, y colocar el nuevo valor.

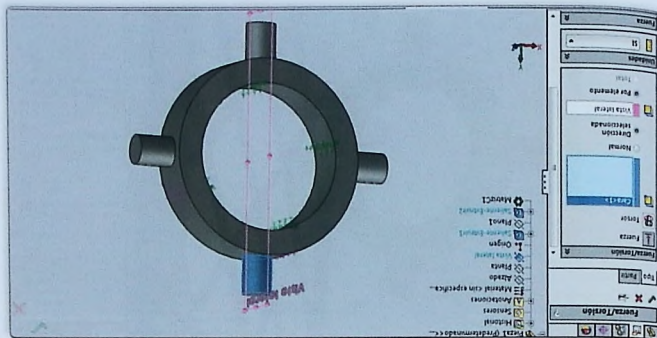


Paso 22. Aplique la opción Fuerza.

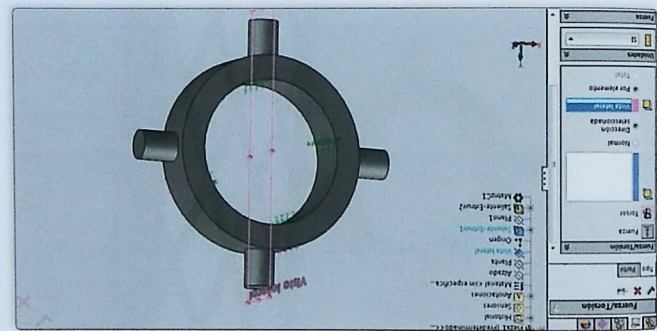


Paso 23. Para aplicar la fuerza, trabaje con el dibujo original.



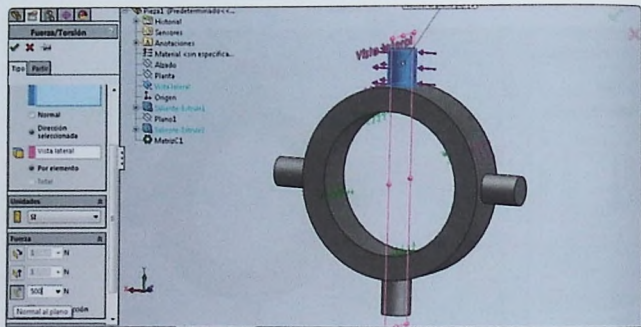


Paso 25. La vista lateral permite que la parte cilíndrica se convierta en 'Cara<1>'.>

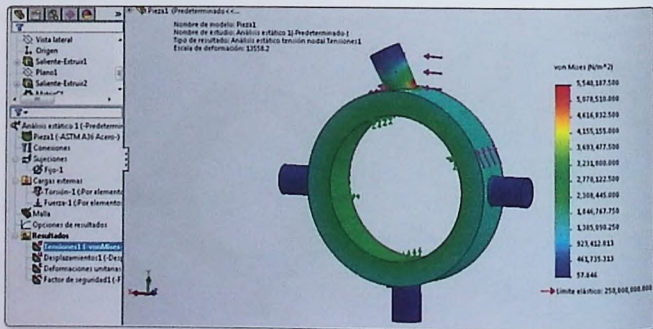


Paso 24. Despliegue la opción **Pieza**, ubicada en la zona de gráficos, y seleccione **Vista lateral** para que la fuerza sea normal a dicho plano, esta aparecerá en la segunda ventana izquierda.

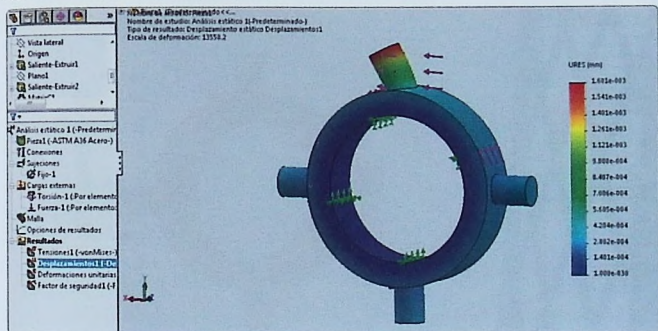
Paso 26. Aplique 500 N de valor a la opción **Fuerza** y haga clic en **Aceptar**.



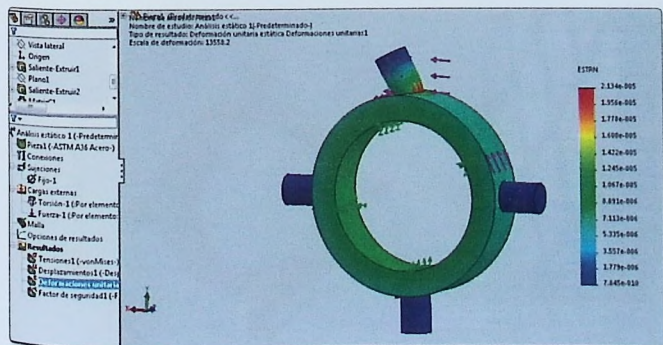
Paso 27. Seleccione **Análisis estático lineal**, haga clic en **Ejecutar** y obtendrá nuevos resultados. Luego, haga clic en **Tensiones** para que aparezcan nuevos valores.



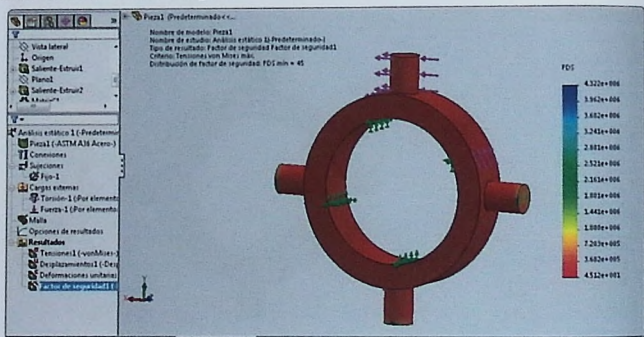
Paso 28. Seleccione **Análisis estático lineal**, haga clic en **Ejecutar** y obtendrá nuevos resultados. Luego, haga clic en **Desplazamientos 1** para que aparezcan nuevos valores.



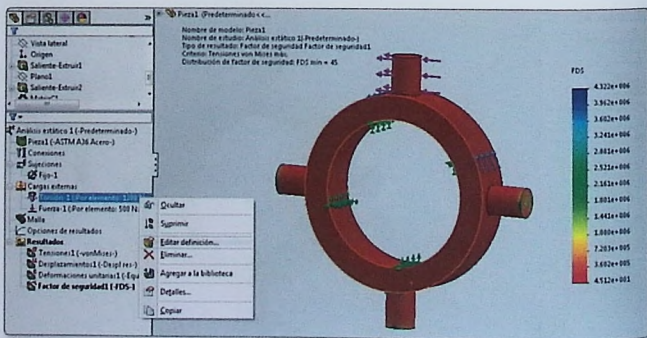
Paso 29. Seleccione **Análisis estático lineal**, haga clic en **Ejecutar** y obtendrá nuevos resultados. Luego, haga clic en **Deformaciones unitarias** para que aparezcan nuevos valores.



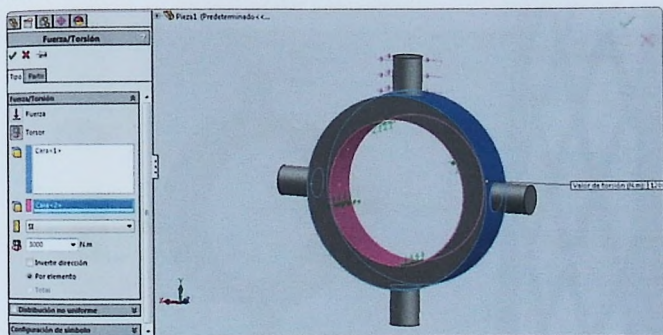
Paso 30. Se observa que el factor de seguridad es 45, debido a la presencia de la fuerza y el nuevo torsor con un valor menor al original.



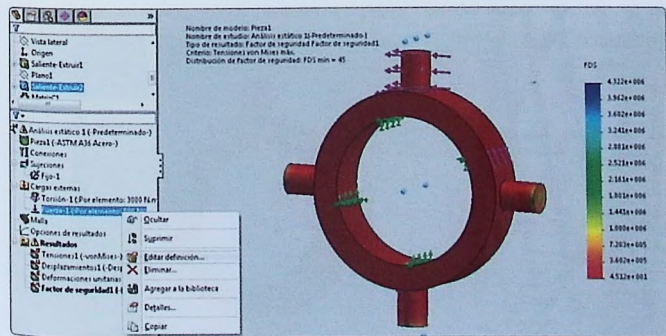
Paso 31. Como el factor de seguridad aún sigue siendo alto, se cambian algunas cargas. Para ello, haga clic en **Cargas externas** y seleccione **Editar definición**.



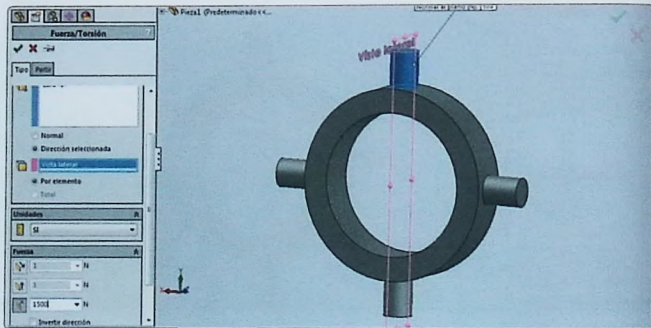
Paso 32. Cambie el torsor a 3000 Nm y haga clic en **Aceptar** (al inicio era 1200 Nm).



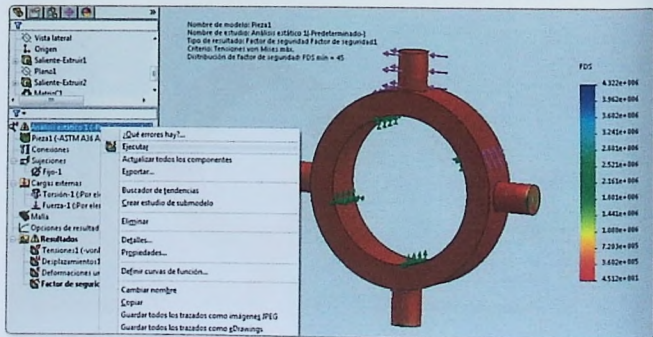
Paso 33. Haga lo mismo que en la indicación anterior, pero con la opción **Fuerza**.



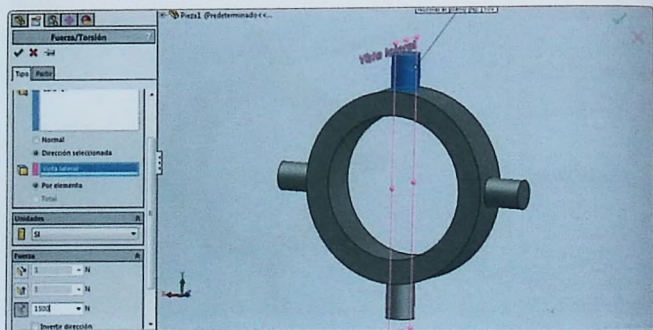
Paso 34. Sobre la base del criterio anterior, cambie la fuerza a 1500 N. Es decir, despliegue la pieza dentro de la zona de gráficos y seleccione **Vista lateral**, haga clic y realice lo que aparece en el gráfico.



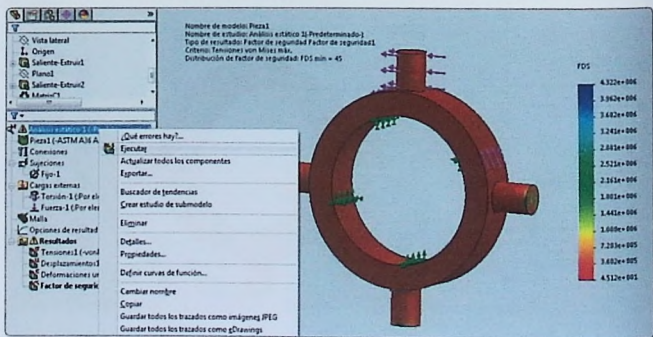
Paso 35. Seleccione **Análisis estático 1**, haga clic en **Ejecutar** y obtendrá nuevos resultados.



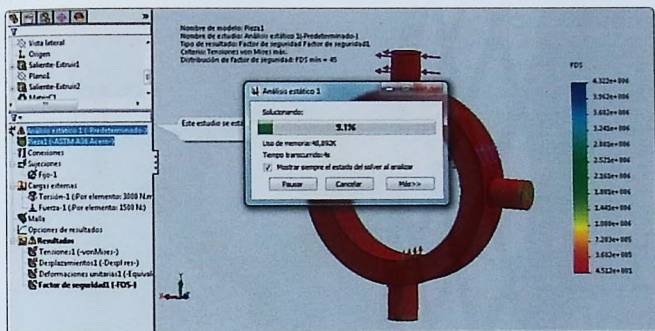
Paso 34. Sobre la base del criterio anterior, cambie la fuerza a 1500 N. Es decir, despliegue la pieza dentro de la zona de gráficos y seleccione **Vista lateral**, haga clic y realice lo que aparece en el gráfico.



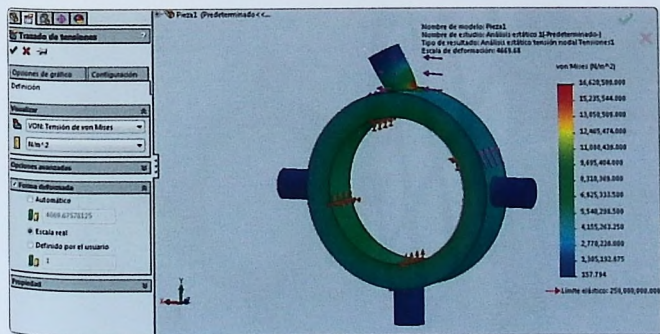
Paso 35. Seleccione **Análisis estático 1**, haga clic en **Ejecutar** y obtendrá nuevos resultados.



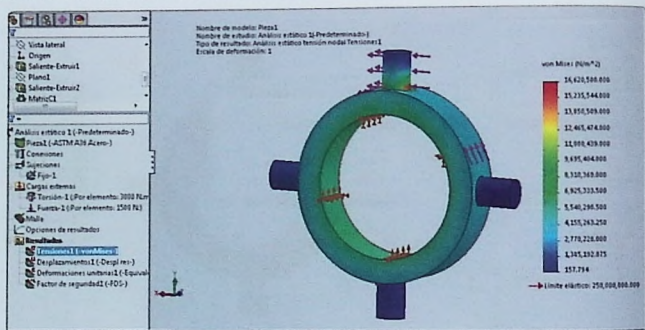
Paso 36. El solver está solucionando.



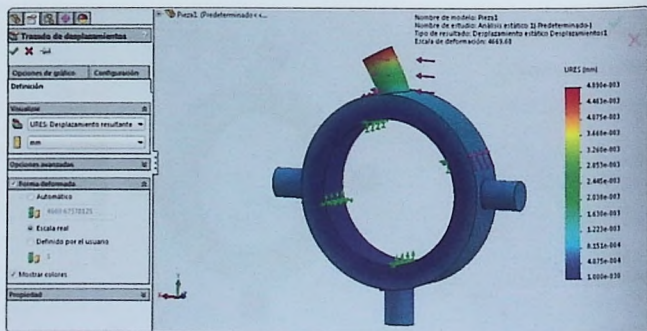
Paso 37. En el menú Trazado de tensiones, haga clic en la opción Escala real (escala 1.1).



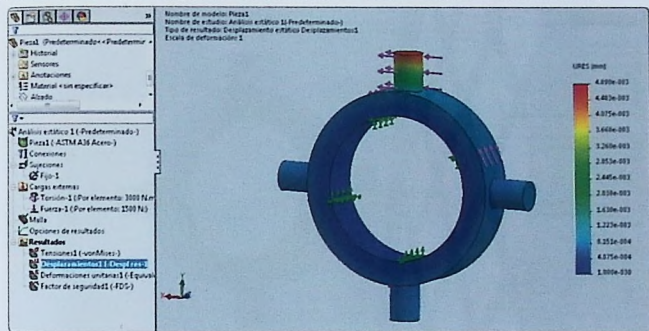
Paso 38. Los resultados son diferentes del caso inicial, pero aún es seguro.



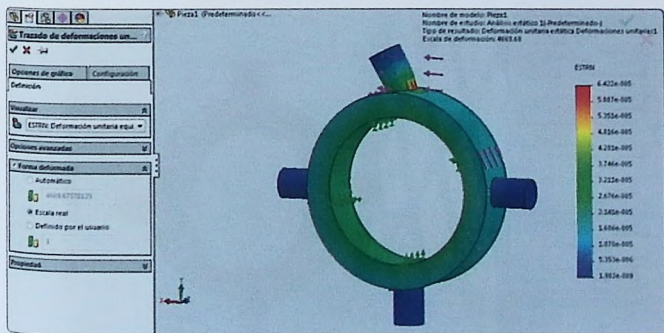
Paso 39. Coloque los desplazamientos en la opción Escala real.



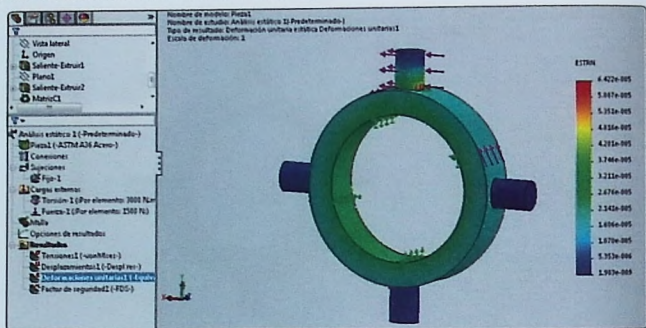
Paso 40. Los resultados arrojan que el valor máximo es 0.00489 m, lo cual es bastante bajo.



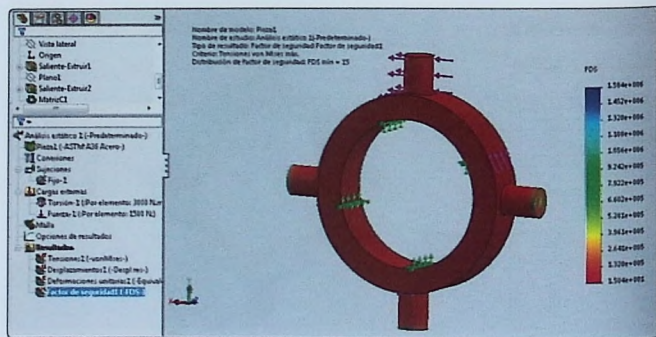
Paso 41. El valor de las deformaciones unitarias es bajo.



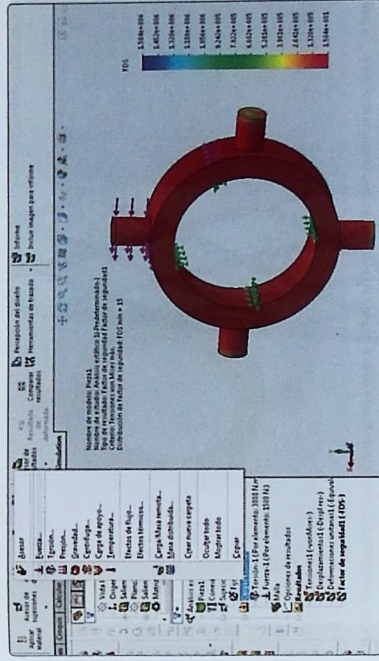
Paso 42. Los valores obtenidos son bastante bajos.



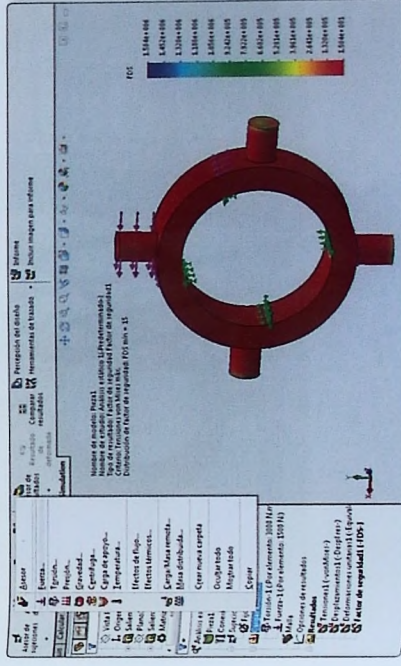
Paso 43. El factor de seguridad bajó a 15, pero aún sigue siendo alto para criterios de diseño mecánico.



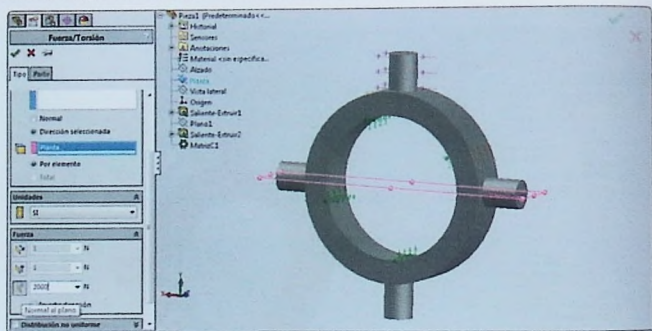
Paso 44. Realice una última simulación para bajar el factor de seguridad con cambio de carga, pero primero empiece con la fuerza.



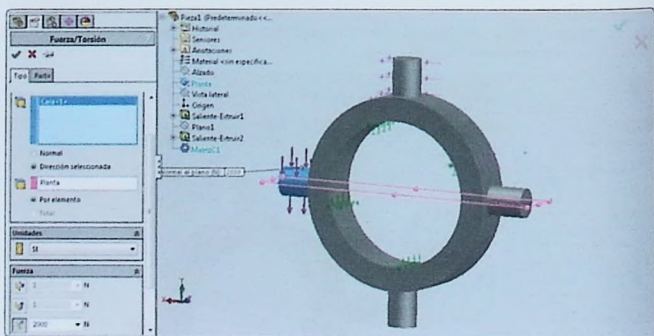
Paso 45. Aplique carga a una segunda parte cilíndrica, previo despliegue de la pieza de la zona de gráficos, y luego seleccione el plano de planta.



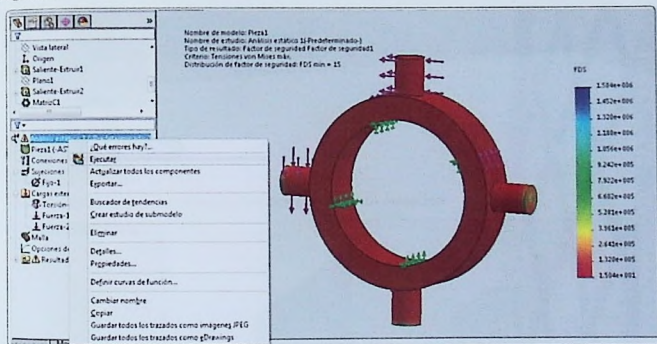
Paso 46. Asigne una fuerza de 2000 N, tal como se aprecia en la figura.



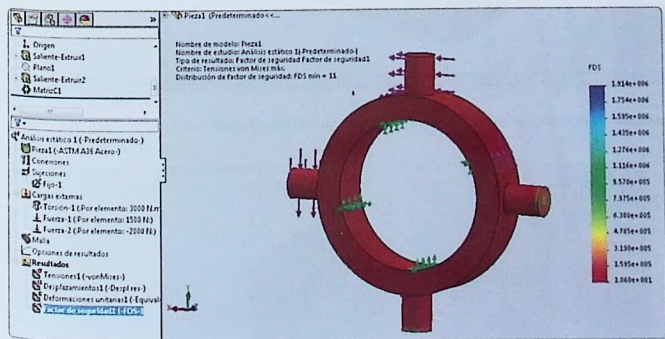
Paso 47. Asigne una fuerza normal al plano de planta, a veces tiene que invertir la dirección de la fuerza de acuerdo a su preferencia.



Paso 48. Ejecute el programa para ver los nuevos resultados, solo debe prestarle atención al factor de seguridad.



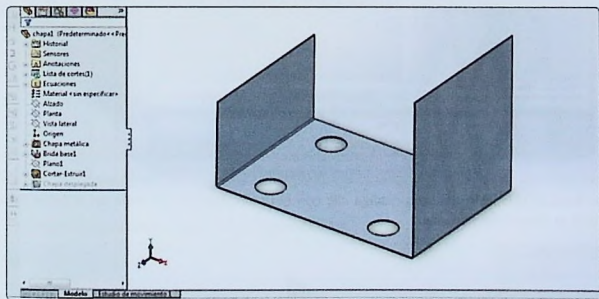
Paso 49. Observe que ahora el factor de seguridad es 11, cantidad bastante baja. Así, de manera sucesiva, puede ir aplicando cargas más altas y definir hasta qué punto la pieza diseñada no colapsará.



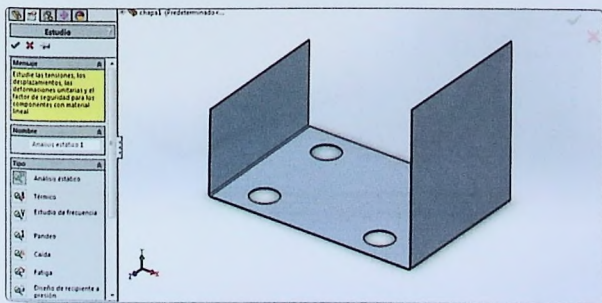
5.1 CHAPA METÁLICA 1

5.1.1 Aplicación

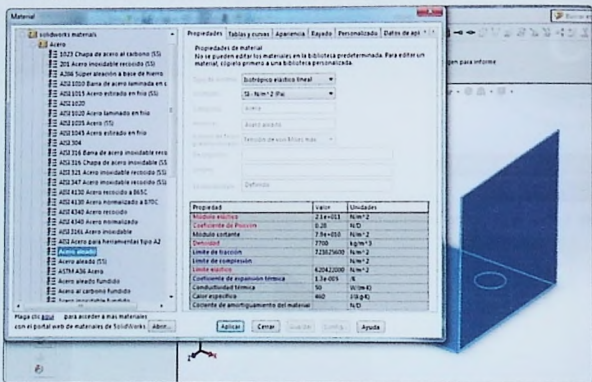
Paso 1. Evalúe el comportamiento mecánico de la pieza mostrada.



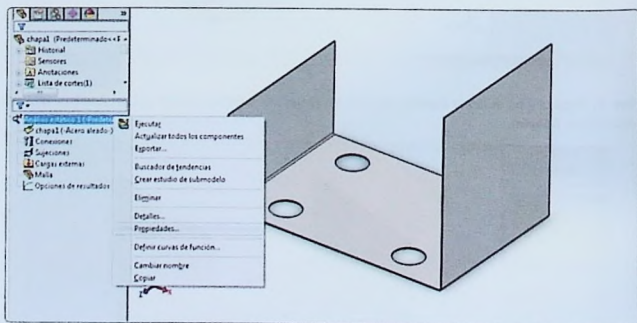
Paso 2. Haga clic en el ícono **Estudio**, escriba en la opción **Nombre**, elija la opción **Análisis estático** y haga clic en **Aceptar**.



