

MÉTODO DE LOS  
ELEMENTOS FINITOS.

INTRODUCCIÓN A  
**ANSYS**

PILAR ARIZA MORENO  
ANDRÉS SÁEZ PÉREZ

SUPERVISADO POR:  
JOSÉ DOMÍNGUEZ ABASCAL



SEVILLA 2015

COMITÉ EDITORIAL:

Antonio Caballos Rufino  
(Director de la Editorial Universidad de Sevilla)  
Eduardo Ferrer Albelda  
(Subdirector de la Editorial Universidad de Sevilla)

Manuel Espejo y Lerdo de Tejada  
Juan José Iglesias Rodríguez  
Juan Jiménez-Castellanos Ballesteros  
Isabel López Calderón  
Juan Montero Delgado  
Lourdes Munduate Jaca  
Jaime Navarro Casas  
M<sup>a</sup> del Pópulo Pablo-Romero Gil-Delgado  
Adoración Rueda Rueda  
Rosario Villegas Sánchez

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación, sin permiso escrito de la Editorial Universidad de Sevilla.

1<sup>a</sup> edición: 1999  
1<sup>a</sup> reimpresión: 2004  
2<sup>a</sup> reimpresión: 2015

Motivo de cubierta:  
Distribución de tensiones en el entorno de un concentrador.

© EDITORIAL UNIVERSIDAD DE SEVILLA 2015  
C/. Porvenir, 27 - 41013 Sevilla.  
Tlfs.: 954 487 447; 954 487 451; Fax: 954 487 443  
Correo electrónico: eus4@us.es  
Web: <<http://www.editorial.us.es>>

© PILAR ARIZA MORENO  
ANDRÉS SÁEZ PÉREZ 2015

ISBN: 978-84-472-0555-4  
Depósito Legal: M-50.753-2004  
Impresión: Podiprint

*Las estructuras se comportan como realmente son, independientemente del modelo que uno haya utilizado para calcularlas.*

# ÍNDICE

<b>Prólogo</b>	
<b>Organización del texto</b>	
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. CÓMO FUNCIONA ANSYS: EL M.E.F.</b> .....	<b>2</b>
<b>3. ORGANIZACIÓN DEL PROGRAMA</b> .....	<b>4</b>
<b>4. ARRANCAR ANSYS</b> .....	<b>7</b>
<b>5. FICHEROS DE ANSYS</b> .....	<b>8</b>
<b>6. MENÚS</b> .....	<b>11</b>
<b>7. SISTEMAS DE COORDENADAS</b> .....	<b>14</b>
– Sistema Global	
– Sistema Local	
– Sistema para Representación Geométrica	
– Sistema Nodal	
– Sistema Elemental	
– Sistema para Representación de Resultados	
<b>8. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO</b> .....	<b>23</b>
8.1. Órdenes y operaciones que permiten definir la geometría del modelo.....	<b>25</b>
– sistema global de coordenadas	
– plano de trabajo (WP)	
– formas geométricas predefinidas	
– ejemplos	
– definición directa de puntos clave, líneas, áreas y volúmenes	
– ejemplos	
– operaciones booleanas	

- ejemplo (adición-sustracción)
  - intersección
- 8.2. Tipos de elementos ..... 41
- 8.3. Mallado del modelo sólido..... 44
  - tipo de elemento
  - constantes reales
  - características de los materiales
  - mallado
    - controles de mallado
  - generación del mallado
    - ejemplo
- 8.4. Generación directa del modelo ..... 57
  - definición de nodos
  - definición de elementos
  - ejemplo
  - otros comandos de interés
- 9. MÉTODOS DE SELECCIÓN..... 63**
- 10. CONDICIONES DE CONTORNO Y SOLUCIÓN ..... 66**
  - 10.1. Tipos de condiciones de contorno..... 66
  - 10.2. Aplicación de condiciones de contorno al modelo . 67
  - 10.3. Restricciones en grados de libertad (gdl)..... 68
  - 10.4. Fuerzas puntuales, de superficie, de volumen y de inercia..... 72
  - 10.5. Obtención de la solución..... 77
    - nota sobre gráficos
- 11. POSTPROCESO: INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS..... 79**
  - 11.1. Resultados primarios y resultados derivados..... 80

- 11.2. Presentación de resultados ..... 81
  - representaciones gráficas
    - representación de la deformada
    - representación de (iso-)contornos
    - representación de tablas de resultados
    - representación de resultados asociados a senderos
  - tablas de resultados: ETABLE
  - otras tablas de resultados
  - resultados asociados a senderos
- 12. ACOPLAMIENTOS ENTRE G.D.L..... 93**
- 13. ECUACIONES DE RESTRICCIÓN ..... 94**
- 14. HIPÓTESIS DE CARGA..... 95**
- 15. INTRODUCCIÓN AL CÁLCULO DINÁMICO..... 99**
  - 15.1. ANÁLISIS MODAL ..... 99
  - 15.2. ANÁLISIS ESPECTRAL..... 109
- 16. TIPOS DE ANÁLISIS..... 112**
- 17. PROBLEMAS ..... 114**
  - 17.1. INTRODUCCIÓN ..... 114
  - 17.2. ESTRUCTURA DE BARRAS ..... 115
  - 17.3. CÁLCULO DINÁMICO DE ESTRUCTURA DE BARRAS ..... 123
  - 17.4. MEDIO CONTINUO 2-D. CIMIENTO ..... 128
  - 17.5. ESTRUCTURA LAMINAR CON SIMETRÍA DE REVOLUCIÓN..... 133

## Prólogo

Pretende este prólogo servir como presentación del trabajo desarrollado en el libro que el lector tiene en sus manos y de las personas que lo han llevado a cabo.

El proyecto, cálculo y construcción de estructuras constituye una de las partes más genuinas e históricamente más relevantes del trabajo de ingenieros y arquitectos. Debe entenderse como estructura la parte de una construcción o artefacto mecánico encargada de mantener su forma ante acciones exteriores de todo tipo (fuerzas, variaciones de temperatura, movimientos impuestos, etcétera).

Las tareas de proyectar y calcular estructuras se fundamentan en unos métodos desarrollados a través de los años y que son parte fundamental de lo que se ha dado en llamar Teoría de Estructuras. Como elemento más concreto dentro de ella, pueden citarse los Métodos Numéricos de cálculo que se han desarrollado y popularizado coincidiendo con el propio desarrollo de los ordenadores en la segunda mitad del siglo que ahora termina. El más general y versátil de los Métodos Numéricos es el de los Elementos Finitos, sin que deban olvidarse otros como el de los Elementos de Contorno que estando menos extendidos por ser menos generales resultan más adecuados y precisos en cierto número de aplicaciones concretas.

El libro que se presenta tiene un objetivo muy concreto y limitado dentro del cálculo de estructuras. Se pretende con él mostrar al lector el uso de una herramienta versátil y de gran utilidad práctica, para el cálculo mecánico-resistente de estructuras, por medio del Método de los Elementos Finitos. La herramienta es conocida como ANSYS y es un producto comercializado y ampliamente difundido en el mundo.

El libro está dirigido a estudiantes y proyectistas de ingeniería y arquitectura que deseen aprender el uso de unos procedi-

mientos que pueden aplicarse directamente al cálculo de estructuras reales. Se emplean y resumen en el texto conceptos del Cálculo de Estructuras y se supone que quienes manejan el libro, tienen conocimientos generales de la disciplina y conocen los fundamentos teóricos del Método de los Elementos Finitos.

El libro está concebido como texto para un curso de corta duración o para el aprendizaje personal. En ambos casos con el manejo simultáneo de un ordenador sobre el que se vayan practicando y comprobando las diversas órdenes y ejemplos que en él se proponen.

Este curso ha sido impartido con distinto formato a través de los últimos doce años en la Escuela Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla. En las primeras versiones fue desarrollado por el Profesor Ramón Abascal y luego por el Profesor Rafael Gallego. Más recientemente Andrés Sáez y Pilar Ariza se hicieron cargo de la enseñanza a nuestros alumnos del manejo de esta herramienta y son ellos los que cuidadosamente han preparado el material de aprendizaje que en este libro se presenta. Sirva este prólogo como reconocimiento a estos cuatro profesores de estructuras por haber puesto a disposición de nuestros alumnos un procedimiento útil para su vida profesional. En particular a Pilar Ariza y Andrés Sáez que llevaron a cabo un trabajo laborioso para ordenar y explicar las ideas y procedimientos contenidos en el libro.

José Domínguez Abascal  
Catedrático de Estructuras  
Sevilla, Junio de 1999.

## Organización del texto

El material que compone este texto es presentado en un formato poco frecuente en manuales de tipo general pero que sí lo es dentro del mundo de las aplicaciones informáticas. Obedece a dos razones: la primera, establecer un modelo de tipo ficha que permita la consulta rápida como manual de apoyo para usuarios del programa ANSYS. De esta forma se pretende que cuando surjan dudas en el manejo del código, el usuario pueda acceder rápidamente al material deseado. La segunda razón obedece a una integración lo mayor posible dentro del formato del propio programa ANSYS. De este modo se han podido integrar fácilmente elementos del programa y se mantiene al lector dentro de un mismo tipo de formato tanto en el programa como en el manual de apoyo. Además del formato ya mencionado, la organización esquemática del material, facilita el uso del texto como elemento de apoyo para el manejo del programa ANSYS.

Los dos primeros capítulos de este texto se dedican a un breve enunciado de las ideas generales más significativas dentro del Método de los Elementos Finitos.

Los capítulos 3 a 7 están dedicados a explicar la organización general del Programa (Capítulo 3) y los elementos fundamentales del mismo, como son Ficheros o archivos de almacenamiento (Capítulo 5), Menús para el manejo del programa a través de órdenes que se transmiten mediante ventanas (Capítulo 6) y Sistemas de Coordenadas que se emplearán para la definición de la geometría (general o elemental), la definición de las cargas y la interpretación de resultados (Capítulo 7). En el capítulo 4 se ha mostrado previamente como se pone en marcha el programa. Este capítulo está ubicado inmediatamente después de los generales para que así el lector pueda poner en marcha el programa casi inmediatamente. De este modo podrá seguir el funcionamiento efectivo del mismo mientras estudia los capítulos de elementos del programa y siguientes.

El capítulo 8 está dedicado a introducir al lector en las operaciones y órdenes informáticas que permiten al usuario definir el tipo de estructura, la geometría, propiedades y discretización empleada para el cálculo de la estructura.

El capítulo 9 se dedica a explicar los métodos de selección que permitirán un manejo cómodo del modelo, pudiendo con ello manejar partes del mismo para definir cargas o inspeccionar la geometría.

En el capítulo 10 se muestra cómo se definen las acciones a través de distintos órdenes y operaciones, pasando inmediatamente en el capítulo 11 a la representación de resultados mediante el manejo de un potente post-procesador.

Los capítulos 12 a 14 están dedicados a mostrar algunas de las más importantes prestaciones del programa que permiten calcular más fácilmente estructuras con ciertas restricciones, acoplamientos e hipótesis de carga.

El capítulo 15 se dedica al cálculo dinámico de estructuras con particularización del caso sísmico para el cual se desarrolla el análisis modal espectral.

En el capítulo 16 se presentan de manera somera los distintos tipos de cálculo que pueden realizarse con ANSYS, más allá del cálculo estático y dinámico lineal previamente explicados con más extensión.

El capítulo 17 y último, se dedica al cálculo práctico de tres estructuras con tipología diferente. Se aplican a una estructura de barras, otra continua bidimensional y otra laminar, los procedimientos de cálculo estático y dinámico explicados en los capítulos previos.

## 1. INTRODUCCIÓN

**ANSYS** es un programa de aplicación general para el cálculo con elementos finitos

se pueden resolver problemas estructurales, térmicos, eléctricos, magnéticos, de fluidos, ...

CÁLCULOS LINEALES / NO LINEALES

PROBLEMAS ACOPLADOS:

Térmico-Tensionales  
Electro- Magnéticos  
etc.

en este curso:

**CÁLCULO ELASTOSTÁTICO LINEAL  
INTRODUCCIÓN AL CÁLCULO DINÁMICO**

## 2. CÓMO FUNCIONA ANSYS: EL M.E.F.

El M.E.F. comprende dos aproximaciones:

1. Aproximación física del dominio (puede ser exacta).

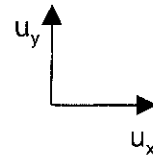
**SIST. REAL** → **MODELO de E.F.**

(infinitas incógnitas)

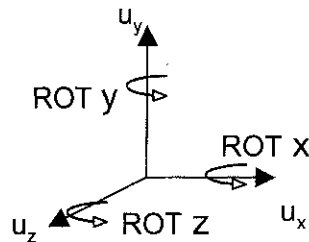
- NODOS (puntos donde se ubican las variables de cálculo)
- ELEMENTOS (representan el dominio y conectan los nodos)
- CONDICIONES DE CONTORNO

• cada nodo tiene ciertos g.d.l. que caracterizan la respuesta del campo:

e.g. estructura elástica continua bidimensional

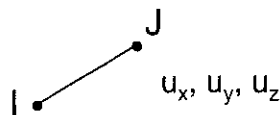


e.g. estructura de barras 3-D con nudos rígidos

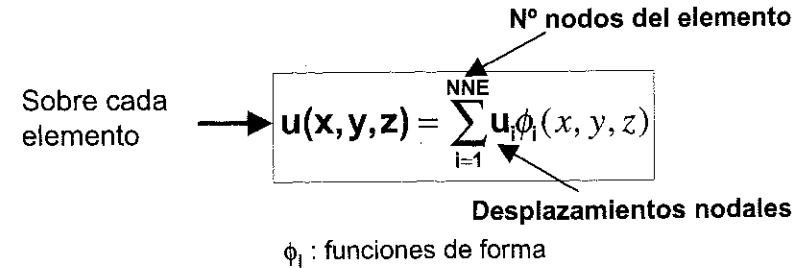


• los g.d.l. en un nodo son función del tipo de estructura y en particular del tipo de elementos conectados al mismo:

e.g. celosía 3-D

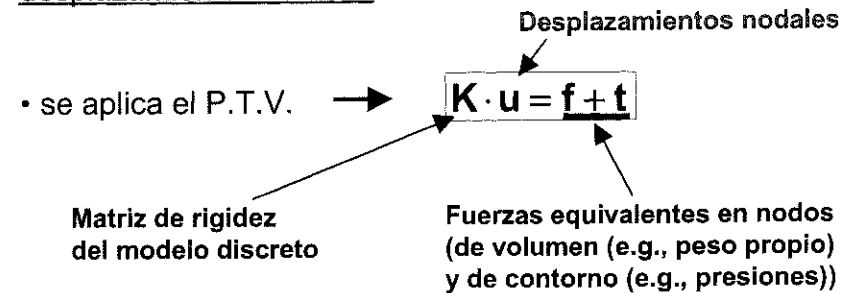


2. Aproximación de la solución (desplazamientos en mecánica de sólidos y en general otras variables de campo en otro tipo de problemas).

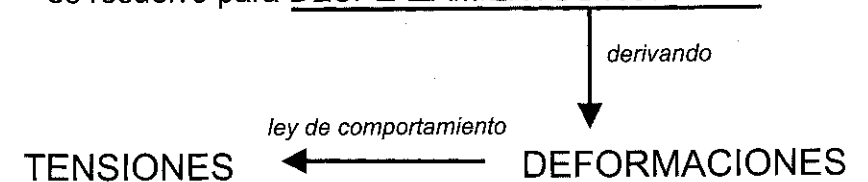


Sobre el dominio → Superposición de la de los elementos

• se expresan todas las variables en función de los desplazamientos nodales

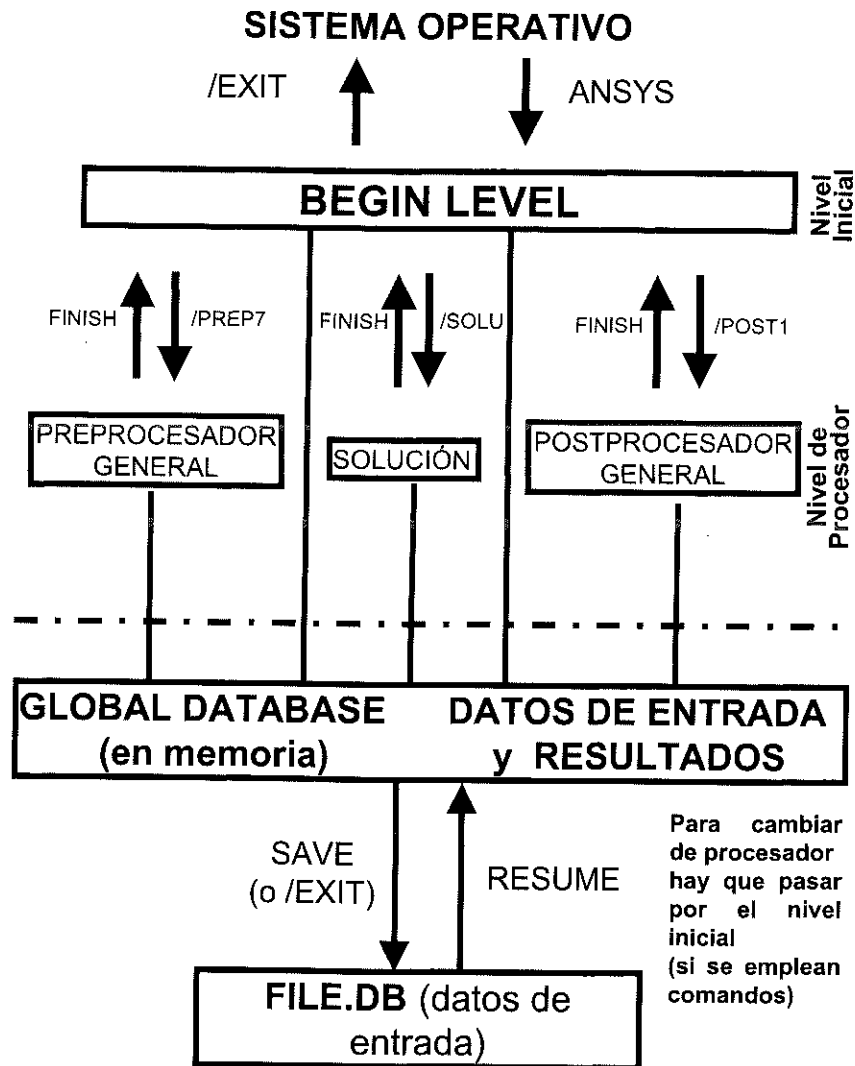


• se resuelve para DESPLAZAMIENTOS NODALES





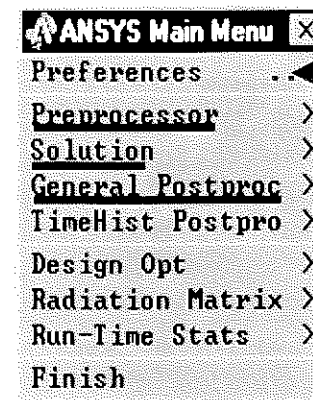
### 3. ORGANIZACIÓN DEL PROGRAMA



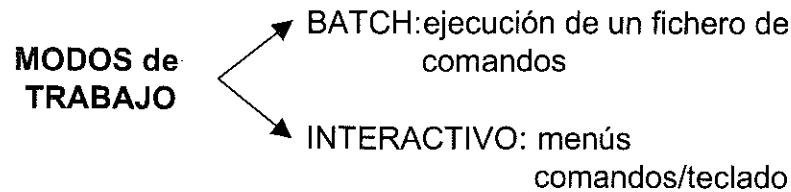
**PREPROCESADOR:** construcción del modelo → definición de geometría, materiales, tipos y características de elementos.  
(También es posible aplicar cargas)

**SOLUCIÓN:** aplicación de cargas y obtención de solución → definición del tipo de análisis.

**POSTPROCESADOR:** interpretación de resultados → obtención de tablas, gráficos...



• se puede acceder a los datos de entrada (seleccionar o listar) desde cualquier lugar de ANSYS, pero para poder modificar (definir o borrar) datos de la B.D. se debe estar en el procesador apropiado.



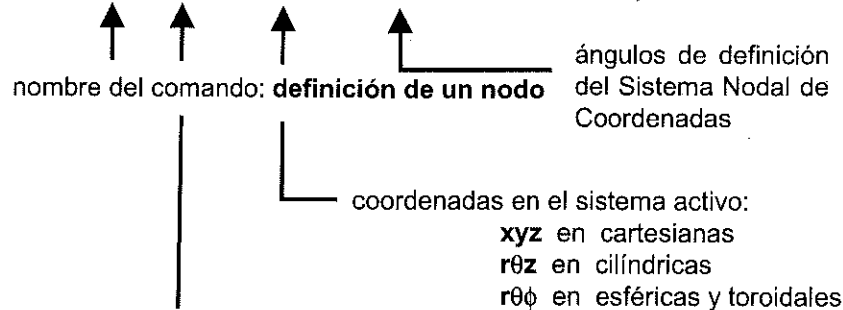
### Interfase con el Usuario

1.- **COMANDOS:** introducción de datos e instrucciones de control del programa.

documentación → HELP interactivo o ANSYS USER'S MANUAL, vol. II

comandos con "/" son de nivel inicial o de especificación gráfica

ej. N, node, X, Y, Z (,THXY THXZ, THYZ)



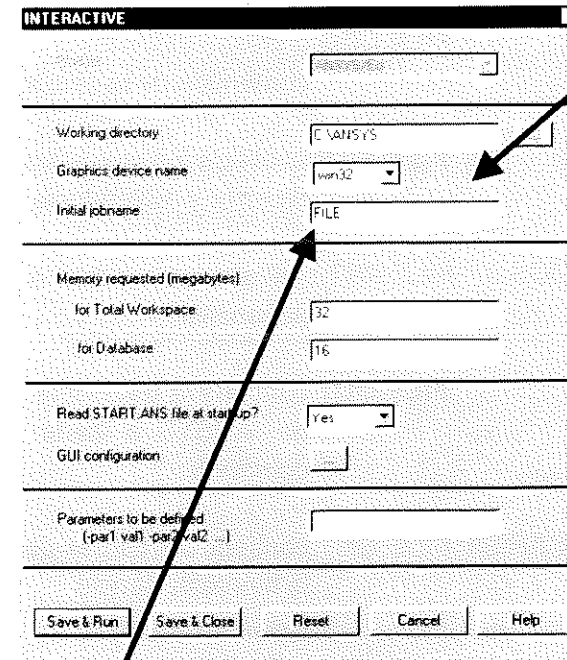
nº del nodo (el más bajo posible por defecto)

### 2.- MENÚS

## 4. ARRANCAR ANSYS

Una vez instalado el programa ANSYS, para acceder a él basta con seleccionar la opción *Interactive* o *Run Interactive Now*.

- ANS\_ADMIN Utility
- ANSYS System Help
- Batch
- CMAP Utility
- Display Help
- DISPLAY Utility
- Help System
- Interactive**
- License Status
- Readme
- Run Interactive Now
- Site Information



### Filename

- FILE por defecto
- Se puede especificar su nombre antes de comenzar la sesión o con el comando **/FILENAME** (los ficheros ya creados conservarían su nombre: File.LOG; File.ERR)

## 5. FICHEROS DE ANSYS

Durante la ejecución de ANSYS se crean una serie de ficheros, de ellos los más importantes son:

- Fichero de BASE de DATOS: **FILE.DB** contiene los datos del modelo
- Fichero de la SESIÓN: **FILE.LOG** contiene todos los comandos de la sesión
- Fichero de ERRORES: **FILE.ERR** contiene los mensajes de error y advertencia
- Fichero de RESULTADOS : **FILE.RST** contiene los resultados del análisis
- Fichero de SALIDA: **FILE.OUT** contiene la respuesta de ANSYS a cada comando
- Fichero de PASO DE CARGA: **FILE.Sn** contiene las cargas de la hipótesis simple (paso de carga) n
- Fichero de CASO DE CARGA: **FILE.Ln** contiene los resultados del caso de carga n (combinación de hipótesis simples)

etc.

## Fichero de la Sesión (FILE.LOG)

- Contiene todas las órdenes (comandos) dadas por el usuario durante la sesión de ANSYS.
- Se abre al entrar en el programa. Si ya existe un File.LOG al comenzar una sesión, ANSYS no lo elimina, sino que graba la nueva sesión a continuación de la anterior.
- Es un archivo de texto (ASCII): se puede leer, modificar y ejecutar posteriormente.  
(la orden '/INPUT, Fname,ext' lee y ejecuta los comandos contenidos en el fichero Fname.ext)

## Fichero de Errores (FILE.ERR)

- Recoge todos los mensajes de advertencia ('Warnings') y error emitidos por ANSYS durante la sesión.
- Se abre al entrar en el programa. Si ya existe un "File.ERR" al comenzar una sesión de ANSYS, los mensajes generados en la nueva sesión se añadirán al fichero existente.
- Es un archivo de texto (ASCII).

Ambos ficheros, File.LOG y File.ERR, se pueden consultar durante la sesión de ANSYS.

## Fichero de Base de Datos (FILE.DB)

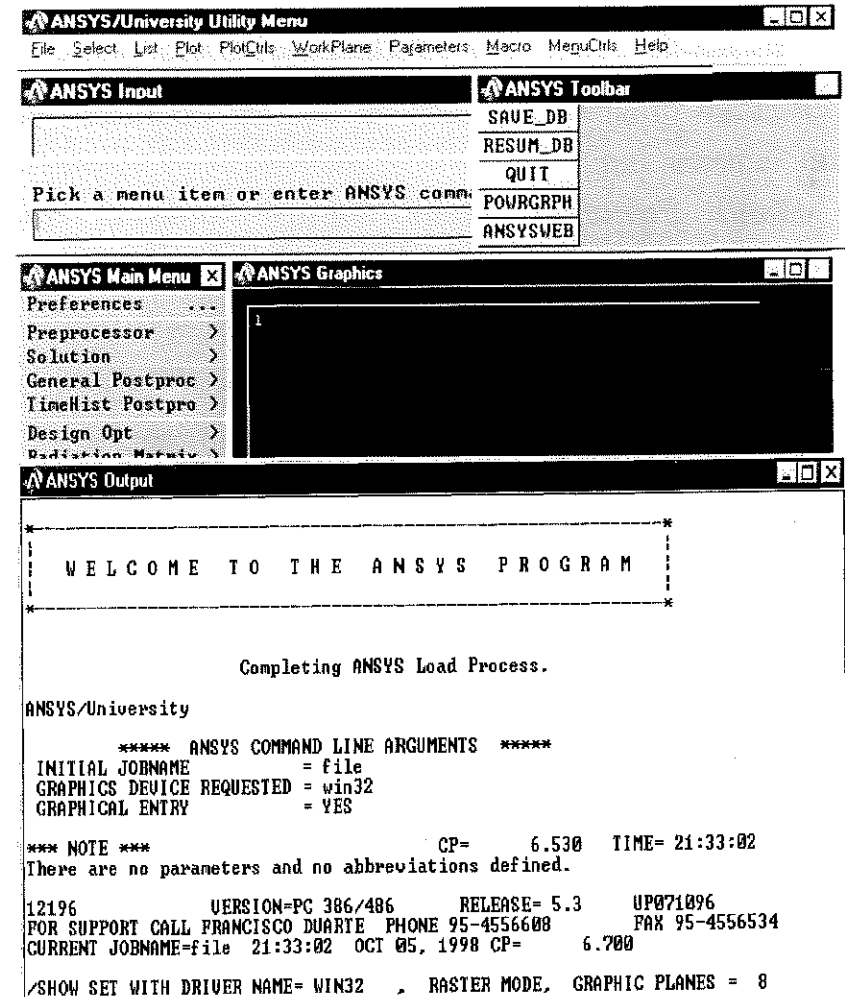
- Los datos de entrada contenidos en la base de datos global se pueden guardar en un archivo, que se abre al ejecutar el primer comando SAVE (mediante la orden 'SAVE, Fname,ext' o la opción "File > Save as" del Utility Menu) o al salir de ANSYS ('/EXIT').
- La información almacenada en el File.DB se pueden recuperar posteriormente desde cualquier módulo de ANSYS (mediante la orden 'RESUME, Fname,ext' o la opción "File > Resume from" del Utility Menu).
- En el archivo File.DBB se guarda una copia de seguridad del fichero File.DB.
- Es un archivo binario.

## Fichero de Salida (FILE.OUT)

- Recoge todas las respuestas dadas por ANSYS
  - a cada orden ejecutada
  - mensajes de advertencia y error
  - información sobre el proceso de solución ...
- Se abre al entrar en el programa.
- Es un archivo de texto (ASCII), y se pueden consultar durante la sesión de ANSYS.

## 6. MENÚS

ANSYS se organiza por medio de ventanas:



En ANSYS se encuentran 6 ventanas o regiones principales:

- **Menú de Utilidades (Utility Menu):** contiene funciones comunes a varios módulos de ANSYS (utilidades gráficas, órdenes de listado, operaciones con ficheros, etc.).
- **Menú Principal (Main Menu):** muestra las funciones primarias organizadas en procesadores:
  - Preprocesador
  - Solución
  - Postprocesador
  - Opciones de diseño.
- **Barra de Herramientas (Toolbar):** menú de botones para ejecutar comandos y funciones muy comunes en ANSYS (el usuario puede incluir botones adicionales).
- **Ventana de Entrada (Input):** permite la introducción directa de comandos.
- **Ventana Gráfica (Graphics).**
- **Ventana de Salida (Output):** muestra las respuestas dadas por ANSYS (se graban en al archivo File.OUT).

A la derecha de las distintas ventanas, pueden verse estos símbolos:

- > indica submenú.
- + indica modo Pick (aunque se trate de una función de selección gráfica, se traduce en un comando en el File.LOG).
- ... indica comando a través de ventana.

#### Botones del ratón (en modo Pick)

- izquierdo: selecciona y deselecciona la entidad o posición más cercana al puntero.
- derecho: conmuta entre los modos "pick" y "unpick".

#### Cómo obtener ayuda

- Opción HELP del Menú de Utilidades.
- Dando una orden HELP,Name (Sname) en la Ventana de Entrada.



