

## Análisis lineal de pórticos planos mediante el programa SAP 2000

### 1 \_ SAP 2000

Sap 2000 es un programa muy completo de análisis y dimensionado de estructuras. Cuenta con un exhaustivo tutorial que incluye ejemplos de cómo se calculan algunas estructuras estándar. Es aconsejable dedicarle unos minutos para ver otros procedimientos recogidos más allá de este pequeño manual, enfocado exclusivamente para facilitar el trabajo de los alumnos en el análisis lineal de pórticos planos.

### 2 \_ Versiones disponibles

Existen varias versiones de SAP 2000, con diferencias significativas entre algunas de ellas.

- **SAP 2000 v.6:** versión libre con limitación de 100 nudos. Utiliza el punto como símbolo decimal en lugar de la coma. Para lograr un buen funcionamiento de la misma será necesario cambiar la Configuración Local de Windows a través de **Panel de Control** → **Configuración Regional**, e intercambiar la coma por el punto. Cabe mencionar que esta versión no permite representar gráficamente envolventes de solicitaciones. Disponible en disquetes en el Centro de Cálculo [Carpeta Compartidos \ Utilidades].

- **SAP 2000 v.7:** Disponible en CD una versión educativa, con limitación de 30 nudos.

- **SAP 2000 v.8, v.9 y v.10:** versiones muy similares entre sí. La versión **SAP 2000 v.10** está disponible para el libre uso de los alumnos en el Aula de Estructuras del Centro de Cálculo de la ETSAM, con 20 licencias en red. El presente ejemplo se ha elaborado a partir de la versión **SAP 2000 v.9**. Las diferencias más significativas con las versiones 6 y 7 se han procurado recoger en las correspondientes llamadas (\*). No obstante, conviene mencionar que pueden aparecer pequeñas diferencias de terminología en los menús y submenús, dependiendo de la versión que se use.

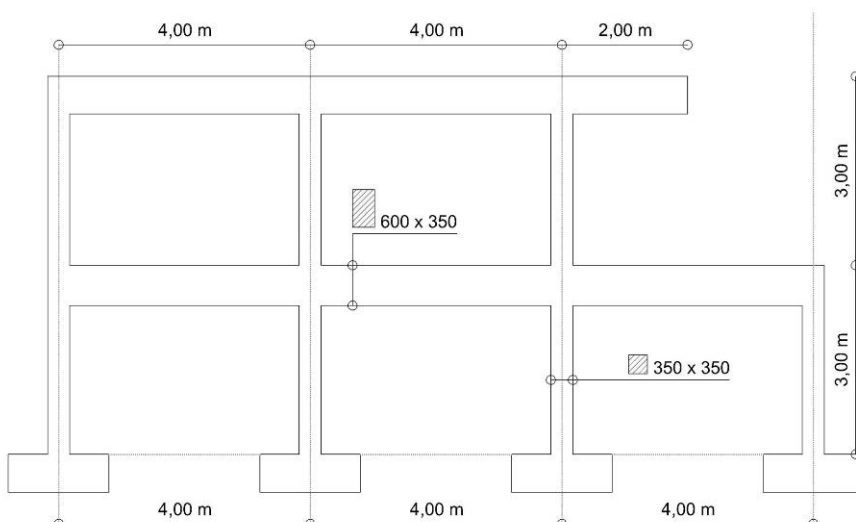
### EJEMPLO DESARROLLADO

Pórtico de hormigón armado con uso residencial de dos alturas de 3.00 m cada una, con 3 vanos de 4.00 m en planta primera, y 2 vanos de 4.00 m y un voladizo de 2.00 m en planta segunda. Todos los soportes son cuadrados de sección 350 x 350 [mm]. Ambas vigas son de canto, de sección 600 x 350 [mm].

Acciones sobre el pórtico en ambas plantas:

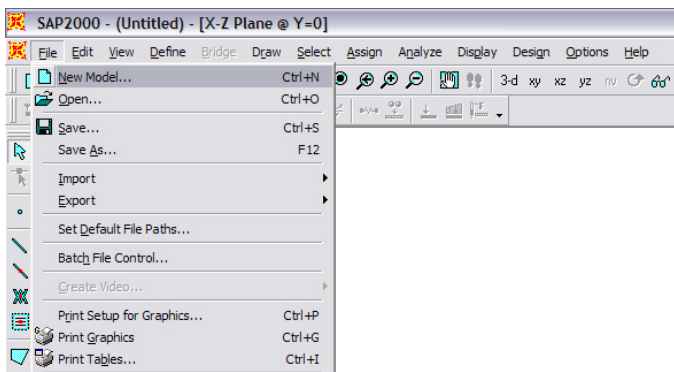
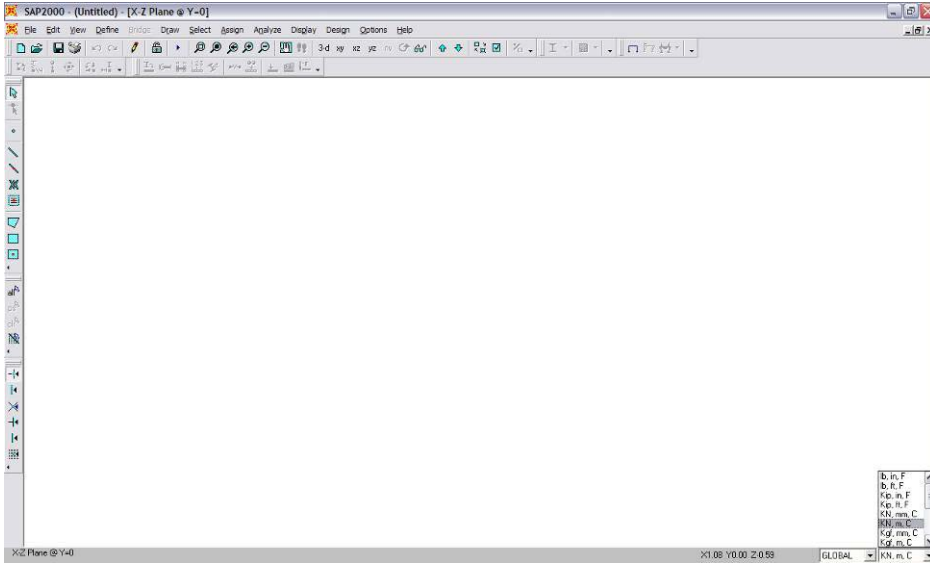
**Permanentes:** 50 kN/m  
**Variables:** 20 kN/m  
**Viento:** 12 kN

Control de ejecución de la estructura normal.



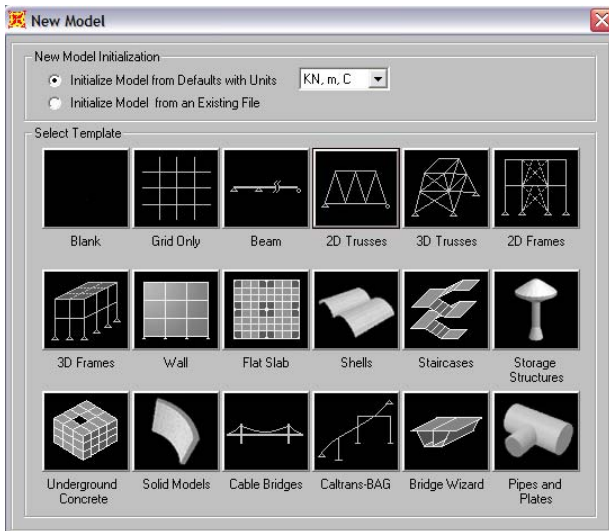
### 3 \_ Geometría de la estructura.

Una vez arrancado el programa, el primer paso consistirá en definir el sistema de unidades en el que se desea trabajar. En la parte inferior derecha de la pantalla aparece un listado desplegable en el que se pueden escoger. En este caso se elegirá la opción **KN, m, °C**.

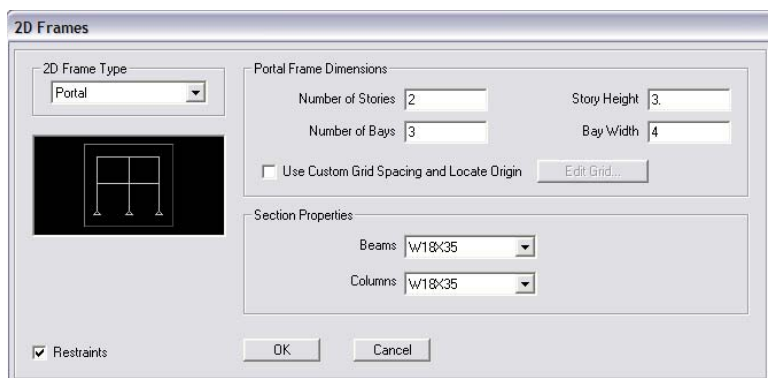


Seguidamente, se procederá a crear una nueva estructura. Para ello existen diversos métodos, pero para empezar lo haremos desde un modelo predefinido, a modo de plantilla. Para ello, basta elegir del menú **“File”** la opción **“New model...”** y seleccionar la opción de pórtico plano [2D Frames].

