

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El componente a analizar es la célula de carga mostrada en la figura 1. Las condiciones de contorno son las indicadas en la figura, una carga de 10 N/mm^2 y un apoyo en la línea inferior.

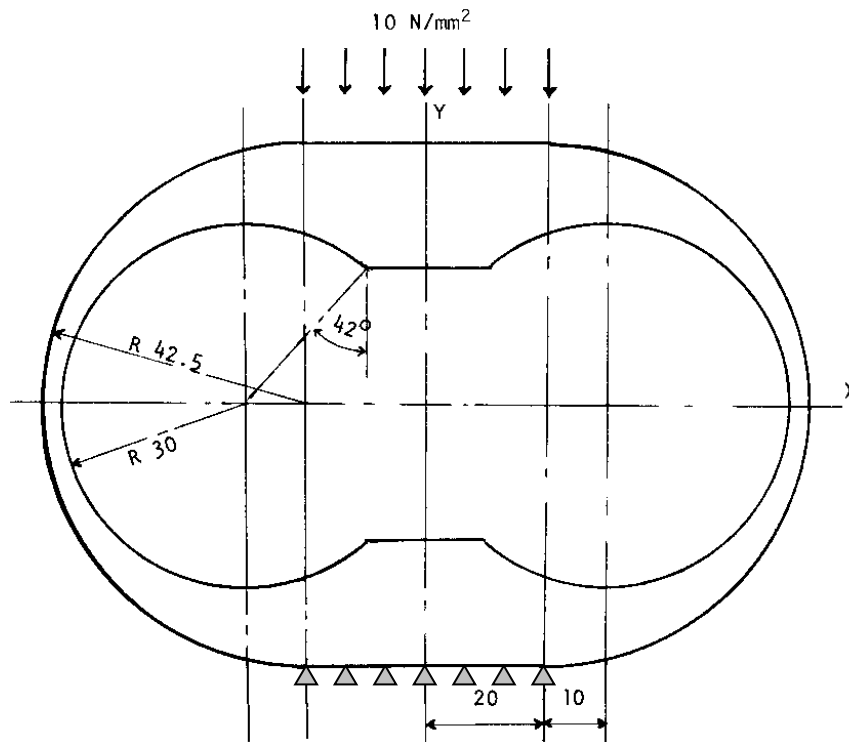


Figura 1. Geometría de la célula de carga y carga aplicada.

1.1 Datos generales

Los datos del material son los siguientes:

$$\text{Módulo de Young} = 2.07 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$$

$$\text{Coeficiente de Poisson} = 0.3$$

$$\text{Densidad} = 7850 \text{ kg/m}^3$$

Se utilizará el elemento cuadrilátero cuadrático (PLANE183) con la opción de comportamiento (K3) de deformación plana ("Plane strain").

Se realizarán dos tipos de análisis. En el primero se estudiará el estado tensional del componente sometido a la carga indicada; en el segundo se calcularán algunas de sus frecuencias naturales y modos de vibración.

2. ANÁLISIS ESTÁTICO

Puesto que existen dos planos de simetría en el componente, tanto en geometría como en cargas (ya que la condición de apoyo impuesta en la línea inferior es equivalente a la carga aplicada en la línea superior), solamente se modelizará una cuarta parte del mismo, como se muestra en la figura 2. La solución obtenida de este modelo sólo se diferenciará de la del modelo completo en una traslación del sistema de referencia para los desplazamientos en dirección y.

