

Volumen

1

## INTRODUCCIÓN VISUAL A SAP2000

---

Introducción Visual a Sap2000

Manual en Español

# Introducción Visual a SAP2000

---

© Luis E. Suárez y Drianfel Vázquez

# Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO 1: VIGAS	
Ejemplo de Viga 1	9
Ejemplo de Viga 2	31
CAPÍTULO 2: ARMADURAS	
Ejemplo de Armaduras 1	42
Ejemplo de Armaduras 2	60
CAPÍTULO 3: MARCOS	
Ejemplo de MARCOS 1	70
Ejemplo de MARCOS 2 (Paredes de Cargas)	87
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DINÁMICO	
Ejemplo de Análisis Dinámico 1	100
Ejemplo de Análisis Dinámico 2	112
CAPÍTULO 5: ESPECTRO DE RESPUESTA	
Ejemplo de Análisis de Espectro de Respuesta	127

## Nota Importante

Este texto tiene sólo una función didáctica como apoyo a los cursos universitarios y seminarios de educación continuada de análisis estructural. No pretende convertir al lector en un ingeniero estructural ni suplir la experiencia práctica. Aunque los ejercicios y ejemplos han sido verificados en diversas ocasiones, no se garantiza que estén totalmente libres de errores. Los usuarios son totalmente responsables por el buen uso del programa y los autores no asumen ninguna responsabilidad por el uso incorrecto del mismo.

## Introducción :

# Sobre el uso de programas de análisis estructural - SAP2000

El enfoque de la enseñanza del análisis estructural está cambiando en forma acelerada debido a la profusión del uso y disponibilidad de la computadora. Los costos cada vez más bajos y la capacidad de cálculo siempre creciente han tenido, como era de esperar, un efecto positivo en los programas para el análisis de estructuras. El número y variedad de programas para el análisis y diseño de estructuras ha crecido al mismo ritmo que se han desarrollado las computadoras. Es muy probable que alguno o incluso varios de los programas tales como SAP2000, ETABS, VisualAnalysis, STAAD/Pro, RISA, GT-Strudl, WinStrudl, RAM, Robot, LARSA, 3D+, RSTAB y otros, se encuentren hoy en día en todas las oficinas de cálculo y diseño.

A tono con los tiempos, el grupo de docentes del área de Estructuras del Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura del Recinto Universitario de Mayagüez de la Universidad de Puerto Rico, ha implementado y sigue considerando cambios en el contenido de sus cursos de análisis y diseño. Se han eliminado algunos de los llamados “métodos clásicos” del análisis estructural, aptos para resolver “a mano” estructuras simples. Esto se hizo principalmente para poder dar énfasis a los “métodos modernos”, que se basan en la resolución de los problemas mediante una herramienta computacional. En particular, se está poniendo más énfasis en los cursos de análisis de pregrado en el método de rigidez matricial. Para que los estudiantes puedan resolver estructuras más realistas que aquellas muy simples que se pueden resolver a mano, se decidió adoptar un programa de computadora común para todos los cursos de estructuras, tanto de nivel subgraduado como de nivel de postgrado. Los cambios tecnológicos en la educación en general y en ingeniería estructural son inevitables e irreversibles y no tiene sentido oponerse a ellos; por el contrario deberíamos aceptarlos y adoptarlos en forma juiciosa e inteligente. Los estudiantes actuales han nacido y crecido sumergidos en la era de la informática y en general se sienten muy cómodos con el manejo de las computadoras. Es por

lo tanto lógico y razonable aprovechar esta coyuntura para mejorar su formación técnica.

Luego de intercambiar opiniones y experiencias entre todos los docentes del área de Estructuras, se decidió en forma unánime adoptar para uso en nuestros cursos el programa de análisis estructural SAP2000. Es importante destacar que al adoptar este programa, de ninguna manera se le está restando importancia o emitiendo juicio alguno sobre otros programas similares como ETABS. Los programas antes citados son todos muy poderosos y confiables. En la decisión de la adopción de un programa en particular influyen muchos factores, algunos técnicos y otros no técnicos. Entre estos últimos se encuentran como la familiaridad de los usuarios con algunos de los productos, la disponibilidad de versiones estudiantiles, el precio para uso académico y privado, etcétera. En nuestro caso, además de los factores citados, queríamos una herramienta que fuera de uso relativamente sencillo, muy usada en la práctica, que tuviera la posibilidad de ser aplicada para diseño, que tuviera la capacidad de analizar estructuras distintas de las de barras (como placas y cáscaras), que fuese reconocida por sus cualidades para el análisis dinámico, muy especialmente para cargas sísmicas, que fuera puesto al día y mejorado en forma continua, y que fuera producido por una compañía bien establecida y de excelente reputación. El programa SAP2000, desarrollado y comercializado por la compañía Computers & Structures, Inc. de Berkeley, California, reúne estas condiciones y por consiguiente fue la opción favorecida.

Aunque no es el objetivo de esta introducción, es necesario hacer una aclaración sobre el uso (y abuso) de los programas de análisis estructural. Como se tendrá oportunidad de apreciar más adelante, es posible para un usuario crear un modelo de una estructura relativamente complicada y analizarla para distintas condiciones de carga con mucha facilidad y con conocimientos mínimos del tema. Sin embargo, esto puede traer consecuencias muy negativas, e inclusive catastróficas. Como todo profesional o docente con experiencia sabe, es imposible (y peligroso) sustituir la experiencia y los años de estudio con una computadora. Es harto conocido el adagio en inglés: “garbage-in, garbage-out”. En otras palabras, los resultados que arroja un programa de computadora son tan malos (o buenos...) como los datos que se le ingresan.

Definitivamente hay muchas ventajas en el uso de esta herramienta de cálculo en ingeniería estructural. El uso de la computadora permite optimizar el diseño al ser factible considerar diversos sistemas estructurales, geometrías o secciones para una misma estructura en un tiempo razonable. También se puede aumentar la confiabilidad estructural al poder considerarse con relativa facilidad diversos escenarios o combinaciones de cargas más allá de las mínimas requeridas por un código. El mismo objetivo se logra al acercar más el modelo analítico a la estructura real haciéndolo más sofisticado y detallado (por ejemplo, considerando efectos tridimensionales, etc.). Al reducirse el tiempo para el

análisis y diseño, la eficiencia y por ende la competitividad de una empresa de ingeniería se ve beneficiada. En última instancia, el poder prestar menos tiempo a estas tareas, en cierta forma mecánicas, permite dedicarle más tiempo a actividades más creativas, o porqué no, a mejorar la calidad de vida aumentando las horas de recreación y contacto familiar.

Todo esto es posible mediante el uso de programas profesionales para el análisis estructural. Lo que **no** es posible sustituir mediante una computadora es el esfuerzo detrás de años de estudio y el buen juicio ingenieril. Por lo tanto, nuestra filosofía básica en la enseñanza del arte y la ciencia de la ingeniería estructural no ha cambiado. Todo estudiante debe aprender en el salón de clase y entender claramente las suposiciones y simplificaciones que se hacen al crear un modelo, o en el método de cálculo. Debe ser capaz de reproducir a mano lo que la computadora puede hacer para una estructura simple, incluyendo los famosos diagramas de fuerzas y momentos internos. Debe ser capaz de determinar si los resultados del análisis, ya sea a mano o automático, tienen sentido o no. Debe conocer la metodología y ser capaz de calcular las cargas (muertas, vivas, viento terremoto, etc.) para el análisis de la estructura. Debe conocer las diferencias entre los distintos sistemas estructurales y cómo éstos trabajan. Sólo una vez que domina estos aspectos (y tal vez uno que otro no citado), el estudiante o profesional está capacitado para usar en forma exitosa y productiva una herramienta tan poderosa como SAP2000.

## Sobre las convenciones y alcances de estas notas

**S**AP2000 se basa en un programa escrito en FORTRAN inicialmente desarrollado a comienzos de los años setenta por el Dr. Edward L. Wilson, actualmente profesor emérito de ingeniería civil de la Universidad de California en Berkeley. El programa se llamaba originalmente SAP IV por las siglas en inglés de Structural Analysis Program (Programa de Análisis Estructural).

Como el programa SAP2000 ha sido desarrollado en California, obviamente está implementado en inglés. Al momento de desarrollar estas notas no había una versión en español o castellano. Por lo tanto, una de las primeras decisiones que debimos tomar es si se traducían todos los términos del inglés que aparecen al

explicar el uso del programa. Por ejemplo, un término frecuente es el de “*toolbar*” para designar un conjunto de utilidades para la creación o modificación del modelo estructural. ¿Es “caja de herramientas” un término más apropiado? La decisión que se tomó es traducir todos los términos posibles, con algunas excepciones. En cada caso, en el texto se usa la palabra o frase que consideramos más práctica y que no genere confusión al usuario, en especial al leer los manuales en inglés o al usar las ayudas que tiene incorporadas el programa. Pedimos disculpas por adelantado a los usuarios que pueden sentirse molestos por alguna que otra mezcla de inglés y español, o para quienes mantener la pureza de un idioma es importante.

Existen en la actualidad 4 versiones de SAP2000, conocidas como “*Standard*”, “*Plus*”, “*Nonlinear*” y “*Advanced*” en orden creciente de capacidad. Para correr los ejemplos que se presentan en este manual basta con la versión “*Standard*”.

Al igual que la abrumadora mayoría de los programas de análisis estructural disponibles en forma comercial, el programa SAP2000 está basado en el método de rigidez matricial. No obstante, esto es transparente para el usuario. En ningún momento durante el uso del programa se requiere conocer los detalles de este método, aunque es muy recomendable conocerlo para apreciar mejor las capacidades y limitaciones de SAP2000.

Los dos últimos capítulos de este manual cubren el análisis dinámico de estructuras. El análisis de estructuras bajo cargas dinámicas requiere de conocimientos más especializados que el caso de cargas estáticas. Por lo tanto, en estos dos capítulos se supone que el lector tiene algunos conocimientos de Dinámica de Estructuras; por ejemplo se asume que se tiene familiaridad con el concepto de frecuencias y periodos naturales, modos de vibración, amortiguamiento modal, espectros de respuesta.

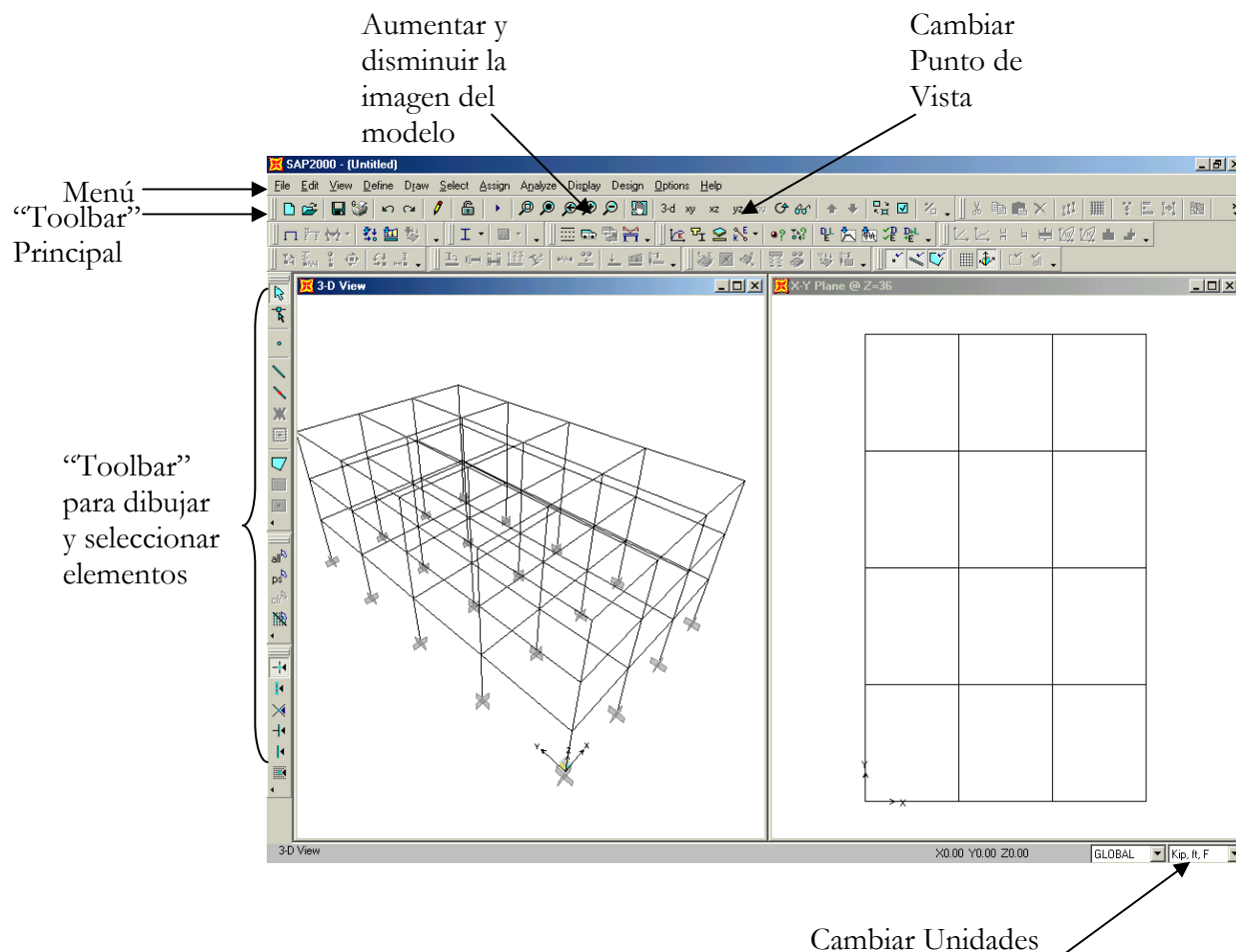
SAP2000 tiene, por lo general, más de una manera de lograr un determinado objetivo. Por ejemplo, hay tres maneras de seleccionar todos los elementos de una estructura: usando el comando *Ctrl+A* de Windows, usando un menú y submenú, o usando un icono o botón. Aunque a través de los distintos ejemplos en los capítulos se le presentan al lector todas estas múltiples opciones, el uso de una u otra es una cuestión de gusto personal.

Por último, es importante destacar que la mejor manera de aprender SAP2000 es experimentando por sí mismo. Este texto no explora o considera todas las numerosas opciones y herramientas del programa. Además es más que probable que futuras versiones de SAP incorporen nuevas opciones. Es posible aprender a usar el programa explorando por sí sólo. Este manual tiene por objetivo disminuir el tiempo de aprendizaje y hacer más fácil y menos frustrante la tarea, a través de compartir la experiencia de los autores con esta herramienta de cálculo.



En un futuro próximo se está planificando incorporar a este manual herramientas de análisis de SAP200 más especializadas, como por ejemplo el método del empuje lateral (“Pushover method”), análisis de placas y estructuras en estado de esfuerzos o deformaciones planas, estructuras con elementos no lineales localizados, etcétera.

# La Pantalla Principal



En la figura anterior se presenta la **pantalla principal** de SAP2000. En la parte superior aparece el **menú principal** y por debajo del mismo el **“toolbar” principal** (o la caja de herramientas). El **“toolbar” principal** provee acceso rápido y directo a las operaciones más comúnmente utilizadas en el programa. Estas operaciones también pueden realizarse mediante el menú principal. En el **menú principal** se hallan todas las operaciones que se encuentran en el “toolbar” principal y otras que no se encuentran en el mismo. Algunas de las opciones más utilizadas en este “toolbar” principal son las de aumentar y disminuir el tamaño de los modelos (“Zoom”) y las opciones de cambio de puntos de vista de bidimensional a tridimensional.

En la parte izquierda de la pantalla se encuentra el **“toolbar” lateral**. Éste se utiliza mayormente para utilizar las operaciones de crear, seleccionar y modificar los

distintos tipos de elementos que utiliza el programa. En la parte inferior derecha se presenta la **caja de unidades**. En esta caja se puede seleccionar y cambiar las unidades que en determinado momento se están usando para la creación del modelo o en las unidades que se están empleando para ver los resultados. Durante el transcurso de este manual nos referiremos a estas herramientas con los nombres mencionados en esta introducción y se describirán cada una de las operaciones que hacen los mismos.

## Usuarios

Este documento presume que los usuarios del programa SAP2000 están familiarizados con el sistema operativo “Windows”. Además se presume que las personas que lo van a utilizar tienen conocimientos básicos de cursos tales como Estática, Mecánica (o Resistencia) de Materiales, y al menos un curso básico de Análisis Estructural. Para entender mejor los Capítulos 4 y 5 se requieren conocimientos de Dinámica Estructural o Vibraciones. Aspectos y terminologías relacionadas a estas áreas son constantemente utilizados en el transcurso del documento.

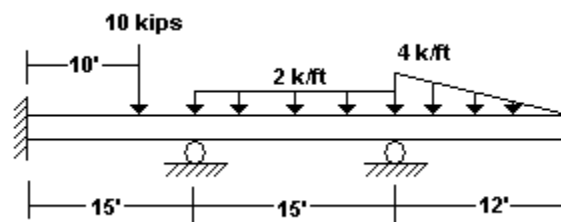
## Abreviaciones

BD → Presionar el botón de la derecha del ratón (“mouse”)

BI → Presionar el botón de la izquierda del ratón (“mouse”)

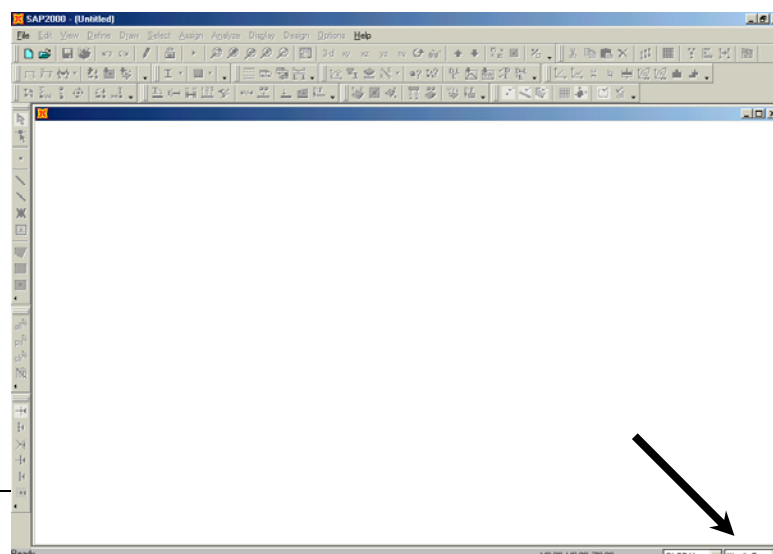
## Ejemplo de Vigas 1

Descripción del Problema: El ejemplo a resolver consiste de una viga de tres luces con un extremo fijo, dos soportes internos tipo rodillo (“roller”) y el otro extremo libre. Las propiedades de los materiales a utilizar son  $E = 3,120 \text{ ksi}$ ,  $I = 1,500 \text{ in}^4$  y la geometría que se muestra en la figura a continuación.

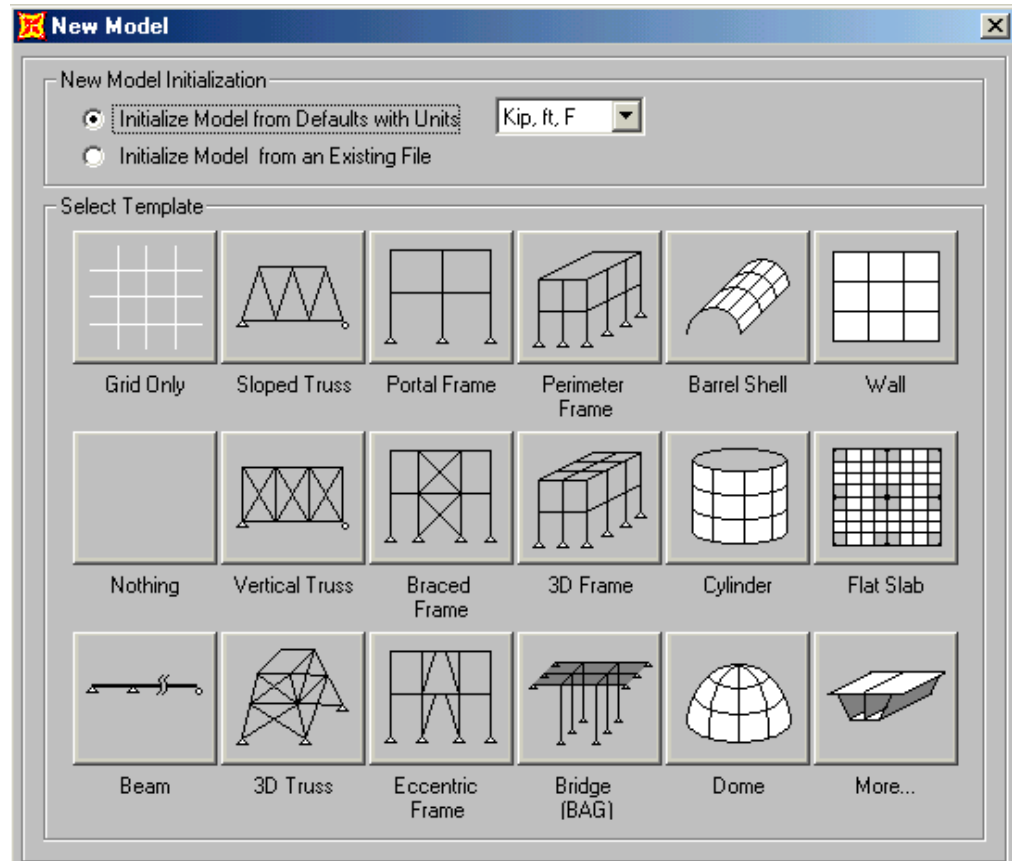


Solución:

Paso 1 [Definir Unidades]: Ejecute el programa SAP2000. Seleccione las unidades iniciales en las que desea trabajar. Esta opción se encuentra en la parte inferior derecha de la pantalla principal de SAP2000, como se muestra a continuación. Seleccione  de la caja de opciones (“combo box”).




Paso 2 [Selección del modelo]: Del menú principal (parte superior), abriendo la opción de “File” seleccione “New Model from Template ...”. Esta acción lo llevará a la ventana de “Model Templates” que se muestra a continuación.



#### Nota:

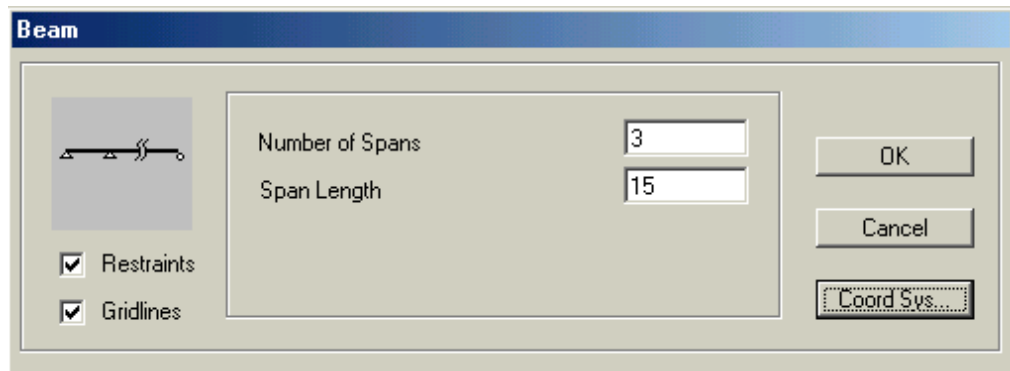
Los “Templates”, en orden de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo significan, en inglés: Beams, Portal Frames, Braced Frames, Shear Walls, Cylinder, Eccentric Frame, Space Frame, Perimeter Frame, Barrel, Dome, Sloped Truss, Vertical Truss, Space Truss, Floor y Bridge. Estos son formatos que facilitan la definición de la geometría de la estructura que queremos analizar.

Seleccione el primer “Template”: “beam”, con el BI. Esto lo conducirá a la siguiente ventana o pantalla. Escriba 3 y 15 en las cajas de texto (“text box”) de “Number of Spans” (número de tramos) y “Span Length” (longitud del tramo), respectivamente. Seleccione OK. Esto lo conducirá a la pantalla principal de SAP2000, la cual tiene por omisión (“default”) dos ventanas principales: una en 3-dimensiones y la otra en el plano XZ. En general, si la estructura es plana, la imagen tri-dimensional que

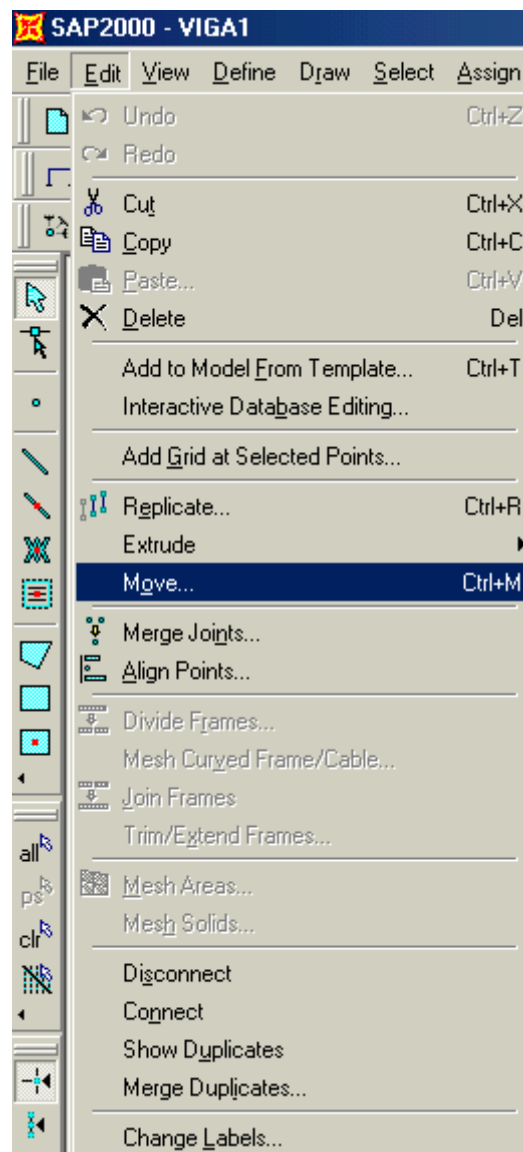
muestra la ventana izquierda no es de mucha utilidad. Conviene en estos casos cerrar esta ventana presionando .

Nota:

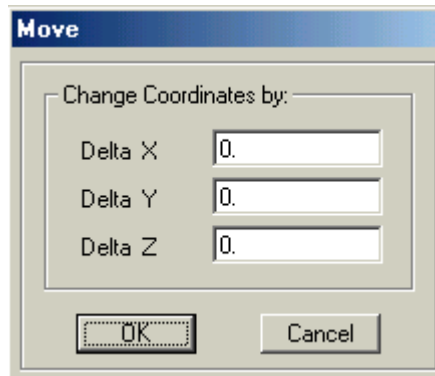
Asegúrese que las opciones de “Restrains” y de “Gridlines” están seleccionadas. De otra manera, la estructura tendrá las juntas libres (sin apoyos) y no aparecerá una grilla (“grid”) en la pantalla.




Paso 3 [Redefinición de Luces o Geometría]: Note que la viga creada por SAP2000 consiste en una viga de tres claros iguales de 15 ft. Por lo tanto, es necesario mover la junta final de la derecha para llevarla a la posición deseada de 12 ft como se especifica en la descripción del problema. Para esto seleccione la junta a moverse haciendo BI sobre la misma. Al ser seleccionada la junta se marcará con una cruz entrecortada. Del menú principal, abriendo “Edit” seleccione la opción “Move”, como se muestra a continuación.



Esto lo conducirá a la siguiente ventana titulada “Move Selected Points”. Escriba -3 en la caja de texto (“text box”) correspondiente a “Delta X” para desplazar el nodo o junta seleccionada 3 unidades (pies según se especificó en el Paso 1) hacia la izquierda. Seleccione OK.



Paso 4 [Definición de las Condiciones de Borde]: Notar que no todas las condiciones de borde de la viga desarrollada hasta ahora son las mismas que las especificadas. Para cambiar las condiciones de borde, seleccione primero la junta a cambiar (o sea, la del extremo derecho) para cambiar su condición. Luego de seleccionar la junta seleccione en el menú principal “Assign” y la opción de “Joints” y la sub-opción de “Restrains” o presione el icono  del “toolbar” que se encuentra en la parte superior de la pantalla principal. Ambas acciones lo conducirán a la pantalla que se muestra a continuación.



Nota:

Por ahora se recomienda que utilice los botones que se encuentran en el recuadro de “Fast Restraint”. Estos significan lo siguiente:



Apoyo o soporte fijo (“fixed”) que restringe desplazamientos y rotaciones todas las direcciones.





Soporte articulado (“pin”) que restringe desplazamientos en dos direcciones





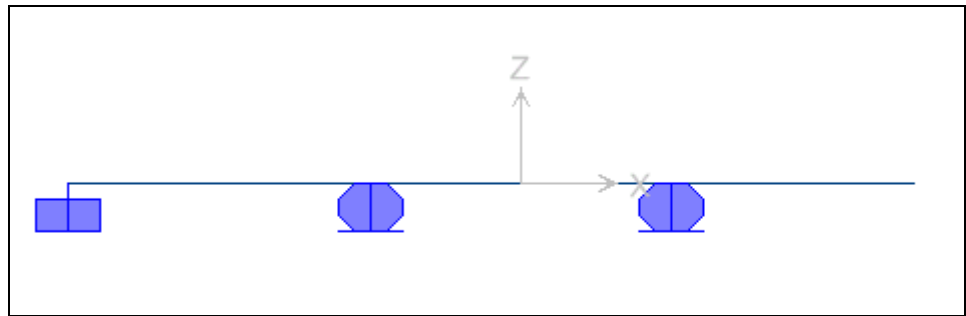
Soporte de rodillo (“roller”) que restringe desplazamientos en una dirección.

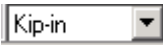


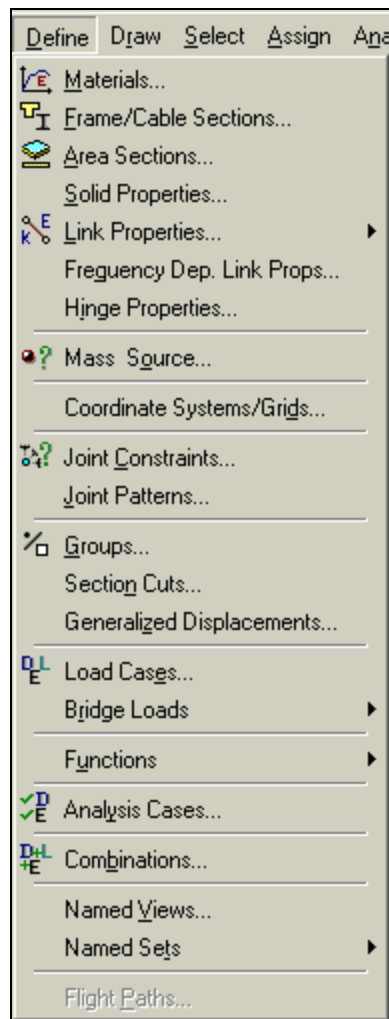
Junta libre de soporte



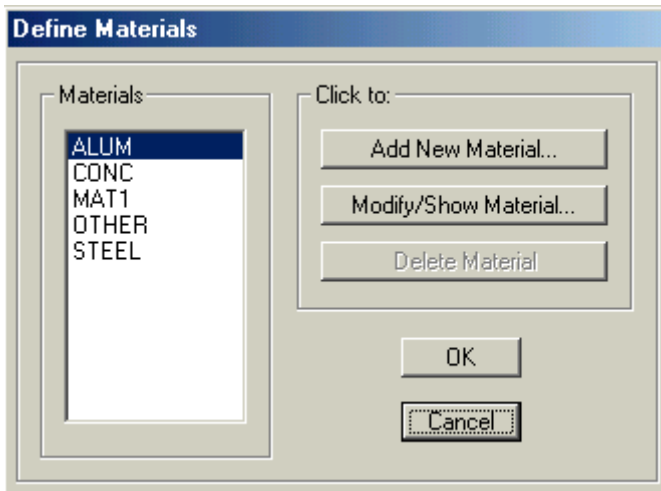
Seleccione  de la ventana y seleccione OK. Repita el procedimiento con la junta del extremo derecho, pero en esta ocasión seleccione  para dejar ese extremo libre. El modelo debe ahora aparecer como se muestra en la siguiente figura.



Paso 5 [Definición de propiedades de los materiales]: Notar que las unidades con las que se especifican los materiales no coinciden con las utilizadas para crear el modelo. Cambie las unidades a  para facilitar la entrada de datos. Para definir las propiedades de los materiales, seleccione “Define” del menú principal, de la lista que se presenta escoja la opción de “Materials...” como se muestra en la figura a continuación.



Esto lo conducirá a la pantalla que se muestra a continuación.




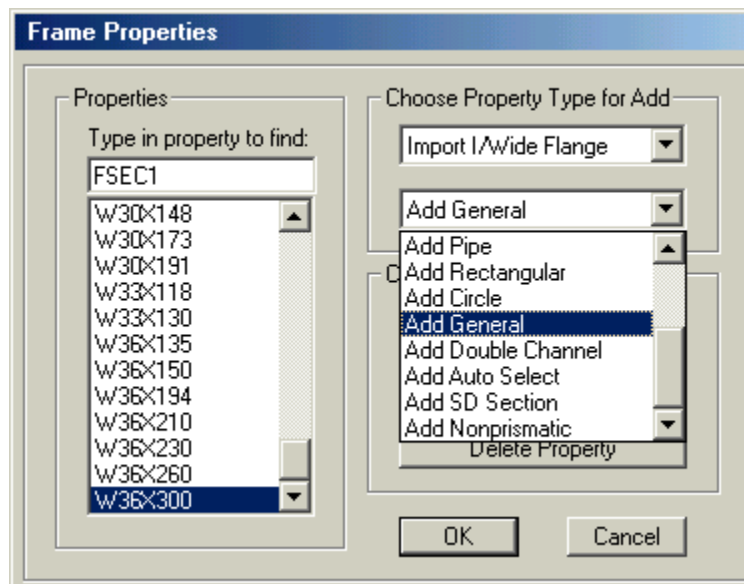
Seleccione el botón de “Add New Material” el cual lo conducirá a la pantalla de “Material Property Data” siguiente.

Entre un nombre para identificar el material (por ejemplo: Hormigón, MAT1, etc) en la caja de texto de “Material Name”. Deje la opción de “Isotropic” seleccionada en el recuadro de “Type of Material” y cambie los valores en el recuadro de “Analysis Property Data” a los valores especificados en la descripción del problema. En este caso entre 3120 en el “Modulus of Elasticity”. Si conoce los otros valores y los va a utilizar, escríbalos en las cajas de texto (“text box”) correspondientes. No cambie los valores en los recuadros que dicen “Design” puesto que estos datos son para el diseño y no para el análisis. Seleccione OK **dos** veces.

Nota:

Si se desea que el programa calcule automáticamente el peso propio de la estructura para usarlo como carga muerta, el peso unitario del material ("Weight per unit volume") no debe ser cero. De la misma manera, para efectuar un análisis dinámico de la estructura, la densidad ("Mass per unit volume") no debe ser cero (éste último tema se explica en otro capítulo)..

Paso 6 [Definición de las secciones de los elementos]: Para definir las secciones de los elementos, seleccione "Define" en el menú principal y luego la opción "Frame Sections". Una forma alternativa es presionar el icono de  en el "toolbar" ubicado en la parte superior. Cualquier opción lo conducirá a la siguiente pantalla.



Seleccione "Add General" como se muestra en figura, lo que hará abrir la siguiente pantalla de "Property Data". Entre 1500 en el "Moment of Inertia about 3 axis" y seleccione OK. Esto lo llevará a una nueva pantalla llamada "General Section"

**Property Data**

**Section Name** FSEC1

Properties

Cross-section (axial) area	0.	Section modulus about 3 axis	1.
Torsional constant	0.	Section modulus about 2 axis	1.
Moment of Inertia about 3 axis	1500.	Plastic modulus about 3 axis	1.
Moment of Inertia about 2 axis	0.	Plastic modulus about 2 axis	1.
Shear area in 2 direction	0.	Radius of Gyration about 3 axis	1.
Shear area in 3 direction	0.	Radius of Gyration about 2 axis	1.

OK Cancel

**Nota:**

Nótese que en la ventana de “Property Data” (Datos de las propiedades), además del momento de inercia respecto al eje 3 que ingresamos, aparecen varias otras propiedades de la sección geométrica. En este primer ejemplo, en que estamos estudiando de una viga en flexión, estas otras propiedades no nos interesan. Sin embargo, para otras estructuras como MARCOS tri-dimensionales es importante ingresar los datos que aparecen en la ventana.

La primera propiedad que se requiere para el análisis es el área de la sección transversal  $A$  (“Cross-section (axial) area”), la que no requiere de mayor explicación.

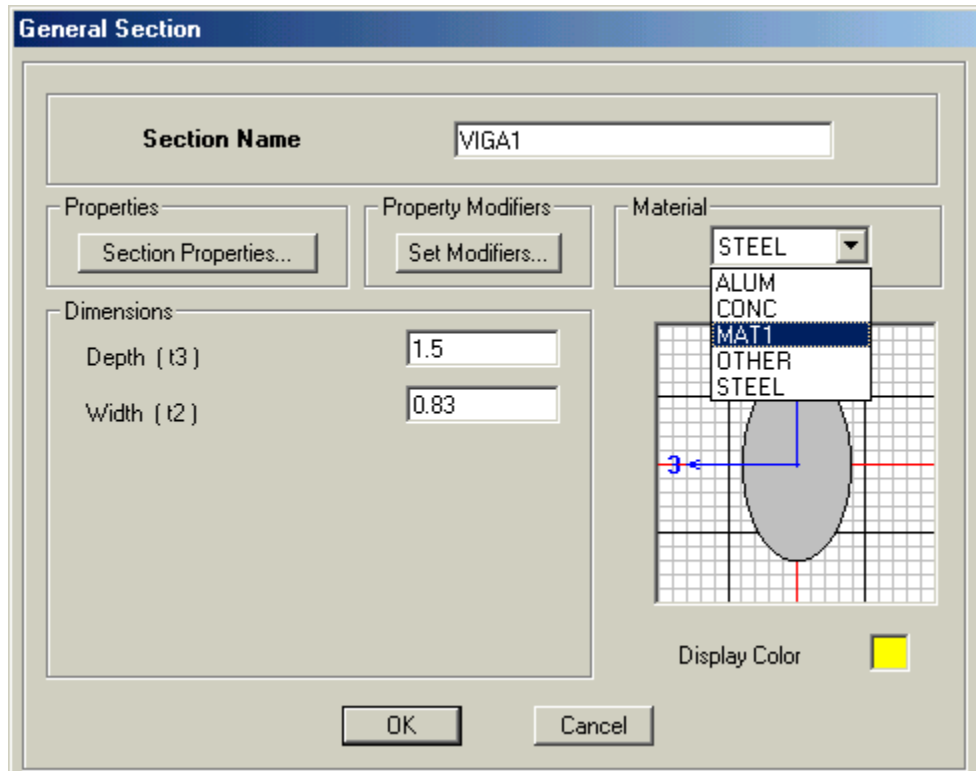
La segunda propiedad, que SAP2000 llama la *constante torsional* (“Torsional constant”), es importante para barras en torsión. Para una barra circular (maciza o hueca), esta constante no es otra cosa que el momento polar de inercia  $J_p$ . Para secciones no circulares, la constante torsional se puede definir como el producto del momento polar de inercia por un factor de corrección. Por ejemplo, para una sección cuadrada de lado “ $d$ ” sería:  $0.845 J_p$ , donde  $J_p = d^4/6$ .