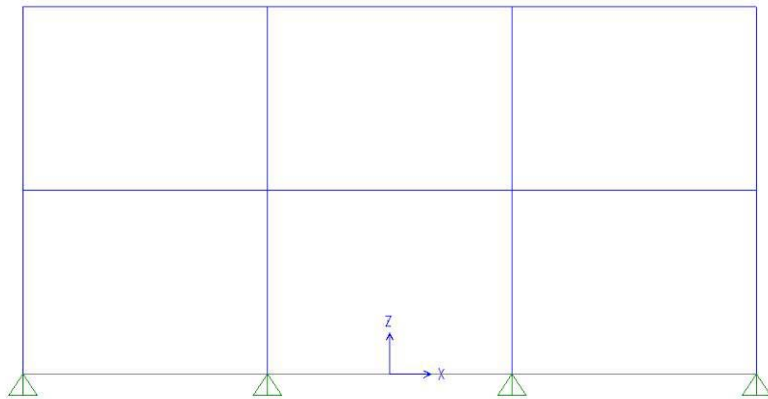
*\*A partir de la versión 8 en adelante es posible elegir el sistema de unidades también desde esta ventana.*



*\*En versiones antiguas [SAP 6/7], la opción a escoger deberá ser “File” → “New Model from Template...”*



En el cuadro de diálogo que aparece a continuación se introduce el número de plantas [Stories] y el número de vanos [Bays] del pórtico, así como la altura de aquéllas y la luz de éstos. En el ejemplo, se propone comenzar desde una plantilla con un pórtico de 2 plantas de 3 metros de altura, y 3 vanos de 4 metros de luz.

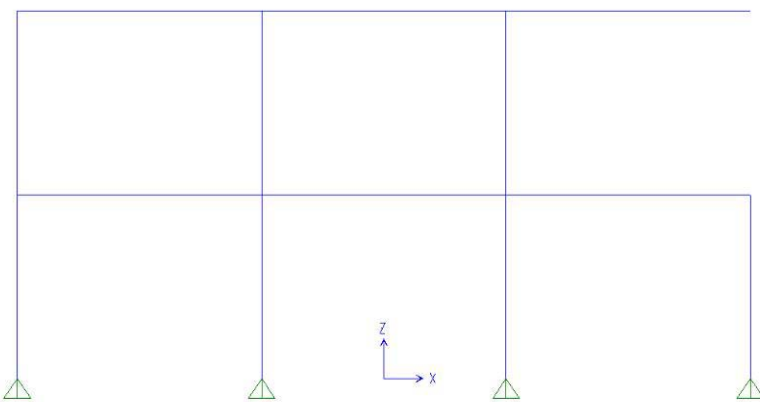


Tras pulsar “OK” se habrá generado un pórtico plano de tres vanos de 4 metros de luz y dos alturas de 3 metros cada una.

Este es un buen momento para grabar la estructura y asignarle un nombre al archivo.

Se procede a continuación a adaptar la estructura generada automáticamente, a la situación real de proyecto.

Para *eliminar una barra* se selecciona con el botón izquierdo y se pulsa la tecla suprimir. De este modo, se procede a suprimir el soporte extremo de la segunda planta.



Define Grid Data for GLOBAL Coordinate System

Edit Format

X Grid Data

Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	x1	-6.	Primary	Show	End
2	x2	-2.	Primary	Show	End
3	x3	2.	Primary	Show	End
4	x5	4.	Primary	Show	End
5	x4	6.	Primary	Show	End
6					
7					
8					

Y Grid Data

Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	y1	0.	Primary	Show	Start
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

Z Grid Data

Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	z1	0.	Primary	Show	End
2	z2	3.	Primary	Show	End
3	z3	6.	Primary	Show	End
4					
5					
6					
7					
8					

Units: KN, m, C

Display Grids as:  Ordinates  Spacing

Hide All Grid Lines

Glue to Grid Lines

Bubble Size: 1.25

Reset to Default Color

Reorder Ordinates

OK Cancel

A continuación, se introduce una *línea de malla* en medio del vano extremo derecho, y así se obtiene una referencia para introducir más adelante el *voladizo*:

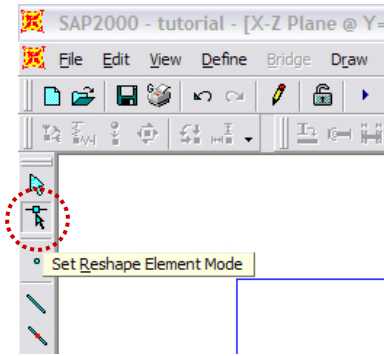
1. “Define → Coordinate Systems / Grids...”

2. Escoger GLOBAL \_ Modify/Show System

3. Se introduce la coordenada donde se desea añadir una línea de malla y se marca la opción “Glue to Grid Lines”

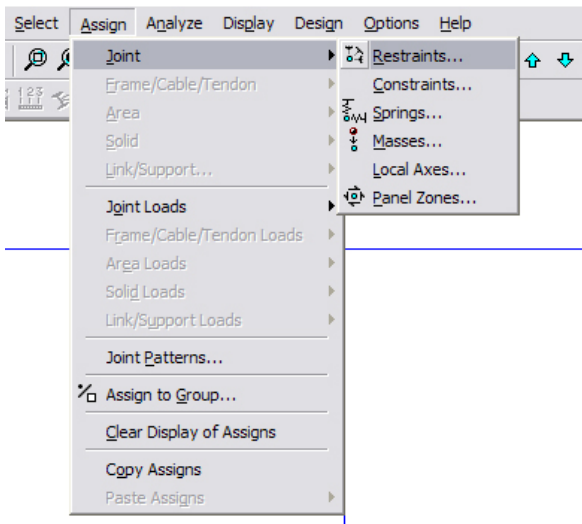
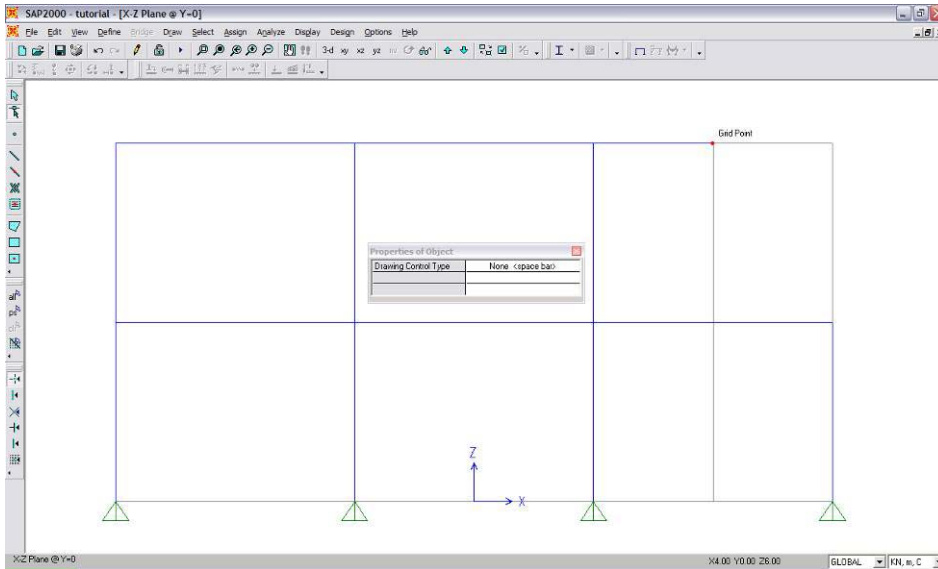
\*SAP 6/7: Draw -> Edit Grid

Nota: Las líneas de malla son meramente líneas auxiliares de apoyo; no tienen sentido estructural alguno



Para desplazar un nudo o una barra se emplea la herramienta **“reshape”**, localizada en la barra de herramientas izquierda [ver figura], o en el Menú **“Draw”**.

Se selecciona el nudo superior extremo, y se desplaza hasta la intersección de la malla con la coordenada  $x = 4$  [creada en el paso anterior].