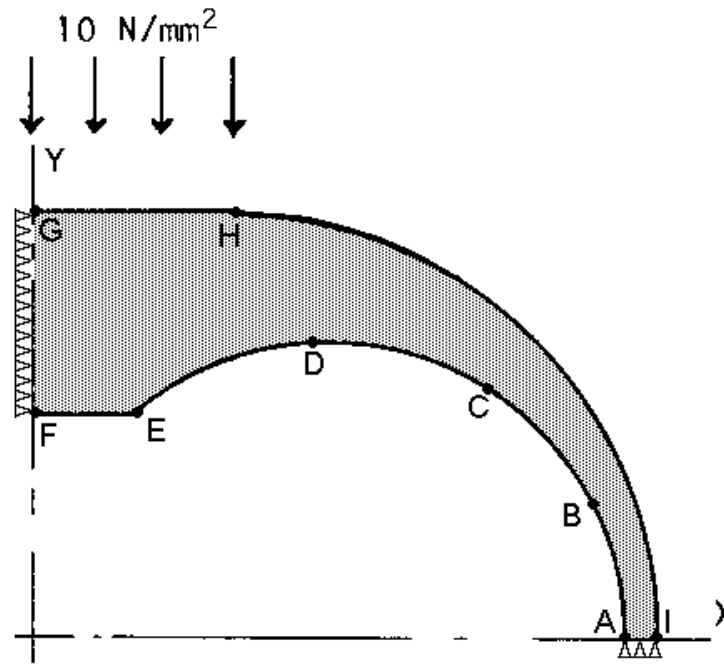


Figura 2. Modelo de la célula de carga para análisis estático.

2.1 Definición de la geometría

Con el fin de utilizar las diferentes herramientas de CAD que incluye ANSYS, en esta práctica se construirá el modelo geométrico mediante la creación de áreas sencillas y operaciones booleanas como intersección, adición y sustracción de las mismas.

Primero crearemos un rectángulo con vértices en (0,0) y (0.07,0.05). Este rectángulo nos servirá después para intersectarlo con otra entidad de manera que sólo nos quede la geometría contenida en el primer cuadrante del sistema de referencia. Para ello entramos en la opción Preprocessor del menú principal y abrimos el submenú Modeling, dentro hacemos clic en Create y luego en Areas y Rectangle. Aparecen tres opciones para crear un rectángulo. La primera (a partir de dos vértices) y la tercera (por dimensiones) están confundidas, con lo que al hacer clic en By dimensions aparece una ventana como la de la figura 3 para introducir las coordenadas de dos vértices opuestos del rectángulo.

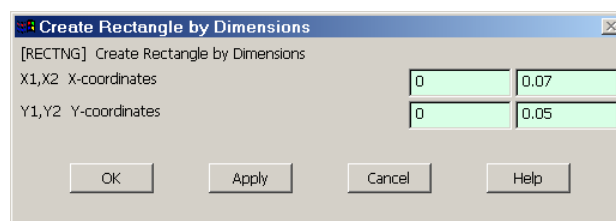


Figura 3. Cuadro de diálogo para definir un rectángulo a partir de dos vértices.

Ahora crearemos otros dos rectángulos con un vértice en (0,0) y otro en (0.02,0.0425) y (0.02,0.0223) respectivamente. Para utilizar la primera opción, By 2 Corners, se puede crear alguno de ellos introduciendo las coordenadas del vértice inferior izquierdo y sus dimensiones.

A continuación crearemos dos círculos, el primero con centro en (0.02,0) y radio 0.0425, el segundo con centro en (0.03,0) y radio 0.03. Para ello en la opción **Areas** del menú principal seleccionamos **Circle** y luego **Solid Circle**. Aparece una ventana como la de la figura 4 donde introduciremos las coordenadas del centro y el radio.

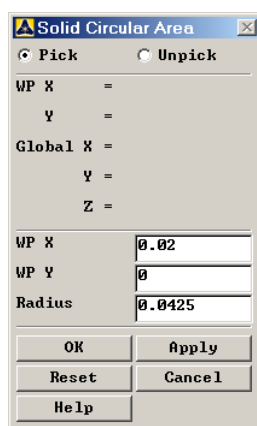


Figura 4. Cuadro de diálogo para definir un círculo mediante el centro y el radio.

Con las áreas definidas ya es posible definir la geometría mediante operaciones booleanas. Antes de continuar conviene guardar el trabajo realizado hasta ahora (botón **SAVE_DB**). A continuación hacemos clic en la opción **Operate** del menú principal (dentro de **Modeling**) y luego en la opción **Booleans**. Aparecen las distintas operaciones booleanas que tiene implementadas ANYS con entidades geométricas. En primer lugar uniremos el círculo de mayor radio con el segundo rectángulo que hemos creado (el de tamaño mediano), para ello hacemos clic en la opción **Add** y luego en **Areas**. Se abre una ventana de selección y elegimos dichas entidades. Las áreas originales desaparecen y queda sólo el resultado de la operación booleana. Conviene redibujar el área gráfica después de cada operación (por ejemplo con **Plot Replot** en el menú de utilidades).

