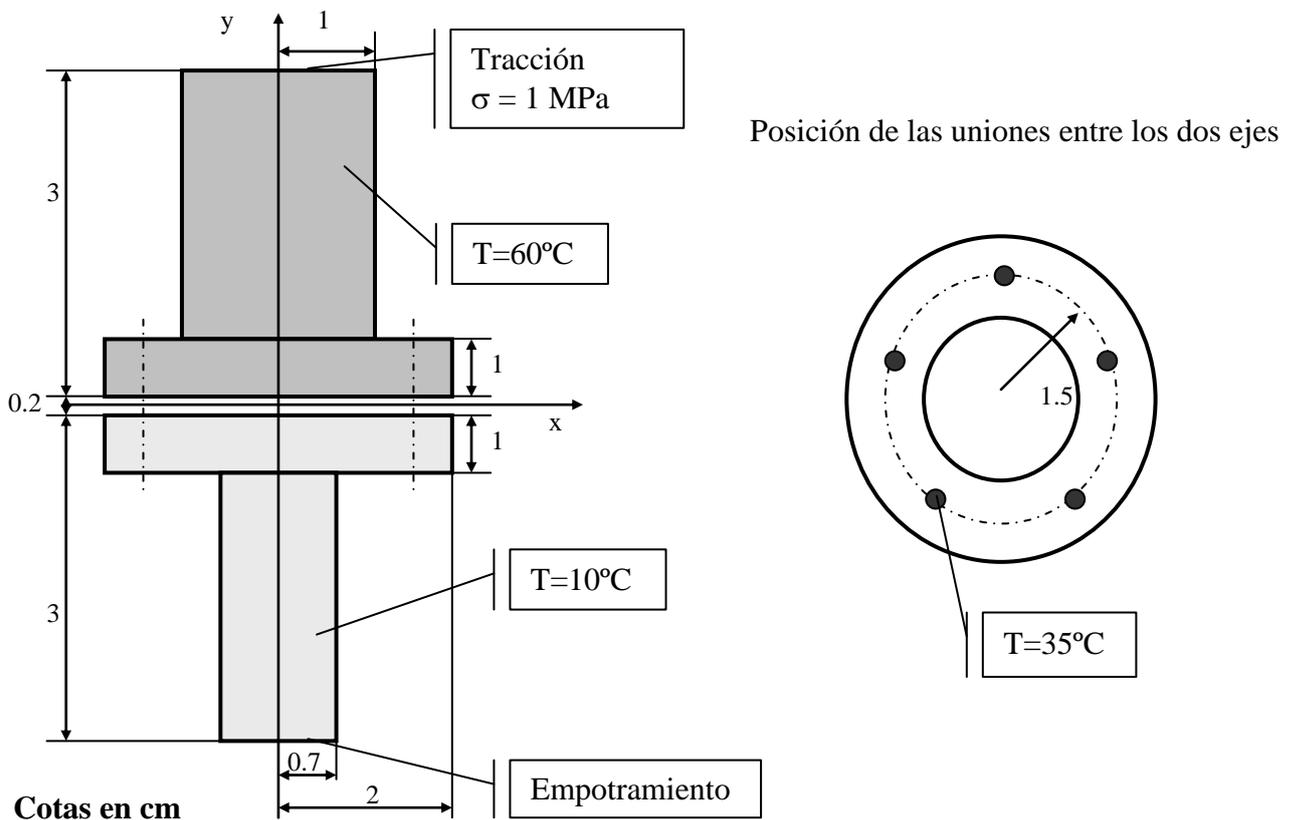


## 1. INTRODUCCIÓN: ESTUDIO TERMO-MECÁNICO DEL COMPORTAMIENTO DE UNA UNIÓN

En esta práctica vamos a estudiar cómo se comporta la unión entre dos ejes del mismo material y diferente sección, cuando éstos se encuentran sometidos a distintas temperaturas. Al efecto térmico, le vamos a añadir la influencia de una carga de tracción.

Por tratarse de dos ejes del mismo material, tendrán el mismo valor del coeficiente de expansión térmica. La temperatura de referencia que se considera será tal que la deformación por dilatación de un eje sea igual pero de signo contrario a la deformación inducida en el otro eje por contracción (no teniendo en cuenta el efecto de la restricción de la base y minimizando el problema de contacto que se origine entre los sólidos).

Un esquema del problema sería el siguiente:



El problema así planteado equivaldría a la existencia de una película compresible de aislante entre los dos ejes. Hemos de pensar que si los dos ejes estuvieran en contacto a diferentes temperaturas, deberíamos contemplar el fenómeno de transferencia de calor por conducción.