El *área de corte o de cortante* (“Shear area”) se requiere cuando se desea considerar el efecto de las deformaciones angulares o por cortante en la deflexión de la estructura, importante en vigas cortas y profundas. El área de corte se define como el área de la sección transversal  $A$  dividida por un factor de forma. Por ejemplo, para una sección rectangular el factor de forma es  $6/5$ , y por lo tanto el área de corte es  $A/(6/5)$ . Para secciones con formas comunes SAP2000 calcula automáticamente el área de corte, y por omisión, considera la contribución del cortante en la deflexión. Esta manera de

proceder es conveniente porque los resultados van a ser más precisos, si bien en muchos casos la contribución del cortante es despreciable. Sin embargo, si se desea comparar los resultados del programa con los de un problema resuelto “a mano” o con otro programa, es necesario que no se consideren las deformaciones por cortante. Básicamente hay dos maneras de hacer esto en el programa. La primera forma es válida para secciones generales, donde el usuario entre las propiedades en la ventana de “Property Data (como en este ejemplo). Simplemente se coloca un cero en los encasillados del área de cortante (“Shear 2-2” y “Shear 3-3”). Si la sección es estándar (circular, rectangular, etc.), como veremos en los próximos ejemplos, el programa va a calcular todas las propiedades en la ventana “Property Data” y éstas no se pueden modificar directamente. Sin embargo, es posible modificar las propiedades en forma indirecta presionando el botón de “Modification Factors” (factores de modificación) que se encuentra en la ventana que se muestra en la siguiente página. Al presionar este botón se abrirá la ventana llamada “Analysis Property Modification Factors” (factores de modificación de las propiedades del análisis). Esta ventana permite aplicar un factor a las propiedades geométricas de las secciones: asignar un valor de 0 en los encasillados de “Shear Area in 2 direction” y “Shear Area in 3 direction” produce el mismo efecto que colocar en cero el área de corte.

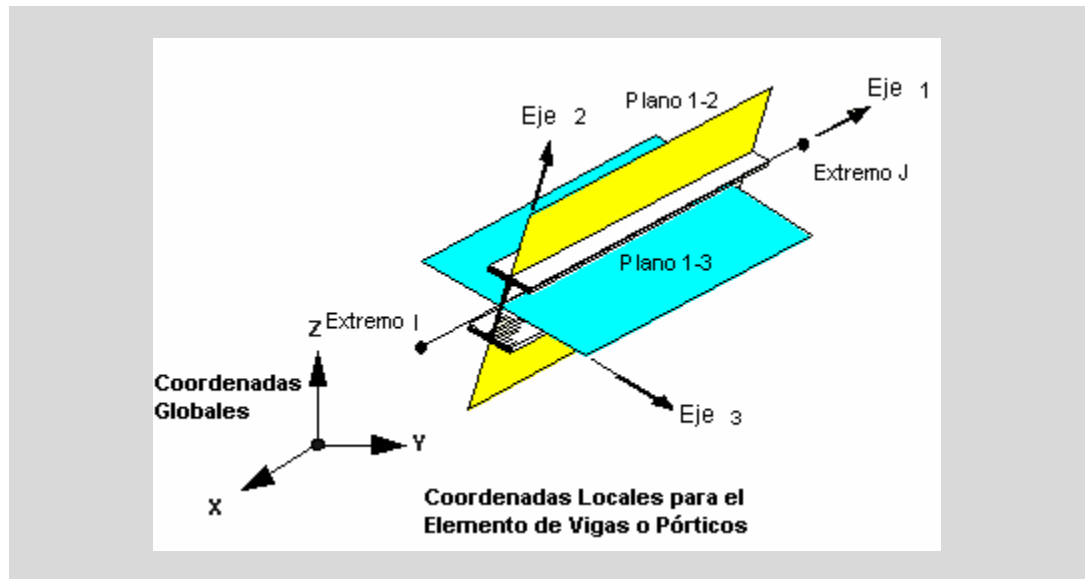
Property/Stiffness Modifiers for Analysis	
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	0
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	1
Moment of Inertia about 3 axis	1
Mass	1
Weight	1

Los ejes locales 1, 2 y 3 a los que se refieren los momentos de inercia, etcétera, se muestran en la Nota en la siguiente página.

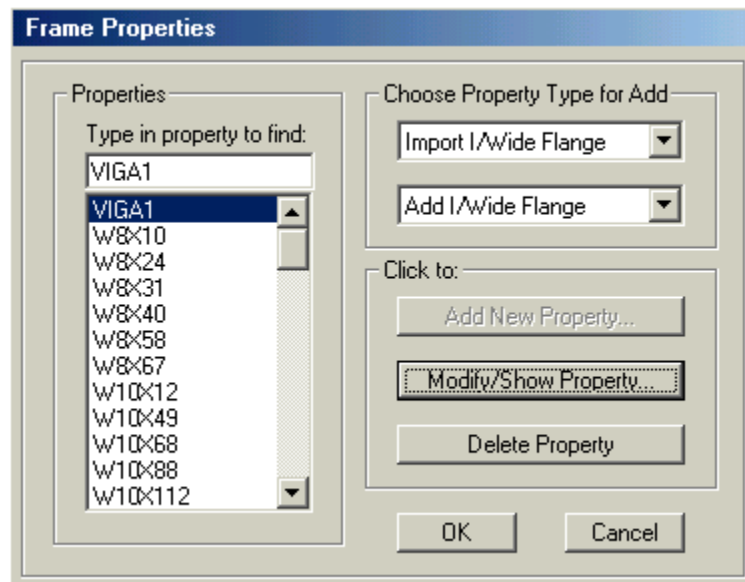


Entre un nombre con el que se va identificar la sección transversal (por ejemplo, VIGA1) en el espacio de “Section Name” y cambie el material al nombre del material asignado (por ejemplo, MAT1) como se muestra. Seleccione OK **dos** veces para volver a la pantalla principal.

Nota: La figura muestra las coordenadas locales de los elementos




Paso 7 [Asignar secciones de los elementos al modelo]: Luego de definir las secciones y los materiales, el siguiente paso es asignar dichas propiedades a los elementos. Seleccione cada uno de los tres elementos del modelo mediante un BI encima de cada elemento o dibujando un cuadro que cubra la viga completa, moviendo el “mouse” y manteniendo apretado el botón izquierdo. Del menú de “Assign” seleccione “Frame” y luego “Sections”, lo que lo lleva a la siguiente ventana.



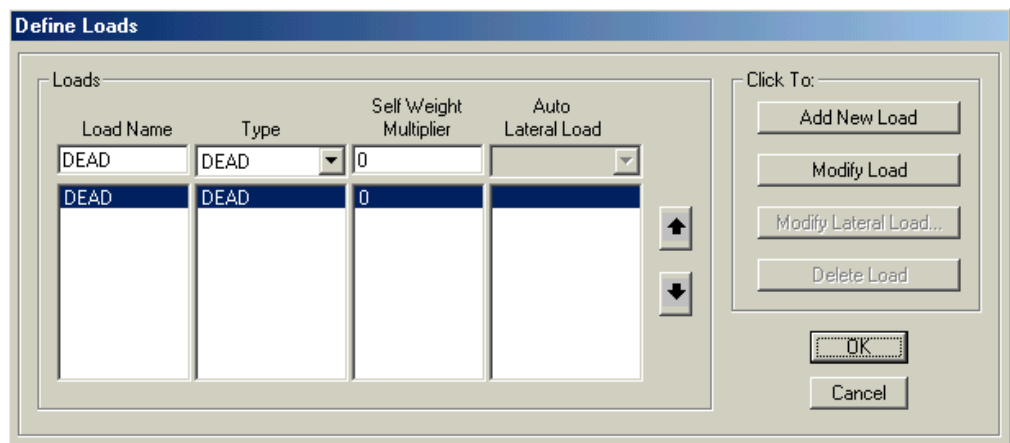
Seleccione del recuadro “Frame Sextions” el nombre de la sección previamente definido (por ejemplo VIGA1). Al apretar OK, el nombre de la seccion va a aparecer sobre cada elemento de la estructura.



**Nota:**

Se recomienda que grabe el archivo en el cual está trabajando frecuentemente puesto que el programa no recupera archivos perdidos. Se recomienda que se utilice un Cartapacio (“Folder”) distinto para cada modelo desarrollado. Grabe el programa con un nombre (por ejemplo, EjVIGA1). Recuerde grabar presionando  a menudo en especial si la estructura es complicada.

Paso 8 [Definir sistemas de cargas]: Antes de aplicarle las cargas al modelo es necesario definir los sistemas de cargas (por ejemplo Muerta, Viva, Viento Terremoto). En este paso **NO** se aplican las cargas, solamente se definen cuales de ellos van a ser utilizados. En este problema en particular solamente se van a aplicar las cargas en el sistema de carga muerta y sin incluir el peso propio. Para esto, seleccione “Define” del menú principal la opción de “Static Load Cases”. Esto lo llevará a la siguiente ventana.




The "Define Loads" dialog box contains a table with the following data:

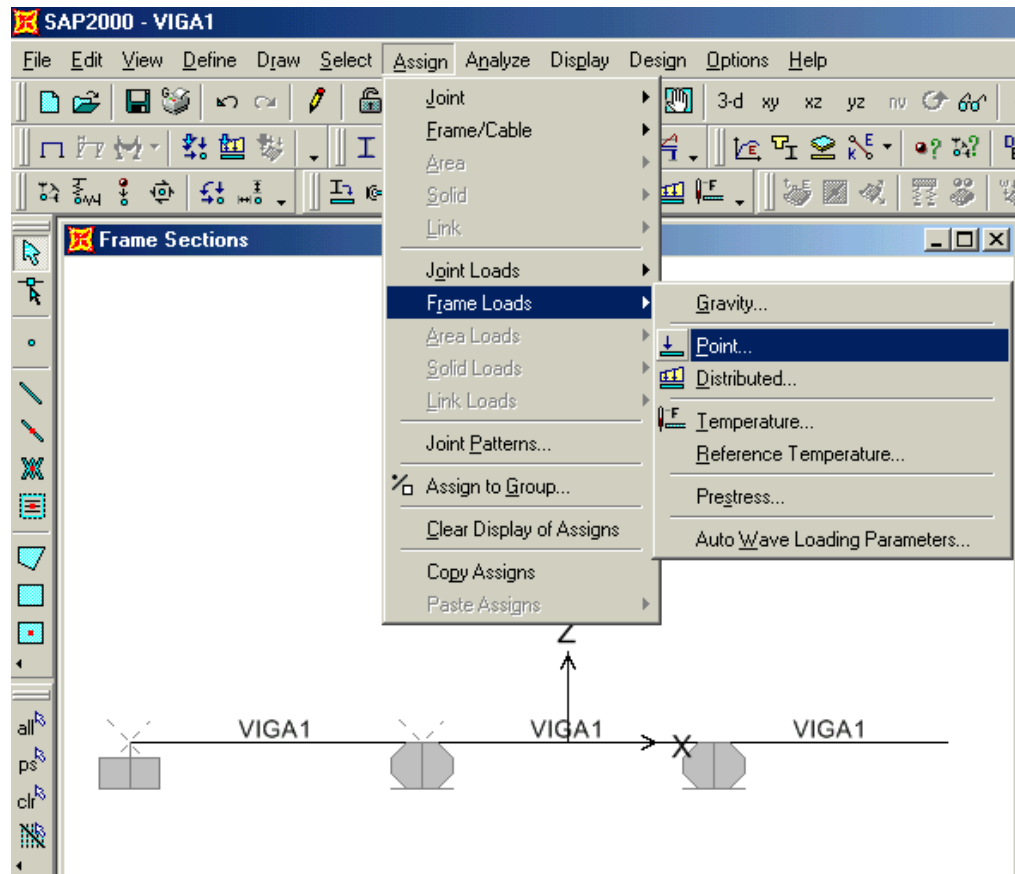
Load Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load
DEAD	DEAD	0	
DEAD	DEAD	0	


Buttons on the right: Add New Load, Modify Load, Modify Lateral Load..., Delete Load, OK, Cancel.

Inicialmente el programa tiene por omisión (“default”) un sistema llamado LOAD1. Reemplace el nombre de LOAD1 por otro nombre (por ejemplo, MUERTA) en el espacio de “Load” y deje el tipo (“Type”) como “DEAD”. Cambie el factor de “Self Weight Multiplier” de 1 a 0. (1 significa que se va a incluir el peso propio de los elementos y 0 significa que no se va a incluir). Presione el botón de “Change Load” y OK.

Paso 9 [Definir carga concentrada]: Luego de definir los sistemas de carga, el siguiente paso es asignar valores a las fuerzas del sistema de cargas correspondiente. Como las cargas están definidas en “k-ft” y “ft”, cambie nuevamente las unidades a  en la parte inferior derecha del programa. La primera carga a ser aplicada consiste en una fuerza concentrada de 10 kip ubicada a 10 ft del extremo izquierdo del primer tramo (de longitud 15 ft). Para esto seleccione el primer

elemento donde se va a aplicar la carga concentrada. Luego seleccione del menú principal de “Assign” la opción de “Frame Static Loads...” y a continuación la que dice “Point and Uniform...”.



También puede presionar el icono de  ubicado en el “toolbar” superior. Ambas opciones lo conducirán a la siguiente ventana.

**Frame Point Loads**

**Load Case Name** DEAD **Units** Kip, ft, F

**Load Type and Direction**

☒ Forces ☐ Moments

**Coord Sys** GLOBAL **Direction** Gravity

**Options**


☒ Add to Existing Loads  
☐ Replace Existing Loads  
☐ Delete Existing Loads

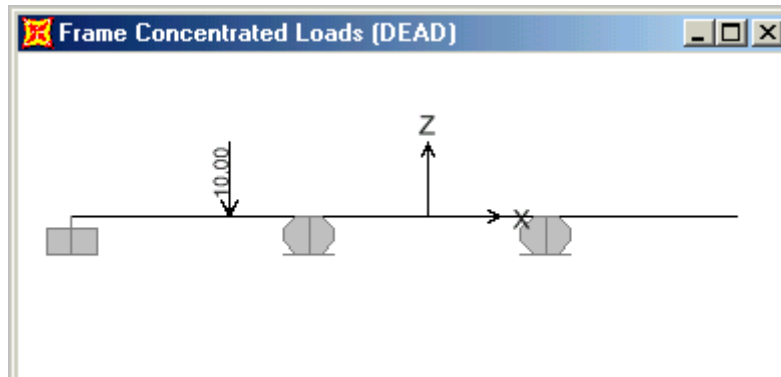
**Point Loads**


	1.	2.	3.	4.
Distance	10	0	0	0
Load	10	0.	0.	0.

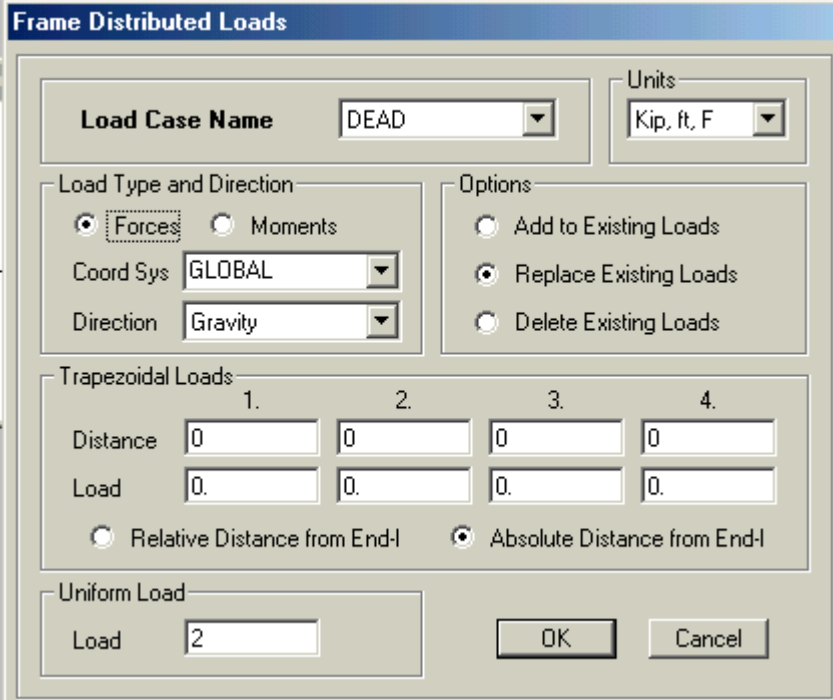
☐ Relative Distance from End-I ☒ Absolute Distance from End-I


OK Cancel

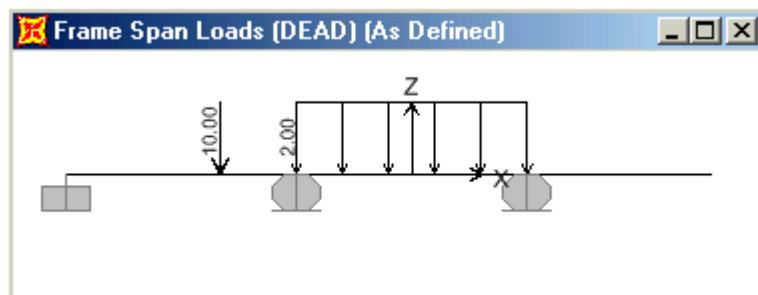
Verifique que en “Load Case Name” aparezca el nombre MUERTA (o el nombre especificado en el sistema de carga). En el recuadro de “Load Type and Direction” verifique que la opción de fuerzas (“Forces”) esté seleccionada y que la dirección (“Direction”) sea “Gravity” (Gravity es una carga aplicada en dirección del eje Global Z negativa). En el recuadro de “Point Loads” en los espacios debajo de 1 escriba 10 para “Distance” y 10 para “Load”. Verifique que la opción de “Absolute Distance From End-I” esté seleccionada. Si desea usar la opción de “Relative Distance From End-I” tiene que cambiar los 10 ft en “Distance” por  $0.6666 = 10/15$  que es la distancia relativa al largo del tramo. Seleccione OK. La carga aparecerá en el modelo como se muestra a continuación. Recuerde grabar  el archivo actualizado de su modelo.




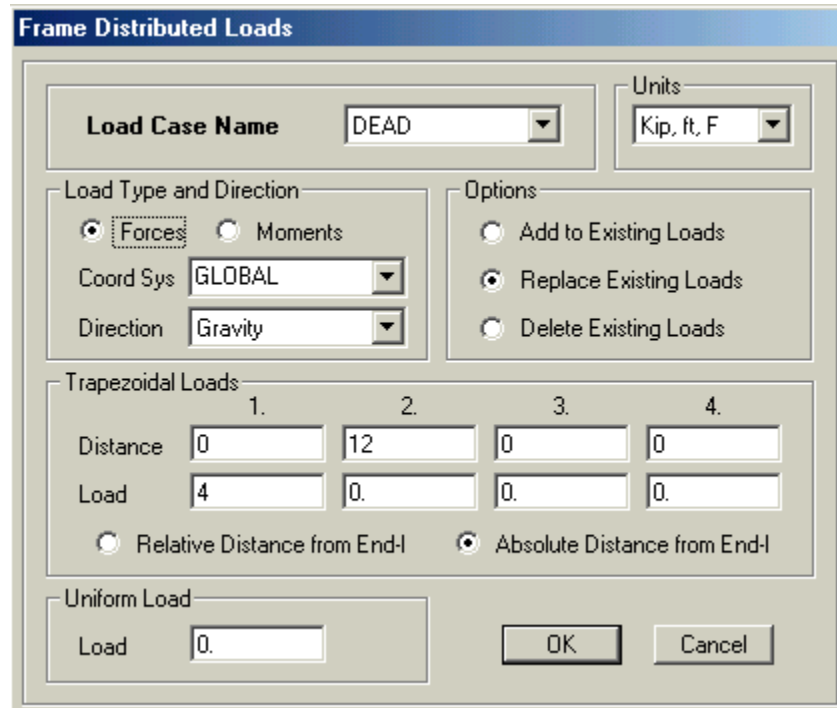
Paso 10 [Definir la carga uniforme]: Para definir la carga uniformemente distribuida, seleccione primero el elemento a ser cargado y luego del menú que se abre con “Assign”, escoja la opción de “Frame Static Load...” y “Point and Uniform...”. También puede presionar el icono de  ubicado en el “toolbar” superior. Esto lo lleva a la siguiente pantalla.



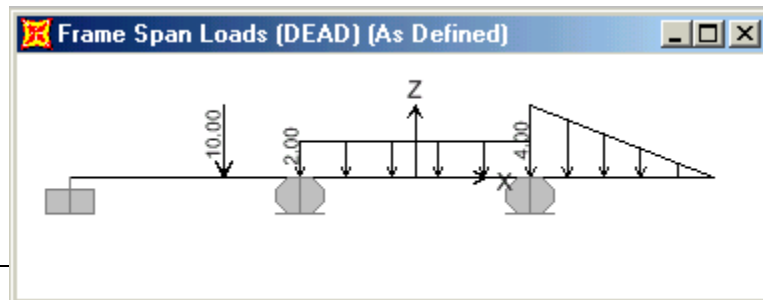
Note que la ventana contiene los valores de 10 en “Distance” y 10 en “Load” especificados anteriormente. Cambie esos valores a 0 y en el recuadro de “Uniform Load” escriba 2. Verifique que las unidades se encuentran en . Cierre la ventana presionando OK. Ahora el modelo debe aparecer como se muestra a continuación.



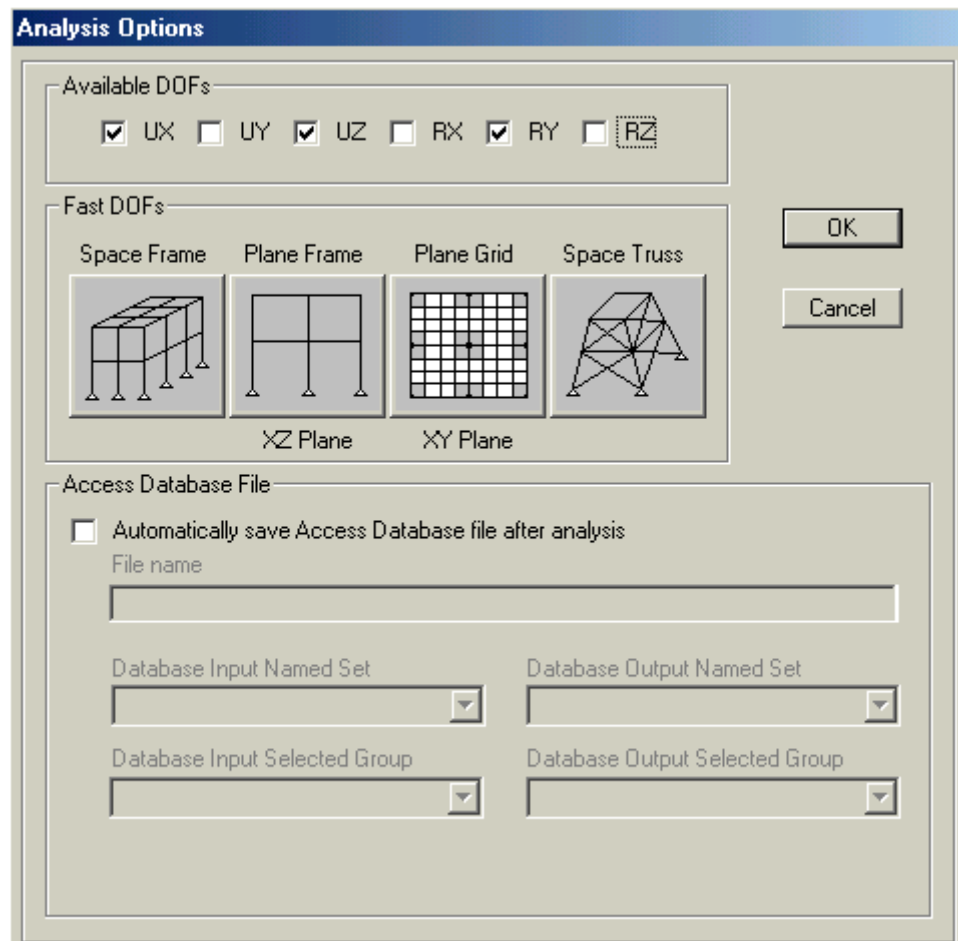
Paso 11 [Definir la carga lineal o trapezoidal]: Para definir la carga uniformemente distribuida, seleccione primero el elemento a ser cargado y luego del menú que se abre con “Assign”, escoja la opción “Frame Load...” y “Distributed...”. También puede presionar el icono de  ubicado en el “Toolbar” superior. Esto lo lleva a la pantalla siguiente.




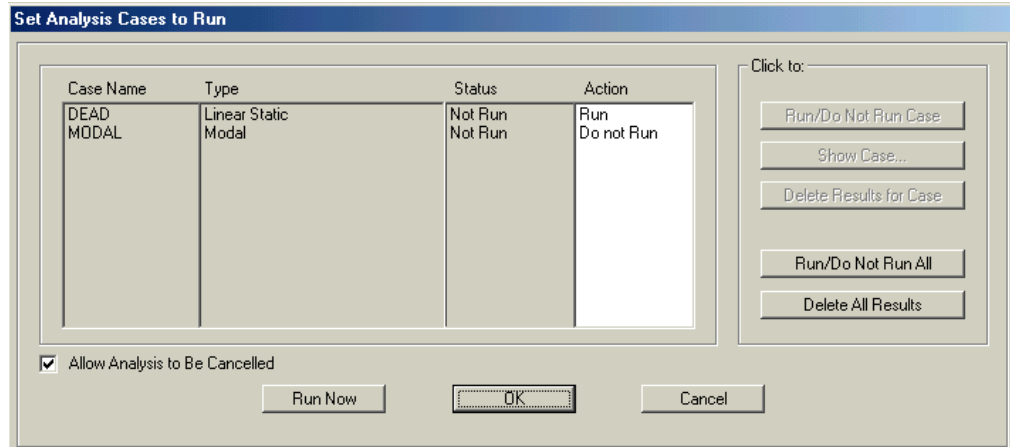
Verifique que el “Load Case Name” aparezca el caso MUERTA, que en “Load Type and Direction” esté seleccionado la opción “Forces” y que en “Direction” aparezca “Gravity”. En el recuadro de “Trapezoidal Loads”, en los cuadros o cajas de textos de “Distance” escriba 0 y 12 para indicar que la carga va de 0 a 12 ft y en los de “Load” coloque 4 y 0 para especificar que la fuerza varía linealmente de 4 k/ft a 0 como se muestra en la figura. Verifique que la opción de “Absolute Distance from End-I” esté seleccionada. Seleccione OK. El modelo final debe ser el que se muestra a continuación.



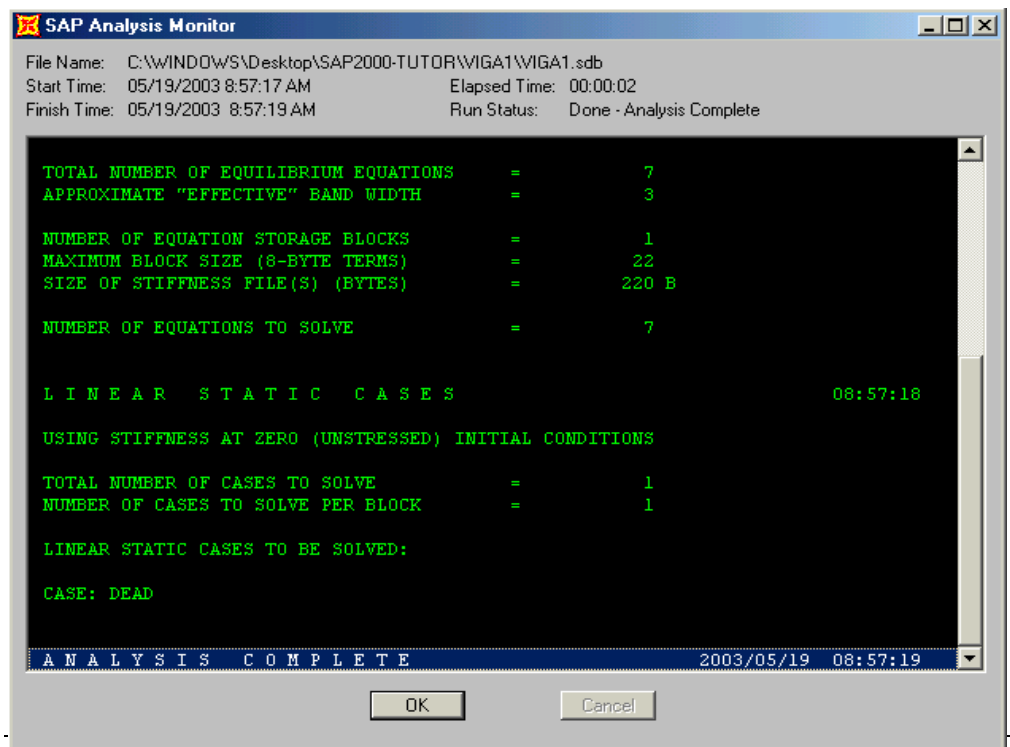
Paso 12 [Analizar la estructura]: El procedimiento seguido hasta el Paso 11 desarrolla lo que es la entrada de datos al programa o “Pre-Procesamiento”. Lo que procede ahora es resolver el problema o sea continuar con la etapa de “Solución”. Como la estructura en cuestión es de “dos” dimensiones, es recomendable que se le especifique al programa los grados de libertad que se utilizarán para así reducir el tamaño de la matriz de rigidez y a su vez disminuir el esfuerzo computacional y el tiempo de análisis. Además, debe tenerse presente que en la definición de los secciones de los elementos no se definieron la propiedades en las otras direcciones. Debido a que el programa por omisión (“default”) analiza el sistema tridimensionalmente, esto generaría problemas de cero rigidez en las direcciones perpendiculares al plano. Para evitar estos problemas seleccione del menú principal en “Analyze”, la opción de “Set Options”. Esto lo conducirá a la siguiente pantalla titulada “Analysis Options”.



Presione el segundo botón que dice “Plane Frame” y luego presione OK. Para obtener la solución del problema, presione el icono de  o la tecla F5. También puede seleccionar del menú de “Analyze” la opción de “Run”. Luego aparecerá una ventana “Set Analysis Cases to Run” el cual deberá verificar.




El nombre del caso (DEAD) y el Type si el analisis es lineal estatico o dinamico en nuestro caso es Linear Static. Para iniciar el analisis es necesario el boton “Run Now”. Luego de esto aparecera una pantalla indicando la secuencia de pasos que el programa esta llevando a cabo para la solución del problema, terminando con un mensaje de “ANALYSIS COMPLETE” como se muestra a continuación.

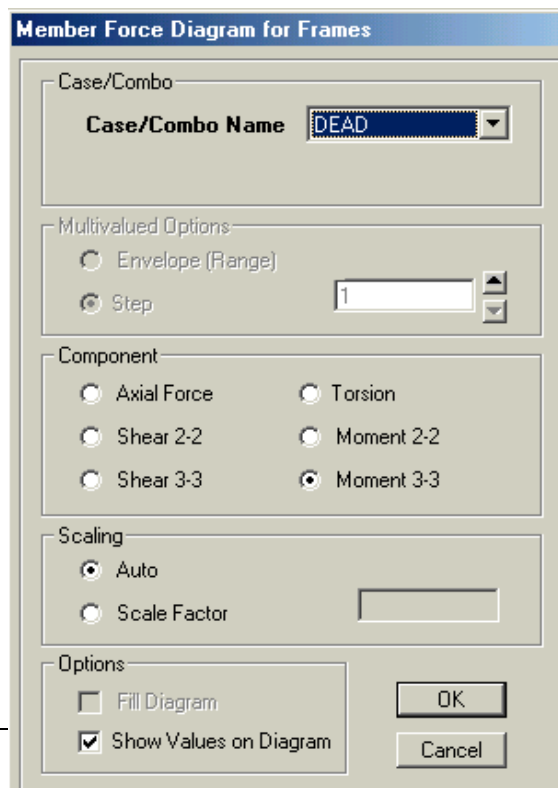


Presione OK. El programa muestra ahora la estructura deformada (la deformación está muy exagerada para mejor visualización).

**Nota:**

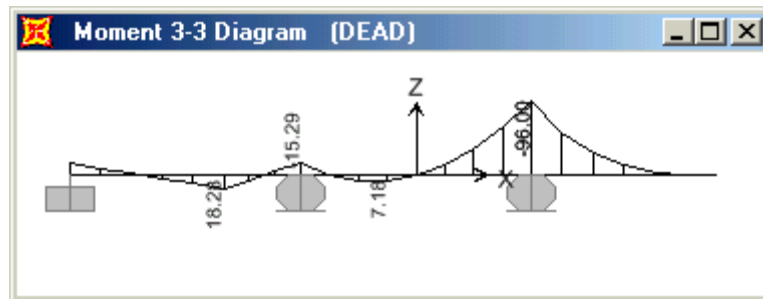
De haber algún error en la entrada de datos, el programa mostrará el mensaje “ANALYSIS INCOMPLETE” indicando que hubo algún problema. Utilice la barra lateral de movimiento (“Scroll Bar”) para ver los mensajes de errores e identificar el problema. En este caso en particular, si no se hubiera especificado la opción de “Plane Frame” en el Paso 12, el programa terminará con un mensaje de error por lo antes explicado.

Paso 13 [Diagramas de Momento]: Una vez terminadas las etapas de *pre-procesamiento* y de *solución del problema*, lo único que falta es la revisión de resultados o “*Post-Procesamiento*”. Usualmente en vigas lo que interesa verificar son los diagramas de momento. Para esto seleccione el icono de  en el “toolbar” de la parte superior de la pantalla principal o seleccione del menú de “Display” la opción de “Show Element Forces/Stresses” y escoja “Frame”. Ambas opciones lo conducirán a la siguiente ventana.

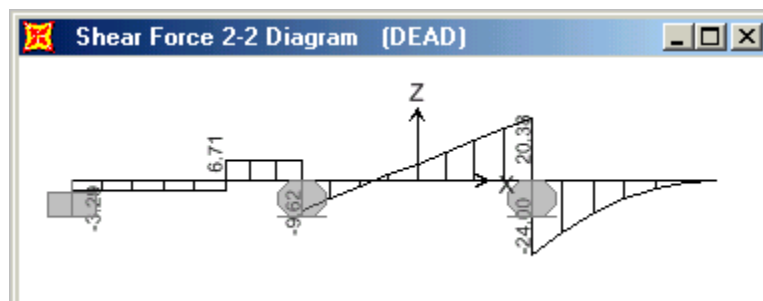




Verifique que en el espacio de “Load” esté la opción de “MUERTA Load Case”. Seleccione la opción de “Moment 3-3” en el recuadro de “Component”. Deje la opción de “Auto” seleccionada en el recuadro de “Scaling”. Quite la opción del cuadro de cotejo (“Check box”) de “Fill Diagram” y seleccione la opción de “Show Values on Diagram”. El programa debe mostrar la pantalla que se muestra a continuación. Para ver más detalladamente los valores de los momentos en cada elemento, presione BD encima de cada elemento.




Paso 14 [Diagramas de cortante] : Repita el procedimiento del Paso 13 pero seleccione ahora “Shear 2-2” en vez de “Moment 3-3”. El programa va a mostrar el diagrama que se muestra a continuación.

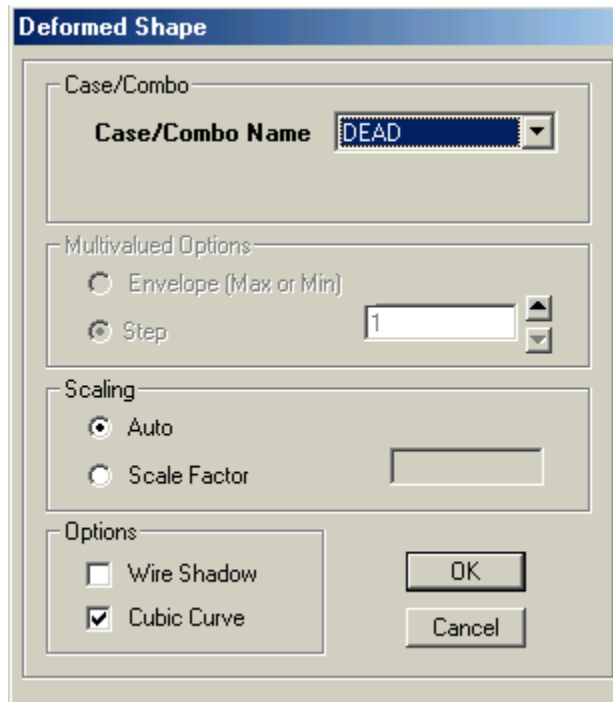


Nota:

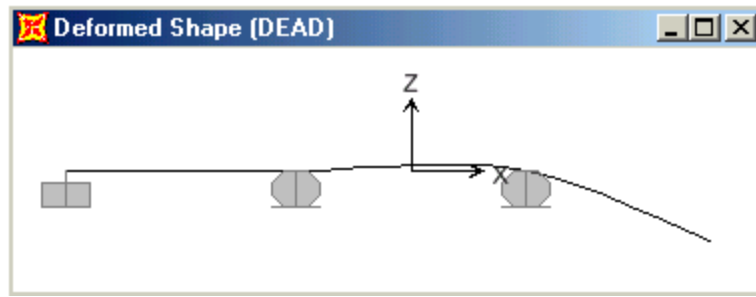
El momento y cortante que se escogieron para graficar (“Moment 3-3” y “Shear 2-2”) corresponden a los sistemas de ejes locales que se muestran en la página 10. Si

por ejemplo se hubiese escogido “Shear 3-3”, el diagrama hubiese sido nulo en toda la viga pues éste es el cortante en dirección perpendicular al plano de la Figura.

Paso 15 [Deformada y rotaciones en las juntas o nodos]: Para observar de nuevo la deformada o curva elástica de la estructura presione el icono  o seleccione del menú de “Display” la opción de “Show Deformed Shape”. Ambas acciones lo conducirán a la siguiente pantalla.



Seleccione “Cubic Curve” y luego presione OK. La deformada se muestra en la próxima figura. Para obtener las rotaciones y desplazamientos en los nodos o juntas, simplemente presione BD encima de la junta deseada. Se abrirá una ventana indicando los desplazamientos y las rotaciones en las tres direcciones en coordenadas globales. La figura subsiguiente muestra la ventana para la junta del extremo libre. Las rotaciones se encuentran en radianes y los desplazamientos en las unidades que se especifiquen en el “combo box” de unidades en la parte inferior derecha.



Joint Displacements			
Joint ID	4		
	1	2	3
Trans	0.00000	0.00000	-0.17169
Rotn	0.00000	0.01608	0.00000

Paso 16 [Imprimir resultados] : Para obtener los resultados impresos, seleccione del menú de “Display” la opción de “Show Analysis Results Tables” y seleccione en los cuadros de verificaciones (“check box”) los resultados (por ejemplo, Displacements, Reactions, Joint Forces, Frame Forces, Base Reactions) que desea que imprima el programa como se muestra en la siguiente figura.