Seleccionamos ahora la opción **Subtract** del menú principal (dentro de **Operate Booleans**) para restarle al área creada el círculo que queda. Hacemos clic en **Areas** y aparece una ventana de selección del área base (de la que se sustrae), se selecciona el área recién creada y se hace clic en **OK**. Aparece ahora una ventana de selección del área a sustraer, en la que elegimos el círculo y de nuevo **OK**. A continuación sustraeremos al rectángulo grande el rectángulo pequeño siguiendo el mismo procedimiento.

Finalmente hay que hacer la intersección entre las dos áreas que quedan. Para ello hacemos clic en **Intersect** dentro de la opción **Operate** del menú principal, luego en **Common** y después en **Areas**. Seleccionamos las dos áreas, hacemos clic en **OK** y queda definida la geometría que buscábamos de la célula de carga.

Para definir el tipo de elemento, el material y las condiciones de contorno se seguirá el mismo modo que en las prácticas anteriores. Obsérvese que en las propiedades del material hay que especificar la densidad.

Para establecer el tamaño de los elementos utilizaremos la opción de tamaño inteligente de ANSYS (mallado uniforme generado automáticamente). Para ello, en el menú del preprocesador hacemos clic en la opción **Meshing** y luego en **MeshTool**, de manera que se abre la herramienta de mallado. Activamos la opción **SmartSize** y podremos indicar el nivel de tamaño con la deslizadera que hay debajo. El nivel de refinamiento varía entre 1, elementos más pequeños (malla fina), y 10, elementos más grandes (malla basta). En este caso seleccionamos un nivel 3. Para generar la malla hacemos clic en el botón **Mesh** y seleccionamos la superficie a mallar.

Una vez calculada la solución (módulo **Solution**) la analizamos con las opciones del postprocesador (**General PostProc**). Hay que dibujar la deformada para comprobar que el análisis es correcto y analizar el campo de tensiones equivalentes de von Mises. Obsérvese que la tensión máxima está en la superficie interna de la célula, en la línea de simetría horizontal. También hay que comprobar el porcentaje de error estimado en norma energética.

3. ANÁLISIS MODAL

Partiendo de la malla de elementos finitos creada para el caso estático podemos realizar un análisis de frecuencias naturales y sus respectivos modos de vibración. Para ello no podemos analizar solamente una cuarta parte del modelo con las condiciones de simetría, sino que hemos de utilizar un modelo de todo el componente, ya que existirán modos de vibración no simétricos, que de otra forma no serían detectados.

Antes de completar la geometría se eliminarán las condiciones de contorno impuestas para el análisis estático, ya que las condiciones a imponer en el análisis modal son diferentes. Esto lo podemos hacer en el módulo preprocesador (**Preprocessor** en el menú principal), hacemos clic en **Loads**, **Define Loads**, **Delete**, **All Load Data** y **All Loads & Opts**. Haciendo clic en el botón **OK** del cuadro de diálogo que aparece se eliminan todas las condiciones de contorno, tanto las restricciones de desplazamiento como las cargas aplicadas.

Ahora vamos a generar la malla completa de la célula de carga. ANSYS permite copiar la geometría y la malla existente mediante una reflexión respecto a un plano coordenado. En primer lugar se realizará una reflexión respecto al plano YZ. Para ello hacemos clic en la opción **Modeling** del menú principal (dentro del preprocesador) y luego en **Reflect**, hacemos clic en **Areas** y seleccionamos la única superficie definida. Se abre una ventana como la de la figura 5 y al hacer clic en el botón **OK** aparecen dos áreas simétricas en la pantalla.