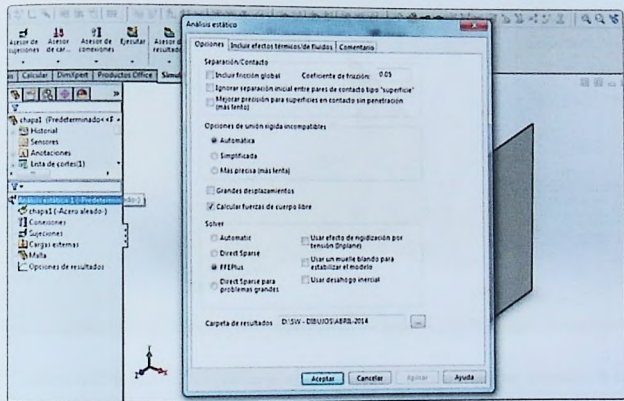
Paso 3. En el gestor de diseño, seleccione **Material** y haga clic en la opción **Acero aleado**.



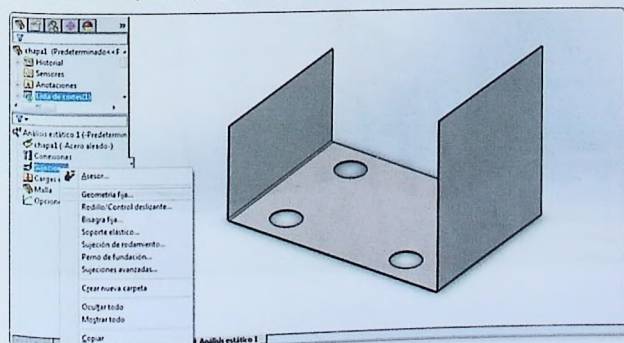
Paso 4. Para la selección del **solver**, haga clic con el botón derecho del ratón en el ícono **Estudio**, y seleccione la opción **Propiedades**.



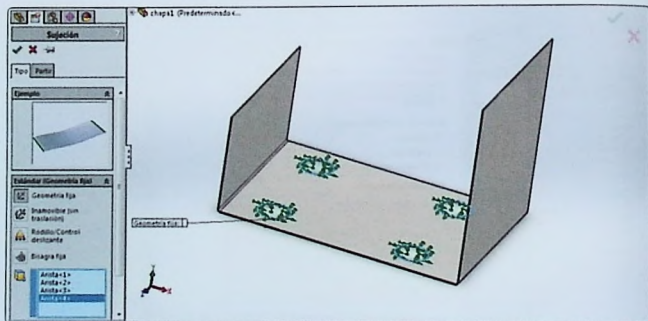
Paso 5. Observe cómo seleccionar el solver FFEPlus.



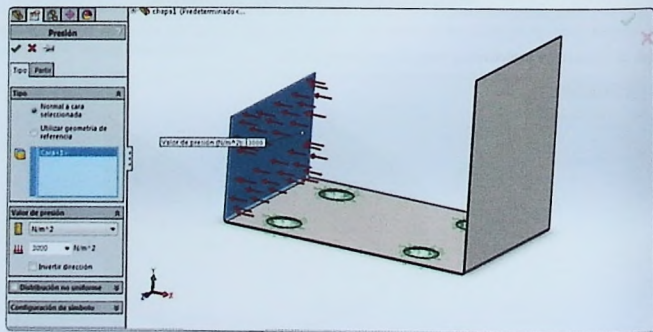
Paso 6. Seleccione Sujeciones y haga clic en Geometría fija.



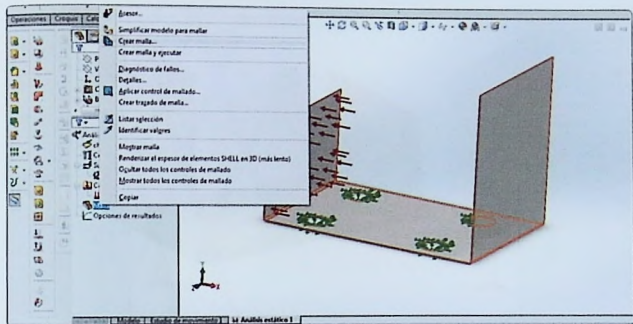
Paso 7. Seleccione los cuatro agujeros para fijarlos.



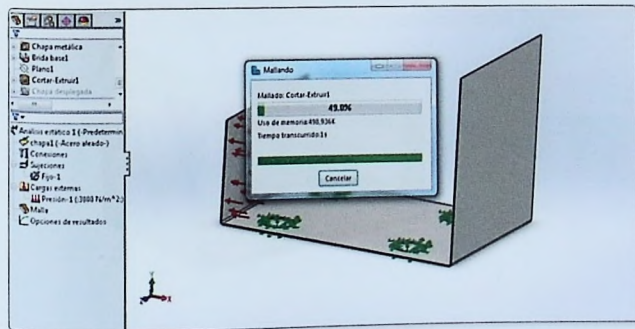
Paso 8. Determine las cargas externas y aplique la carga de presión con un valor de 3000 N/m².



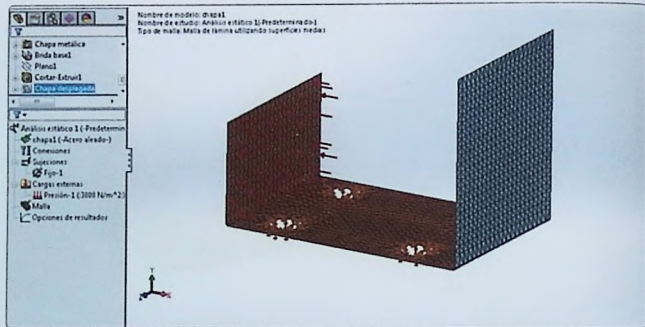
Paso 9. Haga clic en Malla y seleccione la opción Crear malla.



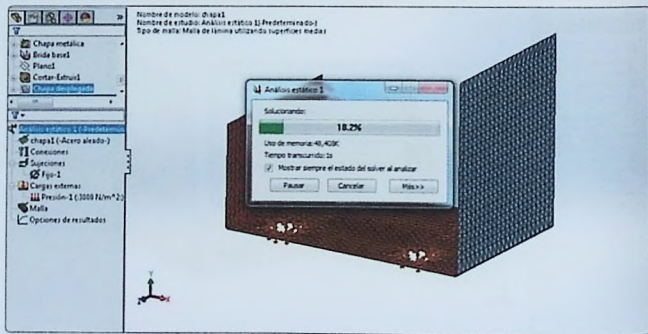
Paso 10. El malla se está refinando.



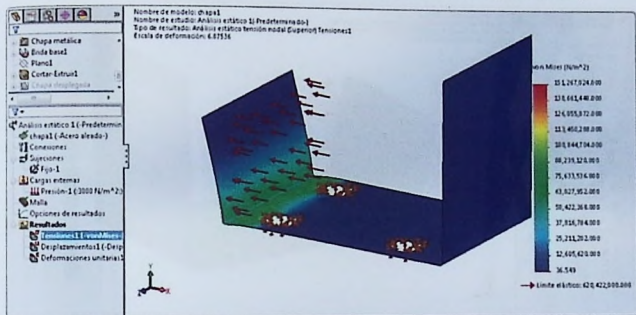
Paso 11. El mallado ha sido completado.



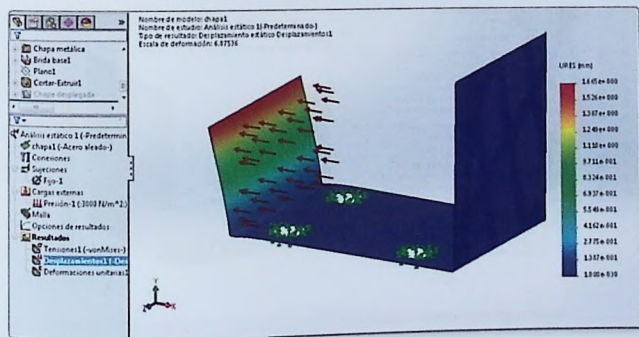
Paso 12. Ejecute para mostrar resultados.



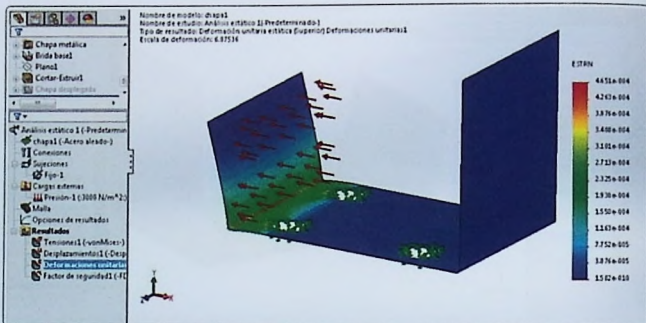
Paso 13. Despliegue la opción **Resultados** y haga clic en la opción **Tensiones1 (-von Mises-)**.



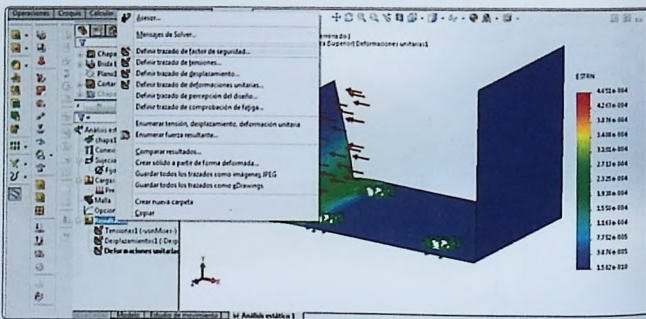
Paso 14. Haga clic en **Desplazamientos1**. Se observa que el desplazamiento máximo es 1.665 mm.



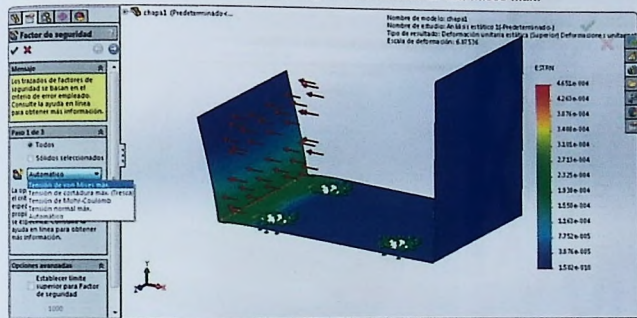
Paso 15. En el ícono Resultados, haga clic en Deformaciones unitarias.



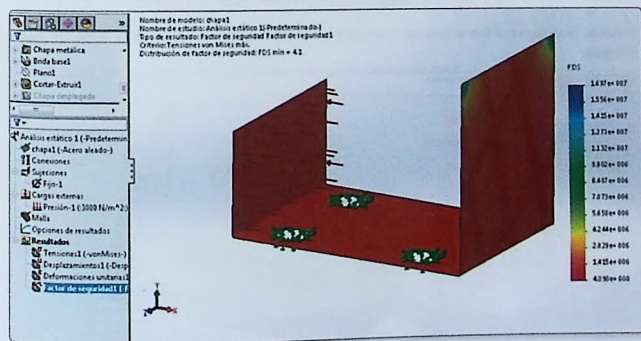
Paso 16. Haga clic en Definir trazado de factor de seguridad.



Paso 17. Despliegue la pestaña Automático y haga clic en Tensión de von Mises máx.



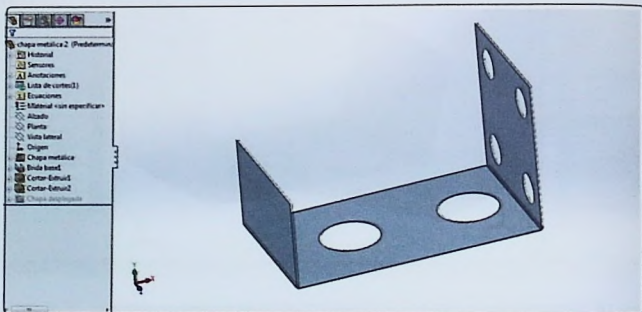
Paso 18. Se observa que el valor es 4.1, el cual está dentro de los límites permisibles del diseño.



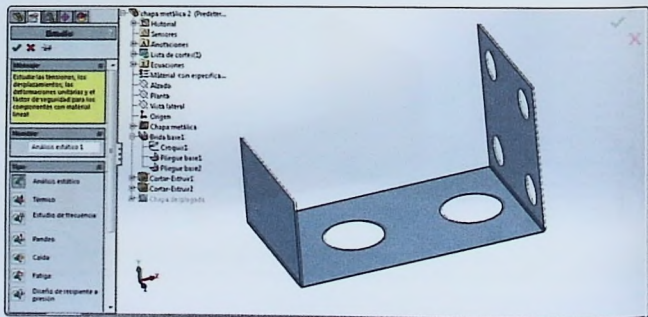
5.2 CHAPA METÁLICA 2

5.2.1 Aplicación

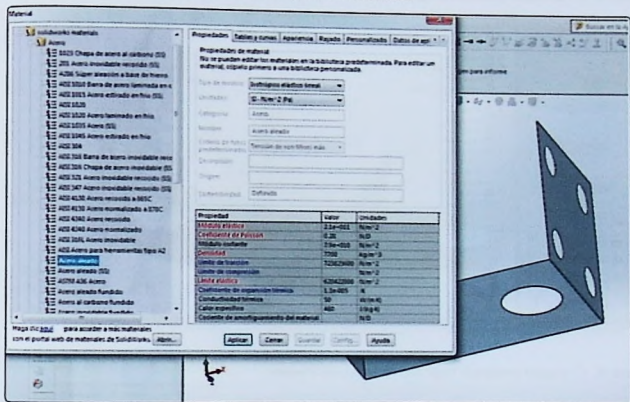
Paso 1. Se trabajará con la pieza que se observa en la figura.



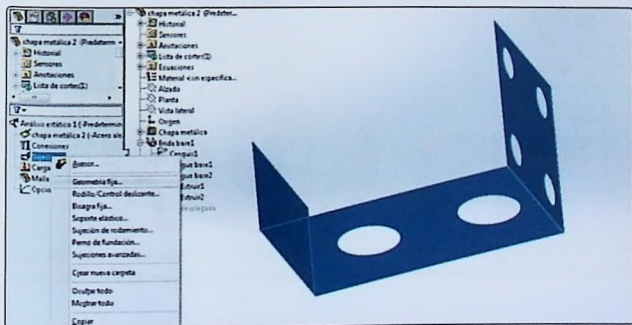
Paso 2. Seleccione el ícono **Estudio** y coloque el nombre respectivo; luego, elija la opción **Análisis estático**.



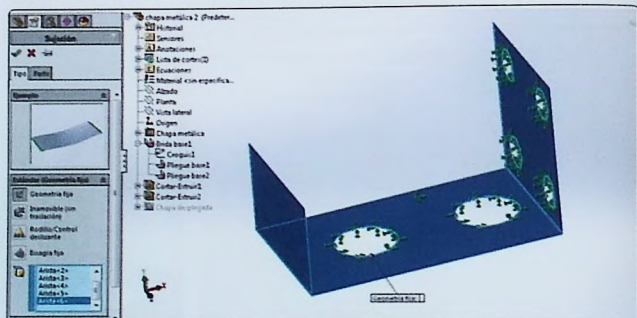
Paso 3. Seleccione **Material** y haga clic en la opción **Acero aleado**.



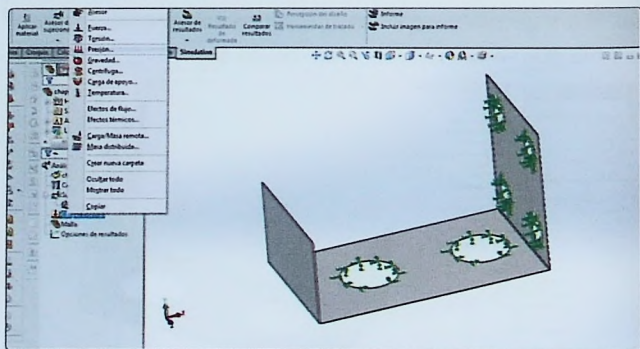
Paso 4. Haga clic en **Sujecciones** y seleccione la opción **Geometría fija**.



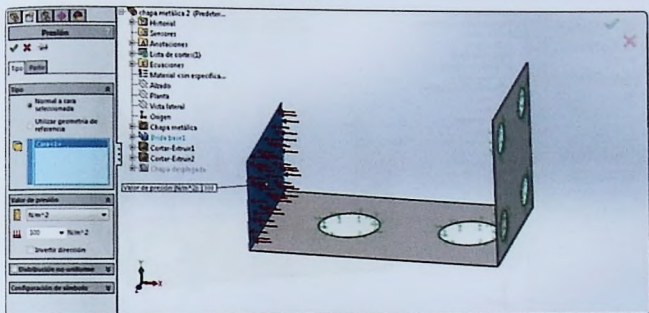
Paso 5. En Estándar (Geometría fija), seleccione la opción Arista<6>.



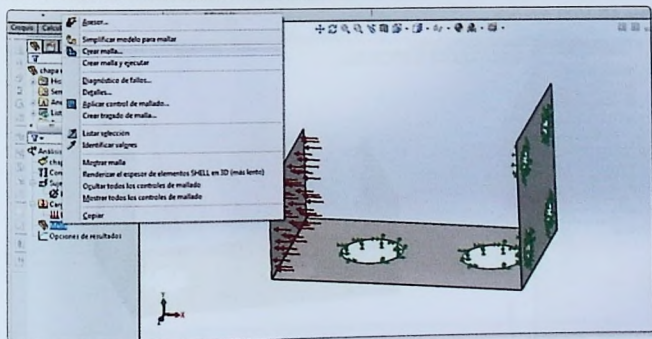
Paso 6. En Cargas externas, haga clic en la opción Presión.



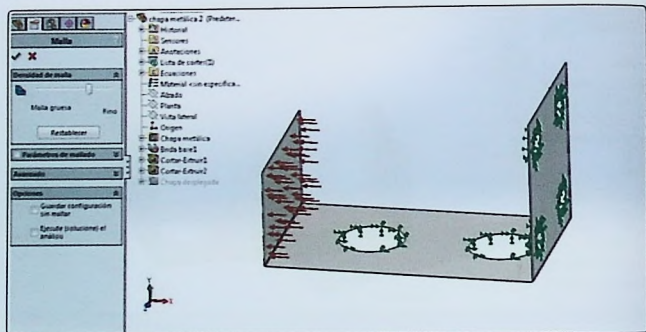
Paso 7. Aplique una carga de presión de 300 Pa.



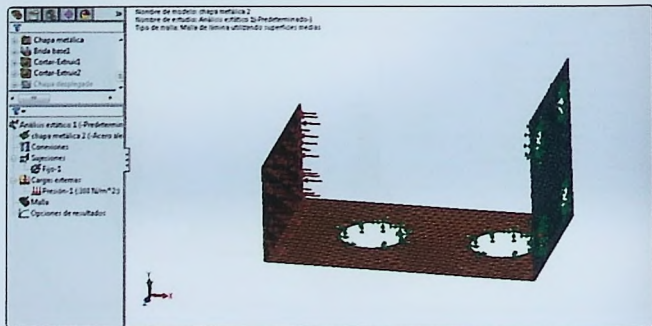
Paso 8. Seleccione Malla y haga clic en Crear malla.



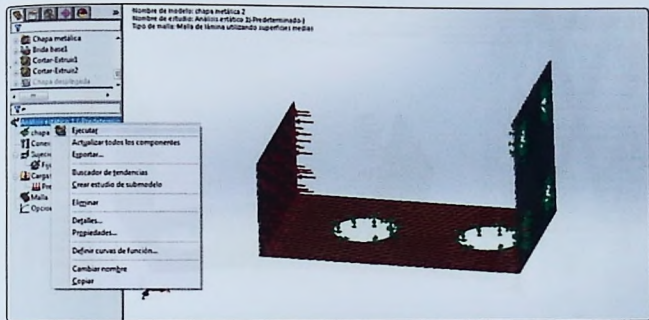
Paso 9. La malla se está refinando.



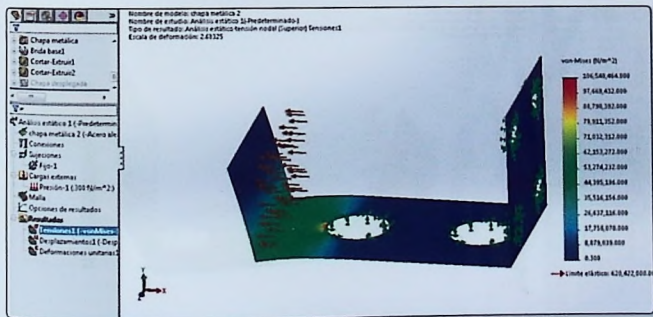
Paso 10. Malla generada



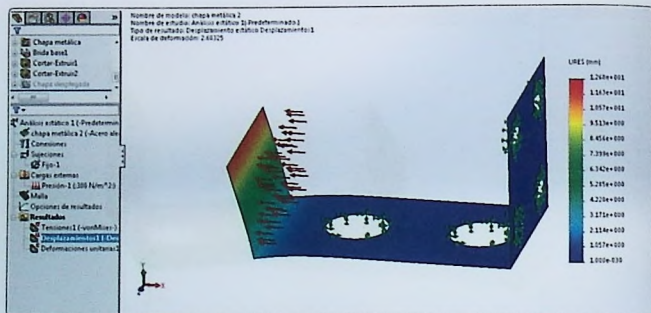
Paso 11. Ejecutando el solver.



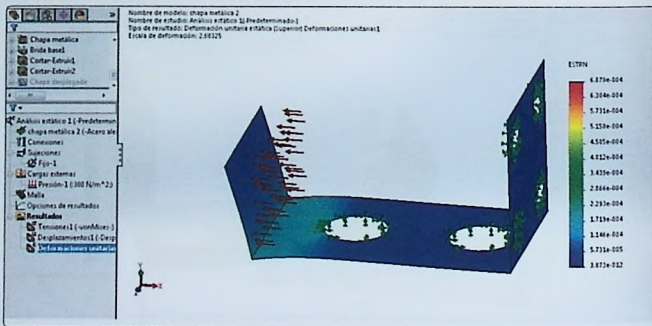
Paso 12. Haga clic en Resultados y seleccione la opción Tensiones 1 (-vonMises-).



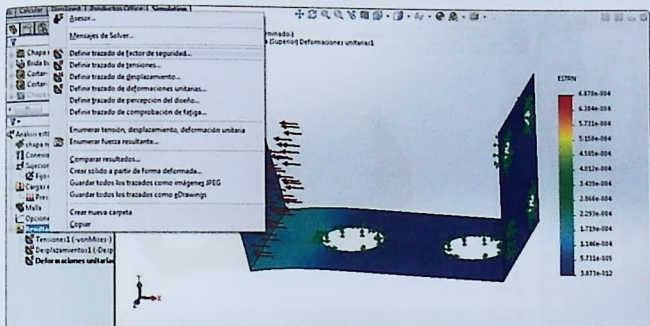
Paso 13. Haga clic en **Resultados** y seleccione la opción **Desplazamientos1**.



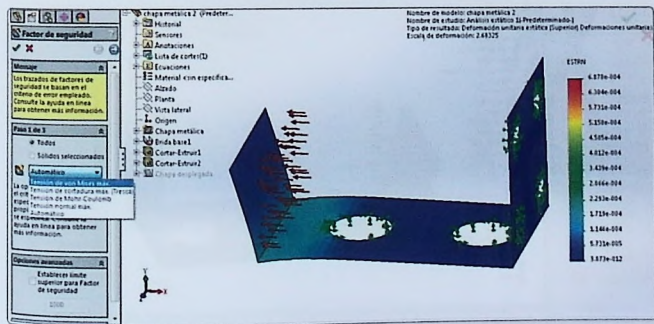
Paso 14. En **Resultados**, haga clic en **Deformaciones unitarias**.



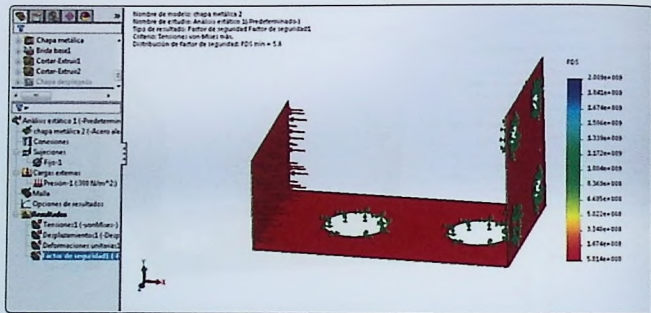
Paso 15. Haga clic en **Resultados** y seleccione la opción **Definir trazado de factor de seguridad**.



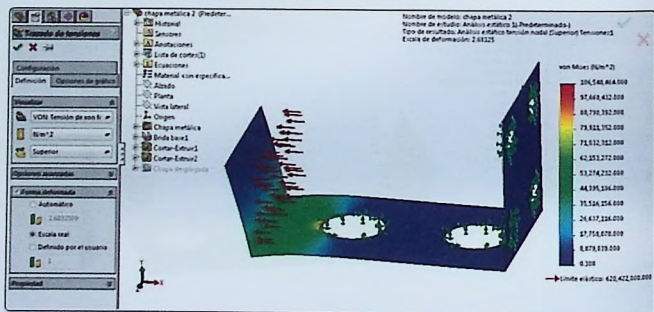
Paso 16. Despliegue la pestaña **Automático** y seleccione la opción **Tensión de von Mises máx.**



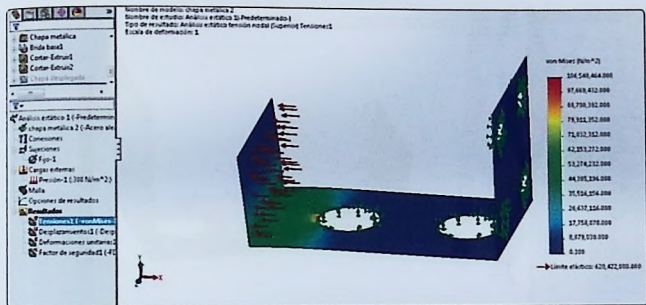
Paso 17. El valor mínimo de la distribución del factor de seguridad es 5.8.



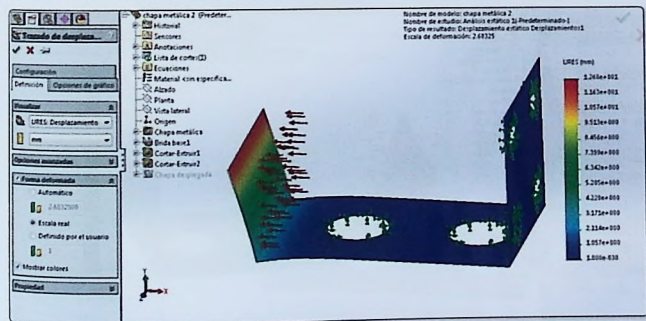
Paso 18. Resultados tensionales a escala 1:1



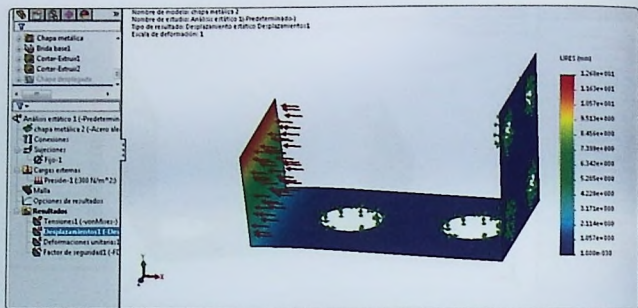
Paso 19. En Resultados, haga clic en Tensiones 1 (-vonMises-).