Sólo si Name es un tipo de elemento

## 7. SISTEMAS DE COORDENADAS

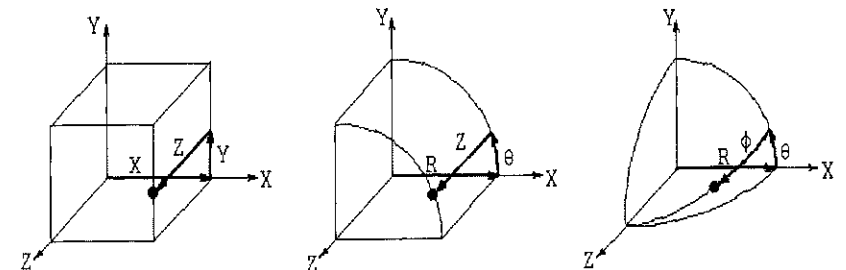
Los sistemas de coordenadas disponibles en ANSYS son:

	Cartesiano	Cilíndrico	Esférico	Toroidal
<b>Global</b>	SI	SI	SI	NO
<b>Local</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Plano de Trabajo</b>	SI	NO	NO	NO
<b>Nodal</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Elemental</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Resultados</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Representación</b>	SI	SI	SI	NO

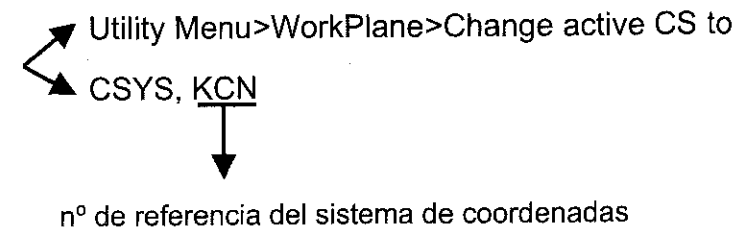
- Estos sistemas de coordenadas pueden ser diferentes en su tipo, origen de coordenadas, orientación de sus ejes y aplicación.

## SISTEMA GLOBAL DE COORDENADAS (SGC)

- Es un marco de referencia absoluto, que se emplea para definir o realizar operaciones de selección sobre entidades geométricas (nodos, puntos clave, ...).
- Hay 3 sistemas predefinidos con origen en (0,0,0):
  - cartesiano global (CS 0) activo por defecto
  - cilíndrico global (CS 1)
  - esférico global (CS 2)

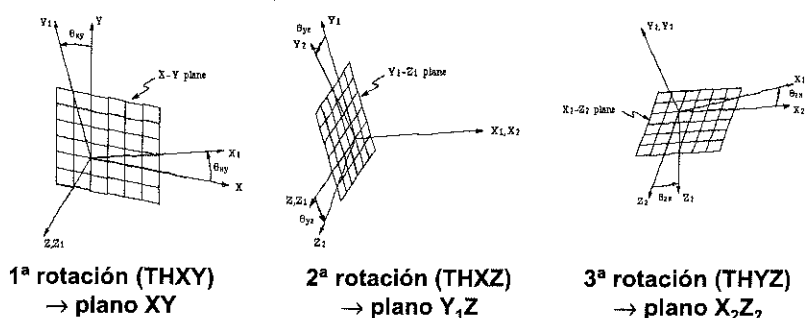
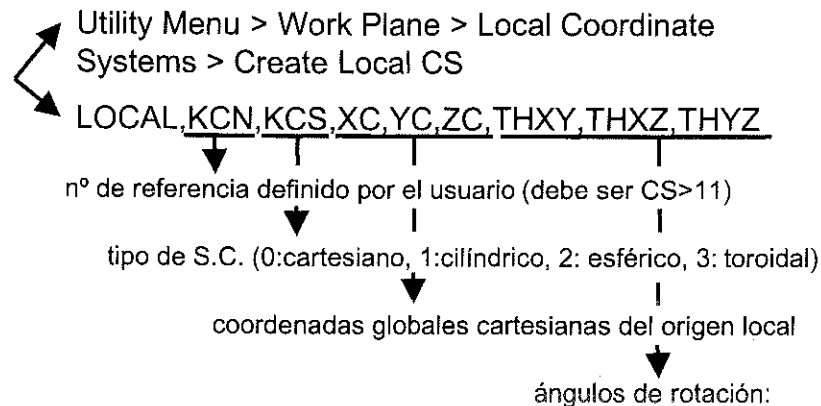


- Para cambiar el sistema activo:



### SISTEMA LOCAL DE COORDENADAS (SLC)

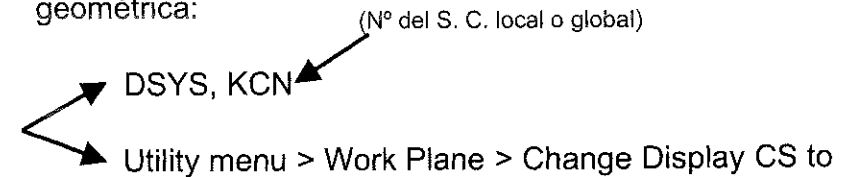
Los sistemas locales son definidos por el usuario y se emplean para definir o realizar operaciones de selección sobre entidades geométricas (nodos, puntos clave...).



- El comando LOCAL define y activa el SLC.  
↓  
desplaza al S.C. activo actual
- El comando CSYS se usa para cambiar el sistema activo a cualquier sistema de coordenadas, global o local.

### SISTEMA DE COORDENADAS PARA LA REPRESENTACIÓN GEOMÉTRICA (SCRG)

- Se emplea para listar o mostrar gráficamente entidades geométricas.
- Independientemente del sistema activo al definir la geometría del modelo, ANSYS realiza una transferencia interna al sistema cartesiano global. Así, una orden NLIST listará los nodos en el sistema global cartesiano, pero si se desea que las coordenadas en el listado estén en otro sistema, se deberá activar uno de representación geométrica:



- La utilización de un sistema de representación también afecta a las presentaciones gráficas. A no ser que se desee algún efecto especial (e.g., ver los nodos de una superficie cilíndrica desarrollada en coordenadas cilíndricas) se recomienda activar de nuevo el sistema global cartesiano.

**El comando DSYS afecta sólo al listado de nodos y puntos clave, y a la presentación gráfica de nodos y elementos (en el caso de estar seleccionados). Los símbolos asociados a condiciones de contorno no son transformados al SCRG.**

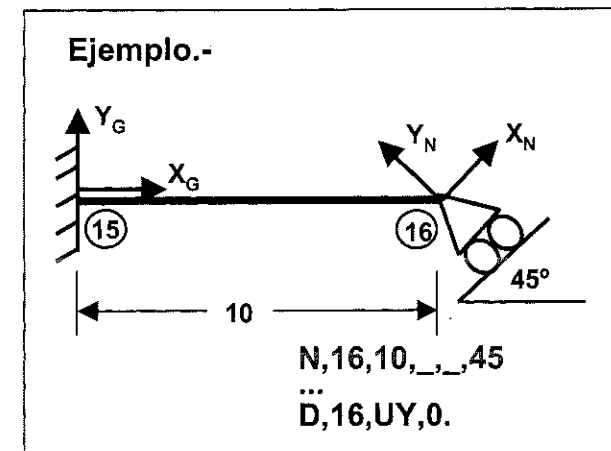
### SISTEMA NODAL DE COORDENADAS (SNC)

- En el sistema nodal se orientan las direcciones de los grados de libertad de cada nodo.
- Cada nodo tiene su propio sistema nodal, que por defecto es paralelo al global cartesiano.
- Reorientar los grados de libertad de un nodo afecta a la interpretación de los datos de entrada y salida:
  - **datos de entrada** afectados por un SNC girado:
    - desplazamientos o fuerzas impuestos
    - grados de libertad maestros
    - acoplamientos de g.d.l. y ecuaciones de restricción
  - **datos de salida** o resultados afectados (en el fichero de salida y en POST26):
    - desplazamientos
    - fuerzas nodales
    - reacciones

**OJO!** En POST1 (postprocesador general) los resultados se refieren al sistema de coordenadas de representación de resultados (RSYS) y no al sistema nodal.

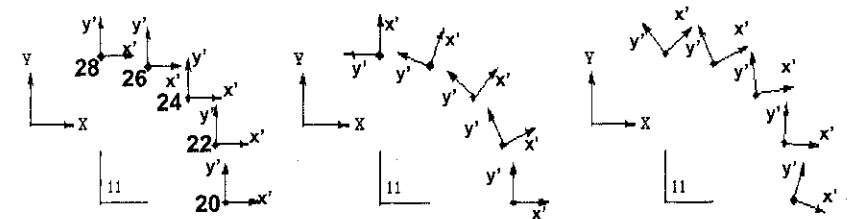
Para girar el SNC:

- NMODIF
- NROTAT, NODE1, NODE2, NINC
- Main Menu > Prep > Create > Nodes > To Active CS
- Main Menu > Prep > Move/Modify > By Angles



NROTAT gira el SNC paralelamente al sistema activo

e.g. NROTAT,20,28,2

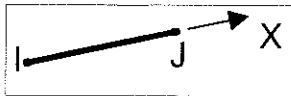


(a) orientación por defecto (b) giro paralelo al sistema cilíndrico local "11" (c) giro paralelo al sistema cilíndrico global



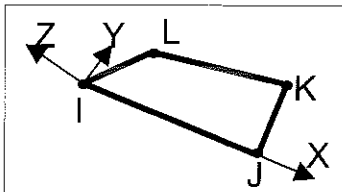
## SISTEMA ELEMENTAL DE COORDENADAS (SEC)

- Cada elemento tiene un SEC asociado que determina las direcciones consideradas al definir las propiedades de los materiales ortotrópicos, la dirección de las presiones aplicadas y los resultados en tensiones y deformaciones para el elemento considerado.
- La orientación por defecto del SEC de la mayoría de los elementos responde al siguiente esquema:



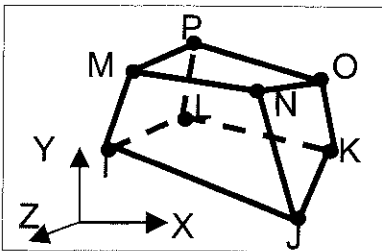
### Elementos lineales

eje X desde el nodo I hasta el nodo J



### Elementos lámina

eje X desde el nodo I hasta el J  
eje Z normal a la superficie de la lámina  
eje Y normal a ejes X-Z



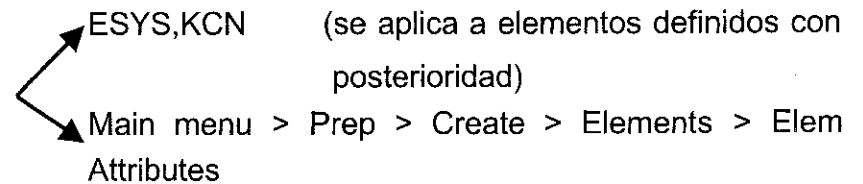
### Elementos sólidos

2-D y 3-D  
SEC paralelo al sistema global  
cartesiano

pero hay excepciones → consultar siempre la información que ANSYS da sobre el elemento (Element Reference Manual).

Para modificar la orientación del SEC de un elemento:

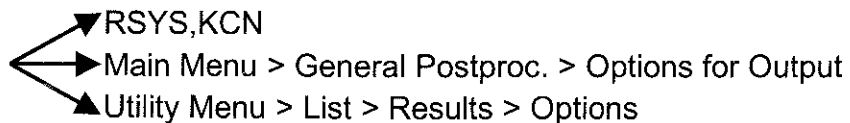
- Muchos elementos tienen opciones (KEYOPTs) que permiten cambiar la orientación por defecto del SEC. Estas opciones se pueden especificar al definir el tipo de elemento (orden ET) o mediante la orden KEYOPT (Main menu > Prep > Element Type > Add/Edit/Delete).
- Para los elementos de área y volumen se puede orientar el SEC paralelamente a un sistema local previamente definido:



NOTA.- En caso de conflicto, ESYS prevalece sobre KEYOPT.

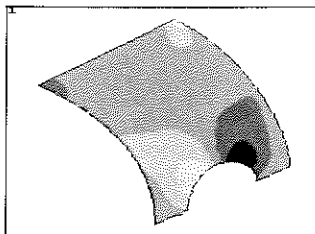
## SISTEMA DE COORDENADAS PARA LA REPRESENTACIÓN DE RESULTADOS (SCRR)

En el proceso de solución ANSYS almacena desplazamientos (UX,UY,...), tensiones (SX,SY,...), etc. en los sistemas nodal o elemental. Sin embargo, en general ANSYS presenta por defecto los resultados en el sistema cartesiano global. Se puede definir un SCRR para el listado y la representación gráfica de los resultados nodales y elementales (PRNSOL, PRESOL, PLNSOL, ETABLE,...).



Ejemplo:

- En la lámina de la figura el mallado automático genera elementos con sistemas elementales con orientaciones diferentes. Esto da lugar a que los esfuerzos en las direcciones X e Y actúen en distintas direcciones para cada elemento. Si se define un SCRR (RSYS), los resultados estarán referidos a un único sistema., facilitando su interpretación.



## 8. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

El modelo es una representación matemática del sistema físico. Por tanto habrá que definir:

- geometría,
- tipos y propiedades de los elementos,
- características de los materiales,
- condiciones de carga, ...

### GEOMETRÍA DEL MODELO

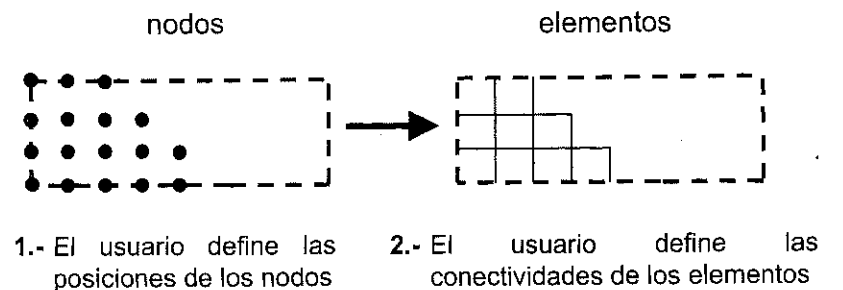
/PREP7 ó Main Menu > Preprocessor

Hay dos formas de definir la geometría del modelo:

- **generación directa**
- **modelado sólido**

#### (i) GENERACIÓN DIRECTA

Viable para modelos de formas regulares o de elementos lineales (vigas, tuberías,...)



(ii) MODELADO SÓLIDO

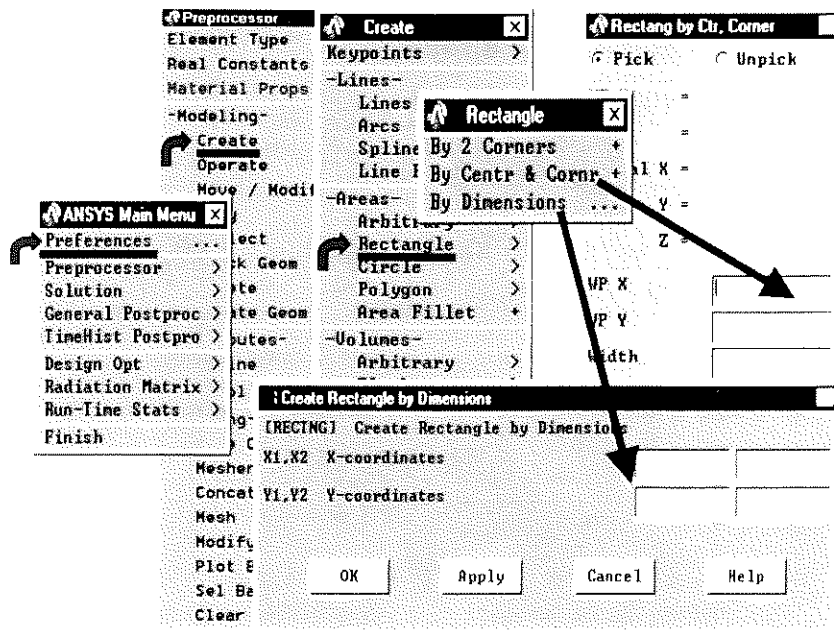
Se usan formas geométricas para representar el modelo. El programa genera la malla de E.F. (nodos y elementos) automáticamente, en base a los controles de mallado especificados por el usuario.



Modelo sólido

Modelo de Elementos Finitos

Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Create



**8.1. ÓRDENES Y OPERACIONES QUE PERMITEN DEFINIR LA GEOMETRÍA DEL MODELO (MODELADO SÓLIDO)**

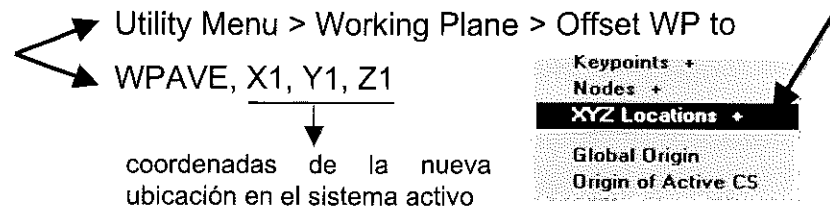
- Sistema Global de Coordenadas.
- Plano de Trabajo.
- Generación de entidades geométricas:
  - Formas geométricas predefinidas (en 2-D: rectángulo, círculo...; en 3-D: cilindro, prisma...).
  - Definición directa de puntos claves, líneas, áreas, volúmenes.
- Operaciones booleanas y de intersección (permiten combinar entre sí las entidades generadas).

## SISTEMA GLOBAL DE COORDENADAS

- Es un marco de referencia absoluto.
- ANSYS observa tres sistemas predefinidos con origen en (0,0,0):
  - Cartesiano global (CS0) (activo por defecto)
  - Cilíndrico global (CS1)
  - Esférico global (CS2)

## PLANO DE TRABAJO (WP)

- Todas las formas geométricas predefinidas se definen respecto de un WP, y se refieren al origen de dicho WP. El WP tiene un sistema 2-D de coordenadas cartesianas asociado (WX,WY)
- Por defecto el WP es paralelo al plano global X-Y y su origen coincide con el origen global.
- Para definir un nuevo origen del WP :



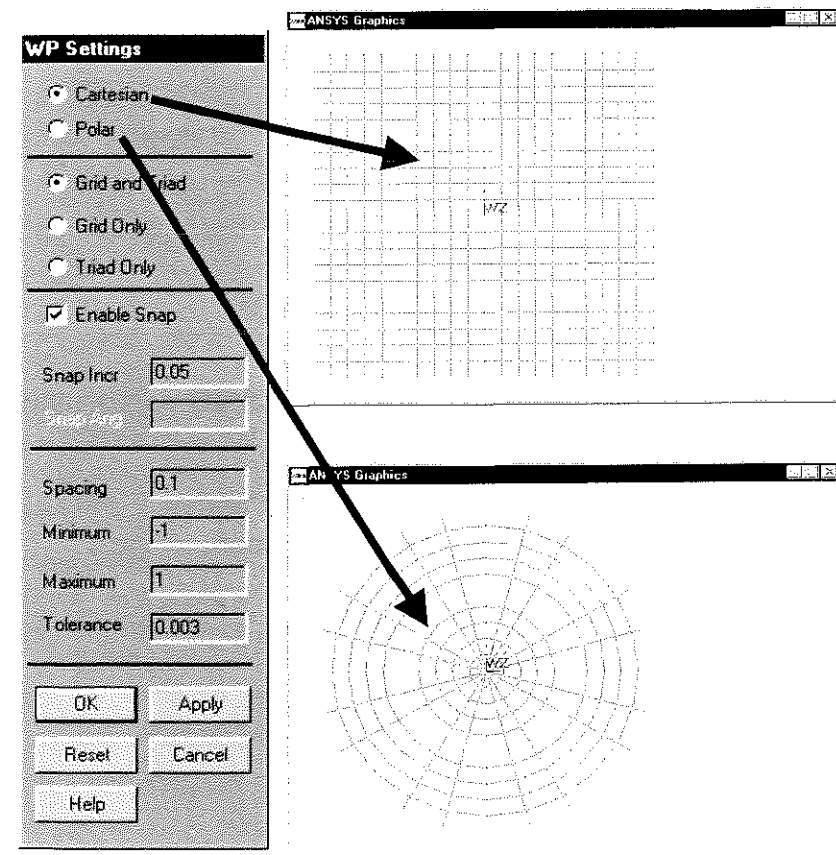
- Otras operaciones sobre WP son:
  - rotación
  - desplazamiento del WP en dirección Z
  - definición del WP basada en 3 nodos o 3 puntos clave

→ Para mostrar el WP:

Utility Menu > Working Plane > Display

→ Para activar la rejilla del WP en coordenadas cartesianas o polares:

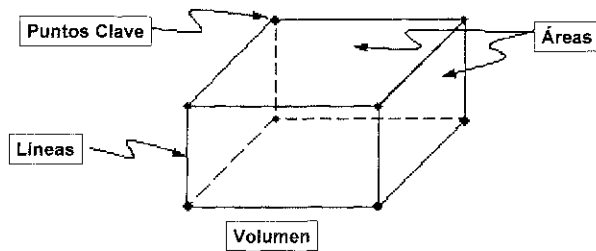
Utility Menu > Working Plane > WP Settings



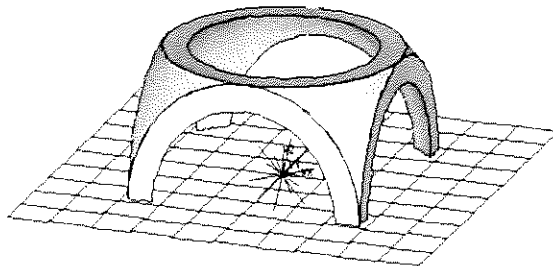
### FORMAS GEOMÉTRICAS PREDEFINIDAS

**2-D: ÁREAS** rectángulo círculo polígono...  
**3-D: VOLÚMENES** prisma cono esfera...

- los volúmenes están limitados por áreas, las áreas por líneas y las líneas por puntos clave.
- el programa numera las entidades al generarlas.

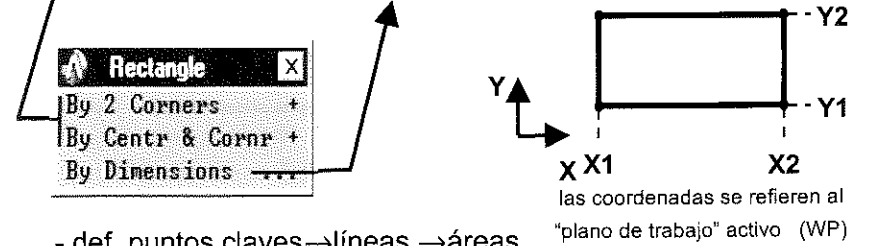


- estas áreas/volúmenes se combinan mediante operaciones booleanas.
- al definir una de estas formas geométricas, ANSYS genera todas las entidades de menor orden.

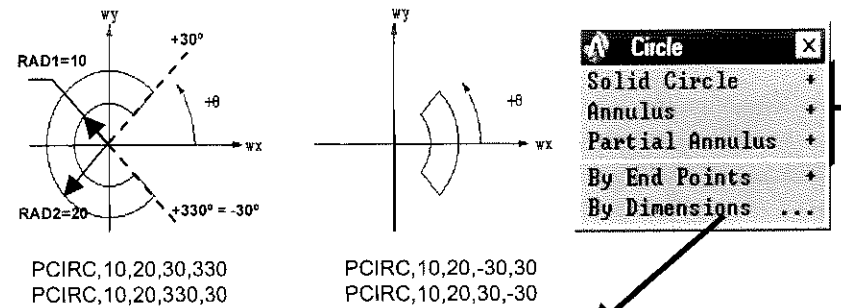


### EJEMPLOS

- Para definir un rectángulo:
  - gráficamente (2 vért. / centro+vértice)
  - por comandos (dimensiones): `RECTANG,X1,X2,Y1,Y2`



- Para definir un área circular:  
Main Menu > Preprocessor > -Modeling - Create > -Areas - Circle

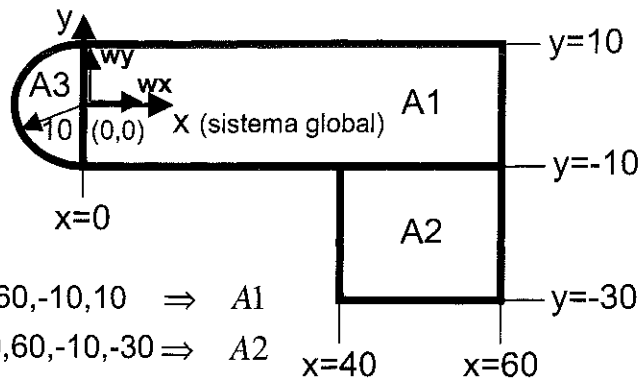


**PCIRCLE,RAD1,RAD2,THETA1,THETA2**

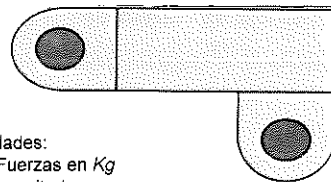
El sector empieza en el ángulo algebraicamente menor y se extiende según +  $\theta$  (centro en el origen de coordenadas del WP activo).

**CYL4,XCENTER,YCENTER,RAD1,THETA1,RAD2,THETA2,DEPTH**

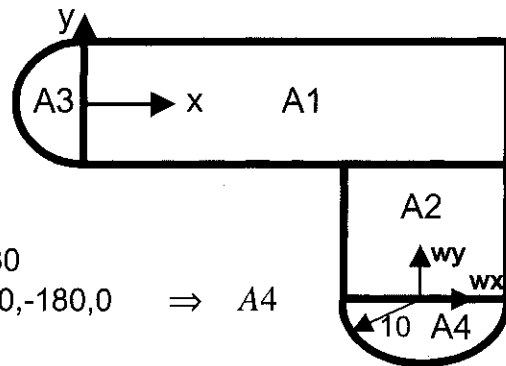
Define un área circular en cualquier punto del WP o un volumen cilíndrico con una de sus caras en cualquier punto del WP.



RECTANG,0,60,-10,10 ⇒ A1  
 RECTANG,40,60,-10,-30 ⇒ A2  
 PCIRCLE,0,10,90,270 ⇒ A3  
 APLOT

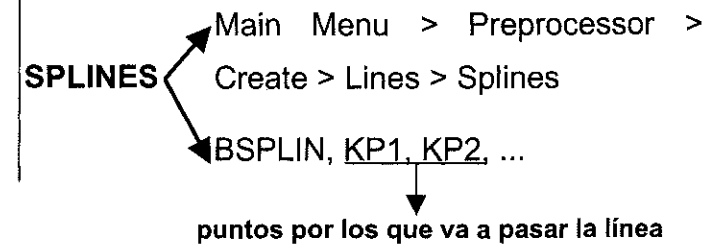
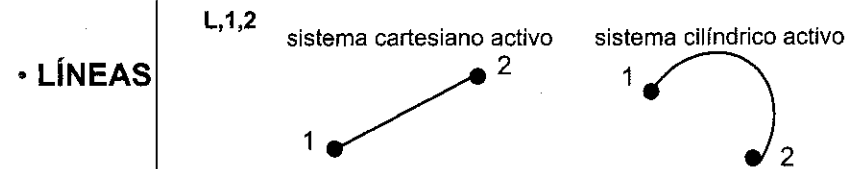
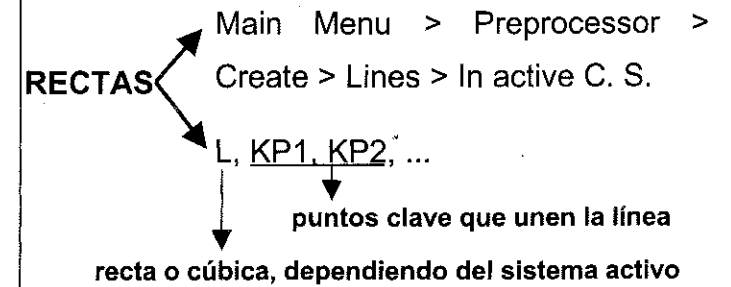
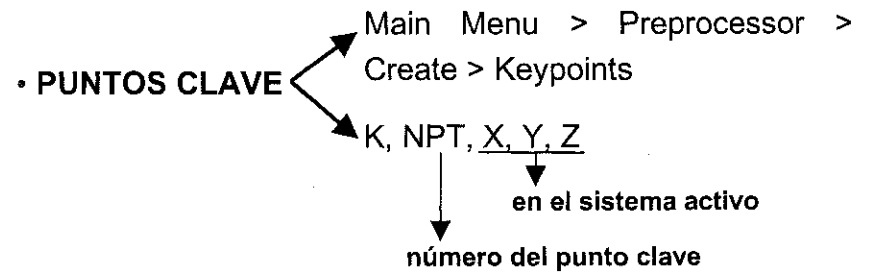


Unidades:  
 Fuerzas en Kg  
 Longitudes en cm



WPAVE,50,-30  
 PCIRCLE,0,10,-180,0 ⇒ A4  
 CYL4,50,-30,0,0,10,-180 ⇒ A4

## DEFINICIÓN DIRECTA DE PUNTOS CLAVE, LÍNEAS, ÁREAS Y VOLÚMENES



**POR PUNTOS:** define un área a partir de puntos clave

- ↙ Main Menu > Preprocessor > Create > Areas > Arbitrary > Through KPs
- ↘ A, KP1, KP2, KP3, ..., KP18

**POR LÍNEAS:** genera un área limitada por líneas definidas previamente

- ↙ Main Menu > Preprocessor > Create > Areas > Arbitrary > By lines
- ↘ AL, L1, L2, L3, ..., L10

KP1,..., KP18 y L1,...,L10 deben estar en el mismo plano o en una superficie definida por un valor de coordenada constante en el sistema activo

**POR BARRIDO:** de una línea sobre una trayectoria característica (ADRAG) o por rotación alrededor de un eje (sólidos de revolución: AROTAT)

- Main Menu > Preprocessor > Operate > Extrude/Sweep > Along Lines About Axis

• **VOLÚMENES** análogamente a la definición de áreas:

**POR PUNTOS** V, KP1, KP2, ..., KP8

**POR ÁREAS** VA, A1, A2, ..., A10

- Main Menu > Preprocessor > Create > Volumes > Arbitrary > Through KPs

By Areas

• **PARA MOSTRAR LAS ÁREAS**

- APLOT o Utility Menu > Plot > Areas

También VPLOT: muestra volúmenes

LPLOT: " líneas

KPLOT: " puntos clave

(son comandos "de acción")

• **PARA ACTIVAR LA NUMERACIÓN DE LÍNEAS, ÁREAS, PUNTOS CLAVE, ...**

- ↙ Utility Menu > PlotCtrls > Numbering...

/PNUM, Lab, Key

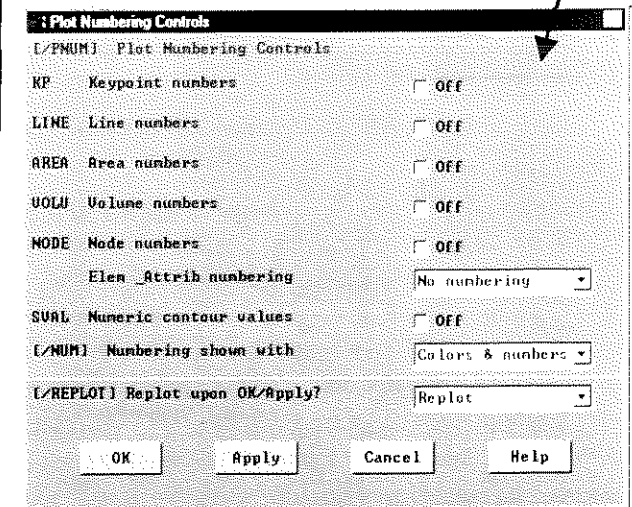
ON ó OFF (1 ó 0)

Area, Line, KP, MAT,...