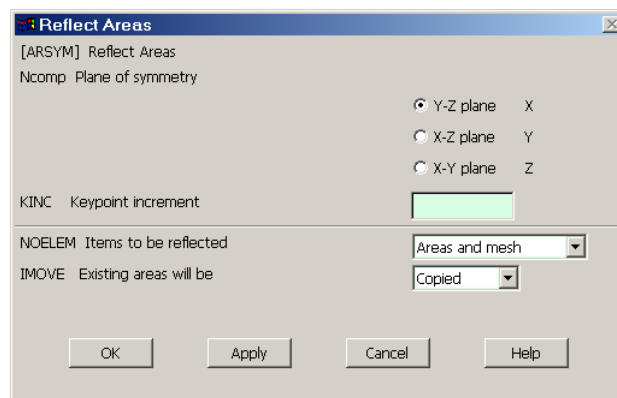


Figura 5. Cuadro de diálogo para reflejar áreas.

Repetimos el mismo proceso eligiendo las dos áreas existentes y haciendo la reflexión en este caso respecto al plano XZ. Aparece la geometría completa de la célula de carga en el área de representación gráfica.

Hay que tener en cuenta que todas las entidades que pertenecen a los ejes de simetría (X e Y) ahora están duplicadas (líneas, keypoints, nodos). Es importante indicarle a ANSYS que condense las entidades repetidas en una sola. Para ello, se elige en el preprocesador la opción **Numbering Ctrl**s (control de numeración) y **Merge Items** para que unifique las entidades duplicadas. Aparece un cuadro de diálogo como el de la figura 6. Seleccionamos la opción **All** en el cuadro combinado (Type of item to be merge) para que unifique todos los tipos de entidades coincidentes. Se puede observar el resultado de la operación consultando la ventana ANSYS Output. Una vez hecho esto interesa renumerar los elementos para minimizar el semiancho de banda de la matriz de rigidez, del mismo modo que se hizo en la primera práctica (opción **Element Reorder**, **Reorder by List** dentro de **Numbering Ctrl**s).

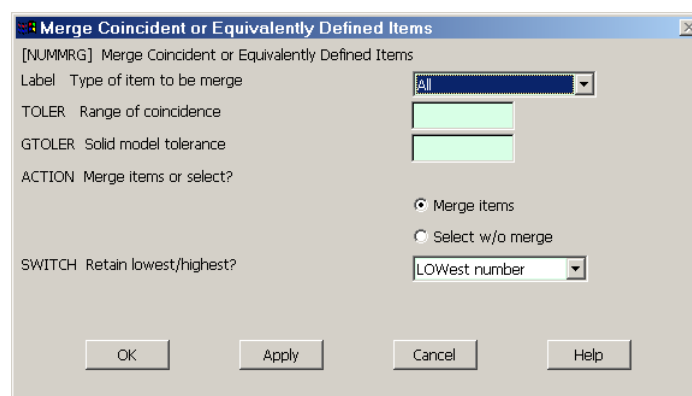


Figura 6. Cuadro de diálogo para unificar entidades coincidentes.

A continuación se especificarán las condiciones de contorno para el análisis modal (si no se especifican se puede realizar un cálculo de vibraciones libres para obtener las frecuencias naturales). En este caso se aplicarán las restricciones de desplazamiento de la figura 1. Para evitar movimientos de cuerpo rígido se fijará el movimiento horizontal del nodo central de la línea inferior (conviene imponer condición de desplazamiento nulo $UX = 0$ en el keypoint central de dicha línea; si se impone en el nodo hay que tener en cuenta que la condición desaparecería al cambiar la malla). Las opciones a utilizar son **Loads**, **Define Loads**, **Apply**, **Structural**, **Displacement**, **On Lines** para las dos líneas

inferiores (seleccionando UY en la ventana que aparece, como en la figura 7) y On Keypoints para el keypoint central (seleccionando UX).

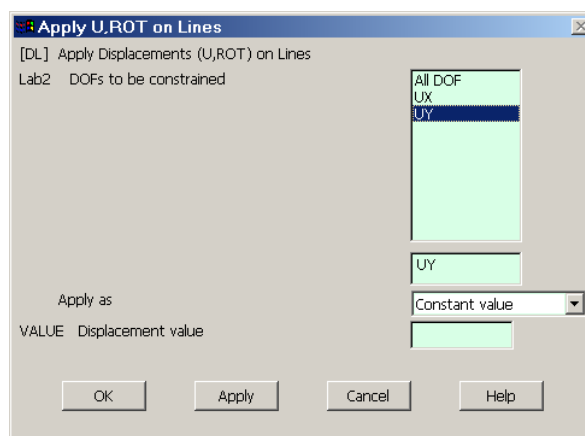


Figura 7. Cuadro de diálogo para aplicar restricciones de desplazamiento en líneas.