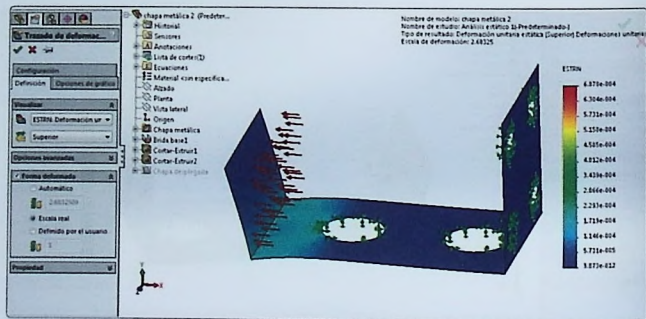
Paso 20. Desplazamientos



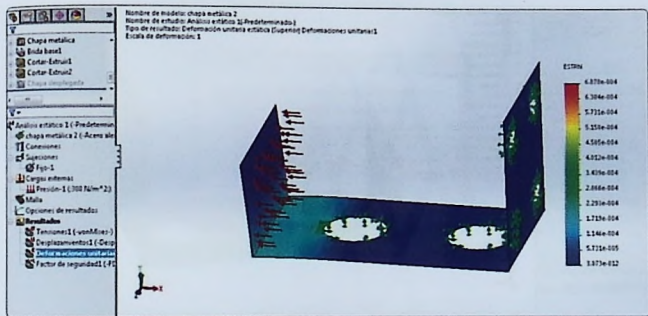
Paso 21. En Resultados, haga clic en Desplazamientos 1.



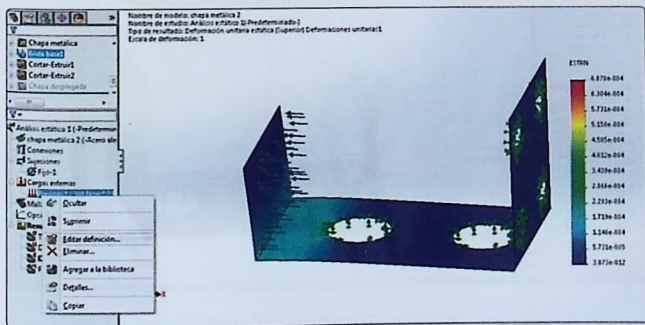
Paso 22. En Forma deformada, haga clic en Escala real.



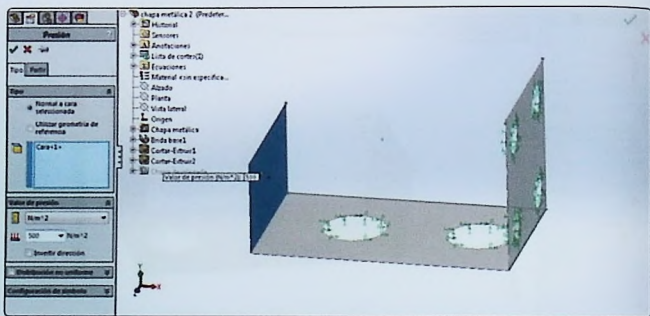
Paso 23. En Resultados, haga clic en **Deformaciones unitarias**.



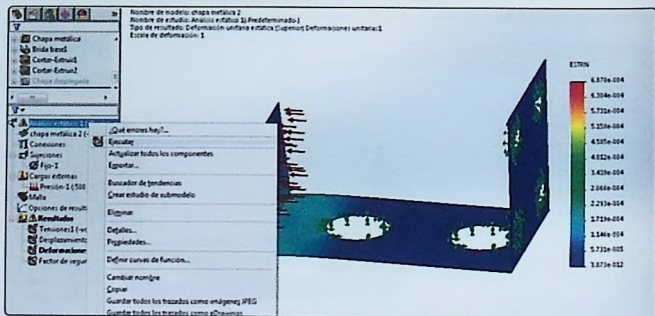
Paso 24. Como el factor de seguridad es un poco alto, puede aplicar una presión mayor, para lo cual debe elegir la opción **Editar definición**, tal como aparece en la figura.



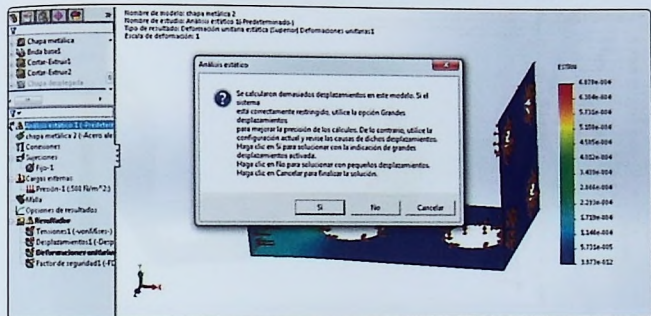
Paso 25. La nueva presión es 500 N/m².



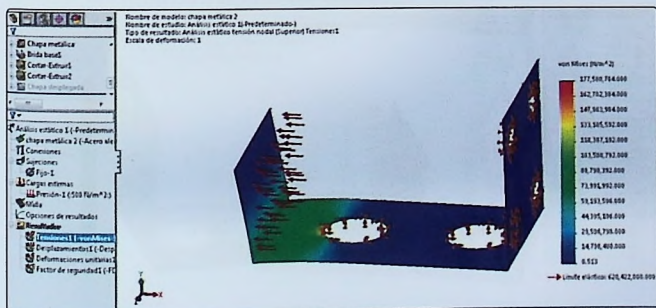
Paso 26. Nuevamente, haga clic en la opción Ejecutar.



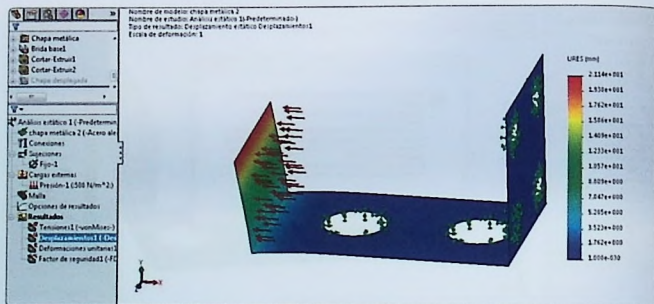
Paso 27. En caso de que aparezca el cuadro de diálogo mostrado, haga clic en la opción No.



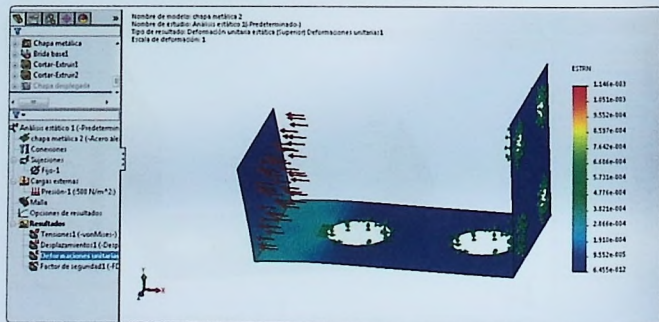
Paso 28. En la siguiente figura, se puede observar el nuevo estado tensional.



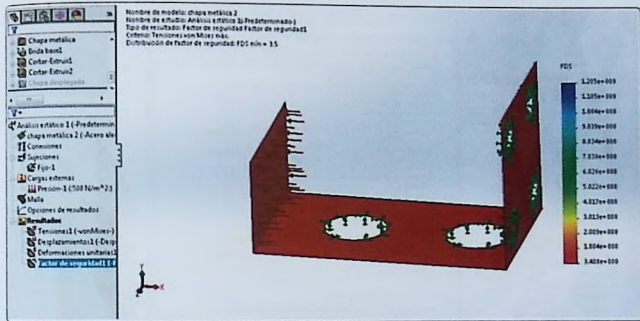
Paso 29. Con respecto al desplazamiento, se observa que el valor máximo es $21 \text{ mm} = 2.1 \text{ cm}$.



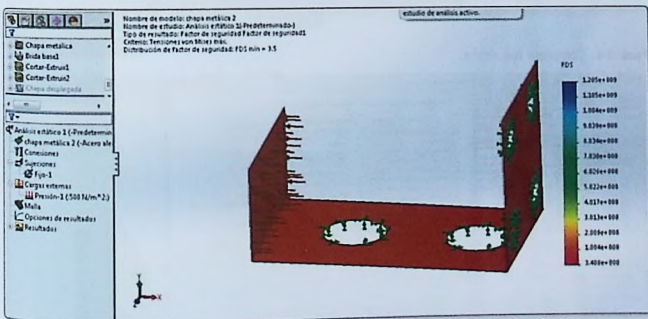
Paso 30. En el ícono Resultados, haga clic en la opción Deformaciones unitarias.



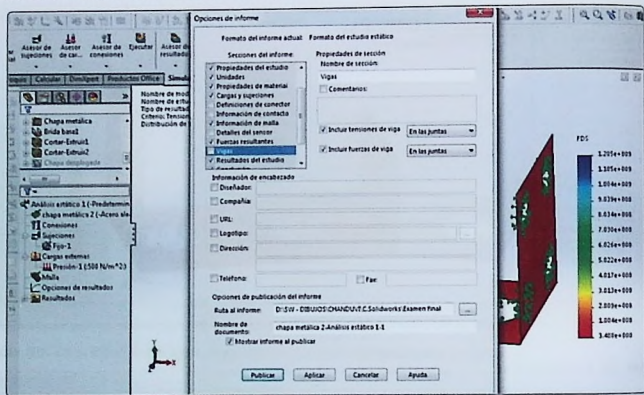
Paso 31. En el ícono Resultados, haga clic en la opción Factor de seguridad, el cual bajó a 3.5.



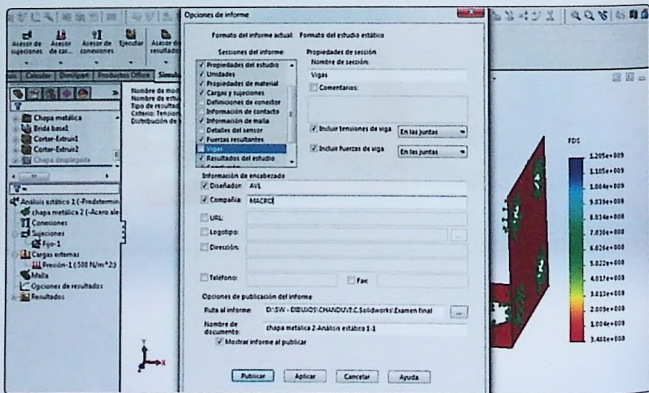
Paso 32. El informe final



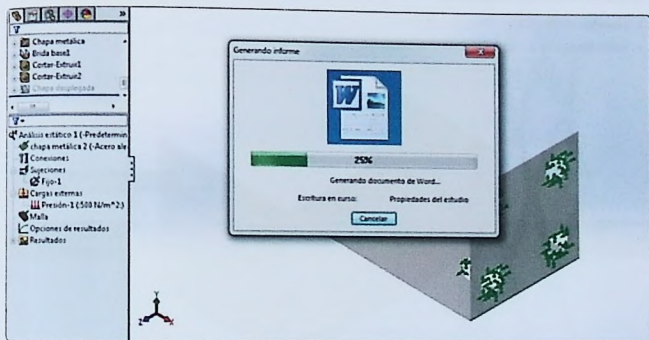
Paso 33. Desactive los detalles no contemplados.



Paso 34. Complete los datos.



Paso 35. Publicación del informe



5.3 SIMULACIÓN DE LA CHAPA METÁLICA 2

5.3.1 Descripción

- ▲ Fecha: miércoles, 23 de abril de 2014.
- ▲ Diseñador: AVL
- ▲ Nombre de estudio: Análisis estático 1
- ▲ Tipo de análisis: Análisis estático

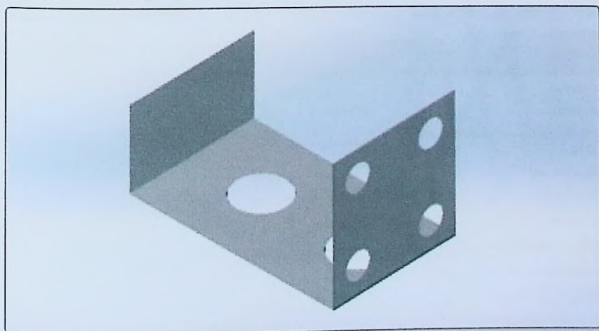


Fig. 5.1 Chapa metálica
Imagen tomada por el autor

5.3.2 Información del modelo

- ▲ Nombre del modelo: Chapa metálica 2
- ▲ Configuración actual: Predeterminado

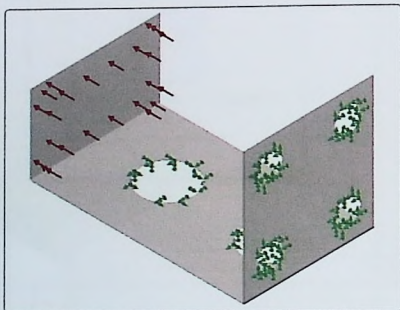


Fig. 5.2 Chapa metálica 2
Imagen tomada por el autor


5.3.3 Propiedades del estudio

Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies medias
Efecto térmico	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SolidWorks Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane)	Desactivar
Muelle blando	Desactivar
Desahogo Inercial	Desactivar
Opciones de unión rígida Incompatibles	Automática
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SolidWorks (D:\SW - DIBUJOS\CHANDUVIC Solidworks) Examen final)


5.3.4 Unidades


Sistema de unidades	métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	kelvin
Velocidad angular	rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

5.3.5 Propiedades del material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: Acero aleado	Sólido 1 (Cortar-Extruir2) (Chapa metálica 2)
	Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal	
	Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises	
	Límite elástico: 6.20422e+008 N/m ²	
	Límite de tracción: 7.23826e+008 N/m ²	
	Módulo elástico: 2.1e+011 N/m ²	
	Coefficiente de Poisson: 0.28	
	Densidad: 7700 kg/m ³	
	Módulo cortante: 7.9e+010 N/m ²	
	Coefficiente de dilatación térmica: 1.3e-005 /kelvin	
Datos de curva: N/A		

5.3.6 Cargas y sujeciones

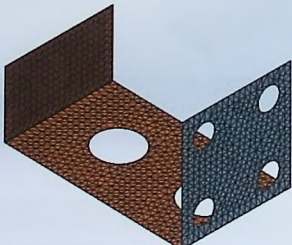
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 6 aristas Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción (N)	11.9197	0.00252295	-0.00600019	11.9197
Momento de reacción (Nm)	0.00140681	-0.000295226	-0.402127	0.402129

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Presión-1		Entidades: 1 cara Tipo: Normal a cara seleccionada Valor: 500 Unidades: N/m ² Ángulo de fase: 0 Unidades: deg

5.3.7 Información de la malla

Tipo de malla	Malla con elementos Shell de superficies medias
Mallador utilizado	Malla estándar
Transición automática	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla	Desactivar
Puntos jacobianos	4 puntos
Tamaño de elementos	10.7112 mm
Tolerancia	0.535558 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

5.3.8 Información de la malla - detalles

Número total de nodos	4353
Número total de elementos	2046
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:01
Nombre de computadora	USUARIO-PC
Nombre de modelo: chapa metálica 2 Nombre de estudio: Análisis estático 1 (Predefinido) Tipo de malla: Malla de lámina utilizando superficies medias	
	

5.3.9 Fuerzas resultantes

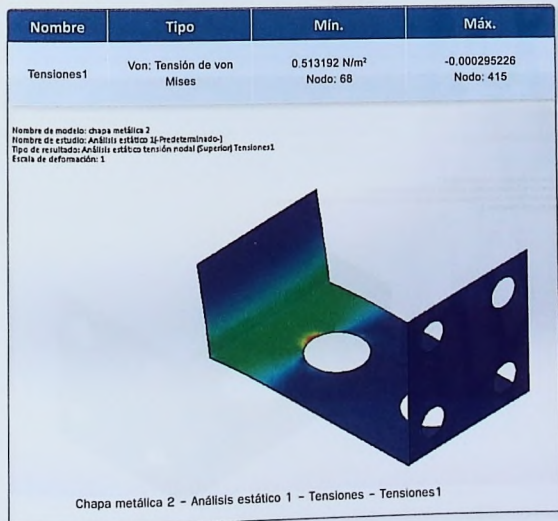
Fuerzas de reacción

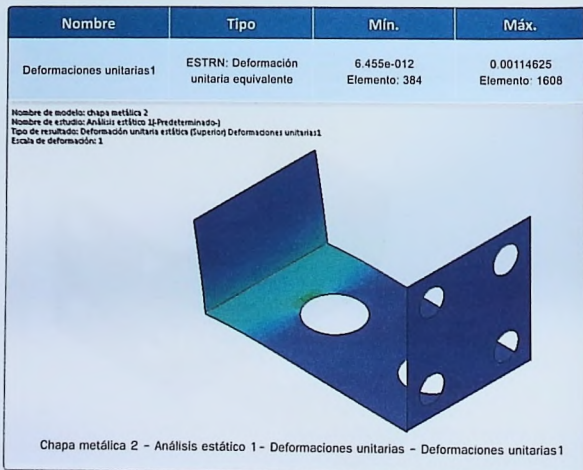
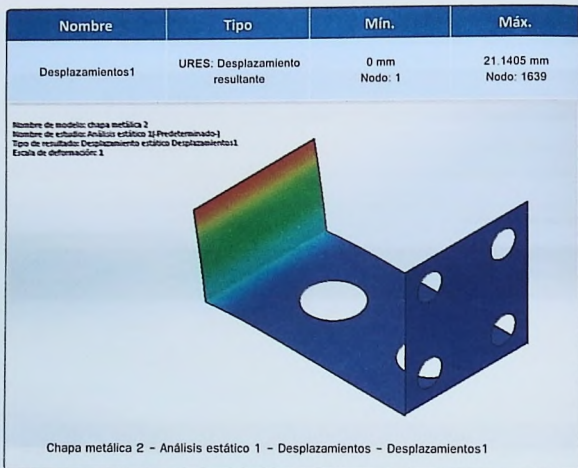
Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el modelo	N	11.9197	0.00252295	-0.00600019	11.9197

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el modelo	Nm	0.00140681	-0.000295226	-0.402127	0.402129

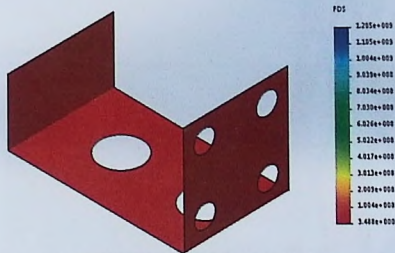
Resultados del estudio





Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	3.48828 Nodo: 415	1.20517e+009 Nodo: 68

Nombre de modelo: Chapa metálica 2
 Nombre de estudio: Análisis estático 1 (Predeterminado)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
 Criterio: Tensiones von Mises máx.
 Distribución de factor de seguridad: FOS mín = 1.5



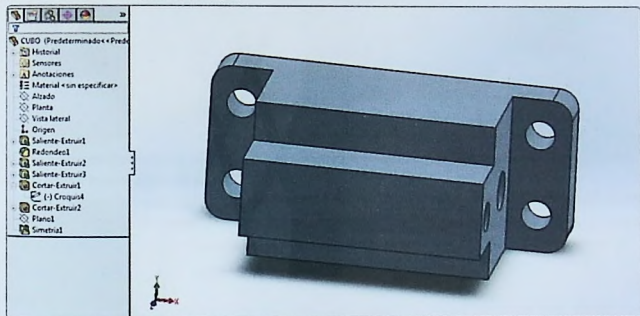
Chapa metálica 2 – Análisis estático 1 – Factor de seguridad – Factor de seguridad1

Conclusión

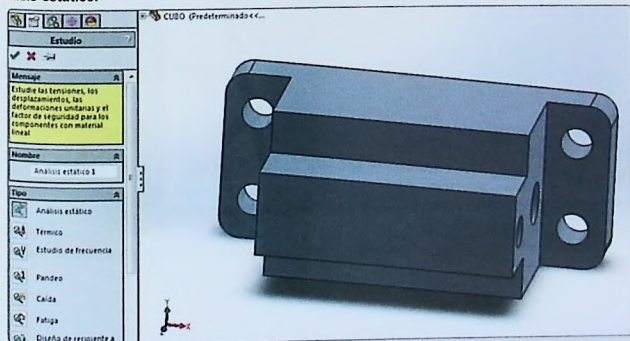
En esta parte el diseñador debe colocar su apreciación a cerca del diseño y análisis de la pieza.

6.1 ESTUDIO 1

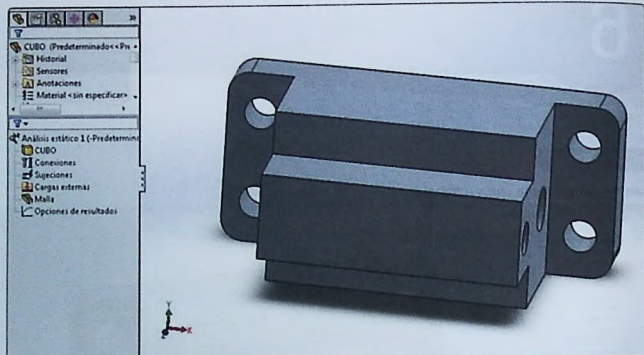
Paso 1. Seleccione la pieza a trabajar.



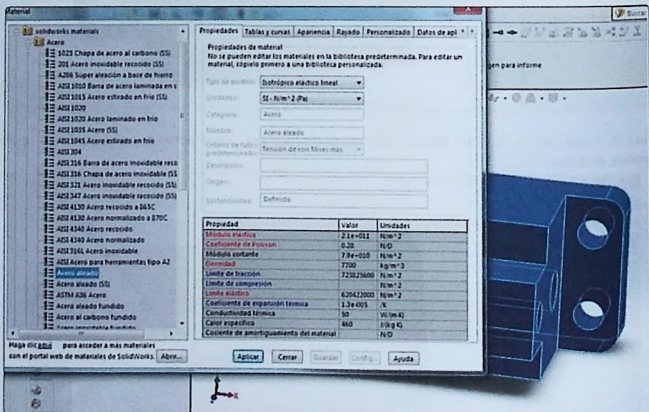
Paso 2. Haga clic en el ícono **Estudio**, escriba el nombre del nuevo estudio y seleccione la opción **Análisis estático**.



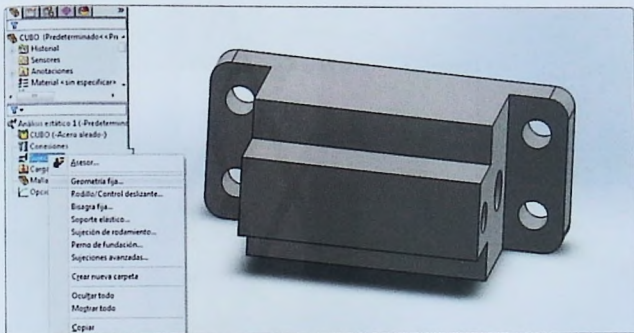
Paso 3. Gestor de simulación



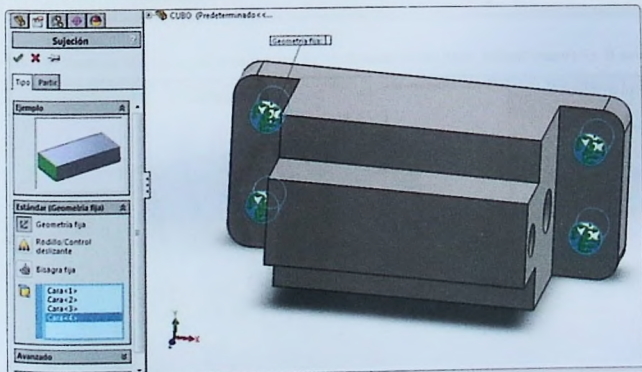
Paso 4. En el ícono Material, seleccione la opción Acero aleado.



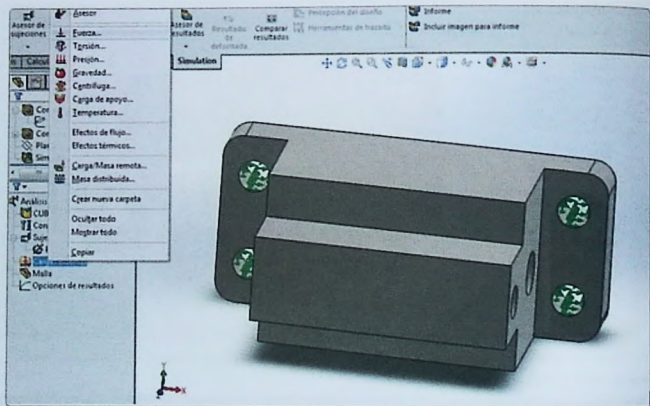
Paso 5. Haga clic en el icono Sujeciones y seleccione la opción Geometría fija.



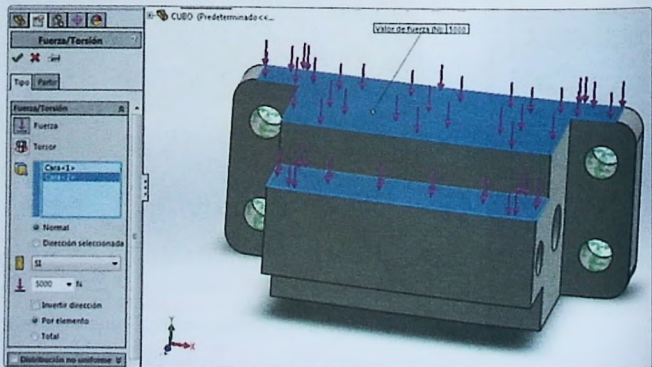
Paso 6. Haga cuatro sujeciones.



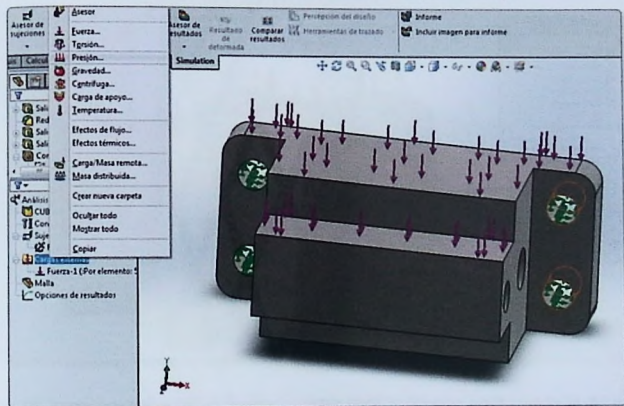
Paso 7. En el ícono **Cargas externas**, seleccione la opción **Fuerza (5000 N)**.



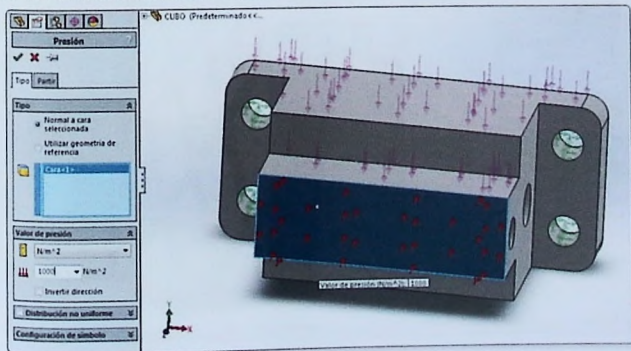
Paso 8. En **Fuerza/Torsión**, haga clic en **Cara<2>**.