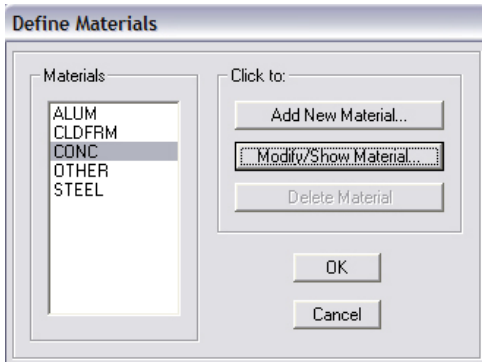
Por último, se definen las coacciones.

Para ello, se seleccionan los nudos en los que se han de definir [en el caso del pórtico plano del ejemplo se seleccionan los cuatro apoyos].

Para asignar las coacciones se abre el menú **“Assign”** → **“Joint”** → **“Restraints”** y se coartan los desplazamientos y giros que correspondan. También se puede escoger entre uno de los casos predefinidos.

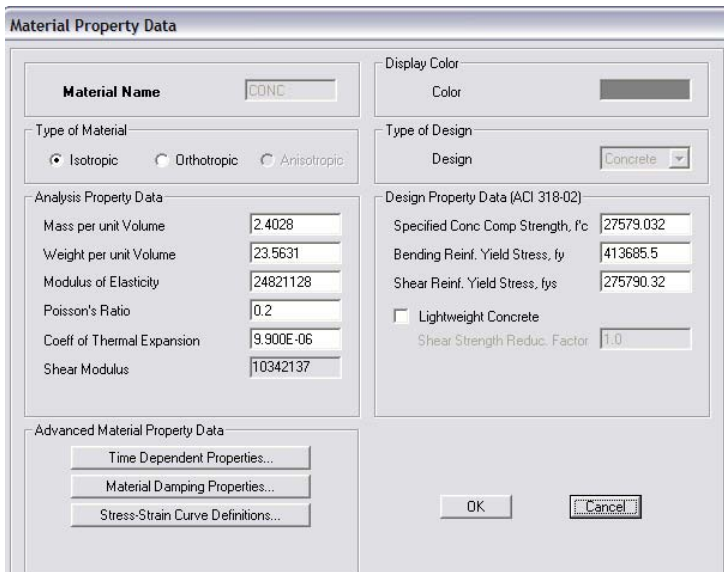
En este caso, se escoge el icono del empotramiento dentro de las **“Fast Restraints”** disponibles.





#### 4 \_ Definición de los materiales.

En el menú **“Define”** se encuentra la opción **“Materials”** que permite definir las propiedades físicas del material de la estructura. Por defecto se hallan definidos acero, hormigón y aluminio, pero pueden crearse nuevos materiales con las características que se deseen [opción **“Add New Material”**].

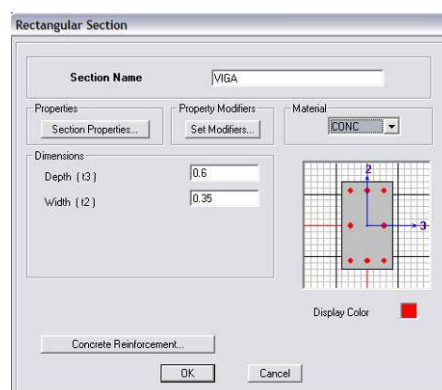
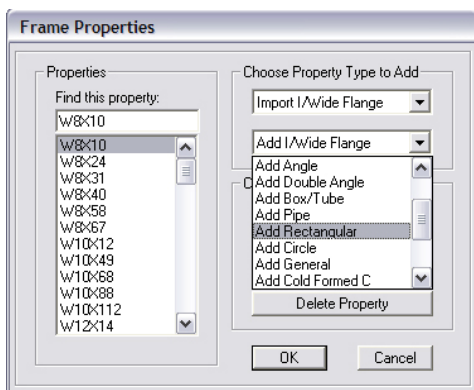


También pueden variarse las características de los materiales que aparecen por defecto [opción **“Modify/Show Material”**]

#### 5 \_ Definición y asignación de secciones de barras.

En el menú **“Define”** se encuentra la opción **“Frame Sections”**, que permite definir las diferentes secciones a emplear en la estructura.

Del menú desplegable inferior se escoge la opción **“Add Rectangular”** para añadir una nueva sección rectangular. Seguidamente se hace clic en el botón **“Add New Property...”**. [*Obviar este último paso si se trabaja con la versión SAP 6/7*]

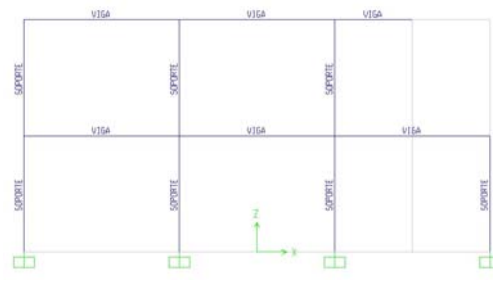
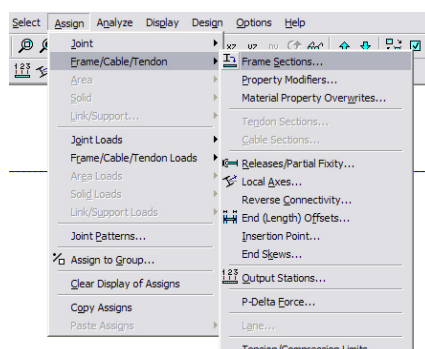


En este caso se añaden dos secciones:

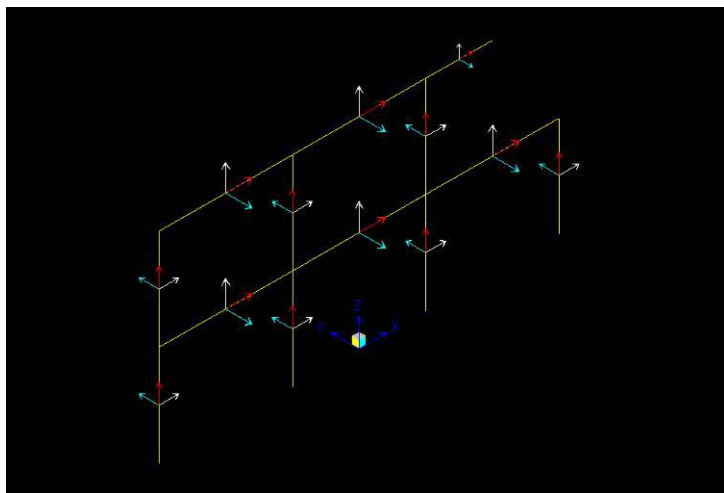
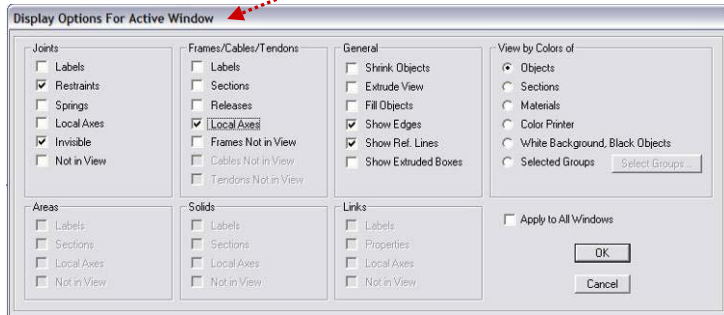
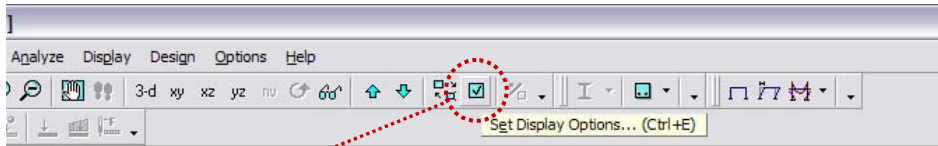
- **“VIGA”** de 600 mm de canto [depht] y 350 mm de ancho [width]
- **“SOPORTE”** de 350 mm de canto [depht] y 350 mm de ancho [width]

*Nota: Si se tienen dudas de cómo orientar correctamente una sección, léase el apartado 6 [Ejes locales y generales].*

No olvidar escoger siempre la opción correcta del menú desplegable **“Material”**. En este caso, **CONC**.



Para asignar a cada barra el tipo de sección que le corresponde, se seleccionan primero, y se escoge la opción **“Assign”** → **“Frame”** → **“Frame Sections...”**. Volverá a aparecer el cuadro de diálogo de las secciones y se optará por la correspondiente. Cada barra aparecerá con una leyenda que indica la sección asignada.