El problema está listo para pasar a considerar las especificaciones del análisis modal propiamente dicho. Entramos en el módulo Solution y en la opción Analysis Type hacemos clic en New Analysis, seleccionando Modal en la ventana que aparece. Después hacemos clic en la opción Analysis Options (también dentro de Analysis Type) y aparecerá una ventana como la de la figura 8.

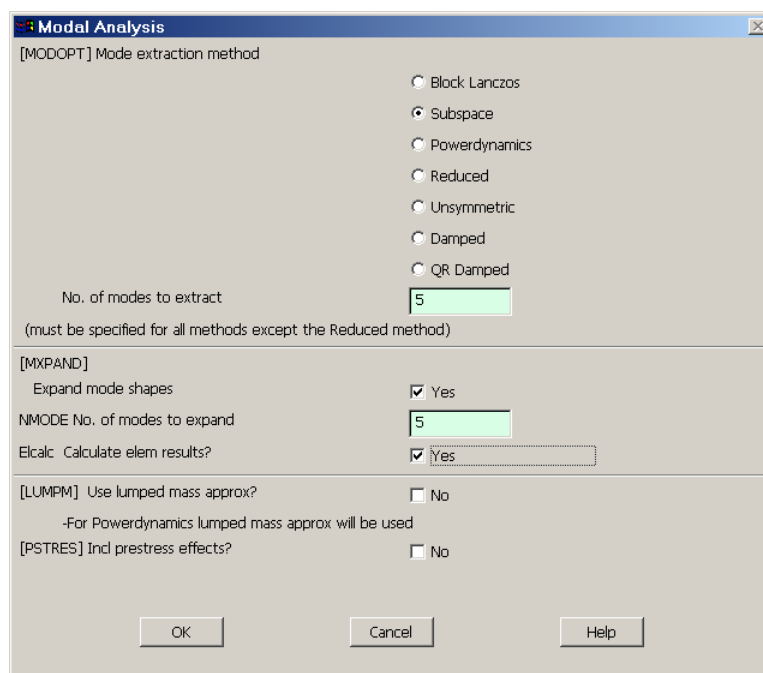


Figura 8. Opciones para análisis modal.

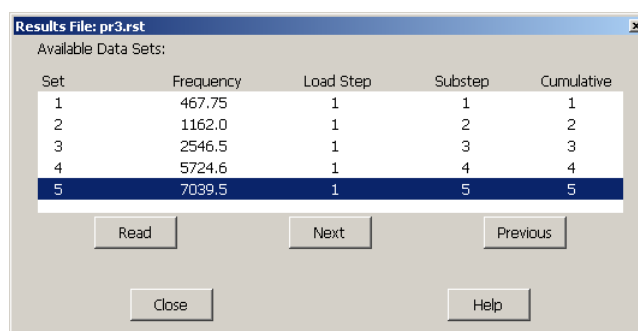
La primera opción a elegir es el método que se utilizará para calcular los modos de vibración, en este caso seleccionaremos el método de iteración por subespacios (Subspace). También hay que indicar cuántos modos de vibración (y sus respectivas frecuencias) deben calcularse, queremos calcular los cinco primeros. Activamos la opción Expand mode shapes que hace que se almacenen los modos calculados (a veces sólo se necesitan las frecuencias) e indicamos que lo haga para los cinco que deseamos

obtener. Con el fin de poder ver como varían las tensiones para cada modo activamos la opción **Calculate elem results?**. El resto de opciones se dejarán como están por defecto, es decir, se utilizarán matrices de masa consistente y no se incluirán efectos por tensiones iniciales. Al hacer clic en **OK** aparece otra ventana para especificar las opciones particulares del método de iteración por subespacios. Aceptamos los valores por defecto y hacemos clic en **OK**.

Con esto quedan definidos todos los datos necesarios para ejecutar el cálculo. Éste se realiza de la forma usual (**Solve Current LS**). Durante el cálculo se pueden observar las diferentes iteraciones del método de subespacios en la ventana **ANSYS Output**.

