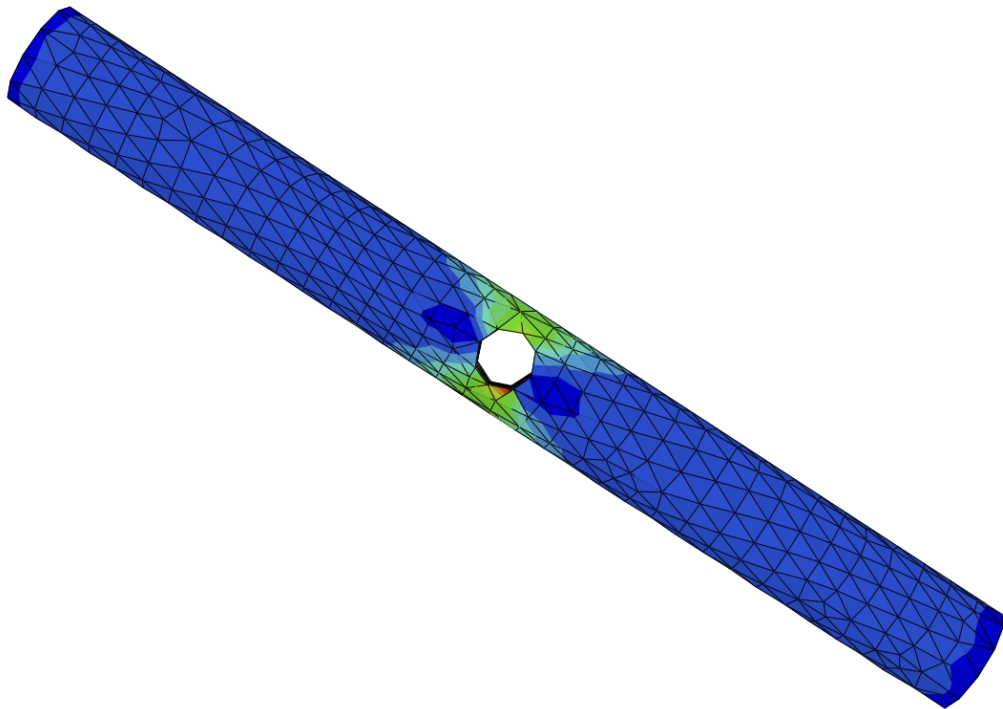


Análisis estático de tensiones 1

Mecánica del Sólido Deformable: Práctica 3
Profesores: Ignacio Romero



Índice

1. Introducción	2
2. Material que entregar	2
3. Ensayo de tracción	2
3.1. Geometría	2
3.2. Mallado	3
3.3. Material	3
3.4. Asignación del material a la probeta	3
3.5. Condiciones de contorno y cargas	3
3.6. Análisis	5
3.7. Postproceso	5
3.8. Preguntas	6
4. Taladro pasante en la pieza	7
4.1. Modificación de la geometría ya existente	7
4.2. Mallado	7
4.3. Análisis	7
4.4. Preguntas	8
5. Análisis de una biela sometida a cargas térmicas	9
5.1. Geometría	9
5.2. Mallado	9
5.3. Material	9
5.4. Asignación del material a la probeta	9
5.5. Definición de los pasos del análisis	9
5.6. Condiciones de contorno y cargas	9
5.7. Análisis	10
5.8. Postproceso	10
5.9. Preguntas	10

1. Introducción

En esta práctica vamos a analizar dos problemas mecánicos sencillos: una probeta sometida a tensión y las tensiones de origen térmico en una pieza sometida a un salto de temperatura.

El primer análisis consiste en simular un ensayo de tracción estático en una probeta de acero cilíndrica. La realización de este ensayo es muy común en los laboratorios, ya que es un procedimiento de muy bajo coste que en poco tiempo permite trazar la curva tensión-deformación que resume el comportamiento a tracción del material. A partir de ella se puede conocer por ejemplo la resistencia a la tracción y la ductilidad del material. Como nos encontramos trabajando bajo las simplificaciones de pequeñas deformaciones, simularemos solamente los pasos iniciales del ensayo, donde la probeta se encuentra todavía en régimen elástico y las deformaciones son, efectivamente, “pequeñas”. Vamos a comparar los resultados obtenidos a partir de la simulación con los esperados por la teoría, y vamos a aprender a valernos de las simetrías existentes en nuestro modelo para simplificar nuestra simulación. Tras esto, observaremos los efectos de “concentración de tensiones” que suponen los defectos en el material. Realizaremos un taladro pasante en nuestra probeta y observaremos qué ocurre en la zona cercana al mismo.