ó /NUMBER, Nkey

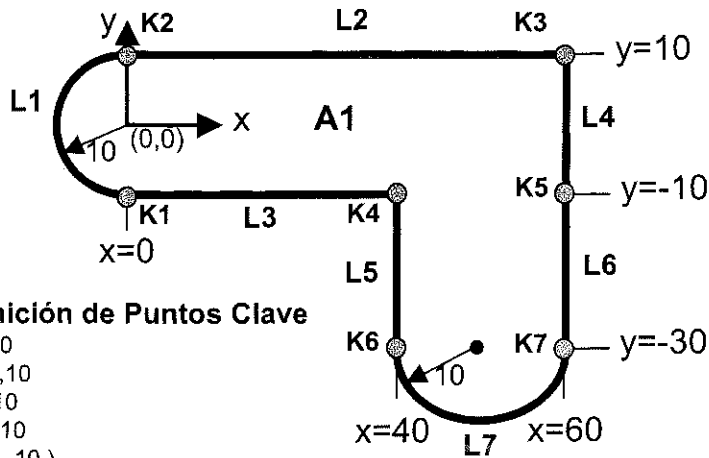
- 0 color+nº
- 1 sólo color
- 2 sólo nº
- 1 desactiva

(Estilo de la numeración: nº y/o colores)



(son comandos "de especificación": su efecto no se muestra hasta ejecutar el siguiente comando gráfico de acción)

**EJEMPLOS** Definición directa de puntos clave, líneas y áreas



**! Definición de Puntos Clave**

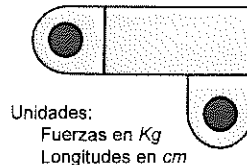
- K,1,0,-10
- K,\_,\_,10
- K,3,60,10
- K,4,40,-10
- ( K,5,60,-10 )
- K,6,40,-30
- K,7,60,-30

**! Definición de Líneas**

- CSYS,12,1,0,0,0,180 ! Define y activa sistema cilíndrico local con centro en (0,0) y girado 180°
- L,1,2 ⇒ L1
- CSYS,0 ! Activamos sistema cartesiano global
- L,2,3 ⇒ L2
- L,1,4 ⇒ L3
- L,3,5 ⇒ L4
- L,4,6 ⇒ L5
- L,5,7 ⇒ L6
- LOCAL,11,1,50,-30,0,180 ! Define y activa sistema cilíndrico local con centro en (50,-30) y girado 180°
- L,6,7 ⇒ L7

**! Definición de Áreas**

- AL,1,2,3,4,5,6,7 ⇒ A1



**OPERACIONES BOOLEANAS**

Permiten combinar entre sí las líneas, áreas y volúmenes ya creados

**ADICIÓN**

Main menu> Preprocessor> -Modeling-Operate> Booleans

$A1 + A2 \rightarrow A3$

`AADD,NA1,NA2,...,NA9`

Número del primer área (ó ALL, ó PICK)

Número de las otras áreas a sumar (salvo si NA1=P(ICK))

**Operate** menu options:  
 Extrude / Sweep >  
 Extend Line >  
 -Booleans-  
 Intersect >  
 Add >  
 Subtract >  
 Divide >  
 Glue >  
 Overlap >  
 Partition >  
 Settings ...  
 Show Degeneracy >  
 Scale >  
 Calc Geom Items >  
 KP distances +

**Intersect** dialog options:  
 -Common-  
 Volumes +  
 Areas +  
 Lines +  
 -Pairwise-  
 Volumes +  
 Areas +  
 Lines +  
 Area with Volume +  
 Line with Volume +  
 Line with Area +

**Add** dialog options:  
 Volumes +  
 Areas +  
 Lines +

**SUSTRACCIÓN**

$A1 - A2 \rightarrow A3$

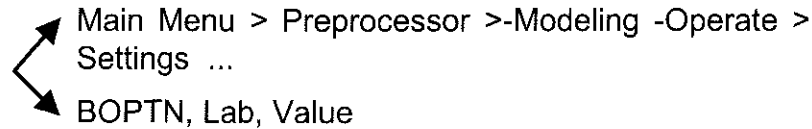
`ASBA,NA1,NA2`

Número del minuendo (ó P)

Número del sustraendo (salvo si NA1=P)



Al ejecutar una operación booleana, las entidades originales se podrán borrar o conservar:

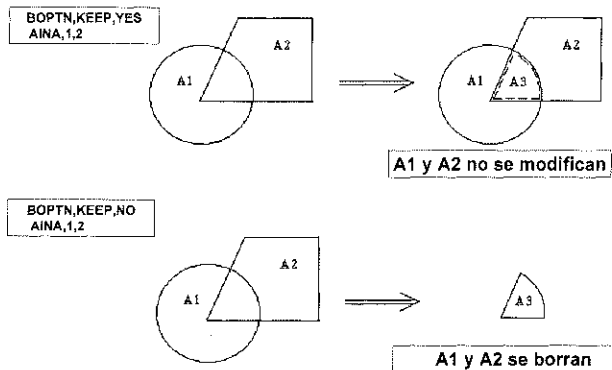


Si Lab : **KEEP** → Value :

- YES:** se mantienen las entidades originales
- NO :** se destruyen (salvo si están asociadas a una entidad de mayor orden o mallada) → por defecto

Si Lab : **NWARN** si una operación booleana no tiene efecto → Value :

- 0:** mensaje de advertencia (warning) → por defecto
- 1:** ningún mensaje
- 1:** mensaje de error

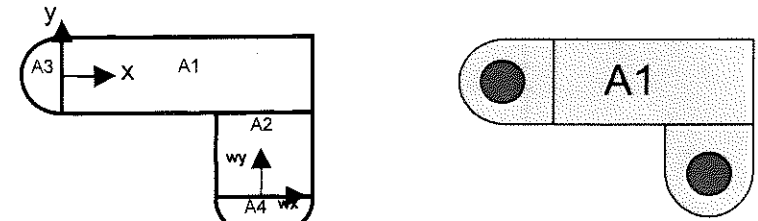


Además: · BOPTN, DEFA asigna valores por defecto  
· BOPTN, STAT muestra el estado actual

### EJEMPLO Adición-Sustracción

```
AADD, ALL           suma todas las áreas      → A5
PCIRCLE, 4          círculo sólido R = 4      → A1
WPAVE, 0, 0, 0     coloca WP de nuevo en el origen global
PCIRCLE, 4          → A2
ASBA, 5, 1         A5-A1 → A3
ASBA, 3, 2         A3-A2 → A1
APLOT
```

(/SHOW, , , 1)

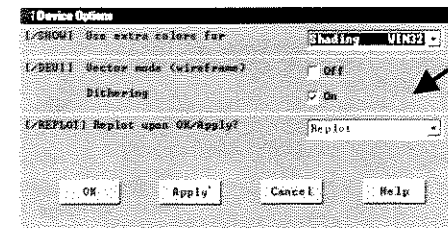


**OJO :** ANSYS numera las áreas con el valor más bajo posible

**SE HA GENERADO LA GEOMETRÍA DEL MODELO !!!**

### NOTA SOBRE GRÁFICOS

Utility Menu > PlotCtrls > Device Options



- ↔ **RASTER** (por defecto) → fondo relleno de color
- ↔ **VECTOR** → fondo no relleno de color

También desde el Input Menu :

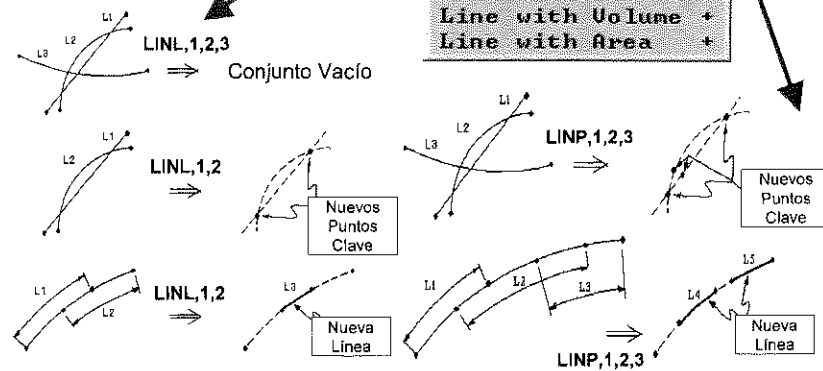
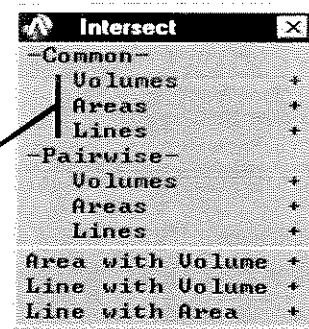
- /SHOW, filename, ext ,1 → pasa a modo vector
- 0 → pasa a modo raster

### INTERSECCIÓN

- Entre entidades del mismo orden

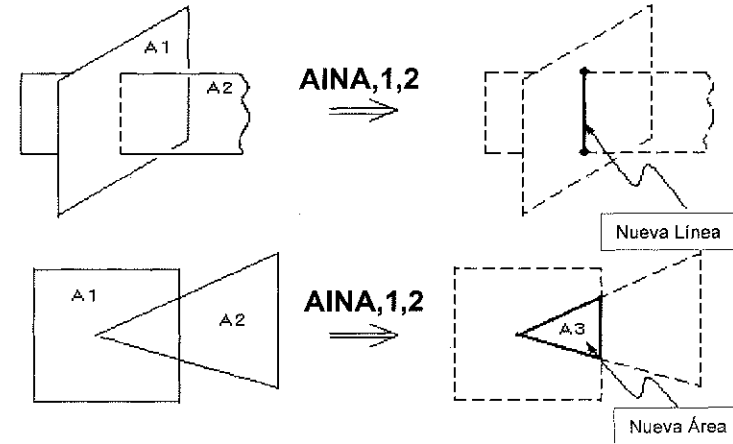
Main Menu > Preprocessor > -Modeling- Operate > -Booleans- Intersect

para líneas LINL,L1,..., L9 obtiene las entidades comunes a las líneas L1+L9  
 LINP,L1,..., L9 realiza la intersección de las líneas L1+L9 dos a dos

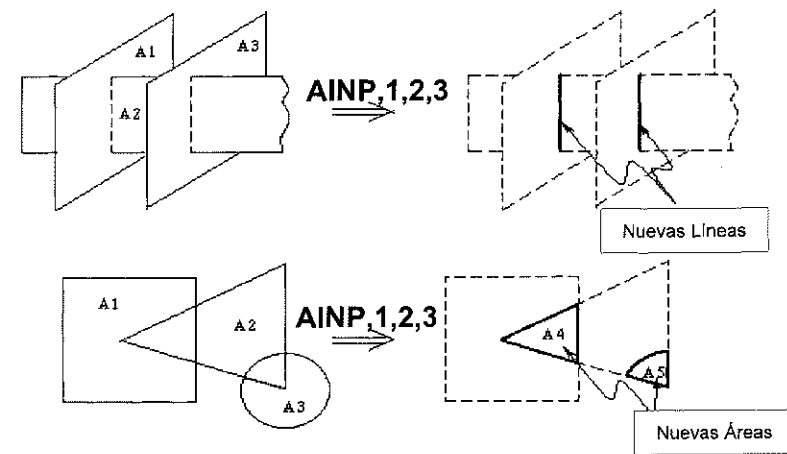


**LINL** (Línea **I**ntersecta Línea)    **LINP** (Líneas **I**ntersectan por Parejas)

- Análogamente para áreas y volúmenes: **AINA** y **VINV**  
**AINP** y **VINP**



**AINA** (Área **I**ntersecta Área)

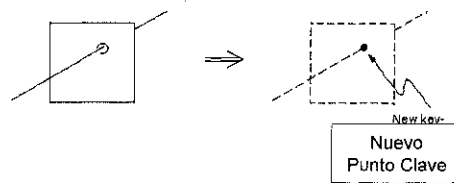
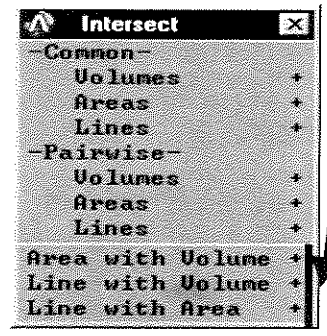


**AINP** (Áreas **I**ntersectan por Parejas)

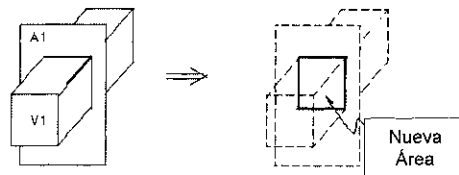
- Entre entidades con distinta dimensión

↙ Main Menu > Preprocessor > Operate > Intersection  
 ↘ por ej., para intersectar líneas con áreas: LINA,NL,NA

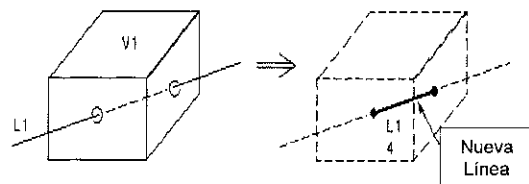
Análogamente : AINV y LINV



**LINA** (Línea Intersecta Área)



**AINV** (Área Intersecta Volumen)



**LINV** (Línea Intersecta Volumen)

## 8.2. TIPOS DE ELEMENTOS

El programa ANSYS tiene un gran número de tipos de elementos. Un tipo de elemento se identifica por un nombre, e.g. BEAM3 ( 8 caracteres como máximo), que se compone de una etiqueta de grupo (BEAM) y un número de identificación (3).

Los modelos en ANSYS pueden ser bidimensionales o tridimensionales dependiendo del tipo de elementos que se utilice. Los modelos bidimensionales han de definirse en un plano X-Y. También se consideran bidimensionales los modelos axisimétricos. Si se incluye algún tipo de elemento tridimensional, el modelo pasa a ser tridimensional. Algunos tipos de elementos (como COMBIN14) pueden ser 2-D o 3-D dependiendo de los KEYOPT seleccionados.

En general hay cuatro formas características de elementos: punto, línea, área o volumen.

- Un elemento punto está definido por un nodo, e.g. un elemento masa.
- Un elemento línea se representa normalmente por una línea recta o curva que conecta dos o tres nodos. Algunos ejemplos son: vigas, barras, tubos y láminas axisimétricas.
- Un elemento área tiene forma triangular o cuadrilátera y puede ser un elemento sólido 2-D o un elemento lámina.
- Un elemento volumen tiene forma de tetraedro o hexaedro y es normalmente un elemento sólido tridimensional.

Los grados de libertad de un elemento determinan el tipo de cálculo al que es aplicable: estructural, térmico, eléctrico, fluido, magnético, ...

El tipo de elemento debe elegirse de forma que los grados de libertad sean suficientes para caracterizar la respuesta del modelo.

Este curso de introducción a ANSYS se centra en el cálculo de estructuras con comportamiento elástico lineal. Los elementos más comunes para este tipo de análisis son:

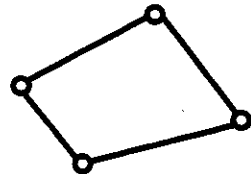
- **LINK1** 2 nodos, 2-D, g.d.l.: UX, UY barra articulada 2-D
- **LINK8** 2 nodos, 3-D, g.d.l.: UX, UY, UZ barra articulada 3-D
- **LINK10** 2 nodos, 3-D, g.d.l.: UX, UY, UZ cable (solo tracción)



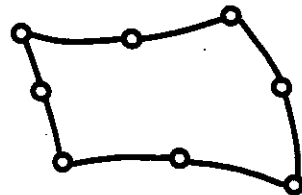
- **BEAM3** 2 nodos, 2-D, g.d.l.: UX, UY, ROTX viga 2-D
- **BEAM4** 2 nodos, 3-D, g.d.l.: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ viga 3-D



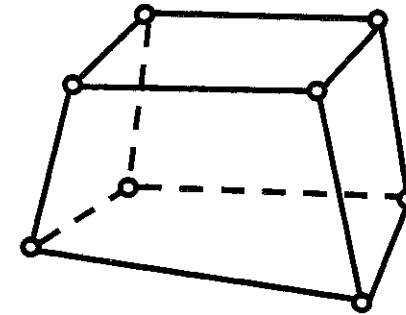
- **PLANE42** 4 nodos, 2-D, g.d.l.: UX, UY laja elástica



- **PLANE82** 8 nodos, 2-D, g.d.l.: UX, UY laja elástica

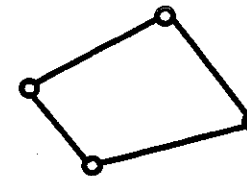


- **SOLID45** 8 nodos, 3-D, g.d.l.: UX, UY, UZ hexaedro

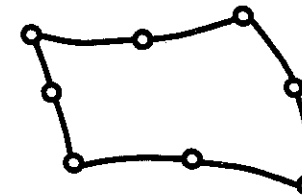


- **SHELL41** 4 nodos, 3-D, g.d.l.: UX, UY, UZ membrana

- **SHELL63** 4 nodos, 3-D, g.d.l.: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ lámina



- **SHELL93** 8 nodos, 3-D, g.d.l.: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ lámina



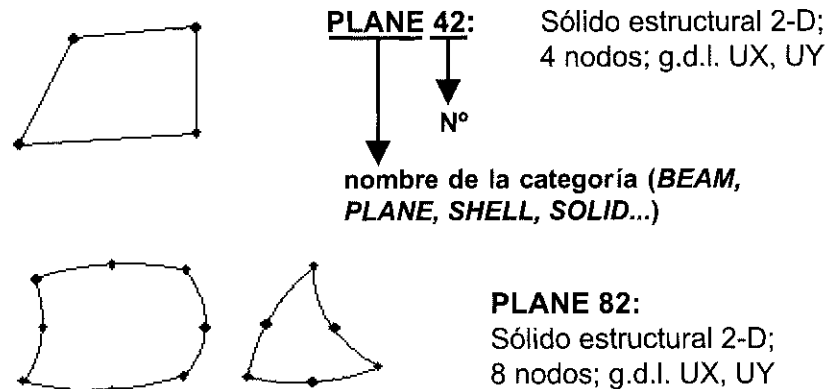
### 8.3. MALLADO DEL MODELO SÓLIDO

- Mallado automático: el programa genera nodos y elementos.
- Información requerida:
  - tipo de elemento // "constantes reales"
  - características de los materiales
  - ( sistema de coordenadas del elemento )
  - controles de mallado, i.e., el tamaño que debe tener la malla

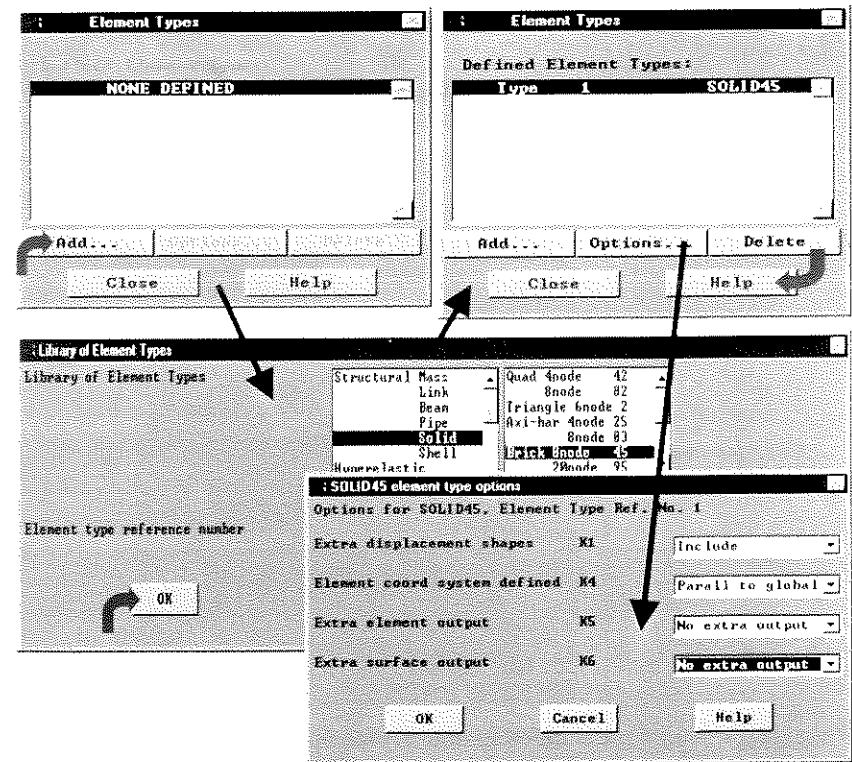
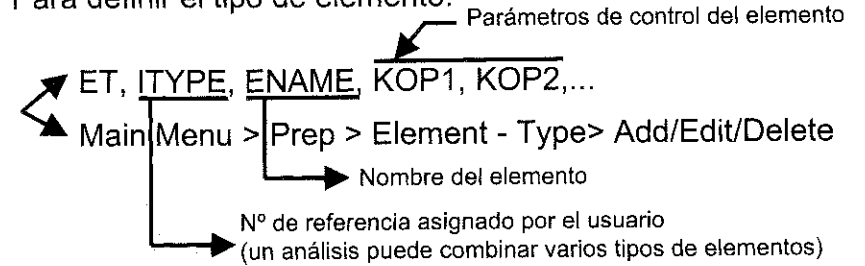
#### TIPO DE ELEMENTO

- Forma del elemento
- nº de nodos del elemento
- G. D. L. (en los nodos) del elemento

- Para un mismo tipo de problema pueden existir varias opciones, por ej.



Para definir el tipo de elemento:



Para activar un tipo de elemento ya definido: TYPE, ITYPE

### CONSTANTES REALES

El conjunto de constantes reales contiene, en general, las propiedades geométricas del elemento (espesor, área/inercia de la sección transversal,...)

Para definir las: Main Menu > Prep. > Real Constant  
 R, NSET, R1, R2, ..., R6

Nº de referencia del conjunto (definido por el usuario)

Valor de las ctes. reales (A, I, espesor,...)

Figure 4.8-2 LINK8 3-D Spar Output

The following notation is used in Table 4.8-2:  
 A colon (:) in the Name column indicates the item is Component Name method (FINISH) (see 9)  
 "\*" columns indicate the availability of the item on

- Para listar los conjuntos de constantes reales activos: RLIST
- Para borrar un conjunto de constantes reales: RDELE, NSET
- Para activar un conjunto de constantes reales ya definido: REAL, NSET

### CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Main Menu > Prep > Mat. properties >  
 MP, Lab, MAT, C0 (, ..., C4)

valor de la propiedad  
 número de referencia del material  
 etiqueta de la propiedad: - E ≡ EX  
 - ν ≡ NUXY  
 etc.

**OJO : ANSYS no reconoce unidades**  
 → tenemos que ser congruentes

Property	Label	Value
Young's modulus	EX	
Density	DENS	
Thermal expansion coeff	ALPX	
Reference temperature	REFT	
Poisson's ratio (minor)	NUXY	0.3
Shear modulus	GXY	
Friction coefficient	MU	
Damping multiplier	DAMP	
Thermal conductivity	KXX	
Specific heat	C	

- Para listar los conjuntos de materiales activos: MPLIST
- Para borrar un material: MPDELE, Mat
- Para activar un material ya definido: MAT, Mat

## MALLADO

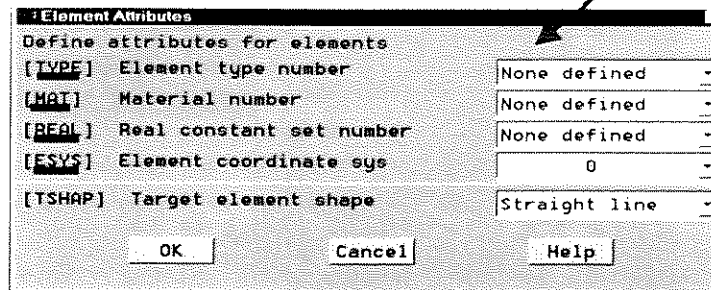
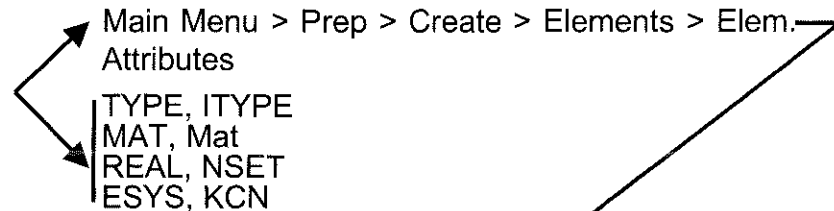
### 1.- Selección de Atributos del Elemento:

- Tipo de Elemento
- Material
- Constantes Reales
- Sistema Elemental de Coordenadas

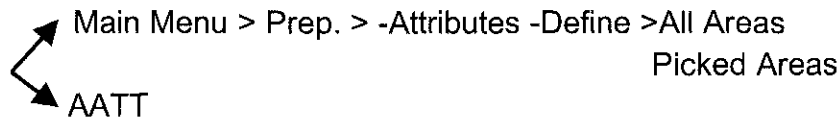
### 2.- Fijar Controles de Mallado

### 3.- Generar la Malla de Elementos Finitos

#### ATRIBUTOS DEL ELEMENTO



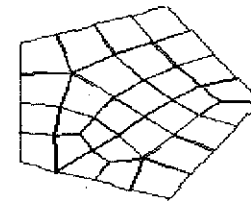
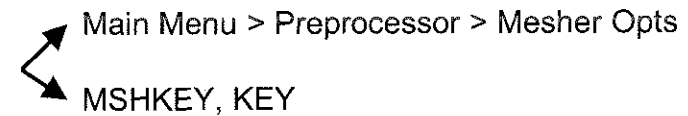
El usuario puede pre-asignar estos atributos a entidades geométricas del modelo sólido. Así, se puede pre-establecer que los elementos con que se vaya a mallas un área sean de un determinado tipo, material, ...:



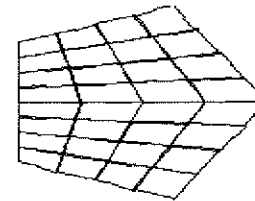
(Véanse también las órdenes KATT, LATT y VATT)

## CONTROLES DE MALLADO

- Hay que establecer :
  - tamaño del elemento.
  - forma del elemento.
  - ( - emplazamiento del nodo intermedio en elementos con más de dos nodos por lado )
- Es uno de los pasos más importantes: afecta a la precisión y economía del análisis.
- Se pueden realizar dos tipos de operaciones:



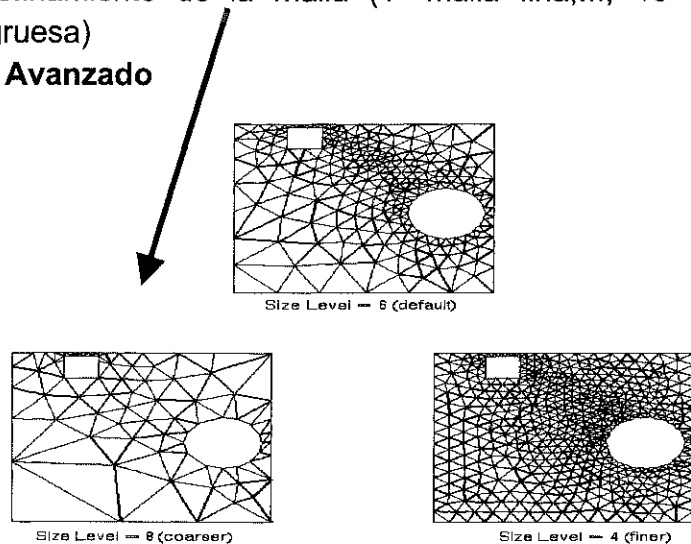
**free meshing** (por defecto)



**mapped meshing**

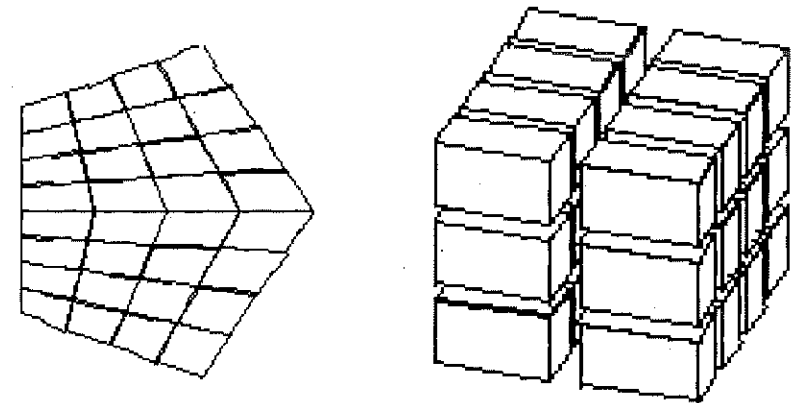
**FREE MESHING:**

- El sólido no debe cumplir ninguna restricción especial. Pueden emplearse en el mallado elementos de forma genérica (e.g., cuadriláteros y triángulos en 2-D).
- Si no se especifican controles de mallado, ANSYS usará los valores por defecto establecidos en la orden DESIZE (Main Menu > Preprocessor > -Meshing- Size Cntrl > -Manual Size- Global -Other).
- Alternativamente se recomienda utilizar el algoritmo SmartSizing (orden SMRTSIZE: Main Menu > Preprocessor > -Meshing- Size Cntrl > -SmartSize- Basic ) que optimiza la definición de la malla.
- **SmartSizing** admite dos niveles de control:
  - **Básico:** el usuario sólo especifica el nivel de refinamiento de la malla (1- malla fina;...; 10- malla gruesa)
  - **Avanzado**



**MAPPED MESHING:**

- El usuario establece unas directrices más rigurosas de mallado. Así, todos los elementos de área deberán ser cuadriláteros o todos los de volumen deberán ser hexaédricos.
- El modelo sólido deberá construirse en base a unos áreas/volumenes de formas “regulares” que tienen que satisfacer una serie de criterios (consultar el capítulo 6 - Meshing Your Solid Model- de ANSYS Modeling and Meshing Guide: Utility Menu > Help > Table of Contents > Analysis Guides).



(consultar órdenes LCCAT, LCOMB, AMAP, ACCAT)



## TAMAÑO DEL ELEMENTO

En muchos casos será necesario refinar la malla en determinadas zonas (e.g., donde existan concentradores de tensiones).

### CONTROLES DE MALLADO LOCAL

- Para fijar un tamaño general de los elementos sobre el contorno (i.e., las líneas) del modelo sólido:

Main menu > Preprocessor > -Meshing- Size Cntrls > -Global- Size  
 ESIZE, SIZE, NDIV

si SIZE es 0: nº de divisiones (elementos) en las líneas del modelo

longitud del lado del elemento en los contornos (líneas) del modelo

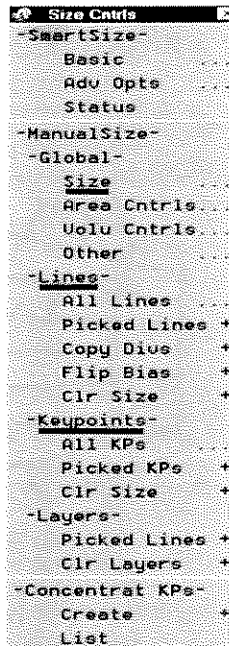
- Para definir el tamaño de los elementos alrededor de un punto clave:

Main Menu > Preprocessor > - Meshing- Size Cntrls > -Keypoints-  
 KESIZE, NPT, SIZE, ...