**Choose Analysis Results Tables**

ANALYSIS RESULTS (6 of 6 Active Boxes Checked)

<b>Joint Output</b> <input checked="" type="checkbox"/> Displacements <input type="checkbox"/> Generalized Displ <input checked="" type="checkbox"/> Reactions <input type="checkbox"/> Spring Forces <input checked="" type="checkbox"/> Joint Forces <input type="checkbox"/> Abs Displacement <input type="checkbox"/> Abs Velocity <input type="checkbox"/> Abs Acceleration <input type="checkbox"/> Rel Velocity <input type="checkbox"/> Rel Acceleration <input type="checkbox"/> Joint Resp Specs <input type="button" value="Check/Uncheck All"/>	<b>Element Output</b> <input checked="" type="checkbox"/> Frame Forces <input type="checkbox"/> AreaShell Forces <input type="checkbox"/> AreaShell Stresses <input type="checkbox"/> AreaPlane Stresses <input type="checkbox"/> AreaAsolid Stresses <input type="checkbox"/> Solid Stresses <input type="checkbox"/> Link Force/Def <input type="checkbox"/> PZone Force/Def <input type="checkbox"/> Frame Hinges <input type="checkbox"/> Elem Virtual Work <input checked="" type="checkbox"/> Objects & Elements <input type="button" value="Check/Uncheck All"/>	<b>Structure Output</b> <input type="checkbox"/> Section Cut Forces <input checked="" type="checkbox"/> Base Reactions <input type="checkbox"/> Modal Information <input type="checkbox"/> RS Modal Amps <input type="checkbox"/> NL Static Curves <input type="checkbox"/> Plot Func Traces <input type="checkbox"/> Energy Components <input type="checkbox"/> Buckling Factors <input type="button" value="Check/Uncheck All"/>	<b>Output Options</b> Modes: Not Active NLStatic: Not Active ModalHist: Not Active Dynamic: Not Active Buckling: Not Active SteadyState: Not Active PSD: Not Active Combos: Not Active BaseReacLoc: Origin Multi-step: Not Active <input type="button" value="Modify Options"/>	<b>Output Selections</b> GenDispls: 0 of 0 JtForces: 0 of 1 SectCuts: 0 of 0 VirtWork: 0 of 0 NLStatic: 0 of 0 JtRSpec: 0 of 0 PFTTrace: 0 of 0 <input type="button" value="Modify Selection"/>
---	---	---	--	---

☐ Selection Only
 ☐ Show Unformatted
 
 1 of 1 Selected

Current Table Formats File: Program Default

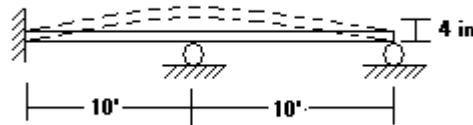
El programa también le permite imprimir los resultados en un archivo para verlos posteriormente. Para esto seleccione la opción de “Print to File”, escriba el lugar y

dirección donde quiere guardar el archivo y el nombre presionando el botón de “File Name” y oprima OK. Para ver estos resultados seleccione del menú de “File” la opción de “Display Input/Output Text Files...” cambie el “File Type” a \*.txt y seleccione el archivo (por ejemplo, EjVIGA1.txt) y se mostrarán los resultados mediante el programa WORDPAD.

Fin del Ejemplo de Vigas #1

## Ejemplo de Vigas 2


Descripción del Problema: El ejemplo a resolver consiste de una viga de dos luces con un extremo fijo y dos soportes internos tipo rodillo (“roller”). La viga consiste de una sección W16X45 de acero estructural y la geometría que se muestra en la figura a continuación. La viga tiene en el soporte interior un desplazamiento prescrito de 4 in hacia arriba. Además se desea incluir en el análisis el peso propio de la viga.




Solución:

Paso 1 [Definir Unidades]: Una vez que se ejecute el programa de SAP2000, seleccione las unidades iniciales en las que desea trabajar. Verifique las unidades en la parte inferior derecha de la pantalla principal de SAP2000. Se comenzará a trabajar inicialmente en las unidades .

Paso 2 [Selección del modelo]: Del menú principal (parte superior), abriendo la opción de “File” seleccione “New Model from Template ...”. Seleccione el primer “Template”: “beam”, con el BI. Esto abrirá la ventana de “Beams”. Escriba 2 y 10 en las cajas de texto (“text box”) de “Number of Spans” (número de tramos) y “Span Length” (longitud del tramo), respectivamente. Seleccione OK. Esto lo conducirá a la pantalla principal de SAP2000. Cierre la ventana de 3-dimensiones para visualizar mejor el modelo.

Paso 3 [Definición de las Condiciones de Borde]: Para cambiar las condiciones de borde, seleccione primero con un BI la junta a la cual se debe cambiar el apoyo (o sea, la del extremo izquierdo). Luego de seleccionar la junta seleccione en el menú principal “Assign” y la opción de “Joints” y la sub-opción de “Restraints” o presione el icono  del “toolbar” que se encuentra en la parte superior de la pantalla principal. Ambas acciones lo conducirán a la siguiente pantalla.



Seleccione el apoyo fijo o empotramiento  de la ventana. Note que inmediatamente aparece un tilde en los seis posibles grados de libertad (en el espacio). Presione OK. Observe que el apoyo izquierdo ha cambiado.

Paso 4 [Definición de propiedades de los materiales]: Para esta estructura se desea utilizar problema utilizar una viga W16x45 de acero estructural. El programa tiene al acero estructural (“STEEL”) y al hormigón (“CONC”) como materiales predefinidos con módulos de elasticidad de 29,000 ksi y 3600 ksi ( $f_c=4,000$  psi), respectivamente. Por lo tanto el paso de definir el material (“Define Materials”) se puede omitir puesto que el material de la viga (hacer) ya está predefinidos. No obstante, si desea ver qué valores usa el programa para las propiedades del acero, siga la secuencia: “Define” → “Materials...” → “Define Materials” → “Steel” → “Modif./Show Material”.

Paso 5 [Definición de las secciones de los elementos]: En este caso la viga a analizar consiste de una sección prefabricada de tamaño W16X45. Es posible entrar las propiedades geométricas de la viga de forma igual como se hizo en el Ejemplo de Vigas 1, pero el programa posee la información de la mayoría de las secciones prefabricadas.


#### Nota:

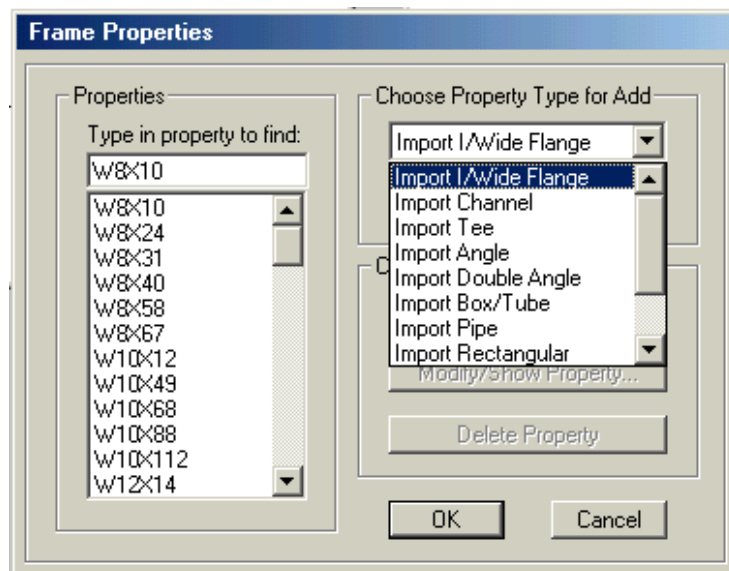
Las propiedades de las secciones prefabricadas se encuentran dentro del directorio Computer and Structures\SAP2000\. Este directorio fue creado en la computadora al instalar el programa. El mismo usualmente se encuentra en el disco duro, por ejemplo en c:\. Verifique en las siguientes direcciones:

C:\Computer and Structures\SAP2000\

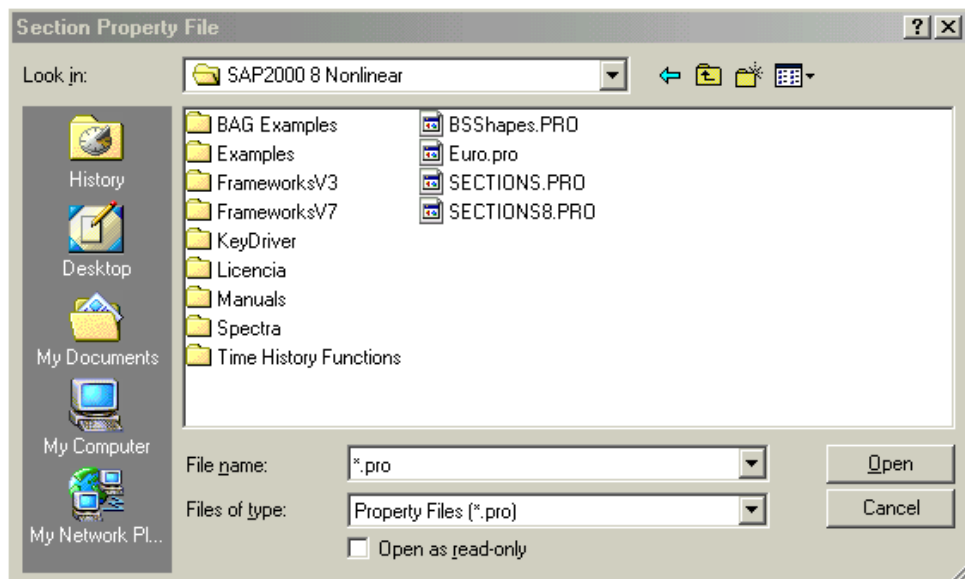
C:\Programs Files\Computer and Structures\SAP2000\

De no encontrar las direcciones, realice una búsqueda (“Search”) en Windows buscando **\*.pro** que es la extensión de los archivos que trae el programa con las **pro**-iedades de las secciones prefabricadas. Es importante que ubique la dirección correcta, por que ésta es necesaria para la definición de las propiedades de la sección.

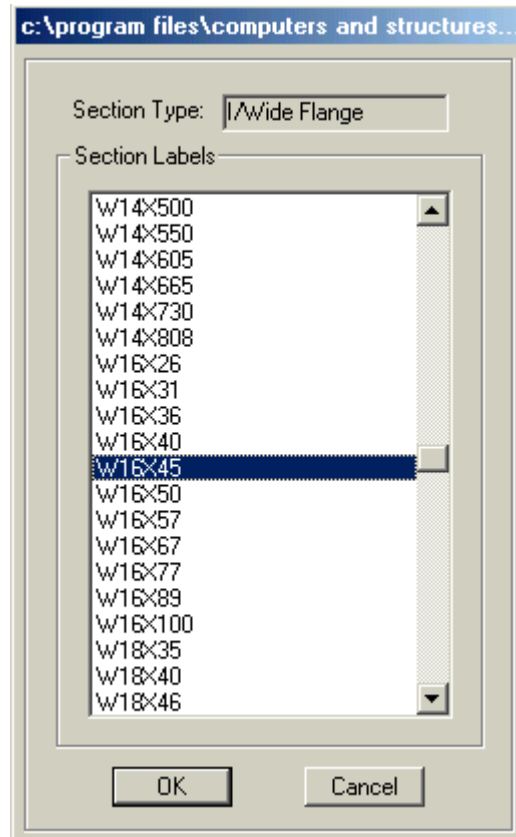
Para definir las secciones de los elementos, seleccione “Define” en el menú principal y luego la opción “Frame Sections”. Una forma alternativa es presionar el icono de  en el “toolbar” ubicado en la parte superior.



Seleccione “Import I/Wide Flange” como se muestra en figura, lo que lo conducirá al “Dialog Box” llamado “Section Property File”:




Ubique el directorio mencionado anteriormente y seleccione el archivo de Sections.pro. Presione “Open”. Esto lo conducirá a la siguiente ventana. Seleccione la sección W16X45 y presione el botón de OK.



Esto lo conducirá a la siguiente ventana de “I/Wide Flange Section”



Verifique que el “Section Name” o nombre de la sección importada sea W16X45. Note que la dirección del archivo se especifica en el recuadro de “Extract Data from Section Property File”. Note que la altura, anchos y espesores del alma y de las alas se especifican en el recuadro de “Dimensions”. Si desea ver los momentos de inercia y otras propiedades geométricas de la sección, presione el botón de “Section Properties”. Verifique que en el recuadro de “Materials” se encuentre STEEL. Presione OK dos veces para regresar a la ventana principal.

Grabe  su archivo (por ejemplo EjViga2).

Paso 6 [Asignar secciones de los elementos al modelo]: Luego de definir la sección y el material, el siguiente paso es asignar dichas propiedades a los elementos. Seleccione los elementos del modelo mediante un BI encima de cada elemento o dibujando un cuadro que cubra la viga completa, moviendo el “mouse” mientras mantiene apretado el BI. Del menú de “Assign” seleccione “Frame” y luego “Sections”. De la ventana que se muestre seleccione del recuadro “Frame Sections” el nombre de la sección W16X45 y presione OK. Al apretar OK nuevamente, el nombre de la sección va a aparecer sobre cada elemento de la estructura.

Paso 7 [Definir sistemas de cargas]: En este problema en particular sólo se va a aplicar la carga debido al peso propio de la viga. Para esto, seleccionar “Define” del menú principal la opción de “Static Load Cases”. Esto lo llevará a la siguiente ventana.

Load Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load
DEAD	DEAD	1	
DEAD	DEAD	1	

Reemplace el nombre de LOAD1 por otro nombre (por ejemplo, MUERTA) en el espacio de “Load” y deje el tipo (“Type”) como “DEAD”. Verifique que el factor de “Self Weight Multiplier” se encuentre 1. Recuerde que 1 significa que se va a incluir el peso propio de los elementos y 0 significa que no se va a incluir. Presione el botón de “Change Load” y OK.

#### Nota:

A pesar de que nuestro modelo no tiene cargas externas, es necesario definir el sistema de carga, puesto que se va a incluir el peso propio de la misma. Además los desplazamientos prescriptos se aplican a la estructura de igual forma que las cargas concentradas en las juntas bajo un sistema de carga en particular.

Paso 8 [Definir desplazamiento prescripto]: Luego de definir los sistemas de carga, el siguiente paso es asignar el desplazamiento prescripto al soporte interno. Como el desplazamiento está en pulgadas, cambie las unidades a  en la parte inferior derecha del programa. Seleccione la junta del medio. Luego seleccione del menú principal de “Assign” la opción de “Joint Static Loads...” y a continuación la que dice “Displacements...”. Esta acción lo conducirán a la siguiente ventana.

**Ground Displacements**

**Load Case Name** DEAD

**Units** Kip, ft, F

**Displacements**

Translation Global X 0.

Translation Global Y 0.

Translation Global Z 4

Rotation about Global X 0.

Rotation about Global Y 0.

Rotation about Global Z 0.

**Coordinate System** GLOBAL


**Options**

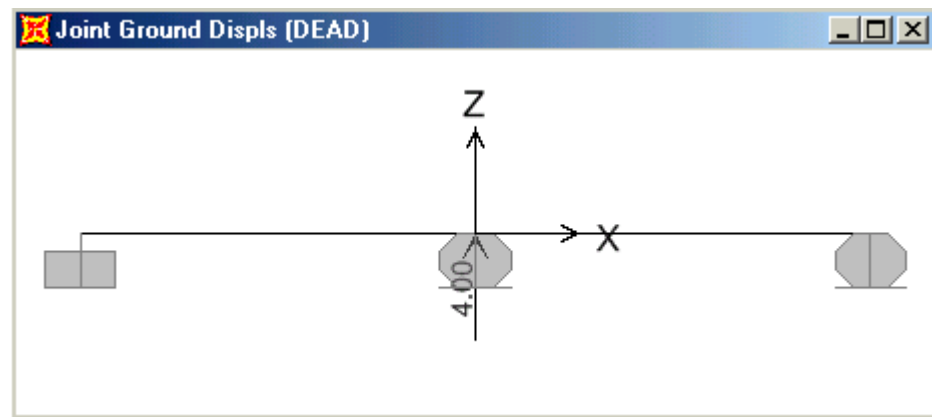
☒ Add to Existing Loads

☐ Replace Existing Loads

☐ Delete Existing Loads

OK Cancel


Verifique que en “Load Case Name” aparezca el nombre MUERTA (o el nombre que ha especificado en el sistema de carga). En el recuadro de “Displacements” en la caja de texto (“Text box”) de “Translation Z” escriba 4. Verifique que la opción de “Add to existing loads” está escogida. Seleccione OK. El desplazamiento aparecerá en el modelo como se muestra a continuación. El sentido del desplazamiento se indica con una Flecha. Recuerde grabar  el archivo actualizado de su modelo. Con esto termina la etapa de pre-procesamiento de datos.




**Nota:**

Los desplazamientos prescritos sólo pueden ser aplicados directamente a juntas o nodos.

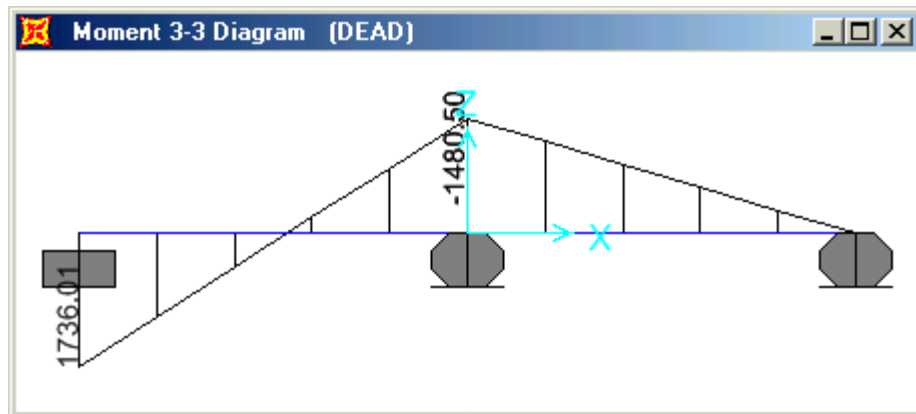
Paso 9 [Analizar la estructura]: Estamos ahora listos para la etapa de “Solución” o sea para analizar la viga. Como la estructura que estamos analizando es plana, es recomendable que se le especifique al programa los grados de libertad que se utilizarán. Para esto seleccione del menú principal en “Analyze”, la opción de “Set Options”. Esto lo conducirá a la pantalla titulada “Analysis Options”. Presione el segundo botón que dice “Plane Frame” y luego presione OK. Si no sigue este proceso, en este ejemplo el programa correrá sin problemas porque la estructura es estable (o sea no hay movimientos de cuerpo rígido fuera del plano) y además las propiedades de la viga estándar W16X45 están definidas en las dos direcciones de la sección transversal.

Para obtener la solución del problema, presione el icono de  o la tecla F5. También puede seleccionar del menú de “Analyze” la opción de “Run”.

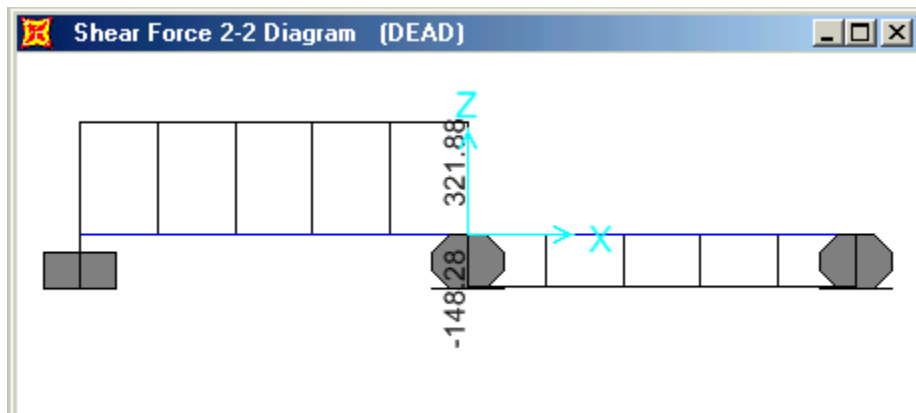
Presione OK. El programa muestra ahora la estructura deformada como se muestra a continuación. La deformación está muy exagerada para mejor visualización.


Paso 10 [Diagramas de Momento]: Ahora podemos ver los resultados del análisis: fuerzas y momentos internos, desplazamientos, rotaciones y reacciones. Comenzaremos con el diagrama de momentos. Para ver los diagramas de fuerzas internas seleccione el icono de  en el “toolbar” de la parte superior de la pantalla principal o seleccione del menú de “Display” la opción de “Show Element Forces/Stresses” y escoja “Frame”.

Verifique que en el espacio de “Load” esté la opción de “MUERTA Load Case”. Seleccione la opción de “Moment 3-3” en el recuadro de “Component”. Deje la opción de “Auto” seleccionada en el recuadro de “Scaling”. Quite la opción del cuadro de cotejo (“Check box”) de “Fill Diagram” y seleccione la opción de “Show Values on Diagram”. Los resultados del diagrama de momento en k-ft se muestran a continuación.

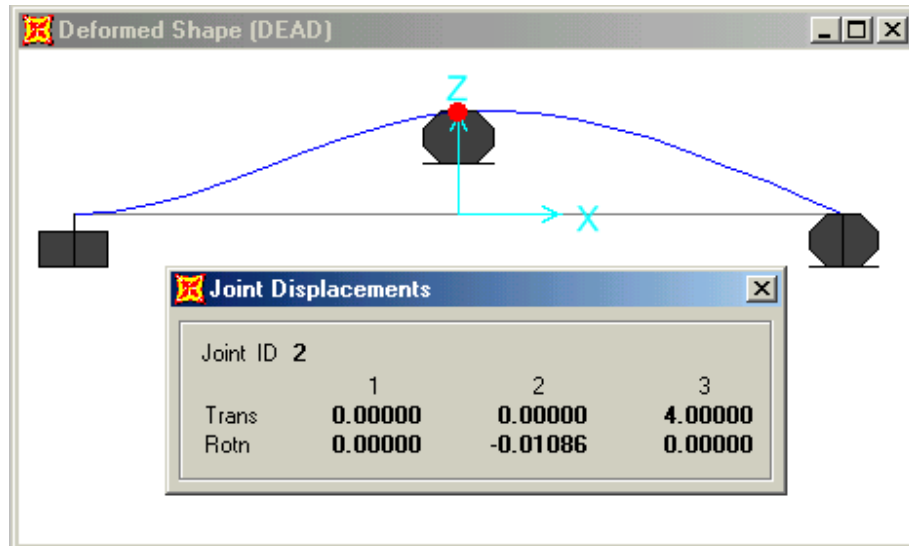



Paso 11 [Diagramas de cortante] : Repita el procedimiento del Paso 10 pero seleccione ahora “Shear 2-2” en vez de “Moment 3-3”. El programa va a mostrar el diagrama que se muestra a continuación.



Paso 12 [Deformada y desplazamientos en las juntas]: Cambie las unidades a . Para observar nuevamente la deformada o curva elástica de la estructura presione el icono  o seleccione del menú de “Display” la opción de “Show Deformed Shape”. Seleccione “Wire Shadow” y “Cubic Curve” y luego presione OK. Note que ahora, además de la curva elástica de la viga, aparece con otro color más opaco el eje de la estructura sin deformar. Esto se logró usando la opción de “Wire Shadow”

Para obtener los desplazamientos y rotaciones en los nodos o juntas, simplemente presione BD encima de la junta deseada. Escojamos por ejemplo la junta interna. La siguiente figura muestra las rotaciones y desplazamientos para esta junta. Note que el desplazamiento o traslación (“Trans”) en la dirección 3 (Global Z) es de 4 pulgadas positivo como se había especificado.



Paso 13 [Reacciones de Apoyo] : Si desea conocer las reacciones en los apoyos, presione el icono  en el menú principal. Alternativamente, puede usar la secuencia “Display” → “Show Element” → “Joint...” → “Forces/Stresses”. Aparecerá la ventana “Joint Reaction Forces” como se muestra a continuación.

**Joint Reaction Forces**

Case/Combo

**Case/Combo Name** DEAD

Multivalued Options

☐ Envelope (Range)

☒ Step 1

Type

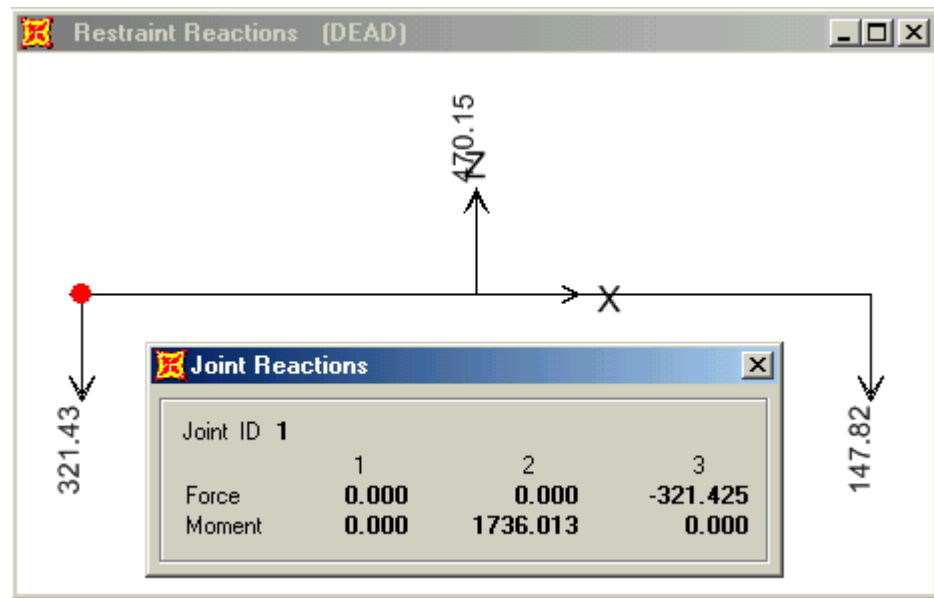
☒ Reactions ☐ Spring Forces

☒ Show as Arrows

OK

Cancel

En el recuadro del tipo “Type” escoja “Reactions” y presione OK. Aparece entonces la viga sin deformar con las reacciones indicadas con valor, dirección y sentido como se muestra en la siguiente figura.

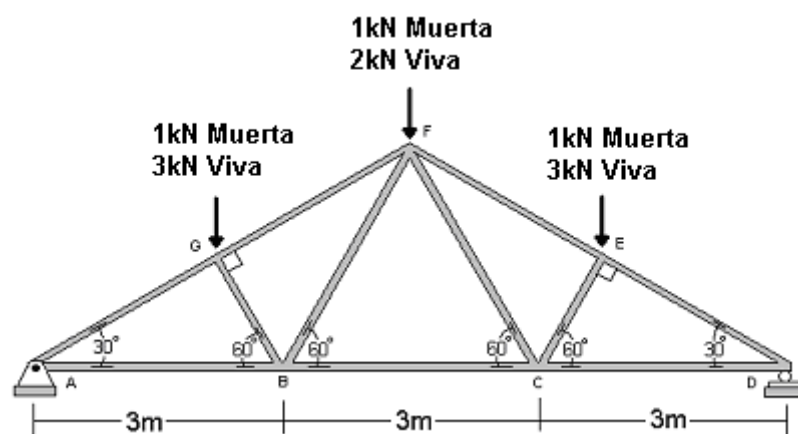


Los momentos **NO** aparecen en las figuras. Para conocer sus valores, por ejemplo en el apoyo izquierdo, haga un BD sobre la junta. Se abrirá la ventana “Joint Reaction”, en donde aparecen, las tres componentes de la reacción y del momento. Notar que solo la componente 2 (eje Y Global) del momento es distinta de cero. Esto se presenta en la siguiente figura.

Fin del Ejemplo de Vigas #2



## Ejemplo de Armaduras 1



Descripción del problema: Obtenga las fuerzas axiales en las barras y las reacciones debido a los siguientes estados de carga: a.) carga muerta, b.) carga viva y c.) combinación  $P_u = 1.2 DL + 1.6 LL$  donde DL significa carga muerta ("Dead Load") y LL significa carga viva ("Live Load") para la armadura que se muestra en la figura. Utilice como elementos, angulares L4X4 de acero estructural.

### Nota

Verificar la estabilidad en todos los sistemas es imperativo puesto que la estabilidad estructural es el requisito principal de cualquier estructura. En armaduras en particular, el diseño de estos sistemas se basan simplemente en la capacidad axial del elemento, teniendo como resultado unos sistemas con poca redundancia y poca capacidad para redistribuir cargas si alguno de los elementos colapsa, teniendo como resultados sistemas altamente dependientes de su configuración geométrica inicial. En armaduras esta verificación es sencilla y se recomienda que siempre se realice un análisis preliminar de estabilidad.

El sistema es estable externamente puesto que las reacciones no son paralelas ni concurrentes. La estabilidad interna se verifica primordialmente con la comparación entre desconocidas y ecuaciones disponibles. El número de desconocidas para este problema es 14 (11 fuerzas axiales en las barras y 3 reacciones desconocidas). El número de ecuaciones totales equivalen al 2 ecuaciones ( $\sum F_x$  y  $\sum F_y$ ) por cada junta(en este caso 7) para un total de  $2 \times 7 = 14$  ecuaciones. Dado que el número de desconocidas es igual al número de ecuaciones de equilibrio podemos decir preliminarmente que el sistema es internamente estable.

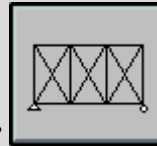
El último análisis de estabilidad interna es preliminar. En la mayoría de los casos este criterio es un buen indicador de estabilidad interna pero hay casos en que se cumple este criterio pero la configuración geométrica de los elementos estructurales forman un mecanismo inestable o de colapso. Otra forma de verificar es utilizando la regla de Cramer basado en el determinante de las ecuaciones de equilibrio de las juntas. El programa generara errores si éste último se cumple.

Paso 1 [Establecer unidades del sistema]: Active el programa SAP2000 y cambie las unidades a .

Paso 2 [Definición de la Geometría de la Armadura]: Seleccione del menú principal de “File” la opción de “New Model”. Esto lo conducirá a la siguiente pantalla.

#### Nota

Entre las opciones de “Templates” de SAP se encuentran dos tipos de “Templates” de armaduras comúnmente utilizados. Estos dos son el “Sloped Truss”

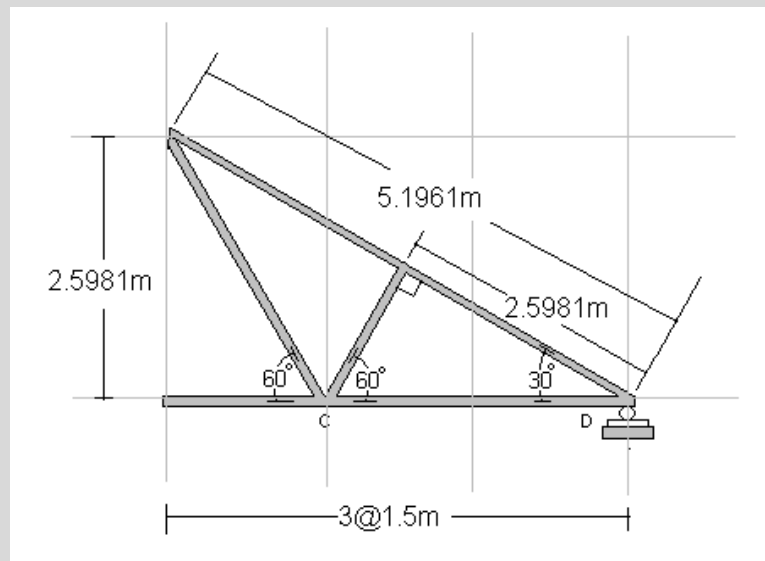


y el “Vertical Truss”. Se recomienda que si la geometría de la armadura es similar a uno de estos “Templates” se utilicen los mismos, puesto que facilitan considerablemente la etapa de Definición de la Geometría.

En este problema en particular utilizaremos la forma “clásica” de hacer modelos con las grillas o nodos, como se hace en la mayoría de los programas de elementos finitos. Vamos a tomar ventaja de la simetría del modelo para modelar inicialmente la mitad de la armadura. Luego utilizaremos la opción de “Replicate Mirror” para generar la

otra mitad de la armadura. La figura a continuación facilita la interpretación del problema. Note que se han definido cuatro líneas de grilla (3 espacios) en la dirección perpendicular a X y dos líneas (1 espacio) en la dirección perpendicular a Z. El programa SAP2000 ubica los espacios de la grilla centralizando el eje global justo en la mitad de ellos por lo que tenemos que establecer 6 espacios para tener los tres que deseamos, teniendo a su vez el eje de coordenadas en el centro.

Los demás valores mostrados fueron obtenidos mediante trigonometría. Note que el elemento perpendicular a la diagonal superior esta ubicado a la mitad de la misma.



**Coordinate System Definition**

**Cartesian**    Cylindrical

**System Name** GLOBAL

**Number of Grid Spaces**

X direction 6

Y direction 0

Z direction 1

**Grid Spacing**



X direction 1.5

Y direction 1.




Z direction 2.5981

OK Cancel

Ingresa los valores de 6 y 1 en el marco de “Number of Grid Spaces” para X y Z, respectivamente, y/o para la dirección Y. Además ingresa 1.5 y 2.5981 en el marco de “Grid Spacing”. Presione OK. Esto lo conducirá a la pantalla principal de SAP2000. Cierre la ventana de “3D View” para visualizar mejor el modelo.


Seleccione  del “toolbar” principal para visualizar mejor este punto de vista. Del menú principal, seleccione “Draw” y luego la opción de “Draw Frame Element”. Alternativamente del “toolbar” ubicado en la parte izquierda de la pantalla, seleccione el icono de .

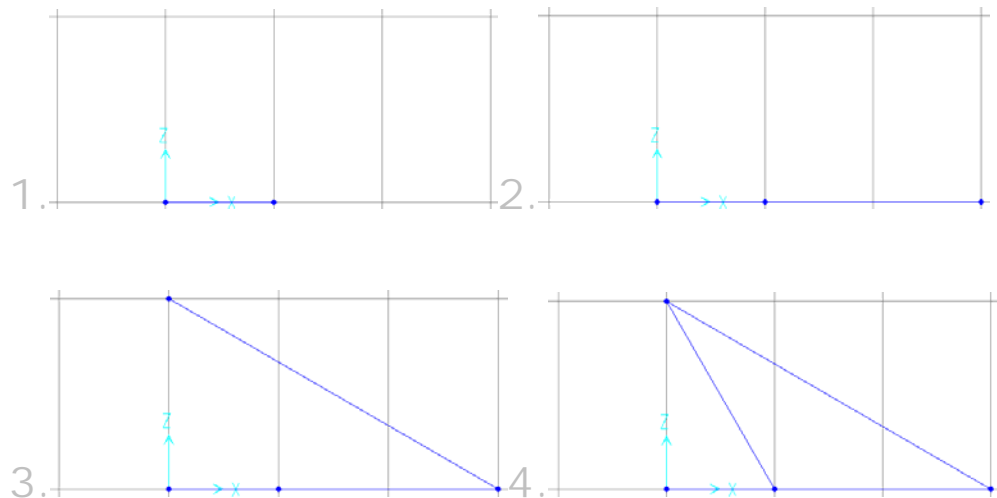
#### Nota

Note que al completar el paso anterior, el cursor (“Pointer”) de SAP2000 cambia de  a  indicando así que la opción de “Draw Frame Element” está activada. El cursor con la forma de una flecha inclinada  es la opción por omisión de SAP para seleccionar los componentes o elementos del modelo. Sólo cuando éste último cursor está activado es posible el seleccionar los nodos, elementos de vigas, placas, etc.

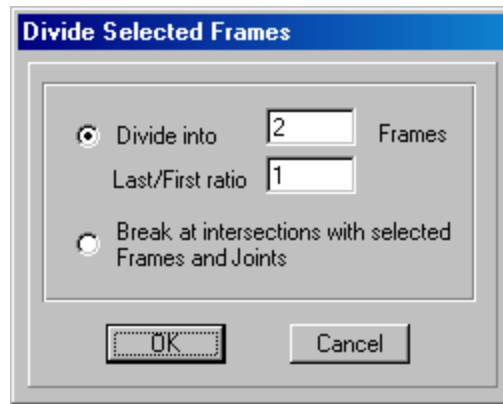
Con la opción de “Draw Frame Element” activada, se va a dibujar los elementos que comprenden la mitad derecha de la armadura como se muestra en las cuatro figuras siguientes.

Para dibujar los elementos presione BI en el punto donde quiere empezar a dibujar el elemento y otra vez el BI en el punto donde termina el elemento. Notará que cuando esté haciendo esto, una línea entrecortada seguirá el cursor hasta la posición o punto final. Luego del punto final, la línea entrecortada seguirá siguiendo el cursor buscando el siguiente punto final del próximo elemento. De esta manera complete el triángulo en el recuadro 3 de la siguiente figura. Cuando necesite empezar una línea o elemento desde otro punto inicial, presione el BD para indicar que terminó esa línea. Utilice otra vez el BI para indicar los puntos de inicio y final de la siguiente línea o elemento a dibujar (ver cuadro 4).


Luego de dibujar los cinco elementos de la parte derecha de la armadura, presione el icono  del “toolbar” ubicado en la parte izquierda de la pantalla, para volver así a la condición de selección.

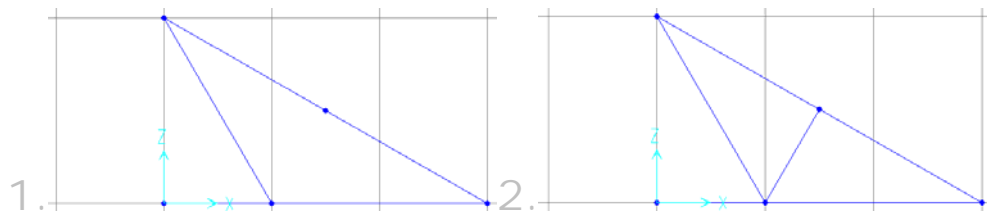


Paso 3 [Dividir el elemento diagonal con la opción “Divide Frame”]: Note que en la figura anterior falta un elemento para terminar la mitad de la figura. Como el elemento que falta tiene un extremo coincidente con la mitad del elemento diagonal de mayor longitud, vamos a utilizar una de las herramientas para la definición de geometrías que posee el programa la opción de “Divide Selected Frames”. Seleccione el elemento a dividir, haciendo BI sobre el elemento diagonal. Del menú de “Edit” seleccione la opción de “Divide Frames...”. Esto lo conducirá a la pantalla de “Divide Selected Frames” que se muestra a continuación.

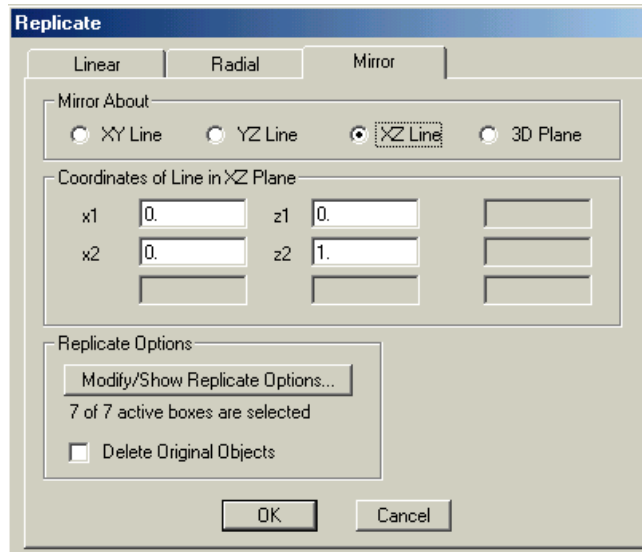


Verifique la opción de “Divide into” esté seleccionada y que haya un número 2 en su caja de texto. Seleccione OK. Note que el elemento diagonal aparece ahora dividido en dos, dado que hay un nodo intermedio, como se muestra en la siguiente figura.

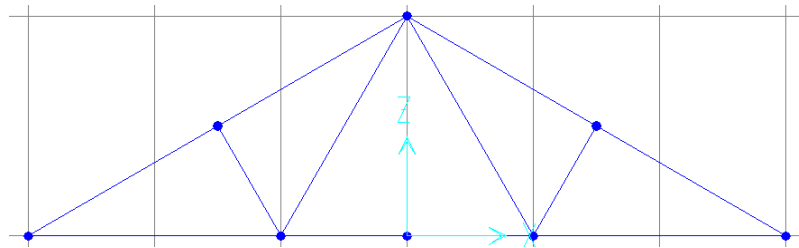
Dibuje un elemento entre la junta o nodo recién creado y aquella en la barra inferior, usando el procedimiento descrito en el paso 3. El resultado debe ser el que se encuentra en el paso 2 de la siguiente figura. Grabe su modelo .





Paso 4 [Imagen de Reflejo con la opción de “Replicate Mirror”]: Note que ahora la mitad de la estructura se encuentra completada. Para completar la parte izquierda del modelo utilizaremos otra opción de SAP2000 que es útil para geometrías simétricas o simplemente para facilitar el desarrollo de modelos. Seleccione todos los elementos haciendo un recuadro que cubra la estructura con el “mouse”, o haciendo BI en cada uno de los elementos. Del menú principal de “Edit” seleccione la opción de “Replicate”. Habra la opción o el “tab” de “Mirror” (espejo). Esto lo conducirá a la pantalla que se muestra a continuación.