## 6 \_ Ejes generales y locales

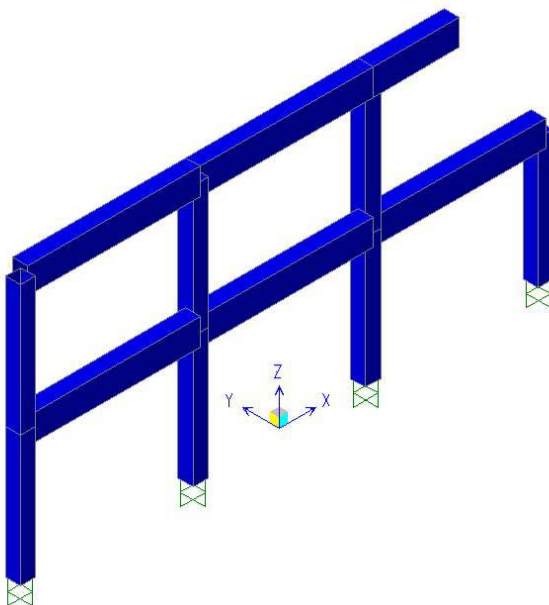
SAP distingue entre:

1. **Ejes generales**, que designa con las letras X, Y, y Z.
2. **Ejes locales de barra**, que designa con los números 1, 2 y 3.

Los ejes con respecto a los que se representarán las solicitaciones [por ejemplo, "Moment M3"] hacen referencia a los ejes locales de la barra.

Si se desea comprobar los mismos, se pincha el icono con un "tick" [cuadrado con aspa en versiones antiguas] situado en la barra de herramientas superior. Aparecerá un cuadro de diálogo donde se muestran algunas opciones para representar en pantalla. Entre ellas se encuentra la de mostrar los ejes locales para los elementos tipo barra [Frames/Cables/Tendons].

- **Eje local 1: Rojo.** Dirección de la barra.
- **Eje local 2: Blanco.** Dirección perpendicular a la de la barra, y contenida en el plano XZ global. Si la barra es perpendicular al plano XZ, la dirección del eje local 2 será la del eje Z global.
- **Eje local 3: Azul.** Dirección perpendicular al plano que forman los ejes locales 1 y 2.



Una forma intuitiva de ver si se han orientado correctamente las secciones, puede ser activar la casilla de "Extrude View" del menú Set Display Options [cuadrado con tick de la barra de herramientas superior], con lo que las barras se representarán con sus verdaderas dimensiones.

\*SAP 6/7 → La opción a escoger será "Show Extrusions", que se encuentra pinchando en el icono del cuadrado con el aspa, situado en la barra de herramientas superior.

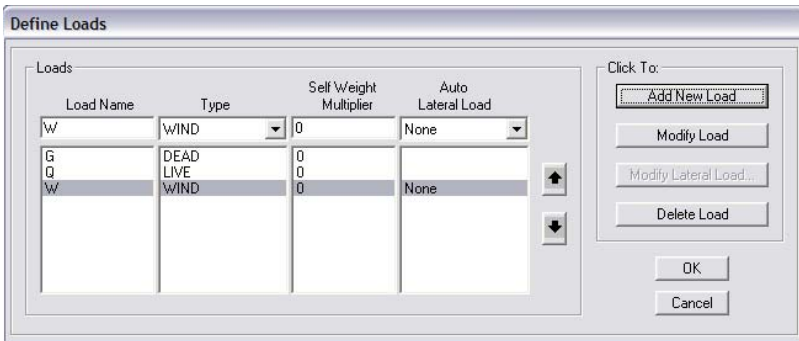
Nota: Puede cambiarse la vista a 3D pinchando en el icono 3D de la barra de herramientas superior. Para personalizar las opciones de vista 3D acceder al menú "View" → "Set 3D View"

## 7 \_ Definición de las hipótesis de carga.

Éstas se definen en el menú **"Define" → "Load Cases..."**.

Se propone añadir tres hipótesis de carga: G [Permanente], Q [Variable] y W [Viento].

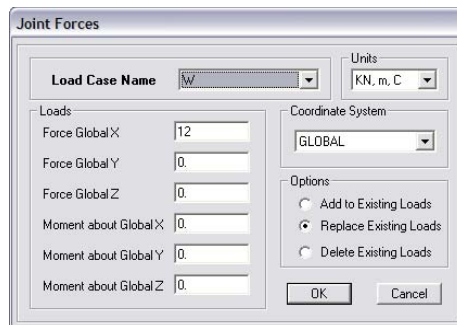
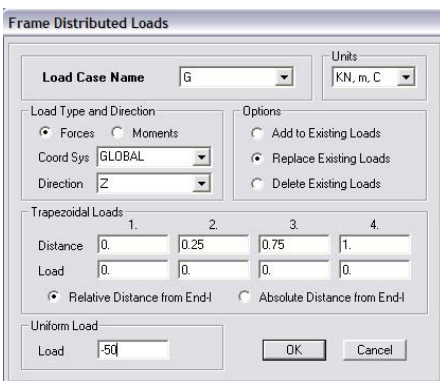
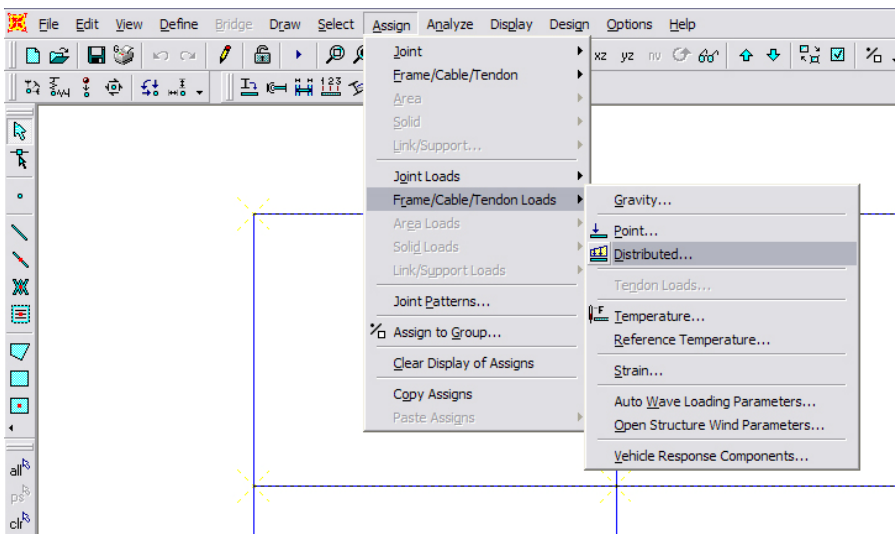
El coeficiente "Self weight Multiplier" indica si se tendrá en cuenta el peso propio de la estructura en cada hipótesis. Se propone definir como "0" en todas las hipótesis, de modo que al introducir el valor de la carga permanente, se deberá introducir expresamente el valor del peso propio.



## 8 \_ Asignación de los valores de las acciones.

Comenzando por las acciones en barras, se debe tener seleccionada la/s barra/s sobre las que se desea aplicar las acciones; se abre el menú **"Assign" → "Frame/Cable/Tendon Loads" → "Distributed..."**

\*En las versiones SAP 6/7, la opción será **"Assign" → "Frame Static Loads" → "Point and Uniform"**.