- Para especificar el número de divisiones en una línea :

Main Menu > Preprocessor > -Meshing- Size Cntrls > -Lines-  
 LESIZE, NL, SIZE, ANGSIZE, NDIV ...

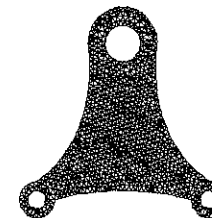
En caso de conflicto entre definiciones de tamaño, la jerarquía es: LESIZE > KESIZE > ESIZE



## CONTROLES DE MALLADO INTERIOR

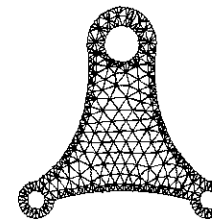
La orden MOPT controla el mallado en el interior de un área (/volumen) cuando no hay líneas que permiten guiar el tamaño de la malla:

Main Menu > Preprocessor > -Meshing- Size Cntrls > -Global-Area Cntrls  
 Volu Cntrls



**1782 elementos**

Malla sin control de expansión.

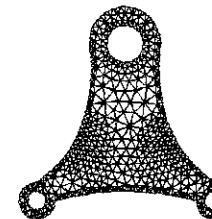


**614 elementos**

Malla con control de expansión:

MOPT, EXPND, 2.5

el tamaño de los elementos interiores es aproximadamente 2.5 veces el de los elementos del contorno.



**952 elementos**

Malla con controles de expansión y transición:

MOPT, EXPND, 2.5

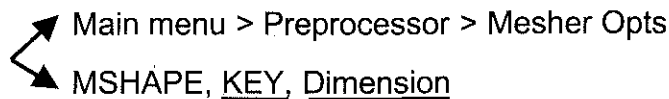
MOPT, TRANS, 1.3

el tamaño de los elementos interiores es aproximadamente 2.5 veces el de los elementos del contorno. Según la malla avanza hacia el interior, los elementos aumentan 1.3 veces su tamaño.

### FORMA DEL ELEMENTO

También es posible controlar la forma del elemento:

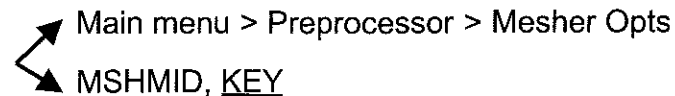
- en 2-D un modelo puede combinar elementos triangulares y cuadriláteros
- en 3-D no es recomendable mezclar en una malla elementos hexaédricos y tetraédricos



Controla la forma de los elementos:

- |   |   |
|---|---|
| 0 cuadriláteros si <i>Dimension</i> es 2D<br>o hexaedros si es 3D | Especifica la dimensión<br>del modelo: 2D |
| 1 triángulos si <i>Dimension</i> es 2D o<br>tetraedros si es 3D   | 3D  |

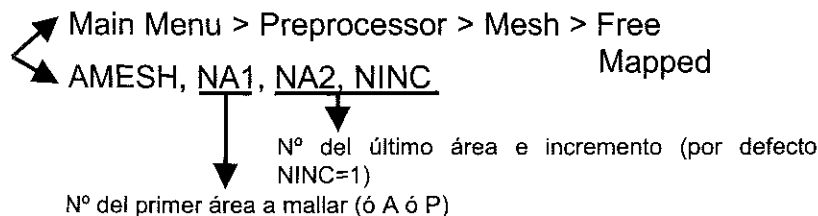
El emplazamiento de nodos intermedios (para elementos que los tengan) puede controlarse mediante:



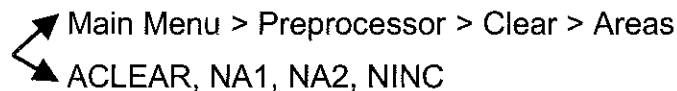
- 0 el nodo sigue la curvatura de la línea del contorno
- 1 el nodo se alinea con los nodos extremos
- 2 no se crean nodos intermedios

### GENERACIÓN DEL MALLADO

- Para mallar un área con nodos y elementos:



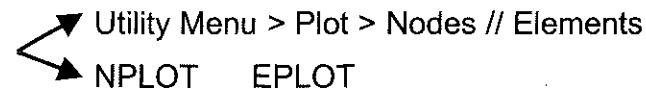
- Para borrar la malla creada:



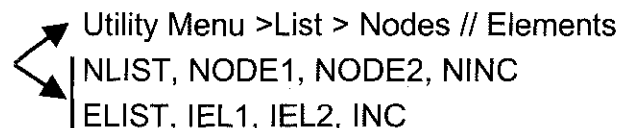
- Análogamente:

- para generar elementos puntuales (e.g., MASS21) en puntos clave: KMESSH
- para generar elementos lineales sobre líneas clave: LMESSH
- para mallar un volumen: VMESH

- Para mostrar nodos y elementos:



- Para listar nodos y elementos:



**NOTA.-** ANSYS dispone de una macro de mallado adaptativo y solución (orden ADAPT: Main Menu > Solution > Adaptive Mesh) que refina automáticamente la malla en base al error en energía acumulado.

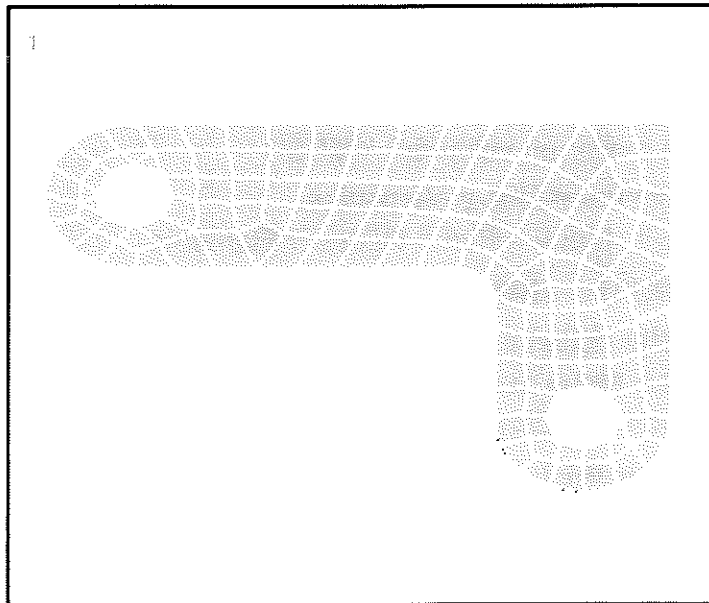
**EJEMPLO**

ET, 1, PLANE82  
 MP, EX, 1, 2.1E6  
 MP, NUXY, 1, .3  
 ESIZE, 3  
 AMESH, ALL  
 EPLOTT

sólido estructural 2-D (8 nodos)  
 $E = 2.1 \cdot 10^6 \text{ Kg/cm}^2$   
 $\nu = 0.3$   
 tamaño del elemento = 3 cm

unidades congruentes

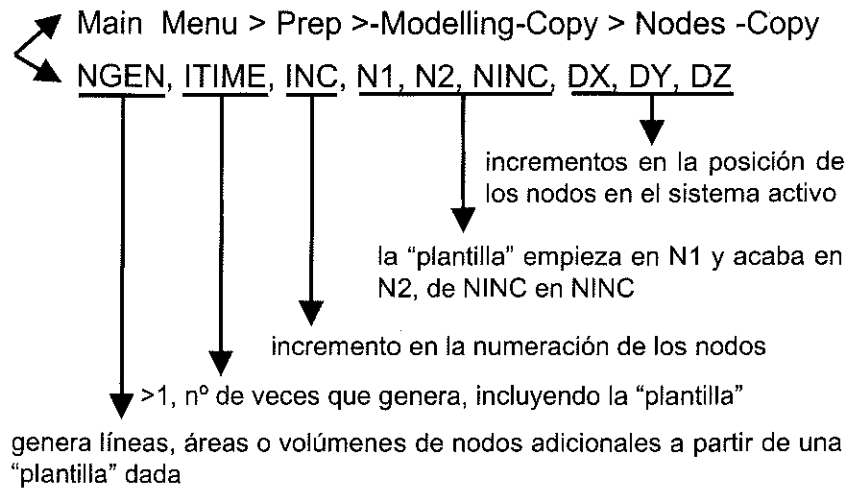
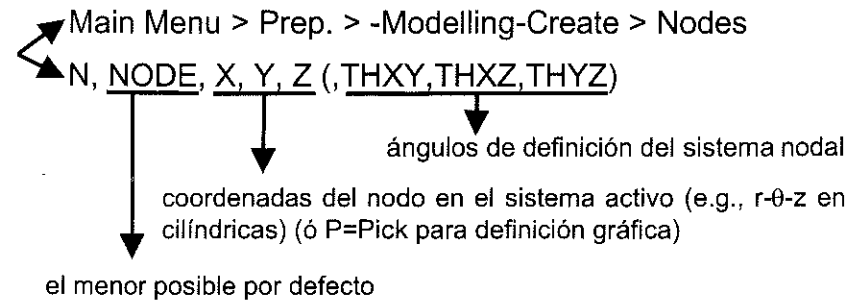
dará aproximadamente 2 elementos en dirección radial desde los agujeros hasta los extremos de la pieza

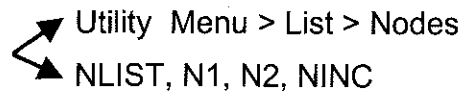
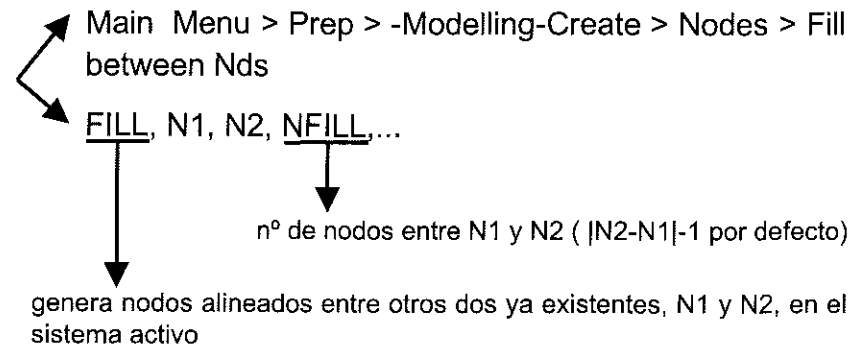


**8.4. GENERACIÓN DIRECTA DEL MODELO**

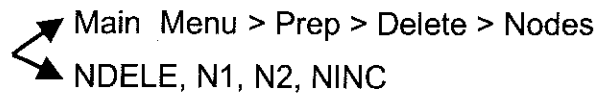
El usuario define "manualmente" la posición de los nodos y las conectividades de los elementos → viable para modelos de formas regulares o de elementos lineales (e.g., vigas...).

**DEFINICIÓN de NODOS**

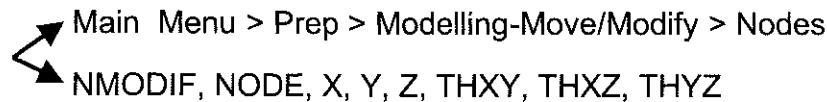




→ Para listar nodos activos

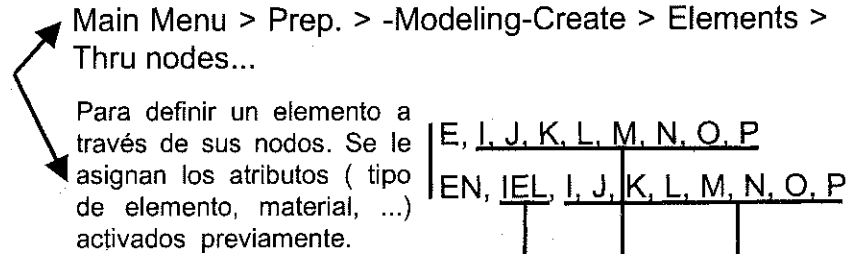


→ Para borrar nodos activos



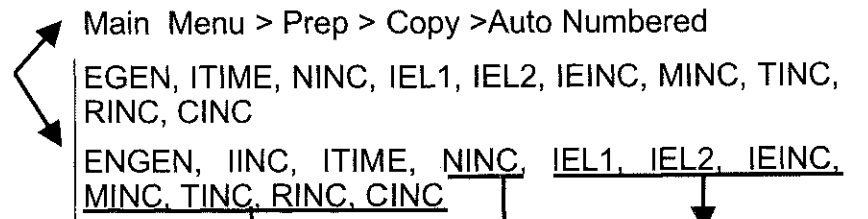
→ Para modificar nodos activos

**DEFINICIÓN de ELEMENTOS**



nodos asignados a la primera, segunda, ... posiciones nodales. El nº de nodos necesario para definir un elemento y el orden en que deben especificarse (conectividad) se describen, para cada tipo de elemento, en la biblioteca de elementos

número asignado al elemento (la orden "E" asigna el nº de elemento automáticamente)



incremento en (el nº de referencia de) material, tipo, constantes reales, sistema elemental de coordenadas

rango de elementos que definen la "plantilla"

incremento en la numeración de los nodos que forman la plantilla

Generan elementos adicionales a partir de una "plantilla" dada.

Utility Menu > List > Elements  
 ELIST, IEL1, IEL2, INC, NNKEY, RKEY

→ Para listar elementos activos

0 ó 1: lista nodos y atributos, o solo atributos

1 ó 0, muestra o no las constantes reales

Main Menu > Prep > Delete > Elements  
 EDELE, IEL1, IEL2, INC

→ Para borrar elementos activos

Main Menu > Prep > Modelling-Move/Modify >  
 Modify Attrib.

EMODIF, IEL, STLOC, I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8

Nº del elemento cuyos nodos y/o atributos se van a modificar

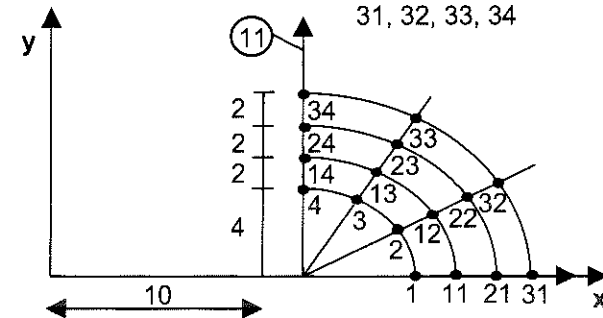
• **STLOC=N** → posición "N" del primer nodo del elemento (N=1...20) que se va a modificar: la posición N toma el valor I1, la N+1 el I2... Los atributos del elemento se actualizan a los valores activos. Si sólo se quieren modificar nodos pero no atributos, especificar STLOC=-N

• **STLOC=0** → sólo se modifican los atributos del elemento, a los valores activos

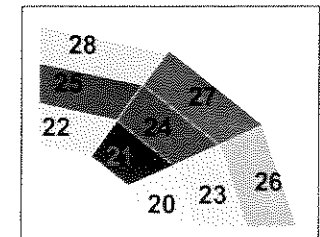
• **STLOC=MAT, TYPE, REAL ó ESYS** → se modifica el atributo correspondiente al valor dado en I1

**EJEMPLO**

LOCAL, 11, 1, 10  
 N, 1, 4 → Nodo 1  
 N, 4, 4, 90 → 4  
 FILL, 1, 4 → 2,3  
 NPLOT  
 NGEN, 4, 10, 1, 4, 1, 2 → 11, 12, 13, 14  
 NPLOT → 21, 22, 23, 24  
 → 31, 32, 33, 34



ET, 1, PLANE42  
 EN, 20, 1, 11, 12, 2 → Elemento 20  
 EPLOT  
 EGEN, 3, 1, 20 → 21, 22  
 EPLOT  
 EGEN, 3, 10, 20, 22, 1 → 23, 24, 25  
 EPLOT → 26, 27, 28

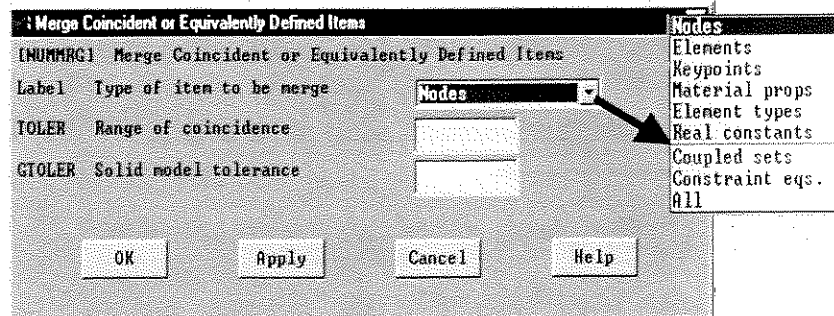


## OTROS COMANDOS DE INTERÉS

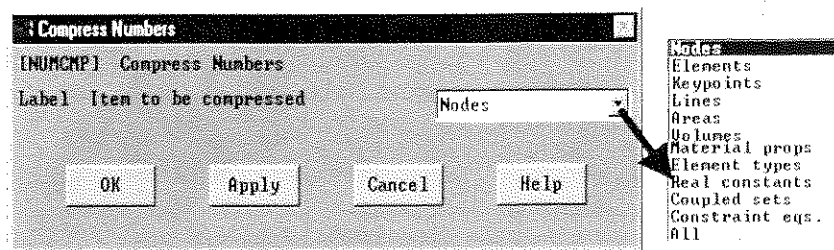
Hay dos comandos que pueden ser de utilidad para reorganizar los datos de entrada:

Main Menu > Preprocessor > Numbering Ctrl >  
Merge Items  
Compress Numbers

- **NUMMRG** unifica la definición de entidades (nodos, elementos, puntos clave (→ líneas, áreas y volúmenes)) coincidentes pero que pertenecen a partes separadas del modelo: e.g., *NUMMRG,NODE* comprueba los nodos cuyas posiciones coinciden, eliminando los de numeración mayor y sustituyéndolos por los de menor numeración.



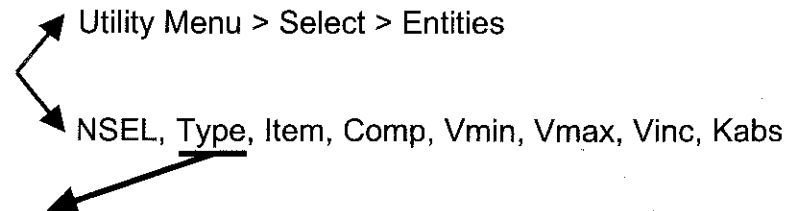
- **NUMCMP** comprime la numeración de nodos, elementos,... conservando el orden en el que fueron introducidos. En general sólo resulta necesario si existen limitaciones de memoria y hay espacios importantes en las secuencias de numeración de las entidades.



## 9. MÉTODOS DE SELECCIÓN

- Permiten trabajar con sólo una parte (activa) del modelo. La parte desactivada no se puede listar, borrar, ...
- Utilidad:
  - Reducir tiempos de respuesta
  - Aplicar órdenes a sólo una parte del modelo.
- Se pueden seleccionar: Nodos (NSEL), Elementos (ESEL), Puntos Clave (KSEL), Líneas (LSEL), Áreas (ASEL) y Volúmenes (VSEL).

E.g., para nodos



- S      Selecciona un nuevo conjunto
- R      Reselecciona del conjunto actualmente activo
- A      Añade nodos adicionales al conjunto seleccionado
- U      Desactiva un subconjunto de los nodos activos
- ALL    Activa todos los nodos
- NONE   Desactiva todos los nodos
- INVE   Invierte los conjuntos de nodos activos y desactivados
- STAT   Proporciona los nodos activos

NSEL, Type, Item, Comp, Vmin, Vmax, Vinc, Kabs

Valores mínimo y máximo del rango de Item a seleccionar. Vinc es el incremento dentro del rango (sólo para rangos enteros, e.g., nº de nodo)

Kabs =0 >> se chequea el signo durante la selección  
 =1 >> se utiliza el valor absoluto

Sólo para Type = S,R,A ó U:

Item	Comp	Descripción
------	------	-------------

• Para valores de entrada:

NODE	-----	Nº de nodo (por defecto)
LOC	X,Y,Z	Posición X,Y,Z en el sistema activo
D	UX,UY,UZ	Desplazamientos X,Y,Z prescritos

etc.

• Para resultados asociados a g.d.l. nodales:

U	X,Y,Z,SUM	Desplazamientos X, Y, Z o suma vectorial
ROT	X,Y,Z,SUM	Rotaciones X, Y, Z o suma vectorial

etc.

• Para resultados asociados a elementos:

S	X,Y,Z,XY,YZ,XZ	Tensor de tensiones
	1,2,3	Tensiones principales
	EQV	Tensión equivalente

etc.

También existen comandos de selección cruzados: permiten la selección de una entidad en base al subconjunto actualmente activo de otra entidad.

E.g., para nodos

NSLA, Type, Nkey

Selecciona nodos en base a aquellos contenidos en el conjunto activo de áreas (ASEL)

S, R, A, U

Nkey =0 >> selecciona sólo nodos interiores a las áreas seleccionadas  
 =1 >> selecciona todos los nodos (interiores a las áreas seleccionadas, pertenecientes a sus líneas y en sus puntos clave)

Otros comandos:

NSLE	seleccionan nodos pertenecientes a elementos activos
NSLK	seleccionan nodos coincidentes con puntos clave activos
NSLL	seleccionan nodos pertenecientes a líneas activas
NSLV	seleccionan nodos pertenecientes a volúmenes activos

Para seleccionar **todas** las entidades: ALLSEL

## 10. HIPÓTESIS DE CARGA Y SOLUCIÓN

Para aplicar las condiciones de contorno<sup>(\*)</sup> y resolver se utiliza el procesador SOLUTION:

/SOLU ó Main Menu > Solution

(\*) Las cargas también se pueden aplicar en el preprocesador PREP7

### 10.1. CLASIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO

#### Restricciones en g.d.l.

Valores prescritos de los g.d.l.: desplazamientos en un análisis estructural, temperaturas en un análisis térmico ...

#### Fuerzas puntuales

Cargas concentradas: fuerzas puntuales en un análisis estructural, flujos de calor en un análisis térmico ...

#### Fuerzas superficiales

Cargas distribuidas sobre una superficie: presiones en un análisis estructural, convecciones en un análisis térmico ...

#### Fuerzas de volumen

Cargas que actúan sobre un volumen: temperaturas en un análisis estructural, generación interna de calor en un análisis térmico ...

#### Fuerzas de inercia

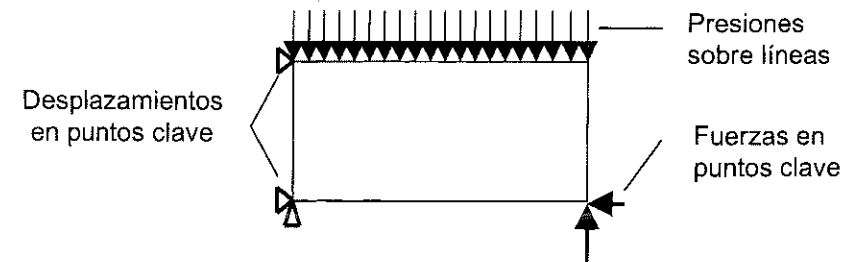
Fuerzas de inercia: gravedad ...

Main Menu > Solution > -Loads- Apply

## 10.2. APLICACIÓN DE CONDICIONES DE CONTORNO (C.C.) AL MODELO

Hay dos formas de aplicar las C.C.:

- **Sobre el Modelo de Elementos Finitos:** nodos y elementos.
- **Sobre el Modelo Sólido:** puntos clave, líneas y áreas.



En general es preferible aplicar las C.C. sobre el modelo sólido, ya que de esta manera no resulta necesario redefinir dichas C.C. en caso de modificar el mallado de elementos finitos.

- El algoritmo de solución necesita que las C.C. estén aplicadas sobre el modelo de Elementos Finitos: ANSYS transfiere automáticamente las cargas al modelo subyacente de E.F. durante la solución.
- La transferencia de las cargas y condiciones de contorno al modelo de E.F. también se puede realizar mediante el comando:

SBCTRAN (Main Menu>Solution>Operate>All Solid Lds)



### 10.3. RESTRICCIONES EN GRADOS DE LIBERTAD G.D.L.

- Se prescriben valores conocidos sobre los g.d.l. del modelo (e.g., desplazamientos en un análisis estructural).
- Se pueden especificar sobre los nodos, puntos clave, líneas o áreas.

#### Restricciones de g.d.l. sobre puntos clave

Main Menu > Solution > -Loads- Apply > Displacement > On Keypoints

DK, Kpoi, Lab, Value, Value2, Kexpnd

Clave de expansión: 0 ó 1

Nº de punto clave (ó A=ALL ó P=PICK)

Valor de la restricción

Etiqueta g.d.l.:

ALL

UX,UY,UZ

ROTX,ROTY,ROTZ

etc.

todos los g.d.l. activos  
desplazamientos  
rotaciones

### Restricciones en g.d.l. sobre puntos clave

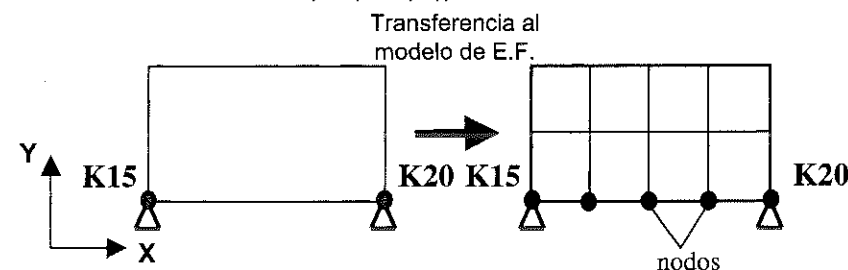
DK, Kpoi, Lab, Value, Value2, Kexpnd

Clave de expansión → se utiliza para transferir la restricción especificada a todos los nodos situados entre los puntos clave marcados:

Kexpnd=0: La restricción se aplica sólo en el nodo que coincide con el punto clave

DK,15,UY,0,,0

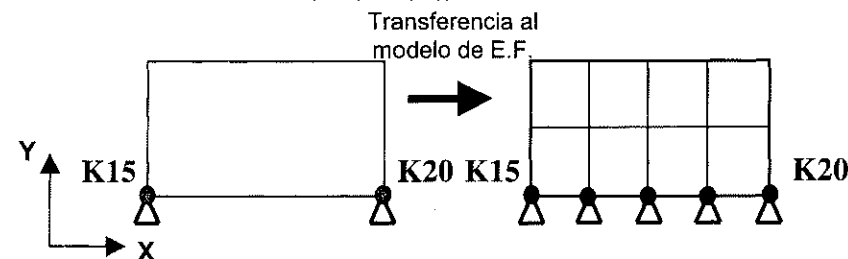
DK,20,UY,0,,0



Kexpnd=1: Marca el punto clave para expandir la restricción

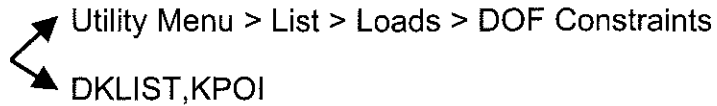
DK,15,UY,0,,1

DK,20,UY,0,,1



Para impedir los desplazamientos UY en todos los nodos entre K15 y K20, deben marcarse ambos puntos clave con Kexpnd=1 y los valores de las restricciones deben coincidir.