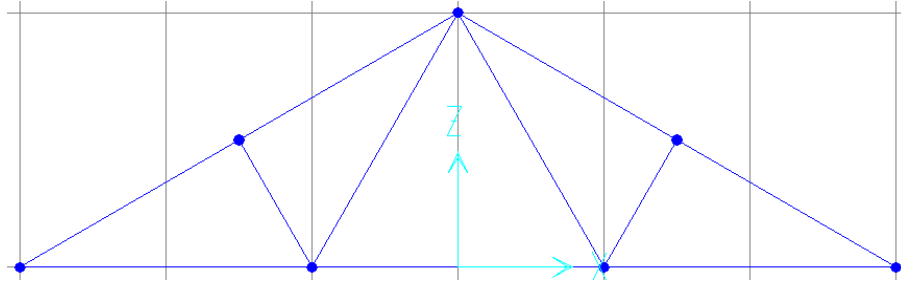
Seleccione la opción de “YZ Plane” puesto que éste es el plano donde se debería ubicar un espejo para formar la otra mitad de la imagen. Seleccione OK. El modelo debe estar como se muestra a continuación.



Paso 5 [Unión de elementos con la opción de “Join Frames”]: La geometría del modelo está prácticamente completada excepto que hay un nodo de más en el elemento central. Para eliminar este nodo o convertir los dos elementos adyacentes en uno, seleccione los dos elementos a unir. Del menú de “Edit” seleccione la opción de “Join Frame”. Esto automáticamente convertirá los dos elementos en uno. Note que si se dejan estos dos elementos sin unir, se crearía inestabilidad interna en la armadura.

Paso 6 [Definición de las condiciones de borde]: Seleccione el nodo en el extremo izquierdo haciendo BI sobre el mismo. Presione  del “toolbar” principal en la parte superior de la pantalla. De la ventana de “Joint Restraints” que aparece, seleccione el apoyo  del marco de “Fast Restraints”. Presione OK. Repita el procedimiento anterior con el nodo en el extremo derecho, pero

seleccione ahora  del marco de “Fast Restraints”. El modelo debe estar como aparece en la figura a continuación.



Paso 7 [Asignar las secciones de los porticos]: Seleccione todos los elementos de la armadura haciendo un recuadro que cubra la armadura completa o con Ctrl.+A, haciendo BI sobre cada uno de los elementos. El procedimiento para asignar las secciones angulares a cada barra se resume a continuación y se encuentra mejor detallado en el PASO 5 del Ejemplo 2 en el Capítulo de Vigas.

Assign → Frame → Sections... → Import Double Angle → Busque y abra el archive Sections.Pro → Escoja 2L 4X4X1/2 → OK → Verifique que el material sea acero (“STEEL”) → OK → OK

Paso 8 [Eliminar grados de libertad rotacionales de los nodos o elementos]: Note que la definición geométrica de la armadura se generó utilizando las herramientas de “Draw Frame”. Como consecuencia de esto el programa presume que los elementos dibujados son elementos de viga o MARCO, por lo que hay que eliminar los grados de libertad rotacionales para que la estructura sea una “armadura ideal”. Para esto seleccione todos los elementos del modelo. Del menú principal de “Assign” seleccione “Frame” y luego “Releases...”. Esto lo conducirá a la pantalla siguiente de “Frame Releases”.

Seleccione las dos opciones de “Moment 33 (Major)” para eliminar estos grados de libertad en los extremos de los elementos. Seleccione OK. En el modelo aparecerán unos nodos de color verde cerca de cada extremo Inicial (“Start”) y Final (“End”) indicando que hay un grado de libertad liberado (“Released”).

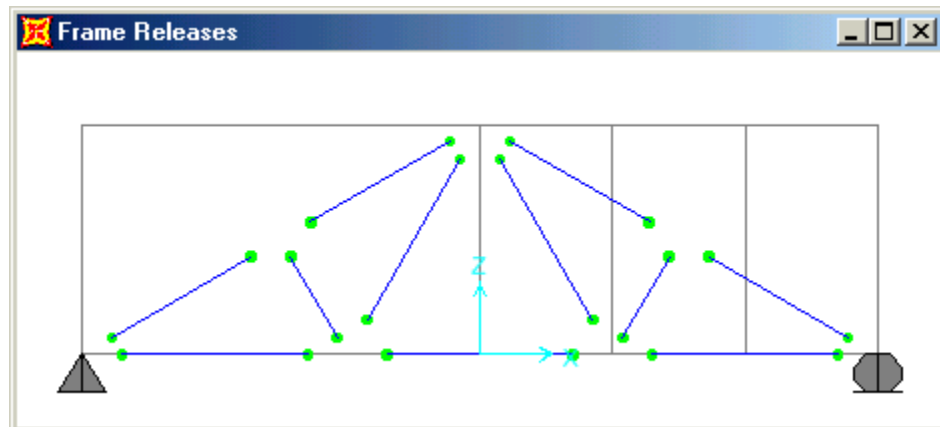
**Assign Frame Releases**

	Release		Frame Partial Fixity Springs	
	Start	End	Start	End
Axial Load	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Shear Force 2 (Major)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Shear Force 3 (Minor)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Torsion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Moment 22 (Minor)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Moment 33 (Major)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.	0.

☐ No Releases

OK Cancel



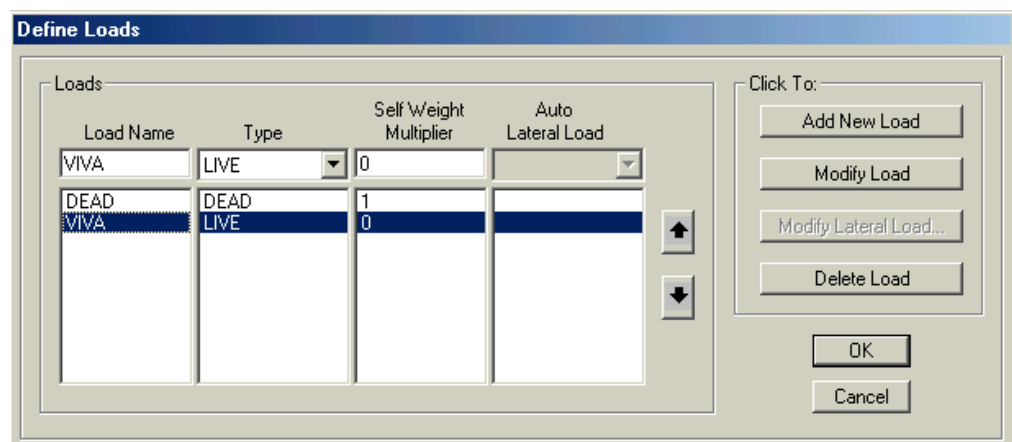


#### Nota

En el caso de un análisis en tres dimensiones, si va a “liberar” estos grados de libertad, es necesario que también seleccione los grados de “Moment 22 (Minor)” y el “Torsion” puesto que dependiendo de la posición especial del elemento, el grado de libertad de momento correspondería al grado de libertad torsional de otro elemento.

Paso 9 [Definir sistemas de cargas]: Los pasos se describen a continuación.

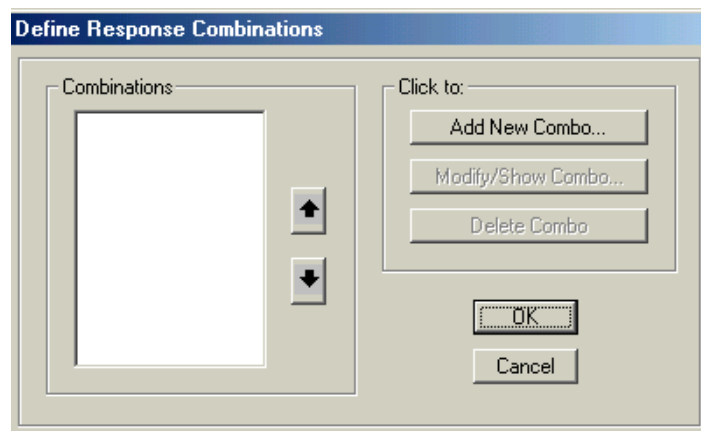
- a. La secuencia “Define” → “Static Load Cases...” lo conducirá a la siguiente ventana.



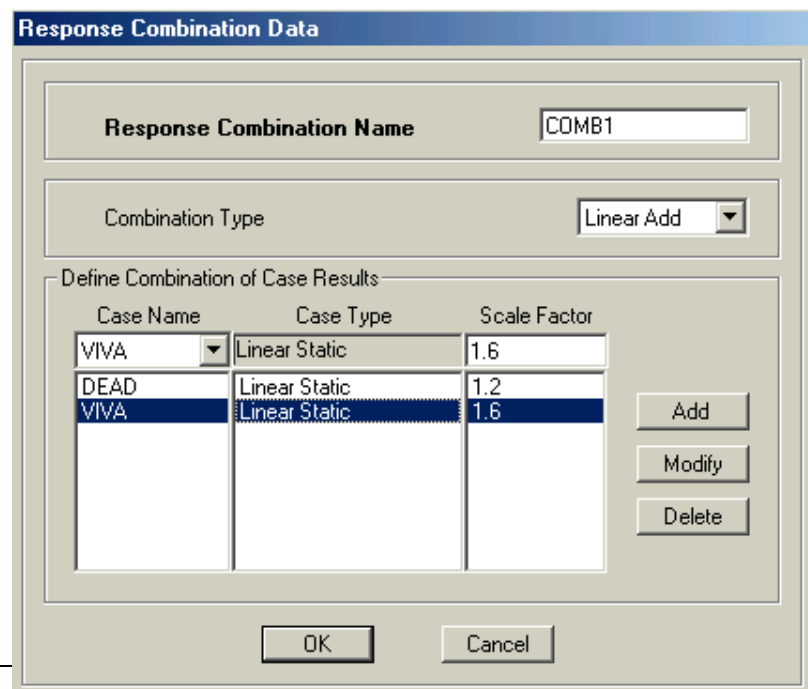
- b. Cambie el nombre de LOAD1 a MUERTA y presione el botón de “Change Load”

- c. Escriba el nombre de VIVA en la caja de texto de “Load”, cambie el tipo de carga en la caja de texto de “Type” a LIVE y escriba 0 en la caja de texto de “Self Weight Multiplier”. Presione el botón de “Add New Load”. Seleccione OK.

Paso 10 [Definir Combinación de carga]: Para definir la combinación de carga seleccione del menú de “Define” la opción de “Load Combinations...”. Esto lo conducirá a la ventana de “Define Load Combinations” que se muestra a continuación.




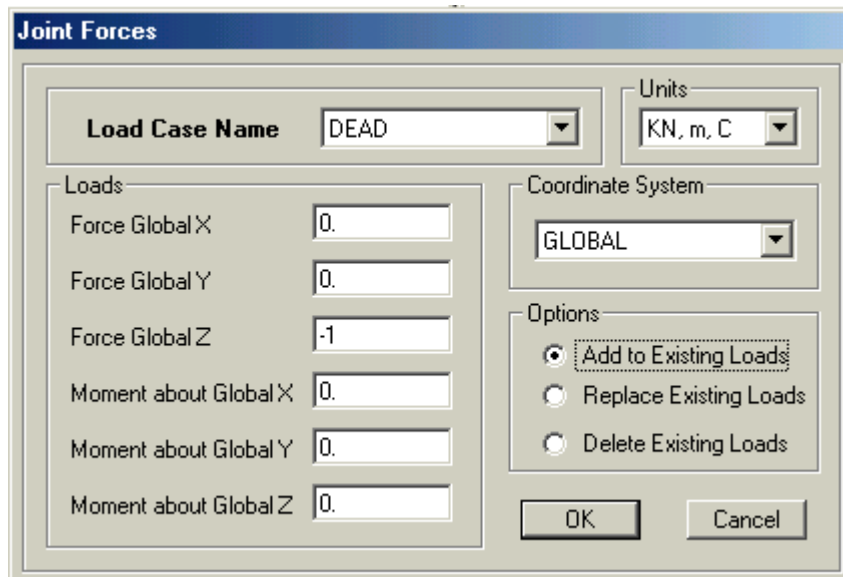
Seleccione el botón de “Add New Combo” lo que lo conducirá a la ventana de “Load Combination Data” que se muestra a continuación.




En el marco de “Load Combination Name” escriba un nombre para la combinación. En este caso vamos a dejar el nombre por omisión de COMB1. Verifique que en el recuadro de “Load Combination Type” se halle la opción de ADD (o sea suma de casos de cargas). En el recuadro de “Title” escriba un título descriptivo de la combinación deseada (por ejemplo 1.2 Muerta + 1.6 Viva). Este título es útil para interpretar los archivos de resultados del programa.

Dentro del recuadro de “Define Combination” en la caja de texto de “Scale Factor” escriba 1.2 y presione el botón de “Add”. Cambie la opción del la caja de combo de “Case Name” a Viva Load Case y el “Scale Factor” a 1.6. Presione “Add”. Presione OK dos veces para volver a la pantalla principal.

Paso 11 [Definir las cargas del sistema]: Seleccione las juntas identificadas como E, F y G en el dibujo de la armadura al comienzo del ejemplo. Presione el icono de “Assign Joint Loading” . Esto lo conducirá a la siguiente ventana.



Verifique que en el recuadro de “Load Case Name” esté el sistema de cargas MUERTA. Escriba -1 en la dirección “Force Global Z”. Presione OK.

Seleccione las juntas E y G. Presione . Cambie el “Load Case Name” de MUERTA a VIVA y escriba -3 en la caja de texto de “Force Global Z” como se muestra a continuación. Presione OK.

**Joint Forces**

Load Case Name: VIVA

Units: KN, m, C

Coordinate System: GLOBAL

Loads:

- Force Global X: 0
- Force Global Y: 0
- Force Global Z: -3
- Moment about Global X: 0
- Moment about Global Y: 0
- Moment about Global Z: 0

Options:

- ☐ Add to Existing Loads
- ☒ Replace Existing Loads
- ☐ Delete Existing Loads

OK Cancel

Seleccione la junta F y repita el procedimiento anterior pero escribiendo -2 en la caja de la “Force Global Z”. Esto se muestra a continuación.

**Joint Forces**

Load Case Name: VIVA

Units: KN, m, C

Coordinate System: GLOBAL

Loads:

- Force Global X: 0
- Force Global Y: 0
- Force Global Z: -2
- Moment about Global X: 0
- Moment about Global Y: 0
- Moment about Global Z: 0

Options:


- ☒ Add to Existing Loads
- ☐ Replace Existing Loads
- ☐ Delete Existing Loads

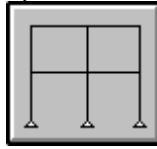
OK Cancel

#### Nota


Note que en SAP2000 solo tienen que definir los “Static Load Cases” y el programa se encarga de hacer las combinaciones.


Con esto concluimos la etapa de pre-procesamiento de datos.

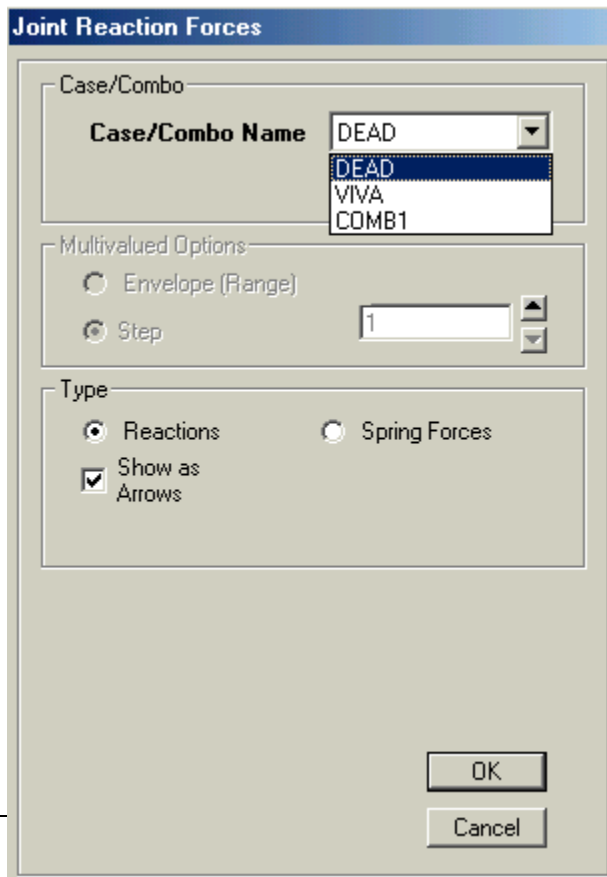
Paso 12 [Analizar la estructura]: Recuerde grabar su modelo . Abriendo el menú de “Analyze”, y dentro de la opción de “Set Options”, especifique la



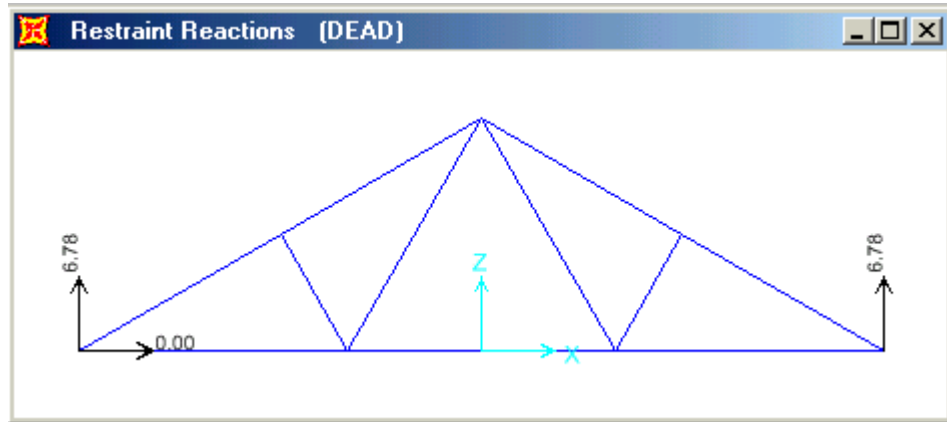
opción “Plane Frame” del cuadro de “Fast DOFs”. Presione OK.

Efectúe el análisis presionado  o con la opción de “Run” del menú de “Analyze”. En el primer caso escoja “Run” de las tres opciones de “Run Options”. Verifique que no haya un mensaje de error en la ventana “Analysis Complete” que aparece.

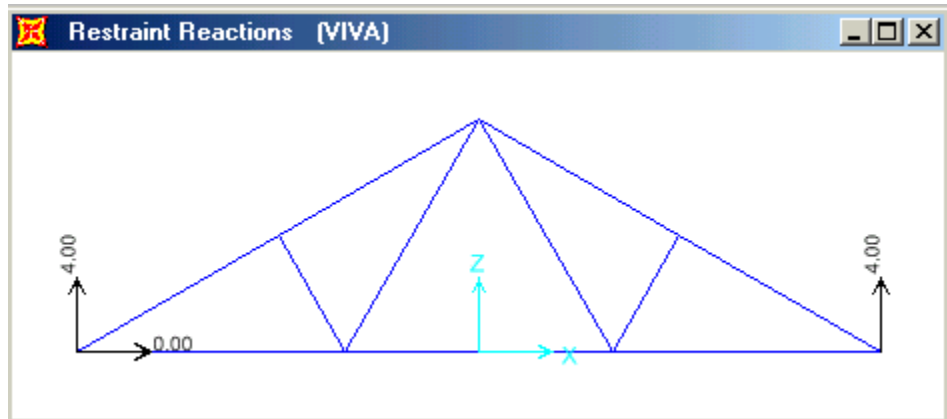
Paso 13 [Resultados de Reacciones]: Para ver las reacciones presione el icono de . Esto lo llevará a la siguiente ventana. Note que en recuadro de “Load” se hallan los dos sistemas de carga (MUERTA y VIVA) y la combinación COMB1 que se habían definido. Seleccione “MUERTA Load Case” y presione OK. Repita el procedimiento seleccionando VIVA y luego COMB1. Los resultados se muestran en las tres figuras subsiguientes.



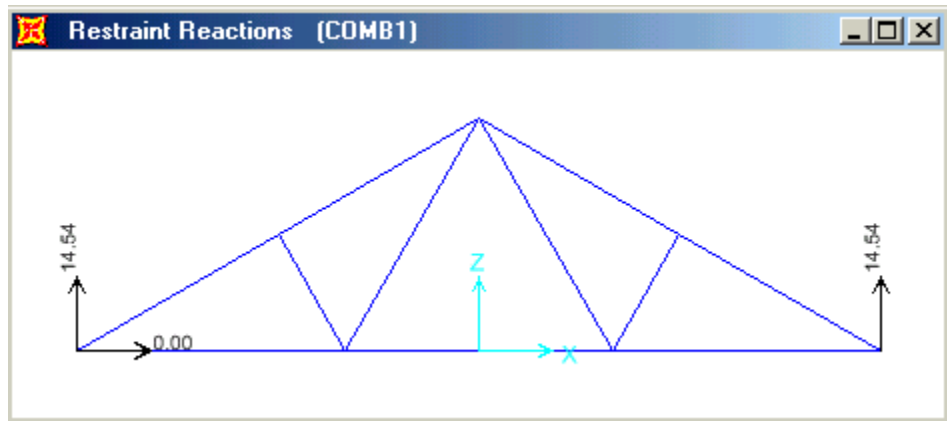
## MUERTA




## VIVA

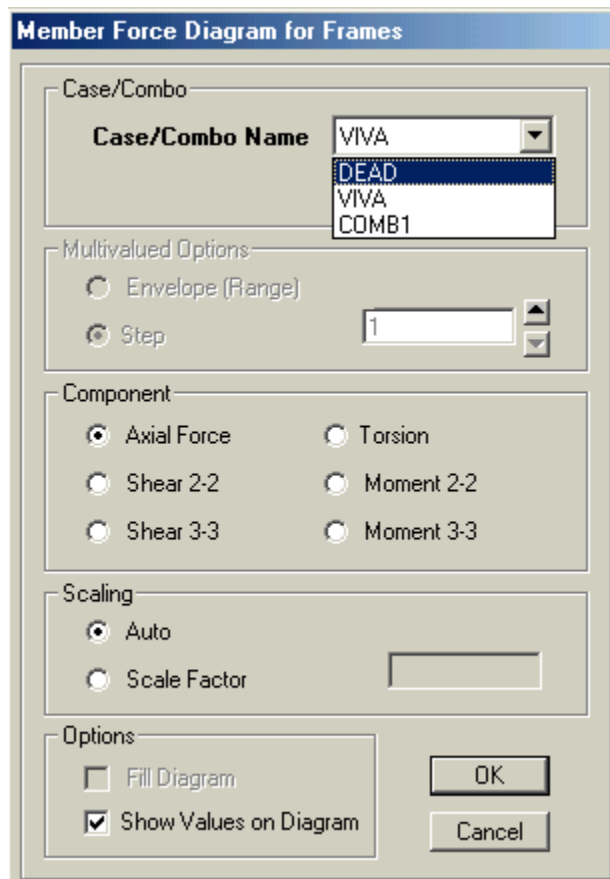


## COMB1

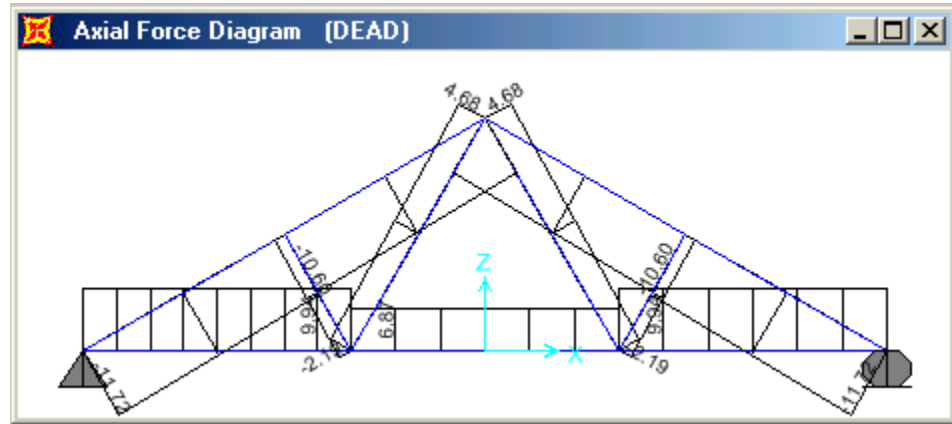


Paso 14 [Resultados de fuerzas internas axiales]: Para ver las fuerzas axiales presione el icono de . Esto lo llevará a la siguiente ventana de “Member Force Diagram for Frames”. Note que al igual que en las reacciones, en el recuadro de “Load” se hallan los sistemas de carga (MUERTA y VIVA) y la combinación COMB1 que se habían definido.

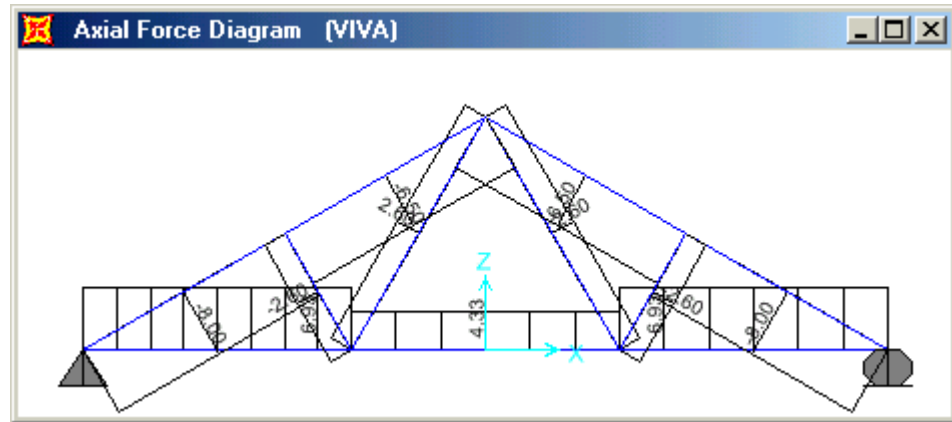
Seleccione “MUERTA Load Case” del cuadro “Load”. Marque la opción de “Show Values on Diagram” y presione OK. Repita el procedimiento seleccionando VIVA y luego COMB1. Los resultados se muestran a continuación.



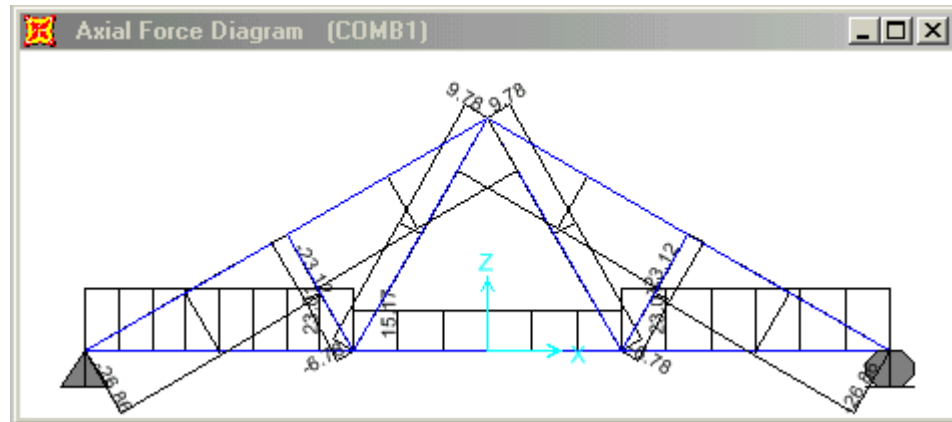
## MUERTA




## VIVA




## COMB1





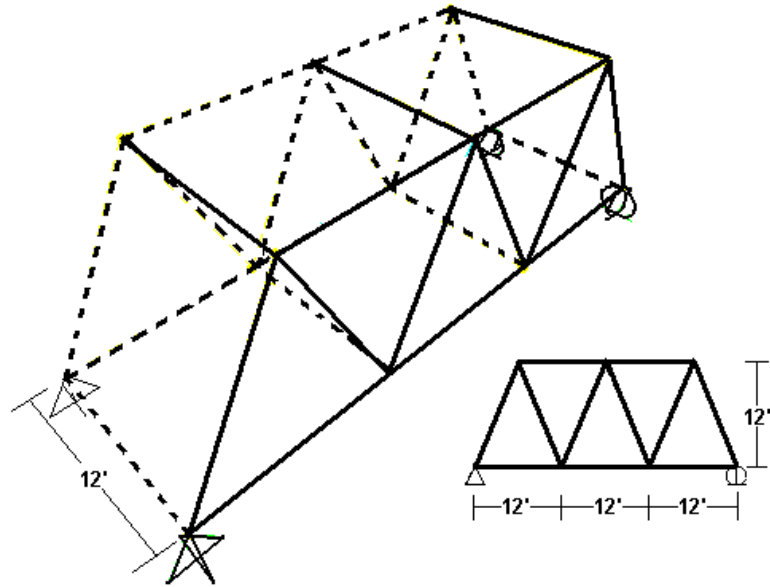
Paso 15 [Tablas con las fuerzas internas]: También es posible ver las fuerzas internas en la forma de una tabla. Para esto se aprieta el icono “Display Output Tables” . De la ventana “Select Output” se debe seleccionar el estado de carga para el cual se quieren ver los resultados. Luego se selecciona una barra (con BI) y presionando BD se abre la ventana “Frame Element Forces” donde se listan en una tabla todas las seis posibles fuerzas internas. La tabla contiene el número de la barra o elemento, el estado de carga o combinación, y la fuerza axial (P), los dos cortantes (V2 y V3), el torque o momento torsor (T), y los dos momentos flectores (M2 y M3). Estos valores se dan para varios puntos a lo largo del elemento con la posición medida en un sistema de ejes locales. Notar por último que el elemento en cuestión comienza a parpadear en la pantalla cuando se abre la tabla

#### Nota

Si en la ventana que se abre con el icono  se escoge “Moment 3-3” o “Shear 2-2” y la carga MUERTA o COMB1, el programa los diagramas de momento y cortante, dado que se está incluyendo el peso propio de las barras en estos casos de carga. Lo mismo puede observarse cuando se tabulan las fuerzas internas en las tablas de resultados.

Fin del Ejemplo de Armaduras #1

## Ejemplo de Armaduras 2



Descripción del problema: Para la armadura que se muestra en la figura, obtenga las fuerzas axiales o normales para los siguientes casos de carga:


- a.) carga muerta
- b.) carga viva
- c.) combinación  $P_u = 1.2 \text{ DL} + 1.6 \text{ LL}$ .


donde DL significa carga muerta (“Dead Load”) y LL significa carga viva (“Live Load”). Utilice como elementos, angulares 2L 6 X 6 X 3/4 para los elementos en compresión (arriba), 2L 4 X 4 X 1/2 para los elementos interiores y 2L 3 X 3 X 1/2 para los elementos en tensión (abajo). Los elementos que unen las dos armaduras planas son tubos TS 6 X 4 X 1/2.

Las cargas muerta y viva son de 1.5k y 2.5k respectivamente, y están aplicadas en las cuatros juntas inferiores.

Verificación de estabilidad interna:

Número de elementos = 11; Número de reacciones = 3; Número de juntas = 7. El número de elementos y reacciones es  $11+3 = 14$  y el número de ecuaciones de equilibrio es  $2 \times 7 = 14$ . Por lo tanto la armadura es internamente estable. También es externamente estable puesto que las reacciones no son concurrentes ni paralelas.

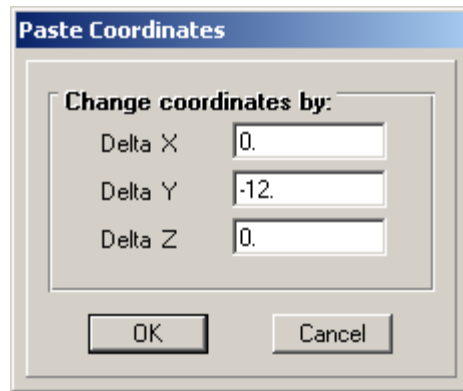
Paso 1 [Escoger el sistema de unidades]: Inicie el programa SAP2000 y cambie las unidades a .

Paso 2 [Definición de la geometría]: Del menú principal de “File” seleccione “New Model from Template...” y escoja la opción de “Sloped Truss” . En la ventana de “Sloped Truss” escriba 3 para el “Number of Bays”, 12 para la opción de “Truss Height” y 12 para la opción de “Truss Bay Length”. Presione OK. Esto genera la armadura tal y como se muestra en la figura anterior.



#### Nota




En este problema **NO** cierre la ventana de 3-D ya que la misma se utilizará en pasos posteriores. Aunque hasta ahora sólo se ha generado una cara de la armadura, más adelante se verá cómo utilizando otras herramientas de SAP2000 es posible “convertir” este problema bidimensional al tridimensional deseado.

Paso 3 [Crear la segunda armadura con la opción de “Copy”]: Como la segunda armadura es idéntica a la armadura construida en el paso anterior, se va a utilizar la opción de “Copy” para crear el modelo tridimensional. Seleccione todos los elementos de la armadura haciendo un recuadro que cubra toda la estructura o usando Ctrl + A. Del menú de “Edit” seleccione “Copy” y luego seleccione “Paste...”. Esto lo conducirá a la pantalla de “Paste Coordinates” siguiente.

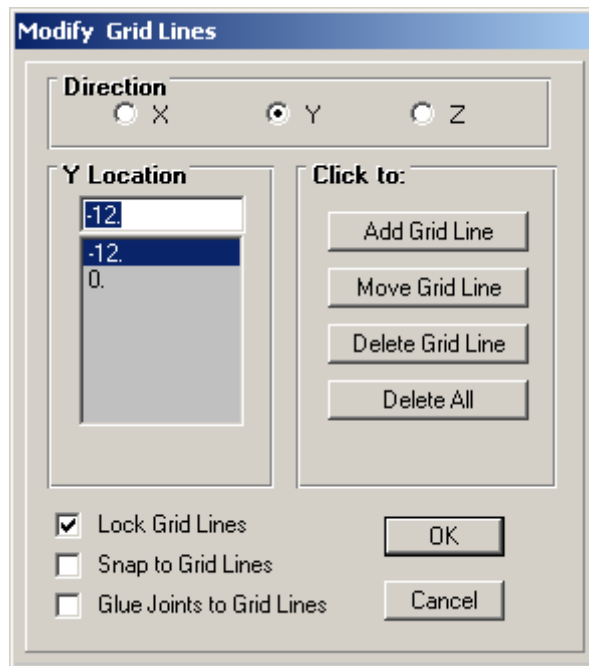


Escriba -12 (pies) en la caja de texto de “Delta Y” y presione OK. En la ventana “3-D Views” aparece otra armadura plana por delante de la creada en el paso 2.


Paso 4 [Crear elementos de unión]: Haga BI sobre la ventana derecha para activarla. Presione el icono de  del “toolbar” principal para obtener una vista en planta de la armadura. Note que en la parte superior de la ventana dice “X-Y Plane @ Z=12” o sea que estamos ubicados en un plano que pasa por las juntas superiores de las dos armaduras. Dibuje tres elementos para unir las armaduras con el icono de . El uso de esta herramienta se explicó en el Paso 3 del Ejemplo de Armaduras

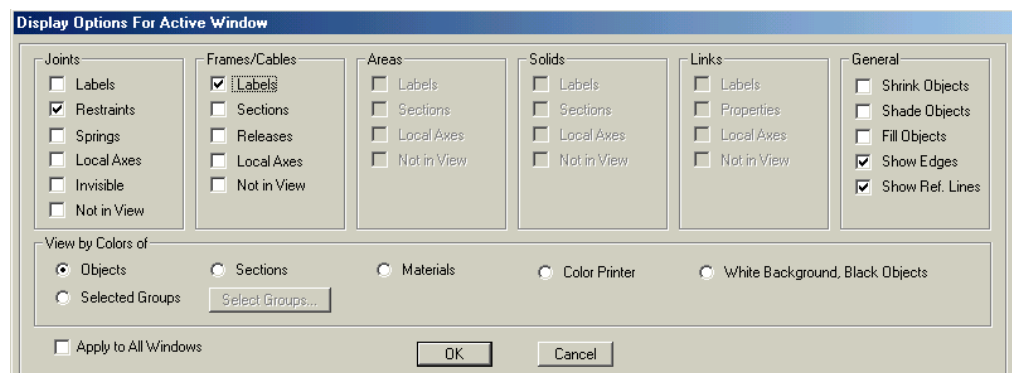
1. Presione el botón de  en el “toolbar” principal para bajar al nivel  $Z = 0$ . La ventana debe decir ahora “X-Y Plane @  $Z = 0$ ”. Dibuje los cuatro elementos de unión. Presione el botón de  para volver a la vista original del modelo. Asegúrese de presionar el icono  para recuperar el puntero (“Pointer”) original.


Paso 5 [Crear grilla en la coordenada de la segunda armadura]: Del menú principal de “Draw” seleccione la opción de “Edit Grid...”. Esto lo conducirá a la ventana de “Modify Grid Lines” que se muestra a continuación.

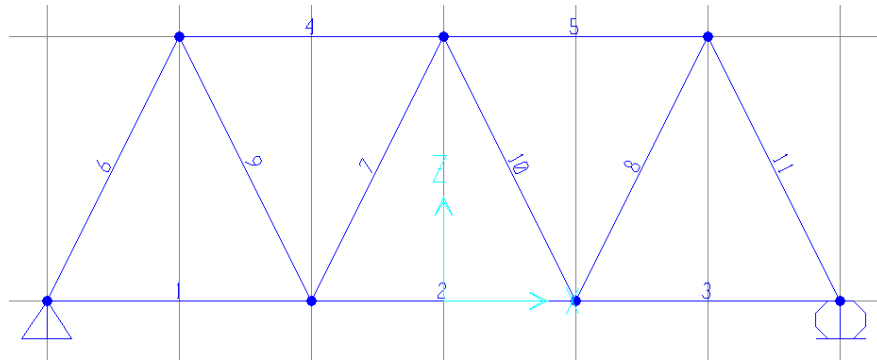


Seleccione la opción Y en el recuadro de “Direction” y escriba -12 en la caja de texto de “Y Location”, presione el botón de “Add Grid Line”. La pantalla debe aparecer como se muestra arriba. Presione OK.

Paso 6 [Definición de grupos]: Haga BI (en cualquier lugar) en la ventana en dos dimensiones X-Z para activar la misma. Del menú principal de “View” seleccione la opción de “Set Elements...” o del “toolbar” principal seleccione el icono . Cualquiera de estas opciones lo conducirá a las siguiente pantalla de “Set Elements”.




En el recuadro de “Frames” seleccione la opción de “Labels” para ver la numeración de los elementos. Presione OK. El programa muestra la numeración de las barras como se muestra a continuación. Note que la ventana derecha tiene escrito en la parte superior “X-Z Plane @ Y=0”. Para ver la segunda armadura presione el icono . Note que los números cambiaron y ahora la ventana dice “XZ Plane @ Y= -12”




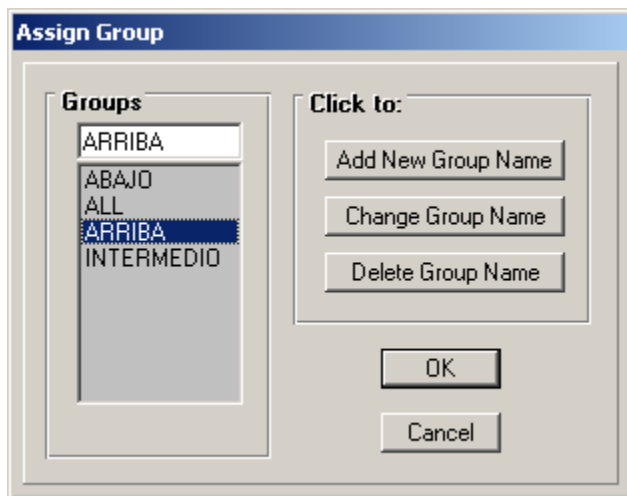
#### Nota



Esta venta de “Set Elements” es una de las herramientas más usadas en SAP2000. Como se puede ver, además de activar las numeraciones de los elementos (“Labels”), con la misma también se puede activar la opción para presentar las secciones de los elementos (“Sections”), los nodos liberados (“Releases”), el sistema de ejes (“Local Axes”), etc. Todas estas opciones son muy útiles para facilitar la interpretación y manejo de los modelos y se invita al lector a que active y desactive cada uno de ellas para que observe su resultado. Estas opciones tienen solamente un efecto visual y no afectan el modelo generado.