El segundo análisis estudia las tensiones y deformaciones que aparecen en una biela cuando ésta se somete a una dilatación térmica pero sus extremos tienen los desplazamientos impedidos. Este ejemplo, aunque simplificado, ilustra el tipo de tensiones que aparecen en las piezas de los motores de explosión.

2. Material que entregar

Se pide responder a todas las preguntas que aparecen en este manual. Se pueden acompañar las respuestas de todas las imágenes y ficheros de Abaqus que se estime oportuno.

Además, se deberá presentar el análisis de una pieza mecánica *distinta a las descritas en el guión* que se analizará para obtener sus tensiones, deformaciones y desplazamientos cuando esté sometida a sollicitaciones mecánicas y térmicas. La pieza puede ser de geometría sencilla, pero se valorará la originalidad del análisis.

3. Ensayo de tracción

3.1. Geometría

Generaremos con Abaqus una probeta cilíndrica de $D=20$ mm de diámetro y $H=200$ mm de altura ($H=10 \times D$). Para ello generamos una “Parte” en Abaqus. Será un modelo 3D, Deformable, Solido, y de Revolución. Escogeremos como tamaño aproximado la altura del cilindro. En la cuadrícula que aparece para trazar el boceto, donde el eje verde es el eje de revolución, crearemos un rectángulo de 10×200 , de forma que al revolucionarlo 360° obtengamos nuestra probeta.

3.2. Mallado

En el árbol general de la izquierda, vamos a (...)→*Parts* →*Mi Parte*, y hacemos doble *click* en *Mesh*, tal y como hicimos en la práctica 1.

Hacemos *click* en *Seed Part*. Aparece una ventana flotante con diferentes opciones. Refinamos el *Approximate global size* a un tamaño de 5.8. Hacemos *click* en *OK*. A continuación pinchamos en la base de la pantalla, en *Done*. Con esto, hemos generado unos puntos imaginarios desde los que el algoritmo de mallado intentará mallar la pieza.

Por último empleamos la herramienta *Mesh Part*. En la base de la pantalla aceptamos que malle pinchando en *Yes*. Se generarán aproximadamente 714 elementos hexahédricos.

3.3. Material

El material de la pieza que queremos ensayar será de un acero con constantes elásticas $E=210$ GPa y $\nu = 0.3$.

Para introducir el material en *Abaqus*, en el menú desplegable de la izquierda vamos a *Models(1)* → *Model-1* → *Materials*. Renombramos el material como “Acero”.

A continuación pinchamos en *Mechanical* → *Elasticity* → *Elastic*, especificando así la ley constitutiva de nuestro material. El valor del módulo de Young será de $2.1 \cdot 10^5$ y el coeficiente de Poisson 0.3.

3.4. Asignación del material a la probeta

Vamos a asignar ahora a nuestra probeta el material que hemos creado. Por desgracia *Abaqus* no permite hacerlo de forma directa (esto es, asociar a la pieza un material), sino que tenemos que crear un ente intermedio, llamado sección, de forma que al final “Mi pieza” tiene la sección “Mi sección”, que es de material “Acero”.

Vamos para ello a *Models(1)* → *Model-1* → *Parts* → *Mi Parte*, y hacemos doble *click* en *Section Assignments*.

A continuación pinchamos sobre el cilindro para seleccionarlo, y en la base de la pantalla *click* en *Done*.

En la ventana flotante pincharemos en la opción *Create...*, y creamos ahí una sección que llamamos “Mi sección”, tipo *Solid, Homogeneous*. *Click* en *Continue*, *OK* y de nuevo *click* en *OK* para terminar con la asignación de la sección.