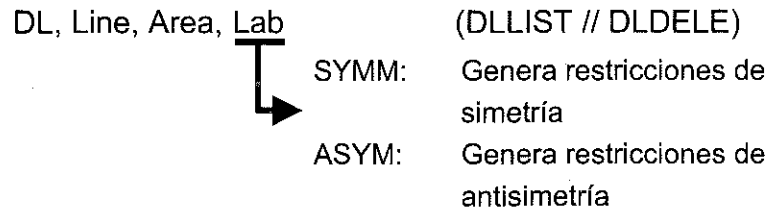
- Para listar las restricciones aplicadas en puntos clave:



- Para borrar las restricciones aplicadas en puntos clave:

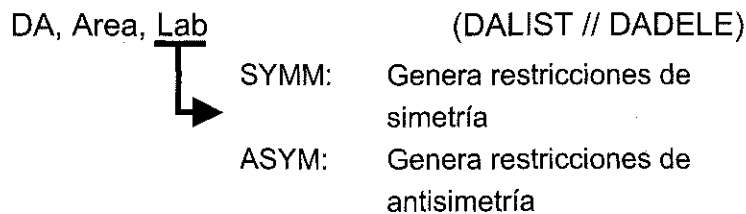


### Restricciones en g.d.I. sobre líneas



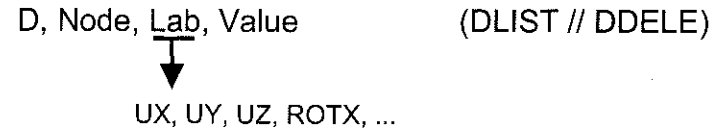
Main Menu > Solution > -Loads-Apply > Displacement > On Lines

### Restricciones en g.d.I. sobre áreas

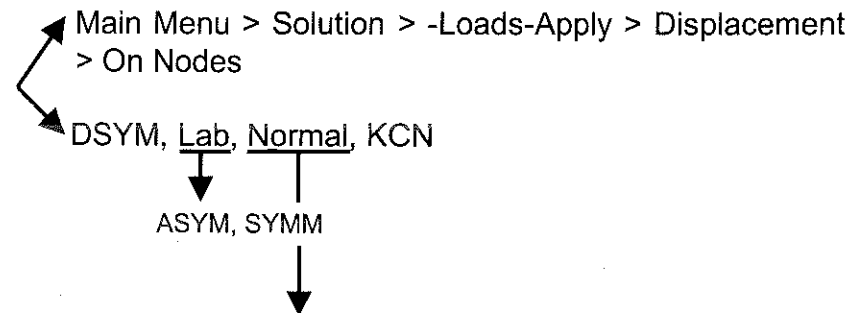


Main Menu > Solution > -Loads-Apply > Displacement > On Areas

### Restricciones de g.d.I. sobre nodos

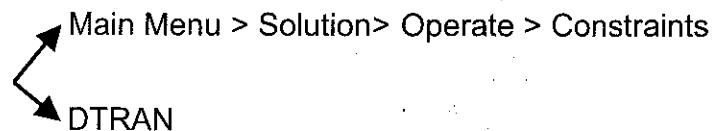


- Para especificar restricciones de simetría o antisimetría en nodos:



Normal = X, Y ó Z: la superficie respecto a la que se definen las condiciones de simetría o antisimetría es normal a la coodenada X, Y ó Z asociada al sistema de coordenadas KCN

- Para transferir las restricciones en g.d.I. especificadas sobre el modelo sólido al modelo de E.F. Subyacente:

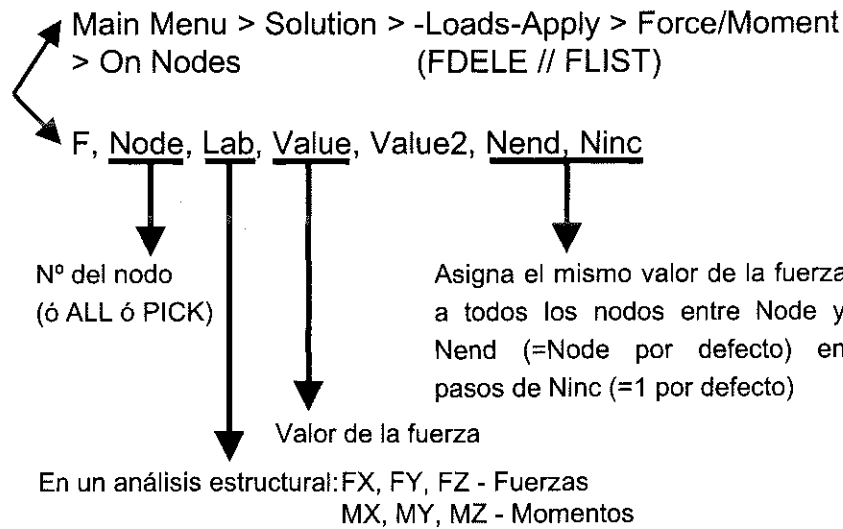


### 10.4. FUERZAS PUNTALES, DE SUPERFICIE, DE VOLUMEN Y DE INERCIA

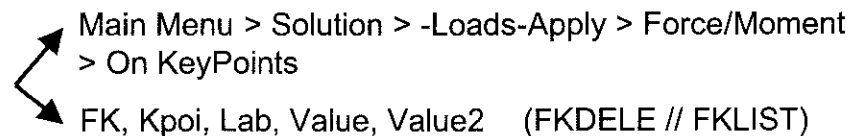
#### Fuerzas Puntuales

- Se pueden especificar fuerzas concentradas sobre los puntos clave o sobre los nodos:

#### Cargas concentradas en nodos



#### Cargas concentradas en puntos clave

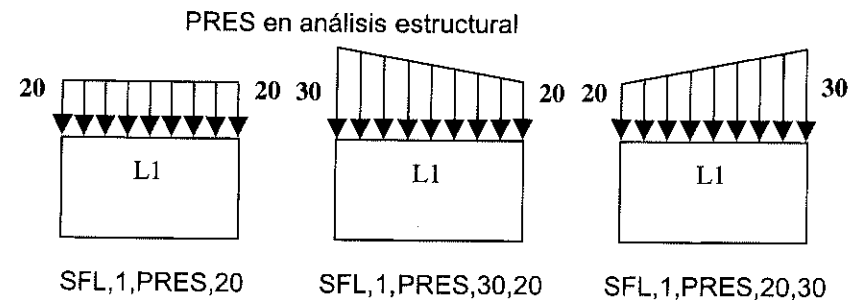
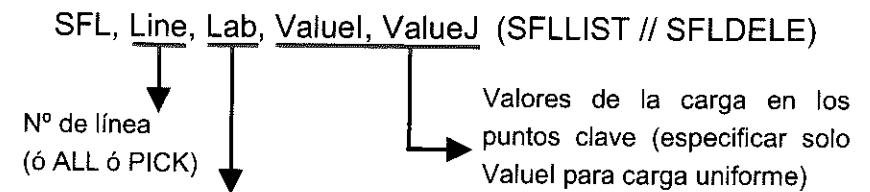


#### Fuerzas Superficiales

- Se especifican sobre superficies externas del modelo (e.g., presiones en un análisis estructural).
- Se pueden especificar sobre líneas, áreas, superficies compuestas por nodos o caras de elementos:

Main Menu > Solution > -Loads-Apply > Pressure >  
On Lines  
On Areas  
On Nodes  
On Elements...

#### Fuerzas distribuidas sobre líneas



Al especificar nuevos valores de la fuerza sobre la misma línea, éstos sustituyen a los valores previos.

### Cargas distribuidas sobre áreas

SFA, Area, Lkey, Lab, Value, Value2  
(SFALIST // SFADELE)

→ PRES para análisis estructural

clave de carga: depende del tipo de elementos (consultar la Librería de Elementos)

### Cargas distribuidas sobre caras de elementos

SFE, Elem, Lkey, Lab, Kval, Val1 (SFELIST // SFEDELE)

→ sólo se emplea si Lab=CONV

Para elementos viga:

SFBEAM, Elem, Lkey, Lab, VALI, VALJ, (VAL2I, VAL2J),  
IOFFST, JOFFST

↓  
permite aplicar cargas que no afecten al elemento en toda su longitud (offset)

(ver también los comandos **SFGRAD** y **SFCUM**)

### Cargas distribuidas sobre superficies compuestas por nodos

SF, Nlist, Lab, Val1 (SFLIST // SFDELE)

→ nodos que definen la superficie de aplicación de la carga (NSEL)

(SF sólo es aplicable a elementos de área o volumen)

### Fuerzas de Volumen

- Se pueden especificar sobre puntos clave, nodos o elementos

Main Menu > Solution > -Loads-Apply > Temperatures >  
On Elements  
On KP  
On Nodes

### Fuerzas de volumen en elementos

BFE, Elem, Lab, Stloc, Val1, Val2, ... (BFELIST // BFEDELE)

↓ ↓ Posición a la que se refieren Val1, ..., Val4  
(ver Librería de Elementos)

TEMP en análisis estructurales

### Fuerzas de volumen en puntos clave

BFK, Kpoi, Lab, Val1 (BFKLIST // BFKDELE)

### Fuerzas de volumen en nodos

BF, Node, Lab, Val1 (BFLIST // BFDELE)

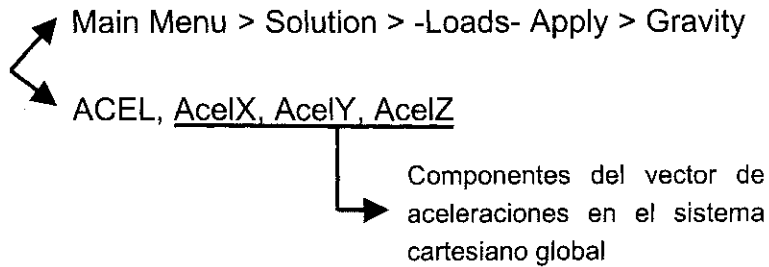
- Para asignar un valor uniforme de fuerza de volumen a todos los nodos **BFUNIF**
- Para transferir las cargas de volumen especificadas sobre el modelo sólido al modelo de E.F. subyacente:

↙ BFTRAN

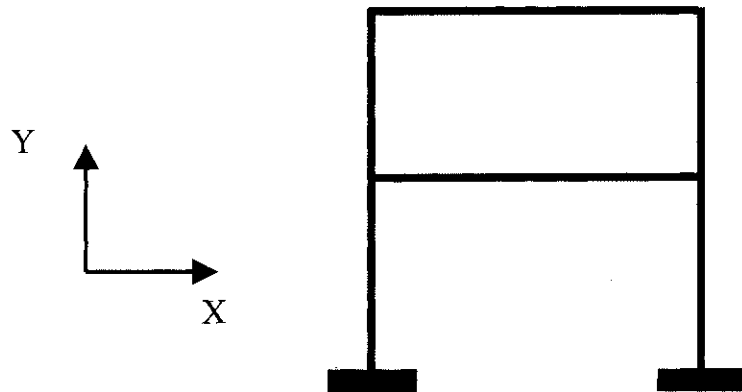
↘ Main Menu > Solution > Operate > Body loads

### Fuerzas de Inercia

- Para especificar una aceleración sobre la estructura:



- Para simular el peso propio -empleando efectos de inercia- deberá aplicarse a la estructura una aceleración en dirección opuesta a la gravedad:



Unidades en Sistema Internacional:

**ACEL,0,+9.8**

### 10.5. OBTENCIÓN DE LA SOLUCIÓN

- Antes de dar la orden de solución, resulta conveniente salvar la base de datos para prevenir un posible fallo durante dicho proceso de resolución:

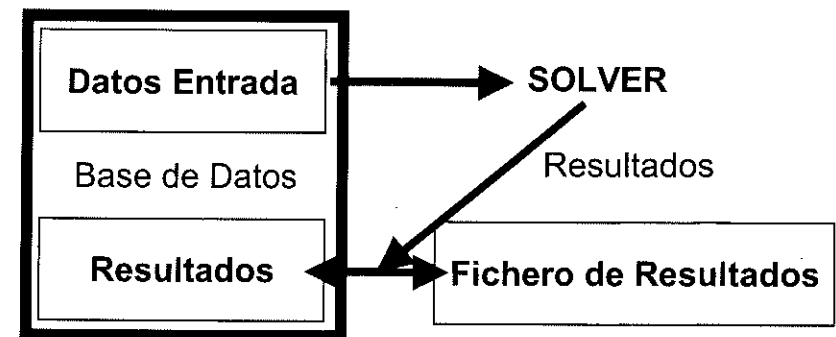
SAVE ó Utility Menu > File > Save as

- La orden para iniciar el proceso de solución es:

SOLVE ó Main Menu > Solution > Current LS

- ANSYS utiliza la información de la B.D. para generar la solución. Los resultados se archivan en la B.D. y también se escriben en un fichero de resultados binario, cuyo nombre depende del tipo de análisis:

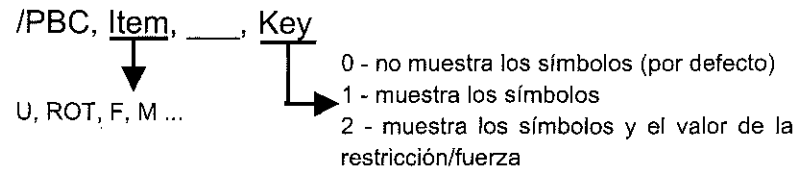
- File.RST Análisis estructural
- File.RTH Análisis térmico
- etc.



## NOTA SOBRE GRÁFICOS

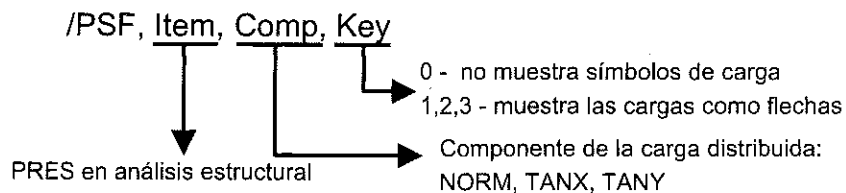
- Para mostrar gráficamente las condiciones de contorno aplicadas:

### **Símbolos de restricciones en g.d.l. y fuerzas (/momentos) concentradas**

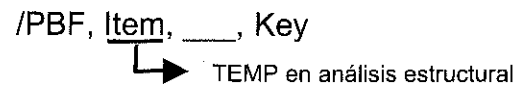


/PBC es un comando de especificación gráfica, i.e., activa que en las siguientes representaciones gráficas se muestren las condiciones de contorno especificadas. No tiene efecto hasta que no se dé un comando de acción gráfica (e.g., NPLOT).

### **Símbolos de fuerzas superficiales**



### **Símbolos de fuerzas de volumen**



Utility Menu > PlotCtrls > Symbols

## 11. POSTPROCESO: INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

- Se trata de interpretar los resultados proporcionados por ANSYS. Así, habrá que comprobar si las tensiones están dentro de los límites permitidos o si las flechas son admisibles:

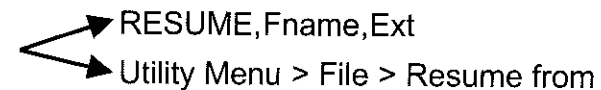
/POST1 ó Main Menu > General Postproc

- Para revisar los resultados en el postprocesador (POST1), la B.D. debe contener tanto los datos del modelo como los resultados:

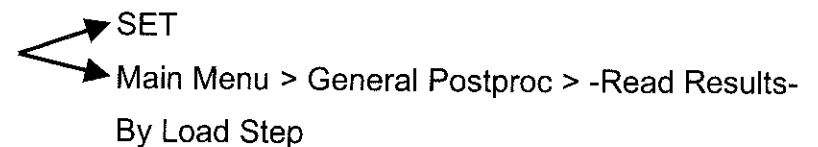
- Contendrá ambos si no se ha salido de ANSYS después de resolver

- Si se ha salido del programa tras resolver, al entrar de nuevo en ANSYS, habrá que entrar en el POST1, y:

- recuperar los datos del modelo desde el fichero de B.D.



- leer los datos de resultados desde el fichero de resultados



## **11.1. RESULTADOS PRIMARIOS Y RESULTADOS DERIVADOS**

Hay dos tipos de resultados:

- **PRIMARIOS**

Son la solución de los g.d.l. asociados a cada nodo (**resultados nodales**): desplazamientos en un análisis estructural; temperaturas en un análisis térmico, etc.

- **DERIVADOS**

Se obtienen a partir de los resultados primarios: e.g., en un análisis estructural las deformaciones y las tensiones se obtienen a partir de las derivadas de los desplazamientos; en un análisis térmico los gradientes térmicos y flujos de calor se obtienen por derivación de las temperaturas, etc.

En general se calculan asociados a los elementos (**resultados de elementos**) y pueden estar referidos a los nodos del elemento, a los puntos de integración del elemento, o al centroide del elemento.

## **11.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

- **REPRESENTACIONES GRÁFICAS**

- **REPRESENTACIÓN DE LA DEFORMADA**
- **REPRESENTACIÓN DE (ISO-)CONTORNOS**
- **REPRESENTACIÓN DE TABLAS DE RESULTADOS**
- **REPRESENTACIÓN DE RESULTADOS ASOCIADOS A SENDEROS**

**NOTA.-** Antes de obtener representaciones gráficas de resultados conviene desactivar todos los símbolos de condiciones de contorno:

/PBC,DEFAULT (por defecto no los representa)

/PSF,DEFAULT

/PBF,DEFAULT

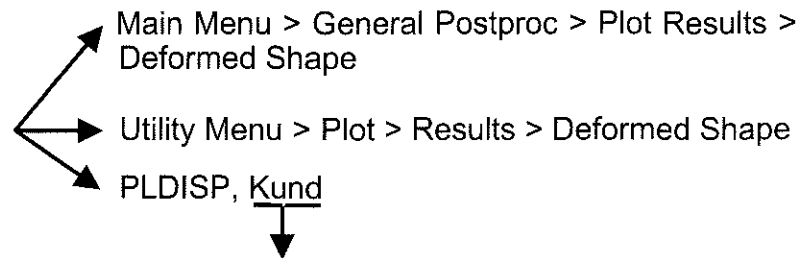
Utility Menu > PlotCtrls > Symbols

- **OBTENCIÓN DE TABLAS DE RESULTADOS**
- **OBTENCIÓN DE RESULTADOS ASOCIADOS A SENDEROS**

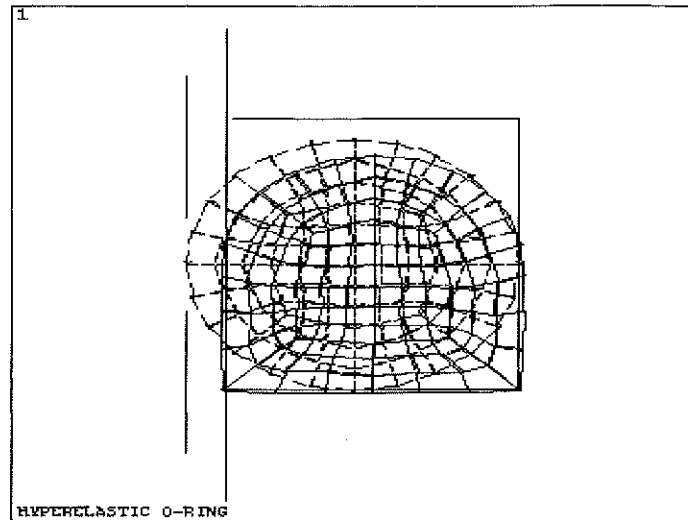
## REPRESENTACIONES GRÁFICAS

### REPRESENTACIÓN DE LA DEFORMADA

Se emplea fundamentalmente en análisis estructurales:



- 0 - dibuja sólo la deformada (por defecto)
- 1 - dibuja formas: deformada y sin deformar
- 2 - forma deformada y sólo los bordes de la indeformada

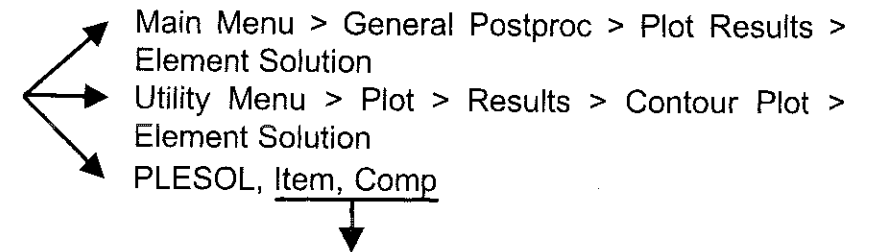


## REPRESENTACIÓN DE (ISO-)CONTORNOS

Se denominan contornos a líneas y zonas de igual valor (e.g., mapas de isotensiones, etc.):

### Contornos asociados a resultados de elementos

Representa resultados en cada elemento (puede presentar saltos entre elementos, que darán idea del gradiente a través del elemento):



Item	Comp	Descripción
S	X,Y,Z,XY,YZ,XZ	Tensor de tensiones
	1,2,3	Tensiones principales
	EQV	Tensión equivalente
EPTO	X,Y,Z,XY,YZ,XZ	Idem. deformaciones totales
	1,2,3	(EPTO=EPEL+EPPL+EPCR)
	EQV	(Total = Elástica + Plástica + Creep)

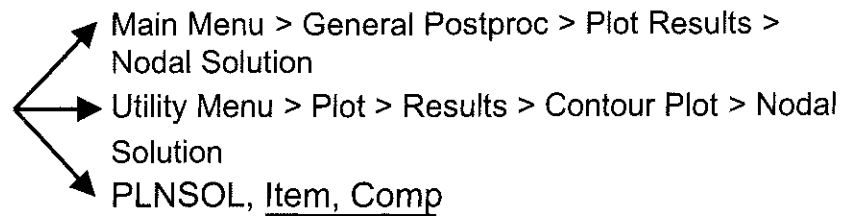
etc.

PLESOL determina los contornos mediante interpolación lineal en cada elemento, sin tener en cuenta los elementos colindantes. Los resultados se muestran en el SCRR activo (RSYS).



### Contornos asociados a resultados en nodos

Representa resultados en nodos (no presenta saltos entre elementos):



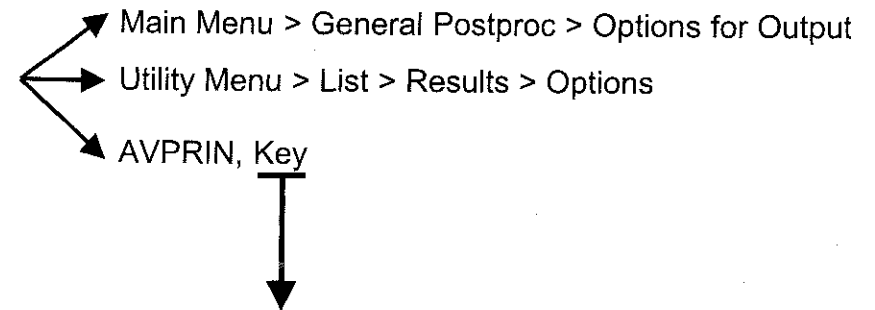
Item	Comp	Descripción
• Para g.d.l. nodales (resultados primarios):		
U	X,Y,Z,SUM	Desplazamientos X, Y, Z o suma vectorial
ROT etc.	X,Y,Z,SUM	Rotaciones X, Y, Z o suma vectorial
• Para resultados derivados:		
S	X,Y,Z,XY,YZ,XZ 1,2,3 EQV	Tensor de tensiones Tensiones principales Tensión equivalente

etc.

- En el caso de resultados primarios (en nodos) los contornos se determinan por interpolación lineal entre los valores en los nodos del elemento.
- Algunos resultados derivados (asociados a elementos) dependen de la localización seleccionada para dar el resultado y del método de "recálculo" (los valores derivados en un nodo son promediados cuando 2 o más elementos se conectan a un mismo nodo).

(Ver comandos AVPRIN, RSYS, LAYER, SHELL y NSEL).

ANSYS permite seleccionar el método para combinar las componentes en el cálculo de ciertos valores nodales derivados cuando varios elementos coinciden en un nodo común (e.g., cálculo de tensiones/deformaciones principales; sumas vectoriales; etc):



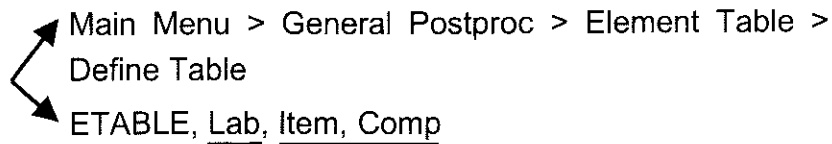
Key=0: Promedia los valores de las componentes de los elementos en el nodo común y después calcula el valor principal o la suma vectorial (a partir de las componentes promediadas) - opción por defecto.

Key=1: Calcula el valor principal o suma vectorial para cada elemento por separado y después los promedia en el nodo común.

**TABLAS DE RESULTADOS:**

**EL COMANDO ETABLE**

ETABLE define una tabla de valores asociados a cada elemento activo (seleccionado). Sólo se almacena un valor por elemento, de manera que ANSYS promedia sobre cada elemento si ello fuese necesario



Etiqueta definida por el usuario (< 8 caracteres)

Item	Comp	Descripción
• Para resultados nodales		
U	X,Y,Z,SUM	Desplazamientos X, Y, Z o suma vectorial
ROT	X,Y,Z,SUM	Rotaciones X, Y, Z o suma vectorial
etc.		
• Para resultados derivados:		
S	X,Y,Z,XY,YZ,XZ 1,2,3 EQV	Tensor de tensiones Tensiones principales Tensión equivalente
etc.		

**ETABLE, Lab, Item, Comp**

- Algunos Item son específicos para cada tipo de elemento
- Adicionalmente, para acceder a algunos resultados es necesario un "número de secuencia" que se indica en la información que ANSYS da sobre cada tipo de elemento (esto sucede para todos los elementos lineales y para algunos resultados de otros elementos).

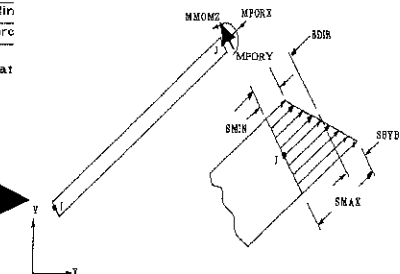
e.g., para un elemento **BEAM3** (viga 2-D)

Table 4.3-2 BEAM3 Element Output Definitions

Name	Definition	O	R
EL	Element number	•	•
NODES	Element nodes - I, J	•	•
MAT	Element material number	•	•
VOLU:	Element volume	•	•
CENT, X,Y	Center location of the element XG, YG	•	•
TEMP	Temperatures T1, T2, T3, T4	•	•
PRES	Pressure P1 at nodes I,J; OFFST1 at I,J; P2 at I,J; OFFST2 at I, J; P3 at I; P4 at J	•	•
S DIR	Axial direct stress	1	1
S BYT	Bending stress on the element +Y side of the beam	1	1
S BYB	Bending stress on the element -Y side of the beam	1	1
S MAX	Maximum stress (direct stress + bending stress)	1	1
S MIN	Minimum stress (direct stress - bending stress)	1	1
EP ELDIR	Axial elastic strain at the end	1	1
EP ELBYT	Bending elastic strain on the element +Y side of the beam	1	1
EP ELBYB	Bending elastic strain on the element -Y side of the beam	1	1
EP THDIR	Axial thermal strain at the end	1	1
EP THBYT	Bending thermal strain on the element +Y side of the beam	1	1
EP THBYB	Bending thermal strain on the element -Y side of the beam	1	1
EP IN AXL	Initial axial strain in the element	•	•
MFOR(X, Y)	Member forces in the element coordin	•	•
MMOMZ	Member moment in the element coord	•	•

1. The item repeats for end I, intermediate locat  
2. If KEYOPT(6)=1.

1.- Definición (identificación) de la información de salida que proporciona el elemento



e.g., para un elemento **BEAM3** (viga 2-D)

2.- Identificación de los campos *Item* y *Comp* de la orden ETABLE para el elemento

KEYOPT(9)=0					
Name	Item	E	I	J	
SDIR	LS		1	4	
SBYT	LS		2	5	
SBYB	LS		3	6	
EPDIR	LEPEL		1	4	
EPBYT	LEPEL		2	5	
EPBYB	LEPEL		3	6	
EPDIR	LEPEL		1	4	
EPBYT	LEPEL		2	5	
EPBYB	LEPEL		3	6	
EPDIR	LEPTH		1	4	
EPBYT	LEPTH		2	5	
EPBYB	LEPTH		3	6	
EPINAXL	LEPTH	7			
SMAX	NMISC		1	3	
SMIN	NMISC		2	4	
MFORX	SMISC		1	7	
MFORY	SMISC		2	8	
MMOMZ	SMISC		6	12	
P1	SMISC		13	14	
OFFST1	SMISC		15	16	
P2	SMISC		17	18	
OFFST2	SMISC		19	20	
P3	SMISC		21		
P4	SMISC		22		

KEYOPT(9)=9													
Name	Item	E	I	IL1	IL2	IL3	IL4	IL5	IL6	IL7	IL8	J	
SDIR	LS		1	4	7	10	13	16	19	22	25	28	31
SBYT	LS		2	5	8	11	14	17	20	23	26	29	32
SBYB	LS		3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
EPDIR	LEPEL		1	4	7	10	13	16	19	22	25	28	31
EPBYT	LEPEL		2	5	8	11	14	17	20	23	26	29	32
EPBYB	LEPEL		3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
EPDIR	LEPTH		1	4	7	10	13	16	19	22	25	28	31
EPBYT	LEPTH		2	5	8	11	14	17	20	23	26	29	32
EPBYB	LEPTH		3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
EPINAXL	LEPTH	34											
SMAX	NMISC		1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
SMIN	NMISC		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
MFORX	SMISC		1	7	13	19	25	31	37	43	49	55	61
MFORY	SMISC		2	8	14	20	26	32	38	44	50	56	62
MMOMZ	SMISC		6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66
P1	SMISC		67										68
OFFST1	SMISC		68										70
P2	SMISC		71										72
OFFST2	SMISC		73										74
P3	SMISC		76										
P4	SMISC												76

		Pseudo Node			
		1	2	3	4
TEMP	LBFE	1	2	3	4

		Pseudo Node			
		1	2	3	4
TEMP	LBFE	1	2	3	4

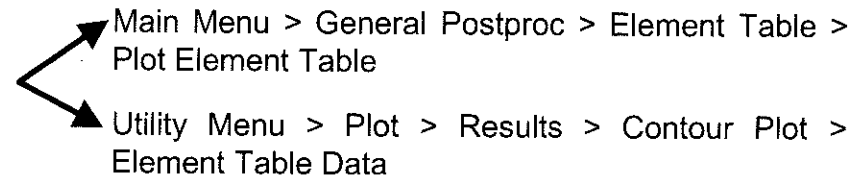
**Ejemplo.-**

**ETABLE,TMAX\_J,NMISC,3** define una tabla con los valores de la tensión normal máxima (SMAX: axil de tracción+flexión) en el extremo J de cada barra si KEYOPT(9)=0

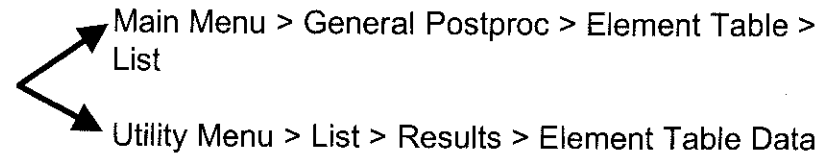
**ETABLE,FLEC\_J,SMISC,66** define una tabla con los valores del flector (MMOMZ) en el extremo J de cada barra si KEYOPT(9)=9

Para ver los datos almacenados en las tablas:

- PLETAB, Lab, Avg representa un contorno de *Lab* (etiqueta definida por el usuario en la orden ETABLE) con la opción de promediar valores en nodos comunes (Avg=AVG) o no (Avg=NOAVG - valor por defecto):



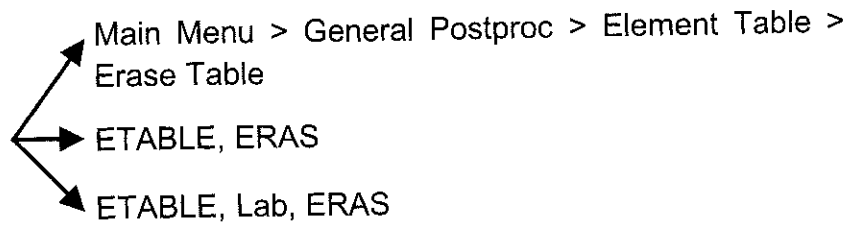
- PRETAB, Lab1, ..., Lab9 lista los valores de *Lab* seleccionados (Lab1...) previamente definidos mediante la orden ETABLE:



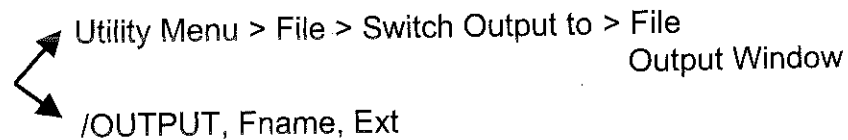
- PLLS, LabI, LabJ representa mediante un área a lo largo de elementos lineales (y elementos lámina axisimétricos) el *Lab* seleccionado (LabI para el extremo I y LabJ para el extremo J): útil, e.g., para la representación de diagramas de esfuerzos:

Main Menu > General Postproc > Plot Results > Line Elements

- Para borrar los datos almacenados en las tablas:



- Para escribir en un fichero los datos almacenados en las tablas:



vuelca en el fichero Fname.Ext la salida del programa (e.g., escribir una tabla). Para devolver el control a la pantalla: /OUTPUT.