#### Datos:

Temperatura del eje de mayor diámetro:	60°C
Temperatura del eje de menor diámetro:	10°
Temperatura de los nodos de conexión:	35°C
Temperatura de referencia:	35°C
Coefficiente de expansión térmica: (valor constante para todo el modelo)	$\alpha_T = 1.26 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Módulo de Young:	$E = 70 \text{ GPa}$
Coefficiente de Poisson:	$\nu = 0.3$
Carga de tracción:	$P = 1 \text{ MPa}$
Base del eje de menor diámetro empotrada	

## **MODELIZACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS**

Se va a realizar un estudio en tres dimensiones del problema. Para la introducción de la geometría haremos uso del hecho de que la pieza es simétrica con respecto al eje Y (sin incluir las uniones). Introduciremos los keypoints, líneas y áreas como si de una pieza plana se tratara.

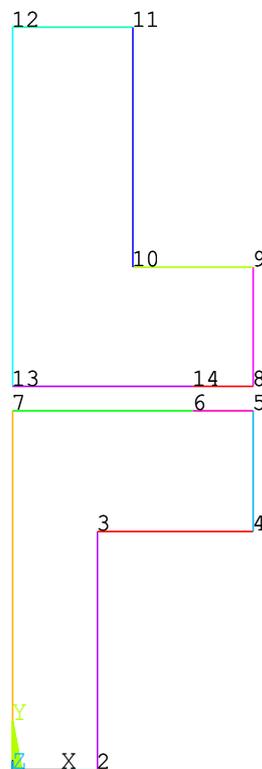


Figura 1. Keypoints y líneas en el plano Z=0.

Los keypoints 6 y 14 de la figura 1 van a representar los puntos de la sección por donde se efectúa la unión.

Una vez creadas las dos áreas, para lograr el modelo en 3D, hemos de generar un volumen por revolución de las mismas (*sweep*). Esto se puede realizar, especificando qué áreas vamos a revolucionar y sobre qué eje, entre una de las posibles formas. En Modeling, Operate, Extrude, Areas, About Axis se nos ofrece esta posibilidad. Se realizará la revolución de las dos áreas al mismo tiempo sobre el eje Y (eligiendo dos keypoints sobre este eje cuando se solicite). Cuando Ansys nos pregunte cuántos volúmenes deseamos crear, figura 2, le diremos 5. Con ello forzaremos que la malla pase por cinco puntos muy concretos de nuestro modelo que vienen a representar la unión entre los dos ejes.

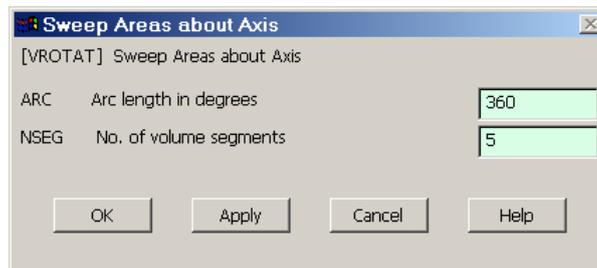


Figura 2. Revolución de áreas para crear volúmenes.

El modelo ofrecerá un aspecto como el de la figura 3.