3.5. Condiciones de contorno y cargas

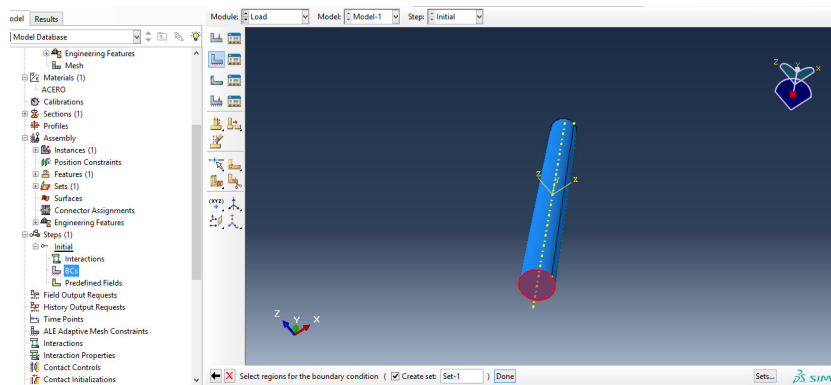
Lo primero que hacemos es ir al submenú *Assembly* → *Instances* del menú desplegable. Tras hacer doble *click*, nos aparecerá una ventana flotante, donde no tenemos más que pinchar en *OK*. Esto lo hemos hecho para “informar” al programa de las piezas que vamos a querer ensayar. En este caso, como solo tenemos una pieza, no hay confusión posible, pero podríamos haber diseñado varias piezas y querer incluir en el análisis solamente algunas de ellas.

Para representar el agarre de las mordazas, se impedirán los desplazamientos de la cara inferior tanto en la dirección del eje de la barra como en su propio plano. La cara superior tendrá impedidos los desplazamientos en el plano de la propia cara y estará sometida a una carga distribuida homogéneamente en la dirección del eje del cilindro.

Para ello vamos al submenú *Steps*. Aquí se definen los distintos pasos del análisis.

Por defecto aparece siempre el primer paso, llamado *Initial*. Al desplegarlo, aparece *BCs*. Hacemos doble clic.

Vamos a crear aquí las condiciones de contorno de empotramiento de la base. Lo llamaremos “Empotramiento base”. El *Step* es el inicial, categoría *Mechanical*, y el tipo de condición será *Displacement/Rotation*. Pinchamos en *Continue*. Ahora tenemos que elegir la región donde asignamos las condiciones de contorno. Seleccionamos la tapa inferior, que debe aparecer en rojo al escogerla. Podemos ayudarnos de la herramienta de rotación para ver la pieza en el ángulo más cómodo. Tras pinchar en *Done*, tenemos que determinar los grados de libertad a impedir, que en este caso serán todos los desplazamientos (U1, U2 y U3). Una vez tenemos los tres “ticks” activados, pinchamos en *OK*.



Repetimos los pasos anteriores para crear una nueva *BC* en la tapa superior (“Empotramiento superior”). En esta ocasión seleccionamos solamente los grados de libertad U1 y U3, ya que el desplazamiento en el eje *y* será un desplazamiento impuesto que asignaremos a continuación.

Para crear nuestro paso de carga, que es cuando realmente sometemos la pieza a tracción, hacemos doble *click* en *Steps*.

En la ventana flotante, llamamos al nuevo *step* “Desplazamiento impuesto”, que irá después del paso *Initial*, tipo *General*, y será *Static, General*. Pinchamos en *Continue*, y después en *OK*.

Podemos ver que en el submenú de *Steps* ha aparecido un nuevo paso, el que acabamos de crear. Desplegamos las opciones en “Desplazamiento impuesto”, y vemos como aparecen más opciones que en el *Step initial*.

Pincharemos en *Loads* para crear una fuerza distribuida de tracción sobre la tapa superior. La llamaremos Tracción (aparecerá en el *Step* “Desplazamiento impuesto”), categoría mecánica, y de tipo “Surface traction”, hacemos click en «Continue».

A continuación seleccionamos la cara superior del cilindro, y clicamos en *Done*. En la ventana flotante tenemos que especificar tres cosas: el tipo de “Tracción” debe ser *General*, el vector director de la carga (pinchando en *Edit*) es un vector que empieza en el punto 0,0,0 -*Enter*- y va hasta el 0,1,0. Por último, añadimos la magnitud, 8400 (MPa). Hacer click en «OK» para terminar.

3.6. Análisis

Terminada la definición de las cargas y condiciones de contorno, vamos a lanzar el análisis.

Para ello vamos al menú *Analysis* → *Jobs*. Doble *click*.

Lo renombramos como “Análisis1”, y *Continue*. *Click* en *OK*.

Tras esto, pinchamos con el botón derecho del ratón sobre “Análisis1”, y en el menú que aparece pinchamos en *Submit*. Con esto habremos lanzado el análisis.