Del menú principal de “Define” seleccione la opción de “Groups...”. Esto lo conducirá a la siguiente ventana de “Define Groups”. El programa tiene por omisión un grupo llamado ALL, el cual incluye a todos los elementos. En la caja de texto escriba un nombre descriptivo para los elementos superiores, por ejemplo ARRIBA y presione el botón de “Add New Group Name”. Repita el procedimiento para asignarle un nombre a los otros grupos, por ejemplo escribiendo ABAJO, INTERMEDIO y UNION como se muestra en la figura. Presione  para volver a la pantalla inicial de “X-Z Plane @ Y=0”.





Paso 7 [Asignación de elementos a grupos]: Seleccione los elementos de arriba de la cuerda superior (elementos 6, 4, 5 y 11), por ejemplo haciendo BI sobre cada uno de ellos. Presione  para pasar al plano “X-Z @ Y = 12” y seleccione los elementos (17, 15, 16 y 22). Del menú principal de “Assign” seleccione la opción de “Group Name...”. Esto lo conducirá a la siguiente ventana de “Assign Group”.



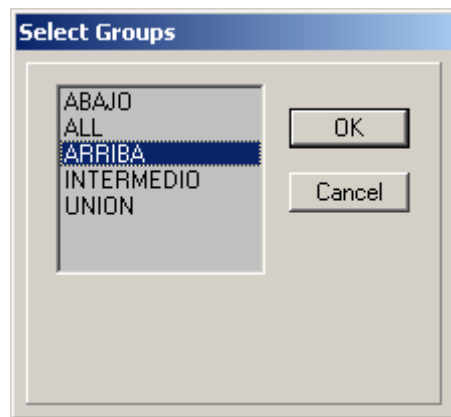
Seleccione la opción de ARRIBA y presione OK. Ahora seleccione los elementos de la cuerda inferior de la armadura (elementos 12, 13 y 14), presione  y seleccione los elementos (1, 2 y 3). Otra vez seleccione del menú de “Assign” la opción de “Group Names...”, seleccione ABAJO y presione OK. Seleccione los elementos intermedios (elementos 9, 7, 10 y 8), presione  y seleccione los elementos correspondientes de la otra armadura (20, 18, 21 y 19) y

repita el procedimiento anterior pero escogiendo INTERMEDIO en la ventana de “Assign Group”. Seleccione el icono de  y seleccione los elementos 23, 24 y 25, presione  y seleccione los elementos 26, 27, 28 y 29 y repita el procedimiento seleccionando UNION. Seleccione  para volver a la vista original.

Paso 8 [Definición de soportes en la segunda armadura]: Note que la opción de “Copy” no copia las condiciones de borde o soportes de la armadura. Asigne a la segunda armadura las mismas condiciones de borde que la de la armadura original haciendo uso del icono . El procedimiento ha sido detallado en el Paso 3 del Ejemplo de Vigas 2.

Paso 9 [Asignar secciones a los elementos]: Antes de asignar las secciones a los elementos apague la opción de “Labels” presionando el icono de  y quitando la opción de “Labels” de las opciones que se presentan allí.

Luego del menú principal de “Select” seleccione “Select” y subseleccione “Groups...”. Esto lo conducirá a la siguiente ventana de “Select Groups”.




Seleccione ARRIBA y presione OK. Note que automáticamente el programa ha seleccionado todos los elementos del grupo correspondiente, o sea aquellos en la cuerda superior.

Del menú de “Assign” seleccione “Frame” y luego “Sections”. Importe del archivo correspondiente los angulares dobles 2L 6 X 6 X 3/4 y asigne esta sección a los elementos antes seleccionados. El procedimiento de asignar secciones a los elementos fue explicado con detalles en el Ejemplo de Vigas 2 en







los Pasos 5 y 6. Repita nuevamente la secuencia “Select” → “Select” → “Groups...” y seleccione esta vez el grupo llamado INTERMEDIO. Importe y asigne los doble angulares 2L 4 X 4 X 1/2 a estos elementos. Repita el procedimiento para los elementos de abajo y asigne a estos los doble angulares 2L 3 X 3 X 1/2. Por último, repita el procedimiento para los elementos de UNION, usando tubos (Box/Tubes) TS 6 X 4 X 1/2.

Recuerde grabar  el archivo actualizado de su modelo (por ejemplo Armadura2).

Paso 10 [Definir sistemas de carga]: Del menú de “Define” seleccione “Static Load Cases...”. Defina dos sistemas de cargas, MUERTA y VIVA, sin incluir el peso propio de los elementos (escriba 0 en el “Self Weight Multiplier”). El procedimiento para definir los sistemas de cargas se explicó en detalle en el Paso 7 del Ejemplo de Vigas 2.

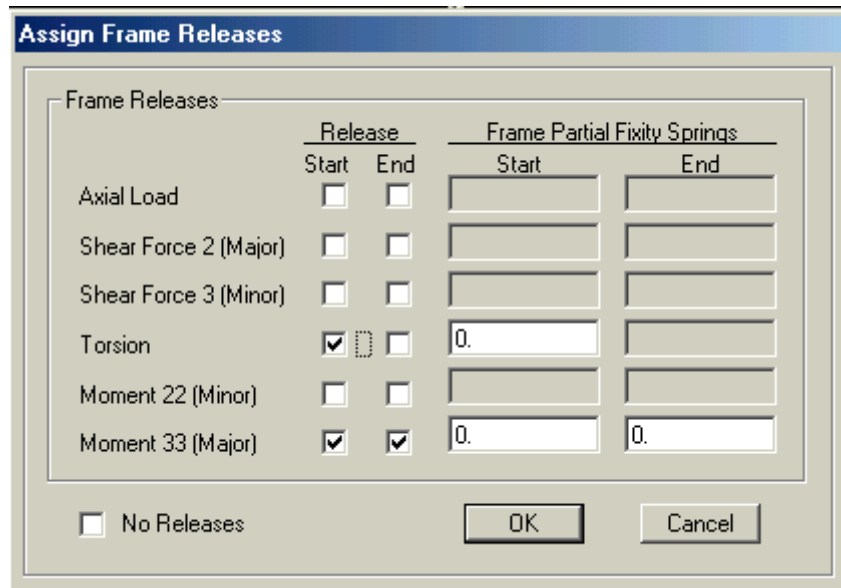
Paso 11 [Definir combinaciones de cargas]: Del menú de “Define” seleccione “Loads Combinations...”. Defina la combinación de carga de  $P_u = 1.2 \text{ DL} + 1.6 \text{ LL}$ . El procedimiento para definir las combinaciones de cargas se discutió en detalle en el Paso 11 del Ejemplo de Armaduras 1.


Paso 12 [Definir las cargas concentradas]: El procedimiento para asignar las cargas es el mismo que se usó en todos los ejemplos anteriores (ver Paso 12 en Ejemplo de Armadura 1). En este caso en particular las cargas se van a ubicar en las cuatro juntas centrales de la parte inferior de la armadura. Como el modelo es tridimensional se recomienda que se sigan los pasos que se describen a continuación para seleccionar las juntas. Haga BI sobre la pantalla de la derecha para activarla. Seleccione el icono de  para ver la armadura desde planta. Utilice las herramientas de  y  para ubicar los cuatro nodos deseados. Seleccione los nodos y aplique las cargas en las juntas en la dirección en la dirección “GLOBAL Z” con valor negativo.


Luego de aplicar las cargas presione el icono de  para volver a la vista lateral del modelo.

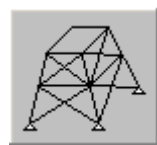
Paso 13 [Eliminar grados de libertad rotacionales y torsionales de los nodos o elementos]: Al usar los “Templates” de SAP2000, por omisión la armadura se genera con elementos de vigas o MARCOS (“Frame Elements”). Sabemos que las armaduras ideales no se analizan de esta forma sino que sólo se consideran los grados de libertad de translación y las cargas axiales. Por lo tanto, si se desea usar este modelo tradicional se deben eliminar los grados de libertad


sobrantes. Para esto del menú de “Select” use la secuencia → Select → Groups... → ALL para seleccionar todos los elementos del modelo. Del menú principal de “Assign” seleccione “Frame” y luego “Releases...”. Esto lo conducirá a la pantalla siguiente de “Frame Releases”.



Seleccione las fuerzas internas que se liberarán (o equivalentemente grados de libertad que se eliminarán) como se muestran en la figura. Más información sobre la liberación de fuerzas internas o eliminación de grados de libertad se presentó en el Paso 9 del Ejemplo de Armaduras 1. Si quiere ver los grados de libertad liberados seleccione “Releases” en la ventana que se abre con icono  de “Set Elements”.

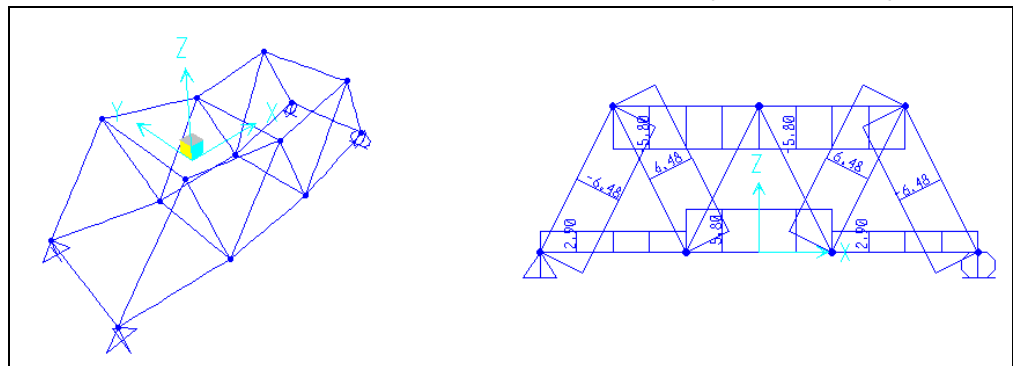
Paso 14 [Analizar la estructura]: Recuerde que debe grabar su modelo  antes de ejecutar el análisis. Especifique en el menú de “Analyze”, dentro de la opción de “Set Options...” la opción de “Fast DOFs” de armadura espacial (“Space Truss”):



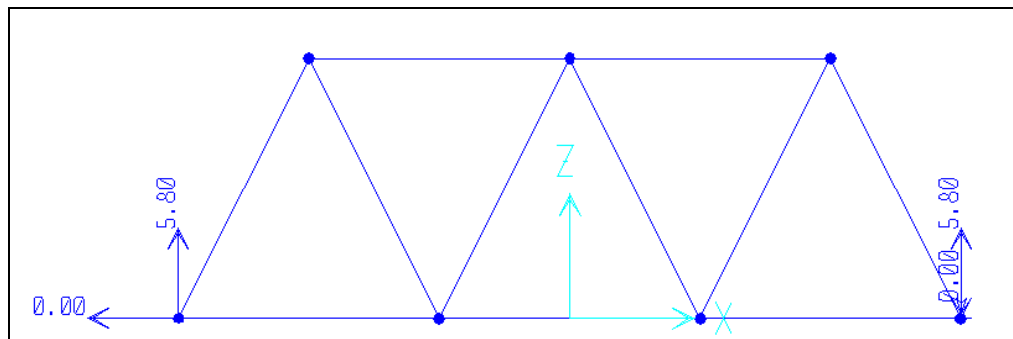
Corra el análisis presionado  o del menú de “Analyze” utilice la opción de “Run”. Presione OK.

Paso 15 [Resultados]: En la siguiente figura se muestra la estructura deformada en la parte izquierda y las fuerzas axiales para la combinación de carga en la parte derecha. En la figura subsiguiente se muestran las reacciones para la misma combinación.

### DEFORMADA Y AXIALES (COMB1)



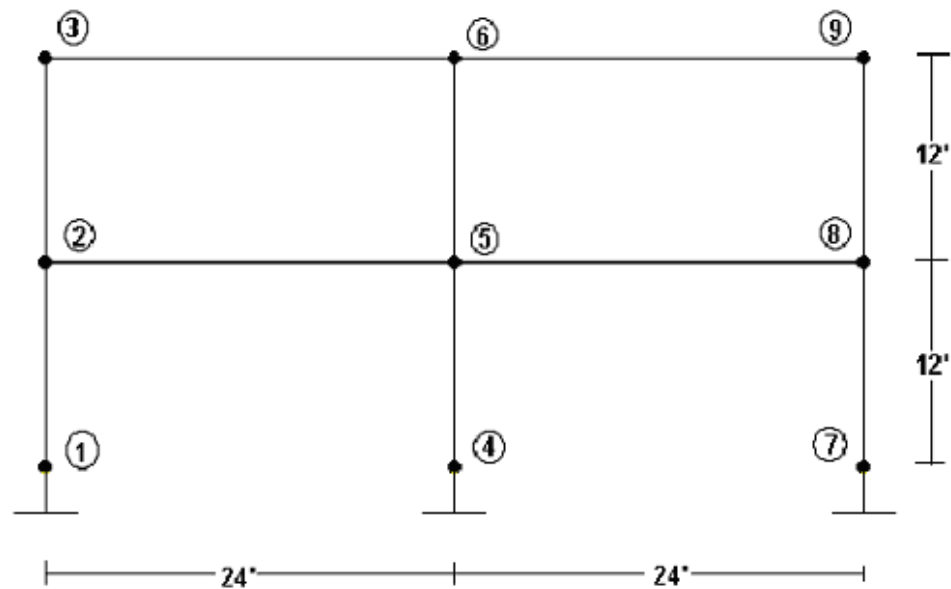
### REACCIONES (COMB1)



Para ver cada una de las reacciones o las fuerzas axiales individuales lea los Pasos 15 y 16 del Ejemplo de Armaduras 1.

Fin del Ejemplo de Armaduras #2

## Ejemplo de MARCOS 1



Descripción del problema: Para la estructura de MARCO plano que se muestra, obtenga las reacciones y los diagramas de momento para las siguientes combinaciones de carga y para una envolvente que contenga todos los sistemas de cargas y combinaciones que se describen a continuación. Utilice secciones de 12"x 24" para las columnas y de 12"x18" para las vigas. Utilice como material el hormigón que tiene el programa por omisión.

Sistemas de Cargas

- a.) carga muerta [DL] (1 k/ft en todas las vigas)
- b.) carga viva [LL] (0.7 k/ft en todas las vigas)

- c.) carga de terremoto [E] (5 k y 10 k en las juntas 2 y 3 respectivamente)

#### Combinaciones de Carga

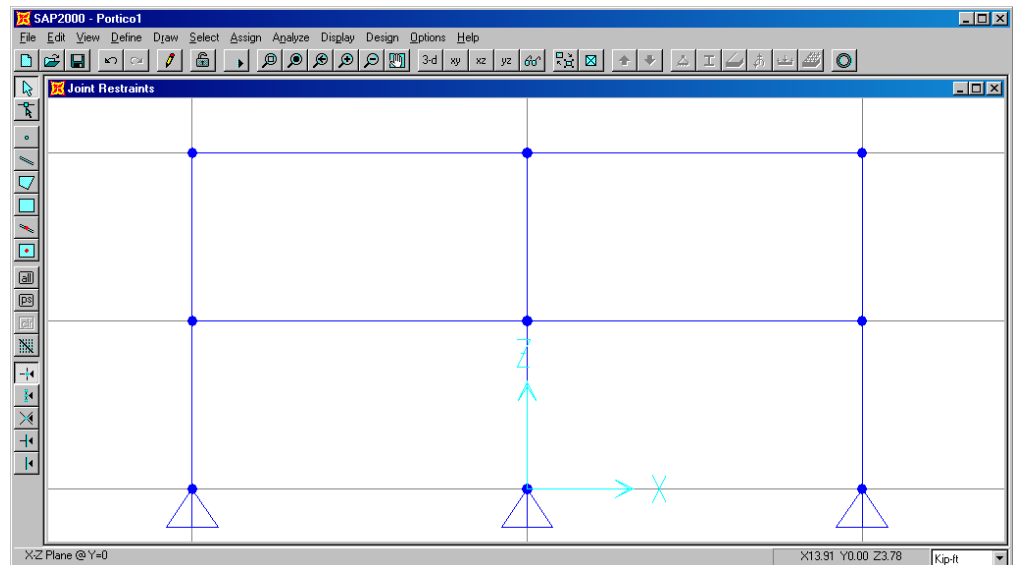
- d.) COMB1: 1.4 DL + 1.7 LL  
e.) COMB2: 0.9 DL + 1.3 E  
f.) COMB3: Envolvente


Paso 1 [Establecer unidades del sistema]: Active el programa SAP2000 y cambie las unidades a .

Paso 2 [Definición de geometría]: Del menú principal de “File” seleccione “New



Model from Template...” y seleccione la opción de “Portal Frame”. En la ventana del “Portal Frame” escriba 2 para el “Number of Stories” (número de pisos), 2 en el “Number of Bays” (número de tramos o vanos), 12 para la opción de “Story Height” (altura de piso) y 24 en la opción de “Bay Length” (largo del tramo o vano). Presione OK. Cierre la ventana de 3-D. Esto le genera el marco tal y como se muestra en la siguiente figura.

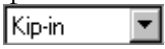



Paso 3 [Definir y asignar las secciones de los elementos]: Seleccione las columnas del MARCO presionando el icono de  del “toolbar” ubicado en la parte izquierda de la pantalla principal de SAP2000. Esta opción también se puede obtener mediante los siguientes pasos:


Menú principal de “Select” → “Select” → “Intercepting Line”

Este icono activa una de las opciones para seleccionar elementos en SAP2000 la cual se llama Modo de Selección de Intercepción de Línea (“Set Intercepting Line Select Mode”). Como sugiere el título, ésta es una opción para seleccionar elementos mediante el trazado de una línea que intercepta a todas las líneas o elementos que se desean seleccionar.

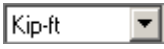
Luego de activar esta opción, trace apretando el “mouse”, una línea “interceptadora” de izquierda a derecha que cruce desde la columna izquierda hasta la última derecha del primer piso. Esto seleccionará las tres columnas del primer piso. Note que este método es más rápido que seleccionar las columnas una a una con el BI, especialmente si hay muchos elementos. Repita el procedimiento para seleccionar todas las columnas del segundo piso.

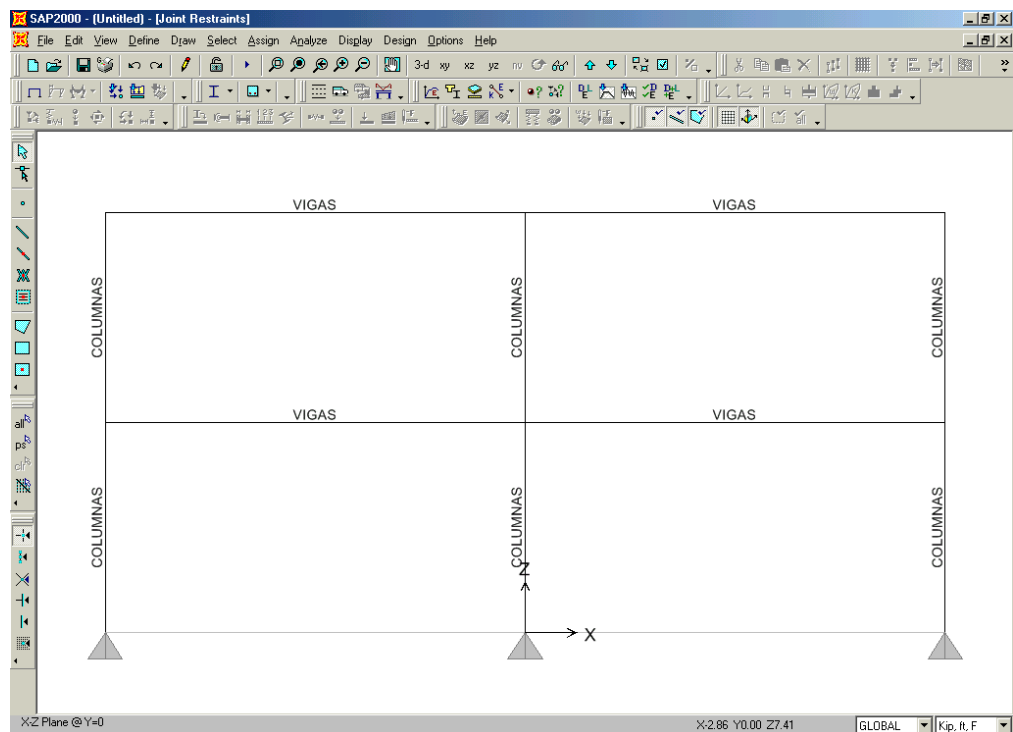
El procedimiento para definir y asignar las secciones de los elementos se explicó detalladamente en el capítulo de vigas y en el capítulo de armaduras. Por lo tanto aquí sólo se listarán los pasos mínimos para definir y asignar las secciones a las columnas. Primero cambie las unidades a .

Presione el icono de  o del menú principal use las secuencias: “Assign” → “Frame” → Sections...” en la ventana que se abre, presione Modify/Show Section y cambie el material a CONC, los tamaños a 24 (“depth”) y 12 (“width”) y el nombre (“Sections Name”) a COLUMNS. Vuelva a la pantalla principal ( → OK → OK)




Seleccione nuevamente el icono de , pero ahora arrastre el cursor de arriba hacia abajo para seleccionar las vigas. Siga el procedimiento a continuación para definir y asignar las secciones a las vigas.

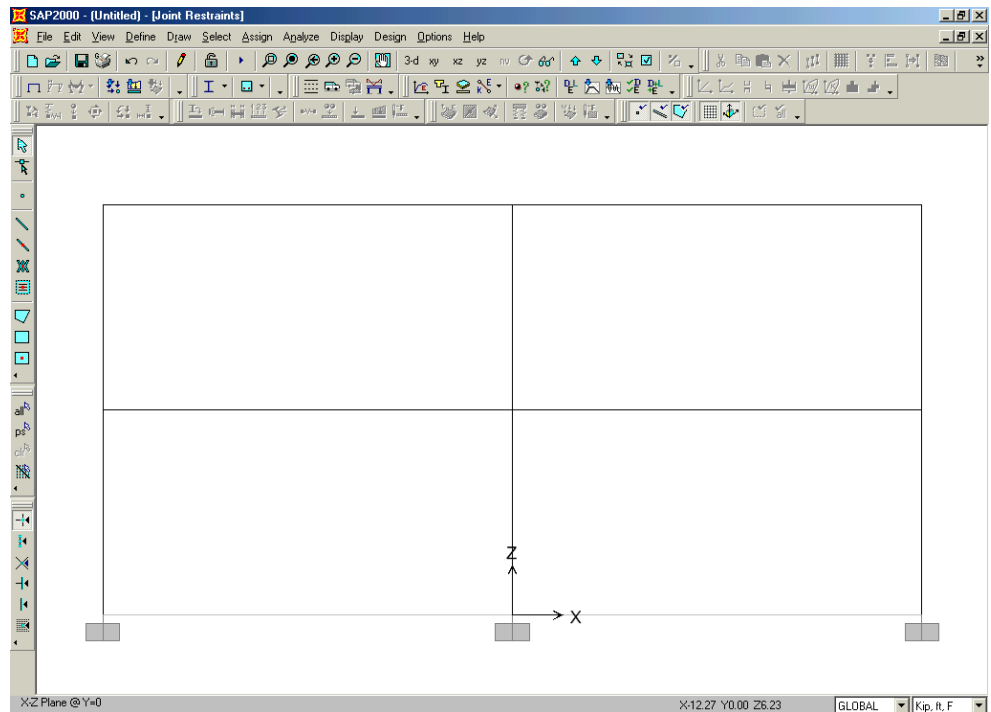
Comenzando en el menú principal de “Assign”, use “Frame” → “Sections...” o el icono equivalente, seleccione Add Rectangular y cambie el material a CONC, los tamaños a 18 (“depth”) y 12 (“width”) y el nombre a VIGAS. Salga con OK → OK.

Cambie las unidades a . El modelo debe verse como se muestra a continuación.



Recuerde grabar  el archivo actualizado de su modelo (por ejemplo Portico1).

Paso 4 [Definir condiciones de apoyo]: El procedimiento para definir las condiciones de borde fue presentado en detalle en el Paso 4 del Ejemplo de Vigas 1 y en los ejemplos anteriores. Para asignar las condiciones de borde, seleccione los tres nodos inferiores y presione el icono de  “Assign Joint Restraints”. Cambie las condiciones de las columnas exteriores de articulado  a fijo . El modelo hasta esta etapa se muestra a continuación. Presione OK.

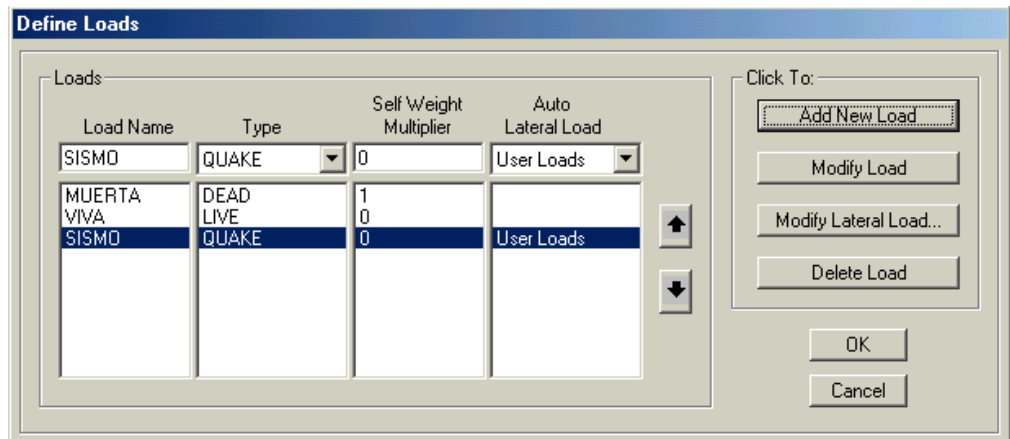


Paso 5 [Definir sistemas de cargas]: Del menú de “Define” seleccione “Static Load Cases...”. Defina tres sistemas de cargas (MUERTA, VIVA y TERRE). Incluya el peso propio de los elementos solamente para el de sistema de carga muerta (MUERTA) escribiendo 1 en el “Self Weight Multiplier” para este caso y 0 para los sistemas de carga viva (VIVA) y terremoto (TERRE). Note que, como se muestra en la figura a continuación, se ha escogido QUAKE como “Type” para el terremoto, LIVE para la carga viva y DEAD para la carga muerta. El procedimiento para definir los sistemas de cargas han sido presentado en detalle en el Paso 7 del Ejemplo de Vigas 2.

#### Nota

Note que el peso muerto (“Self Weight Multiplier” = 1) sólo se incluye en la definición del sistema de carga MUERTA puesto que si se incluyera en cualquiera de los otros sistemas de cargas implicaría que al hacer cualquier combinación de esos dos sistemas el peso propio de los elementos se estaría considerando más de una vez.





Paso 6 [Definir combinaciones de cargas]: El procedimiento para definir las combinaciones de cargas ha sido presentado en detalle en el Paso 11 del Ejemplo de Armaduras 1. A continuación se resumen los pasos esenciales a seguir para desarrollar las combinaciones de carga y la envolvente.

Para definir la primera combinación de carga de  $1.2 \text{ DL} + 1.6 \text{ LL}$ , siga los siguientes pasos.

1. Del menú de “Define” seleccione “Loads Combination...”.
  2. En la nueva ventana presione “Add New Combo”.
  3. En la ventana “Load Combination Data”, deje COMB1 en el recuadro de “Load Combination Name”.
  4. Deje ADD en el recuadro “Load Combination Type”.
  5. Cambie lo que aparezca en el recuadro de “Title” a  $1.4\text{DL} + 1.7 \text{ LL}$ .
  6. En la caja de “Scale Factor” escriba 1.4 y verifique que a la izquierda en el recuadro de “Case Name” esté el sistema de “MUERTA Load Case”. Presione ADD.
  7. Cambie en el recuadro de “Case Name” el sistema de carga a “VIVA Load Case” y escriba 1.7 en el cuadro de “Scale Factor”. Presione ADD.
- La ventana se debe ver como se muestra a continuación.

8. Presione el botón de OK una sola vez.

**Response Combination Data**

**Response Combination Name** COMB1

**Combination Type** Linear Add

**Define Combination of Case Results**

Case Name	Case Type	Scale Factor
VIVA	Linear Static	1.4
DEAD	Linear Static	1.7
VIVA	Linear Static	1.4

Add  
Modify  
Delete

OK Cancel

Para la segunda combinación de carga de  $0.9 \text{ DL} + 1.3 \text{ E}$ , siga los siguientes pasos.

1. De la ventana “Define Load Combinations” seleccione “Add New Combo”.
2. Deje COMB2 en el recuadro de “Load Combination Name”
3. Deje ADD en el recuadro “Load Combination Type”.
4. Escriba  $0.9 \text{ DL} + 1.3 \text{ E}$  en el recuadro de “Title”.
5. En la caja de “Scale Factor” escriba 0.9 y verifique que en el recuadro de “Case Name” esté el sistema de “MUERTA Load Case”. Presione MODIFY.

- Haga un BI sobre el sistema de carga “VIVA Load Case” y presione DELETE para borrarlo de esta combinación.
- En la caja de “Scale Factor” escriba 1.3 y escoja el sistema de “TERRE Load Case” del recuadro de “Case Name”. Presione ADD. La ventana debe verse como se muestra en la figura a continuación.
- Presione OK para regresar a la ventana de “Define Load Combinations”

**Response Combination Data**

Response Combination Name: COMB2

Combination Type: Linear Add

Define Combination of Case Results

Case Name	Case Type	Scale Factor
SISMO	Linear Static	1.3
DEAD	Linear Static	0.9
SISMO	Linear Static	1.3

Buttons: Add, Modify, Delete, OK, Cancel

Para la combinación de carga **ENVOLVENTE** de todos los sistemas y combinaciones de carga siga los siguientes pasos.

- De la ventana que está activada, seleccione “Add new Combo”.
- Deje COMB3 en el recuadro de “Load Combination Name” (o escriba este nombre si no aparece COMB3).

3. Cambie de ADD a **ENVE** en el recuadro “Load Combination Type”.
4. Cambie COMB3 (o lo que hubiera) en el recuadro de “Title” a ENVOLVENTE.
5. Seleccione los sistemas de carga haciendo BI sobre cada uno de ellos y presione DELETE para borrarlos.
6. Verifique que en el cuadro de “Case Name” aparezca MUERTA y que el “Scale Factor” esté en 1. Presione ADD.
7. Cambie el “Case Name” a “VIVA Load Case” y presione ADD.
8. Cambie el “Case Name” a “TERRE Load Case” y presione ADD.
9. Cambie el “Case Name” a “COMB1 Combo” y presione ADD.
10. Cambie el “Case Name” a “COMB2 Combo” y presione ADD. La ventana correspondiente a la envolvente se muestra en la figura a continuación.
11. Presione OK dos veces para terminar el proceso.

**Response Combination Data**

**Response Combination Name** COMB3

**Combination Type** Envelope




Define Combination of Case Results

Case Name	Case Type	Scale Factor
SISMO	Linear Static	1
COMB1	Combination	1
COMB2	Combination	1
DEAD	Linear Static	1
VIVA	Linear Static	1
SISMO	Linear Static	1

Add  
Modify  
Delete

OK Cancel

Paso 7 [Definir las cargas distribuidas]: El procedimiento para asignar las cargas uniformes fue explicado en todos los ejemplos anteriores (por ejemplo, en el Paso 12 de Ejemplo de Vigas 1).  
Siga el procedimiento a continuación para definir la carga MUERTA distribuida uniforme:

1. Verifique que las unidades estén en .
2. Presionando el icono de  seleccione las cuatro vigas, como se explicó anteriormente (o use cualquier otro método).
3. Presione el icono de “Assign Frame Span Loading” .
4. Verifique que en el recuadro de “Load Case Name” diga MUERTA
5. Verifique que en el recuadro de “Load Type and Direction” esté seleccionada la opción de “Forces” y que en la caja de “Direction” la dirección sea “Gravity”.

6. En el recuadro de “Options” deje la opción de “Add to existing loads”.
7. Verifique que el recuadro de “Point Loads” los valores de las cargas (“Load”) sean todos ceros.
8. En el recuadro de “Uniform Load” escriba 1. La ventana para esta carga uniforme se muestra a continuación.
9. Presione OK.

**Frame Distributed Loads**

Load Case Name: VIVA Units: Kip, ft, F

Load Type and Direction: ☒ Forces ☐ Moments  
 Coord Sys: GLOBAL Direction: Gravity

Options: ☒ Add to Existing Loads ☐ Replace Existing Loads ☐ Delete Existing Loads

Trapezoidal Loads:

	1.	2.	3.	4.
Distance	0.	0.25	0.75	1.
Load	0.	0.	0.	0.

☒ Relative Distance from End-I ☐ Absolute Distance from End-I

Uniform Load: Load: 1

OK Cancel

Siga el siguiente procedimiento para definir la carga VIVA distribuida uniforme:

1. Seleccione nuevamente las cuatro vigas usando el icono de
2. Presione el icono de “Assign Frame Span Loading”
3. Escoja VIVA del recuadro de “Load Case Name”.

4. Verifique que en el recuadro de “Load Type and Direction” esté seleccionada la opción de “Forces” y que en la caja de “Direction” la dirección sea “Gravity”
5. En el recuadro de “Options” deje la opción de “Add to existing loads”
6. Deje el recuadro de “Point Loads” como se encuentra (con carga cero).
7. En el recuadro de “Uniform Load” escriba 0.7. La ventana para esta carga uniforme debe verse como se muestra a continuación.
8. Presione OK.

**Frame Distributed Loads**

Load Case Name: VIVA Units: Kip, ft, F

Load Type and Direction:  
☒ Forces ☐ Moments  
 Coord Sys: GLOBAL  
 Direction: Gravity

Options:  
☒ Add to Existing Loads  
☐ Replace Existing Loads  
☐ Delete Existing Loads

Trapezoidal Loads:

	1.	2.	3.	4.
Distance	0.	0.25	0.75	1.
Load	0.	0.	0.	0.

☒ Relative Distance from End-I ☐ Absolute Distance from End-I

Uniform Load:  
 Load: 0.7

OK Cancel

Paso 8 [Definir las cargas concentradas]: El procedimiento para asignar las cargas fue descrito en todos los ejemplos anteriores (por ejemplo, en el Paso 9 del Ejemplo de Vigas 1). Siga el procedimiento a continuación para definir las cargas nodales de TERRE:

1. Seleccione la junta 2 (a la izquierda en el primer nivel) haciendo BI sobre la misma.
2. Presione el icono de “Assign Joint Loading”.
3. Cambie la carga en el recuadro de “Load Case Name” a TERRE.
4. Escriba 5 en el recuadro de “Force Global X” debajo de “Loads”.
5. Presione OK.
6. Repita los pasos del 1 al 5 seleccionando ahora la junta 3 (a la izquierda de la viga superior) y usando 10 para la fuerza en la dirección “Force Global X”. Las dos ventanas para estos casos de cargas nodales se muestran a continuación.

**Joint Forces**

Load Case Name: SISMO Units: Kip, ft, F

Coordinate System: GLOBAL

Options:  
☒ Add to Existing Loads  
☐ Replace Existing Loads  
☐ Delete Existing Loads

OK Cancel

**Joint Forces**


Load Case Name: SISMO Units: Kip, ft, F

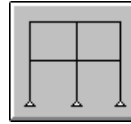
Coordinate System: GLOBAL


Options:  
☒ Add to Existing Loads  
☐ Replace Existing Loads  
☐ Delete Existing Loads



OK Cancel



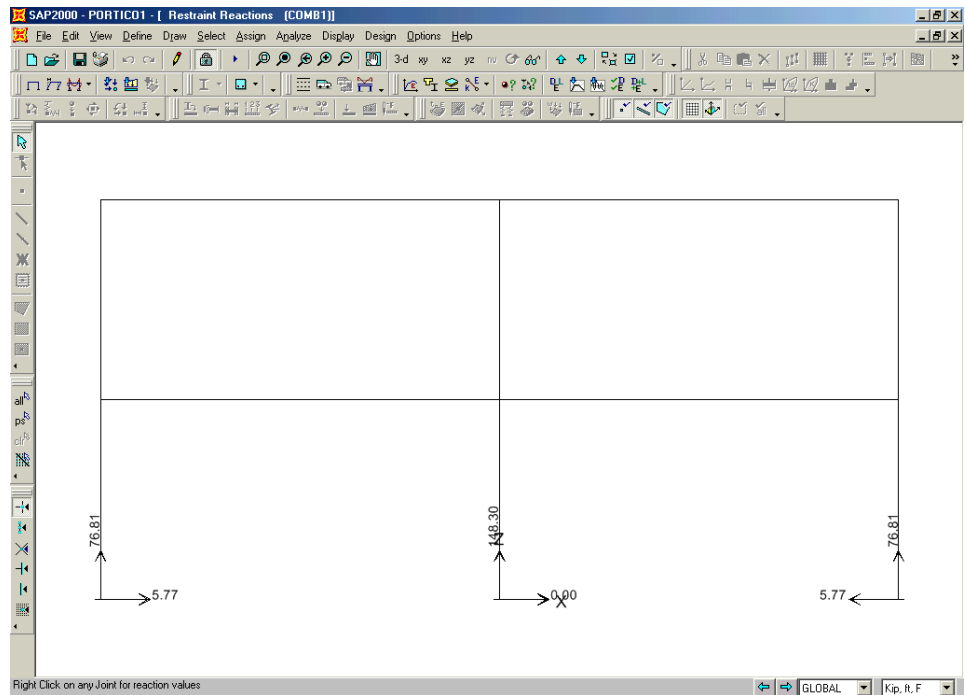
Paso 9 [Analizar la estructura]: Recuerde grabar su modelo . Especifique en el menú de “Analyze”, dentro de la opción de “Set Options...”, la opción de “Fast DOFs” que corresponde al siguiente caso:



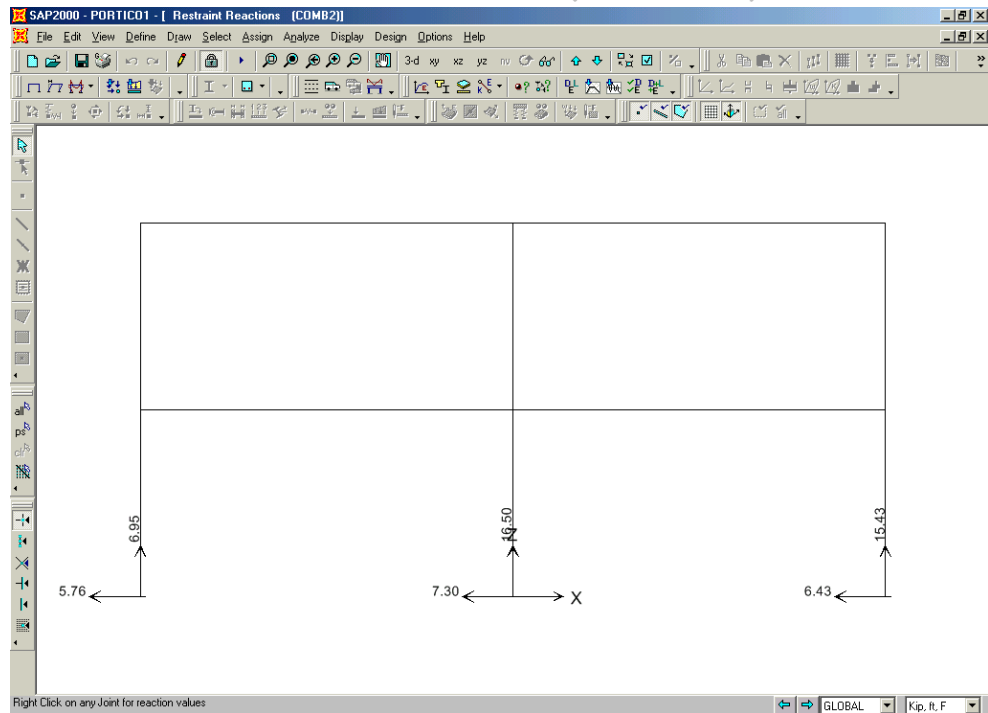
Corra el análisis presionado  o del menú de “Analyze” seleccionando la opción de “Run”.