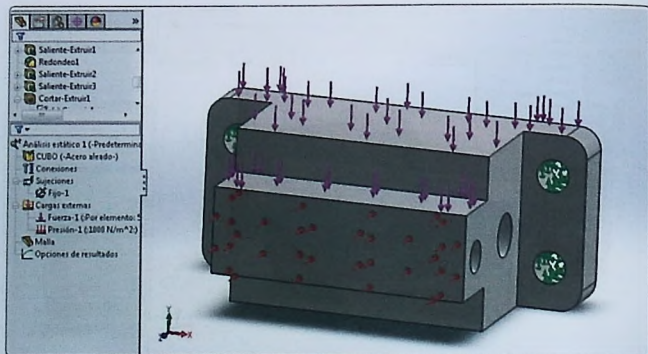
Paso 9. En el ícono Cargas externas, haga clic en la opción Presión (1000 N/m^2).



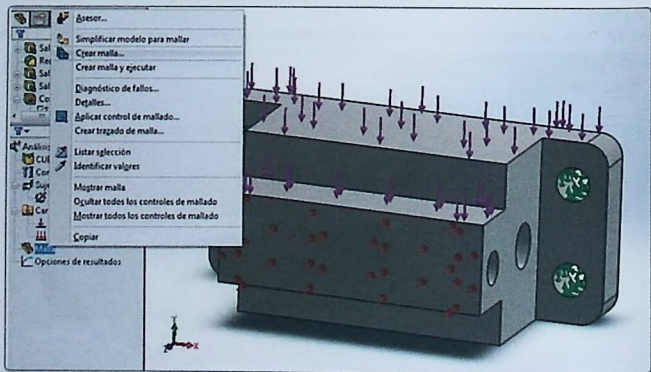
Paso 10. Como se observa, el valor de presión es 1000 N/m^2 .



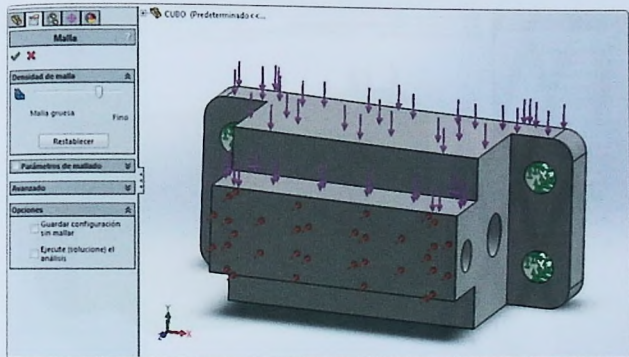
Paso 11. El modelo quedará tal como aparece en la figura.



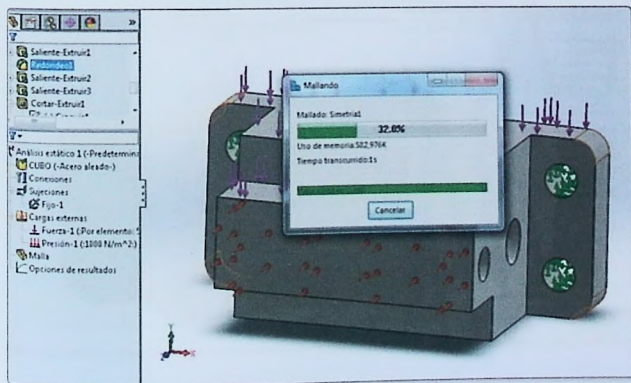
Paso 12. En el ícono Malla, haga clic en Crear malla.



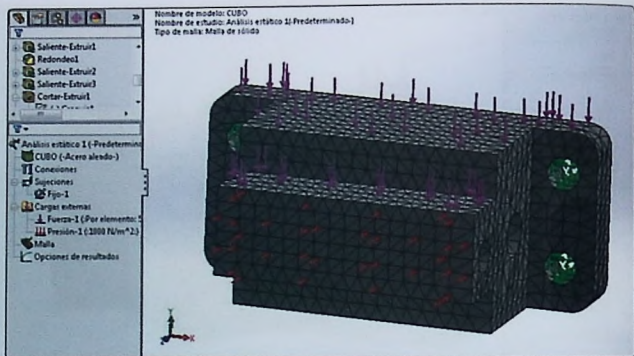
Paso 13. Refine la malla.



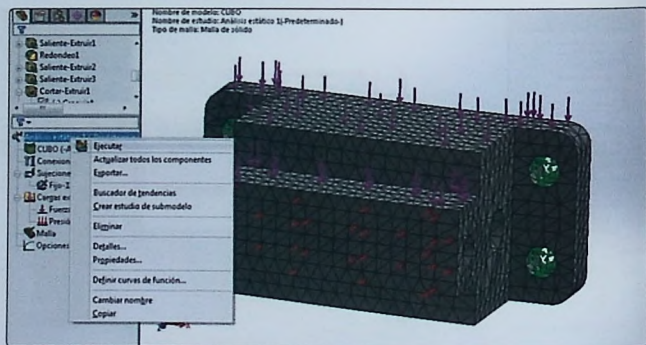
Paso 14. Procesando la creación de la malla.



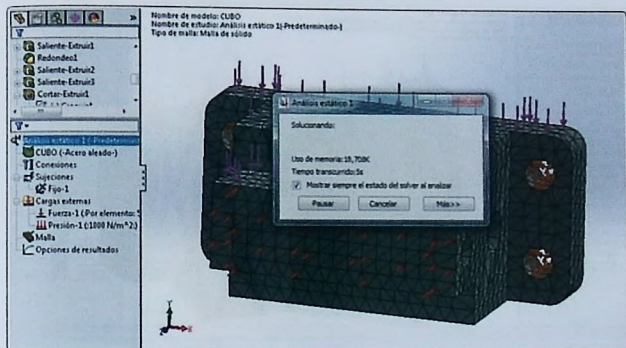
Paso 15. El modelo está mallado completamente con las cargas asignadas.



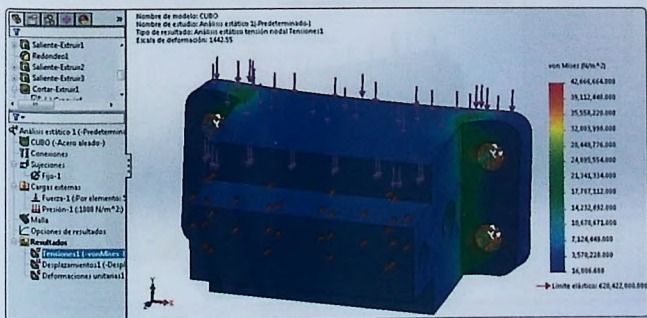
Paso 16. En el ícono Análisis estático 1, haga clic en la opción Ejecutar.



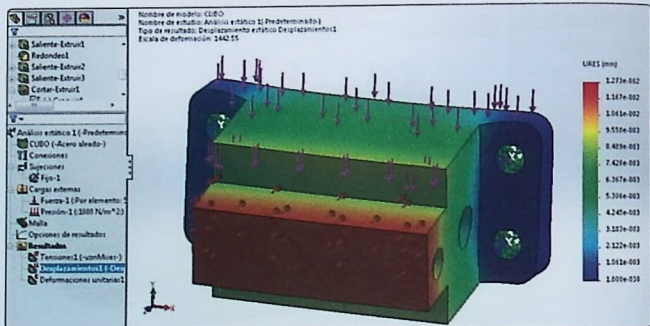
Paso 17. El solver comienza a resolver para obtener los resultados.



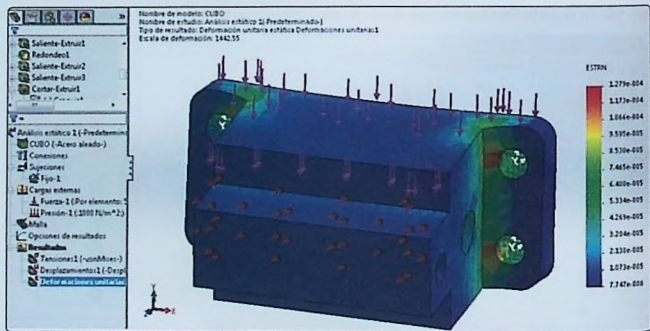
Paso 18. En el ícono Resultados, haga clic en la opción Tensiones1.



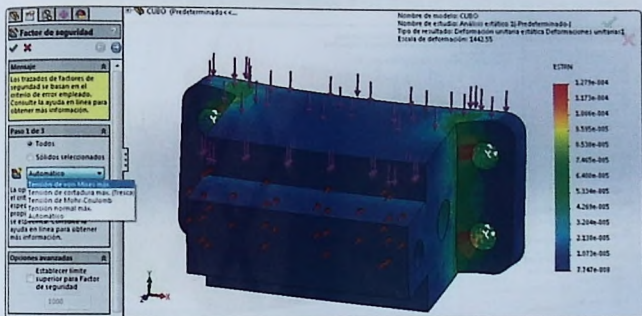
Paso 19. En el ícono Resultados, haga clic en la opción Desplazamientos1.



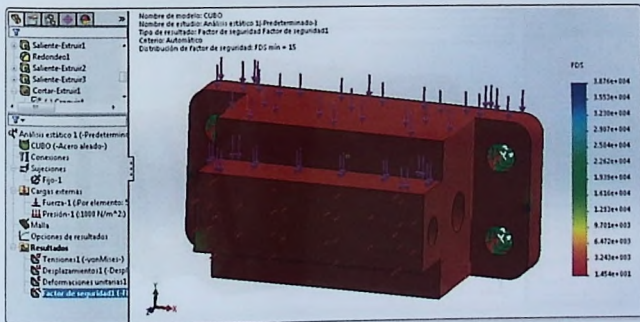
Paso 20. En el ícono Resultados, haga clic en Deformaciones unitarias.



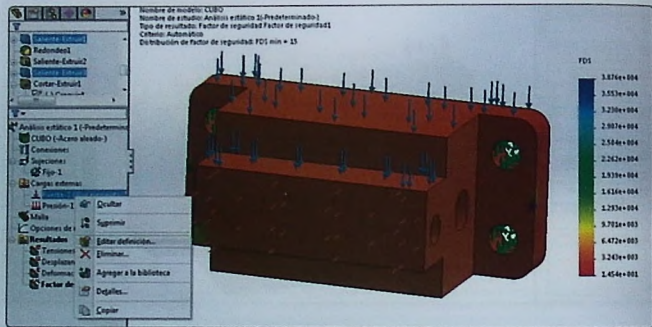
Paso 21. En el ícono **Factor de seguridad**, haga clic en la viñeta **Automático** y elija la opción **Tensión de von Mises máx.**



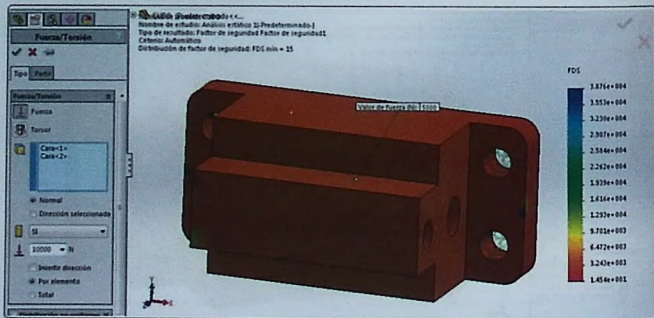
Paso 22. En el ícono **Resultados**, haga clic en el **Factor de seguridad1**. Se observa que la distribución del factor de seguridad es bastante alta.



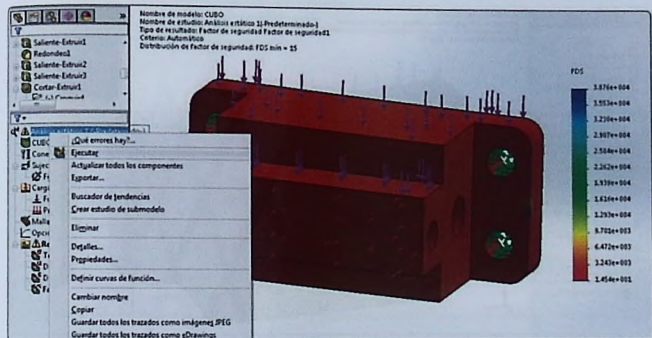
Paso 23. En el ícono **Cargas externas**, haga clic en **Fuerza1** y elija la opción **Editar definición**. Al ser la distribución del factor de seguridad bastante alta, la pieza puede soportar más carga; por ello, es conveniente cambiar las cargas de fuerza por el doble del valor (10 000 N).



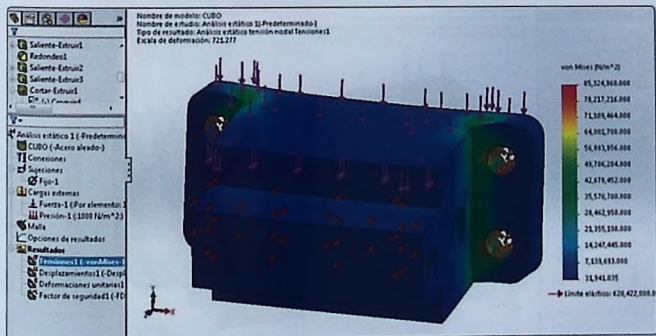
Paso 24. Ingrese el nuevo valor y haga clic en **Aceptar**.



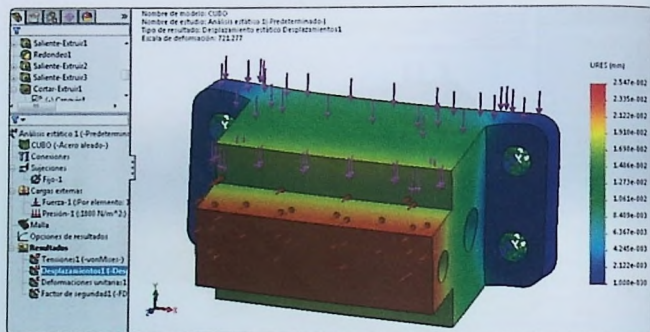
Paso 25. Haga clic con el botón derecho del ratón en **Análisis estático 1** y elija la opción **Ejecutar**.



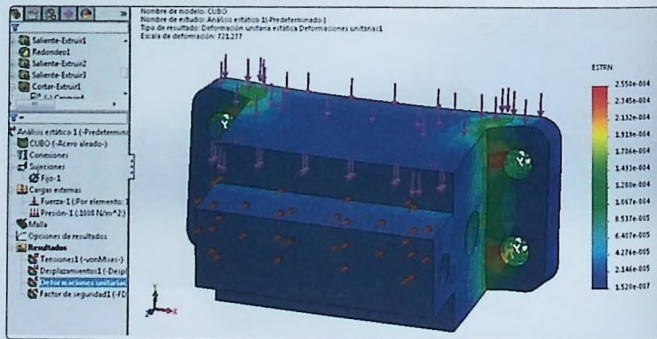
Paso 26. En el ícono **Resultados**, elija la opción **Tensiones 1**.



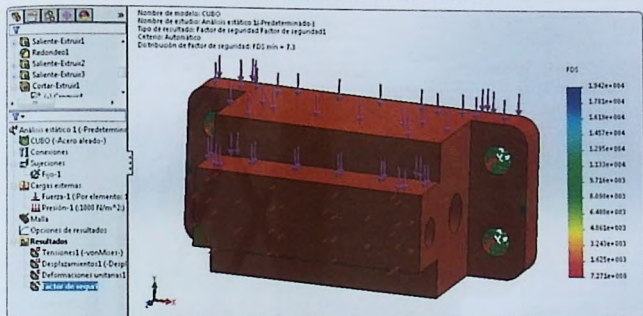
Paso 27. En el icono Resultados, haga clic en la opción Desplazamientos1.



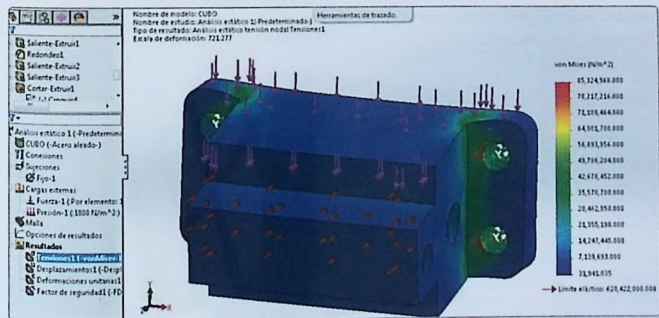
Paso 28. Haga clic en Deformaciones unitarias, que pertenece al icono Resultados.



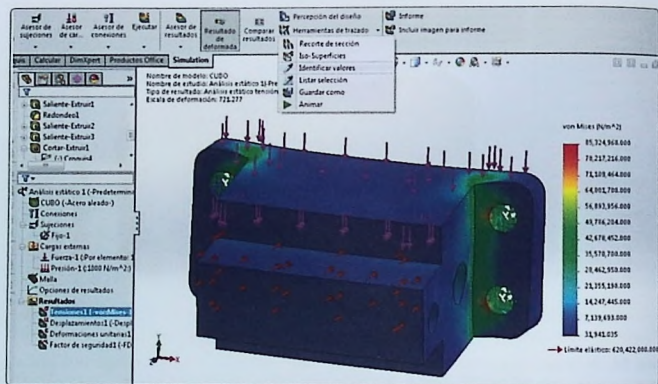
Paso 29. Haga clic en Factor de seguridad, que pertenece al icono Resultados.



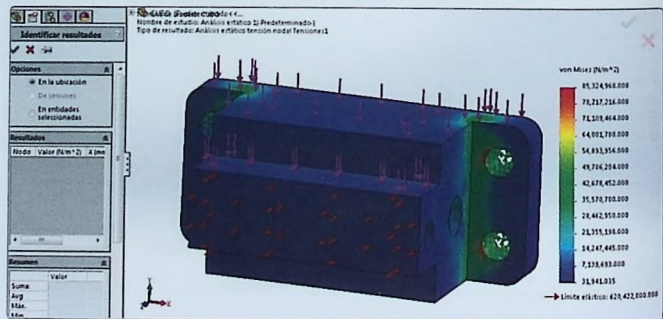
Paso 30. Se observa que la distribución del factor de seguridad bajó a 7.3. Sin embargo, esta cifra aún es alta, es la mitad del estudio anterior, lo cual implica que la pieza puede soportar sin dificultad las cargas de fuerza aplicadas de 10 000 N.



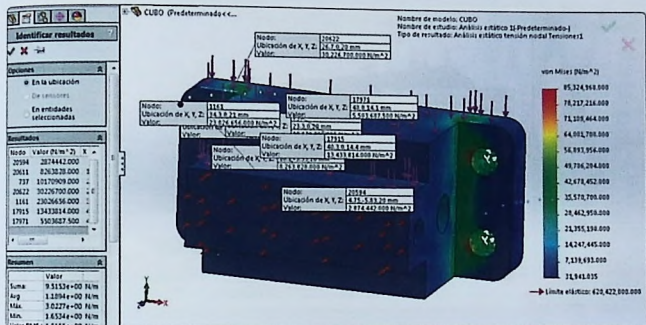
Paso 31. En el icono **Herramientas de trazado**, haga clic en la opción **Identificar valores**.



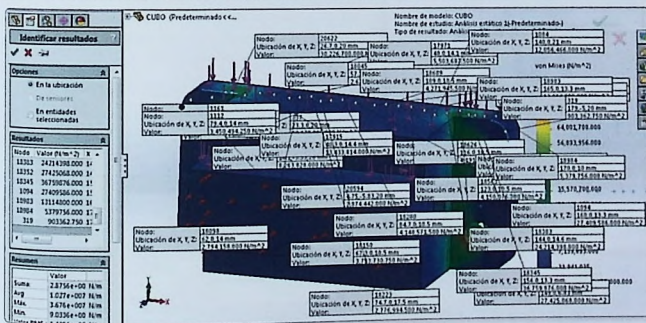
Paso 32. Resultado del análisis estático tensión nodal



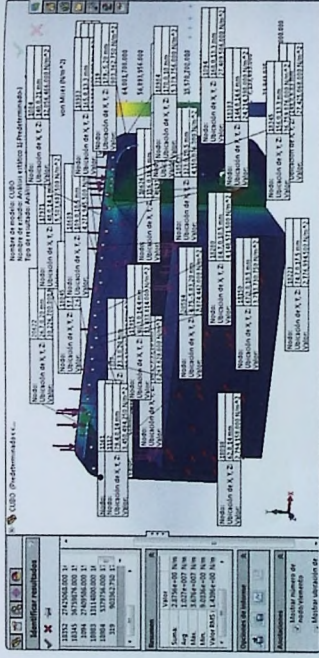
Paso 33. A lo largo de la pieza, haga clic de manera aleatoria para ver el comportamiento de las tensiones.



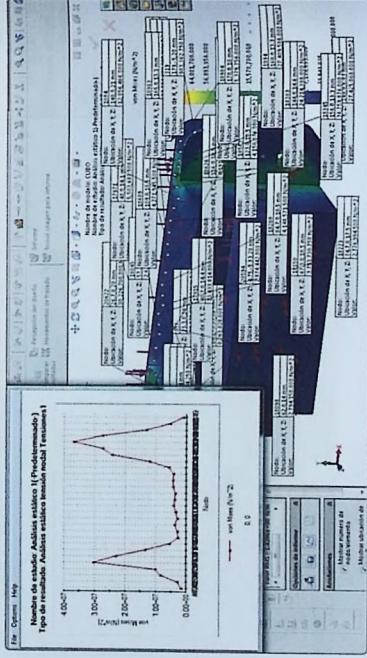
Paso 34. Puede acercarse a cada etiqueta y trasladarla para seguir haciendo clic en la pieza.



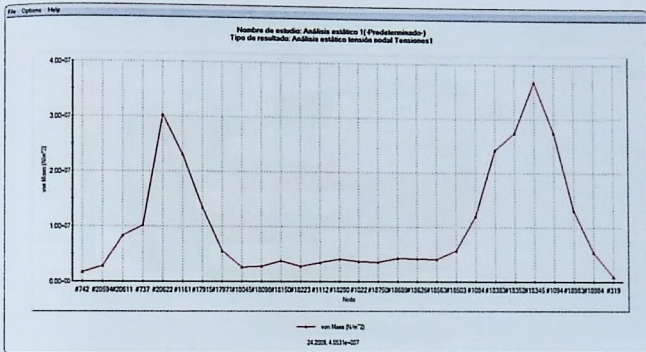
Paso 35. En Opciones de Informe, haga clic en el ícono Plot.



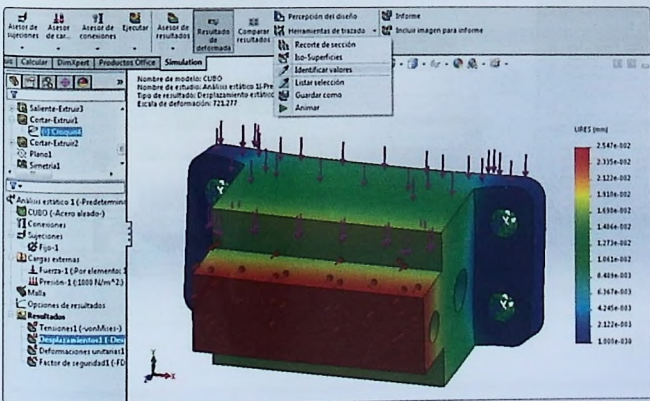
Paso 36. En la figura puede observarse la variación de las tensiones.



Paso 37. Versión ampliada de la variación de las tensiones



Paso 38. El eje horizontal es el número de nodo que nace a partir del mallado y el eje vertical es el valor de tensión a lo largo de la pieza. Haga lo mismo con los desplazamientos.



Paso 39. Haga clic a lo largo de la pieza de forma aleatoria.

Nombre de archivo: C:\SD...
 Nombre de estudio: Análisis estático 3D (Predefinido) 1
 Tipo de resultado: Esfuerzo equivalente (Esfuerzo de Von Mises)

Identificar resultados

Propiedades

Resumen

Propiedad	Valor	Unidad
Suma	0.11174	mm
Prom.	0.000863	mm
Mín.	0.00000	mm
Desv. Est.	0.001139	mm

Estadísticas

Estadística	Valor	Unidad
Máx.	1.1514E+003	mm
Seg.	1.1251E+002	mm
Terc.	1.1281E+002	mm
Cuart.	1.1254E+002	mm
Med.	1.1254E+002	mm
Sépt.	1.1254E+002	mm
Ocho.	1.1254E+002	mm
Novena.	1.1254E+002	mm
Décima.	1.1254E+002	mm
Undécima.	1.1254E+002	mm
Dodecésima.	1.1254E+002	mm
Decimotercera.	1.1254E+002	mm
Decimocuarta.	1.1254E+002	mm
Decimoquinta.	1.1254E+002	mm
Decimosexta.	1.1254E+002	mm
Decimoséptima.	1.1254E+002	mm
Decimoctava.	1.1254E+002	mm
Decimonoventa.	1.1254E+002	mm
Centésima.	1.1254E+002	mm

URLE [mm]

2.345e+002
 2.315e+002
 2.322e+002
 1.5150e+002
 1.430e+002
 1.466e+002
 1.275e+002
 1.165e+002
 8.401e+001
 6.301e+001
 4.260e+001
 2.127e+001
 1.016e+001

Paso 40. En Opciones de Informe, haga clic en la opción Plot.

Nombre de archivo: C:\SD...
 Nombre de estudio: Análisis estático 3D (Predefinido) 1
 Tipo de resultado: Esfuerzo equivalente (Esfuerzo de Von Mises)

Opciones de Informe

Mostrar

Plot

Resumen

Propiedad	Valor	Unidad
Suma	0.11174	mm
Prom.	0.000863	mm
Mín.	0.00000	mm
Desv. Est.	0.001139	mm

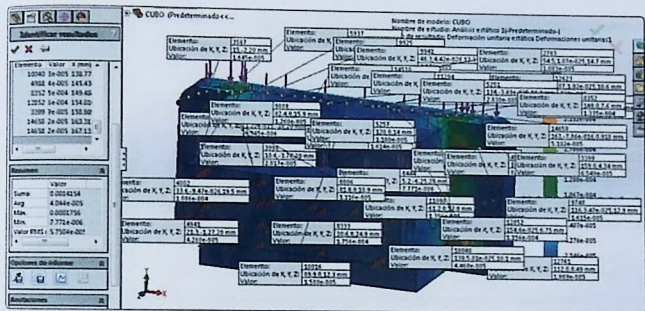
Estadísticas

Estadística	Valor	Unidad
Máx.	1.1514E+003	mm
Seg.	1.1251E+002	mm
Terc.	1.1281E+002	mm
Cuart.	1.1254E+002	mm
Med.	1.1254E+002	mm
Sépt.	1.1254E+002	mm
Ocho.	1.1254E+002	mm
Novena.	1.1254E+002	mm
Décima.	1.1254E+002	mm
Decimotercera.	1.1254E+002	mm
Decimocuarta.	1.1254E+002	mm
Decimoquinta.	1.1254E+002	mm
Decimosexta.	1.1254E+002	mm
Decimoséptima.	1.1254E+002	mm
Decimoctava.	1.1254E+002	mm
Decimonoventa.	1.1254E+002	mm
Centésima.	1.1254E+002	mm

URLE [mm]

2.345e+002
 2.315e+002
 2.322e+002
 1.5150e+002
 1.430e+002
 1.466e+002
 1.275e+002
 1.165e+002
 8.401e+001
 6.301e+001
 4.260e+001
 2.127e+001
 1.016e+001

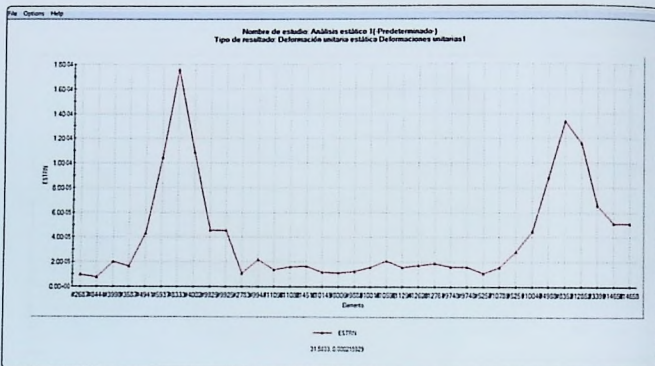
Paso 45. En Opciones de Informe, haga clic en Plot.