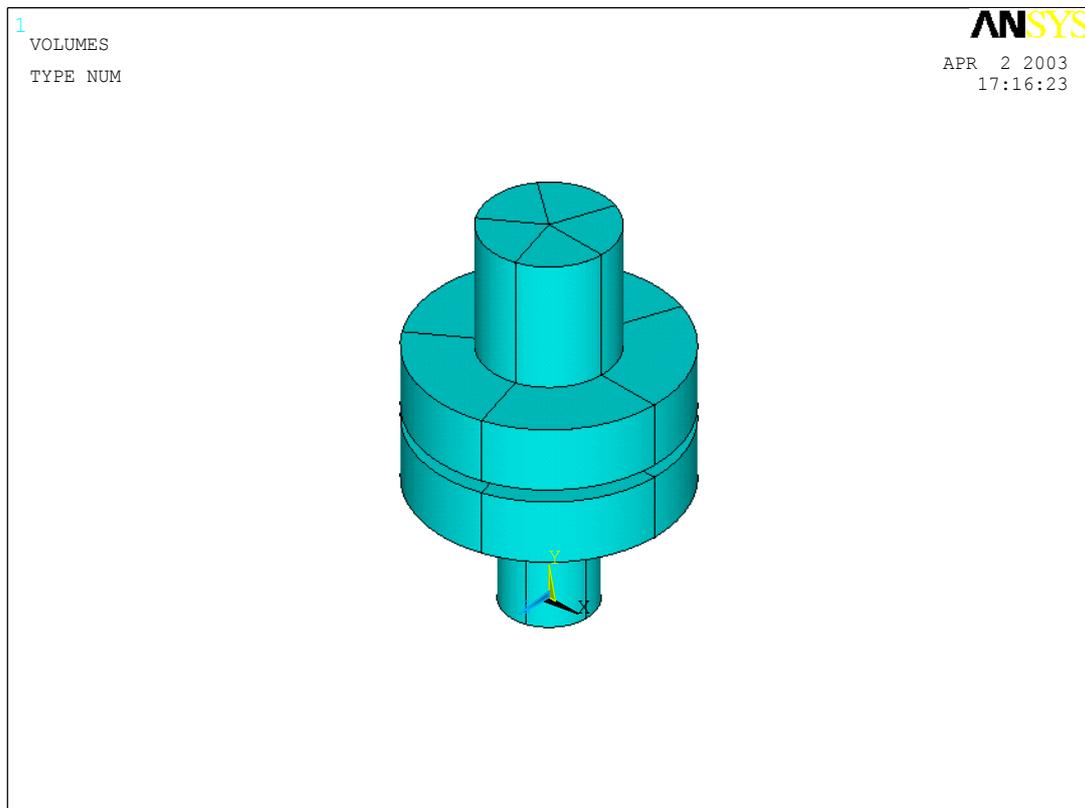


Figura 3. Volúmenes creados por revolución de las áreas alrededor del eje Y.

Una vez obtenida la pieza en 3D, procedemos a definir las características del material y tipo de elemento. El elemento que vamos a emplear es el SOLID95. Es un elemento 3D de interpolación cuadrática (20 nodos). Para obtener más información, teclear en el menú de comandos HELP,95.

El material será isótropo. Como posteriormente necesitaremos diferenciar los dos ejes de alguna manera para asignar temperaturas diferentes a los nodos de ambos, es conveniente realizar lo siguiente. En vez de un material, crearemos dos idénticos, lo único que variará será su numeración. Cuando vayamos a mallar, le diremos a Ansys que lo haga con el material 1 para el eje mayor, por ejemplo, y con el material 2 para el eje menor. Ambos son iguales pero es una forma de diferenciar internamente los ejes para su posterior tratamiento.

Antes de mallar, asignaremos a cada eje el mismo material pero con diferente numeración. En Meshing, Mesh Attributes, Picked Volumes encontraremos esta posibilidad. Eje mayor: material 1; Eje menor: material 2 (figura 4).

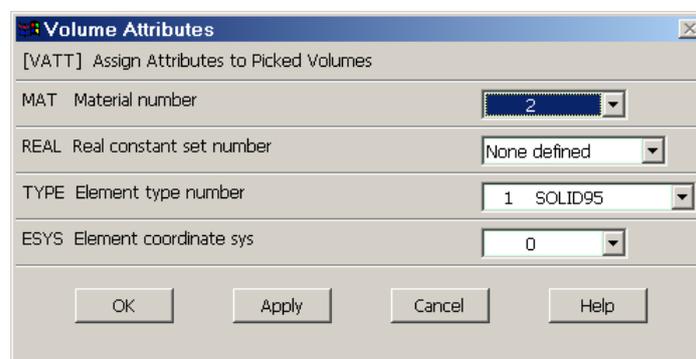


Figura 4. Atributos para mallado de volumen.

El tamaño de los elementos lo estableceremos de forma global, mallando primero los volúmenes del eje mayor y luego los del eje menor. Para los volúmenes que definen el eje de mayor diámetro, pondremos un tamaño global de 0.01. Para los elementos del eje menor, elegiremos 0.007.

Hemos de señalar que la finura de malla no es demasiado buena. Esto viene condicionado por el tiempo estimado de cálculo para su finalización durante la práctica.

Es interesante poder representar los ejes por separado. Para ello seleccionamos en el menú de utilidades la opción Select Entities y en la ventana de selección elegimos Element, By Attributes y Material num, quedando seleccionados todos los elementos cuyo material se invoque (debajo de la etiqueta Min,Max,Inc ponemos 1 ó 2). Haciendo ahora Plot Elements quedan en pantalla los seleccionados. Para hacer una nueva selección, iríamos a Select Everything para seleccionar todas las entidades y repetiríamos el procedimiento anterior.

Haciendo uso de la paleta PlotCtrls Pan, Zoom, Rotate del menú de utilidades, podemos visualizar los puntos obligados de malla que nos interesa. Para posteriormente unir las piezas, vamos a identificar los puntos que queremos unir. En total son 10 y debemos tomar nota de su numeración.