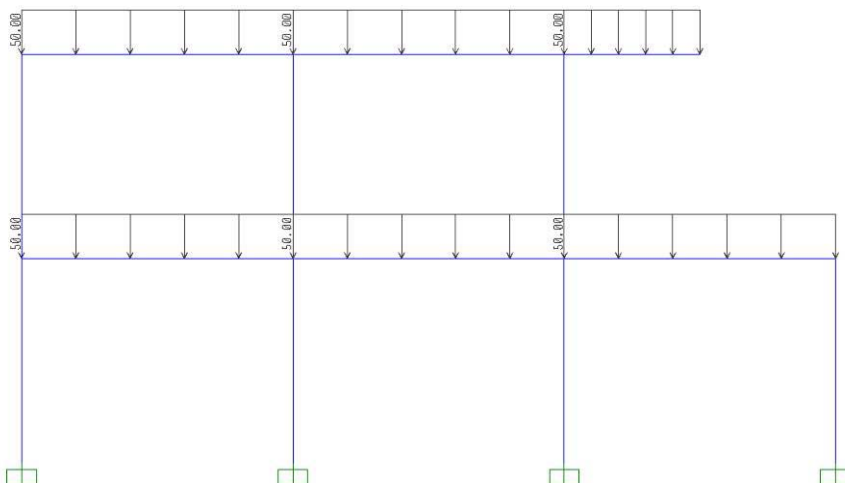


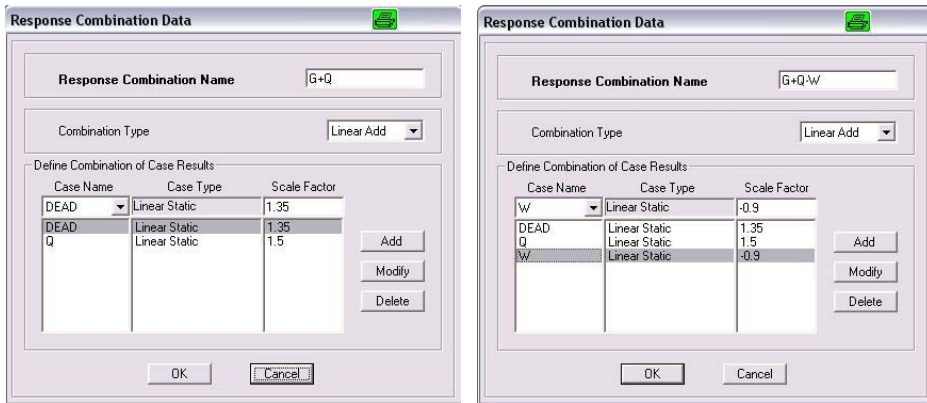
En el cuadro de diálogo que se abre se escoge la hipótesis de carga a la que pertenece la acción que se va a introducir, se selecciona el tipo de acción [fuerza o momento] y la dirección de aplicación. El Eje Global Z corresponde al modo habitual de introducir carga gravitatoria, con el signo '-' precediendo al valor. Debe prestarse atención a si la carga introducida se está añadiendo a las que ya existen, o si bien está reemplazando valores antiguos.

Se introducen consecutivamente los valores para cada barra y cada hipótesis simple de carga.

Para introducir una carga puntual en un nudo, se selecciona éste y se escoge **"Assign" → "Joint loads" → "Forces..."** y se procede como en las cargas uniformes.

*Nota: Pueden verse los datos que se llevan introducidos hasta el momento mediante las opciones del menú "Display"*

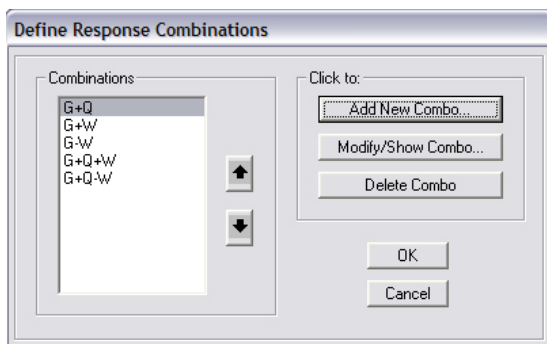




## 9 \_ Definición de las combinaciones de hipótesis.

En el menú **“Define”** → **“Combinations...”** se añaden tantas hipótesis de combinaciones de carga como se deseen. En el ejemplo se han añadido cinco combinaciones:

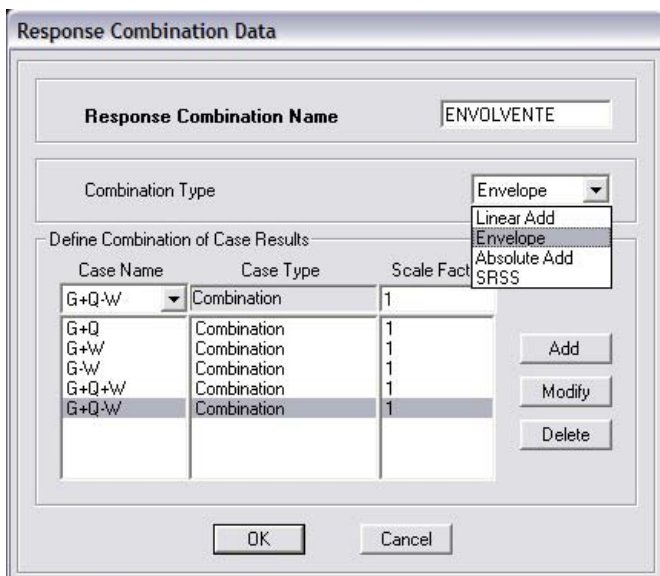
- permanente + variable
- permanente + viento
- permanente – viento
- permanente + variable + viento
- permanente + variable - viento



Como éstas son meramente combinaciones lineales, deberemos escoger en el desplegable la opción correspondiente a **“Linear Add”**.  
\*SAP 6 → Add”

Es en este momento cuando se introducen los coeficientes de mayoración de las acciones, según corresponda a cada hipótesis, con especial atención a las situaciones con acciones variables de distinto origen. [En este ejemplo se ha aplicado el criterio de Combinación de acciones del CTE DB SE]

## 10 \_ Envoltentes



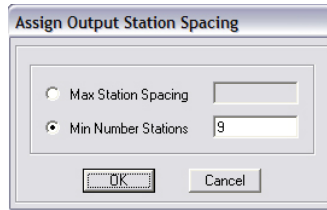
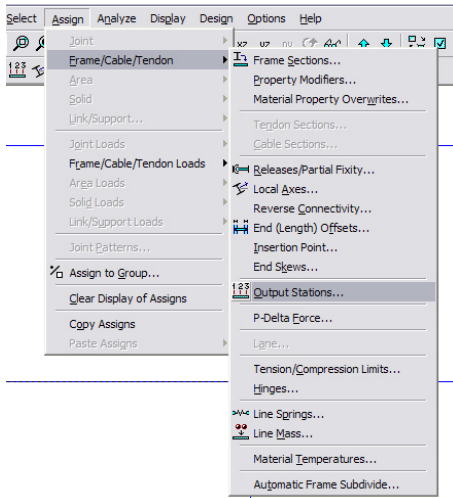
El programa SAP 2000 dispone de una opción que permite obtener el envoltente de esfuerzos, correspondiente a la peor hipótesis o combinación de acciones en cada sección de una barra.

Para ello, será necesario crear una nueva combinación, a la que se añadirán todos aquellos casos de carga [simples o combos] que vayan a entrar en la envoltente. En este caso se han añadido las 5 combinaciones creadas anteriormente.

En el desplegable correspondiente a *Combination Type*, debe especificarse la opción **Envelope**.

\*La versión SAP 6 sólo permitirá ver los resultados de la combinación ENVOLVENTE mediante listados, y no por pantalla.

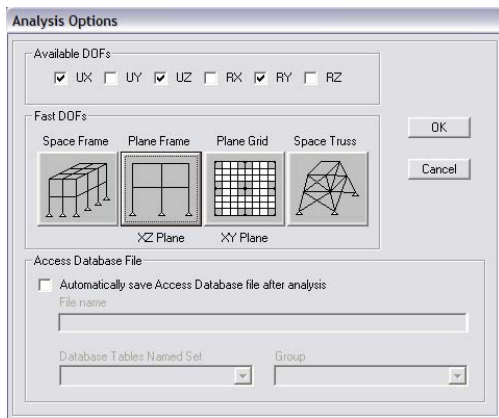




## 11 \_ Cálculo.

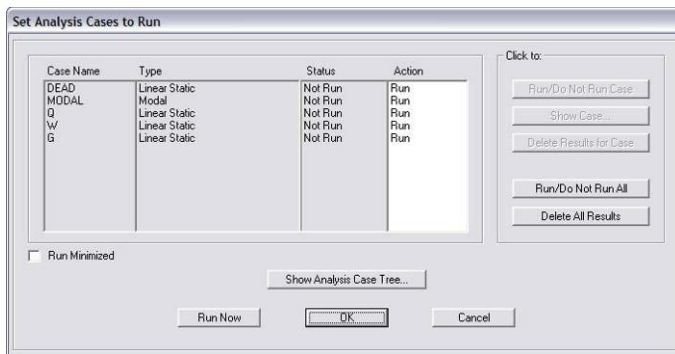
Antes de calcular, conviene saber que por defecto el programa divide cada barra en 9 tramos [ello provoca, por ejemplo, que gráficas de flectores correspondientes a cargas uniformes se representen con poligonales como si se tratara de cargas puntuales]. Si se desea que este número sea mayor en alguna de las barras se debe seleccionar la barra en cuestión y después, en **“Assign” → “Frame” → “Output Stations...”**, definir el número de segmentos a mostrar.