- Una opción útil para representaciones de contornos es activar sólo los bordes exteriores del modelo (i.e., eliminar todos los bordes interiores):



## OTRAS TABLAS DE RESULTADOS

- Para listar REACCIONES

**PRRSOL, Lab**

**Lab:** Etiqueta de la reacción (FX,FY,FZ,MX,MY,MZ)

- Para listar RESULTADOS EN NODOS

**PRNSOL, Item, Comp**

**Item y Comp:** análogos a comando PLNSOL

- Para listar RESULTADOS EN ELEMENTOS

**PRESOL, Item, Comp**

**Item y Comp:** análogos a comando PLESOL

Main Menu > General Postproc > List Results >

Reaction Solution

Nodal Solution

Element Solution

Utility Menu > List > Results > Reaction Solution

Nodal Solution

Element Solution

### COMANDOS ASOCIADOS A SENDEROS

- Definición de un Sendero

**PATH, NAME, nPts, nSets, nDiv**



Define el nombre del sendero y establece los parámetros asociados

**PPATH, POINT, NODE, X, Y, Z, CS**



Define la geometría del sendero

- Representación gráfica de variables a lo largo de Senderos

**PLPATH, Lab1, ..., Lab6**

**Lab#:** Etiquetas previamente definidas con los comandos:  
PDEF, PCALC, PVECT, PDOT Y PCROSS

- Listado de resultados a lo largo de Senderos

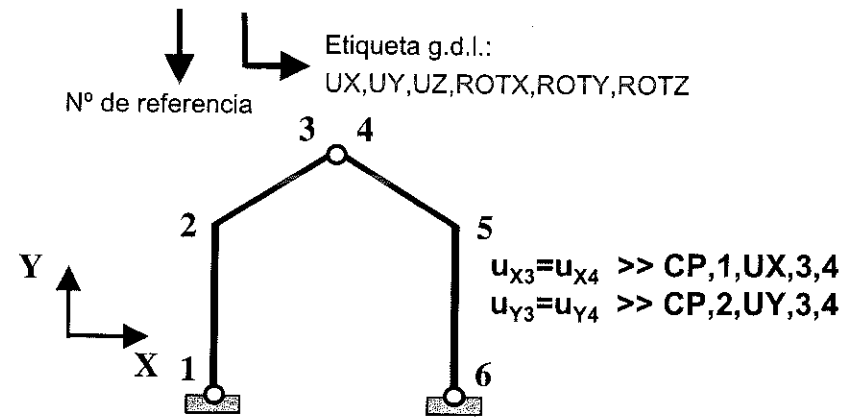
**PRPATH, Lab1, ..., Lab6**

Main Menu > General Postproc > Path Operations  
 >Define Path  
 Plot Path Items  
 List Path Items

### 12. ACOPLAMIENTOS ENTRE G.D.I.

- En una estructura puede haber nodos pertenecientes a distintos elementos que tengan algunos, pero no todos, los g.d.l. acoplados.
- Se definen nodos distintos con las mismas coordenadas y se hacen iguales ciertos g.d.l..

Main Menu > Preprocessor > Coupling/Ceqn > Couple  
 DOF's  
 CP, Nset, Lab, Node1, ..., Node17



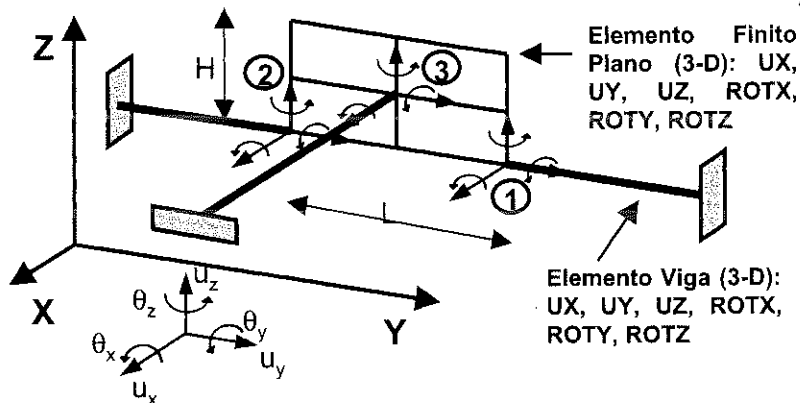
- Un determinado g.d.l. sólo podrá aparecer en un conjunto CP.
- El único g.d.l. que permanece es Lab (Node1) y se elimina el resto.
- También pueden acoplarse g.d.l. de nodos con distintas posiciones. Por ejemplo cuando un elemento placa se supone infinitamente rígido en su plano.

### 13. ECUACIONES DE RESTRICCIÓN

- Es una forma más general que CP de acoplar g.d.l..
- Pueden relacionarse g.d.l. mediante ecuaciones algebraicas:

$$0 = -C_0 + C_1 u_1 + C_2 u_2 + C_3 u_3$$

Main Menu > Preprocessor > Coupling/Ceqn > Constraint Equ  
 CE, Nequ, C<sub>0</sub>, Node1, Lab1, C<sub>1</sub>, ..., Node3, Lab3, C<sub>3</sub>



- Para especificar una rigidez infinita en el comportamiento como membrana:

$u^1_y = u^3_y + H/2 \cdot \theta^3_x$	CE,1,0,1,UY,1,3,UY,-1,3,ROTX,- H/2
$u^1_z = u^3_z + L/2 \cdot \theta^3_x$	CE,2,0,1,UZ,1,3,UZ,-1,3,ROTX,- L/2
$u^2_y = u^3_y + H/2 \cdot \theta^3_x$	CE,3,0,2,UY,1,3,UY,-1,3,ROTX,- H/2
$u^2_z = u^3_z - L/2 \cdot \theta^3_x$	CE,4,0,2,UZ,1,3,UZ,-1,3,ROTX, L/2
$\theta^1_x = \theta^3_x$	CP,1,ROTX,1,3
$\theta^2_x = \theta^3_x$	CP,2,ROTX,2,3

- Se elimina Lab1(Node1) permaneciendo los demás g.d.l..

### 14. HIPÓTESIS DE CARGA

- Para aplicar varios estados de carga desde /SOLU :

1. Aplicar el conjunto de cargas deseado.

2. Archivar las cargas en un fichero:

Main Menu > Solution > Write LS File  
 LSWRITE, LSNUM

Nº de fichero de estado de carga (Jobname.S01; Jobname.S02 ...)

3. Repetir los pasos 1. y 2. para todos los estados de carga.

4. Iniciar la solución para todos los estados de carga:

Main Menu > Solution > From LS Files  
 LSSOLVE, LSMIN, LSMAX, LSINC

- Para postprocesar las soluciones de cada estado de carga almacenado en el fichero de resultados:

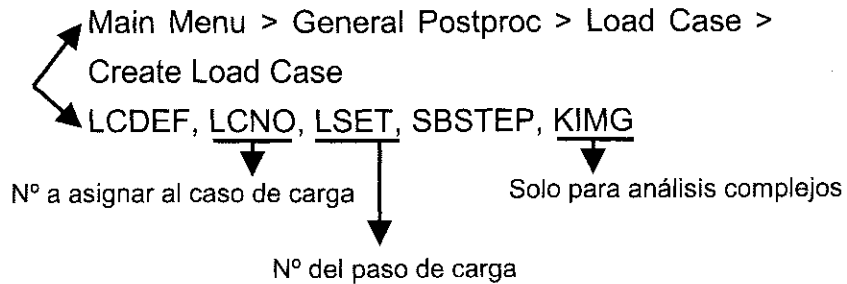
Main Menu > General Postproc > By Load Step  
 SET, Lstep, SBSTEP, FACT

Nº de estado de carga

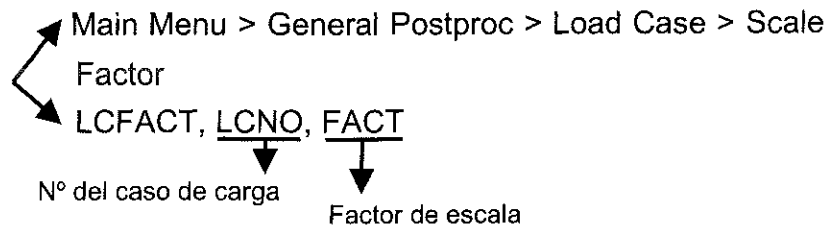
Factor de escala aplicado a los resultados

• Para combinar estados de carga (hipótesis simples):

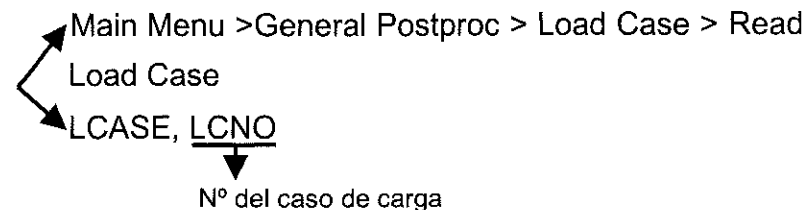
1. Generar *casos de carga* a partir de un conjunto de resultados almacenados en el fichero de resultados:



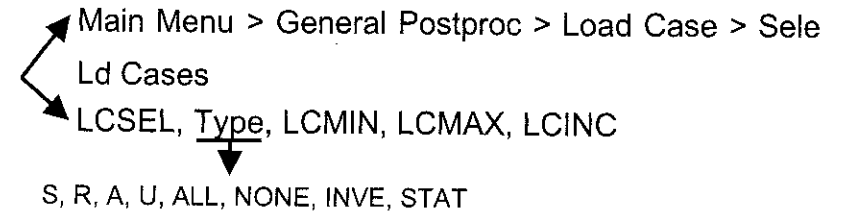
2. Asignar *factores de escala* a las hipótesis simples:



3. Leer casos de carga almacenados anteriormente en la B.D. :

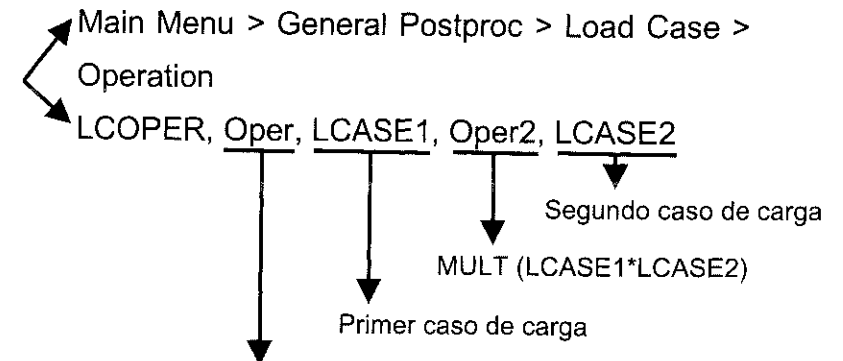


4. Seleccionar casos de carga:



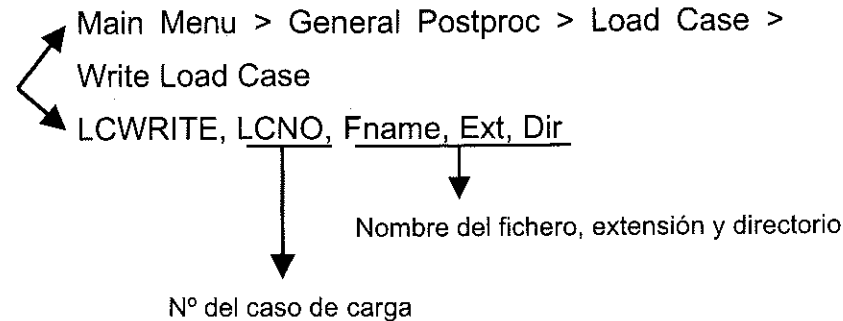
Por defecto selecciona todos los casos de carga

5. Combinar con los otros casos de carga:



ZERO	Anula los resultados activos
SQUA	Cuadrado de los resultados activos
SQRT	Raíz cuadrada de los resultados activos
ADD	Añade LCASE1 a los resultados activos
SUB	Resta LCASE1 de los resultados activos
SRSS	Raíz cuadrada de la suma de cuadrados de LCASE1 y los resultados activos
MIN	Compara y guarda activo el mínimo de LCASE1 y los resultados activos
MAX	Compara y guarda activo el máximo de LCASE1 y los resultados activos

6. Escribir la combinación de estados obtenida en un fichero de caso de carga:



### 15. INTRODUCCIÓN AL CÁLCULO DINÁMICO

ANSYS incorpora varios tipos de **análisis dinámico**:

- Análisis Modal
- Análisis Armónico
- Análisis Transitorio
- Análisis Espectral

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}} + \mathbf{K}\mathbf{u} = \mathbf{F}(t)$$

En este curso nos centraremos en el **ANÁLISIS MODAL** y veremos brevemente los pasos necesarios para hacer un **ANÁLISIS ESPECTRAL**.

#### 15.1. ANÁLISIS MODAL

Cálculo de **frecuencias naturales** y **modos de vibración** de una estructura, i.e., se estudia el sistema vibrando libremente sin amortiguar:

$$\mathbf{M}\mathbf{u} + \mathbf{K}\mathbf{u} = \mathbf{0}$$

En problemas lineales las vibraciones libres son armónicas:

$$\mathbf{u} = \Phi e^{i\omega t} \Rightarrow (-\omega^2 \mathbf{M} + \mathbf{K})\Phi = \mathbf{0}$$

Las soluciones no triviales se obtienen de:

$$\det(-\omega^2 \mathbf{M} + \mathbf{K}) = 0$$

La solución a este problema proporciona N autovalores (frecuencias naturales:  $\omega_j^2$ ) y N autovectores (modos de vibración:  $\Phi_j$ ), siendo N el número de g.d.l. del sistema.



**NOTAS.**-El análisis modal es un análisis lineal: las matrices **K** y **M** son constantes.

ANSYS proporciona realmente los valores  $f_j$  de las frecuencias naturales:  $f_j = \omega_j / 2\pi$ .

### MATRIZ DE MASA



- La matriz de masa de la estructura se obtiene a partir de las matrices de masa de los elementos.
- ANSYS permite emplear tres versiones de la matriz de masa elemental:
  - congruente
  - diagonal
  - reducida.

### MATRIZ DE MASA CONGRUENTE

Se obtiene empleando las mismas funciones de forma utilizadas para calcular la matriz de rigidez.

e.g., para un elemento viga 2-D (BEAM3)

$$M = \begin{bmatrix} \times & 0 & 0 & \times & 0 & 0 \\ 0 & \times & \times & 0 & \times & \times \\ 0 & \times & \times & 0 & \times & \times \\ \times & 0 & 0 & \times & 0 & 0 \\ 0 & \times & \times & 0 & \times & \times \\ 0 & \times & \times & 0 & \times & \times \end{bmatrix} \begin{matrix} u_i \\ v_i \\ \theta_i \\ u_j \\ v_j \\ \theta_j \end{matrix}$$

LUMPM, OFF  
(por defecto)

### MATRIZ DE MASA DIAGONAL

La masa de cada elemento se concentra en sus nodos, obteniéndose una matriz diagonal.

e.g., para un elemento viga 2-D (BEAM3)

$$M = \begin{bmatrix} \times & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \times & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \times & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \times & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \times & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \times \end{bmatrix} \begin{matrix} u_i \\ v_i \\ \theta_i \\ u_j \\ v_j \\ \theta_j \end{matrix}$$

LUMPM, ON

## MATRIZ DE MASA REDUCIDA

Algunos elementos (e.g., BEAM44) incluyen la opción (*Keyopt*) de emplear una matriz de masa 'reducida', que se obtiene eliminando los términos de la matriz de masa congruente asociados a g.d.l. Rotacionales.

## PASOS DE UN ANÁLISIS MODAL

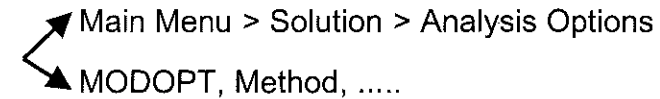
### 1. CONSTRUIR EL MODELO

NOTA.- El análisis modal es lineal

### 2. APLICAR LAS CONDICIONES DE CONTORNO Y OBTENER LA SOLUCIÓN

- A Definir el tipo de análisis: ANTYPE, MODAL.
- B Definir el método de obtención de modos y frecuencias: MODOPT.
- C Imponer las condiciones de apoyo de la estructura (desplazamientos y/o giros nulos).  
( Definir los grados de libertad maestros )

## MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE MODOS Y FRECUENCIAS NATURALES



ANSYS ofrece varios métodos para la obtención de modos en un sistema de N g.d.l.:

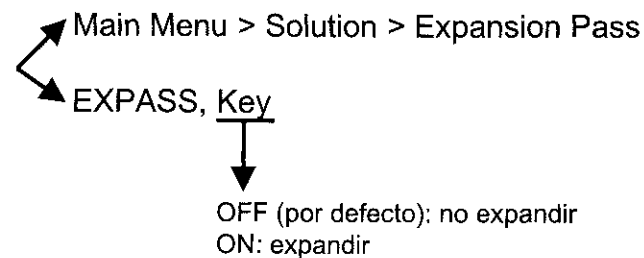
- SUBSPACE / BLOCK LANCZOS  
 permiten obtener un determinado número M (reducido:  $M \ll N$ ) de modos y frecuencias. No resulta necesario definir g.d.l. maestros. Block Lanczos resuelve de forma más rápida empleando la opción SPARSE de la orden EQLV.
- POWERDYNAMICS  
 permite obtener de manera rápida los modos asociados a las frecuencias más bajas. Emplea matrices de masa diagonales. Adecuado para modelos con muchos g.d.l. ( $N > 100.000$ ). Se puede emplear en primera aproximación para estimar el comportamiento dinámico de la estructura y, posteriormente, obtener la solución final mediante las opciones SUBSPACE o BLOCK LANCZOS.
- REDUCED (HOUSEHOLDER)  
 emplea matrices reducidas, asociadas a una serie de g.d.l. Maestros que el usuario (o el propio ANSYS) debe seleccionar previamente. El proceso de solución es más rápido que con las opciones SUBSPACE o BLOCK LANCZOS pero menos exacto, ya que las matrices reducidas sólo permiten obtener una solución aproximada.
- UNSYMMETRIC  
 se emplea cuando las matrices del sistema no son simétricas (e.g., problemas de interacción fluido-estructura).
- DAMPED  
 se emplea cuando el amortiguamiento del sistema es importante.

### 3. 'EXPANDIR' LOS MODOS

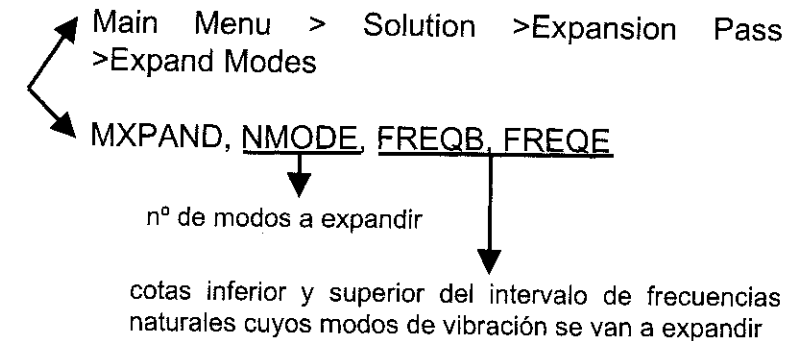
- Consiste en escribir los modos en el fichero de resultados.
- Este paso es necesario en el caso del método reducido (también para los métodos 'UNSYMMETRIC' y 'DAMPED') para pasar de la solución expresada en términos de los g.d.l. maestros a la solución referida al conjunto total de g.d.l. del sistema.
- Para el resto de métodos sólo es necesario expandir aquellos modos que se quieran postprocesar.

#### LOS PASOS NECESARIOS PARA EXPANDIR LOS MODOS SON:

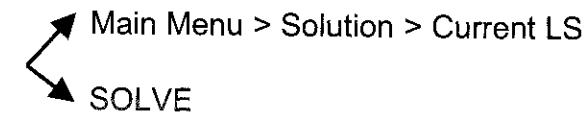
- A Re-entrar en el módulo de solución de ANSYS (se debe salir de dicho módulo y volver a entrar en él antes de efectuar la expansión).
- B Activar la expansión de modos:



- C Especificar las opciones de expansión:

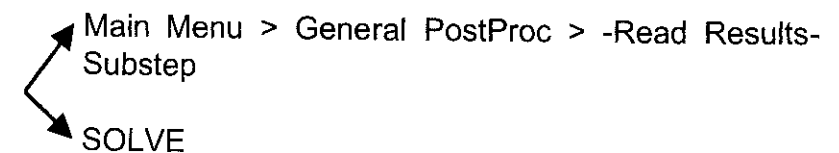


- D Expandir:

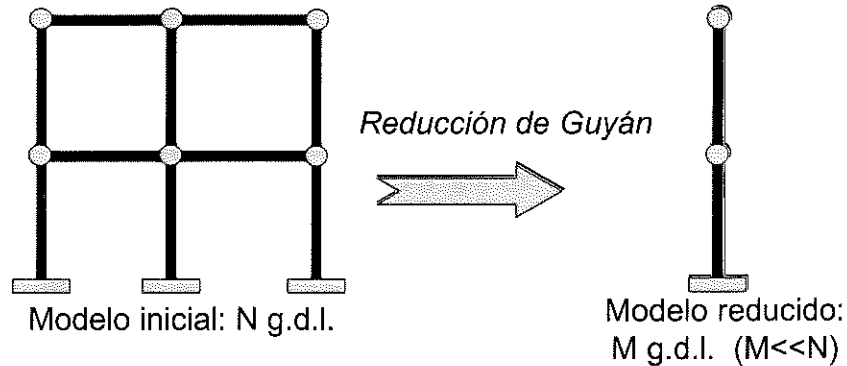


### 4. REVISAR LOS RESULTADOS

Cada modo (previamente expandido) se almacena en el fichero de resultados como la solución a un paso de carga diferente:



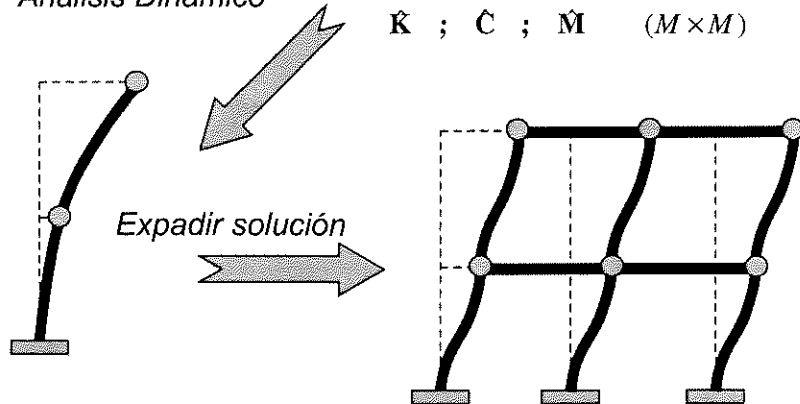
**SISTEMAS (MATRICES) REDUCIDOS:  
GRADOS DE LIBERTAD MAESTROS**



- características de rigidez equivalentes y características de masa y amortiguamiento cuasi-equivalentes
- se eliminan  $S (=N-M)$  g.d.l. esclavos, obteniéndose unas matrices reducidas

$\bar{K}$  ;  $\bar{C}$  ;  $\bar{M}$  ( $M \times M$ )

Análisis Dinámico

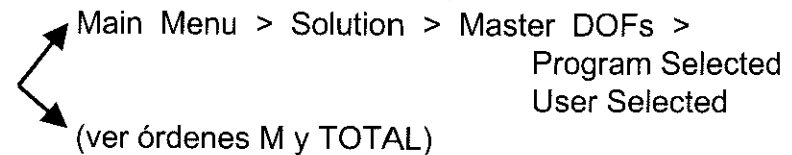


se recuperan los movimientos de los g.d.l. esclavos a partir de la solución obtenida para los g.d.l. maestros y se postprocesa el modelo completo (N g.d.l.).

- El proceso de reducción se basa en que, para frecuencias bajas, las fuerzas de inercia asociadas a los g.d.l. esclavos son despreciables frente a las fuerzas elásticas asociadas a los g.d.l. maestros.
- La masa total de la estructura se redistribuye entre los g.d.l. maestros en función de las rigideces relativas entre g.d.l. maestros y esclavos (los detalles pueden consultarse en el 'Theory Manual' de ANSYS).

**¿CÓMO SE SELECCIONAN LOS G.D.L. MAESTROS?**

- Deben seleccionarse como maestros aquellos g.d.l. asociados con las frecuencias naturales más bajas de la estructura ( $f = 1/2\pi \{K/M\}^{1/2}$ ), i.e., aquellos que presenten una menor relación rigidez/masa.
- El nº de g.d.l. maestros debe, al menos, duplicar el nº de modos de interés, aunque es recomendable que lo tripliquen o cuadruplicuen.
- Los g.d.l. maestros pueden ser seleccionados directamente por el usuario o automáticamente por ANSYS:



## ALGUNAS RECOMENDACIONES PARA EL ANÁLISIS DINÁMICO POR ELEMENTOS FINITOS

- Es recomendable contrastar el modelo dinámico mediante un análisis estático previo con cargas sencillas.
- Un modelo simplificado (vigas, masas concentradas...) proporciona, en general, resultados dinámicos igual de correctos que un modelo complejo.
- Con independencia del análisis dinámico que se vaya a efectuar (transitorio, espectral, ...) es recomendable hacer previamente un análisis modal: las frecuencias naturales de una estructura y sus modos de vibración proporcionan información sobre su manera natural de vibrar, facilitando la interpretación de los resultados obtenidos.
- El modelado de las condiciones de contorno resulta especialmente crítico (e.g., aspectos tales como la interacción suelo-estructura).
- En general se necesita un mallado más fino para obtener con precisión los modos que para ajustar las frecuencias naturales.

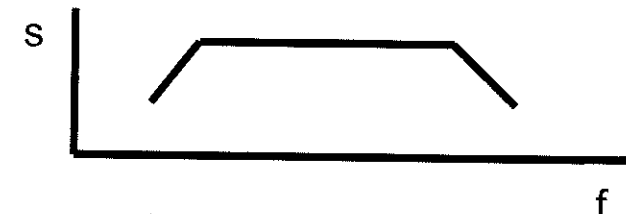
## 15.2. ANÁLISIS ESPECTRAL

### ¿ Qué entiende ANSYS por ANÁLISIS ESPECTRAL ?

Partiendo de un análisis modal y de un espectro conocido, se calculan desplazamientos y tensiones del modelo.

#### Tipos de análisis espectrales

- espectro de respuesta: mono-puntual (SPRS)  
multi-puntual (MPRS)
- método de análisis de diseño dinámico (DDAM)
- densidad de potencia espectral (PSD)



### ¿Cómo hacer el análisis espectral de una estructura?

- construir el modelo
- obtener la solución modal
- expandir los modos
- obtener la solución espectral
- revisar los resultados

• **Construcción del modelo**

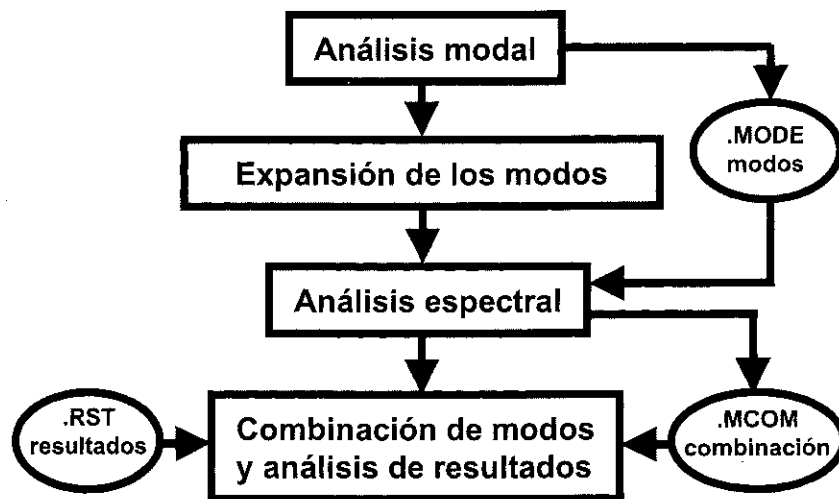
- \_ comportamiento lineal (elementos y materiales).
- \_ son necesarias las matrices de masa y rigidez.

• **Obtención de la solución modal**

- \_ métodos reducido, subespacio o Block Lanczos.
- \_ número de modos suficientes para caracterizar la respuesta de la estructura en el rango de frecuencias que abarca el espectro.
- \_ g.d.l. restringidos son en los que se quiere aplicar la excitación.
- \_ amortiguamiento dependiente del material.

• **Expansión de los modos**

• **Obtención del espectro solución**



- \_ tipo de espectro de respuesta (SVTYPE)

desplazamiento  
 velocidad  
 aceleración  
 fuerza  
 PSD

- \_ dirección de excitación (SED)

- \_ valores de la curva (FREQ, SV)

- \_ método de combinación de los modos (MCOMB)

combinación cuadrática completa (CQC)  
 agrupación (GRP)  
 suma doble (DSUM)  
 raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS)

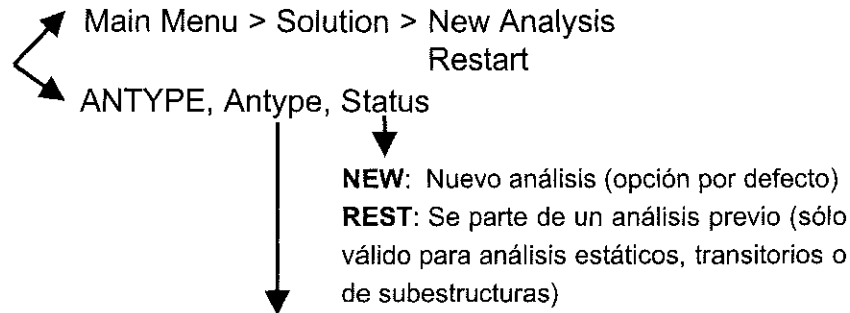
durante la solución ANSYS calcula los factores de participación y los coeficientes de modos necesarios para combinar los modos, y escribe un fichero de comandos de combinación de modos *Jobname.MCOM*.

• **Revisión de resultados**

- \_ leer los comandos de *Jobname.MCOM*
- \_ cálculo de la respuesta total combinando de alguna forma las respuestas modales máximas.
- \_ listar o dibujar resultados.

## 16. TIPOS DE ANÁLISIS

- Para especificar el tipo de análisis:



- STATIC ó 0** Estático (por defecto): lineal o no lineal (plasticidad, grandes desplazamientos, creep, contacto,...).
- BUCKLE ó 1** Pandeo (se ha debido realizar un análisis previo con la opc. PSTRES,ON); determinación de la carga crítica de pandeo de una estructura. Admite análisis lineal o no lineal.
- MODAL ó 2** Análisis Modal: obtención de frecuencias naturales y modos asociados.
- HARMIC ó 3** Análisis Dinámico Armónico: respuesta de una estructura a una carga dinámica de tipo armónico.
- TRANS ó 4** Análisis Dinámico Transitorio: respuesta de una estructura a una carga dinámica arbitraria.
- SUBSTR ó 7** Análisis de Subestructuras: permite condensar un grupo de elementos en un único *superelemento* representado por una matriz equivalente.
- SPECTR ó 8** Análisis Espectral (se ha debido realizar un análisis modal previo): respuesta de una estructura a un espectro de carga.

- Otras características: Análisis de problemas que incluyan Mecánica de la Fractura, Materiales Compuestos, Cargas Cíclicas (Fatiga), Sistemas de Tuberías, Creación y Destrucción de Elementos, ...