Paso 10 [Resultados]: Si el programa corrió sin problemas, aparecerá el MARCO deformado debido al primer estado de cargas que se definió en este caso (carga MUERTA). Las deformaciones para los otros casos pueden verse escogiéndolo cada caso con el icono  (“Display Static Deformed Shape”). Aunque en este ejemplo nos interesan las reacciones y los momentos, siempre es recomendable examinar la estructura deformada para verificar si tiene la forma esperada para cada tipo de carga. En las siguientes figuras se muestran las reacciones y los diagramas de momento de la estructura para las combinaciones COMB1, COMB2 y para la COMB3 (Envolvente). Recordar que estas figuras se activan con los iconos .

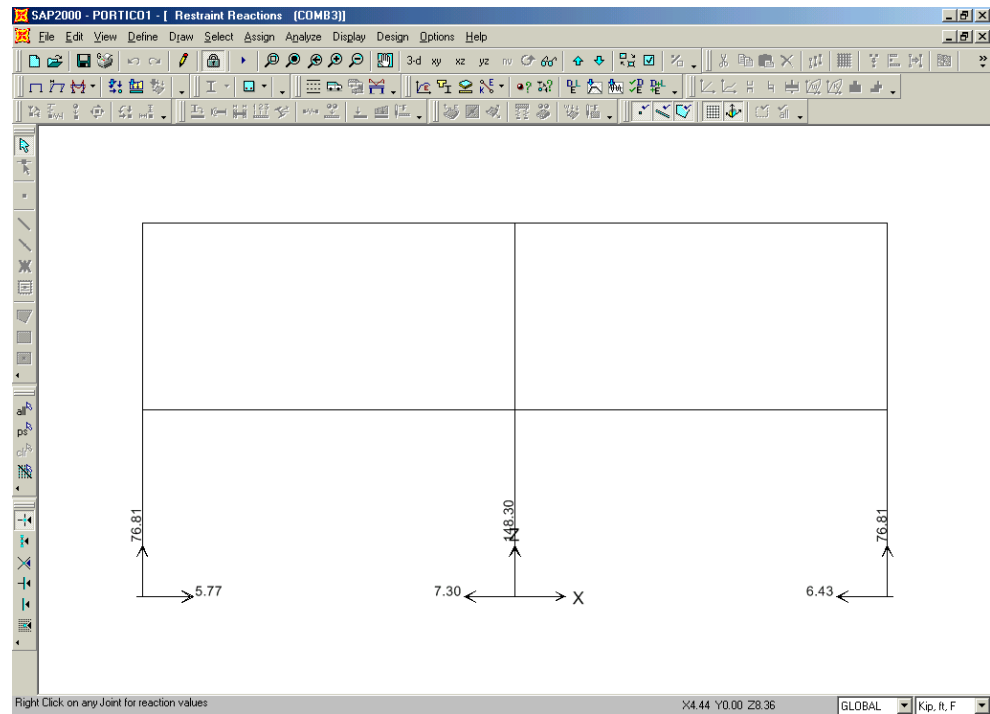
## REACCIONES (COMB1)



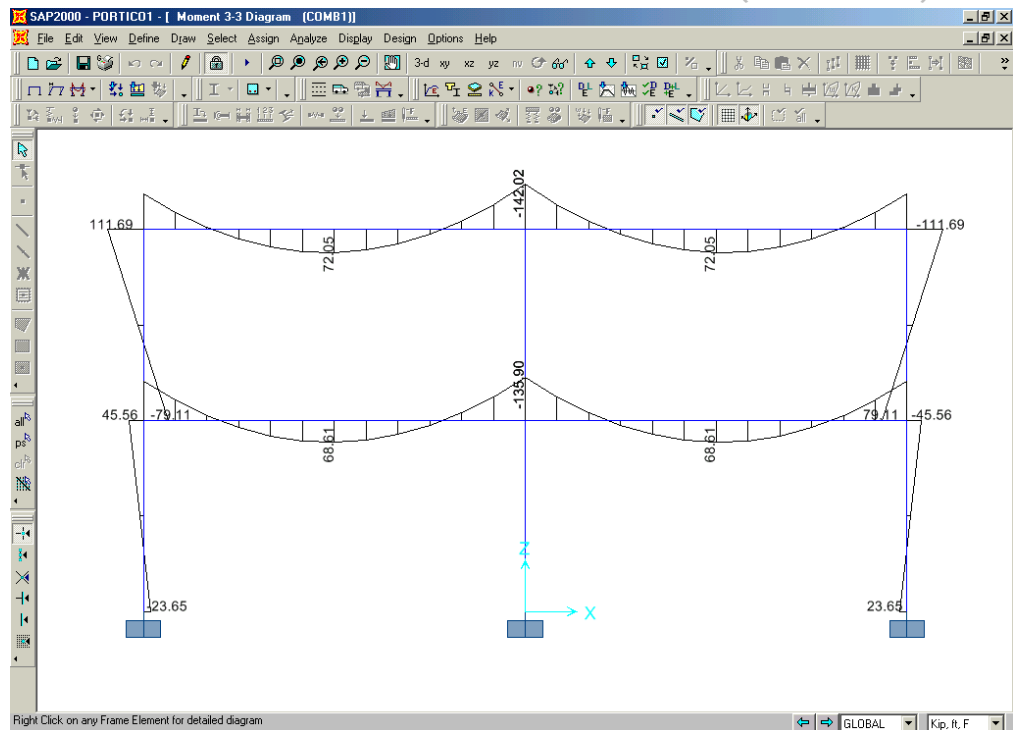
## REACCIONES (COMB2)



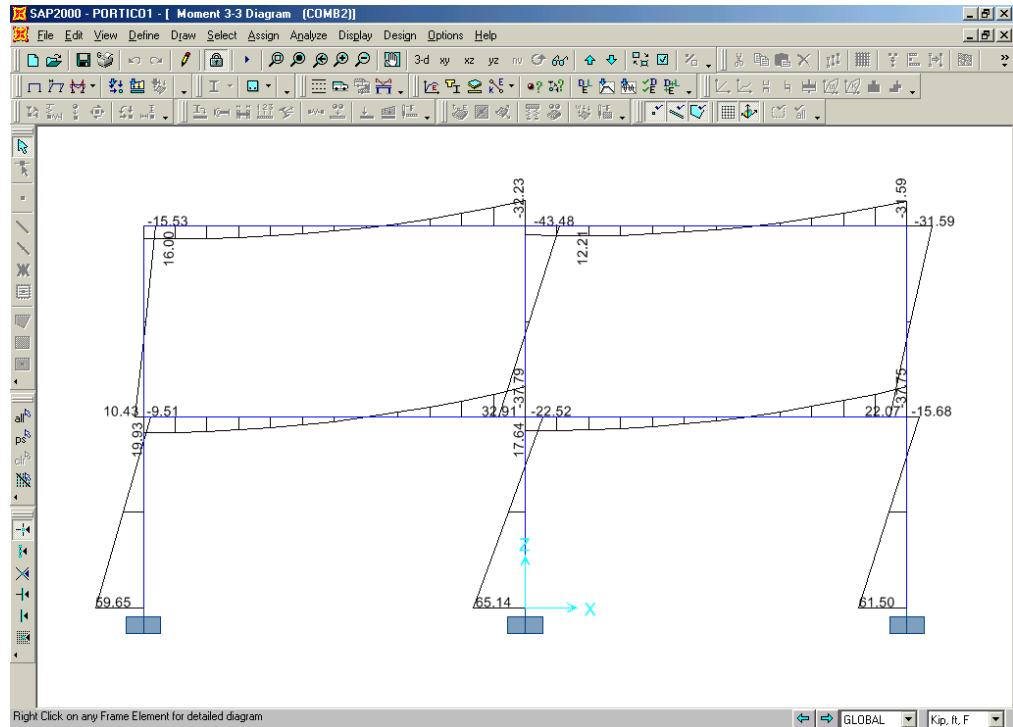
## REACCIONES (COMB3 [ENVELOPE])



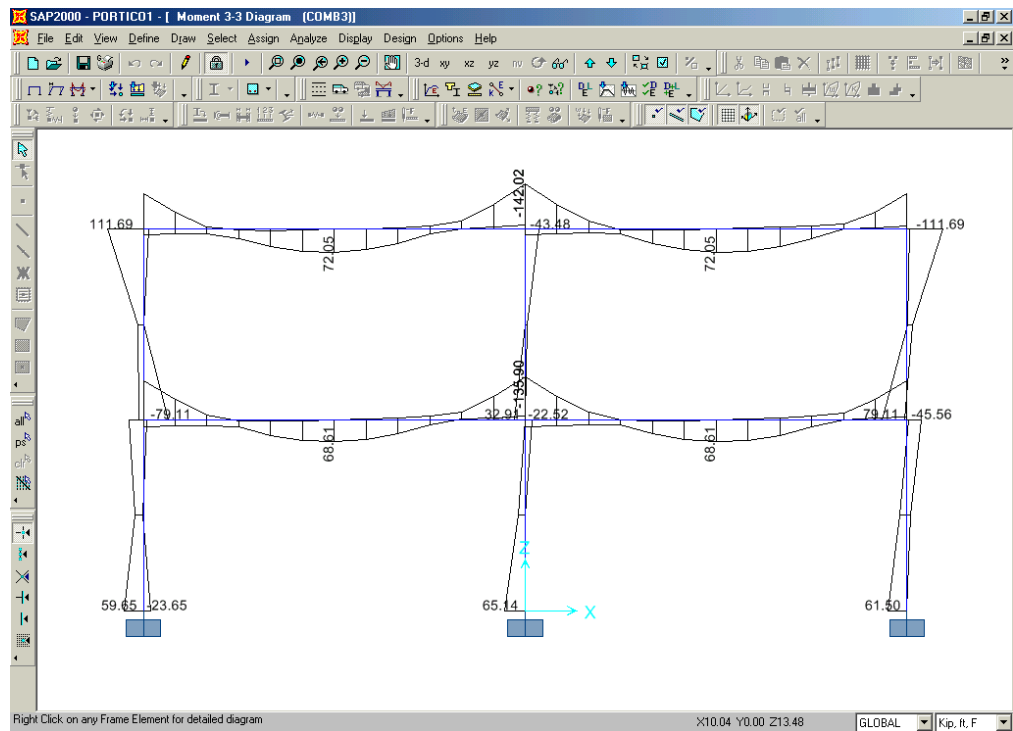
## DIAGRAMA DE MOMENTOS (COMB1)



## DIAGRAMA DE MOMENTOS (COMB2)

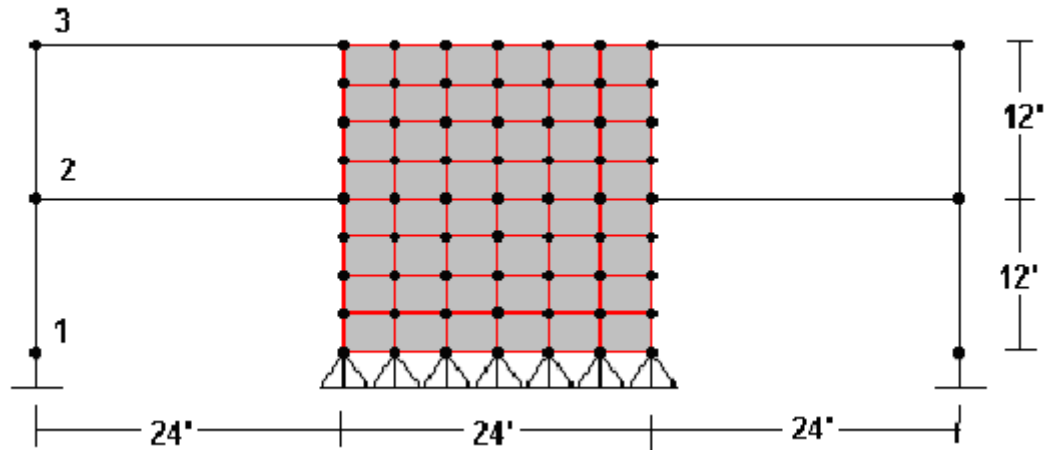


## DIAGRAMA DE MOMENTOS (COMB3 [ENVELOPE])



Fin del Ejemplo de MARCOS #1

## Ejemplo de MARCOS 2




Descripción del problema: Para la estructura de MARCO que se muestra, obtenga el momento equivalente y el cortante en la base de la pared estructural. Utilice para las vigas y columnas, secciones de 12"x 18" y para la pared un espesor de 8". Escoja como material el hormigón que tiene el programa por omisión.

El sistema de cargas para el MARCO es el siguiente

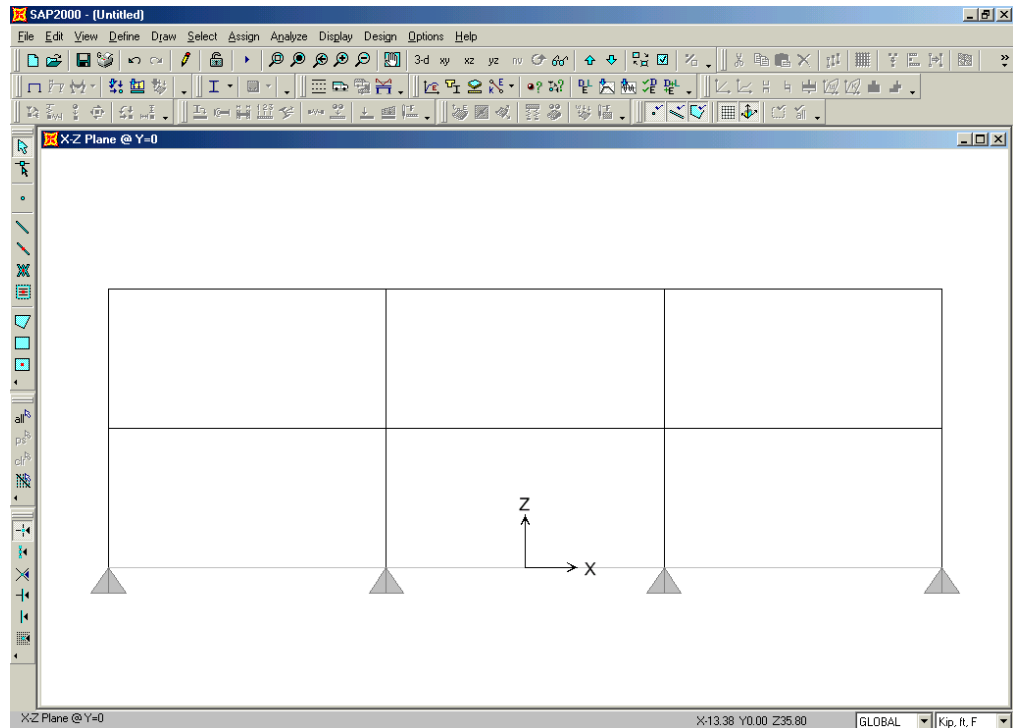
1. carga estática debida a un sismo de 15 k y 25 k en las juntas, 2 y 3 respectivamente.


Paso 1 [Establecer las unidades del sistema]: Ejecute el programa SAP2000 y cambie las unidades a .

Paso 2 [Definición de la geometría]: Del menú principal de "File" seleccione "New


Model from Template..." y seleccione la opción de "Portal Frame" . En la ventana del "Portal Frame" escriba 2 para el "Number of Stories", 3 en el "Number of Bays", 12 para la opción de "Story Height" y 24 en la opción de "Bay Length".


Presione OK. Cierre la ventana de 3-D. Esto le genera el marco que se muestra en la siguiente figura.



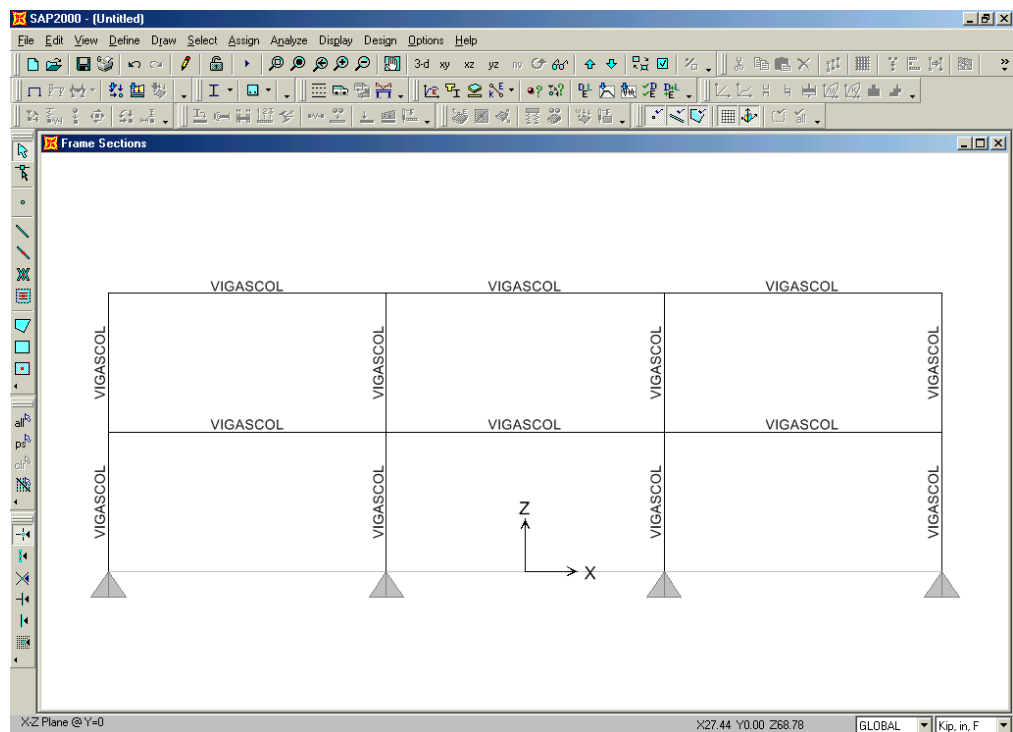
Paso 3 [Definir y asignar las secciones de los elementos]: Seleccione todas las columnas y vigas del MARCO utilizando la herramienta de  (“Select All”) del “toolbar” ubicado en la parte izquierda de la pantalla principal de SAP2000. Esta opción también puede obtenerse mediante los siguientes pasos:


Menú de “Select” → “Select” → “All”

Siga los pasos a continuación para definir y asignar las secciones a las columnas. Primero cambie las unidades a .

Presione el icono de  o del menú de “Assign” → Frame → Sections... → Modify/Show Section.

Cambie el material a CONC, los tamaños a 12 (“width”) y 18 (“depth”) y el nombre a VIGASCOL. Retorne a la pantalla principal con OK → OK.



Recuerde grabar  el archivo actualizado de su modelo (p. ej. Portico2).

Paso 4 [Definir la sección de los elementos de paredes de carga (“Shells”)]:  
Usualmente las paredes estructurales se modelan con un tipo de elemento diferente a los elementos de marcos o MARCOS (“Frame Elements”). Esto se debe a que el comportamiento de las paredes es distinto al de, por ejemplo, una columna típica. Además, algunas de las suposiciones usadas para el desarrollo de la matriz de rigidez para un elemento de marco no aplican para un elemento de pared. Una de estas simplificaciones es que en la derivación de un elemento de marco se desprecian las deformaciones por cortante. Si bien en vigas y columnas esta deformación es prácticamente despreciable, no ocurre lo mismo en las paredes: allí las deformaciones por cortante son significativas. Para esto se utilizan ciertos elementos que se denominan elementos de cáscaras o “Shell Elements” y que pertenecen a lo que se conoce como “elementos finitos”. Estos elementos se utilizan para modelar no sólo paredes estructurales sino también los de pisos y cáscaras. Por lo tanto, para modelar las paredes del edificio se usarán estos nuevos elementos.

Del menú de “Define” seleccione “Shell Sections...” y presione “Modify/Show Section”. Esto lo conducirá a la siguiente ventana.




Cambie el “Section Name” (nombre de la sección) a PARED y ambos espesores de “Membrane” y de “Bending” en el recuadro de “Thickness” a 6. Por último, verifique que las opciones de “Shell” y “Thick Plate” estén seleccionadas como se muestra en la figura anterior. Presione OK dos veces.

#### Nota

Los elementos de cáscaras que utilizan la opción de “Thick Plate” incluyen la deformación transversal por cortante utilizando la teoría de Mindlin/Reissner y sólo afecta el efecto de placa y no el efecto membranar. Si no se escoge la opción de “Thick Plate”, implicaría que se va a usar la teoría de placas delgadas o finas (“Thin Plates”) para la cual SAP2000 utiliza la teoría de Kirchhoff. En el caso de paredes este efecto no es muy importante puesto que las cargas en las paredes van paralelas al plano. Como la pared no va a estar sometida a cargas transversales, esto implica que las deformaciones generadas no son en la dirección transversal. De todas maneras,

SAP2000 recomienda que siempre se use el elemento de “Shell” con la opción de “Thick Plate” para el análisis de losas o paredes, sean éstas delgadas o gruesas.

Paso 5 [Generar las paredes de carga con los elementos de cáscaras (“Shells”]:  
Presione el icono de  (“Quick Draw Rectangular Shell Element”) o del menú de “Draw” seleccione “Quick Draw Shell Elements”.

#### Nota

Hay tres diferentes formas de generar los elementos de cáscaras. Éstas son las siguientes:



“Quick Draw Rectangular Shell Element” → Con esta opción se pueden generar los elementos de cáscaras con sólo presionar un BI en el centro del rectángulo donde se desea ubicar el elemento.





“Draw Rectangular Shell Element” → Con esta opción se especifican los puntos diagonalmente opuestos que generarían un rectángulo, es decir la esquina inferior izquierda y la esquina superior derecha.





“Draw Quadrilateral Shell Element” → Con esta opción se genera un elemento de cáscara especificando las cuatro esquinas o bordes que componen el cuadrilátero. A diferencia de las opciones anteriores, el elemento desarrollado con esta opción **NO** necesariamente tiene que ser rectangular como con las dos opciones anteriores. Además con esta opción se pueden generar elementos de tres lados ubicando los últimos dos nodos en el mismo punto.

**Nota:** Estas opciones también se encuentran en el menú de “Draw”.

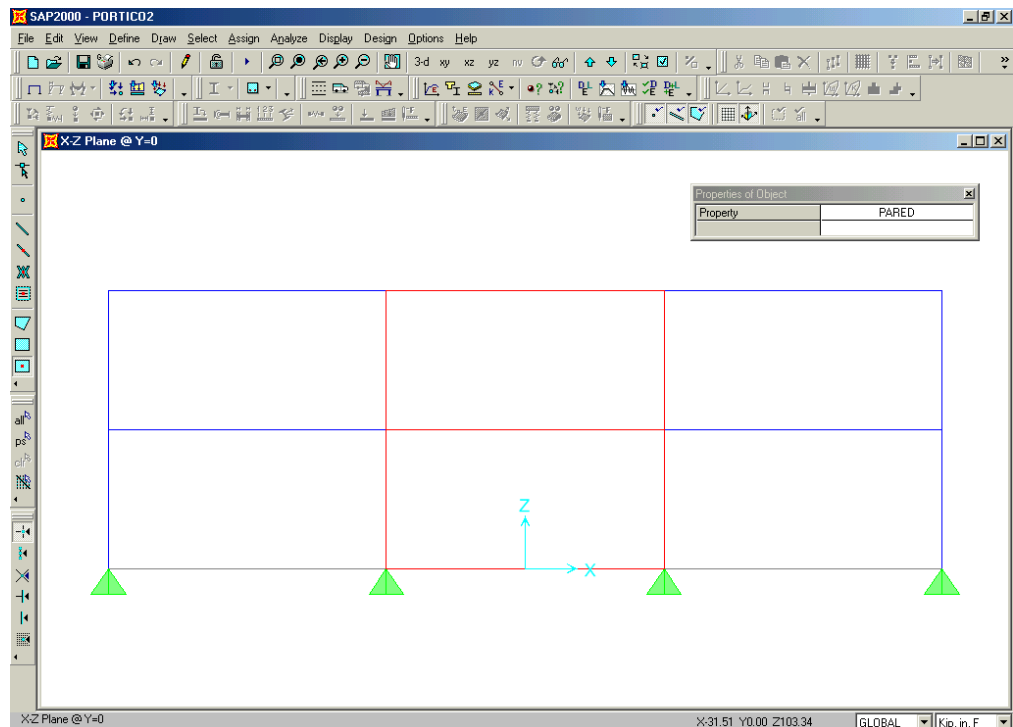
Como mencionamos anteriormente, en este caso en particular vamos a utilizar la opción de  (“Quick Draw Rectangular Shell Elements”) para crear los elementos de cáscaras del modelo.

Presione  y luego presione el BI en cualquier lugar dentro del rectángulo que formaría la pared del primer piso. A continuación presione otro BI en el interior del rectángulo que formaría la pared del segundo piso.

#### Nota

Note que al completar el paso anterior, el cursor (“Pointer”) de SAP2000 cambia de  a  indicando así que la opción de “Quick Draw Rectangular Shell Element” está activada. Recordar que este cursor también se activaba al utilizar la opción de “Draw Frame Element”, como se mostró en el Ejemplo de Armaduras 1.


El modelo generará unos rectángulos (en color rojo) que corresponden a los elementos de cáscaras, como se muestra en la figura a continuación.

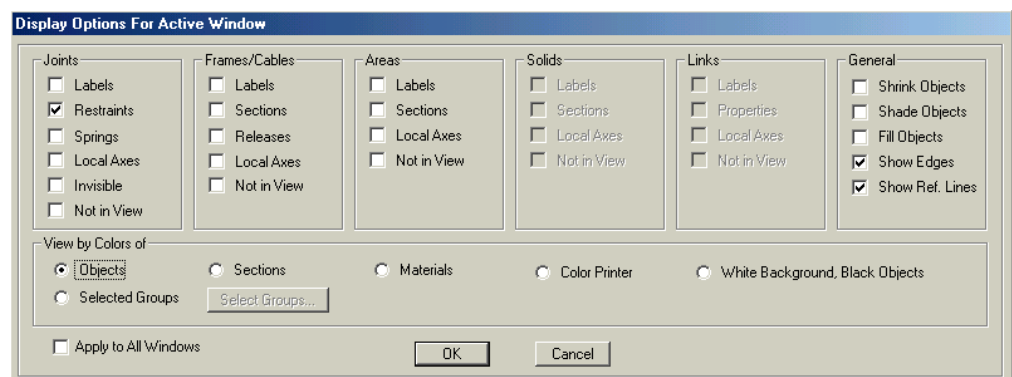


Paso 6 [Eliminación de elementos solapados]: Es importante hacer notar que al definir los elementos de cáscaras, los bordes de éstos se superpusieron sobre las columnas y vigas que lo rodean. Por lo tanto es necesario que se eliminen o se borren estos elementos para así tener un modelo más cercano a la realidad.

### Nota

Hay MARCOS de edificios, en especial de más de 4 pisos, en los cuales las paredes estructurales tienen lo que se conoce como “elementos de borde o de contorno”, que básicamente consisten en unas columnas en los extremos. Si éste es el caso, se puede dejar las columnas junto con la pared, pero aún así se tienen que eliminar las vigas.


Note que estos elementos de vigas y columnas, aunque están en el modelo, no se pueden ver. Una forma de ver estos elementos es ocultando los elementos de cáscaras. Esto es necesario porque para borrar los elementos hay que seleccionarlos y para ello es imprescindible verlos. Para hacer que el programa muestre estos elementos, seleccione el icono de  (“Set Elements”) o del menú de “View” seleccione “Set Elements”. Esto lo conducirá a la siguiente ventana:




Como se muestra en la ventana, seleccione la opción de “Hide” (ocultar) dentro del recuadro de “Shells” para así poder esconder los elementos de cáscara. Presione OK. Ahora el programa muestra todas las vigas y columnas del MARCO. Los elementos de paredes están donde se habían creado; simplemente ahora están ocultos.

### Nota

Esta ventana de “Set Elements” le permite al usuario mostrar o esconder varias opciones asociadas a los elementos. Entre ellas se encuentran opciones tales como la identificación de los números de elementos (“Element ID”), tipos de elementos (“Element Types”), secciones (“Sections”) y otras. Se invita al usuario a que prenda y apague estas opciones para que vea el efecto del mismo en la pantalla. Una de las más usadas es la de “Show Extrusions”, mediante la cual el programa muestra el modelo con literalmente la forma y tamaño de la sección definida.

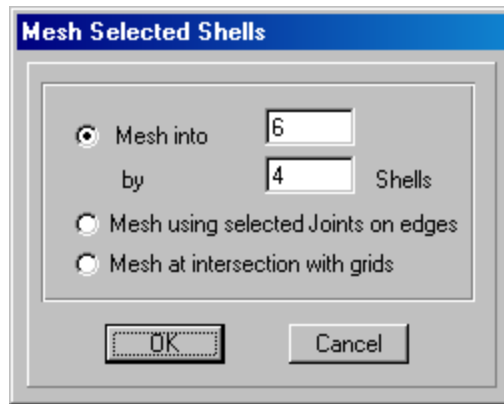
Seleccione las vigas y las columnas que rodean a la pared haciendo BI sobre cada una de ellas y presione la tecla “Delete” para borrarlas. Presione nuevamente el icono  y quite la opción de “Hide” en el recuadro de “Shells” para volver a ver los elementos de cáscaras. Presione OK.

Paso 7 [Asignar la sección del elemento de cáscara a las paredes]: Al igual que en los otros ejemplos se asignaban las secciones a los elementos de marcos o vigas, a las paredes definidas en el paso anterior también hay que asignarles la sección de cáscara que se desea. El procedimiento es el mismo que se utiliza para los elementos de marcos y se explica a continuación.

Primero seleccione las paredes haciendo BI sobre cada una de ellas. Note que aparecen rectángulos con líneas entrecortadas interiores a los elementos. Luego presione el icono de  (“Assign Shell Sections...”) o del menú de “Assign”, seleccione “Shell” y “Section...”. De la pantalla de “Define Shell Sections” que se presenta, seleccione la sección de PARED y presione OK.


Paso 8 [Refinar las paredes o elementos de cáscaras]: Como se desea obtener información precisa acerca de las fuerzas internas en las paredes, es necesario que éstas se subdividan en muchos elementos de paredes pequeños que, en conjunto, forman la pared total. De esta manera podemos conocer en cada elemento los momentos y fuerzas internas como así también los esfuerzos y deformaciones. A este proceso de subdivisión se le llama refinamiento de los elementos o también como generar lo que se conoce como una malla o “Mesh”. En este caso en particular vamos a dividir las paredes en seis (6) elementos en la dirección horizontal y cuatro (4) en la dirección vertical como se muestra en la figura inicial de este ejemplo. Para subdividir las paredes o generar la malla se deben seguir los siguientes pasos:

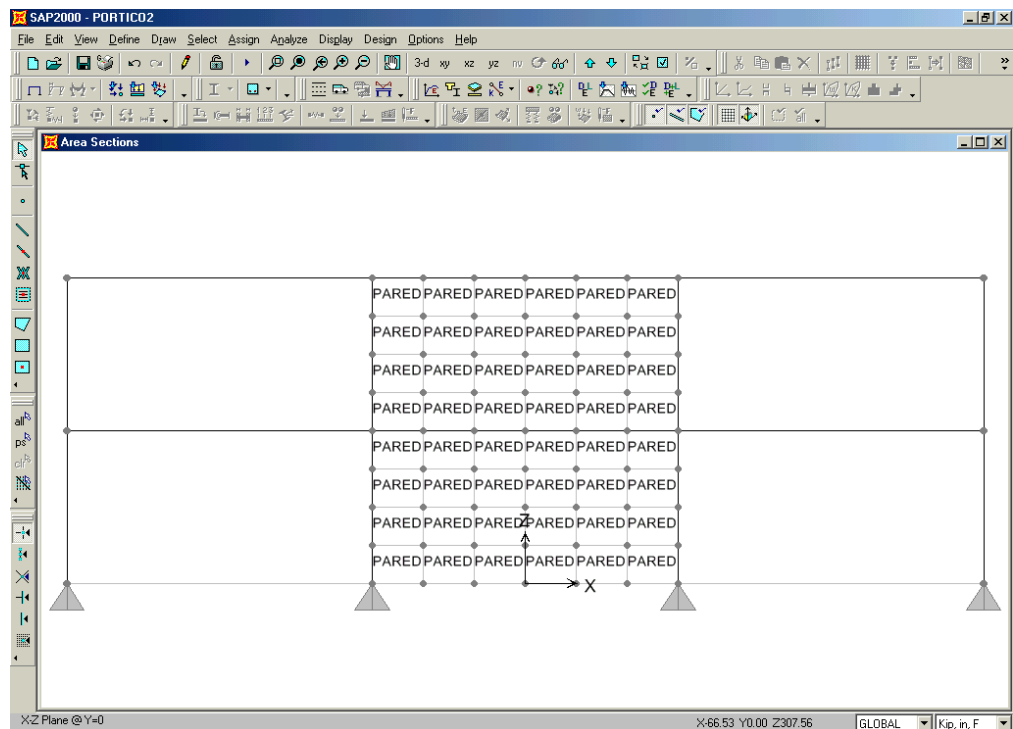
1. Seleccione los elementos de paredes haciendo BI dentro de cada elemento
2. De “Edit” en el menú principal, seleccione “Mesh Shells...” Esto lo conducirá a la pantalla de “Mesh Selected Shells” que se muestra a continuación.







3. En la caja de “Mesh into” escriba 6 y en la caja de “by” escriba 4.

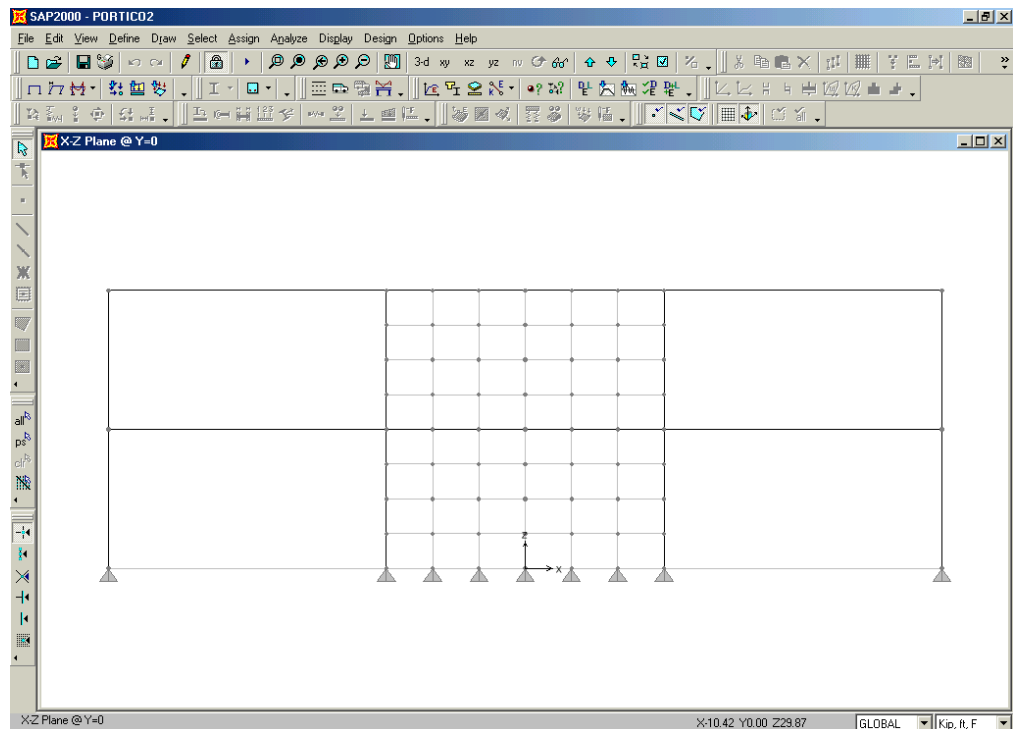
Presione OK.

El modelo hasta esta etapa se muestra a continuación. Recuerde grabar  su modelo.




Paso 9 [Asignar condiciones de borde]: Note que los elementos “nuevos” en la franja inferior no tienen los apoyos por lo que es necesario asignarles la condición de borde requerida. Para asignar las condiciones de borde, seleccione los nodos “nuevos” (los cinco nodos libres inferiores) y presione el icono de  “Assign Joint Restraints”. Seleccione el icono de  del recuadro de “Fast Restraints”. Presione OK. El procedimiento para definir las condiciones de borde fue presentado en detalle en el Paso 4 del Ejemplo de Vigas 1.

Cambie también las condiciones de las columnas exteriores de articulado  a fijo . El modelo hasta esta etapa se muestra a continuación:




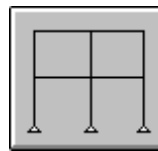
Paso 10 [Definir las cargas concentradas]: El procedimiento para asignar las cargas nodales fue explicado en todos los ejemplos anteriores (por ejemplo, en el Paso 9 del Ejemplo de Vigas 1). Para simplificar el proceso, en este caso vamos a utilizar el sistema de carga que tiene el programa por omisión (LOAD1). En la práctica, se deben definir los sistemas de carga y combinaciones de carga como en los ejemplos anteriores.


1. Seleccione la junta 2 (primer nivel) haciendo BI sobre la misma.
2. Presione el icono de “Assign Joint Loading” .
3. Verifique que en el recuadro de “Load Case Name” diga LOAD1
4. En el recuadro de “Loads”, escriba 15 en el cuadro de “Force Global X”.
5. Presione OK.
6. Repita los pasos del 1 al 5 ahora seleccionando la junta 3 y escribiendo 25 en el cuadro “Force Global X”.


#### Nota

Además de las fuerzas de 15 y 25 kips, por omisión el programa le va a sumar a este estado de carga (“LOAD1”) el peso propio de todos los elementos (vigas, columnas y paredes).



Paso 11 [Analizar la estructura]: Recuerde grabar su modelo . Especifique en el menú de “Analyze”, dentro de la opción “Set Options”, la siguiente opción de “Fast DOFs” de “Plane Frame”:



Efectúe el análisis presionando , o del menú de “Analyze” escoja la opción “Run”. Presione OK. El programa debería mostrar la estructura deformada si el análisis terminó sin inconvenientes. Observe que las vigas tienen una deformación debida a su propio peso, debido a que, como se explico, por omisión, SAP2000 considera el peso propio en el estado de carga (LOAD1 en este caso).

Paso 12 [Resultados de Momentos y Cortante en la Base de la Pared]: Seleccione el icono de  para ver las reacciones de la estructura. Note que



las reacciones sólo tienen los componentes verticales y horizontales y no tienen los momentos en las bases de las columnas exteriores. Para observar estos momentos puede observar el marco en una vista tridimensional . Los momentos alrededor del eje Y aparecen como vectores en una doble flecha. Para poder ver los valores de los momentos debe agrandar la imagen con un “Zoom”. Para hacer el acercamiento presione el icono de  (“Rubber Band Zoom”) y haga un recuadro que cubra todas las reacciones de la pared manteniendo el BI presionado mientras hace el recuadro.

Haga otro acercamiento (“Zoom”) a las reacciones de la pared para ver mejor los resultados como se muestra en la figura a continuación.