*\*En SAP 6/7 el número de segmentos por defecto es 4, y la opción a escoger será “Assign” → “Frame” → “Output Segments”*



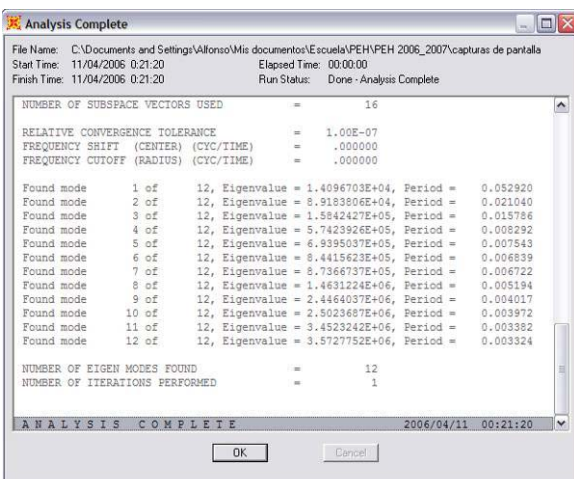
A continuación, se puede proseguir con el cálculo. En el menú **“Analyze”** se escoge el submenú **“Set Analysis Options”**.

Al tratarse de un pórtico plano, se puede escoger que el programa sólo calcule los elementos de la matriz de rigidez correspondientes a dicho caso, ahorrándose tiempo de cálculo y listados innecesarios. Se escoge, pues, el caso del pórtico plano.



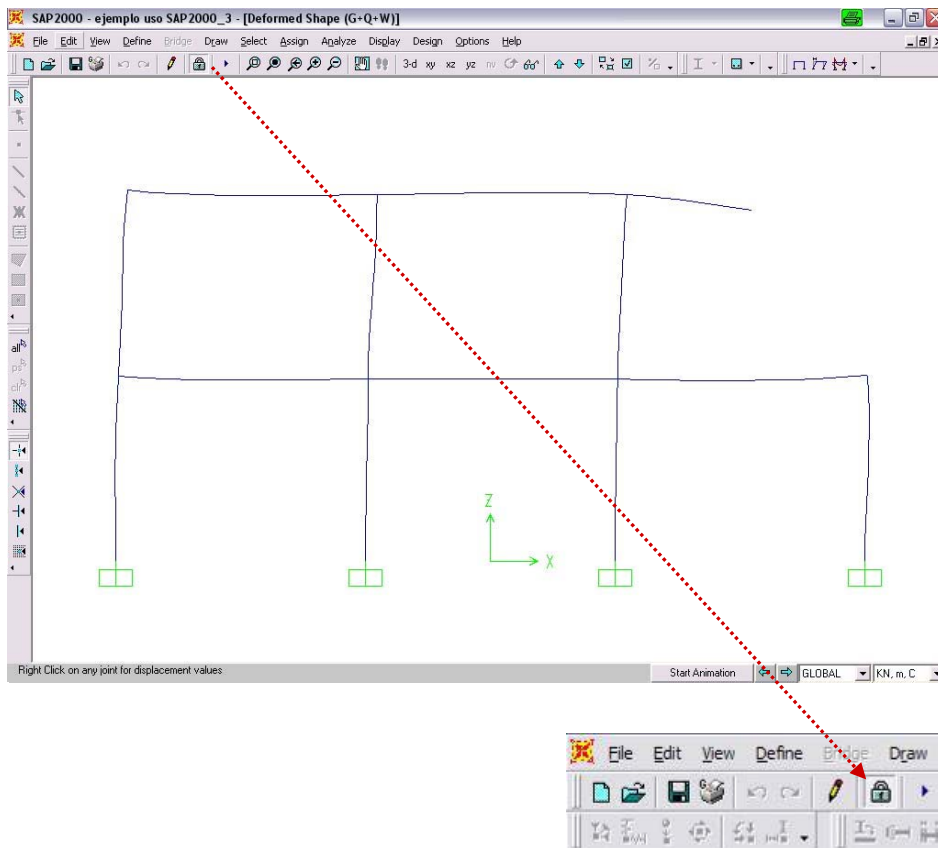
Hecho esto, se escoge del menú **“Analyze”** la opción **“Run”** o bien se pulsa F5 o el icono correspondiente de la barra de herramientas.

En las últimas versiones de SAP aparecerá un cuadro de diálogo con los casos a analizar. Una vez revisado, se procederá a pulsar sobre el botón **“Run Now”**, con lo que iniciaremos el proceso de cálculo del programa.



Al cabo de unos segundos se obtiene una información como la que aparece en la figura adjunta, informando del resultado del análisis y si han aparecido o no errores durante el proceso de cálculo.

A continuación se procede a pulsar OK, y se pasa a chequear los resultados del análisis.

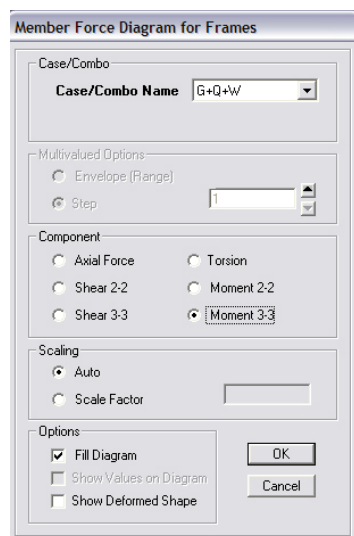


## 12 \_ Resultados.

Tras terminar el análisis, se obtiene una imagen de la estructura deformada [las deformaciones aparecen en esta ventana multiplicadas por un coeficiente para que sean apreciables].

Algo a tener en cuenta es que una vez la estructura ha sido calculada el icono de la barra de herramientas que representa un candado aparecerá cerrado. Ello significa que los datos de la estructura quedan bloqueados.

Si se desea introducir algún cambio [valores de acciones, geometría, coacciones, etc.] se debe pulsar este botón primero para desbloquear la estructura, con lo que el programa advertirá que todos los resultados obtenidos con los datos anteriores quedarán borrados en ese instante.