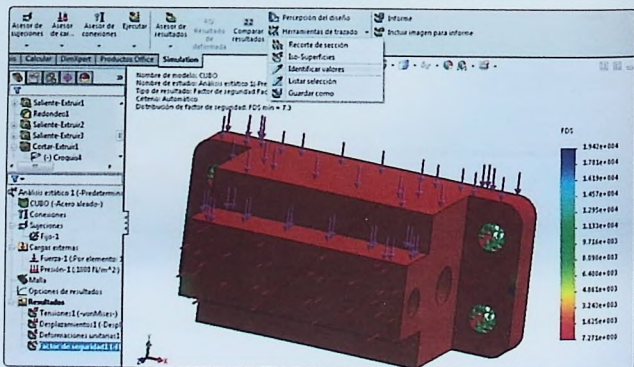
Paso 46. Deformación unitaria estática



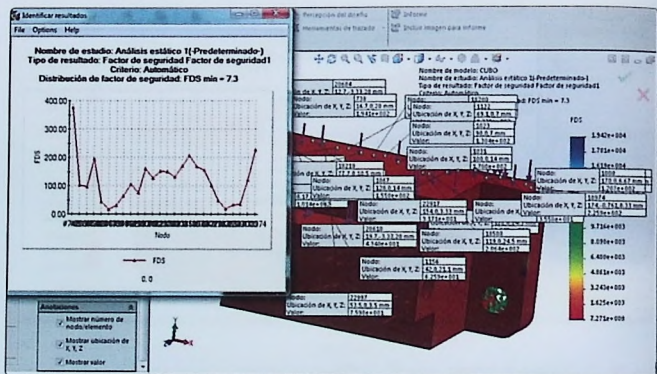
Paso 47. Versión ampliada de la deformación unitaria estática



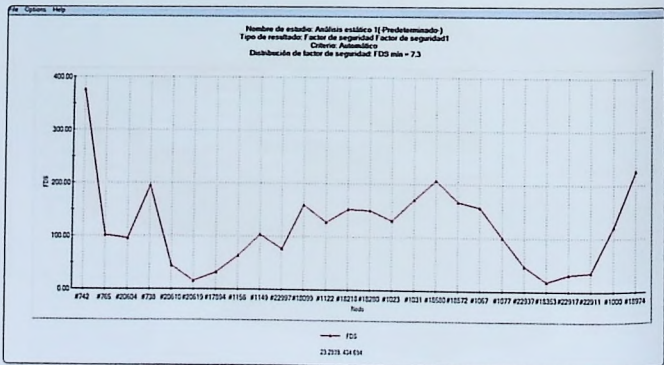
Paso 48. En el icono Resultados, haga clic en la opción Factor de seguridad 1.



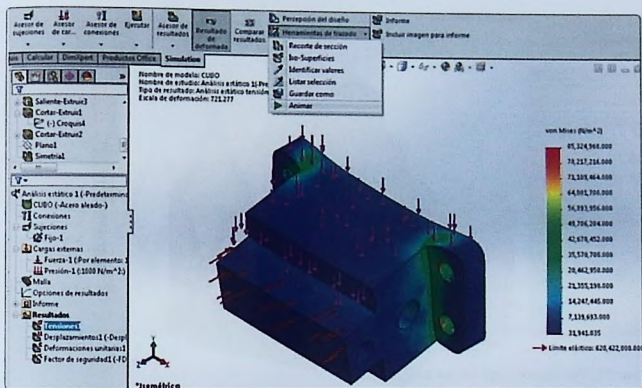
Paso 51. En la siguiente figura, puede observar la distribución del factor de seguridad en toda la pieza.



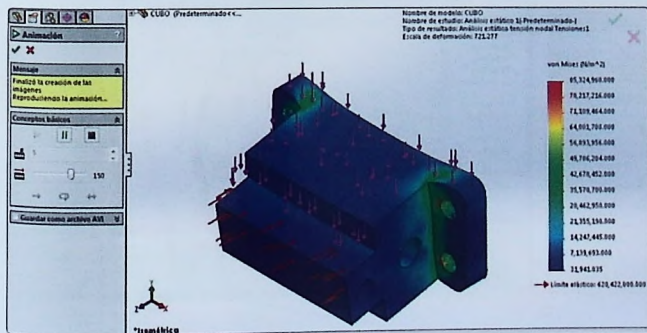
Paso 52. Versión ampliada de la distribución del factor de seguridad



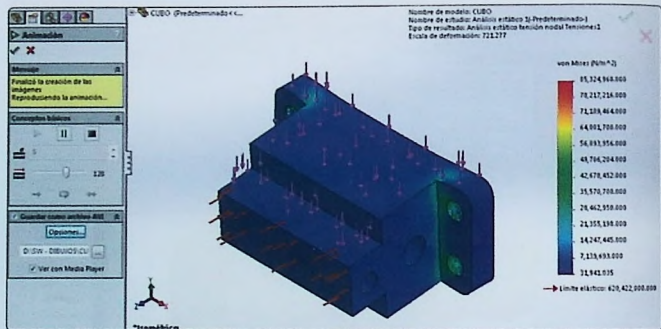
Paso 53. En la figura se observa la variación del factor de seguridad desde el valor más alto hasta el mínimo (7.3).



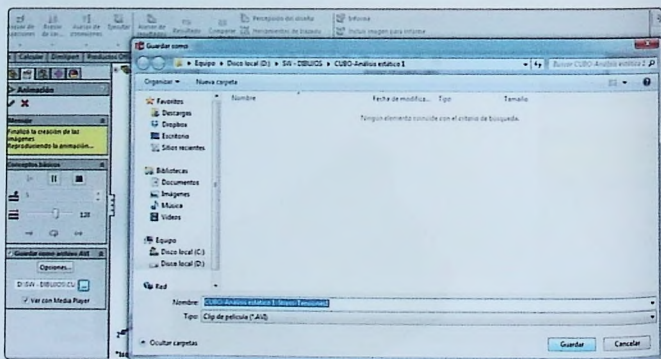
Paso 54. En la figura se observa la animación del estado tensional de la pieza.



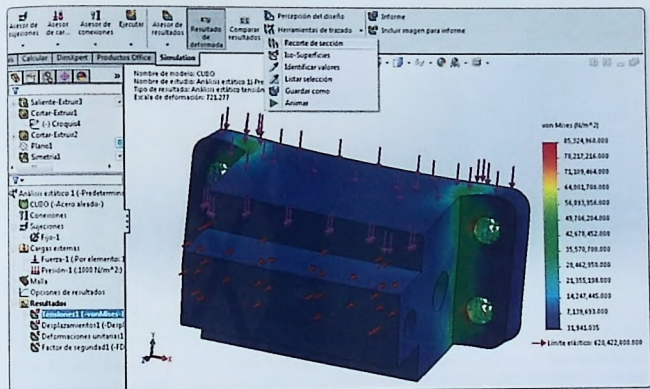
Paso 55. Haga clic en el recuadro **Guardar como archivo AVI** y en el recuadro correspondiente a **Ver con Media Player**.



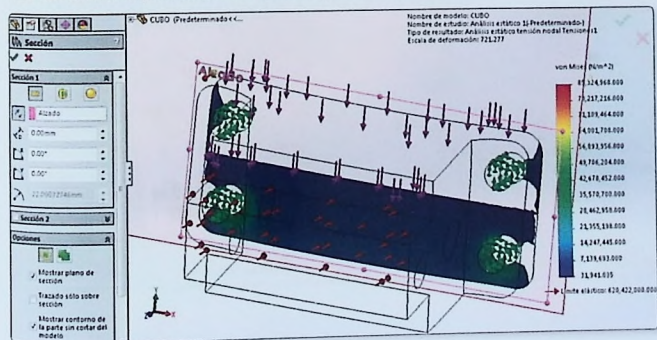
Paso 56. Por último, haga clic en **Guardar**.



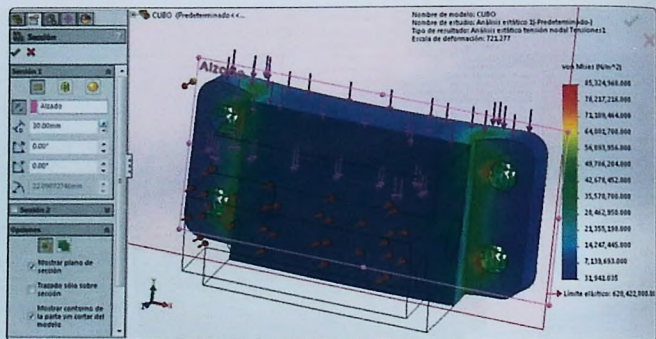
Paso 57. Ahora se analizará la parte interna de la pieza. En el ícono Resultados, haga clic en Tensiones 1; asimismo, en el ícono Herramientas de trazado, haga clic en Recorte de sección.



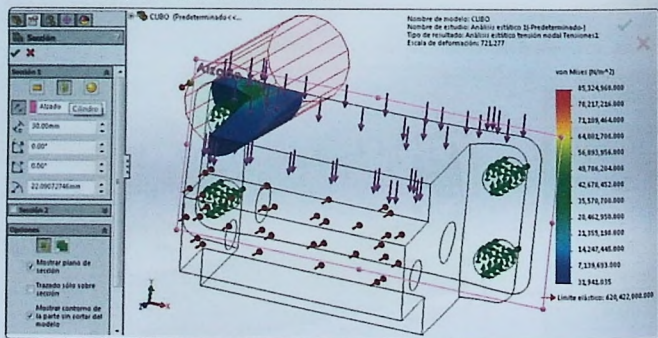
Paso 58. Observe la parte interna de la pieza en plano alzado.



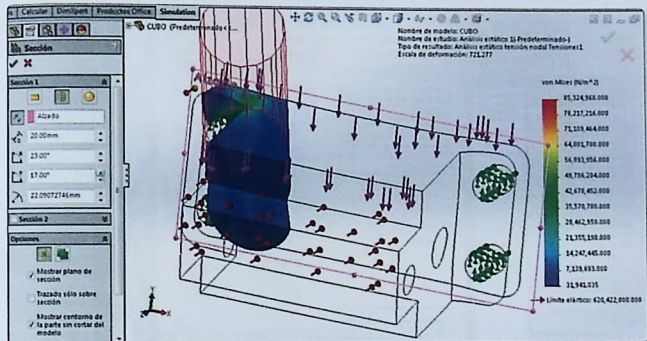
Paso 59. Aumente los valores en la **Sección 1**, desde 0-10-20-30, y observe la parte interna de la distribución de tensiones de la pieza.



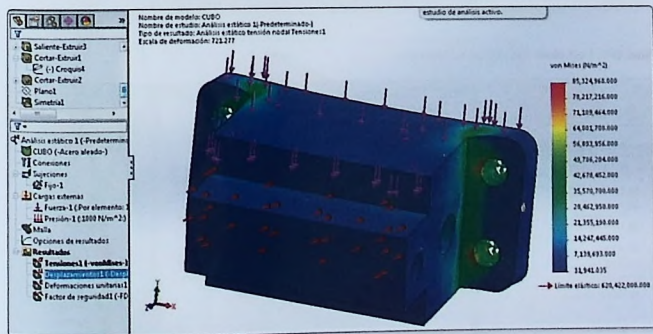
Paso 60. También puede utilizar la forma de cilindro.



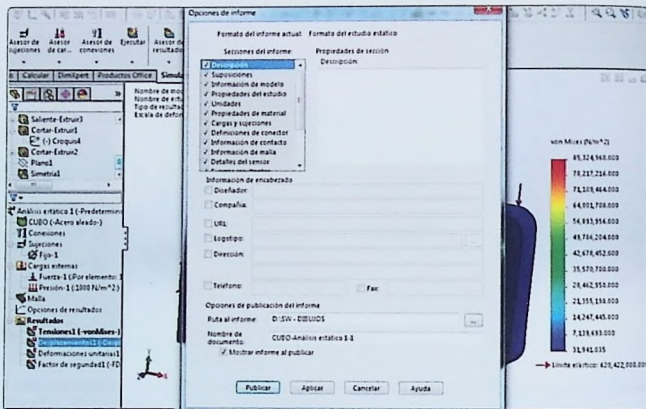
Paso 61. A través del empleo de las diferentes coordenadas, se puede observar la pieza internamente.



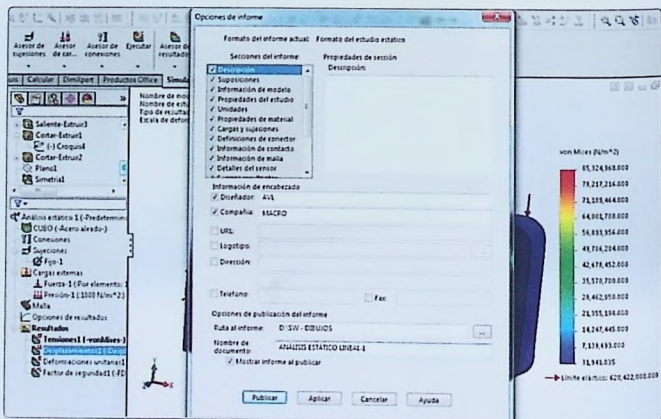
Paso 62. Ahora genere el informe final. Para ello, en el ícono Resultados, haga clic en Desplazamientos 1.



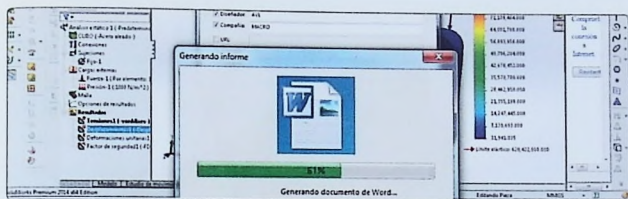
Paso 63. A continuación, genere el informe.



Paso 64. Complete los datos solicitados.



Paso 65. Publicación



6.2 SIMULACIÓN

6.2.1 Descripción

- ▲ Fecha: miércoles, 23 de abril de 2014.
- ▲ Diseñador: AVL
- ▲ Nombre de estudio: Análisis estático 1
- ▲ Tipo de análisis: Análisis estático

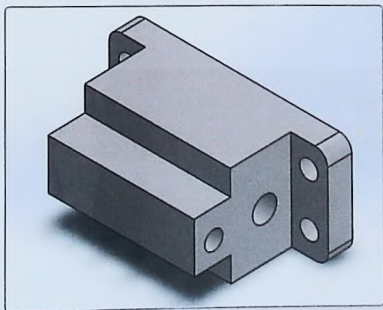
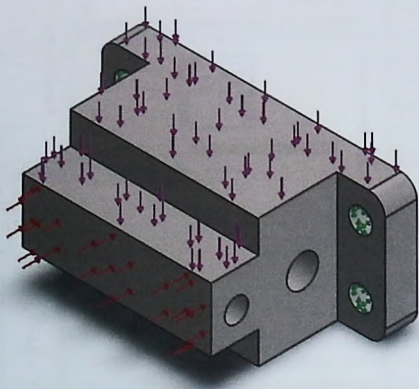


Fig. 6.1 Modelo CUBO
Imagen tomada por el autor

6.2.2 Suposiciones

El material es isotrópico lineal y se desea que soporte dos cargas de fuerza de 10 000 N, así como una carga de presión de 1000 Pa.

6.2.3 Información del modelo



Nombre del modelo: CUBO
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratamiento	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
<p>Simetría1</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa: 6.52235 kg Volumen: 0.000847059 m³ Densidad: 7700 kg/m³ Peso: 63.919 N</p>	<p>D:\SW - DIBUJOS\ CUBO.SLDPR Nov 29 06:24:39 2013</p>

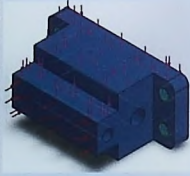
6.2.4 Propiedades del estudio

Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SolidWorks Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane)	Desactivar
Muelle blando	Desactivar
Desahogo inercial	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automática
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SolidWorks (D:\SW - DIBUJOS)


6.2.5 Unidades

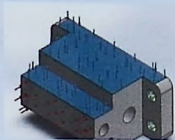
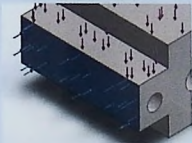
Sistema de unidades	métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	kelvin
Velocidad angular	rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

6.2.6 Propiedades del material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
<p>Simetría1</p> 	<p>Nombre: Acero aleado Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises Límite elástico: 6.20422e+008 N/m² Límite de tracción: 7.23826e+008 N/m² Módulo elástico: 2.1e+011 N/m² Coeficiente de Poisson: 0.28 Densidad: 7700 kg/m³ Módulo cortante: Coeficiente de dilatación térmica: 7.9e+010 N/m² 1.3e-005 /kelvin</p>	<p>Sólido 1 (Simetría 1) (CUBO)</p>
<p>Datos de curva: N/A</p>		

6.2.7 Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción															
<p>Fijo-1</p>		<p>Entidades: 4 caras Tipo: Geometría fija</p>															
<p>Fuerzas resultantes</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Componentes</th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> <th>Resultante</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fuerza de reacción (N)</td> <td>0.0994453</td> <td>20000</td> <td>4.49844</td> <td>20000</td> </tr> <tr> <td>Momento de reacción (Nm)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>			Componentes	X	Y	Z	Resultante	Fuerza de reacción (N)	0.0994453	20000	4.49844	20000	Momento de reacción (Nm)	0	0	0	0
Componentes	X	Y	Z	Resultante													
Fuerza de reacción (N)	0.0994453	20000	4.49844	20000													
Momento de reacción (Nm)	0	0	0	0													

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 2 caras Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 10000 N Ángulo de fase: 0 Unidades: deg
Presión-1		Entidades: 1 cara Tipo: Normal a cara seleccionada Valor: 1000 Unidades: N/m ² Ángulo de fase: 0 Unidades: deg

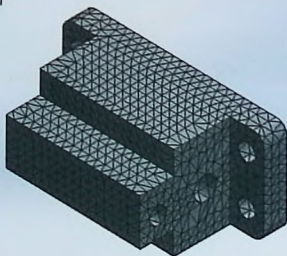
6.2.8 Información de la malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Transición automática	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla	Desactivar
Puntos Jacobianos	4 puntos
Tamaño de elementos	7.09798 mm
Tolerancia	0.354899 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

6.2.9 Información de la malla - detalles

Número total de nodos	26095
Número total de elementos	17071
Cociente máximo de aspecto	5 5538
Porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es menor a 3	99,8
Porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es mayor a 10	0
Porcentaje de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:03
Nombre de computadora	USUARIO-PC

Nombre de modelo: CUBO
 Nombre de estudio: Análisis estático (Predeterminado)
 Tipo de malla: Malla de sólido



6.2.10 Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el modelo	N	0.0994453	20000	4.49844	20000

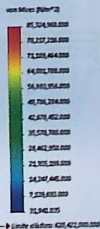
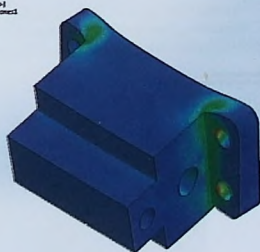
Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el modelo	Nm	0	0	0	0

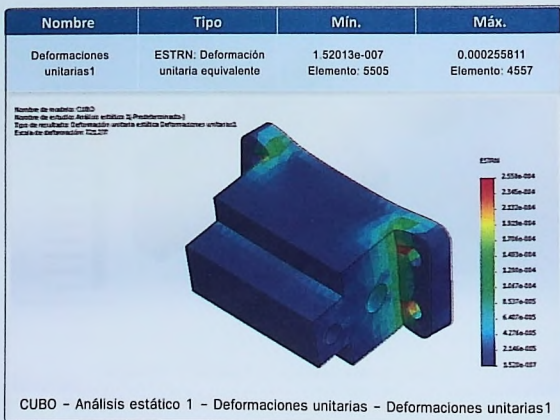
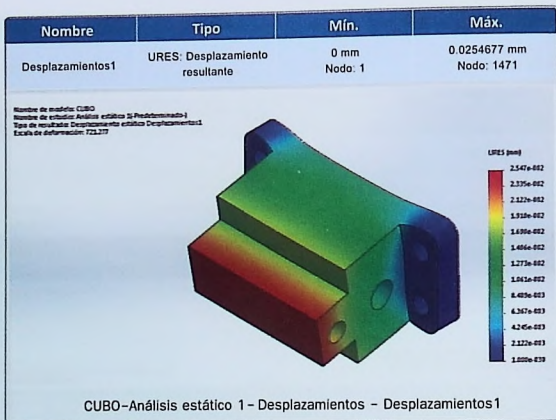
6.2.11 Resultados del estudio

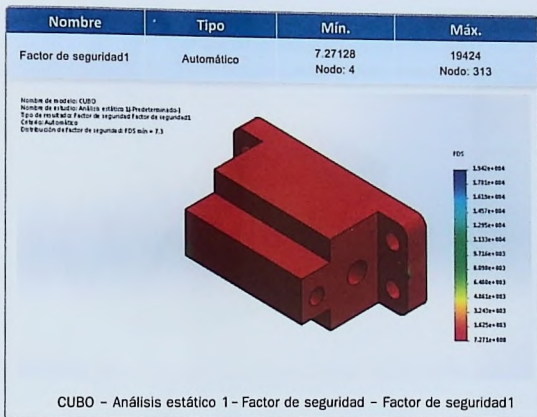
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	31941 N/m ² Nodo: 313	8.5325e+007 N/m ² Nodo: 4

Nombre de modelo: CUBO
 Nombre de estudio: Análisis estático 1 (Pseudotempera) 1
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión total (tension1)
 Escala de deformación: 721.777



CUBO - Análisis estático 1 - Tensiones - Tensiones1



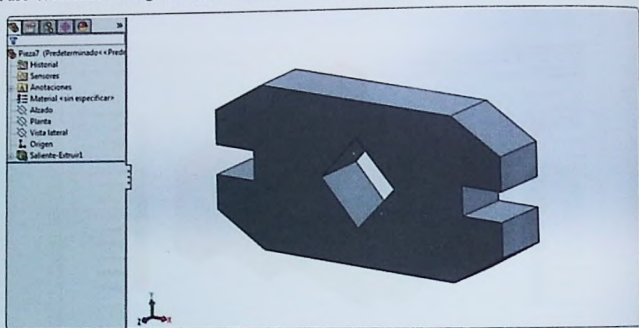


Conclusión

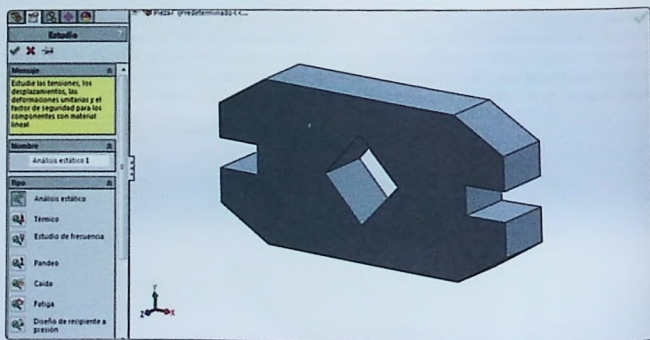
La pieza puede soportar con facilidad las dos cargas de fuerza de 10 000 N; asimismo, la carga de presión de 1000 Pa también puede hacerlo, pues su desplazamiento máximo es 0.0025 m y su factor de seguridad mínimo es 7.3. Por ello, se recomienda que se utilice otro material, con la finalidad de reducir costos; de lo contrario, se puede ampliar la carga si el diseño lo requiere.

6.3 ANÁLISIS TÉRMICO

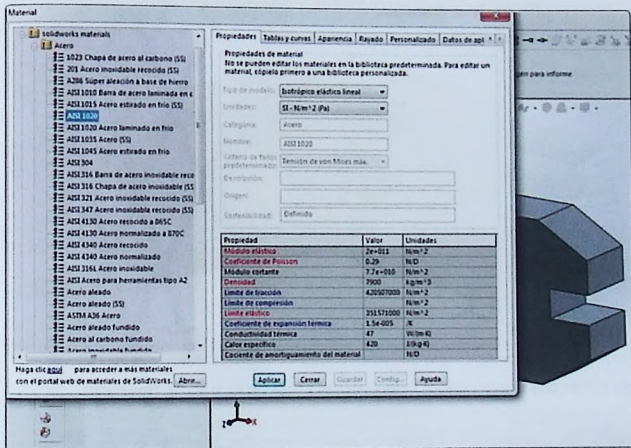
Paso 1. Considere la siguiente pieza para la realización del análisis.



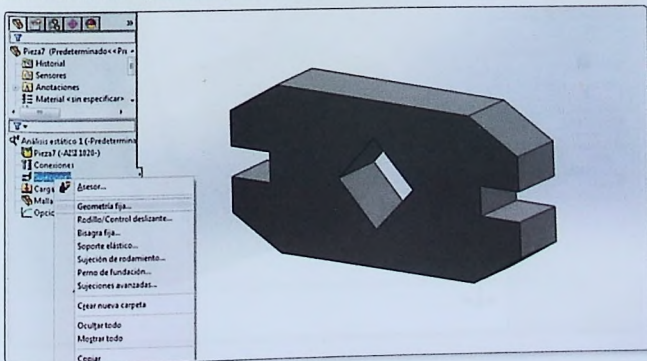
Paso 2. En el ícono Estudio, escriba el nombre del nuevo estudio, y haga clic en **Análisis estático** y en **Aceptar**.



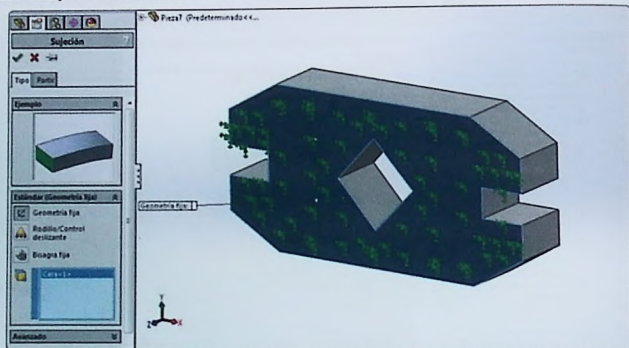
Paso 3. Asigne el material, y luego haga clic en **Aplicar** y **Cerrar**.



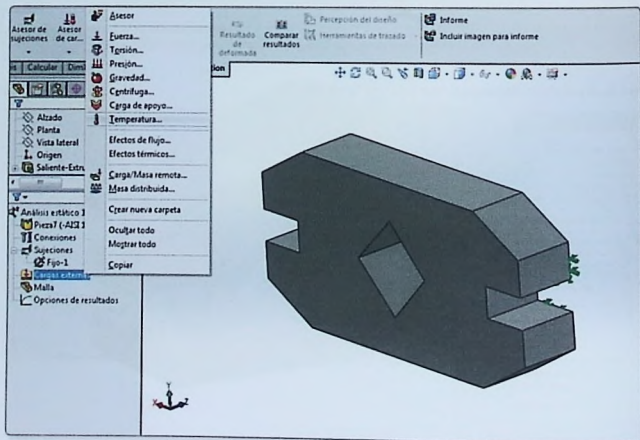
Paso 4. En el ícono Sujeciones, haga clic en **Geometría fija**.