En el área de mensajes podemos seguir el proceso del análisis. En primer lugar se nos informa de la creación del fichero *.inp*, después del correcto procesamiento del mismo, y por último aparecerá un mensaje en el que se informa del final del análisis (*Job Analisis1 completed succesfully*).

Para ver los resultados volvemos a pinchar botón derecho sobre “Análisis1”, y ahí, *Results*.

3.7. Postproceso

Abaqus posee gran cantidad de herramientas de postproceso que nos permiten ver las deformaciones, tensiones, y muchas más variables generadas en la pieza con nuestro análisis. Hoy veremos solamente las más básicas.

Una vez nos encontramos en el módulo de visualización de resultados, aparecen diversos comandos a la izquierda de la figura.

En primer lugar pinchamos sobre *Plot Contours on Deformed Shape*. Esto no sólo nos muestra la estructura deformada, sino que pinta sobre ella distintas variables.

Por defecto nos mostrará la tensión de Von Mises, pero podemos elegir la variable que queramos que pinte en las opciones desplegadas, justo al lado de la barra de Guardar, Imprimir, etc. Ahí podemos elegir que pinte la deformación (E), y dentro de todas las deformaciones posibles, la deformación principal máxima en cada punto (Max. Principal).

Precaución: la deformada que aparece no es la deformada real, sino que *Abaqus* aplica por defecto un coeficiente de escalado.

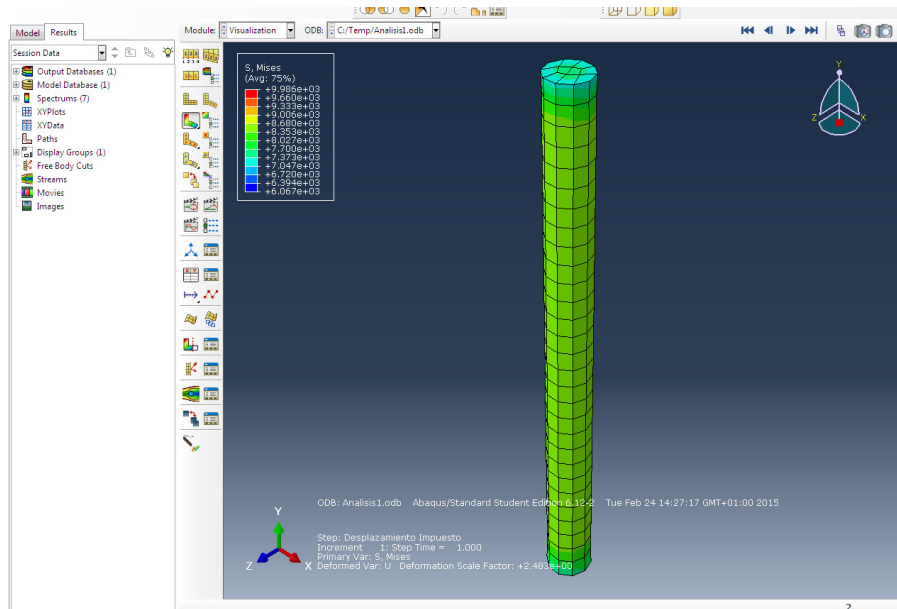
Para conseguir la deformación real, pinchamos en el icono *Common Options*, y ahí en *Deformation Scale Factor*. Clicamos sobre *Uniform*, dando a continuación un valor de 1.0.

Vemos así que en realidad la estructura ha sufrido una deformación muy pequeña. (Solamente se escala el factor de deformación del dibujo, no los resultados de las tensiones, pero es importante acostumbrarse a esto para evitar falsas impresiones).

3.8. Preguntas

Contesta a las siguientes preguntas:

- Observa las tensiones resultantes en las tres direcciones principales 1, 2 y 3. ¿Es homogéneo el campo de tensiones en toda la probeta? ¿Se cumple el principio de Saint-Venant? ¿Los resultados del campo de tensiones en el centro de la pieza son los que cabría esperar atendiendo a la teoría?
- ¿Qué deformación máxima hay en la dirección de la carga? ¿Se puede admitir la hipótesis de pequeñas deformaciones? ¿Se justifica entonces utilizar la teoría de la elasticidad lineal para calcular el comportamiento a tracción de esta pieza?



4. Taladro pasante en la pieza

A continuación vamos a realizar un taladro pasante perpendicular al eje del cilindro, en el centro del mismo. Esto nos permitirá ver los efectos que tienen los defectos geométricos en los campos de tensiones y deformaciones de la pieza.