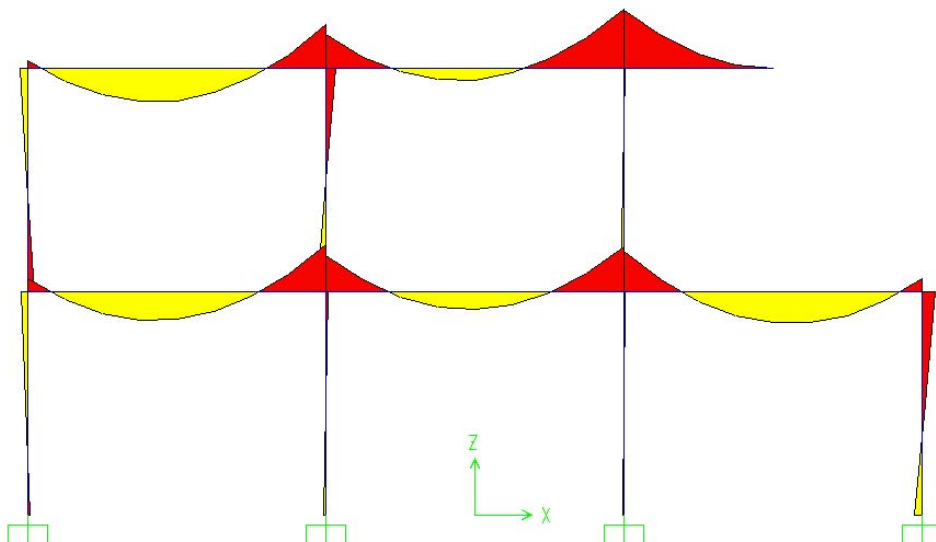


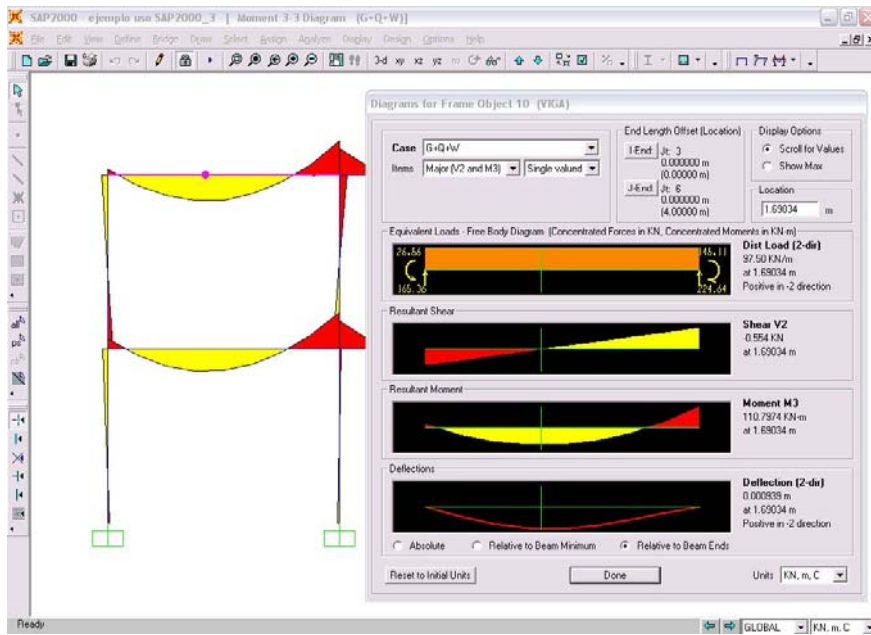
## 13 \_ Gráficas de solicitaciones

Para obtener las gráficas de solicitaciones de la estructura se emplea el menú "**Display**" → "**Show Forces/Stresses**" y se escoge el tipo de elemento en que queremos consultar los resultados: nudos [Joints] o barras [Frames]. También se puede pinchar sobre el icono correspondiente de la barra de herramientas superior. Al escoger la opción correspondiente a barras se obtiene un cuadro de diálogo como el de la figura.

Se escogerá la hipótesis de carga [simple o combinación] de la que se desea conocer los resultados, así como el tipo de esfuerzo deseado [Axiles, Cortantes o Momentos], obteniéndose una gráfica como la del ejemplo.

Si se desactiva la marca de verificación de "**Fill Diagram**" se mostrarán los valores numéricos más significativos sobre la gráfica.

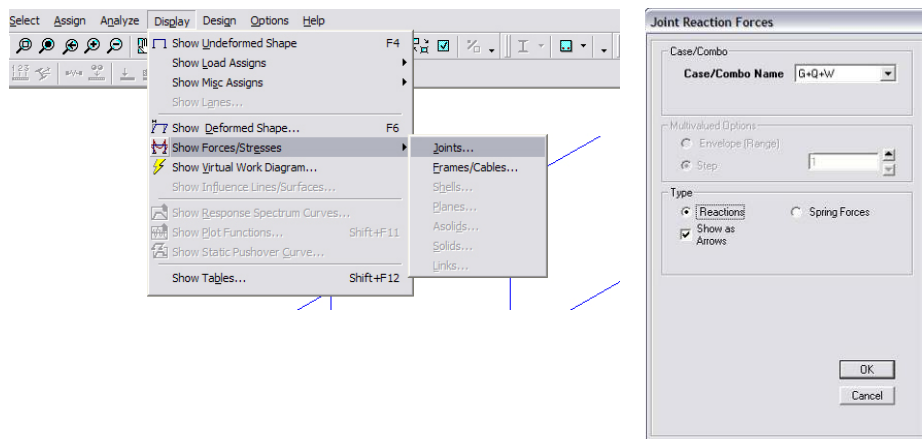




Pulsando con el botón derecho del ratón sobre una cualquiera de las barras se obtiene un detalle del esfuerzo que está representado sobre la gráfica.

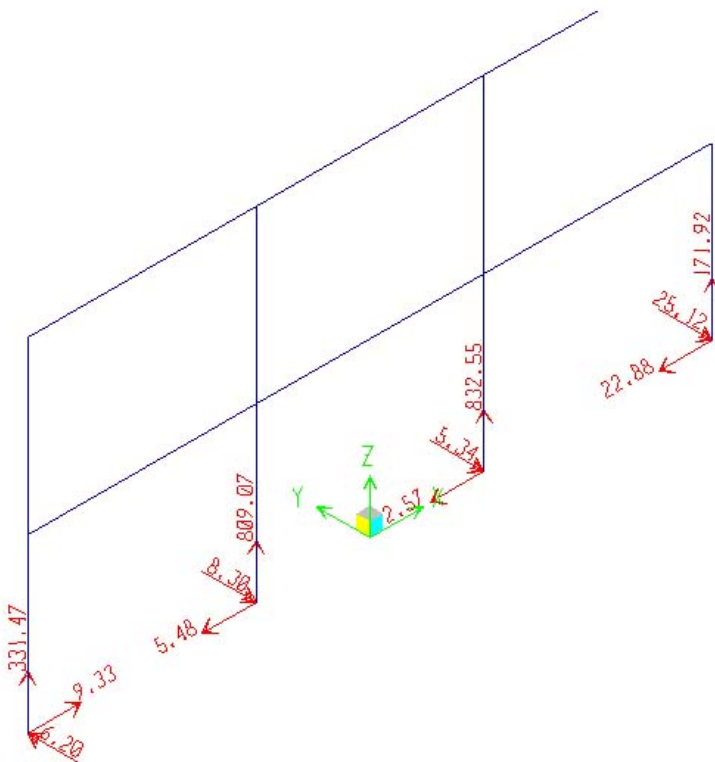
\*A partir de la versión 9 en adelante, se obtiene también información adicional. Por ejemplo, si se ha escogido la opción de momentos M3, se mostrará también la gráfica de cortantes asociado [V2], y la flecha en cada punto. Al desplazarse con el puntero sobre la barra se irá mostrando el valor de los esfuerzos y desplazamientos a lo largo de la misma.

## 14 \_ Reacciones en los apoyos.



En caso de escoger la opción **"Show Forces/Stresses"** → **"Joints"** pueden obtenerse las reacciones en los apoyos. En el cuadro de diálogo que aparece, bastará con escoger la hipótesis o combinación de carga deseada, seleccionar el tipo **"Reactions"** y activar la marca de verificación **"Show as Arrows"**

Los momentos en dichos apoyos aparecerán representados en forma de vector, indicado según la convención habitual el eje alrededor del cual se produce el momento y su sentido. Por ello no es posible ver dichos valores en una vista XZ, sino que se ha de escoger una perspectiva.

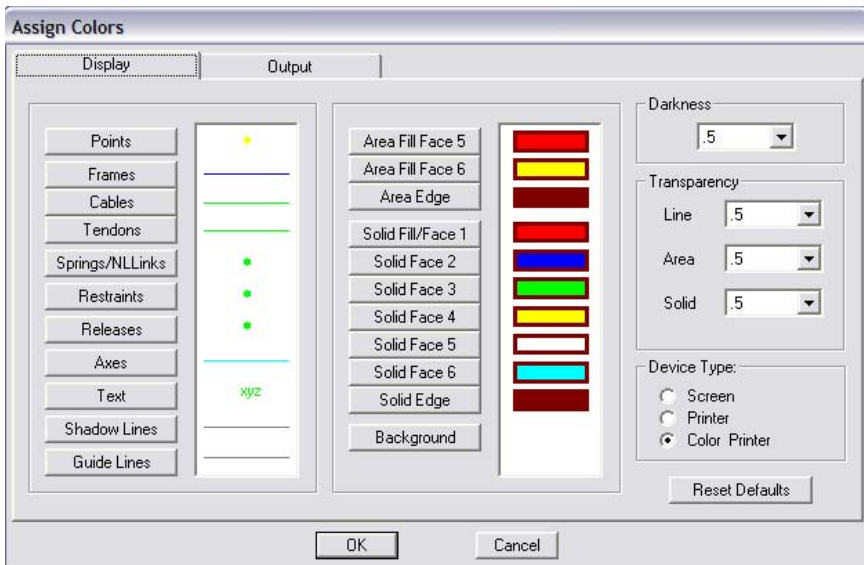
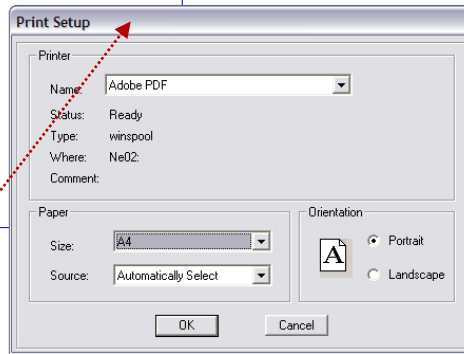
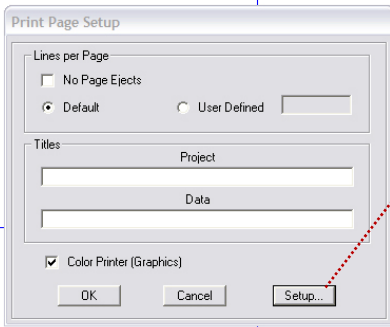
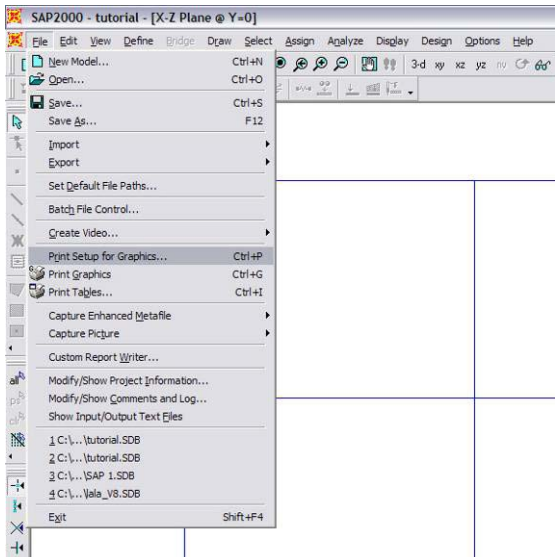