#### Nota

Como se usaron elementos de cáscaras para representar la pared, es posible calcular los esfuerzos normales y cortantes promedio en cada uno de los elementos y aún en cada punto de un elemento individual. No obstante, para verificar ciertas condiciones en los códigos puede ser necesario calcular un “momento” flector en la base de la pared (alrededor del eje Y perpendicular al plano de la figura). Debe tenerse presente que, rigurosamente, sólo tendría sentido hablar de momento en un apoyo fijo o empotrado de un elemento de MARCO (como en la base de las columnas del edificio). Sin embargo, bajo condiciones de carga apropiadas, una placa como nuestra pared puede tener momentos alrededor de los ejes X y Z. En este ejemplo, debido a que la pared no tiene deflexión fuera de su plano, estos momentos son cero. Esto es fácil de verificar comenzando en el menú principal y siguiendo la secuencia: Display -> Show Element Forces/Stresses -> Shells... En la ventana que se abre, si se escogen los momentos debido a la flexión M11 o M22, o el momento M12 debido a la torsión de la placa (“twist”), el programa va a mostrar que todos ellos son cero.

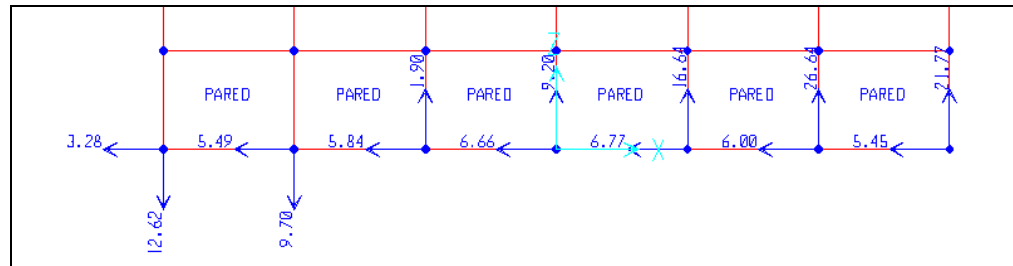
Para obtener el momento equivalente en la base, sólo tiene que sumar los momentos de las reacciones verticales respecto a cualquier punto de la pared. Recuerde que el largo o claro de esta pared es 24 pies, y como fue dividida en 6 sub-elementos, cada elemento tiene un ancho de 4 pies. Tomando momento respecto al centro tenemos que:

$$\sum_{\text{Centro}} M = 16.64 \times 4 + 26.64 \times 8 + 21.77 \times 12 - 1.90 \times 4 + 9.70 \times 8 + 12.66 \times 12 = 762.84k \cdot ft$$

Para calcular el cortante en la base de la pared sumamos las fuerzas en la dirección horizontal en los apoyos articulados. Tenemos así:

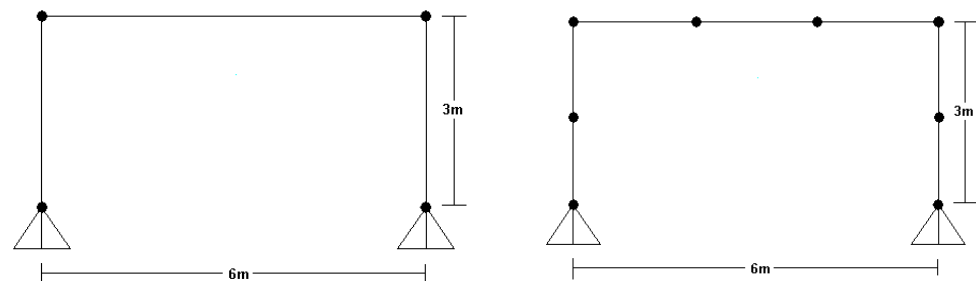
$$\sum_{\text{Horizontal}} F = 3.28 + 5.49 + 5.84 + 6.66 + 6.77 + 6.00 + 5.45 = 39.49kip$$

## REACCIONES EN PARED (LOAD1)



Fin del Ejemplo de MARCOS #2

## Ejemplo de Análisis Dinámico 1

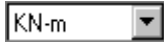



Descripción del problema: Obtenga los primeros cuatro periodos naturales con sus correspondientes modos de vibración para el MARCO que se muestra en la figura de la izquierda. Luego subdivida el MARCO como se muestra en la figura de la derecha y calcule sus primeros doce periodos naturales y modos de vibración. Para definir la masa de la estructura para estos casos considere únicamente el peso propio de los elementos. Utilice el material de hormigón (CONC) que tiene el programa por omisión y una sección transversal cuadrada de 0.4m X 0.4 metros.

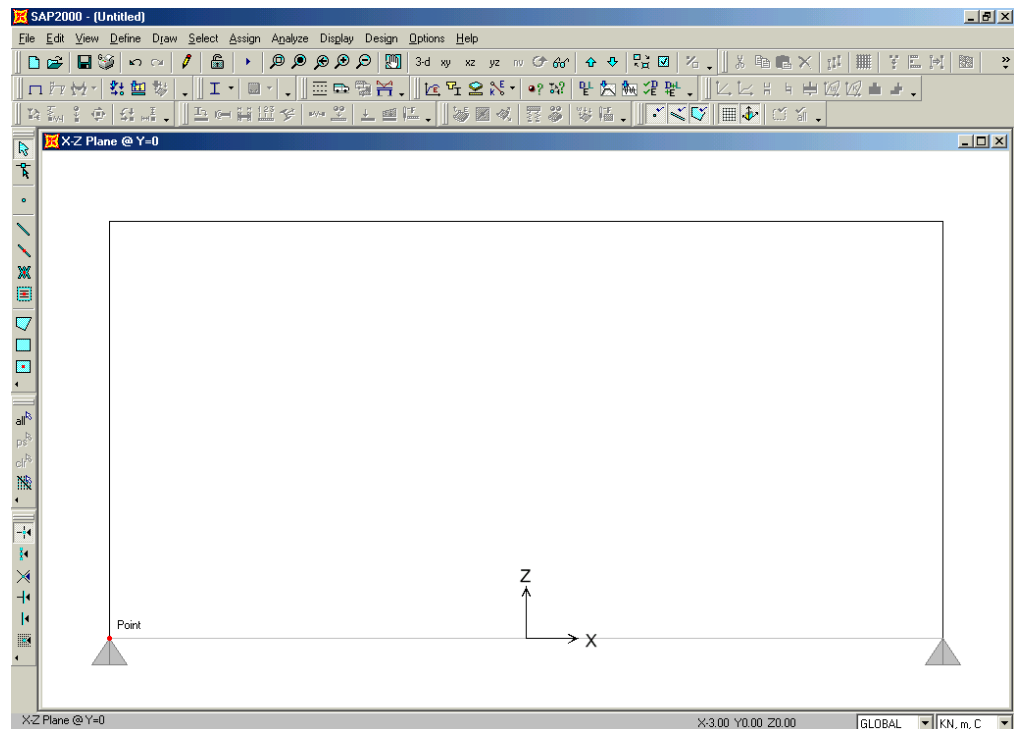
### Nota:

Para el análisis dinámico SAP2000 usa lo que se conoce como un *modelo de masas concentradas* ("lumped mass model"). En este modelo se ignora la inercia asociada a la rotación de una junta o nodo de estructuras de barras. Esto hace que el número de grados de libertad estático (el que usamos hasta ahora) no coincida con el número de


grados de libertad *dinámico* (el que vamos a usar a continuación). Por ejemplo, en el caso del MARCO plano de la izquierda en la figura anterior, el número de grados de libertad estático es 8 (4 traslaciones más 4 rotaciones). Para el mismo MARCO, el número de grados de libertad dinámico es sólo 4 (las traslaciones de las dos masas superiores). El máximo número de periodos y modos de vibración que se puede calcular para un modelo dado coincide con los grados de libertad dinámicos.


Paso 1 [Establecer unidades del sistema]: Inicie el programa SAP2000 y cambie las unidades a .

Paso 2 [Definición de geometría]: Del menú principal de “File” seleccione “New Model from Template...” y seleccione la opción de “Portal Frame” . En la ventana del “Portal Frame” escriba 1 para el “Number of Stories”, 1 en el “Number of Bays”, 3 para la opción de “Story Height” y 6 en la opción de “Bay Width”. Presione OK. Cierre la ventana de 3-D. Esto le genera el marco que se muestra en la siguiente figura.



Paso 3 [Definir el caso de Análisis]: Abra el menú de “Define” y la opción de “Analysis Cases...”. Note que al seleccionar esta opción se activa una ventana “Analysis Cases” y seleccione el botón “modify Show/Case..” se activará una ventana “Analysis Case Data-Modal” escriba en la caja de texto de análisis Case name MODAL1, en Analysis Case Type seleccione la opción “Modal” luego para definir el número de modos en el recuadro Maximum Number of Modes escriba 4 (o de periodo o frecuencias naturales) y dejar los demás parámetros como los tiene el programa en el Type of Modes seleccionar “Eigen Vectors” Presione OK dos veces.

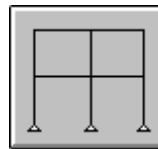
Paso 4 [Definir y asignar las secciones de los elementos]: Seleccione todas las columnas y vigas del MARCO utilizando la herramienta de  (“Select All”) del “toolbar” ubicado en la parte izquierda de la pantalla principal de SAP2000. Esto también puede hacerse con Ctrl+A o con la secuencia: menú “Select” → Select → All.

Presione el icono de  (o use el menú de “Assign” → Frame → Sections...). Presione Modify/Show Section.

Deje el nombre de FSEC1 (Frame Section 1) que tiene SAP2000 por omisión, cambie el material a CONC y las dimensiones a 0.4 para la profundidad o altura y para el ancho. Presione OK dos veces.

Recuerde grabar  el archivo actualizado de su modelo (por ejemplo Frec 1a).

Paso 5 [Analizar la estructura y obtener las frecuencias naturales]: Abra el menú de “Analyze” y la opción de “Set Options...”. Escoja la siguiente opción de “Fast DOFs”:



Abajo en la misma pantalla seleccione la opción de “Dynamic Analysis”. Note que al seleccionar esta opción se activa el botón que está a la derecha y que tiene como descripción “Set Dynamic Parameters”. Presione este botón, lo que lo conducirá a la pantalla que se muestra a continuación. Escriba 4 en el número de modos (o de periodos o frecuencias naturales) y deje los demás parámetros como los tiene el programa por omisión. Presione OK dos veces para llegar a la pantalla principal.


**Analysis Case Data - Modal**





<b>Analysis Case Name</b> MODAL <input type="button" value="Set Def Name"/>		<b>Analysis Case Type</b> Modal
<b>Stiffness to Use</b> <input checked="" type="radio"/> Zero Initial Conditions - Unstressed State <input type="radio"/> Stiffness at End of Nonlinear Case <input type="button" value="v"/> <small>Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case</small>		<b>Type of Modes</b> <input checked="" type="radio"/> Eigen Vectors <input type="radio"/> Ritz Vectors
<b>Number of Modes</b> Maximum Number of Modes 4 Minimum Number of Modes 1		
<b>Loads Applied</b> <input type="checkbox"/> Show Advanced Load Parameters		
<b>Other Parameters</b> Frequency Shift (Center) 0. Cutoff Frequency (Radius) 0. Convergence Tolerance 1.000E-07		<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>

Nota:




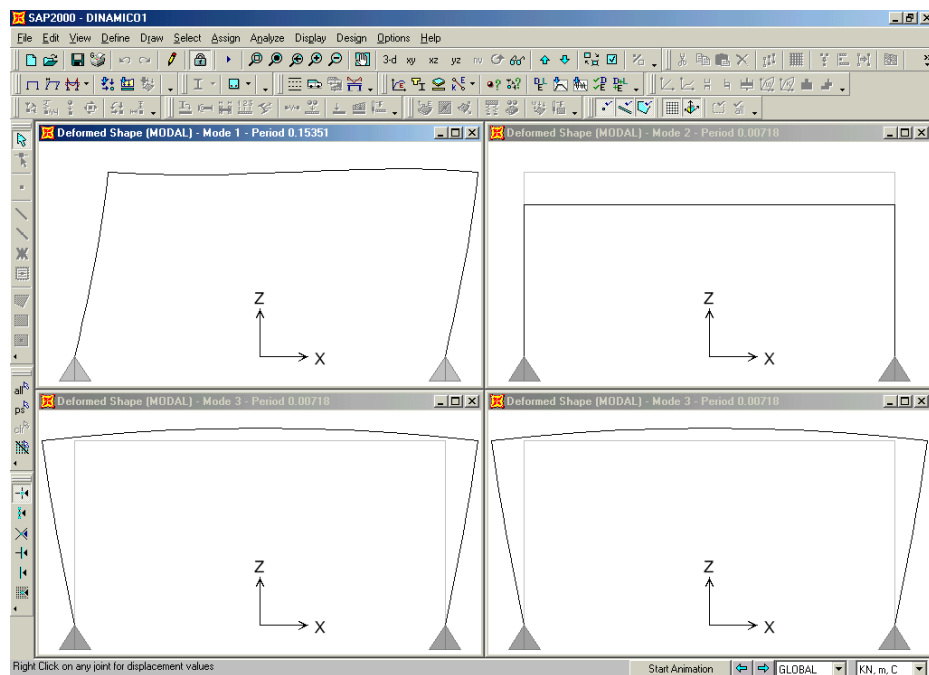
Recuerde que cuando se especificaba la opción de (“Plane Frame” o “XZ Plane”) los únicos grados de libertad utilizados eran el desplazamiento horizontal UX, el desplazamiento vertical UZ y la rotación RY de cada junta. Esto implica que para un análisis estático, como la estructura tiene 4 nodos y hay tres grados de libertad por nodo habría 12 grados de libertad en total y 6 al aplicar las condiciones de apoyo. Sin embargo, como se mencionó antes, al analizar marcos dinámicamente, SAP2000 sólo computa las frecuencias naturales y modos de vibración teniendo en cuenta los grados de libertad traslacionales (UX y UZ). Por lo tanto los grados de libertad disponibles son 12 menos 4 grados de libertad rotacionales menos 4 restringidos por los soportes para un total de sólo 4 grados de libertad. Por ende, éste es máximo número de modos (“Number of Modes”) o periodos naturales que se le puede pedir a SAP2000 para este modelo.

Corra el análisis presionado  o mediante la opción de “Run” en el menú de “Analyze”.

Paso 6 [Resultados y Animación]: Si el programa completó el análisis sin inconvenientes, debe mostrar el mensaje “ANALYSIS COMPLETE” en la pantalla con fondo oscuro. Al presionar el botón de OK, el programa muestra el primer modo de vibración (o sea el que corresponde al periodo más alto). Para apreciar mejor el modo se sugiere que abra la ventana “Mode Shape” con el icono  (“Display Mode Shape”). En el recuadro de “Options”, escoja “Wire Shadow” y “Cubic Curve”. La primera opción va a mostrar la estructura sin deformar con líneas más finas. La segunda va a utilizar una curva suave (un polinomio cúbico) para representar las barras deformadas. El modo de vibración que se está mostrando y el periodo natural correspondiente se identifican en el extremo superior izquierdo de la pantalla. Observe los cuatro modos de vibración pasando de uno a otro con los iconos ,  o escogiendo el modo deseado con el icono .

Es posible ver los cuatro modos en una misma pantalla usando la opción “Windows” dentro del menú de “Options”. Escogiendo “Four” del submenú de “Windows”, la pantalla de visualización se divide en cuatro. Notar que una sola de ellas contiene el modo. Para que aparezcan los otros modos, debe activar primero la subpantalla que desee mediante un BI en cualquier lugar de la misma.

Luego abra el icono  y escoja el modo que quiere que se muestre. Si no lo hizo antes, recuerde que conviene activar las opciones “Wire Shadow” y “Cubic Curve” para mejor visualización de los modos. A continuación se muestra la pantalla con los cuatro modos de vibración a la vez.





Para volver a una sola pantalla, cierre las restantes pantallas o repita el procedimiento anterior (Windows → Options, etc.) pero seleccionando “One” en vez de “Four”.

Es posible ver los valores numéricos de los desplazamientos modales del modo de vibración que se muestra en la pantalla. Para esto debe seleccionar la junta con un BI, y luego con un BD se activa una pequeña ventana donde aparecen los valores de los desplazamientos y las rotaciones. Para observar los valores del modo para otra junta debe cerrar la ventana y repetir el proceso.

Note que al terminar el análisis, se encendieron unos botones al lado de la caja de las unidades en la parte inferior derecha como se muestra en la siguiente figura:



El botón de “Start Animation” (iniciar la animación) activa una animación gráfica del modo de vibración que se muestra en la parte superior de la pantalla. Para adelantar al siguiente modo de vibración o volver hacia atrás, presione los iconos de  y , respectivamente. Note que al presionar “Start Animation” y se inicia la animación, el botón cambia a “Stop Animation”, el que se debe usar para detener la animación.






Para ver un listado detallado de los resultados generados por SAP2000 siga los siguientes pasos:

Menú “File” → “Display Input/Output Text Files”→ Seleccione el archivo llamado Frec 1a.out (o use el nombre con el cual guardó el presente modelo). Este proceso se explicó en el Ejemplo de Vigas 1.

Busque en este archivo la parte donde dice “M O D A L P E R I O D S A N D F R E Q U E N C I E S”. Allí aparecen los resultados que se muestran en la siguiente tabla.

MODE	PERIOD	FREQUENCY	FREQUENCY	EIGENVALUE
(TIME)	(CYC/TIME)	(RAD/TIME)	(RAD/TIME)**2	
1	0.164758	6.069506	38.135833	1454.342
2	0.007709	129.717474	815.038928	664288.453
3	0.007705	129.78929	815.490158	665024.197
4	0.007701	129.860017	815.934551	665749.191

Paso 7 [Dividir los elementos]: Grabe  el archivo con otro nombre para no perder el archivo anterior. (por ejemplo Frec 1b). Presione el icono de  (“Lock/Unlock Model”) para poder editar el nuevo modelo. Presione OK para reconocer el mensaje que aparece previniéndole que los resultados del análisis anterior se van a borrar.

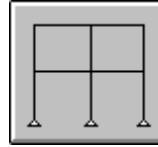
Seleccione las columnas haciendo BI sobre cada una o utilice la herramienta de  (“Set Intercepting Line Select Mode”) explicada en el Ejemplo de MARCOS 1. Del menú de "Edit" seleccione “Divide Frames” y en la pantalla que aparece de “Divide Selected Frames” verifique que diga 2 en la caja de “Divide into” y 1 en la caja de “Last/First Ratio”. Presione OK.

Seleccione ahora la viga y repita el procedimiento anterior pero escriba 3 en la caja de “Divide into”. Presione OK. Note que con esto el segundo modelo está completamente definido, dado que las propiedades (materiales, etc.) son las mismas que las del primer MARCO.

**Nota:**

La opción de “Last/First Ratio” permite subdividir un elemento en segmentos desiguales, en donde el último segmento es “X” veces el primero, siendo “X” el número que entramos como dato.


Paso 8 [Analizar la estructura y obtener las frecuencias naturales]: Especifique en el menú de “Analyze”, dentro de la opción de “Set Options” la opción de “Fast DOFs” de





Seleccione la opción de “Set Dynamic Parameters”. Escriba 12 para el número de modos o frecuencias naturales y deje los demás parámetros como los tiene el programa por omisión. Presione OK

**Nota:**

Note que el máximo número de frecuencias naturales para la estructura modificada es ahora 12. El total de grados de libertad estáticos es  $(8 \text{ juntas}) \times (3 \text{ grados de libertad}) = 24$ . Si se resta 8 (los grados de libertad rotacionales en cada junta) y 4 (los grados de libertad restringidos por los soportes) se obtienen los 12 grados de libertad dinámicos.

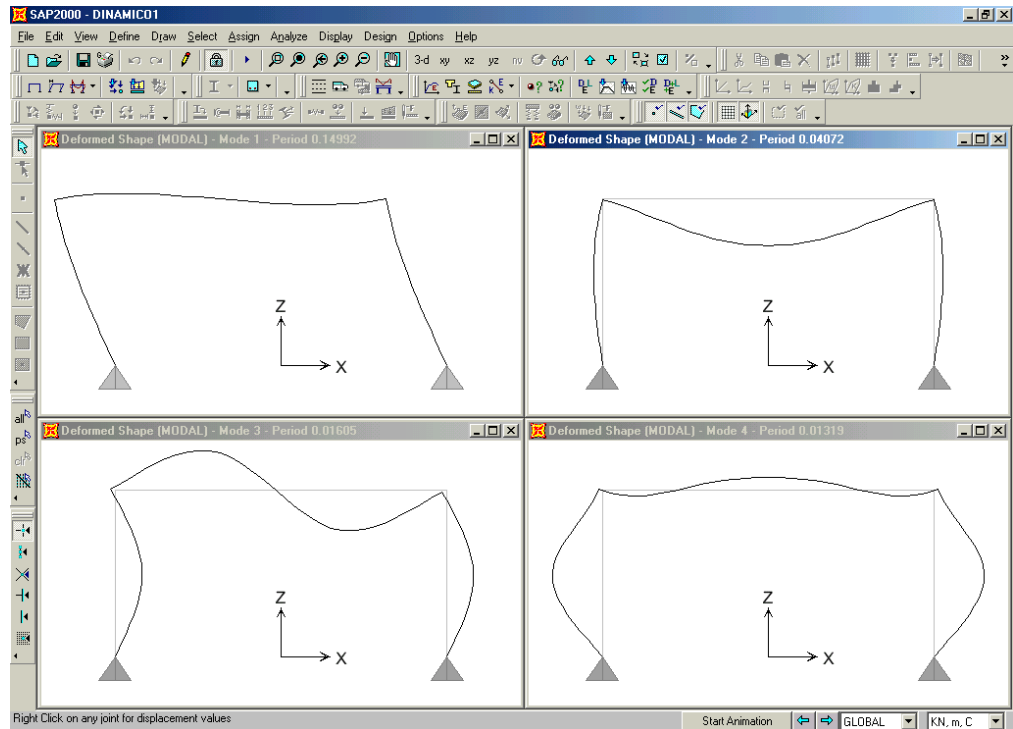
Efectúe el análisis presionado  o del menú de “Analyze” use la opción de “Run”. Presione OK.

Paso 9 [Resultados]: Puede observar todos los modos de vibración con las flechas  y . También puede obtener un listado de los periodos y frecuencias naturales del nuevo MARCO abriendo el archivo Frec1b.out (o el nombre que le asignó al archivo) mediante la opción “Display Input/Output Text Files...” del menú de “File”. En la siguiente tabla se muestran los resultados.

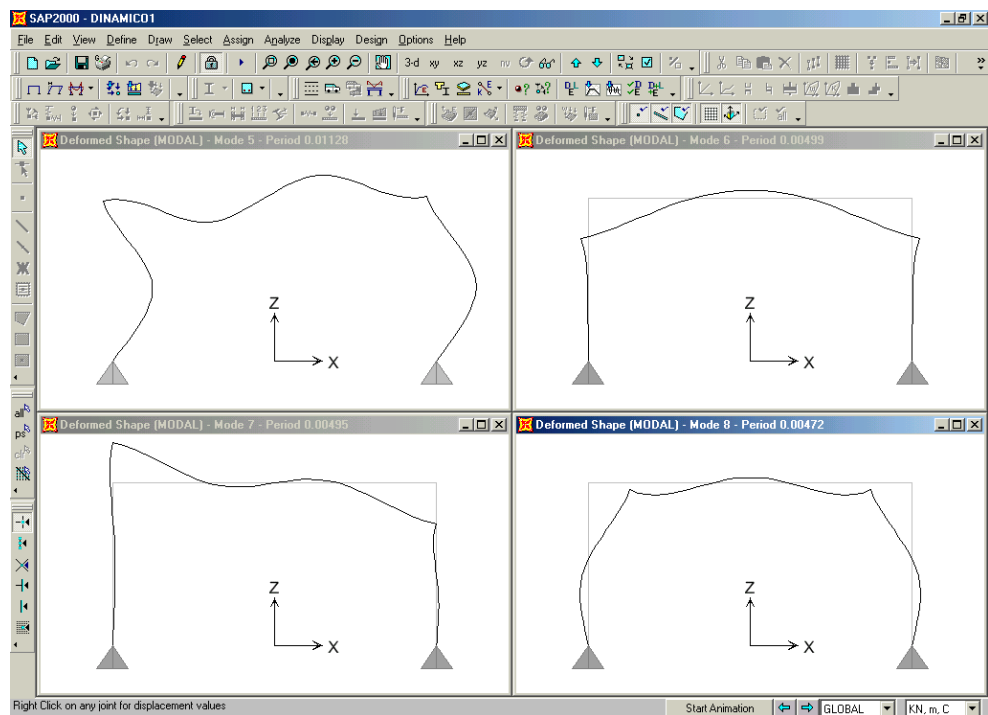
MODE (TIME)	PERIOD (CYC/TIME)	FREQUENCY (RAD/TIME)	FREQUENCY (RAD/TIME)**2	EIGENVALUE
1	0.16091	6.214657	39.04784	1524.734
2	0.043709	22.878805	143.751769	20664.571
3	0.017223	58.060844	364.807043	133084.178
4	0.014151	70.664505	443.998177	197134.382
5	0.012104	82.620005	519.116803	269482.255
6	0.005351	186.875248	1174.172	1.38E+06
7	0.005318	188.052828	1181.571	1.40E+06
8	0.005064	197.485843	1240.84	1.54E+06
9	0.002855	350.28939	2200.933	4.84E+06
10	0.002245	445.381452	2798.414	7.83E+06
11	0.001983	504.245765	3168.27	1.00E+07
12	0.001983	504.316378	3168.713	1.00E+07

A continuación se muestran los doce primeros modos del nuevo modelo agrupados de a cuatro. Notar que sólo el primero se parece al modo correspondiente del modelo con 4 grados de libertad anterior. Como se sabe de la teoría de Dinámica de Estructuras, generalmente este primer modo es el que más contribuye a la respuesta (en especial para estructuras con cargas sísmicas). Esto significa que si se calcula la respuesta sísmica con el modelo de 4 y de 12 grados de libertad los resultados deben ser similares. No obstante, para otro tipo de carga dinámica, por ejemplo para una fuerza vertical armónica aplicada a la viga, los resultados pueden ser muy distintos. La conclusión a la que se llega es que el modelo de 4 grados de libertad dinámico no es el más conveniente para representar el comportamiento dinámico de este MARCO ante cualquier excitación. Puede surgir la pregunta: ¿y no ocurrirá lo mismo con el modelo de 12 grados de libertad? ¿Si volvemos a dividir en dos cada tramo del segundo MARCO (o sea si usamos 26 grados de libertad), es posible que los resultados del nuevo modelo no se asemejen al anterior? Aunque la duda es válida, no debemos preocuparnos: una vez que se usa un número suficiente de grados de libertad, los resultados comienzan a converger rápidamente. Se sugiere al lector que compruebe esto subdividiendo las columnas y la viga por dos y comparando los resultados. Por supuesto, en un modelo más detallado siempre aparecerán nuevos modos que no están en uno más simple. Sin embargo, estos modos altos prácticamente casi no contribuyen a la respuesta.

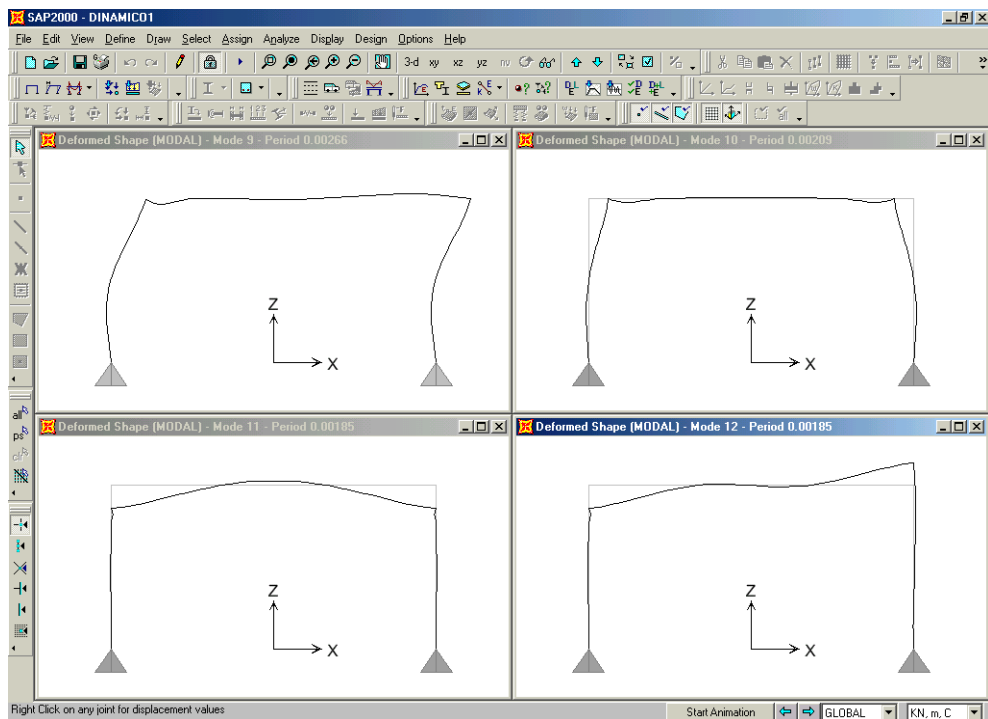
## MODOS 1 AL 4



## MODOS 5 AL 8



## MODOS 9 AL 12



**Nota:**

En algunas ocasiones se puede necesitar un listado de los desplazamientos modales, por ejemplo para ser procesados con otro programa. Por omisión, SAP2000 no los entrega porque para una estructura complicada de un caso real, la cantidad de información sería abrumadora. No obstante, es posible agregar los modos al archivo de texto que se mencionó en el Paso 8 (Frec1b.out). Para esto, cuando en el Paso 4 o 7 abre el menú de “Analyze” seguido por “Set Options...”, debe marcar el casillero “Generate Output”. Esto activará el botón “Select Output Options”. Apriete este botón para abrir la ventana “Select Output Results”. Allí debe escoger “Displacements”, lo que automáticamente activará el botón de “Select/Show Loads” en el lado derecho. Apriete este botón para abrir la ventana “Select Output”. Allí debería haber dos casos: “LOAD1 load case” y “MODES”. Seleccione este último caso y apriete OK tres veces para cerrar todas las ventanas. Una vez que corra el programa, cuando abra el archivo de resultados (el que tiene la extensión .out), éste va a contener un listado como el que se muestra parcialmente a continuación..

J O I N T   D I S P L A C E M E N T S

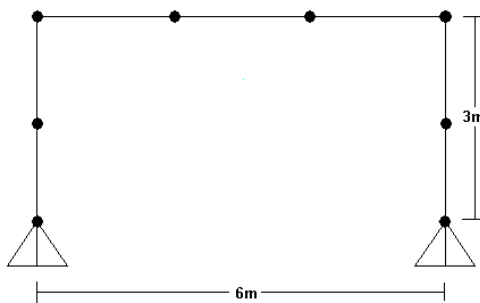
TRANSLATIONS AND ROTATIONS, IN GLOBAL COORDINATES

MODE	1	-----					
JOINT		UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
1		.000000	.000000	.000000	.000000	0.222305	.000000
2		0.537837	.000000	0.001180	.000000	0.089836	.000000
3		.000000	.000000	.000000	.000000	0.222305	.000000
4		0.537837	.000000	-0.001180	.000000	0.089836	.000000

Note que el programa presenta para cada junta (y para cada modo), los tres desplazamientos (UX, UY y UZ) y las tres rotaciones (RX, RY y RZ) alrededor de los tres ejes coordenados. Por supuesto, como en este ejemplo la estructura es plana, sólo los grados de libertad UX, UZ y RY tienen valores distintos de cero.

Fin del Ejemplo de Análisis Dinámico #1

## Ejemplo de Análisis Dinámico 2



Descripción del problema: Obtenga la respuesta del MARCO creado en el Ejemplo de Análisis Dinámico 1 debido a un terremoto determinado. Use un análisis dinámico en el tiempo transitorio (“Time History Analysis”) y el registro del terremoto de El Centro. Añada una masa de 250 Kg a cada una de las cuatro masas ubicadas en la viga. Grafique el historial de desplazamientos horizontales de la junta superior izquierda del modelo, el cortante total en la base y el cortante en la columna izquierda.

Paso 1 [Abrir el archivo]: Inicie el programa SAP2000 y abra el archivo Freq1b.sdb generado en el caso anterior de Ejemplo de Análisis Dinámico 1. Grabe el modelo con otro nombre para no perder el ejemplo anterior (por ejemplo, THistory).


Cambie las unidades a

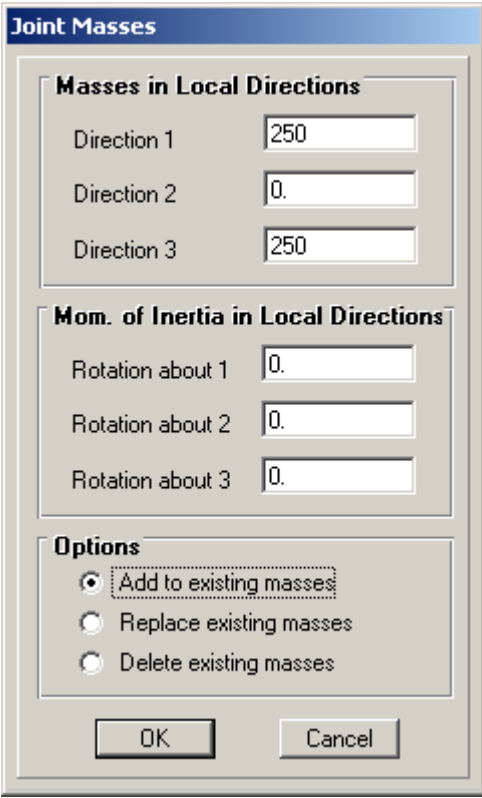
Paso 2 [Añadir Masas Concentradas]: Note que en el ejemplo de Análisis Dinámico 1 sólo se utilizó el peso propio de los elementos para definir la masa. En la mayoría de los casos reales, la masa que contribuye a los efectos dinámicos, además del peso propio de los elementos, incluye el peso muerto de los componentes de la estructura y parte de la carga viva que se encuentra en la estructura. En este ejemplo vamos a añadir unas masas de 250 Kg en cada una de las juntas de la viga superior. Éstas representan el peso muerto de la parte de la estructura asignada al MARCO. Para agregar las masas siga el procedimiento indicado a continuación:

1. Seleccione las cuatro juntas o nodos ubicados en la viga.
2. Use la secuencia: “Assign” (en menú principal) → “Joints” → “Masses...”. En la ventana de “Joint Masses” que se abre escriba 250 en el casillero “Direction 1” y en la “Direction 3”, como se muestra a continuación. Asegúrese que la opción “Add to existing masses” esté seleccionada

3. Presione OK para regresar a la pantalla principal.

Nota:

Si el programa no muestra las masas agregadas a la estructura, use el icono  (“Set Elements”) que aparece en la fila superior de iconos. En la ventana que se abre, en la columna de “Joints”, active la opción “Masses”. Al presionar OK van a aparecer las masas en las juntas representadas por flechas con sus valores numéricos.



**Joint Masses**

**Masses in Local Directions**

Direction 1

Direction 2

Direction 3

**Mom. of Inertia in Local Directions**

Rotation about 1

Rotation about 2

Rotation about 3

**Options**

☒ Add to existing masses

☐ Replace existing masses

☐ Delete existing masses

OK Cancel

Nota:

Como se puede observar en la ventana de “Joint Masses”, el programa permite agregar masas en las direcciones de los tres ejes coordenados. Aunque en la ventana estos ejes se identifican como 1, 2 y 3, en realidad éstos corresponden, respectivamente, a los ejes X, Y, y Z globales. Las masas en las juntas se consideran como partículas (o sea elementos con dimensiones despreciables) concentradas en un

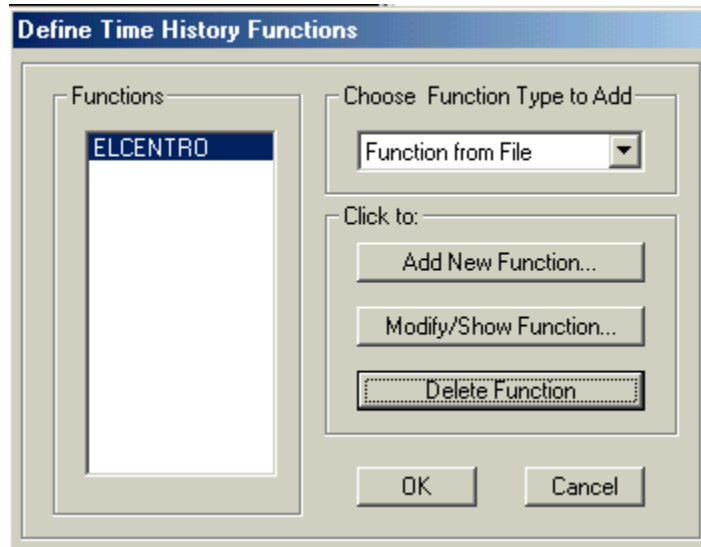


punto. Evidentemente, una masa concentrada puede tener tres traslaciones, en las direcciones de los ejes coordenados. Como la estructura de este ejemplo se considera como plana, los desplazamientos en la dirección Y global (eje 2, normal a la pantalla) están restringidos y por lo tanto no es necesario agregar masa en esta dirección. Por otro lado, como queremos calcular la respuesta de una estructura debido a un sismo actuando en la dirección horizontal, debemos asignar las masas adicionales en la dirección X global (o eje 1 en la ventana de “Joint Masses”). Generalmente para obtener la respuesta a un sismo en la dirección horizontal, no es necesario asignar también las masas en la dirección vertical (eje Z global, o 3). Esto se debe a que los modos asociados a la vibración vertical y horizontal de la estructura están casi todos “desacoplados” (o sea, la deformación modal es puramente vertical o transversal). En este caso, la respuesta sísmica no cambia mucho si no se agrega la masa en la dirección Z o 3. La situación sería distinta si se estuviera analizando un MARCO plano con barras inclinadas: en este caso los modos están “acoplados” y necesariamente se debe asignar la masa en la dirección horizontal (1) y vertical (3). No obstante lo mencionado, se recomienda agregar las masas adicionales en ambas direcciones para evitar sorpresas y porque el esfuerzo computacional es exactamente el mismo.

Paso 3 [Definir la Función para el Análisis en el Tiempo]: Para definir la función que describe la variación en el tiempo del terremoto siga los siguientes pasos.

1. Desde Windows Explorer o My Computer en su computadora ubique el Directorio (“Folder”) de SAP2000. Dentro de este directorio debe haber un sub-directorio llamado “Examples”. Entre a este directorio y copie el archivo del “Elcentro” al directorio en que usted se encuentra trabajando en este ejemplo. Este archivo tiene un total de 222 valores de aceleración del terremoto de El Centro. Las primera, tercera y quinta columnas contienen los tiempos en intervalos no uniformes hasta el tiempo  $t = 12.133$  seg. Las restantes columnas contienen los valores de la aceleración del suelo como fracción de la aceleración de la gravedad  $g$ , o sea en porciento de  $g$ . Por ejemplo, el valor máximo del acelerograma es 0.3194. En las unidades que estamos usando, la máxima aceleración sería  $0.3194 \times 9.81 = 3.133 \text{ m/s}^2$
2. Abra el menú de “Define” y escoja “Time History Functions...”. Esto abre la ventana de “Define Time History Functions” que se muestra en la siguiente figura. Apriete el botón de “Add Function From File” para abrir la ventana “Time History Function Definition”. Esto abre la ventana “Time History Function Definition” que se muestra abajo. En la caja de “Function Name” de la nueva ventana escriba ELCENTRO. Presione a continuación el botón de “Open File”. Al hacer esto se abrirá una ventana donde se muestran todos los archivos con datos de SAP2000 del subdirectorio de

trabajo. Seleccione “All files (\*.\*)” en el recuadro inferior de tipos de archivo (“Files of type:”). Busque allí el archivo Elcentro que grabó anteriormente y selecciónelo (con un doble BI).