- Consultar **Ayuda Online de ANSYS:**

Utility Menu > Help > Table of Contents >

Analysis Guides  
Theory Manual  
Workbook Examples  
Verification Manual

## 17. PROBLEMAS

### 17.1. INTRODUCCIÓN

A continuación se presentan varios problemas resueltos empleando ANSYS. Adicionalmente, ANSYS incorpora tanto un cuaderno de ejemplos ('Workbook Examples') como un manual de verificación ('Verification Manual').

#### CUADERNO DE EJEMPLOS DE ANSYS

Utility Menu >Help >Table of Contents >Workbook Example

Consta de varios ejemplos desarrollados en detalle -paso a paso- que permiten familiarizarse con el programa y el manejo interactivo de sus menús. Están diseñados para poner de manifiesto las principales posibilidades de cálculo que ANSYS ofrece.

#### MANUAL DE VERIFICACIÓN DE ANSYS

Utility Menu >Help >Table of Contents >Verification Manual

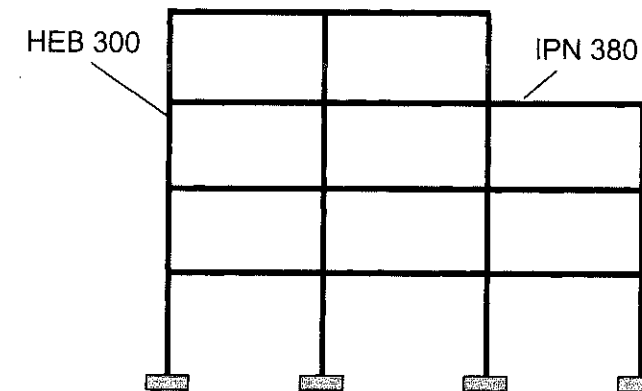
Consta de una serie de ejemplos sencillos empleados para verificar el correcto funcionamiento del programa. Cubre casi todas las posibilidades de análisis y elementos disponibles. En cada uno de los ejemplos se incluye una solución analítica o experimental con la que comparar, así como un breve listado de las órdenes necesarias para desarrollar el ejemplo.

### 17.2. ESTRUCTURA DE BARRAS

Modelar mediante elementos finitos y realizar la comprobación a resistencia de la estructura de barras que se muestra en la figura, correspondiente a un pórtico plano de 18 m. de ancho, 17 m. de altura y separación entre pilares 6 m.. La primera planta se sitúa a 5 m. desde el nivel del suelo y las otras tres se encuentran igualmente separadas.

Dicha estructura se encuentra sometida a las siguientes cargas:

- peso propio.
- sobrecarga de uso correspondiente a un edificio de oficinas, según Norma NBE AE-88 de 4000 N/m<sup>2</sup>.
- carga permanente debida a los forjados de 500 N/m<sup>2</sup>.
- sobrecarga de viento, según Norma NBE AE-88 para construcciones cerradas (Capítulo V).



La separación entre pórticos es de 6 metros.

La estructura se construye en acero S-275 de propiedades:

$$E=2.1 \cdot 10^5 \text{ Mpa} \quad \nu=0.3 \quad \sigma_y=275 \text{ Mpa} \quad \rho=7850 \text{ kg/m}^3$$

Utilizar para modelar la estructura elementos Beam3 (para pilares y vigas).



## LISTADO DE FICHERO DE ÓRDENES

El fichero de la sesión (file.log) contiene todas las órdenes que permiten modelar y resolver el problema en estudio, tanto si éstas han sido dadas por medio de comandos o a través de los menús. Para comparar como se reflejan ambas opciones sobre este fichero y ayudar a comprender su estructuración, se muestran a continuación dos listados:

- \_ en el primero todas las órdenes han sido dadas a través de los menús.
- \_ en el segundo se han utilizado comandos, procurando reducir en lo posible su número.

### 1. ÓRDENES A TRAVÉS DE MENÚS

```

KEYW,PR_SET,1
KEYW,PR_STRUC,1
KEYW,PR_THERM,0
KEYW,PR_ELMAG,0
KEYW,PR_FLUID,0
KEYW,PR_MULTI,0
KEYW,PR_CFD,0
/PMETH,OFF
!*
/TITLE,Estructura de Barras
/PREP7
!*
ET,1,BEAM3
R,1,84e-4,24010e-8,0.38,,0,0,
R,2,149.1e-4,25166e-8,0.30,, , ,
!*
UIMP,1,EX,,2.1e11,
UIMP,1,DENS,,7850,
UIMP,1,ALPX,, , ,
UIMP,1,REFT,, , ,
UIMP,1,NUXY,, ,0.3,
UIMP,1,GXY,, , ,
UIMP,1,MU,, , ,
UIMP,1,DAMP,, , ,
UIMP,1,KXX,, , ,
UIMP,1,C,, , ,
UIMP,1,ENTH,, , ,
UIMP,1,HF,, , ,
UIMP,1,EMIS,, , ,
UIMP,1,QRATE,, , ,
UIMP,1,MURX,, , ,
UIMP,1,MGXX,, , ,
UIMP,1,RSVX,, , ,
UIMP,1,PERX,, , ,
UIMP,1,VISC,, , ,
UIMP,1,SONC,, , ,
!*
FLST,3,19,8
FITEM,3,0,0,0
FITEM,3,6,0,0
FITEM,3,12,0,0
FITEM,3,18,0,0
FITEM,3,0,5,0
FITEM,3,6,5,0
FITEM,3,12,5,0
FITEM,3,18,5,0
FITEM,3,0,9,0
FITEM,3,6,9,0
FITEM,3,12,9,0
FITEM,3,18,9,0
FITEM,3,0,13,0
FITEM,3,6,13,0
FITEM,3,12,13,0
FITEM,3,18,13,0
FITEM,3,0,17,0
FITEM,3,6,17,0
FITEM,3,12,17,0
N,,P51X
TYPE,1,
MAT,1,
REAL,1,
ESYS,0,
!*
FLST,2,2,1
FITEM,2,5
FITEM,2,6
E,P51X
FLST,2,2,1
FITEM,2,7
E,P51X
FLST,2,2,1
FITEM,2,7
FITEM,2,8
E,P51X
FLST,2,2,1
FITEM,2,9
FITEM,2,10
E,P51X
FLST,2,2,1
FITEM,2,10
FITEM,2,11
E,P51X
FLST,2,2,1

```

```

E,P51X
FLST,2,2,1
FITEM,2,10
FLST,2,2,1
FITEM,2,14
E,P51X
FLST,2,2,1
FITEM,2,14
E,P51X
FLST,2,2,1
FITEM,2,18
E,P51X
FLST,2,2,1
FITEM,2,3
FITEM,2,7
E,P51X
FLST,2,2,1
FITEM,2,7
FITEM,2,11
E,P51X
FLST,2,2,1
FITEM,2,11
FITEM,2,15
E,P51X
FLST,2,2,1
FITEM,2,15
FITEM,2,19
E,P51X
TYPE,1,
MAT,1,
REAL,2,
ESYS,0,
FLST,2,2,1
FITEM,2,1
FITEM,2,5
E,P51X
FLST,2,2,1
FITEM,2,5
FITEM,2,9
E,P51X
FLST,2,2,1
FITEM,2,9
FINISH
E,P51X
/SOLU
FLST,2,4,1,ORDE,2
FITEM,2,1
FITEM,2,-4
E,P51X
ACEL,0,9.8,0,
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,5
E,P51X
FLST,2,2,1
FITEM,2,9
FITEM,2,11
ORDE,1
FITEM,2,9
F,P51X,FX,14400,
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,13
F,P51X,FX,14400,
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,17
F,P51X,FX,7200,
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,8
F,P51X,FX,10800,
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,12
F,P51X,FX,7200,
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,16
F,P51X,FX,7200,
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,19
F,P51X,FX,3600,
FLST,2,8,2,ORDE,2
FITEM,2,1
FITEM,2,-8
SFBEAM,P51X,1,PRES,27000,
FLST,2,3,2,ORDE,2
FITEM,2,9
FITEM,2,-11
SFBEAM,P51X,1,PRES,3000,
/STAT,SOLU
SOLVE
FINISH
/POST1
PRNSOL,DOF,
ETABLE,TEN-MX-I,NMISC,1
AVPRIN,0,0,
ETABLE,TEN-MN-I,NMISC,2
AVPRIN,0,0,
ETABLE,TEN-MD-I,LS,1
AVPRIN,0,0,
ETABLE,TEN-MX-J,NMISC,3
AVPRIN,0,0,
ETABLE,TEN-MN-J,NMISC,4
AVPRIN,0,0,
ETABLE,TEN-MD-J,LS,4
AVPRIN,0,0,
PRETAB,TEN-MX-I,TEN-MN-I,TEN-
MD-I,TEN-MX-J,TEN-MN-J,TEN-MD-J
PRRSOL,
FINISH
!/EXIT

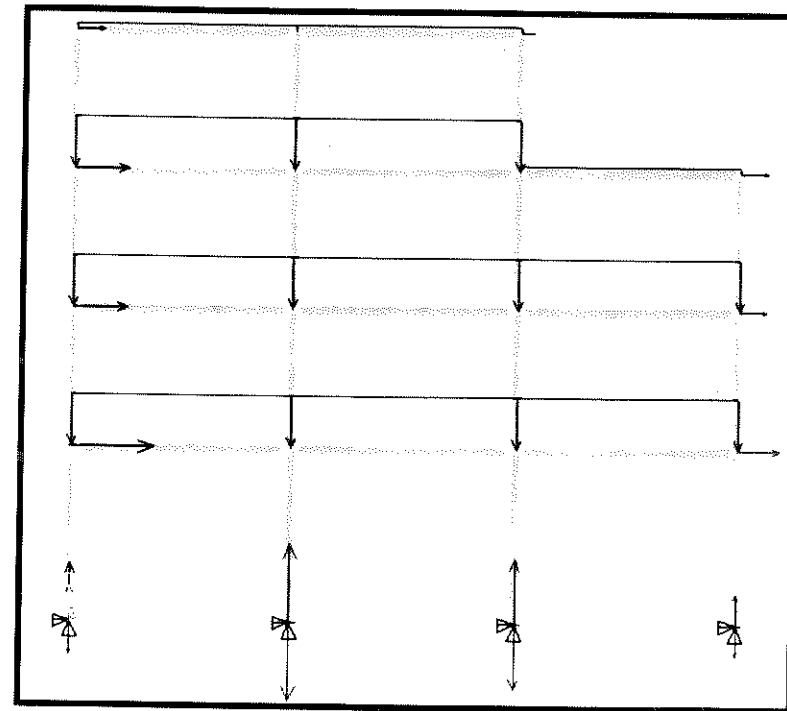
```

2. ÓRDENES POR MEDIO DE COMANDOS

```

KEYW,PR_SET,1
KEYW,PR_STRUC,1
KEYW,PR_THERM,0
KEYW,PR_ELMAG,0
KEYW,PR_FLUID,0
KEYW,PR_MULT1,0
KEYW,PR_CFD,0
/PMETH,OFF
!*
/TITLE,Estructura de Barras
/PREP7
!*
ET,1,BEAM3
R,1,107e-4,24010e-8,0.38,0,0,
R,2,149.1e-4,25186e-8,0.30,.,.,
!*
MP,EX,1,2.1e11
MP,DENS,1,7850
MP,NUXY,1,0.3
!*
N,1,0,0
NGEN,4,1,1,.,6
NGEN,2,4,1,4,1,0.5
NGEN,3,4,5,8,1,0,4
NGEN,2,16,1,3,1,0,17
!*
TYPE,1,
MAT,1,
REAL,1,
ESYS,0,
!*
EN,1,5,8
ENGEN,3,4,4,1
ENGEN,1,2,1,1,10,3
ENGEN,2,2,2,1,7,3
!*
TYPE,1,
MAT,1,
REAL,2,
ESYS,0,
!*
EN,12,1,5
ENGEN,1,4,4,12
ENGEN,4,3,1,12,15,1
ENGEN,12,2,3,12,14,1
FINISH
/SOLU
D,1,ALL,0
D,2,ALL,0
D,3,ALL,0
D,4,ALL,0
!*
ACEL,0,9.8,0,
!*
F,5,FX,21600
F,9,FX,14400
F,13,FX,14400
F,17,FX,7200
F,8,FX,10800
F,12,FX,7200
F,16,FX,7200
F,19,FX,3600
ESEL,S,ELEM,,1,8,1
SFBEAM,ALL,1,PRES,27000
ESEL,ALL
ESEL,S,ELEM,,9,11,1
SFBEAM,ALL,1,PRES,3000
ESEL,ALL
!*
/STAT,SOLU
SOLVE
FINISH
/POST1
PRNSOL,DOF
!*
ETABLE,TEN-MX-I,NMISC,1
ETABLE,TEN-MN-I,NMISC,2
ETABLE,TEN-MD-I,LS,1
ETABLE,TEN-MX-J,NMISC,3
ETABLE,TEN-MN-J,NMISC,4
ETABLE,TEN-MD-J,LS,4
PRETAB,TEN-MX-I,TEN-MN-I,TEN-MD-I,TEN-MX-J,
TEN-MN-J,TEN-MD-J
!*
PRRSOL,
!*
FINISH
/EXIT
    
```

**MODELO:**  
**GEOMETRÍA, CONDICIONES DE CONTORNO Y CARGAS APLICADAS**



Cargas aplicadas:

- peso propio ( $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ )
- sobrecarga de uso (24000 N/m)
- carga debida a los forjados (3000 N/m)
- carga de viento ( $500 \cdot 9 \cdot 6 \cdot 0.8 = 21600 \text{ N}$ )

$750 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 0.8 = 14400 \text{ N}$

$750 \cdot 2 \cdot 6 \cdot 0.8 = 7200 \text{ N...}$

suponiendo que el viento actúa sobre la estructura de izquierda a derecha)

## FICHEROS DE RESULTADOS

### 1. REACCIONES (orden PRRSOL)

```

PRINT REACTION SOLUTIONS PER NODE
***** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING *****
LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN GLOBAL COORDINATES
   NODE    FX          FY          MZ
   1    -11887.    0.23938E+06  47596.
   2    -24070.    0.54892E+06  67921.
   3    -23389.    0.46165E+06  66876.
   4    -27053.    0.21610E+06  73184.
TOTAL VALUES
VALUE    -86400.    0.14661E+07  0.25558E+06
    
```

### 2. DESPLAZAMIENTOS DE NODOS (orden PRNSOL,DOF,)

```

PRINT DOF NODAL SOLUTION PER NODE
***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****
LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL
COORDINATES
   NODE    UX          UY          ROTZ
   1    0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
   2    0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
   3    0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
   4    0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
   5    0.65718E-02  0.37768E-03  0.16915E-02
   6    0.65764E-02  0.87199E-03  0.73283E-03
   7    0.65975E-02  0.73263E-03  0.79495E-03
   8    0.66451E-02  0.34051E-03  0.52511E-03
   9    0.11067E-01  0.59154E-03  0.11148E-02
  10    0.11026E-01  0.13437E-02  0.52260E-03
  11    0.11014E-01  0.10989E-02  0.62542E-03
  12    0.10991E-01  0.48479E-03  0.12159E-03
  13    0.13894E-01  0.70847E-03  0.96809E-03
  14    0.13830E-01  0.15960E-02  0.34167E-03
  15    0.13784E-01  0.12444E-02  0.18073E-03
  16    0.13753E-01  0.50704E-03  0.43287E-03
  17    0.15399E-01  0.72447E-03  0.23392E-03
  18    0.15345E-01  0.16226E-02  0.15006E-03
  19    0.15308E-01  0.12665E-02  0.21416E-03
MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
   NODE    17          18          5
   VALUE    0.15399E-01  0.16226E-02  0.16915E-02
    
```

### 3. TENSIONES EN EXTREMOS DE ELEMENTOS

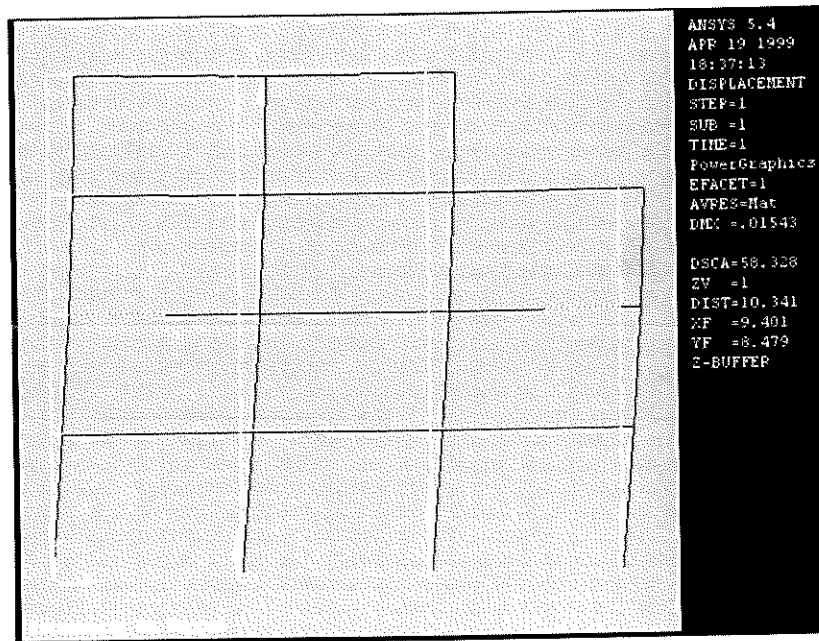
(orden PRETAB,TEN-MX-I...)

```

PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT
***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING *****
STAT    CURRENT    CURRENT    CURRENT    CURRENT    CURRENT    CURRENT
ELEM    TEN-MX-I    TEN-MN-I    TEN-MD-I    TEN-MX-J    TEN-MN-J    TEN-MD-J
   1    0.14340E+08-0.14017E+08  0.16130E+06  0.10450E+09-0.10417E+09  0.16130E+06
   2    0.35379E+08-0.33900E+08  0.73976E+06  0.98191E+08-0.96712E+08  0.73976E+06
   3    0.36561E+08-0.33229E+08  0.16659E+07  0.94447E+08-0.91115E+08  0.16659E+07
   4    0.32579E+08-0.35482E+08-0.14515E+07  0.87907E+08-0.90810E+08-0.14515E+07
   5    0.41352E+08-0.42218E+08-0.43285E+06  0.90414E+08-0.91280E+08-0.43285E+06
   6    0.42502E+08-0.44089E+08-0.79361E+06  0.80475E+08-0.82062E+08-0.79361E+06
   7    0.39004E+08-0.43474E+08-0.22350E+07  0.79459E+08-0.83929E+08-0.22350E+07
   8    0.55016E+08-0.58203E+08-0.15936E+07  0.66114E+08-0.69301E+08-0.15936E+07
   9    0.17099E+07-0.38957E+07-0.10929E+07  0.21577E+08-0.23763E+08-0.10929E+07
  10    0.44940E+07-0.83275E+07-0.19167E+07  0.78694E+07-0.11703E+08-0.19167E+07
  11    -0.73820E+06-0.18415E+07-0.12898E+07  0.17427E+08-0.20006E+08-0.12898E+07
  12    0.12314E+08-0.44425E+08-0.16055E+08-0.86141E+07-0.22727E+08-0.15670E+08
  13    0.63543E+07-0.29117E+08-0.11381E+08-0.24215E+07-0.19726E+08-0.11074E+08
  14    0.10687E+08-0.23273E+08-0.62926E+07  0.86848E+07-0.20654E+08-0.59848E+07
  15    0.15398E+08-0.17386E+08-0.99368E+06  0.41427E+07-0.55146E+07-0.68596E+06
  16    0.36680E+07-0.77300E+08-0.36816E+08-0.51810E+07-0.67681E+08-0.36431E+08
  17    -0.36740E+07-0.46165E+08-0.24920E+08  -55124.    -0.49169E+08-0.24612E+08
  18    -0.21226E+07-0.24674E+08-0.13398E+08  0.10348E+07-0.27216E+08-0.13090E+08
  19    0.32181E+07-0.63192E+07-0.15505E+07  0.65437E+07-0.90293E+07-0.12428E+07
  20    0.88982E+07-0.70824E+08-0.30963E+08-0.73360E+06-0.60423E+08-0.30578E+08
  21    -0.21096E+07-0.36657E+08-0.19383E+08  0.86824E+06-0.39019E+08-0.19076E+08
  22    0.80791E+07-0.23666E+08-0.77936E+07  0.21084E+08-0.36055E+08-0.74859E+07
  23    0.19003E+08-0.21631E+08-0.13135E+07  0.13092E+08-0.15103E+08-0.10058E+07
  24    0.29127E+08-0.58114E+08-0.14494E+08  0.22895E+08-0.51113E+08-0.14109E+08
  25    0.25150E+08-0.40608E+08-0.77287E+07  0.31813E+08-0.46655E+08-0.74210E+07
  26    0.20656E+08-0.23300E+08-0.13220E+07  0.16061E+08-0.18090E+08-0.10143E+07
MINIMUM VALJES
ELEM    17          16          16          12          1          16
VALUE    -0.36740E+07-0.77300E+08-0.36816E+08-0.86141E+07-0.10417E+09-0.36431E+08
MAXIMUM VALJES
ELEM    8          11          3          1          15          3
VALUE    0.55016E+08-0.18415E+07  0.16659E+07  0.10450E+09-0.55146E+07  0.16659E+07
    
```

## DEFORMADA

También pueden analizarse los resultados gráficamente:



Para obtener la representación de la deformada a través de los menús:

**Utility Menu > Plot > Results > Deformed Shape**

o con la orden:

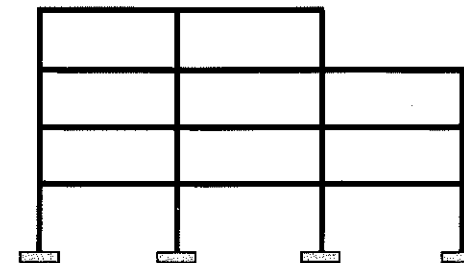
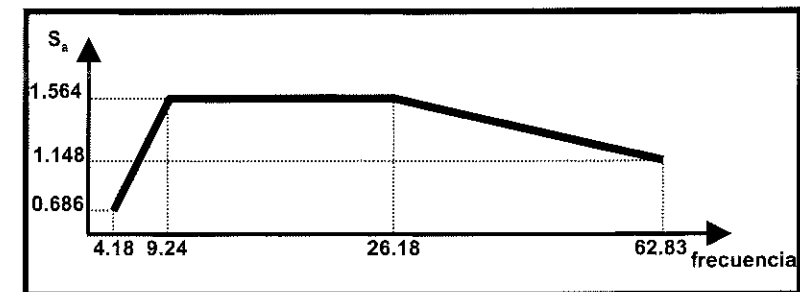
**PLDISP,1** (dibuja la deformada y la indeformada)

## 17.3. CÁLCULO DINÁMICO DE ESTRUCTURA DE BARRAS

Realizar un análisis modal y espectral de la estructura de barras del ejercicio anterior. Obtener un número de modos de vibración y frecuencias propias que permita cubrir el rango de frecuencias que abarca el espectro elástico de respuesta para movimientos horizontales que se indica en la Norma AE-88, Acciones en la Edificación (Anejo).

El edificio se ubica en la ciudad de Sevilla, sobre un terreno Tipo II, (coeficiente de suelo (C) 1.4). A partir del Anejo 1 de la citada norma y la ubicación antes definida, puede determinarse la aceleración sísmica básica ( $a_g/g$ ) 0.07 y el coeficiente de contribución (K) 1.2.

El espectro de respuesta (frecuencia vs aceleración) puede determinarse a partir del espectro elástico de respuesta de la Figura C 2.1 de la norma y de las constantes anteriores.



Esquema de la estructura a calcular

## LISTADO DE FICHERO DE ÓRDENES

### GENERACIÓN DEL MODELO

A continuación se lista el fichero de órdenes a través de comandos, dividido en tres partes:

- \_ generación del modelo
- \_ análisis modal (se van a obtener 20 modos en la primera aproximación)
- \_ análisis espectral

```

/FILNAM,DINAMICA      !*
KEYW,PR_SET,1         MP,EX,1.2.1e11      EN,1,5,6
KEYW,PR_STRUC,1       MP,DENS,1,7850     ENGEN,3,4,4,1
KEYW,PR_THERM,0       MP,NUXY,1,0,3      ENGEN,1,2,1,1,10,3
KEYW,PR_ELMAG,0       !*
KEYW,PR_FLUID,0       N,1,0,0           TYPE,1
KEYW,PR_MULTI,0       NGEN,4,1,1,,6     MAT,1
KEYW,PR_CFD,0         NGEN,2,4,1,4,1,0,5 REAL,2
/PMETH,OFF            NGEN,3,4,5,8,1,0,4 ESYS,0
!*                    NGEN,2,16,1,3,1,0,17 !*
/TITLE,Estructura de Barras
/PREP7                !*
ET,1,BEAM3            TYPE,1
R,1,107e-4,24010e-8,0.38,,0,0, REAL,1
R,2,149.1e-4,25166e-8,0.30,, , ESYS,0
!*                    FINISH

```

### ANÁLISIS MODAL

```

/SOLU
ANTYPE,MODAL
MODOPT,SUBSP,20
D,1,ALL,0
D,2,ALL,0
D,3,ALL,0
D,4,ALL,0
SOLVE
FINISH
/SOLU
EXPASS,ON
MXPAND,20,,YES
SOLVE
FINISH
/POST1
SET,LIST
FINISH

```

## ANÁLISIS ESPECTRAL

```

/SOLU
ANTYPE,SPECTR
SPOPT,SPRS,16,0
SVTYP,2,1
SED,1,0,0
FREQ,4,18,9,24,26,18,62,83
SV,0,0.688,1.564,1.564,1.148
SRSS,0,001,DISP
SOLVE
FINISH
/POST1
/INPUT,DINAMICA,MCOM
PRNSOL,DOF
FINISH

```

## FICHEROS DE RESULTADOS

### MODOS DE VIBRACIÓN (orden SET,LIST)

```

***** INDEX OF DATA SETS ON RESULTS FILE *****

```

SET	TIME/FREQ	LOAD STEP	SUBSTEP	CUMULATIVE
1	3.8365	1	1	1
2	12.117	1	2	2
3	21.640	1	3	3
4	32.872	1	4	4
5	50.107	1	5	5
6	51.333	1	6	6
7	56.459	1	7	7
8	59.786	1	8	8
9	63.543	1	9	9
10	64.852	1	10	10
11	71.687	1	11	11
12	74.865	1	12	12
13	77.424	1	13	13
14	82.010	1	14	14
15	85.119	1	15	15
16	88.278	1	16	16
17	92.222	1	17	17
18	99.201	1	18	18
19	106.16	1	19	19
20	117.63	1	20	20

Dado el rango de frecuencias dominantes del espectro de respuesta con el que se va a excitar la estructura, se utilizan únicamente las 16 primeras frecuencias naturales para el análisis espectral.

Tras aplicar el espectro de respuesta a la estructura los desplazamientos que se producen en los distintos nudos son:

**DESPLAZAMIENTOS NODALES** (orden PRNSOL,DOF)

PRINT DOF NODAL SOLUTION PER NODE

\*\*\*\*\* POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING \*\*\*\*\*

CALCULATED LOAD CASE= 0

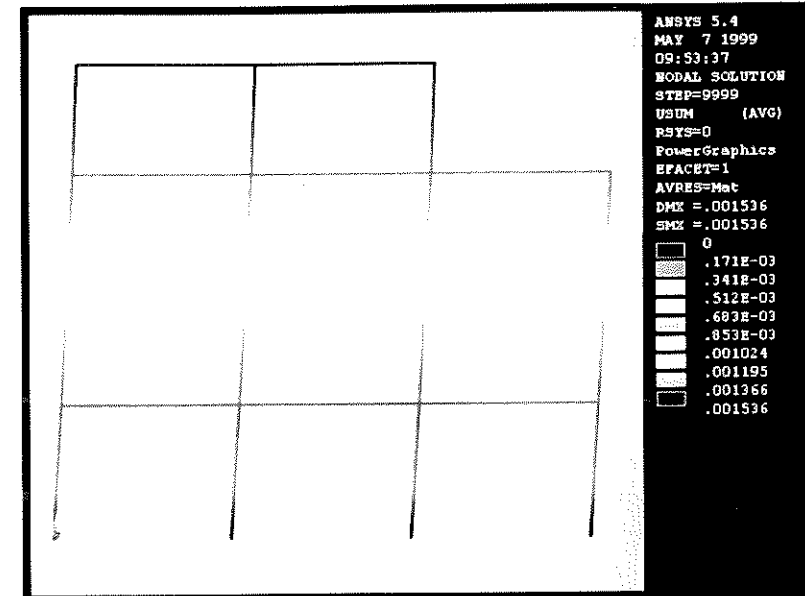
THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	UX	UY	ROTZ
1	.00000	.00000	.00000
2	.00000	.00000	.00000
3	.00000	.00000	.00000
4	.00000	.00000	.00000
5	.58096E-03	.57273E-05	.10407E-03
6	.58178E-03	.57453E-06	.74252E-04
7	.58177E-03	.37947E-06	.74238E-04
8	.58093E-03	.51992E-05	.10394E-03
9	.10442E-02	.84793E-05	.77886E-04
10	.10440E-02	.74282E-06	.60996E-04
11	.10441E-02	.64068E-06	.60916E-04
12	.10445E-02	.75040E-05	.78688E-04
13	.13620E-02	.97926E-05	.51789E-04
14	.13615E-02	.76468E-06	.40862E-04
15	.13604E-02	.10548E-05	.39323E-04
16	.13593E-02	.83464E-05	.43779E-04
17	.15362E-02	.10171E-04	.25853E-04
18	.15359E-02	.69545E-06	.15488E-04
19	.15357E-02	.14793E-05	.29051E-04

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES

NODE	17	17	5
VALUE	.15362E-02	.10171E-04	.10407E-03

**SUMA DE DESPLAZAMIENTOS**



Para obtener la representación de la deformada a través de los menús:

**Utility Menu > Plot > Results > Deformed Shape**

o con la orden:

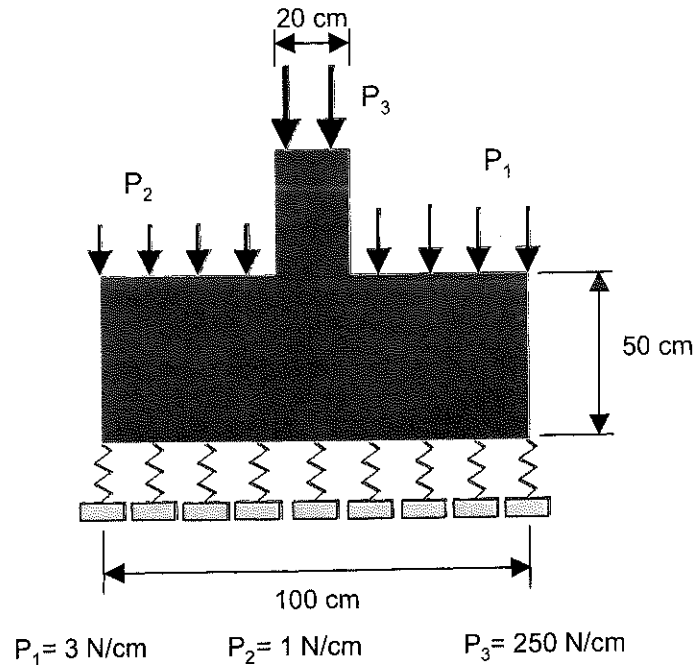
**PLDISP,0** (dibuja la deformada únicamente)

### 17.4. MEDIO CONTINUO 2-D. CIMIENTO

La zapata de muro, cuya sección y cargas se muestran en la figura es de hormigón H-200. Calcular el mapa de tensiones de comparación de Von Mises utilizando un modelo bidimensional en deformación plana con elementos PLANE 42.