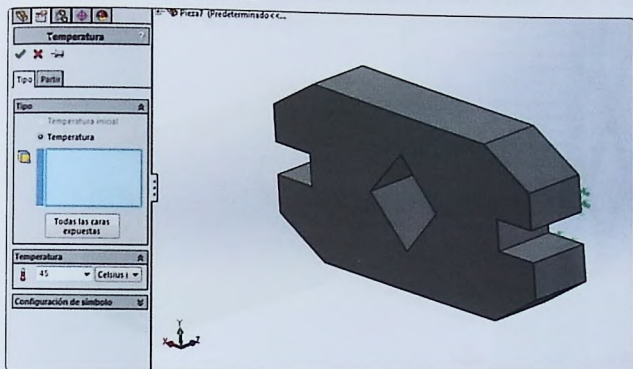
Paso 5. Elija una de las caras.



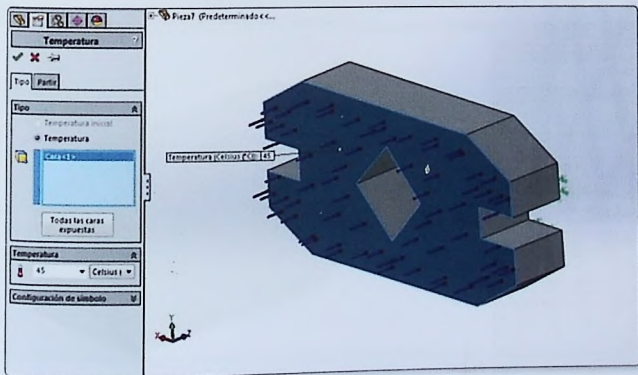
Paso 6. Para girar la pieza, aplique Cargas externas y haga clic en la opción Temperatura.



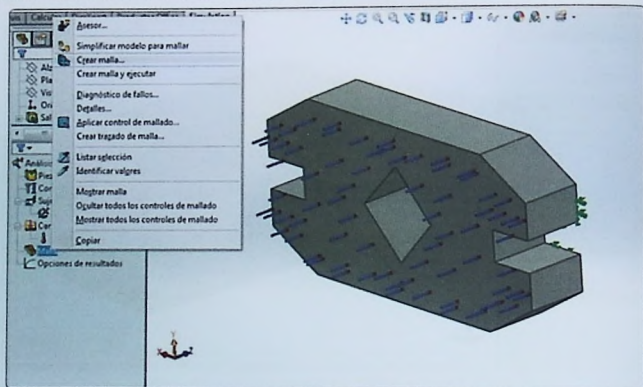
Paso 7. Cambie a 45° en escala Celsius.



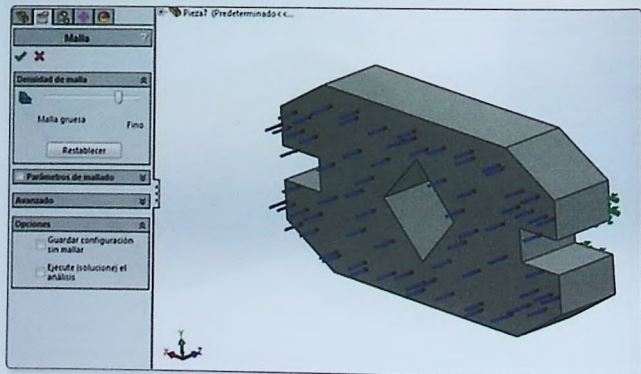
Paso 8. Asigne la cara donde estará expuesta la temperatura elegida.



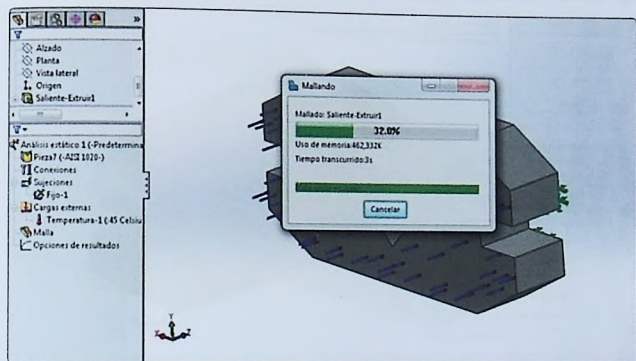
Paso 9. Cree la malla de la misma forma que en los ejemplos anteriores.



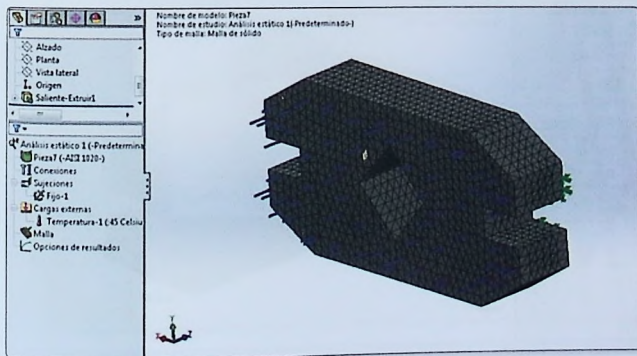
Paso 10. Realice el refinamiento de malla.



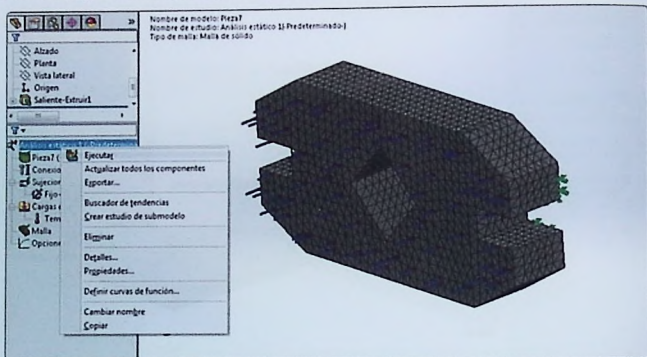
Paso 11. Haga clic en Aceptar.



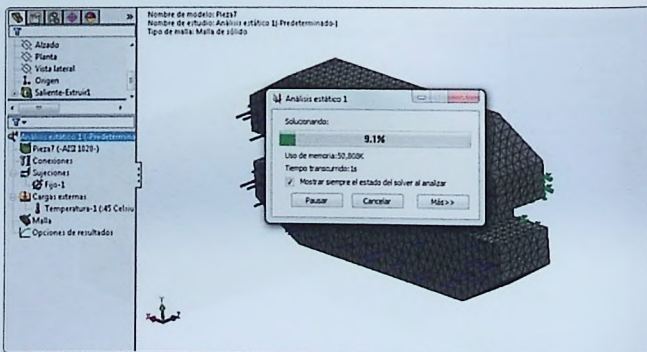
Paso 12. Pieza mallada



Paso 13. Haga clic en la opción **Ejecutar** para observar los resultados.



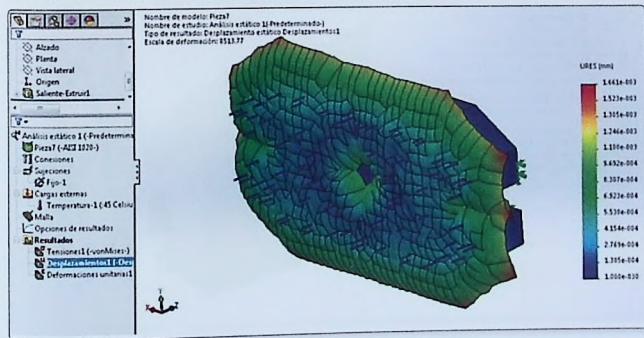
Paso 14. El **solver** está procesando los resultados.



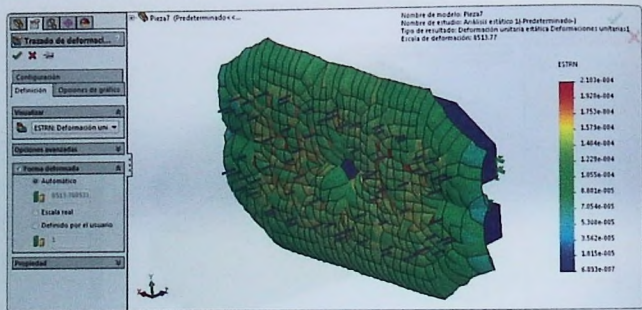
Paso 15. Para observar los resultados, haga clic en la opción Tensiones 1 (-vonMises-). Es importante indicar que la escala es 8513.77; sin embargo, a veces se amplía como se indica en el gráfico.



Paso 16. El valor máximo de desplazamiento es bastante bajo: 0.001661 m.



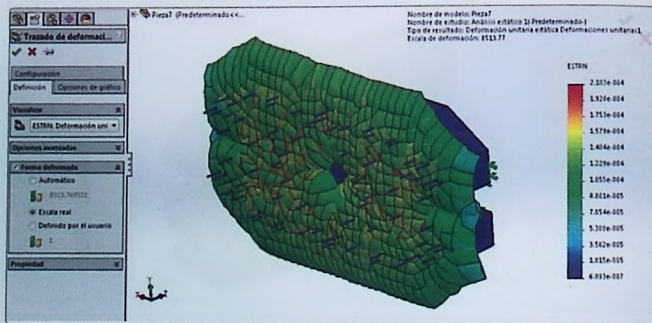
Paso 17. Deformaciones unitarias



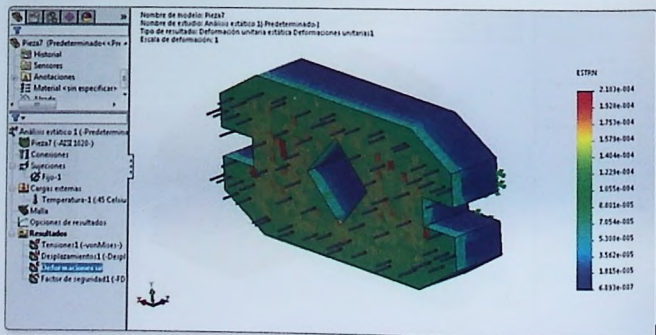
Paso 18. En el ícono Resultados, haga clic en la opción Definir trazado de factor de seguridad.



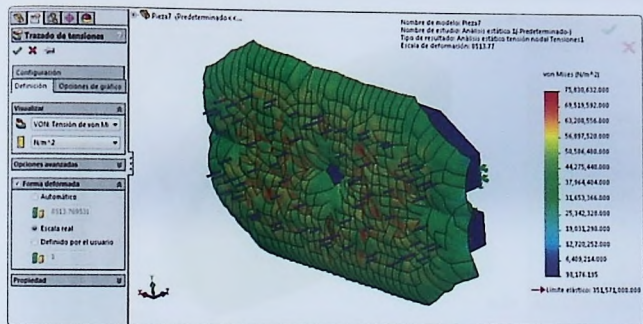
Paso 21. La pieza puede soportar mayor temperatura, pues los desplazamientos pequeños y el factor de seguridad lo permiten. La escala real es de 1:1.



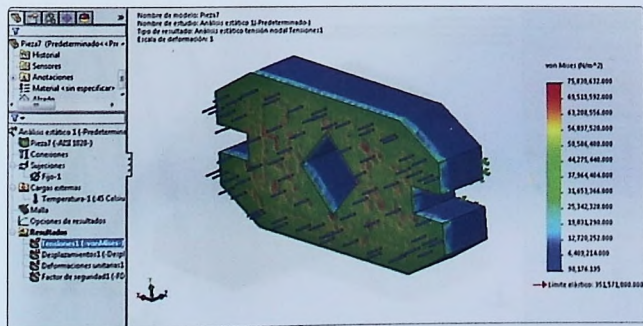
Paso 22. En el ícono Resultados, haga clic en la opción Deformaciones unitarias.



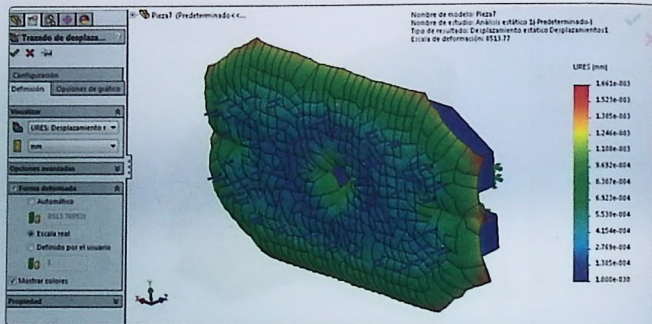
Paso 23. Lleve las tensiones a escala real.



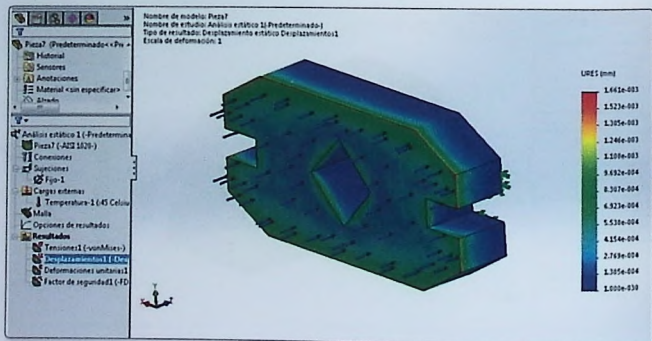
Paso 24. En el ícono Resultados, haga clic en Tensiones 1 (-vonMises-).



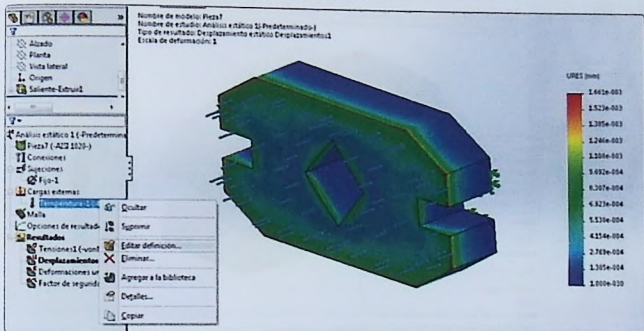
Paso 25. Lleve los desplazamientos a la escala real 1:1.



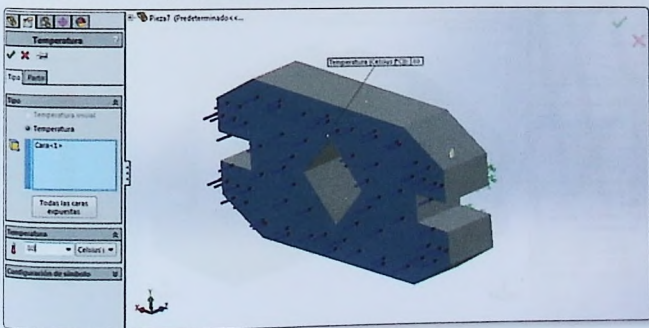
Paso 26. Se observa la pieza en escala real.



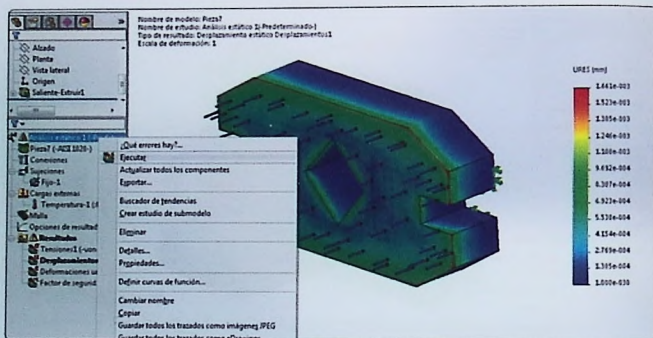
Paso 27. Aumente la temperatura, pues los resultados obtenidos lo permiten. En el icono **Carga externa**, haga clic en **Temperatura-1** y elija la opción **Editar definición**.



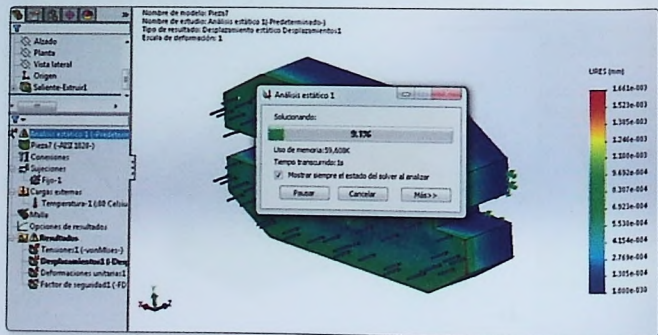
Paso 28. Aumente la temperatura a 80 °C.



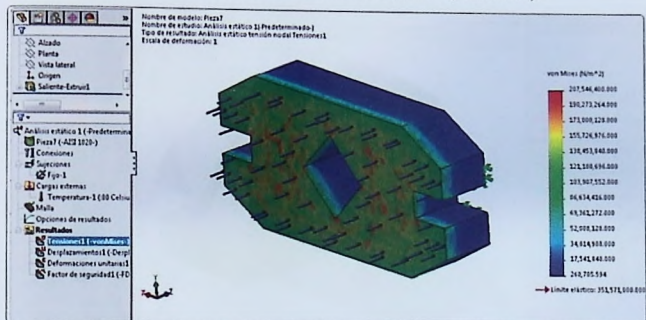
Paso 29. Nuevamente haga clic en **Ejecutar** para hallar los resultados recientes.



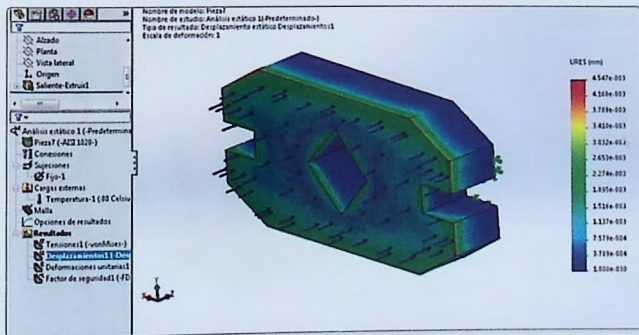
Paso 30. Los resultados se están procesando.



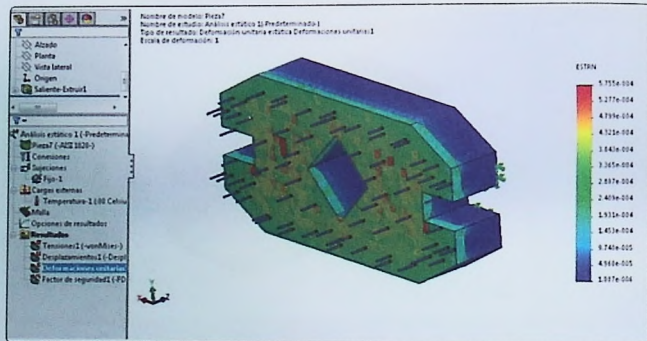
Paso 31. Obtenga los nuevos resultados haciendo clic en Tensiones1 (-vonMises-).



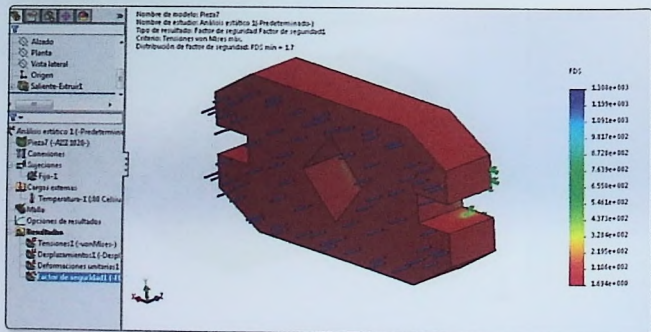
Paso 32. En Resultados, haga clic en Desplazamientos1. Se observa que el valor máximo es 0.004547 m, que es bastante bajo.



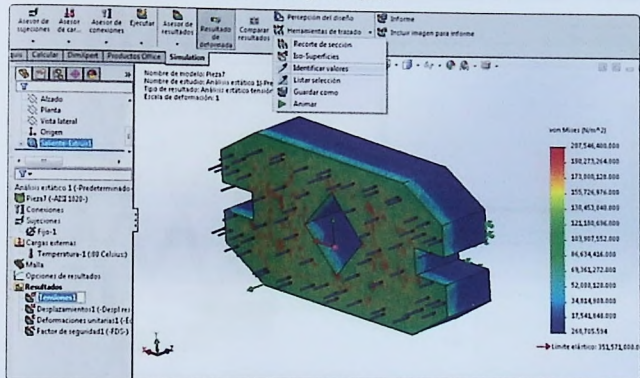
Paso 33. Las deformaciones unitarias mantienen valores bastante bajos.



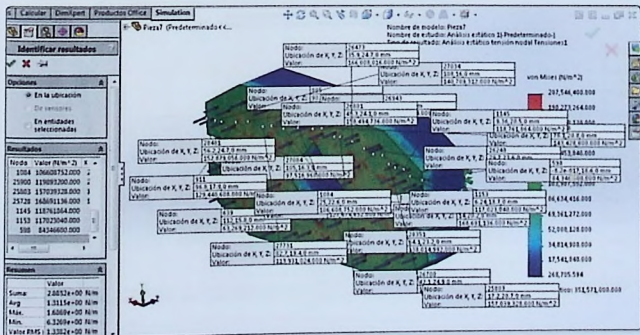
Paso 34. El factor de seguridad es mínimo (1.7).



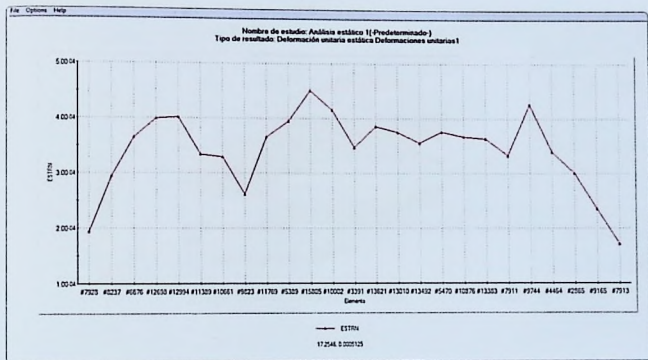
Paso 35. Variación del estado tensional a lo largo de la pieza.



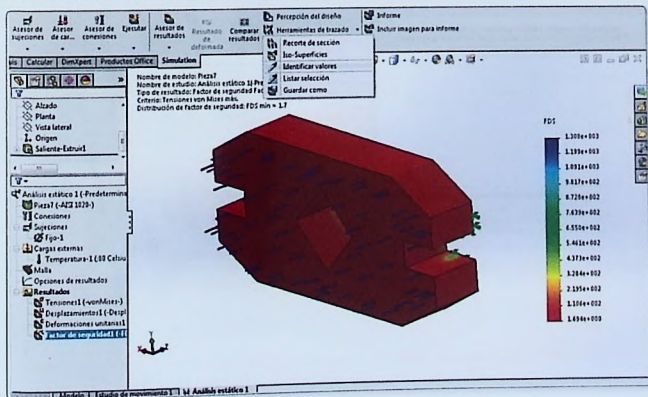
Paso 36. Haga clic de manera aleatoria a lo largo de la pieza.



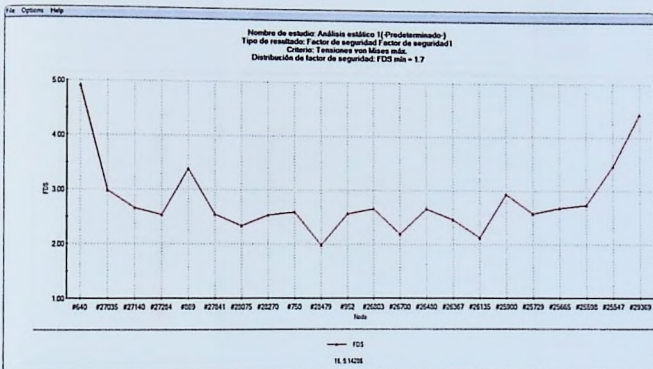
Paso 47. Al ampliar la figura, se observan valores muy bajos.



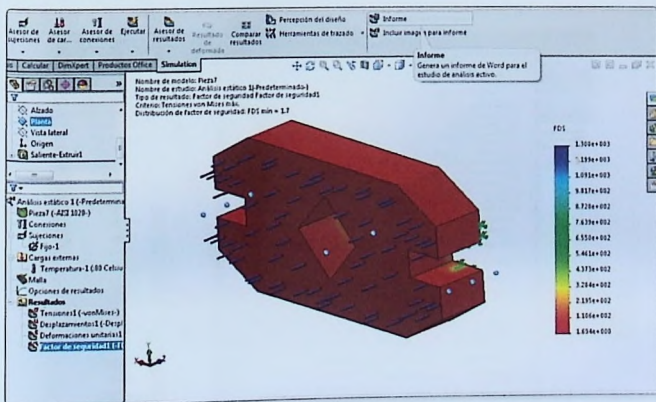
Paso 48. En el ícono Resultados, haga clic en Factor de seguridad 1.



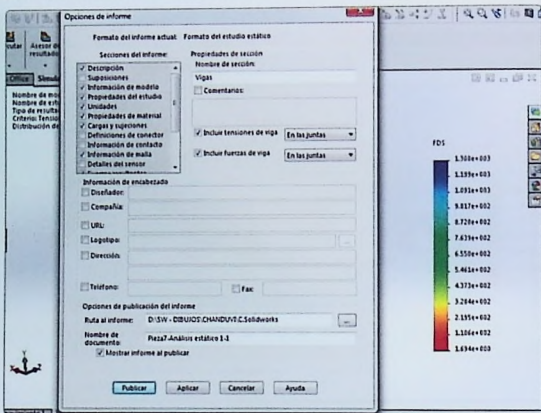
Paso 51. Al ampliar la figura, se observa que el valor mínimo es 1.7, el máximo no supera 5 y los demás se encuentran en un promedio de 2.5 a 3.



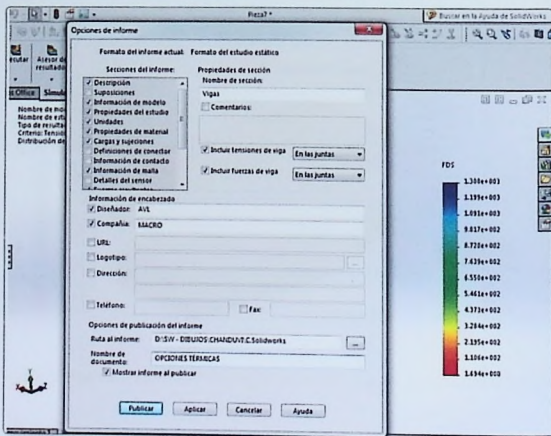
Paso 52. Cree el informe final.



Paso 53. Desactive las opciones no consideradas.



Paso 54. Complete los datos adicionales. Por último, publique y genere el informe.