4.1. Modificación de la geometría ya existente

Vamos a aprovechar el trabajo realizado anteriormente, de forma que sólo tengamos que añadir el taladro pasante al cilindro.

Por tanto, nos vamos al módulo “geométrico” de *Abaqus*. Para ello, en la barra de herramientas que aparece justo encima del cilindro, cambiamos el menú desplegable de *Module*: a *Part*. Observa que la barra de comandos de la izquierda se convierte en la barra de herramientas de modelado tipo “CAD”.

Para definir donde vamos a situar el taladro, necesitamos crear un plano de referencia. Vamos a utilizar un plano de simetría que contenga el eje del cilindro.

Seleccionamos *Create Datum Plane: Offset From Principal Plane*, clicamos sobre la opción *XY Plane* en la parte inferior y elegimos un offset de 12 (mm). Pulsamos «Intro»

Ya estamos listos para aplicar el taladro. Seleccionamos *Create Cut: Extrude* y escogemos el plano que hemos creado antes, cuando aparezca en la parte inferior de la ventana «*select and edge or axis...*», seleccionaremos el eje de revolución y observaremos que el programa, vuelve al modo cad.

A continuación creamos un círculo *Create Circle* centrado en (0, 0) y que pase por el punto (0, 5.5). Aceptamos pinchando en «done.»

En la ventana flotante seleccionamos «*trough all*» y pinchamos en ok con lo que habremos realizado el taladro.

4.2. Mallado

Como hemos modificado la geometría de la pieza, hemos perdido la malla que habíamos realizado en el apartado 5.2. Así pues, debemos volver a mallar la probeta. Hacemos doble *click* en la pestaña *Mesh* que aparece dentro de *Models(1) → Model-1 → Parts → Mi Parte*.

Pinchamos en el comando *Seed Part*, y debemos de modificar “*approximate global size*” a un valor de 71, luego pinchamos en *OK*.

A continuación pinchamos en *Assign Mesh Controls*. Esto lo hacemos porque al introducir el taladro en la geometría se pierde regularidad en el cilindro, y *Abaqus* no es capaz de mallar la pieza empleando hexaedros. Por tanto, en la ventana flotante que aparece, cambiamos *Element Shape* a *Tet* (tetraedros), ya que estos se adaptan mejor a geometrías complejas. Pinchamos en *OK*.

Finalmente pinchamos en *Mesh Part*, y *click* en *Yes* para confirmar. Observa que se han creado unos 456 elementos.

4.3. Análisis

En este caso, *Abaqus* conserva la información anteriormente introducida del material, las condiciones de contorno, las cargas y los pasos de carga. Por ello, basta con crear únicamente un nuevo análisis (*Job*). Haciendo doble *click* en *Jobs*, renombramos el nuevo análisis como “Análisis taladro”, y *Continue. Click*

en *OK*. Tras esto, pinchamos con el botón derecho del ratón sobre “Análisis-taladro”, y en el menú que aparece pinchamos en *Submit*. De nuevo hemos lanzado el análisis, y al haber creado otro distinto podemos seguir accediendo a los resultados anteriormente obtenido, recopilados en “Análisis1”.

Una vez termine de correr el análisis, volvemos a la sección de resultados y observamos lo obtenido.

4.4. Preguntas

Contesta a las siguientes preguntas:

- ¿Qué puedes observar en las tensiones que aparecen en la zona cercana al taladro? ¿Observas alguna relación entre las tensiones que aparecen ahora en el centro, y las que aparecían en el caso anterior?
- ¿Qué consecuencias crees que tienen estas concentraciones de tensiones en la fiabilidad de las piezas mecánicas?

5. Análisis de una biela sometida a cargas térmicas

5.1. Geometría

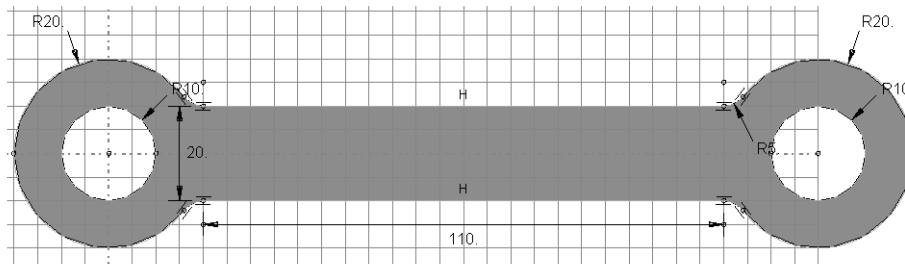


Figura 1: Planta de la biela.