A continuación vamos a poner en contacto los dos volúmenes y unirlos por los nodos que representan la unión. Para ello vamos al menú **Modeling, Move/Modify, Volumes** y seleccionamos los cinco volúmenes que definen el eje de mayor diámetro. En el campo **DY** pondremos  $-0.002$ , como en la figura 5. Automáticamente las piezas se tocan pero todavía no están unidas.

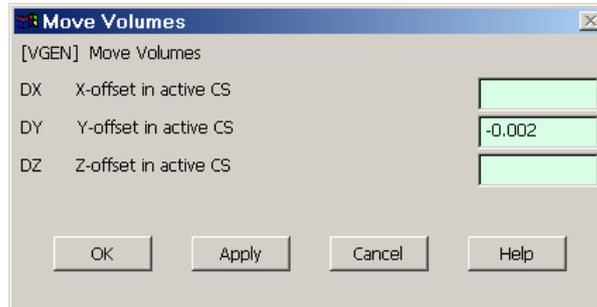


Figura 5. Traslación de volúmenes.

Para seleccionar los nodos de unión haremos uso del menú de comandos. Con **NSEL,S,,,X** se crea un *set* o grupo de nodos donde el nodo **X** será el primero en constituirlo. Para ir añadiendo más nodos al mismo grupo (hasta 10) ejecutamos el comando **NSEL,A,,,Y** donde **Y** es el número de nodo que queremos añadir al grupo. Al finalizar hacemos **NPLOT** para representar los nodos seleccionados. Cualquier acción que se ejecute ahora recaerá sobre estos nodos.

Para unir los dos ejes vamos a colapsar los nodos que coinciden en el espacio, para ello hacemos clic en **NumberingCtrls, Merge Items**. Seleccionamos **Nodes** en la ventana que aparece y ponemos una tolerancia de  $10^{-5}$ . Hacemos clic en **OK** y tendremos la estructura unida por los 5 puntos. En la ventana de salida de Ansys podemos comprobar cómo ha unido los nodos dos a dos.

Para introducir las condiciones de contorno de desplazamiento vamos a la opción **Loads, Define Loads, Apply, Structural, Displacement, On Areas** (en el menú **Preprocessor** o en **Solution**) y seleccionamos las cinco áreas que forman la superficie donde está la condición de empotramiento. Al hacer clic en **OK** aparece la ventana para aplicar restricciones de desplazamiento en áreas y seleccionamos **All DOF**.

Para la introducción de la tracción vamos a la opción **Loads, Define Loads, Apply, Structural, Pressure, On Areas** y seleccionamos las cinco áreas donde está aplicada la presión (al ser de tracción será negativa).

Por último, para aplicar las temperaturas haremos clic en **Select Entities, Elements, By Attributes, Material num** y seleccionamos el material 1. Ahora tenemos los elementos del eje mayor seleccionados. Para seleccionar los nodos asociados al eje mayor hacemos clic en **Select Entities, Nodes, Attached to, Elements, OK**. Podemos dibujar los nodos para comprobar que están correctamente seleccionados. En **Loads, Define Loads, Apply, Structural, Temperature, On Nodes** seleccionamos todos los nodos y les asignaremos un valor uniforme de  $60^{\circ}\text{C}$  como en la figura 6. Procederemos del mismo modo para asignar  $10^{\circ}\text{C}$  al eje de menor diámetro. Para finalizar, volveremos a crear el grupo de nodos de la unión (ahora sólo son 5) y les asignaremos una temperatura de  $35^{\circ}\text{C}$ .

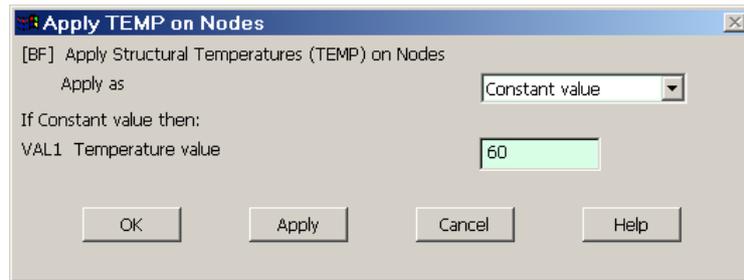


Figura 6. Aplicación de temperatura en nodos.

Ya podemos resolver el problema de la forma habitual (Solution, Solve, Current LS).

Ya en el postproceso, sacaremos la imagen de la deformada así como de la tensión equivalente de von Mises en los nodos. Par ver qué pasa en los puntos de unión, hemos de volver a la filosofía de ir seleccionando los elementos por su material.

Para comprender el problema térmico, se puede realizar un cálculo sin carga mecánica. La deformada mostrará cómo el eje mayor se dilata y el menor se comprime.