6.4 SIMULACIÓN DE PIEZA7

6.4.1 Descripción

- ▲ Fecha: miércoles, 23 de abril de 2014.
- ▲ Diseñador: AVL
- ▲ Nombre de estudio: Análisis estático 1
- ▲ Tipo de análisis: Análisis estático

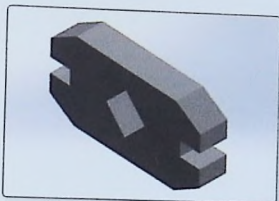
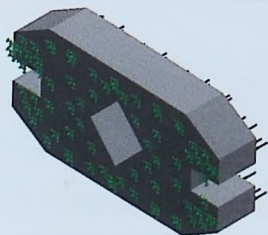


Fig. 6.2 Pieza7

Imagen tomada por el autor


6.4.2 Información del modelo



Nombre del modelo: Pieza7

Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratamiento	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Saliente-Extruir 1			
	Sólido	Masa: 0.789896 kg Volumen: 9.99868e-005 m ³ Densidad: 7900 kg/m ³ Peso: 7.74098 N	D:\SW - DIBUJOS\CHANDUV\I.C. Solidworks\Pieza7.SLDPR Apr 23 02:09:36 2014

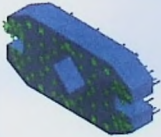
6.4.3 Propiedades del estudio

Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SolidWorks Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (<i>Inplane</i>)	Desactivar
Muelle blando	Desactivar
Desahogo inercial	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automática
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SolidWorks (D:\SW - DIBUJOS\CHANDUVIIC.Solidworks)


6.4.4 Unidades

Sistema de unidades	métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	kelvin
Velocidad angular	rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

6.4.5 Propiedades del material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
Saliente-Extruir1 	Nombre: AISI 1020	Sólido 1 (Saliente-Extruir1) (Pieza7)
	Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal	
	Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises	
	Límite elástico: $3.51571e+008$ N/m ²	
	Límite de tracción: $4.20507e+008$ N/m ²	
	Módulo elástico: $2e+011$ N/m ²	
	Coefficiente de Poisson: 0.29	
	Densidad: 7900 kg/m ³	
	Módulo cortante: $7.7e+010$ N/m ²	
	Coefficiente de dilatación térmica: $1.5e-005$ /kelvin	

6.4.6 Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		Entidades: 1 cara Tipo: Geometría fija

Fuerzas resultantes

Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción (N)	-0.00120991	-3.09944e-006	-0.00107813	0.00162058
Momento de reacción (Nm)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Temperatura-1		Entidades: 1 cara(s) Temperatura: 80 °C

6.4.7 Información de la malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Transición automática	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla	Desactivar
Puntos Jacobianos	4 puntos
Tamaño de elementos	3.19193 mm
Tolerancia	0.159597 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

6.4.8 Información de la malla - detalles

Número total de nodos	33476
Número total de elementos	22192
Cociente máximo de aspecto	3.5053
Porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es menor a 3	99.8
Porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es mayor a 10	0
Porcentaje de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:04
Nombre de computadora	USUARIO-PC

Nombre de malla: (None)
 Nombre de estudio: Análisis de elementos finitos (Predefinido)
 Tipo de malla: Malla de sólido



6.4.9 Fuerzas resultantes

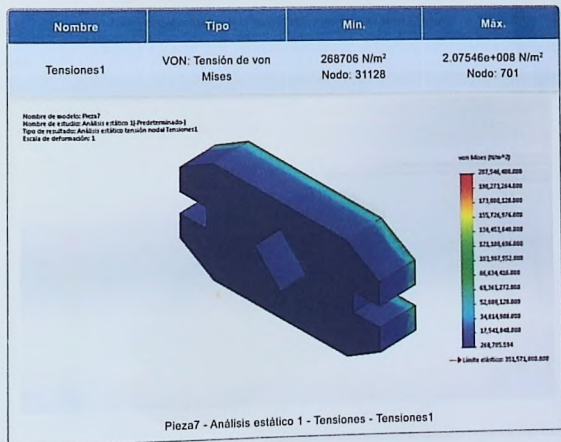
Fuerzas de reacción

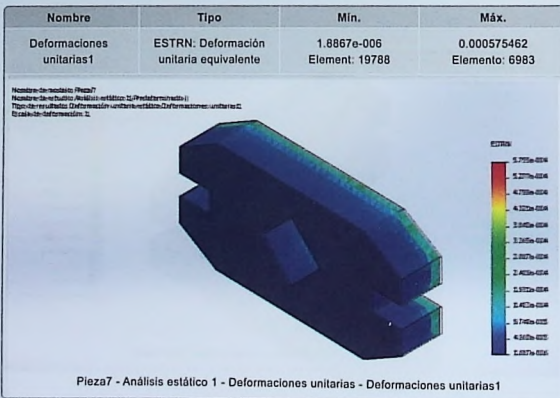
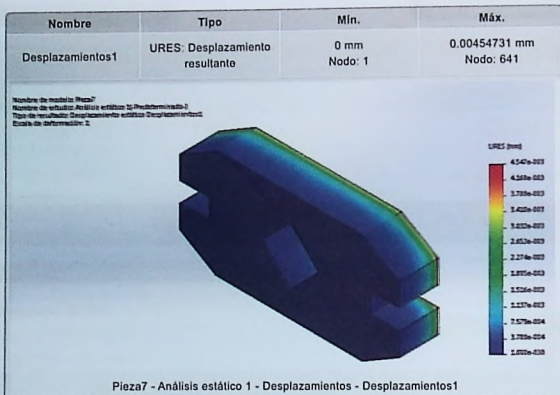
Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0.00120991	-3.09944e-006	-0.00107813	0.00162058

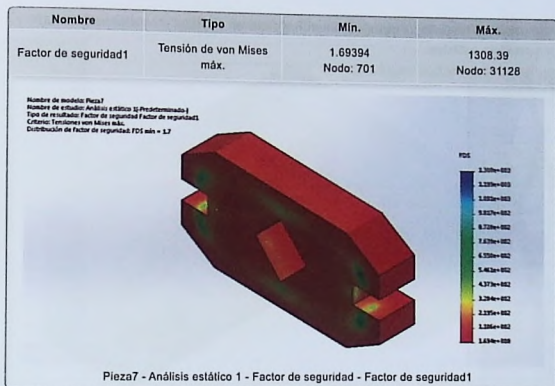
Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el modelo	Nm	0	0	0	0

6.4.10 Resultados del estudio







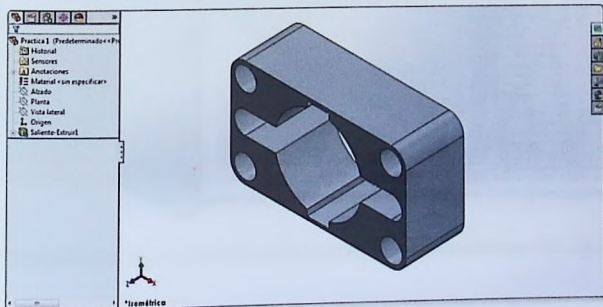
Conclusión

La pieza puede soportar la temperatura de 80 °C sin problemas, con un desplazamiento máximo bajo y un factor de seguridad mínimo de 1.7.

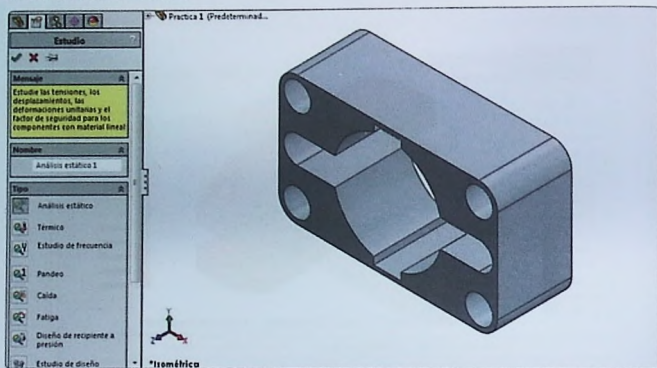
6.5 MALLADO

6.5.1 Aplicación

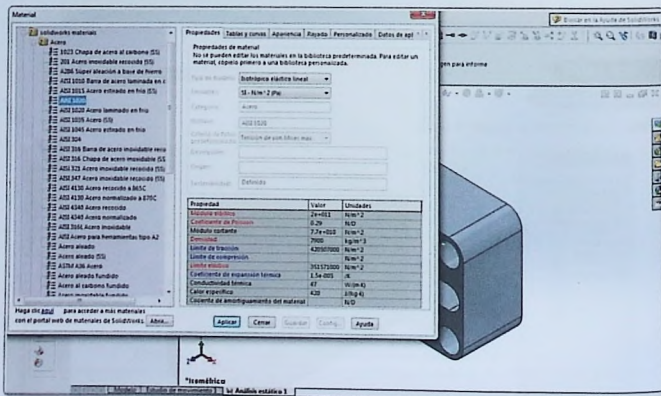
Paso 1. Considere la siguiente pieza.



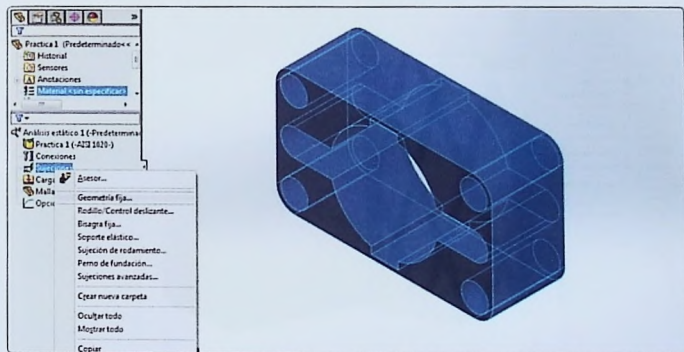
Paso 2. Para realizar un análisis estático lineal, haga clic en **Estudio**, cree un nuevo estudio y haga clic en el ícono **Análisis estático**.



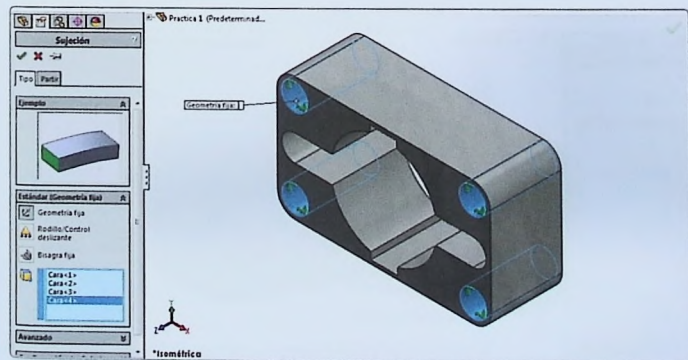
Paso 3. Asigne el material.



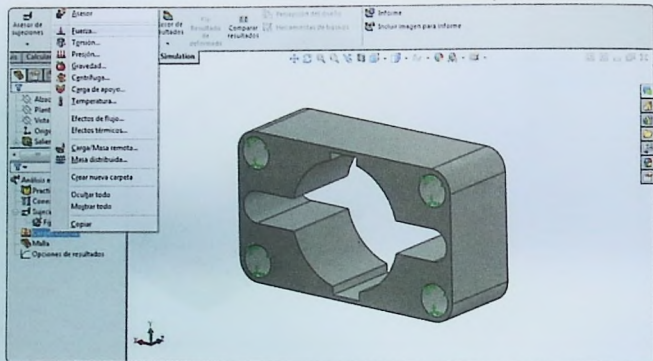
Paso 4. En el icono Sujeciones, seleccione **Geometría fija**, luego haga clic en **Aplicar** y **Cerrar**.



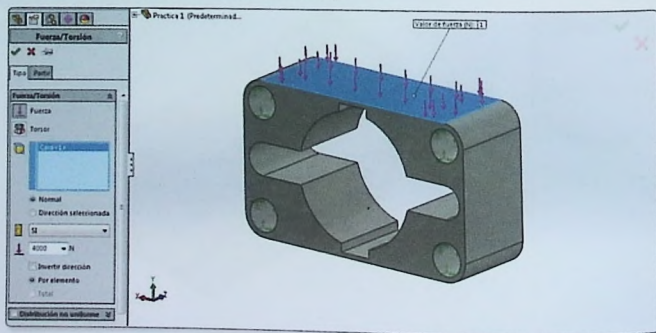
Paso 5. Sujete las cuatro caras.



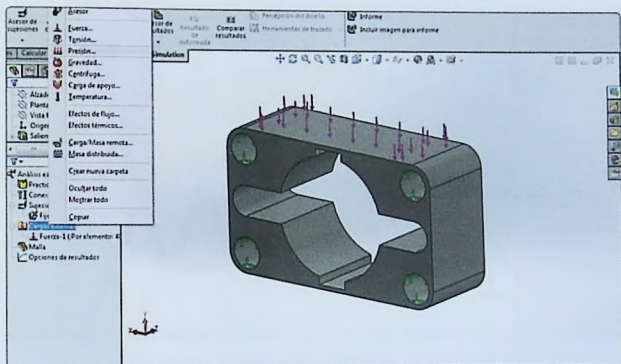
Paso 6. En el icono **Cargas externas**, haga clic en **Fuerza (4000 N)**.



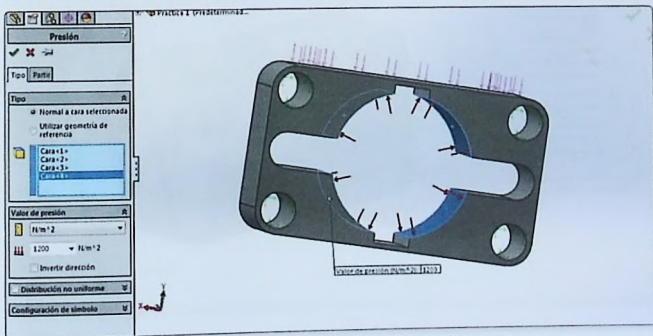
Paso 7. Seleccione la cara donde se aplicará la carga.



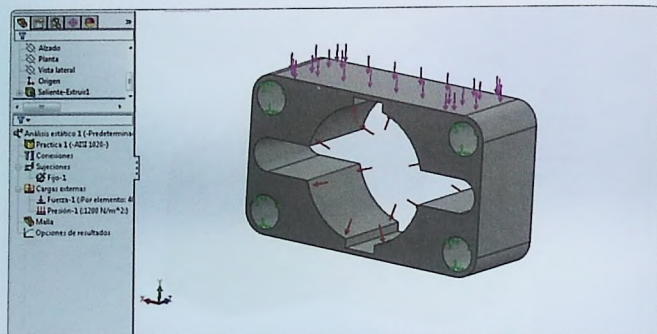
Paso 8. En el ícono Cargas externas, seleccione la opción Presión (1200 Pa).



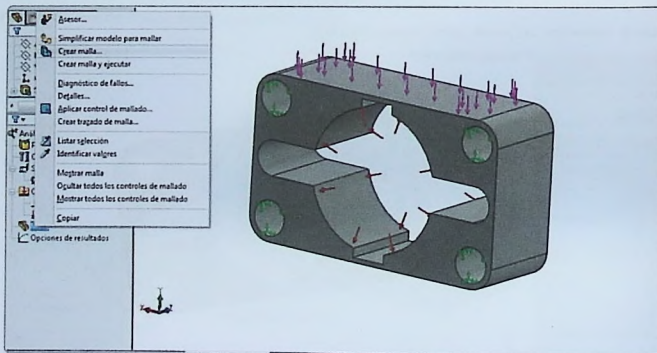
Paso 9. Seleccione las cuatro caras internas circulares.



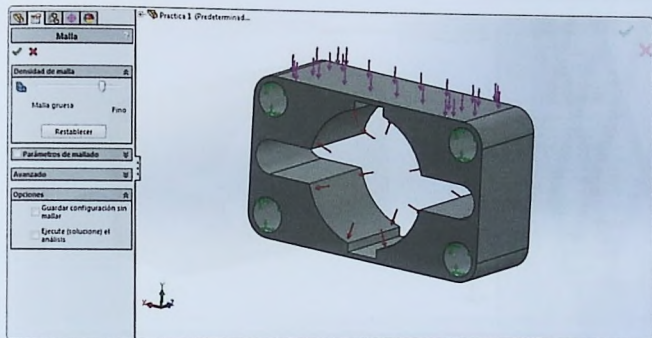
Paso 10. El modelo final



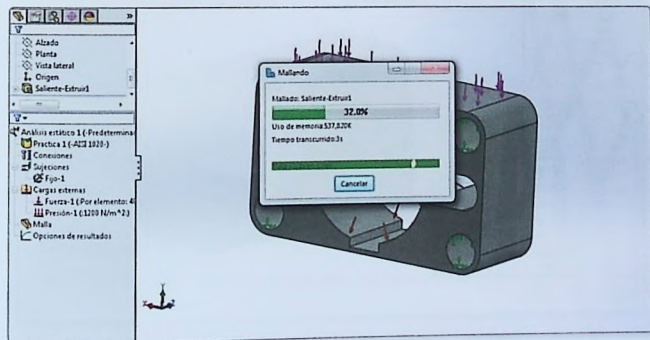
Paso 11. En el ícono Malla, elija la opción Crear malla.



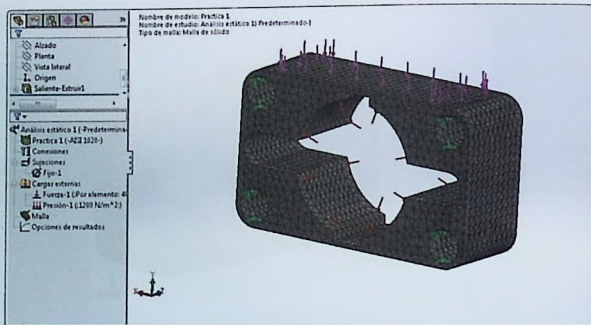
Paso 12. Refine la malla.



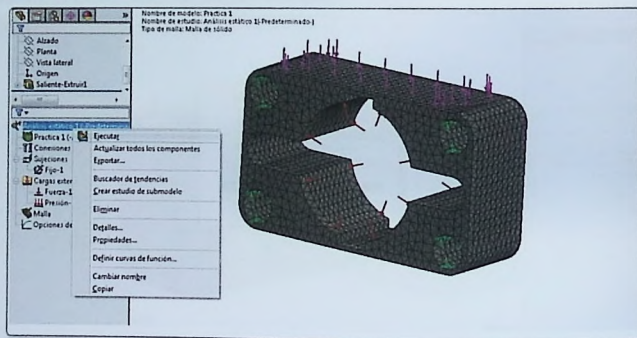
Paso 13. El mallado se está procesando.



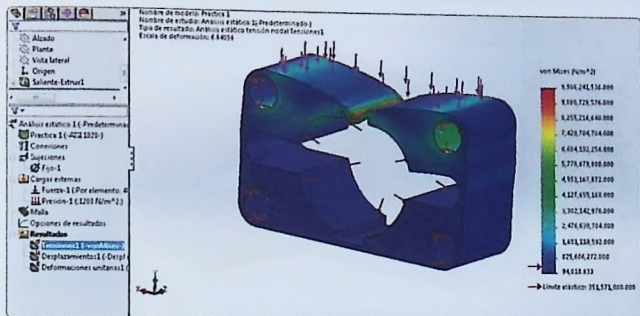
Paso 14. Mallado terminado



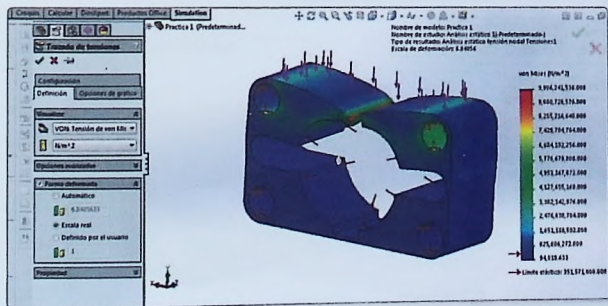
Paso 15. Ejecutar.



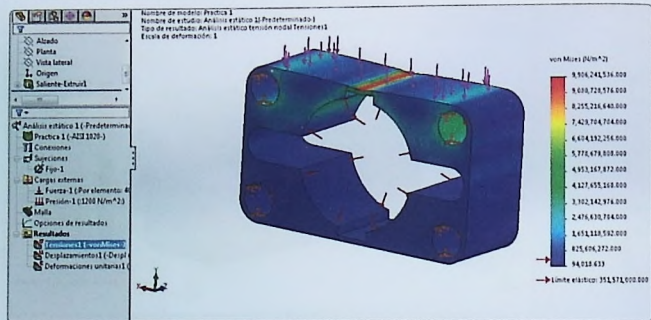
Paso 16. En Resultados, haga clic en Tensiones1.



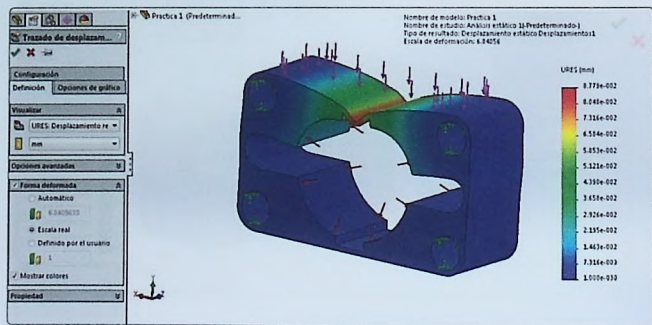
Paso 17. Haga clic en el recuadro correspondiente a Forma deformada y elija la opción Escala real.



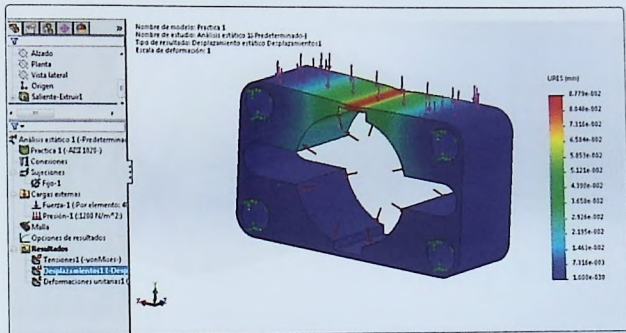
Paso 18. En el icono Resultados, haga clic en Tensiones 1.



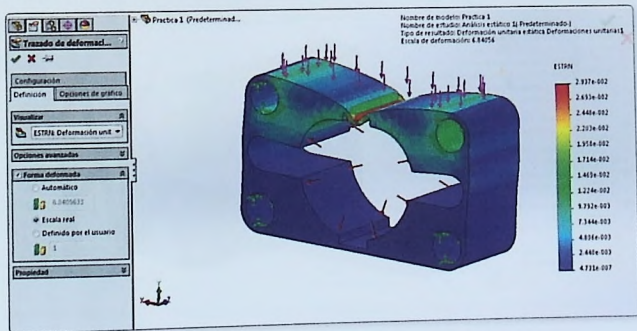
Paso 19. Coloque el desplazamiento en Escala real.



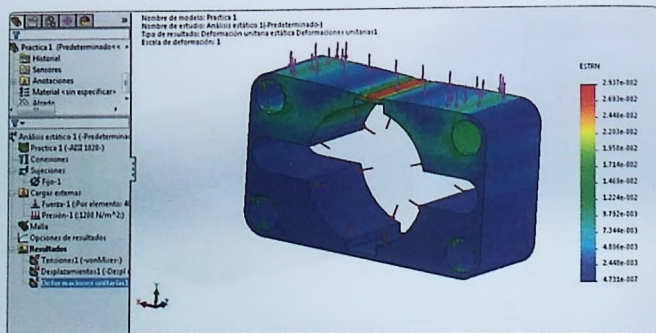
Paso 20. Se observan desplazamientos muy pequeños, el máximo es 0.008779 m.



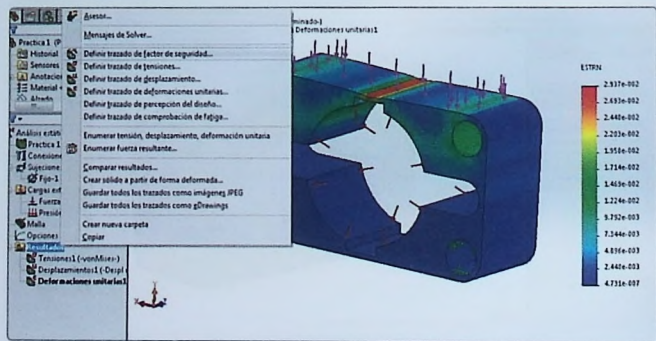
Paso 21. Deformaciones unitarias a escala real



Paso 22. Los valores de deformación son muy bajos.



Paso 23. Factor de seguridad



Paso 24. En la pestaña Automático, haga clic en Tensión de von Mises máx.

Factor de seguridad

Los trazados de Factores de seguridad se basan en el criterio de error empleado. Consulte la ayuda en línea para obtener más información.

Paso 1 de 3

Todos

Sólidos seleccionados

Automático

Tensión de von Mises máx.

Tensión de cortadura máx. (Teoría elástica)

Tensión de Rizo-Coulomb (empírica)

Tensión normal máx. (empírica)

Tensión normal máx. (propietaria)

Establecer límite superior para Factor de seguridad

Propiedad

Nombre de modelo: Práctica 1
 Nombre de estudio: Análisis estático 1 (Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias 1
 Estructura de deformación: 1

E1700v

2.817e-042
 2.613e-042
 2.448e-042
 2.203e-042
 1.958e-042
 1.734e-042
 1.469e-042
 1.224e-042
 9.792e-043
 7.340e-043
 4.894e-043
 2.440e-043
 4.712e-047

Paso 25. El valor es muy bajo (0.035), no soportará las cargas externas.

Alzado

Planta

Vista lateral

Origen

Saliente-Estru1

Análisis estático 1 (Predeterminado)

Práctica 1 (A23 1820)

Conexiones

Superciones

Fijo-1

Cargas externas

Fuerza-1 (Por elemento: 4)

Presión-1 (1200 N/m^2)

Malla

Opciones de resultados

Resultados

Tensiones1 (vonMises)

Desplazamientos1 (Despl)

Deformaciones unitarias1

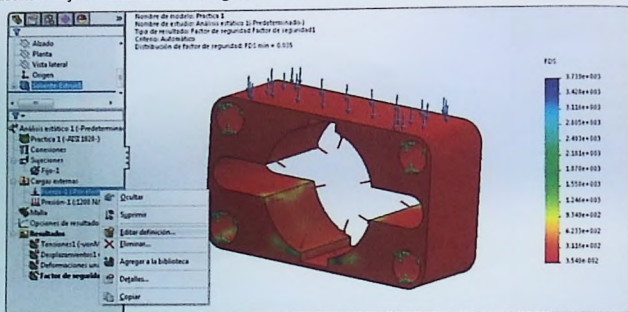
Factor de seguridad1 (FS)

Nombre de modelo: Práctica 1
 Nombre de estudio: Análisis estático 1 (Predeterminado)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad 1
 Criterio: Automático
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 0.035

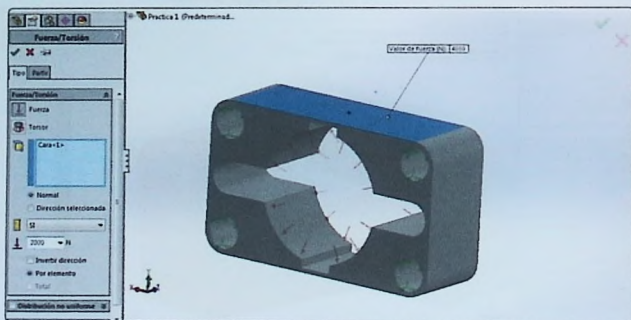
FDS

3.739e+003
 3.420e+003
 3.126e+003
 2.805e+003
 2.493e+003
 2.185e+003
 1.879e+003
 1.558e+003
 1.266e+003
 9.349e+002
 6.233e+002
 3.126e+002
 1.540e+002

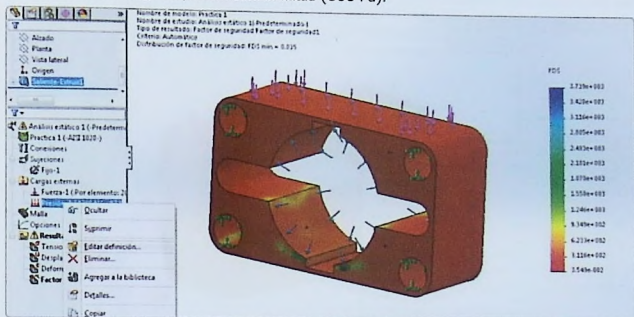
Paso 26. Baje los valores de las cargas.