Las propiedades del material son:

$E=2 \cdot 10^4$  Mpa       $\nu=0.2$        $\rho=2400$  kg/m<sup>3</sup>



NOTA: Modélese la flexibilidad del terreno con nueve elementos COMBIN14, cuyas propiedades obtenidas del coeficiente de balastro son:

$K=5 \cdot 10^3$  kN/m

### LISTADO DE FICHERO DE ÓRDENES

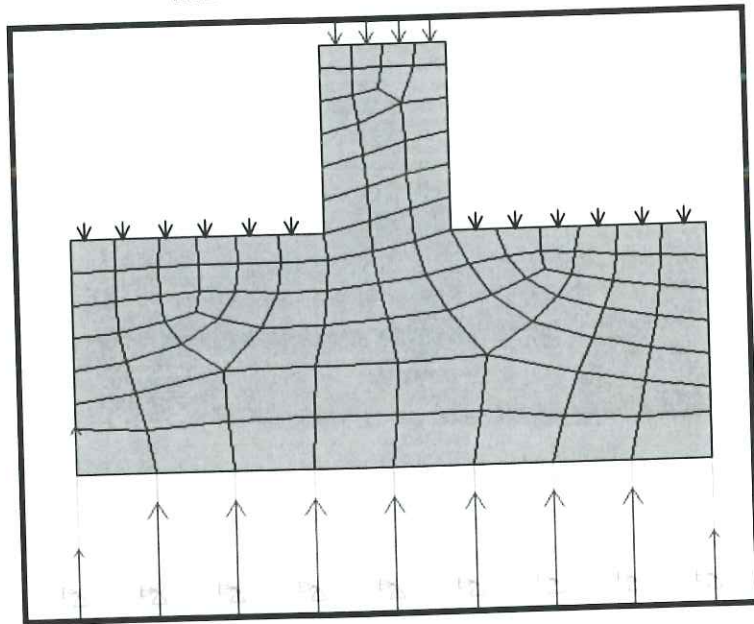
```

/BATCH
/COM,ANSYS RELEASE 5.4
/input,menust,tmp .....1
/GRA,POWER
/GST,ON
/NOPR
/PMETH,OFF
KEYW,PR_SET,1
KEYW,PR_STRUC,1
/COM,
/COM,Preferences for GUI filtering
have been set to display:
/COM, Structural
/PREP7
/TITLE,Zapata de muro
ET,1,COMBIN14
KEYOPT,1,2,0
KEYOPT,1,3,2
ET,2,PLANE42
KEYOPT,2,1,0
KEYOPT,2,2,0
KEYOPT,2,3,2
KEYOPT,2,5,0
KEYOPT,2,6,0
R,1,5,e6,
R,2,2,5e6,
MP,EX,1,2E10
MP,DENS,1,2400
MP,NUXY,1,.2
n,1,0,-.25
ngen,9,1,1,...,125
rectng,0,1,0,.5
rectng,.4,.6,5,.9
FLST,2,2,5,ORDE,2
FITEM,2,1
FITEM,2,-2
AADD,P51X
TYPE,2
MAT,1
REAL,
ESYS,0
SMRT,6
SMRT,5
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,1
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSGEL,,,Y
LESIZE,_Y1,,125,,1,
CMDEL,_Y
CMDEL,_Y1
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,7
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSGEL,,,Y
LESIZE,_Y1,,4,1,
CMDEL,_Y
CMDEL,_Y1
MSHAPE,0,2D
MSHKEY,0
CM,_Y,AREA
ASEL,,,3
CM,_Y1,AREA
CHKMSH,'AREA'
CMSGEL,S,_Y
AMESH,_Y1
CMDEL,_Y
CMDEL,_Y1
CMDEL,_Y2
NPLOT
TYPE,1
MAT,1
REAL,1
ESYS,0
FLST,2,2,1
FITEM,2,2
FITEM,2,53
E,P51X
FLST,2,2,1
FITEM,2,3
FITEM,2,54
E,P51X
FLST,2,2,1
FITEM,2,4
FITEM,2,55
E,P51X
FLST,2,2,1
FITEM,2,5
FITEM,2,56
E,P51X
FLST,2,2,1
FITEM,2,6
FITEM,2,57
E,P51X
FLST,2,2,1
FITEM,2,7
FITEM,2,58
E,P51X
FLST,2,2,1
FITEM,2,8
FITEM,2,59
E,P51X
TYPE,1
MAT,1
REAL,2
ESYS,0
FLST,2,2,1
FITEM,2,1
FITEM,2,10
E,P51X
FLST,2,2,1
FITEM,2,9
FITEM,2,11
E,P51X
FINISH
/SOLU
FLST,2,9,1,ORDE,2
FITEM,2,1
FITEM,2,-9
D,P51X,,,,,ALL
FLST,2,1,9,ORDE,1
FITEM,2,10
SFL,P51X,PRES,100,
FLST,2,1,4,ORDE,1
FITEM,2,9
SFL,P51X,PRES,300,
FLST,2,1,4,ORDE,1
FITEM,2,7
SFL,P51X,PRES,25000,
ACEL,0,9.8,0,
SOLVE
FINISH
/POST1
PLNSOL,S,EQV,0,1
AVPRIN,0,0,
PLESOL,S,EQV,0,1
AVPRIN,0,0,
FINISH
/EXIT
    
```

**MODELO:  
GEOMETRÍA, CONDICIONES DE CONTORNO Y  
CARGAS APLICADAS**

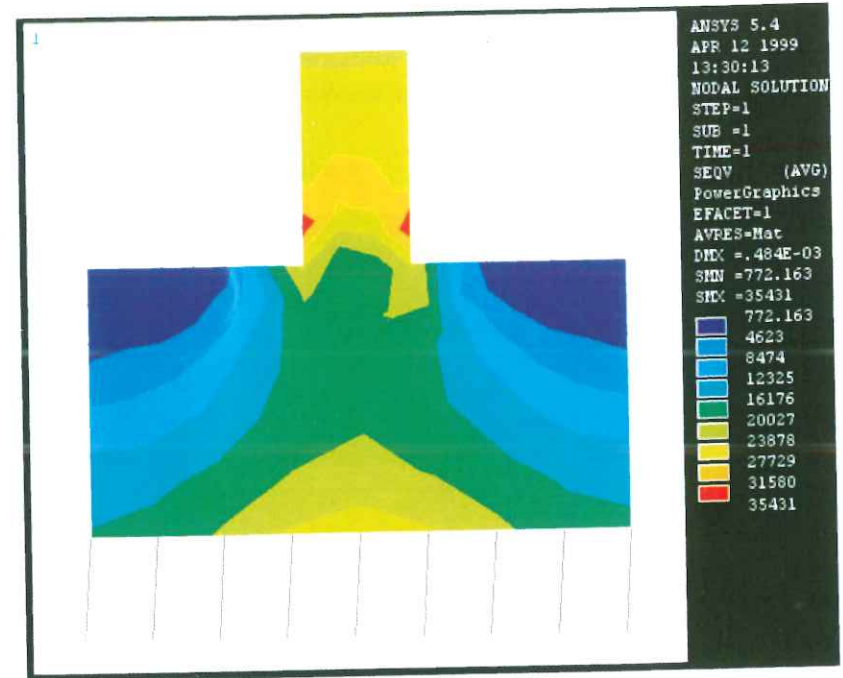
Para obtener en pantalla la malla de elementos finitos, las condiciones de contorno y las cargas aplicadas, hay que utilizar las siguientes órdenes:

```
EPLLOT
/PBC,ALL,,1
/PSF,PRES,NORM,2
/REPLOT
```



Se ha generado la malla de elementos finitos controlando el número de elementos sobre las líneas inferior y superior, además del comando SmartSize.

**RESULTADOS**



**PLNSOL,S,EQV,0,1**

Nótense las diferencias entre el mapa de tensiones nodales de esta figura y el mapa de tensiones elementales de la figura de la página siguiente.



### 17.5. ESTRUCTURA LAMINAR CON SIMETRÍA DE REVOLUCIÓN

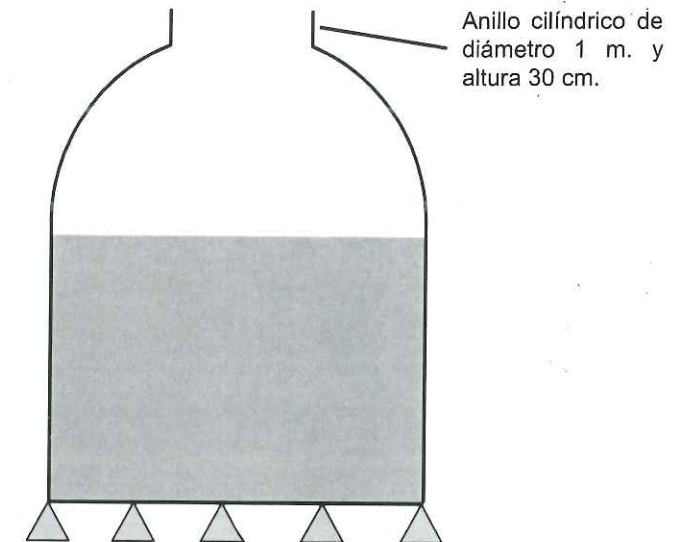
Obtener el mapa de tensiones que se originan cuando se llena con agua hasta una altura de 2 metros un depósito de poliéster armado con fibra de vidrio de 3 metros de diámetro y cuya sección se muestra en la figura. Dicho depósito se encuentra simplemente apoyado.

Las propiedades del material son:

$$E=13 \cdot 10^3 \text{ Mpa}$$

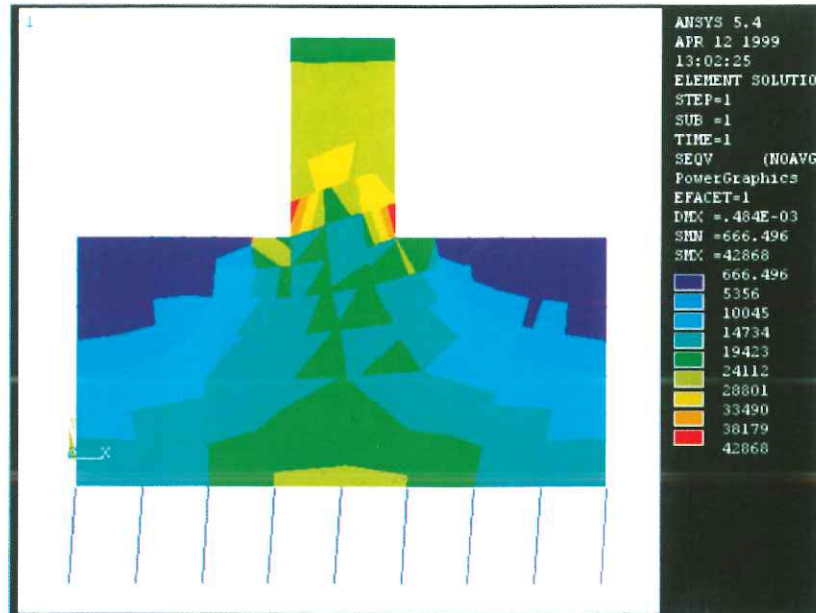
$$\nu=0.3$$

$$\rho=1600 \text{ kg/m}^3$$



Las paredes del depósito tienen 3 mm. de espesor.

Construir dos modelos de elementos finitos: utilizando elementos lámina (SHELL63) para uno de ellos y elementos axisimétricos (SHELL61) para el segundo.



PLESOL,S,EQV,0,1

**LISTADO DE FICHERO DE ÓRDENES****(i) MODELO CON ELEMENTOS SHELL63**

```

/PREP7
ET,1,SHELL63
R,1,,003
UIMP,1,EX,,13,E9,
UIMP,1,DENS,,1600,
UIMP,1,ALPX,,
UIMP,1,REFT,,
UIMP,1,NUXY,,3,
UIMP,1,PRXY,,
UIMP,1,GXY,,
UIMP,1,MU,,
UIMP,1,DAMP,,
UIMP,1,KXX,,
UIMP,1,C,,
UIMP,1,ENTH,,
UIMP,1,HF,,
UIMP,1,EMIS,,
UIMP,1,QRATE,,
UIMP,1,MURX,,
UIMP,1,MGXX,,
UIMP,1,RSVX,,
UIMP,1,PERX,,
UIMP,1,VISC,,
UIMP,1,SONC,,
K,1,0,0
K,2,1.5,0
K,3,0,1.5
K,4,-1.5,0
K,5,0,-1.5
K,6,1.5,0.2
L,2,4
L,3,5
LPTN,1,2
LARC,2,3,1,1.5
LARC,3,4,1,1.5
LARC,4,5,1,1.5
LARC,5,2,1,1.5
AL,1,3,4
AL,4,5,2
AL,5,6,7
AL,3,6,8
K,8,0,0,3,5
L,2,6
AROTAT,9,,,,1,8,360,4
K,15,0,0,2
LARC,6,8,15,1.5
AROTAT,21,,,,1,8,360,4
K,19,0,5,0,3
K,20,0,5,0,3,7142135
L,19,20
AROTAT,29,,,,1,8,360,4
APTN,9,13
APTN,10,14
APTN,11,15
APTN,12,16
FLST,2,8,5,ORDE,7
FITEM,2,9
FITEM,2,-11
FITEM,2,17
FITEM,2,19
FITEM,2,21
FITEM,2,23
FITEM,2,25
ADELE,P51X,,1
NUMMRG,ALL,,
NUMCMP,ALL
FLST,5,4,4,ORDE,2
FITEM,5,9
FITEM,5,-12
CM,_Y,LINE
LSEL,,P51X
!*
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
LESIZE,_Y1,,.8,6,
CMDEL,_Y
CMDEL,_Y1
!*
FLST,5,12,4,ORDE,10
FITEM,5,1
FITEM,5,-2
FITEM,5,7
FITEM,5,-8
FITEM,5,13
FITEM,5,-16
FITEM,5,21
FITEM,5,26
FITEM,5,29
FITEM,5,32
CM,_Y,LINE
LSEL,,P51X
!*
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
LESIZE,_Y1,,.8,,
CMDEL,_Y
CMDEL,_Y1
!*
FLST,5,4,4,ORDE,4
FITEM,5,22
FITEM,5,-23
FITEM,5,27
FITEM,5,30
CM,_Y,LINE
LSEL,,P51X
!*
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
LESIZE,_Y1,,.8,2,
CMDEL,_Y
CMDEL,_Y1
!*
FLST,5,4,4,ORDE,4
FITEM,5,24
FITEM,5,-25
FITEM,5,28
FITEM,5,31
CM,_Y,LINE
LSEL,,P51X
!*
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
LESIZE,_Y1,,.2,,
CMDEL,_Y
CMDEL,_Y1
!*
FLST,5,4,4,ORDE,2
FITEM,5,3
FITEM,5,-6
CM,_Y,LINE
LSEL,,P51X
!*
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
LESIZE,_Y1,,.6,,
CMDEL,_Y
CMDEL,_Y1
!*
MSHAPE,0,2D
MSHKEY,1
!*
LESIZE,_Y1,,.8,,
CMDEL,_Y
CMDEL,_Y1
!*
FLST,5,4,4,ORDE,4
FITEM,5,22
FITEM,5,-23
FITEM,5,27
FITEM,5,30
CM,_Y,LINE
LSEL,,P51X
!*
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
LESIZE,_Y1,,.8,2,
CMDEL,_Y
CMDEL,_Y1
!*
FLST,5,4,4,ORDE,4
FITEM,5,24
FITEM,5,-25
FITEM,5,28
FITEM,5,31
CM,_Y,LINE
LSEL,,P51X
!*
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
LESIZE,_Y1,,.2,,
CMDEL,_Y
CMDEL,_Y1
!*
FLST,5,4,4,ORDE,2
FITEM,5,9
FITEM,5,-12
CM,_Y,AREA
ASEL,,P51X
CM,_Y1,AREA
CHKMSH,'AREA'
CMSEL,S,_Y
!*
AMESH,_Y1
!*
CMDEL,_Y
CMDEL,_Y1
CMDEL,_Y2
!*
CM,_Y,AREA
ASEL,,.11
CM,_Y1,AREA
CHKMSH,'AREA'
CMSEL,S,_Y
!*
CMDEL,_Y
CMDEL,_Y1
CMDEL,_Y2
!*
SMRT,6
MSHAPE,1,2D
MSHKEY,0
!*
FLST,5,4,5,ORDE,2
FITEM,5,1
FITEM,5,-4
CM,_Y,AREA
ASEL,,P51X
CM,_Y1,AREA
CHKMSH,'AREA'
CMSEL,S,_Y
!*
AMESH,_Y1
!*
CMDEL,_Y
CMDEL,_Y1
CMDEL,_Y2
!*
ENORM,728
/UV,MESH,OFF
NUMMRG,ALL
NUMCMP,ALL

```

```

FLST,5,4,5,ORDE,2
FITEM,5,5
FITEM,5,-8
CM,_Y,AREA
ASEL,,P51X
CM,_Y1,AREA
CHKMSH,'AREA'
CMSEL,S,_Y
!*
AMESH,_Y1
!*
CMDEL,_Y
CMDEL,_Y1
CMDEL,_Y2
!*
CM,_Y,AREA
ASEL,,.11
CM,_Y1,AREA
CHKMSH,'AREA'
CMSEL,S,_Y
!*
CMDEL,_Y
CMDEL,_Y1
CMDEL,_Y2
!*
SMRT,6
MSHAPE,1,2D
MSHKEY,0
!*
FLST,5,4,5,ORDE,2
FITEM,5,1
FITEM,5,-4
CM,_Y,AREA
ASEL,,P51X
CM,_Y1,AREA
CHKMSH,'AREA'
CMSEL,S,_Y
!*
AMESH,_Y1
!*
CMDEL,_Y
CMDEL,_Y1
CMDEL,_Y2
!*
ENORM,728
/UV,MESH,OFF
NUMMRG,ALL
NUMCMP,ALL
SFGRAD,PRES,,Z,0,-10000
FINISH
/SOLU
FLST,2,4,5,ORDE,2
FITEM,2,5
FLST,2,-8
SFA,P51X,2,PRES,20000,
SFGRAD
FLST,2,4,5,ORDE,2
FITEM,2,1
FITEM,2,-4
SFA,P51X,2,PRES,20000,
SFTRAN
NSEL,S,LOC,Z,0
FLST,2,117,1,ORDE,10
FITEM,2,1
FITEM,2,-9
FITEM,2,82
FITEM,2,-89
FITEM,2,154
FITEM,2,-161
FITEM,2,226
FITEM,2,-232
FITEM,2,609
FITEM,2,-693
D,P51X,,,,,uz
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,609
D,P51X,,,,,UX,UY
ALLSEL,ALL
VSEL,ALL
ASEL,ALL
LSEL,ALL
KSEL,ALL
ESEL,ALL
NSEL,ALL
/STAT,SOLU
SOLVE

```

## (ii) MODELO CON ELEMENTOS SHELL61

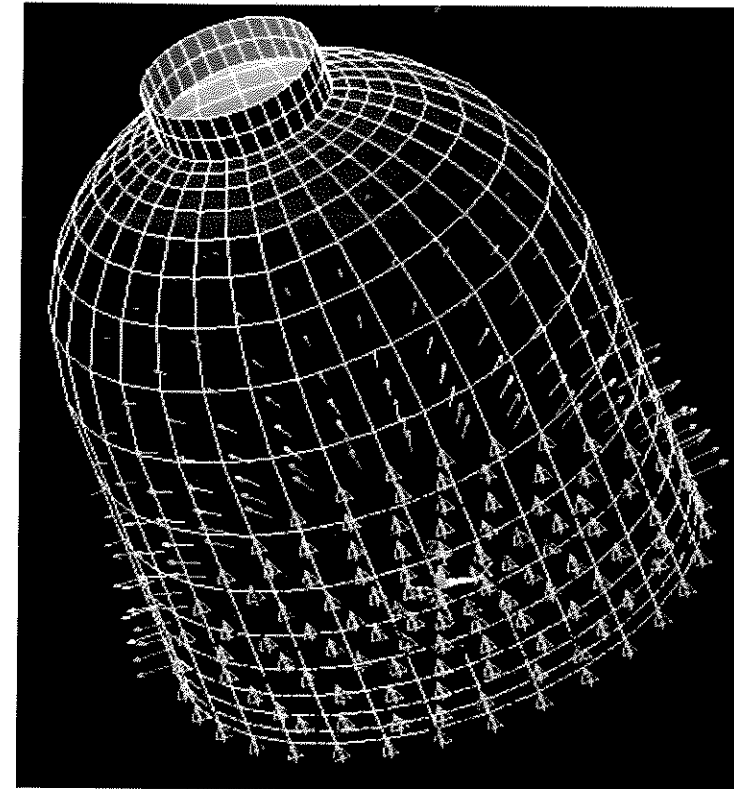
```

/PREP7
ET,1,SHELL61
R,1,,003
UIMP,1,EX,,13.E9,
UIMP,1,DENS,,1600,
UIMP,1,ALPX,,
UIMP,1,REFT,,
UIMP,1,NUXY,,3,
UIMP,1,PRXY,,
UIMP,1,GXY,,
UIMP,1,MU,,
UIMP,1,DAMP,,
UIMP,1,KXX,,
UIMP,1,C,,
UIMP,1,ENTH,,
UIMP,1,HF,,
UIMP,1,EMIS,,
UIMP,1,QRATE,,
UIMP,1,MURX,,
UIMP,1,MGXX,,
UIMP,1,RSVX,,
UIMP,1,PERX,,
UIMP,1,VISC,,
UIMP,1,SONC,,
K,1,0,0
K,2,1.5,0
K,3,1.5,2
K,4,5,3,4142135
K,5,5,3,7142135
K,6,0,2
K,7,0,01,0
L,7,2
L,2,3
Larc,3,4,6,1.5
L,4,5
NUMMRG,ALL,,
NUMCMP,ALL
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,4
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
!*
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
LESIZE,_Y1,,8,,2,
CMDEL,_Y
CMDEL,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,2
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
!*
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
LESIZE,_Y1,,8,6,
CMDEL,_Y
CMDEL,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,1
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
!*
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
LESIZE,_Y1,,6,,
CMDEL,_Y
CMDEL,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,3
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
!*
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
LESIZE,_Y1,,8,,2,
CMDEL,_Y
CMDEL,_Y1
!*
LMESH, 3
LMESH, 2
LMESH, 1
LMESH, 4
/UI,MESH,OFF
NUMMRG,ALL,,
NUMCMP,ALL
FINISH
/SOLU
FLST,2,6,1,ORDE,3
FITEM,2,10
FITEM,2,19
FITEM,2,-23
D,P51X,,,,,Uy
D,18,,,,,UX,UY
SFGRAD,PRES,,Y,0,-10000
FLST,2,1,4,ORDE,1
FITEM,2,2
SFL,P51X,PRES,20000,,
SFGRAD
FLST,2,1,4,ORDE,1
FITEM,2,1
SFL,P51X,PRES,20000,,
SFTRAN
/STAT,SOLU
SOLVE
FINISH

```

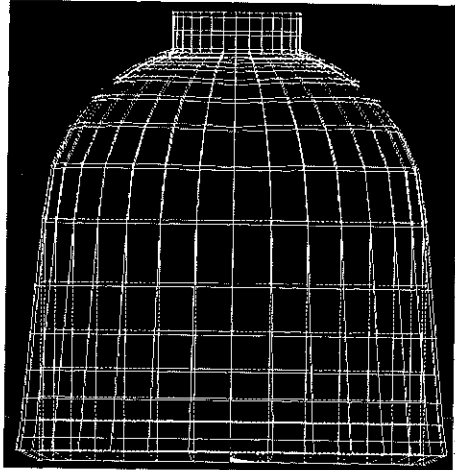
### MODELO: GEOMETRÍA, CONDICIONES DE CONTORNO Y CARGAS APLICADAS

En la siguiente figura pueden verse: la malla de elementos finitos generada con elementos SHELL63, las condiciones de contorno definidas sobre la base del depósito y las cargas superficiales aplicadas sobre las caras internas de los elementos.



ELEMENTOS LÁMINA

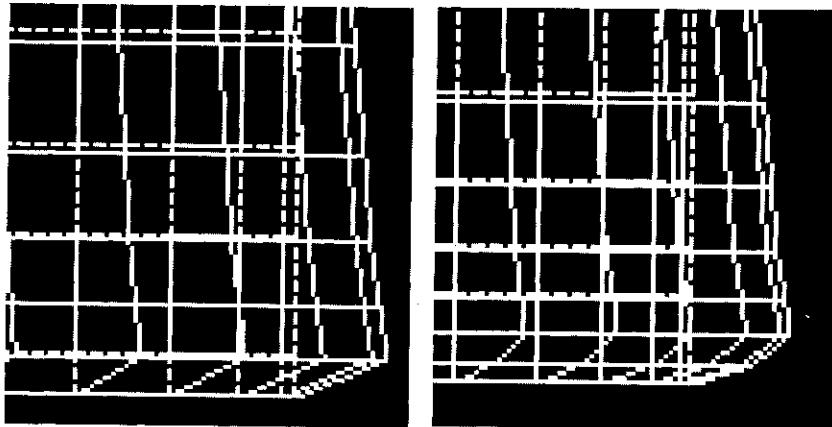
## DEFORMADA



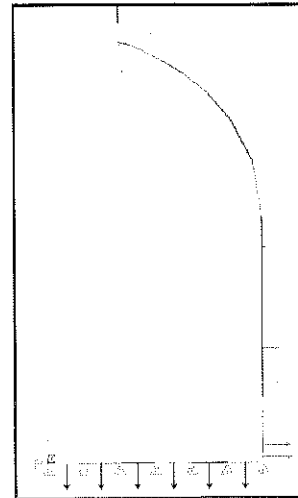
Deformada del depósito completo cuando se realizan 8 divisiones sobre el tramo cilíndrico.

**PLDISP,1**

Para obtener una mejor representación de la deformada debida a la flexión de las paredes del depósito en las proximidades de su base, basta con refinar la discretización en dicha zona. Puede verse como en la figura de la derecha la deformada se suaviza.



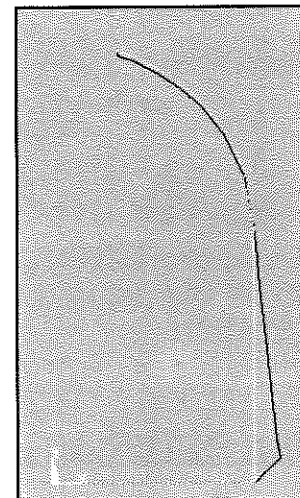
## ELEMENTO AXISIMÉTRICO



Modelo de elementos finitos utilizando elementos axisimétricos SHELL61.

Geometría, condiciones de contorno y cargas aplicadas

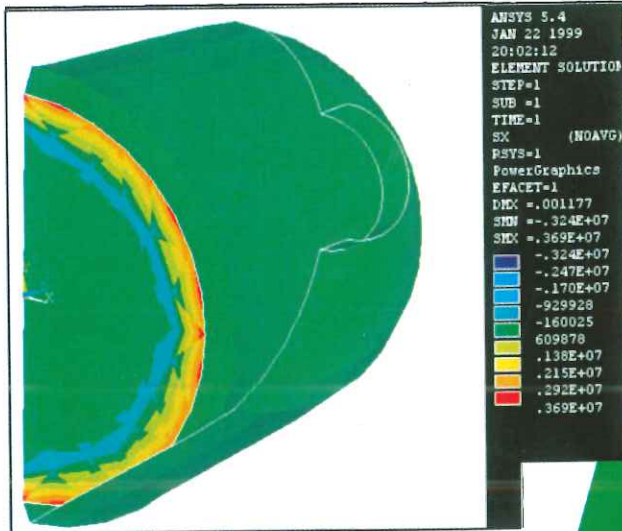
```
EPLLOT
/PBC,ALL,,1
/PSF,PRES,NORM,2
/REPLOTT
```



Deformada e indeformada

**PLDISP,1**

**TENSIONES RADIALES**

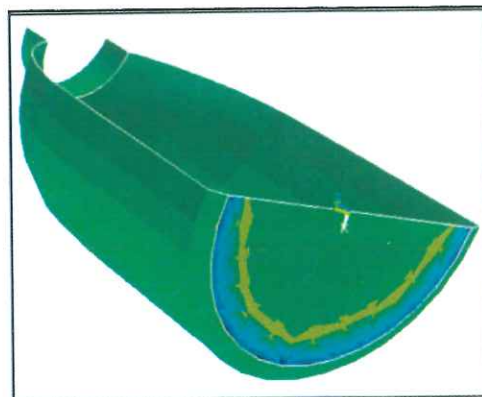


**CARA INTERIOR**

RSYS,1  
 PLESOL,S,X,0,1



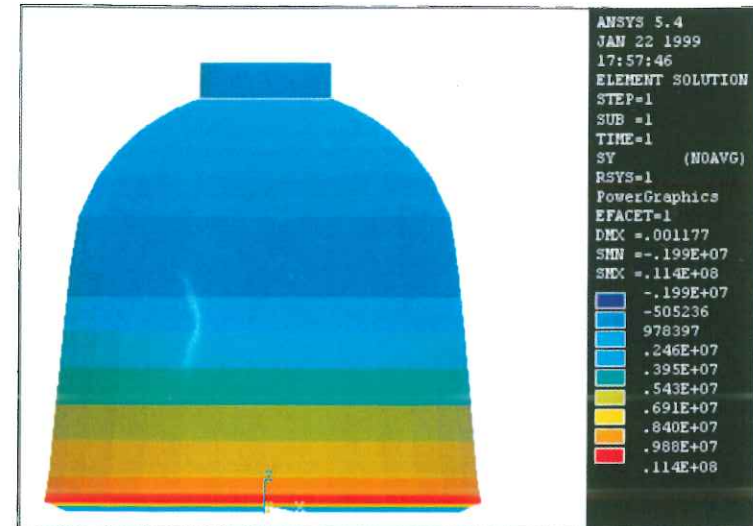
DETALLE DEL INTERIOR DEL DEPÓSITO



**CARA EXTERIOR**

**TENSIONES CIRCUNFERENCIALES**

**CARA EXTERIOR**



RSYS,1  
 PLESOL,S,Y,0,1



DETALLE DEL INTERIOR DEL DEPÓSITO