## 15 \_ Imprimir diagramas

Antes de imprimir, deben personalizarse las opciones de impresión desde el menú **"File" → "Print Setup for Graphics"**. Haciendo clic en el botón **"Setup"** aparecerá un nuevo cuadro de diálogo en el cual se podrá escoger la impresora, papel, orientación del mismo, etc.

Pueden modificarse también los colores de impresión desde el menú **"Options" → "Colors" → "Display"**. Las opciones de la pestaña **Display** hacen referencia a la representación de la estructura. Las opciones de la pestaña **Output** se refieren a la representación de los resultados [diagramas]. Para que las opciones elegidas resulten efectivas a la hora de imprimir, se debe activar la opción **"Color Printer"** en **Device Type** en ambas pestañas.

Finalmente, para imprimir lo que se muestra en pantalla, bastará con escoger la opción del menú **"File" → "Print Graphics"**.



## 16 \_ Listados.

En ocasiones es conveniente disponer de los listados de los resultados obtenidos en el análisis además de los gráficos en sí mismos. Para acceder a los listados se debe acceder al menú **"Display"** → **"Show Tables..."**.

Aparecerá entonces un cuadro de diálogo en el que se pueden escoger los listados deseados:

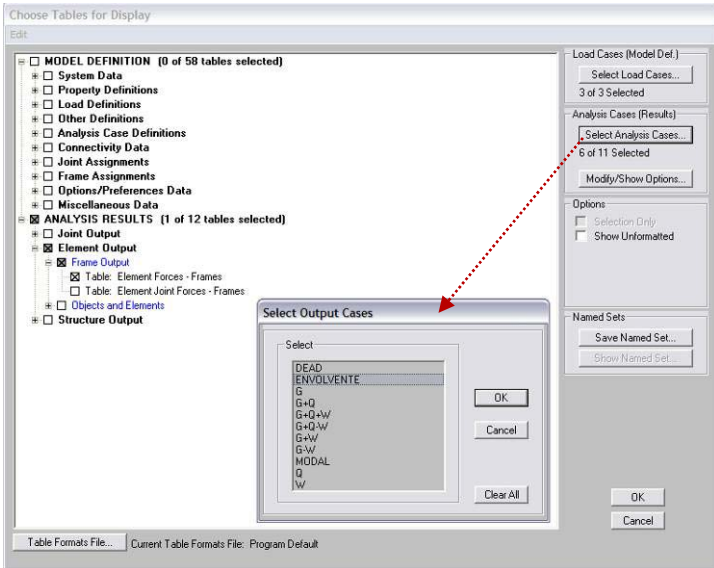
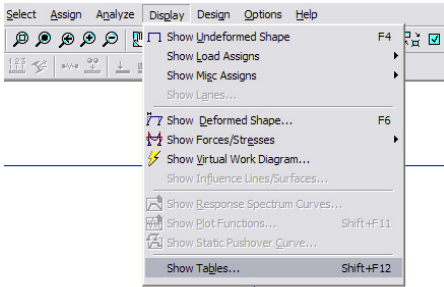
- Los listados correspondientes a **"Model Definition"** hacen referencia a los datos introducidos por el usuario para el cálculo. Conviene cotejar estos listados en busca de errores en los datos aportados [inercias, orientación de barras, materiales, etc.]
- Los listados correspondientes a **"Análisis Results"** comprenden todos aquellos datos, resultado del cálculo efectuado por el programa.

Pinchando sobre el botón **"Select Analysis Cases"** se pueden elegir además las hipótesis de carga a mostrar. Al hacer clic en OK, se visualizará un listado como el de la figura.

La información que aparece corresponde a: n° de barra [SAP asigna por defecto un número identificativo a cada barra], punto de la barra en el que se proporciona la información, hipótesis de carga y tipo de ésta, y por último el valor de las diferentes solicitaciones obtenidas.

Esta información puede imprimirse como archivo de texto, o bien exportarse a un archivo de Excel o Access. Para ello, consultar las opciones disponibles en el menú **"File"**. Desde el menú "File" de la ventana principal de SAP también se pueden imprimir los listados.

*\*En la versión SAP 6, se pueden consultar los listados pinchando sobre el icono en forma de tabla [extremo derecho de la barra de herramientas superior], y seguidamente con el botón derecho sobre cualquier elemento de la estructura. Para imprimir los listados, acudir a las opciones "Print Output Tables" y "Print Input Tables" del menú "File".*



Element Forces - Frames

File View Options Format

Units: As Noted

Frame Text	Station	Output Case Text	Case Type Text	Step Type Text	P KN	V2 KN	V3 KN	T KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m
1	0	ENVOLVENTE	Combination	Max	-222.918	-1.953	0	0	0	3.7095
1	1.5	ENVOLVENTE	Combination	Max	-222.918	-1.953	0	0	0	7.7923
1	3	ENVOLVENTE	Combination	Max	-222.918	-1.953	0	0	0	35.5637
1	0	ENVOLVENTE	Combination	Min	-344.93	-13.4	0	0	0	-23.6691
1	1.5	ENVOLVENTE	Combination	Min	-344.93	-13.4	0	0	0	-3.8355
1	3	ENVOLVENTE	Combination	Min	-344.93	-13.4	0	0	0	-8.3678
2	0	ENVOLVENTE	Combination	Max	-112.589	-8.138	0	0	0	-10.6987
2	1.5	ENVOLVENTE	Combination	Max	-112.589	-8.138	0	0	0	-3.2157
2	3	ENVOLVENTE	Combination	Max	-112.589	-8.138	0	0	0	36.1424
2	0	ENVOLVENTE	Combination	Min	-169.247	-21.884	0	0	0	-29.5111
2	1.5	ENVOLVENTE	Combination	Min	-169.247	-21.884	0	0	0	1.5087
2	3	ENVOLVENTE	Combination	Min	-169.247	-21.884	0	0	0	13.7161
3	0	ENVOLVENTE	Combination	Max	-556.942	9.329	0	0	0	14.3175
3	1.5	ENVOLVENTE	Combination	Max	-556.942	9.329	0	0	0	0.3242
3	3	ENVOLVENTE	Combination	Max	-556.942	9.329	0	0	0	13.7938
3	0	ENVOLVENTE	Combination	Min	-809.072	-9.602	0	0	0	-15.0121
3	1.5	ENVOLVENTE	Combination	Min	-809.072	-9.602	0	0	0	-0.6052
3	3	ENVOLVENTE	Combination	Min	-809.072	-9.602	0	0	0	-13.6691
4	0	ENVOLVENTE	Combination	Max	-275.133	21.182	0	0	0	30.4506
4	1.5	ENVOLVENTE	Combination	Max	-275.133	21.182	0	0	0	-0.4609
4	3	ENVOLVENTE	Combination	Max	-275.133	21.182	0	0	0	-7.6781

Record: 1 of 142

Element Forces - Frames

File View Options Format

Export Current Table

Display Current Table

Print Current Table as Text File

Export All Tables

Display All Tables

Print All Tables as Text File

Save Current Table Format to Table Formats File

Save All Table Formats to Table Formats File

Apply Format from File to Current Table

Apply Format from File to All Tables

Add Tables

Remove Current Table

Close Form

Case Type Text	Step Type Text
Combination	Max
Combination	Max
Combination	Max
Combination	Min
Combination	Min
Combination	Min
Combination	Min
Combination	Max
Combination	Min
Combination	Min
Combination	Min
Combination	Max
Combination	Max
Combination	Max

Record: 1 of 142