Generaremos con Abaqus una biela de 10 mm de espesor como la que aparece en la figura 2. Para ello generamos una “Parte” en *Abaqus*. Será un modelo 3D, Deformable, Solido, y extruido. Escogeremos como tamaño aproximado 200 mm.

5.2. Mallado

Se repiten los pasos que se siguieron para el análisis de la probeta. Dejando el valor por defecto de 5.5 en «Aproximate Global Size». Se generaran aproximadamente 394 elementos.

5.3. Material

La pieza que queremos ensayar será de un acero con constantes elásticas $E = 210 \text{ GPa}$ y $\nu = 0.3$ y coeficiente de dilatación térmica $\alpha = 10^{-5} \text{ K}^{-1}$. Las propiedades mecánicas se definen de la misma manera que para la probeta y el coeficiente de dilatación térmica se introduce en *Mechanical* \rightarrow *Expansion*.

5.4. Asignación del material a la probeta

Se repiten los pasos que se siguieron para el análisis de la probeta.

5.5. Definición de los pasos del análisis

Dentro de la opción *Steps* definimos un paso (step) de tipo *Static, General*.

5.6. Condiciones de contorno y cargas

Después de añadir una instancia de la biela al análisis, indicamos que las superficies de los dos taladros de la biela están completamente impedidos. Para ello se añadirán condiciones de contorno en ambas superficies, condiciones que serán de tipo *pinned* (es decir, con todos los grados de libertad restringidos).

La biela estará sometida únicamente a cargas térmicas. Para definirlas, empleamos la opción *Predefined Fields*, seleccionando *Category* \rightarrow *Other* \rightarrow *Temperature*.

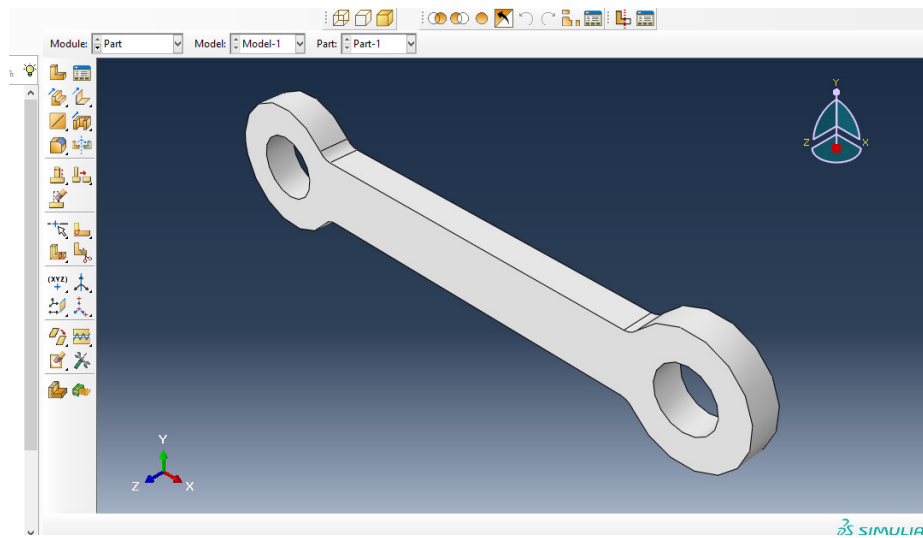


Figura 2: Modelo de la biela.

Después de pulsar en *continue*, deberemos seleccionar toda la biela e indicar que la magnitud del salto térmico es de $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esto termina la descripción del modelo.

5.7. Análisis

Se repiten los pasos que se siguieron para el análisis de la probeta.

5.8. Postproceso

Repitiendo los pasos indicados en la sección anterior para el estudio de los resultados hay que indicar, antes de nada, que los desplazamientos en este problema son muy pequeños y que es posible que el programa los muestre escalados con un factor de escala muy alto. En las secciones anteriores se explicó cómo cambiar esta escala.

5.9. Preguntas

Contesta a las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es la mayor tensión principal que aparece? ¿Dónde es?
- ¿Cuál es la magnitud del máximo desplazamiento?
- ¿Cómo harías si tuvieras que re-diseñar esta pieza para que las tensiones térmicas no fueran tan grandes? ¿Serviría de algo emplear un acero más rígido?