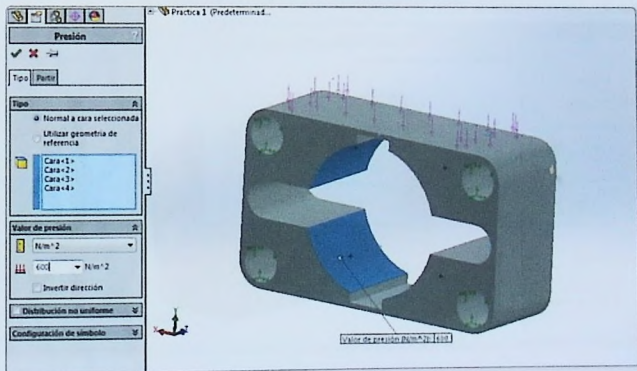
Paso 27. La nueva carga de fuerza será la mitad (2000 N).



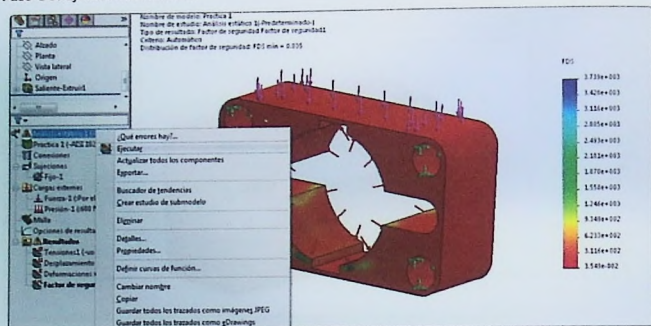
Paso 28. La nueva carga de presión será la mitad (600 Pa).



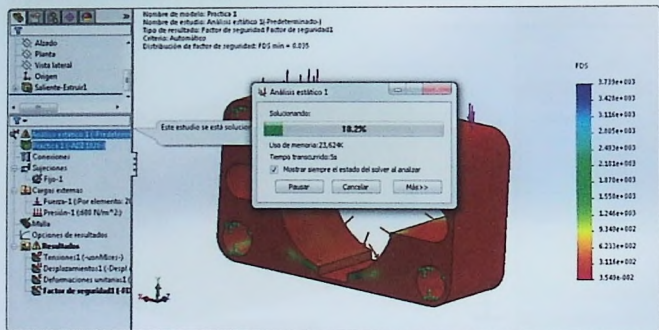
Paso 29. Seleccione las caras donde se aplicarán las cargas de presión.



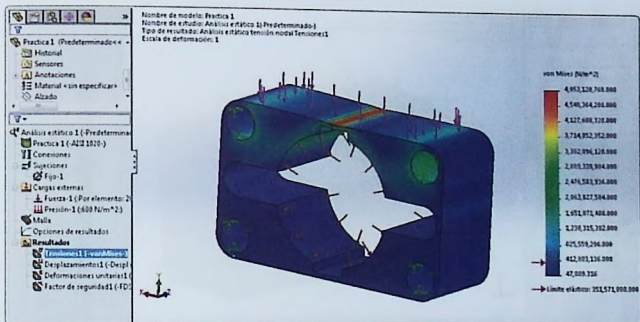
Paso 30. Ejecute nuevamente.



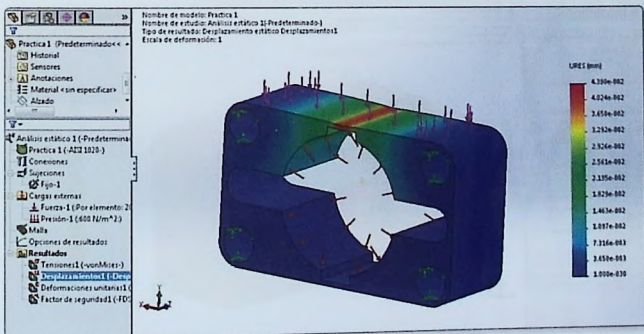
Paso 31. Los resultados se están procesando.



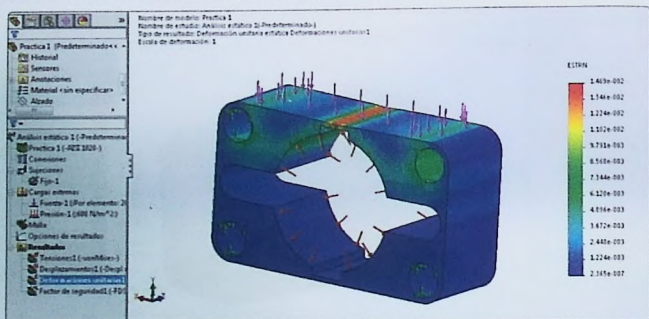
Paso 32. Haga clic en Resultados y seleccione Tensiones1 (-vonMises-).



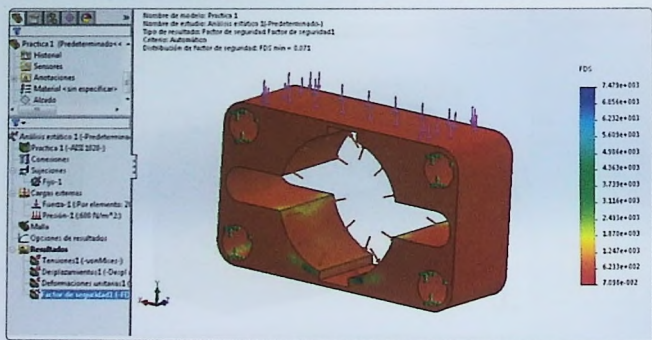
Paso 33. En el ícono Resultados, haga clic en Desplazamientos1.



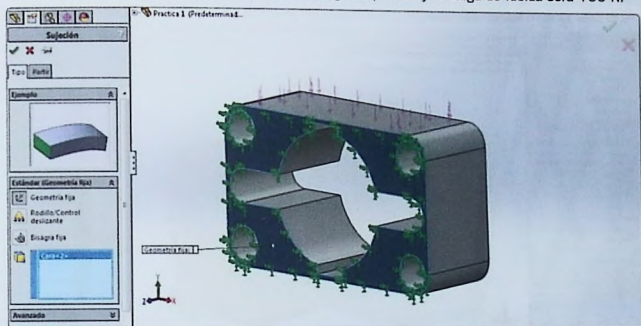
Paso 34. En el ícono Resultados, haga clic en Deformaciones unitarias1.



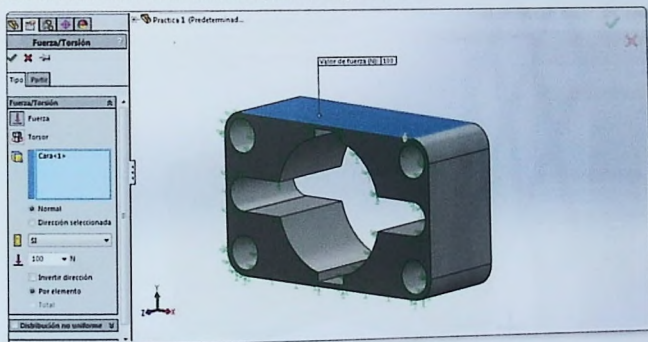
Paso 35. En el ícono Resultados, haga clic en Factor de seguridad1, que ahora será 0.071.



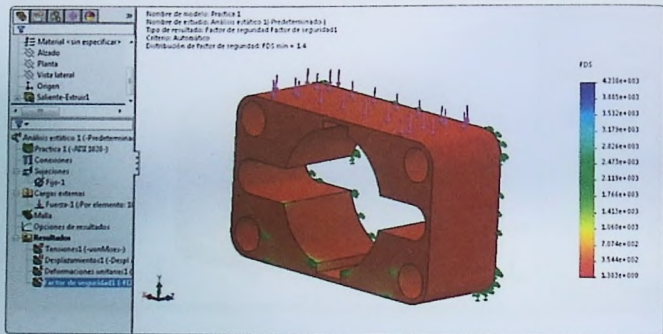
Paso 36. Cambie el tipo de sujeción, suprima la carga de presión y la carga de fuerza será 100 N.



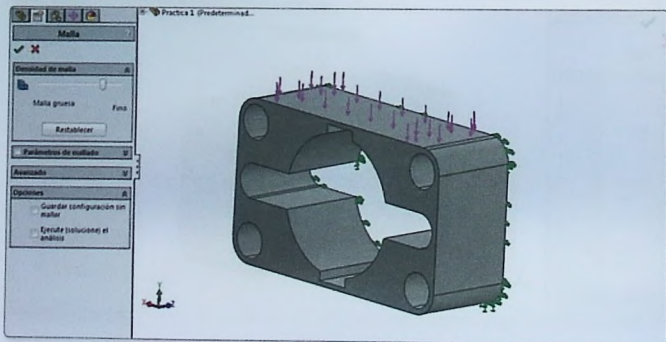
Paso 37. Seleccione la cara donde se aplicará la carga de fuerza.



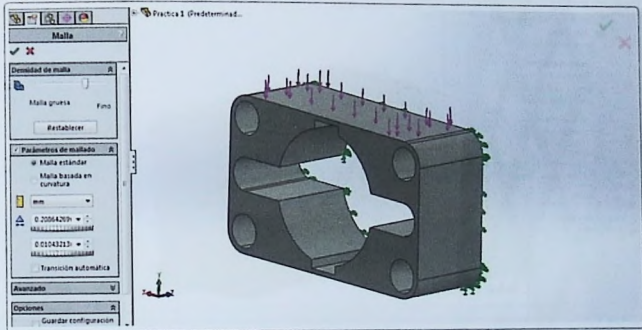
Paso 38. Ejecute y observe que los resultados del factor de seguridad han adoptado el valor mínimo de 1.4, el cual ya está dentro del rango.



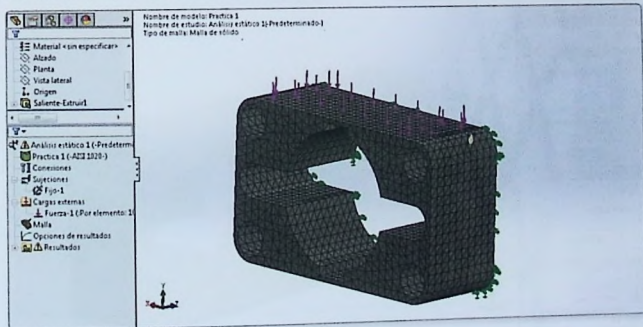
Paso 39. Malle nuevamente.



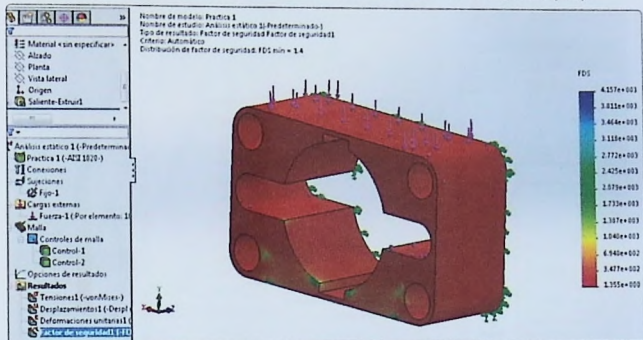
Paso 40. Use los parámetros de mallado, donde el tamaño máximo del elemento es 0.20864 mm y el tamaño mínimo es 0.01043 mm, tal como se muestra en el gestor de simulación.



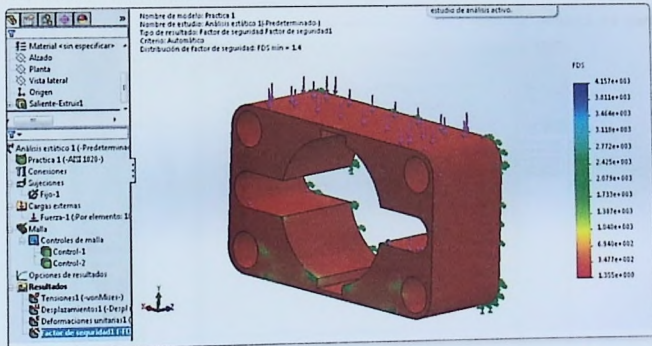
Paso 41. Acepte para que comience a mallar la pieza.



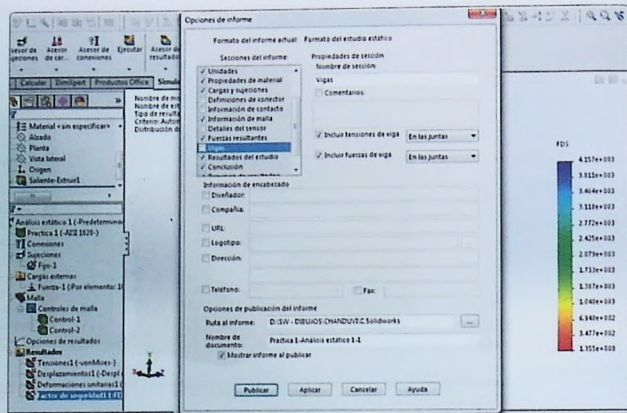
Paso 48. Al desplegar los controles de malla en el gestor de simulación, se pueden apreciar los controles de mallado realizados; asimismo, si ejecuta nuevamente el estudio, observará que arroja otros resultados mucho más precisos, de los cuales se toma el valor de factor de seguridad (1.4).



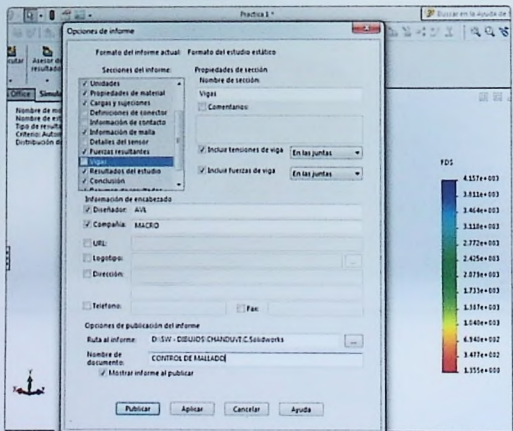
Paso 49. Cree el informe final.



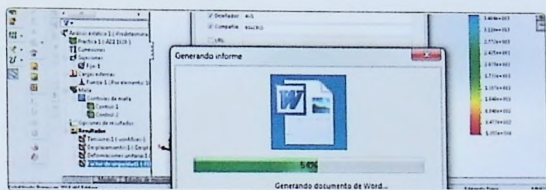
Paso 50. Desactive las opciones que no tendrá en cuenta.



Paso 51. Complete los datos y haga clic en **Publicar**.



Paso 52. El informe se está procesando.



6.6 SIMULACIÓN

6.6.1 Descripción

- ▲ Fecha: miércoles, 23 de abril de 2014.
- ▲ Diseñador: AVL
- ▲ Nombre de estudio: Análisis estático 1
- ▲ Tipo de análisis: Análisis estático

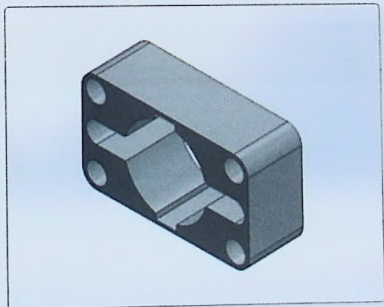
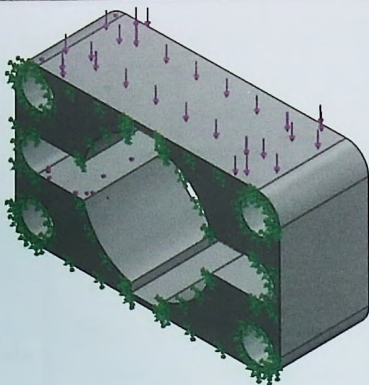


Fig. 6.3 Modelo Práctica 1
Imagen tomada por el autor

6.6.2 Información del modelo



Nombre del modelo: Práctica 1
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratamiento	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Sallente-Extruir1	Sólido	Masa: 0.000153872 kg Volumen: 1.94775e-008 m ³ Densidad: 7900 kg/m ³ Peso: 0.00150795 N	D:\SW - DIBUJOS\CHANDUV\IC. Solidworks\Practica 1.SLDPR1 Apr 23 01:06:30 2014

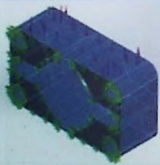
6.6.3 Propiedades del estudio

Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SolidWorks Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (<i>Inplane</i>)	Desactivar
Muelle blando	Desactivar
Desahogo inercial	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automática
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SolidWorks (D:\SW - DIBUJOS\CHANDUVIC.Solidworks)

6.6.4 Unidades

Sistema de unidades	métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	kelvin
Velocidad angular	rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

6.6.5 Propiedades del material


Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
Saliente-Extruir1 	Nombre: AISI 1020 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises Límite elástico: $3.51571e+008 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $4.20507e+008 \text{ N/m}^2$ Módulo elástico: $2e+011 \text{ N/m}^2$ Coeficiente de Poisson: 0.29 Densidad: 7900 kg/m^3 Módulo cortante: $7.7e+010 \text{ N/m}^2$ Coeficiente de dilatación térmica: $1.5e-005 /\text{kelvin}$	Sólido 1 (Saliente-Extruir1) (Práctica 1)
Datos de curva: N/A		

6.6.6 Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		Entidades: 1 cara Tipo: Geometría fija

Fuerzas resultantes

Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción (N)	-0.00108759	99.9989	-0.00467824	99.9989
Momento de reacción (Nm)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 1 cara Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 100 N Ángulo de fase: 0 Unidades: deg

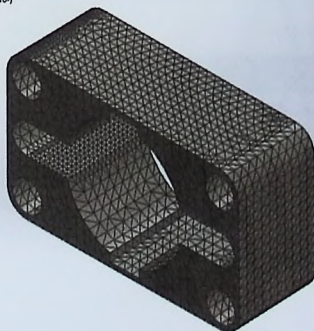
6.6.7 Información de la malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Transición automática	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla	Desactivar
Puntos Jacobianos	4 puntos
Tamaño de elementos	0.208643 mm
Tolerancia	0.0104321 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

6.6.8 Información de la malla - detalles

Número total de nodos	34972
Número total de elementos	21213
Cociente máximo de aspecto	4.3259
Porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es menor a 3	98.5
Porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es mayor a 10	0
Porcentaje de elementos distorsionados (jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:04
Nombre de computadora	USUARIO-PC

Nombre de modelo: Práctica 1
 Nombre de estudio: Análisis estático 1-(Predeterminado-)
 Tipo de malla: Malla de sólida



6.6.9 Información sobre el control de malla

Nombre del control de malla	Imagen del control de malla	Detalles del control de malla
Control-1		Entidades: 2 caras Unidades: mm Tamaño: 0.112734 Coeficiente: 1.5
Control-2		Entidades: 1 cara Unidades: mm Tamaño: 0.0824475 Coeficiente: 1.5

6.6.10 Fuerzas resultantes

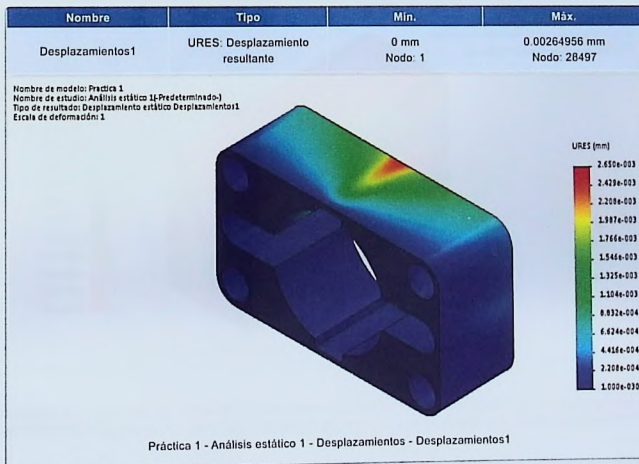
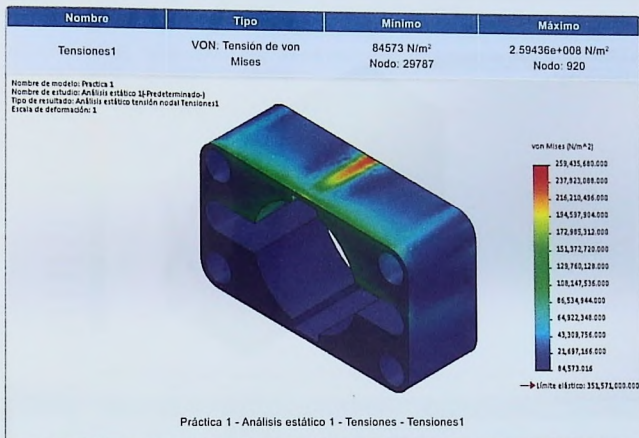
Fuerzas de reacción

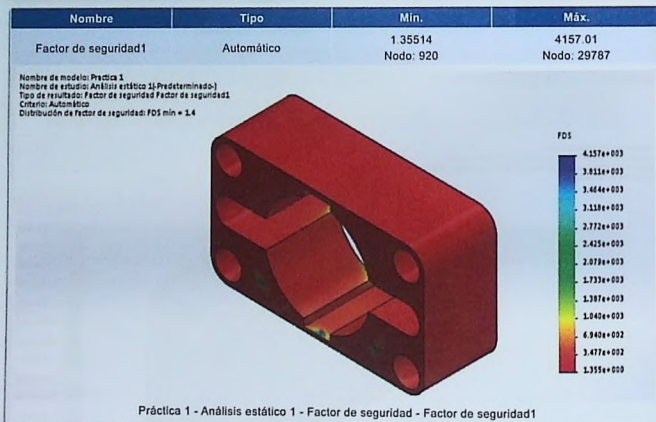
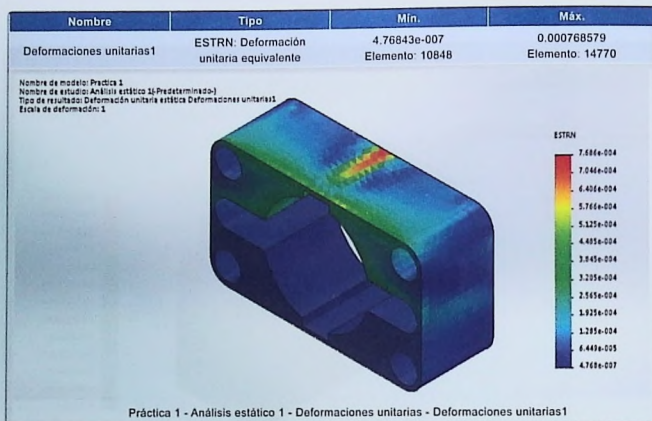
Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0.00108759	99.9989	-0.00467824	99.9989

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el modelo	Nm	0	0	0	0

6.6.11 Resultados del estudio





Conclusión

En este estudio se han realizado dos controles de mallado para disminuir los errores, los cuales han permitido tener valores más precisos que con la malla estándar. Así, el factor de seguridad final mínimo es 1.4.

BIBLIOGRAFÍA

Dassault Systemes. [Recurso electrónico]. Disponible en <http://help.solidworks.com/2014/Spanish/SolidWorks/cworks/c_Simulation_Studies.htm>.

Shigley, J. (2011). *Diseño en ingeniería mecánica*. México: Mc Graw-Hill.

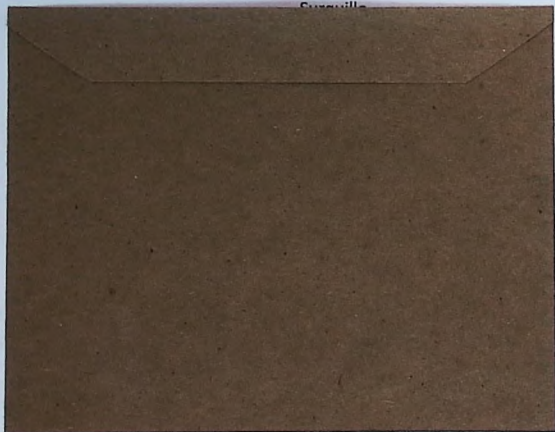
Vera, A. (2011). *Técnicas de mallado*. Manuscrito inédito, USAT, Perú.

Zienkiewicz, O. y Taylor, R. (2008). *Finite element method*. Madrid: UPC.

Impreso en los talleres gráficos de



Cuzco





Ing. Alejandro Vera Lázaro

Ingeniero mecánico egresado de la Universidad Nacional de Trujillo. Diplomado en Computer Aiding Design and Computer Aiding Engineering CAD-CAE-UCV, especialización en Análisis Vibracional en Máquinas y Estructuras Mecánicas con Modelamiento en Elementos Finitos en Diseño Mecánico. Además, cuenta con una maestría en Ingeniería Mecánica Eléctrica con mención en Energía (Convenio UNPRG-CARELEC).

En la actualidad, se desempeña como docente en la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Asimismo, es consultor de empresas e instructor de MATLAB y SolidWorks Simulation en estudio estático, frecuencial y térmico, así como en Computational Fluids Dynamics (CFD).

Con respecto a sus líneas de investigación, está dedicado a la aplicación del método de elementos finitos a la ingeniería en diseño de máquinas.

Es un texto que desarrolla los conceptos más relevantes para el manejo adecuado de SolidWorks, el cual es un software de diseño asistido por computadora, que permite modelar piezas y conjuntos, y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción.

Este texto tiene el objetivo de ser un material de apoyo para que los usuarios plasmen con rapidez sus ideas, experimenten con las operaciones, produzcan modelos en 3D y detallados en 2D. Es por ello que desarrolla temas como: asignación de materiales y aplicación de diferentes tipos de cargas, sujeciones o técnicas de mallado necesarias para obtener esfuerzos y deformaciones; entre otros.

Esta publicación está dirigida a estudiantes de Ingeniería Mecánica, Ingeniería Industrial, Ingeniería Civil, profesionales y directores de empresas del rubro metal mecánico y estructural.

Contenido

- Capítulo 1: Fundamento teórico
- Capítulo 2: Activación de simulación con SolidWorks
- Capítulo 3: Casos de aplicación
- Capítulo 4: Torsión
- Capítulo 5: Chapa metálica
- Capítulo 6: Control de malla



ISBN: 978-612-304-214-1






9 786123 042141

Contiene casos desarrollados paso a paso para una mejor comprensión del tema





EDITORIAL
MACRO

Oficina principal

 Av. Paseo de la República 5613, Miraflores
Lima, Perú
 Central telefónica: (511) 748-0560
 Email: ventas@editorialmacro.com
atencionalcliente@editorialmacro.com

 Encuétranos como
Editorial Macro

 Encuentra aquí más publicaciones
www.editorialmacro.com