3.1 Análisis de la solución

Una vez calculada la solución entramos en el postprocesador (**General Postproc**) y seleccionamos la opción **Results Summary**, aparece una ventana como la mostrada en la figura 9 con información sobre los ficheros de resultados disponibles (una solución para cada modo de vibración calculado). Podemos observar la frecuencia de cada uno de los modos y seleccionar con cuál queremos trabajar (botón **Read** para leer los resultados del modo seleccionado).



Set	Frequency	Load Step	Substep	Cumulative
1	467.75	1	1	1
2	1162.0	1	2	2
3	2546.5	1	3	3
4	5724.6	1	4	4
5	7039.5	1	5	5

Figura 9. Opciones para análisis modal.

También podemos indicar con qué modo queremos trabajar desde las opciones del menú principal incluidas dentro de **Read Results** (cada modo de vibración se corresponde con un set).

Para visualizar la forma de cada modo de vibración hay que representar la deformada. Se selecciona el primer modo (por ejemplo con **First Set** dentro de **Read Results**) y se dibuja la deformada (**Plot Results, Deformed Shape**), luego se van seleccionando los restantes modos con **Next Set** y se vuelve a dibujar la deformada cada vez hasta visualizarlos todos. Se comprueba que existen modos no simétricos, lo que justifica la necesidad de modelar toda la célula de carga.

Otra forma habitual de observar los modos de vibración es mediante animaciones de las deformadas. Para ello seleccionamos **PlotCtrls** en el menú de utilidades, seleccionamos **Animate** y hacemos clic en **Mode Shape**. Aparece una ventana como la de la figura 10 para especificar el número de imágenes (fotogramas) que tendrá la animación, el tiempo transcurrido entre cada imagen, el tipo de aceleración y la solución que se representará sobre la malla deformada. Seleccionamos como solución la tensión equivalente de von Mises (**Stress von Mises SEQV**), el resto de valores podemos dejarlos como están por defecto. Haciendo clic en **OK** se genera el vídeo y aparece en el área de representación

gráfica. Para controlar la reproducción del vídeo generado se abre una ventana que permite, entre otras cosas, detener la animación. También se puede guardar la animación en formato AVI (archivo de vídeo de Windows) con la opción Save Animation... del menú Animate.

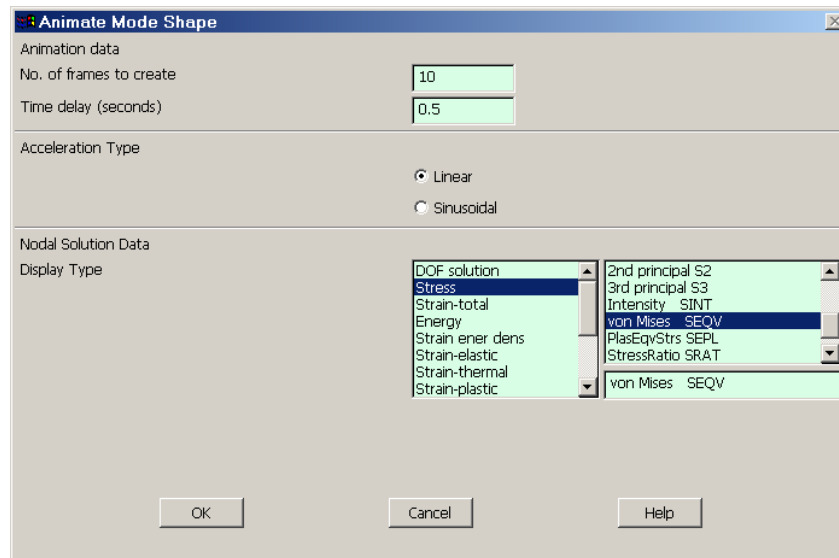


Figura 10. Cuadro de diálogo para generar una animación del modo de vibración.

Hay que decir que las tensiones calculadas en un análisis modal no tienen mayor interés que el de permitir conocer la distribución de tensiones y qué puntos son los más cargados. El valor de las tensiones en un punto no representa nada sino es para compararlas con las de otro punto.