3. El nombre del archivo debe haber aparecido en el recuadro de “Function File” como se muestra en la siguiente figura. Escriba 6 en la caja de “Number of Points per Line” (Número de Puntos por Fila).
4. Seleccione la opción “Time and Function Values” (Valores del Tiempo y de la Función) porque, como se mencionó anteriormente, el registro de El Centro que tiene SAP2000 está definido por los tiempos junto con las aceleraciones en esos instantes. Presione OK.
5. Observe que en la ventana “Define Time History Functions” apareció el nombre de la nueva función que se definió (ELCENTRO). Presione OK para retornar a la pantalla principal.
6. Para convertir el Archivo como función de usuario presione el botón “convert to User Defined” luego se puede apreciar de la siguiente figura.

**Time History Function Definition**

**Function Name**

**Function File**

File Name

Header Lines to Skip

Prefix Characters per Line to Skip

Number of Points per Line

**Values are:**

☒ Time and Function Values

☐ Values at Equal Intervals of

**Format Type**

☒ Free Format

☐ Fixed Format

Characters per Item

**Function Graph**

Recuerde grabar  el archivo actualizado de su modelo.

Paso 4 [Definir el Caso de Análisis en el Tiempo]: Para definir el caso de análisis en el tiempo siga los siguientes pasos.

1. Comience en el menú principal con “Define”. Abra la opción de “Analysis Cases...” (Casos de Análisis). Esto abre la ventana “Analysis Cases” (Agregue un Nuevo Caso). Esta acción abre la ventana “Analysis Case Data” (Datos del Caso de Análisis) luego en la Opción Analysis Cases Type escoja el tipo de análisis que se realizará “Time History” que se muestra a continuación. En esta ventana se deben entrar varios datos.

**Analysis Case Data - Linear Modal History**

**Analysis Case Name** MHIST1

**Analysis Case Type** Time History

**Initial Conditions**  
☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State  
☐ Continue from State at End of Modal History   
Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

**Analysis Type**  
☒ Linear  
☐ Nonlinear

**Time History Type**  
☒ Modal  
☐ Direct Integration

**Time History Motion Type**  
☒ Transient  
☐ Static  
☐ Periodic

**Modal Analysis Case**  
 Use Modes from Case MODAL1

**Loads Applied**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	ELCENTRO	9.81
Accel	U1	ELCENTRO	9.81

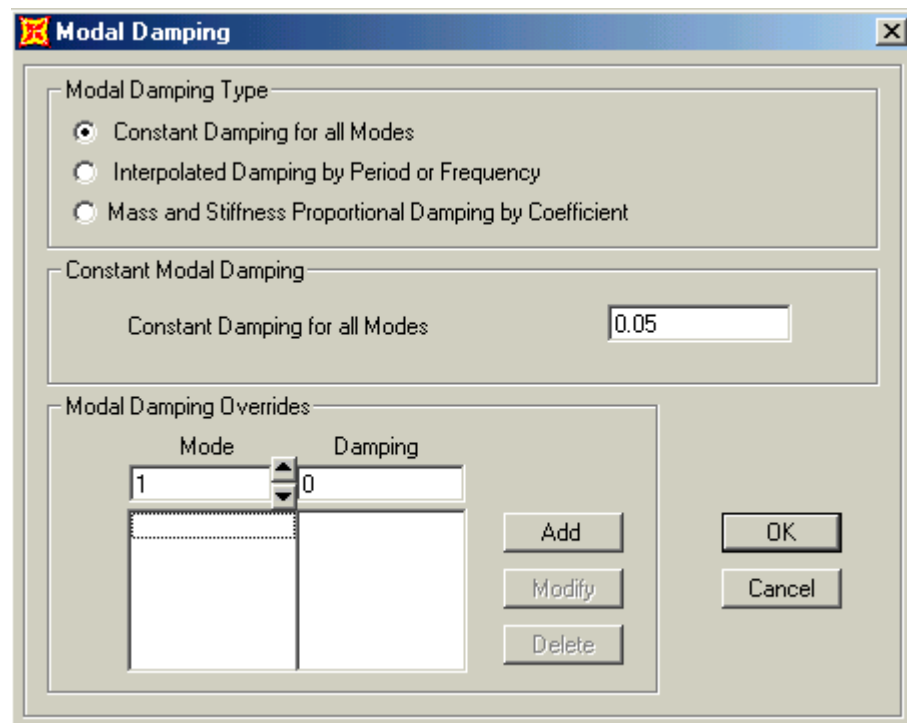
☐ Show Advanced Load Parameters

**Time Step Data**  
 Number of Output Time Steps 1200  
 Output Time Step Size 0.01

**Other Parameters**  
 Modal Damping Constant at 0.05

- En la caja de "History Case Name" deje el nombre de HIST1.
- En el recuadro de Options deje el "Analysis Type" (Tipo de Análisis) como "Linear" dado que queremos efectuar un análisis lineal.
- En el primero de los cuatro recuadros de "Loads Applied" se especifica la dirección en la que actúa el acelerograma que se va a usar. Como en nuestro ejemplo la componente del sismo actúa en la local U1 de eje global X (horizontal), escoja la opción de "accel" de la caja de "Load Type" y en "Load Name" escoja U1.
- Cambie a ELCENTRO la opción en la caja de "Function".
- En la caja de "Scale Factor" se debe ingresar el factor de escala por el cual se va a multiplicar al acelerograma para tener los valores en unidades consistentes con las usadas para la definición de la estructura (en la esquina inferior derecha de la pantalla). Escriba 9.81 que es el factor para convertir el acelerograma a metros/seg<sup>2</sup>. Recuerde que el registro del terremoto de El Centro que trae SAP2000 está en fracciones o % de g. Luego presione ADD para añadir como dato.

7. Escriba 1200 en la caja de “Number of Output Steps” (éste es el número de pasos de tiempo para calcular los resultados).
8. Escriba 0.01 en la caja de “Output Time Step Size”. Ésta es la duración en segundos de los pasos de tiempo con los cuales se desea obtener la respuesta de la estructura.
9. En el cuadro de “Others Parameters” y “Modal Damping” (Amortiguamiento Modal) presione el botón de “Modify/Show”. Esta acción lo llevará a la venta de “Modal Damping” que se muestra a continuación. En esta ventana se puede asignar una misma razón de amortiguamiento a todos los modos de vibración o asignarle razones de amortiguamiento individuales a cada modo. En este caso se va a asignar una razón de amortiguamiento de 0.05 a todos los modos de vibración. Ingrese entonces 0.05 en “Damping for all Modes”. Presione OK para regresar a la ventana “Time History Case Data”.



10. La ventana debe tener ahora los datos finales que se muestran en la figura “Time History Case Data” anterior. Presione OK dos veces.


Paso 5 [Analizar la estructura]: Recuerde que en la segunda parte del ejemplo de Análisis Dinámico 1 se había requerido que el programa calculara los primeros 12 modos de vibración y periodos naturales. En la práctica, por lo general, no es necesario emplear todos los modos de vibración.

La cantidad de modos conviene utilizar dependen de la estructura y del tipo de excitación dinámica (terremoto, fuerza armónica, etc.). En este caso es suficiente utilizar, por ejemplo, los 5 primeros modos. Se sugiere al lector que posteriormente vuelva a analizar la estructura con los doce modos y compare los resultados.


Especifique en el menú de “Analyze”, dentro de la opción de “Set Options”, la



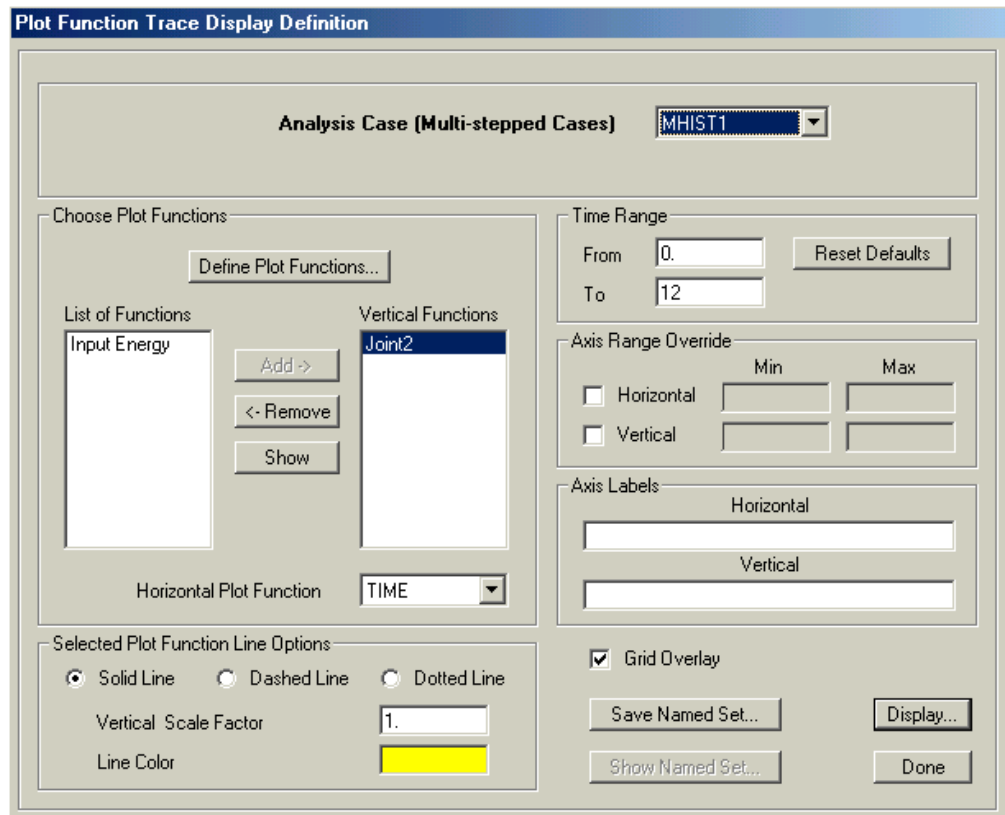
opción de “Fast DOFs” de y verifique que la opción de “Dynamic Analysis” esté seleccionada. Presione el botón de “Set Dynamic Parameters” y cambie el 12 en la caja de “Number of Modes” por 5. Presione OK dos veces.

Corra el análisis presionado  o del menú de “Analyze” utilice la opción de “Run”. Note que ahora el programa se toma más tiempo para producir los resultados, debido a que está haciendo un análisis paso a paso en el tiempo. Presione OK si el proceso terminó sin problemas.

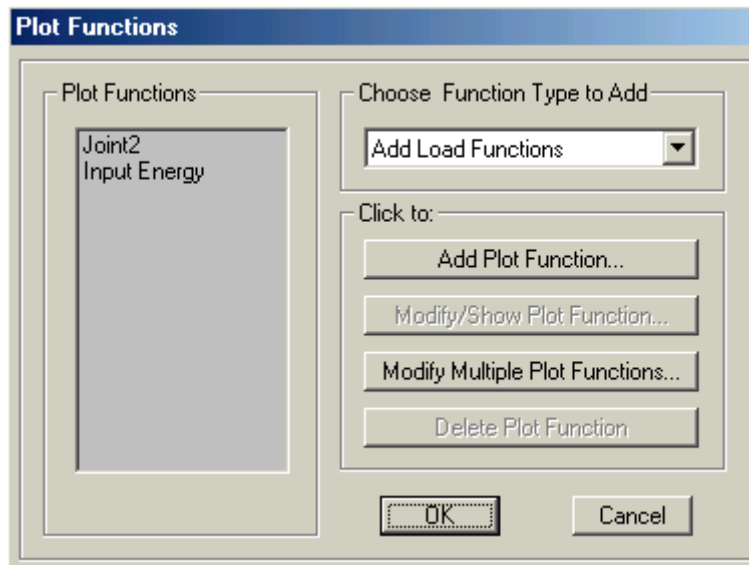
Paso 6 [Deslazamientos en la Junta]: Como en todo análisis dinámico lineal, ya sea de vibraciones libres o forzadas como en este ejemplo, el programa muestra los modos de vibración. Sin embargo ahora hay mucha más información disponible.

Vamos a ver, por ejemplo, los desplazamientos en una junta. Comience presionando el botón de  (“Show Undeformed Shape”) para ver la estructura sin deformar. Seleccione la junta superior izquierda para la cual se desea ver el historial de desplazamientos en el tiempo (debería ser la junta 2 de acuerdo a la numeración interna que usa el programa).

Del menú de “Display” seleccione “Show Time History Traces...(Muestre las Trazas del Historial)”. Esto lo conducirá a la ventana de “Time History Display Definition” que se muestra a continuación.



Seleccione la junta (Joint2) del cuadro de “List of Functions” y presione el botón que dice “Define Functions”. Esto lo conducirá a la siguiente ventana de “Time History Functions”



Seleccione “Joint2” y presione el botón de “Modify/Show TH Function”. Esto lo conducirá a la ventana de “Time History Joint Function” que se muestra a continuación.

The screenshot shows the 'Time History Joint Function' dialog box. It has a title bar with the text 'Time History Joint Function'. Inside the dialog, there are several sections:

- Function Name:** A text box containing 'Joint2'.
- Joint ID:** A text box containing '2'.
- Vector Type:** A group of radio buttons with the following options:
  - ☒ Displ
  - ☐ Vel
  - ☐ Accel
  - ☐ Spring Force
  - ☐ Abs Displ
  - ☐ Abs Vel
  - ☐ Abs Accel
  - ☐ Reaction
- Mode Number:** A group of radio buttons with the following options:
  - ☒ Include all
  - ☐ Include oneBelow these is a small dropdown menu showing a grey box and a downward arrow.
- Component:** A group of radio buttons with the following options:
  - ☒ UX
  - ☐ UY
  - ☐ UZ
  - ☐ RX
  - ☐ RY
  - ☐ RZ
- Buttons:** 'OK' and 'Cancel' buttons are located at the bottom right of the dialog.

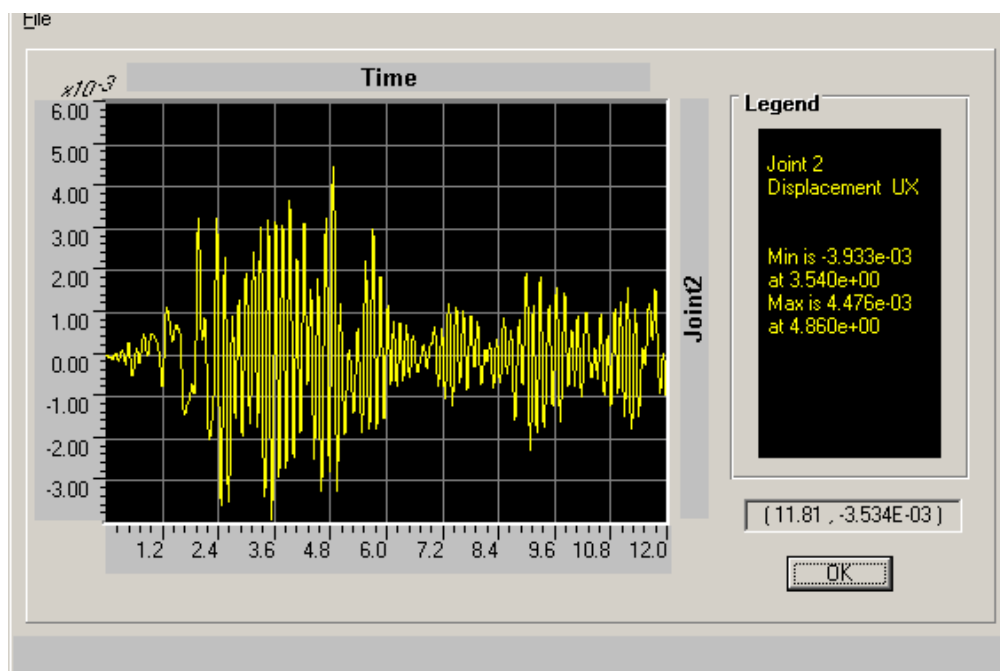
Note que por omisión SAP2000 grafica los desplazamientos (la opción “Disp” está pre-seleccionada). Usted puede escoger la respuesta que desea graficar en el recuadro de “Vector Type”. En el recuadro de “Component” debe seleccionar la componente de la respuesta que escogió en “Vector Type”.

Como queríamos obtener el historial de desplazamientos horizontales de la junta 2, dejamos las opciones originales.

Presione OK dos veces para volver a la pantalla de “Time History Display Definition”.

Seleccione “Joint2” en el recuadro “List of Functions” y presione el botón que dice “Add->”. Observe que “Joint2” pasó ahora al cuadro de la derecha de “Plot Functions” y está seleccionado. El resultado se muestra en la figura correspondiente anterior. Presione el botón de “Display” en la parte inferior para ver el historial de desplazamientos en función del tiempo. Este último se muestra a continuación. Presione OK si desea salir de esta ventana.





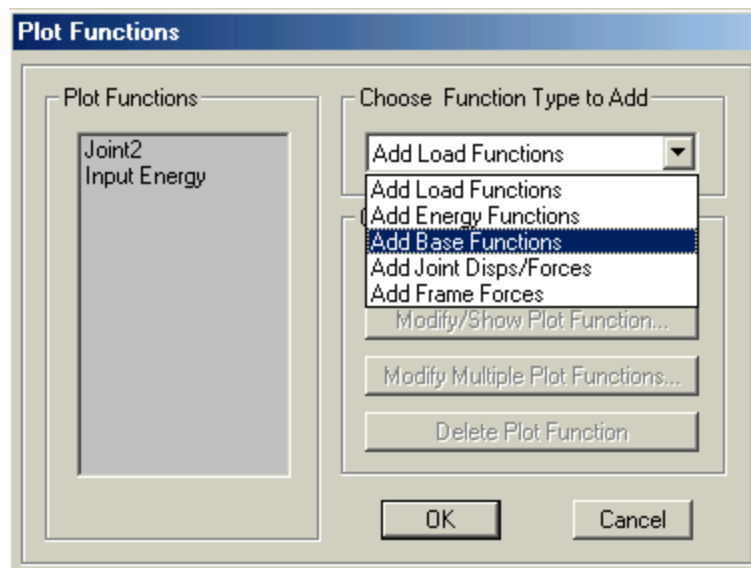
En el cuadro de "Legend" a la derecha el programa muestra los mínimos y máximos valores de la respuesta graficada, y los instantes de tiempo en que ocurren. Además, si posiciona el cursor en un punto sobre la curva, las coordenadas del mismo (desplazamiento en metros y tiempo en segundos) aparecen en el recuadro inferior derecho. El gráfico en la pantalla se puede imprimir simplemente abriendo el menú "File" en esta ventana. Escoja "Print Graphics" si desea obtener una copia en papel de la figura, o si lo desea, puede obtener los valores numéricos en una tabla. Para esto use la opción "Print Tables to File...". En la nueva ventana que se abre escoja un nombre para el archivo con el historial de la respuesta. Por omisión la extensión del archivo es ".txt". Luego puede abrir con un procesador de texto el archivo creado. En este ejemplo el archivo contendrá dos columnas, una con los tiempos y otra con los desplazamientos correspondientes, además de otros datos necesarios para identificar la información guardada (unidades, etc.)

#### Nota:

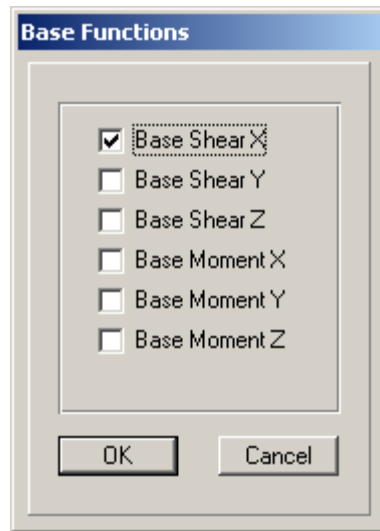
Si presiona OK y vuelve a la ventana "Time History Display Definition", observe que es posible modificar el gráfico anterior. Por ejemplo puede cambiar el color de la curva con el botón de "Color", el que abre una paleta. Puede seleccionar el lapso de tiempo de la función que desea graficar, cambiando los valores estándar de cero hasta el final del intervalo. Para esto simplemente entre los instantes inicial y final de

tiempo en los casilleros “From” y “To”, respectivamente en el recuadro de “Time Range”. Por último, puede agregarle un texto identificador a los ejes horizontal y vertical escribiendo esta información en el recuadro “Axis Labels”, en las cajas “Horizontal” y “Vertical”.

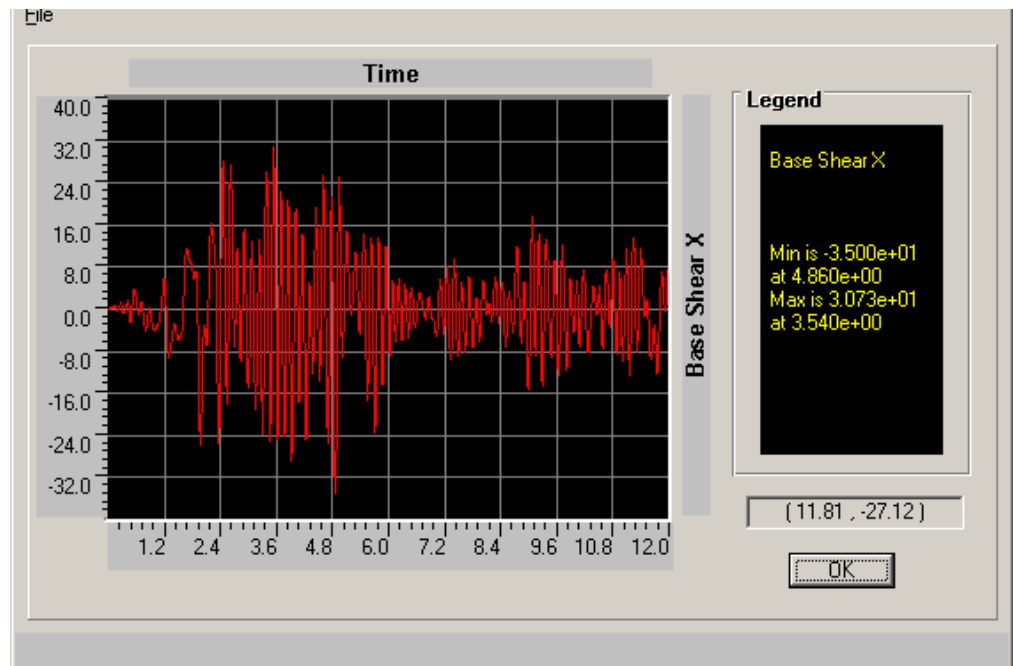
Paso 7 [Cortante total en la base]: Para obtener un gráfico de la variación del cortante total en la base (la suma del cortante en las dos columnas), seleccione nuevamente “Define Function” de la ventana de “Time History Display Definition”. En la ventana que se abre de “Time History Functions” seleccione la opción de “Add Base Function” como se muestra en la siguiente figura.



Se abre una nueva pantalla de “Base Function” (ver figura). Seleccione allí “Base Shear X” (Cortante Basal X) como se muestra a continuación.

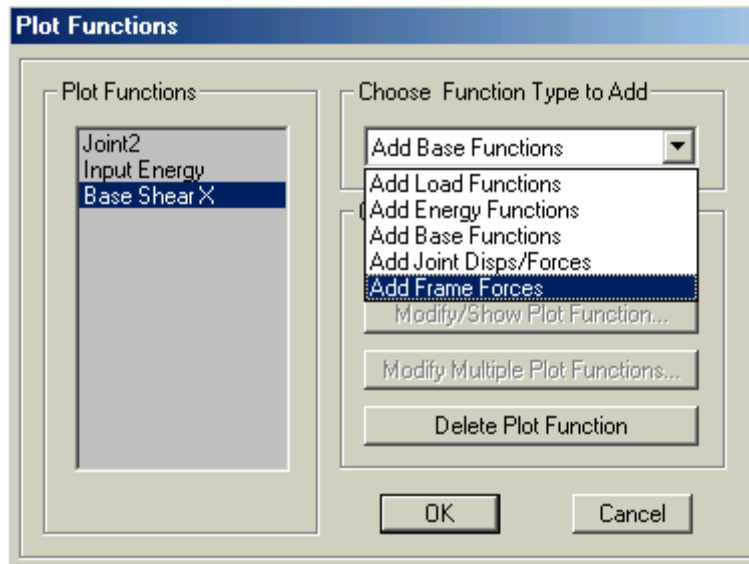


Presione OK dos veces para volver a la pantalla de "Time History Display Definition", presione "ADD->" sobre la función de "Base Shear X" en el recuadro de "List of Functions". Seleccione "Joint 2" del recuadro de "Plot Functions" y presione el botón de "<-Remove" para remover esa función de la figura a graficar. Presione el botón de "Display" para ver el historial del cortante total en la base, el que se muestra en la figura a continuación.



Presione OK para cerrar esta ventana y volver a la pantalla de "Time History

Paso 8 [Cortante en la columna izquierda (Elemento 4)]: Para obtener un gráfico de la variación del cortante en la columna de la izquierda, seleccione nuevamente “Define Function” en la ventana de “Time History Display Definition”. En la ventana que se abre de “Time History Functions” seleccione la opción de “Add Element Frame Forces” como se muestra en la siguiente figura.



Aparece la ventana de “Time History Frame Function” que se muestra en la próxima figura. Escriba 4 en el cuadro de “Element ID” (Identificación del Elemento). Seleccione la opción de “Shear 2-2” en el recuadro de “Component”. Deje la opción de “Include all” seleccionada en el recuadro de “Mode Number” y en el recuadro de “Location” deje la estación (“Station”) 1 que corresponde al extremo inicial del elemento. Si desea el historial del cortante en un punto intermedio del elemento seleccione la estación (“Station”) 2 y si desea el cortante en el otro extremo del elemento, seleccione la estación 3.

**Frame Plot Function**

Plot Function Name:

Element ID:

Component:

☐ Axial Force    ☐ Torsion

☒ Shear 2-2    ☐ Moment 2-2

☐ Shear 3-3    ☐ Moment 3-3

Mode Number:

☒ Include all

☐ Include one

Location is at Output Station Nearest:

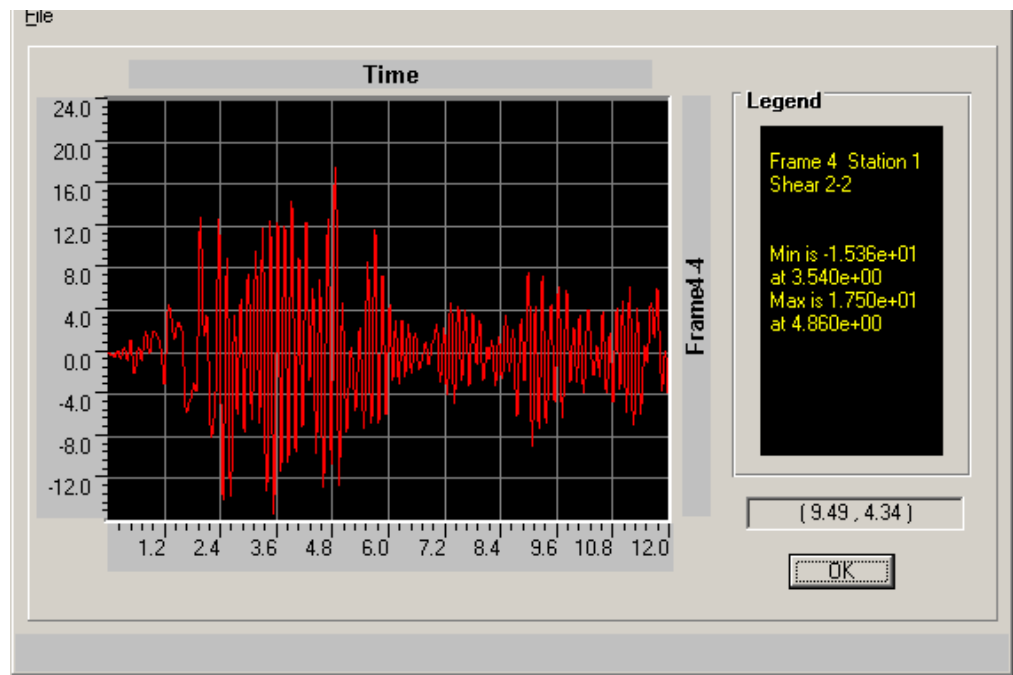
☒ Relative Distance   

☐ Absolute Distance

OK

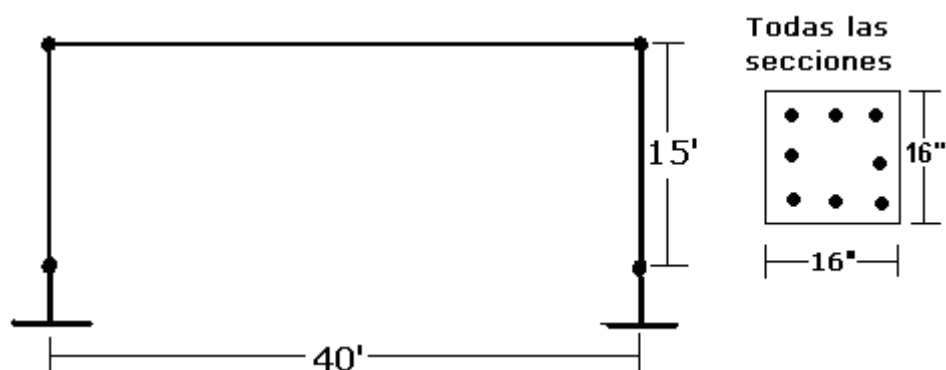
Cancel

Presione OK dos veces para volver a la pantalla de “Time History Display Definition”, presione “ADD->” sobre la función de “Frame4” en el recuadro de “List of Functions”. Seleccione “Base Shear X” del recuadro de “Plot Functions” y presione el botón de “<-Remove” para remover esa función. Presione el botón de “Display” para ver el historial del cortante en el elemento 4, estación 1, que se muestra en la siguiente figura.



Fin del Ejemplo de Análisis Dinámico #2

## Ejemplo de Análisis usando un Espectro de Respuesta



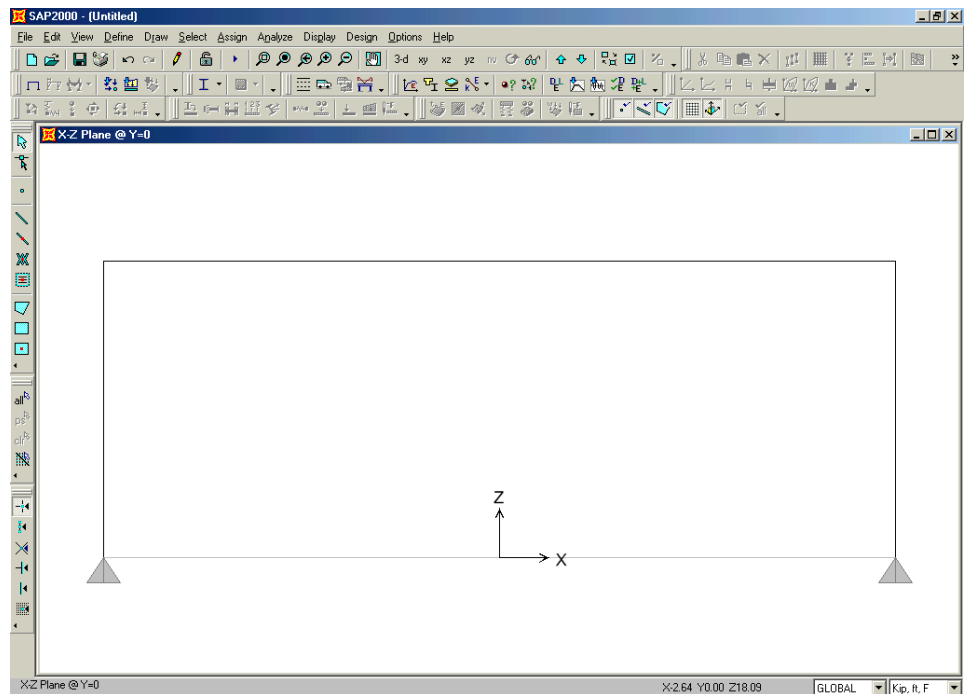
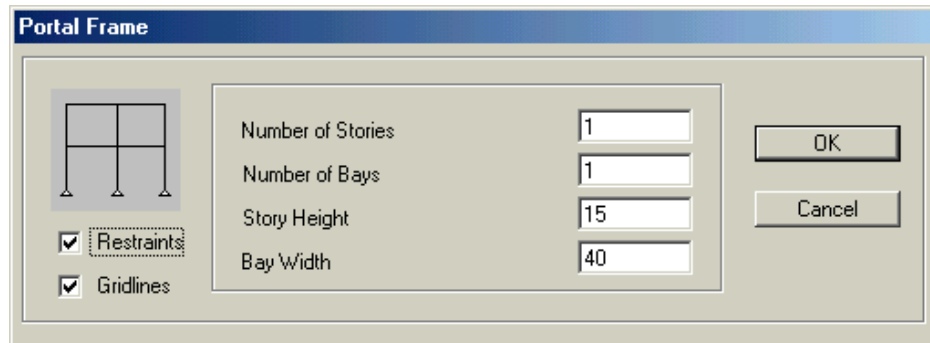
Descripción del problema: Vamos a usar como ejemplo el MARCO de hormigón de un piso y un tramo que se muestra en la figura. Por simplicidad vamos a utilizar vigas y columnas de sección cuadrada de 16 pulgadas.



Paso 1 [Establecer unidades del sistema]: Inicie el programa SAP2000 y cambie las unidades a .

Paso 2 [Definición de la Geometría]: Del menú principal de “File” seleccione



“New Model from Template...” y seleccione la opción de “Portal Frame”. En la ventana del “Portal Frame” escriba 1 para el “Number of Stories”, 1 en el “Number of Bays”, 15 para la opción de “Story Height” y 40 en la opción de “Bay Width”. Presione OK. Cierre la ventana de 3-D. Esto le genera el marco que se muestra en la siguiente figura.

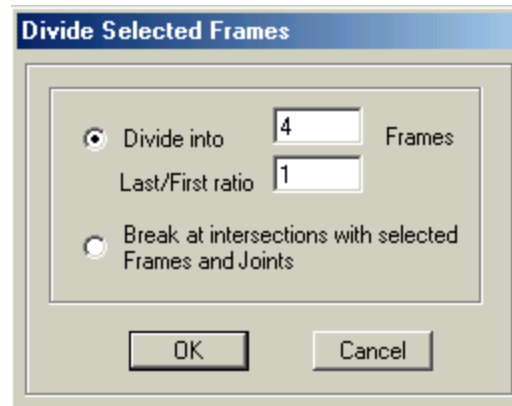




Paso 3 [Definición de las condiciones de borde]: Seleccione los apoyos haciendo BI sobre ellos. Presione  del “toolbar” principal en la parte superior de la pantalla. De la ventana de “Joint Restraint” que aparece, seleccione  del marco de “Fast Restraint”. Presione OK.


Paso 4 [Aumentar los grados de libertad]: Hemos visto en el Ejemplo de Análisis Dinámico 1 que a diferencia del análisis estático de estructuras, el análisis dinámico con modelos discretos nunca es exacto aunque tiende a la solución exacta a medida que el número de grados de libertad crece. Por lo tanto vamos a representar las columnas y vigas con cuatro elementos para aumentar el número de grados de libertad y la precisión de los resultados. Para esto seleccionamos la estructura completa con Ctrl + A. Luego seleccione del menú principal de “Edit” la opción de “Divide Frames...”. Para dividir cada




elemento en cuatro subelementos escriba 4 en la opción de “Divide into” y 1 en la opción de “Last/First ratio” en la ventana de “Divide Selected Frames” como se muestra a continuación. Esta opción de “Divide Frames” fue detallada en el Ejemplo de Armaduras 1. Presione OK



Paso 5 [Definir y asignar las secciones de los MARCOS]: Cambie las unidades a . Seleccione todas las columnas y vigas del MARCO utilizando la herramienta de  (“Select All”) del “toolbar” ubicado en la parte izquierda de la pantalla principal de SAP2000. Esto también puede hacerse con Ctrl.+A o con la secuencia menú “Select” → Select → All.

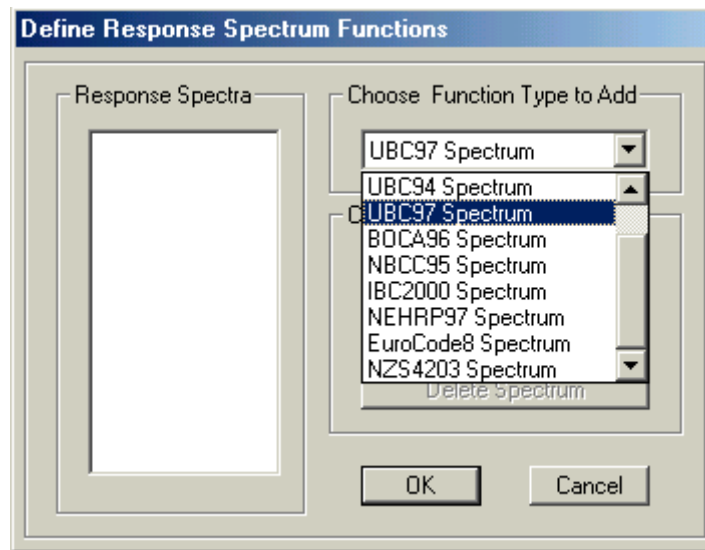
Presione el icono de  (o use el menú de “Assign” → Frame→ Sections...). Presione Modify/Show Section.

Deje el nombre de FSEC1 (Frame Section 1) que tiene SAP2000 por omisión, cambie el material a CONC y las dimensiones a 16 para la profundidad o altura y para el ancho. Presione OK dos veces.

Recuerde grabar  el archivo actualizado de su modelo (por ejemplo, con el nombre Espectro).

Paso 6 [Definición de la carga sísmica]: Vamos ahora a escoger el espectro de respuesta o de diseño que queremos usar. La versión 7.4 de SAP2000, tiene una serie de espectros predefinidos tomados del código UBC-94 (Uniform Building Code, edición 1994). Estos pueden verse de la siguiente manera:

Comience en el menú principal “Define” → “Response Sepctrum Function”. Esto lo conduce a la siguiente ventana.



**Nota:**

En la ventana se muestra a la izquierda los espectros predefinidos. Los botones de la derecha permiten entrar un espectro nuevo (directamente en el programa o leyéndolo de un archivo). También se pueden usar para graficar los valores de las funciones que están a la izquierda.

Vamos a seleccionar el UBC94Spectrum. Al presionar el boton “Add New Function..” nos muestra una ventana “Response Spectrum UBC 94 Function Definition”. El nombre de la funcion por defecto muestra “FUNC1” en el cuadro de “parameters” en la opcion “Seismic Zone Factor, Z” (0.4) “Soil Type” (2) identifican al tipo de suelo (suelo rigido o denso con profundidad mayor de 200 pies o 61 metros). En la ventana tambien podemos observar la función del espectro de la UBC 94 definidos para los paraetros indicados como se muestra en la ventana “Define Function” y en el cuadro “Function Graph” muestra el grafico del espectro. Presione OK kis veces para volver a la pantalla principal.

**Response Spectrum UBC 94 Function Definition**

**Function Name**

**Parameters**

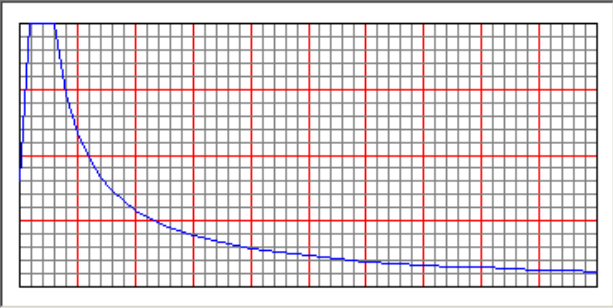
Seismic Zone Factor, Z

Soil Type

**Define Function**

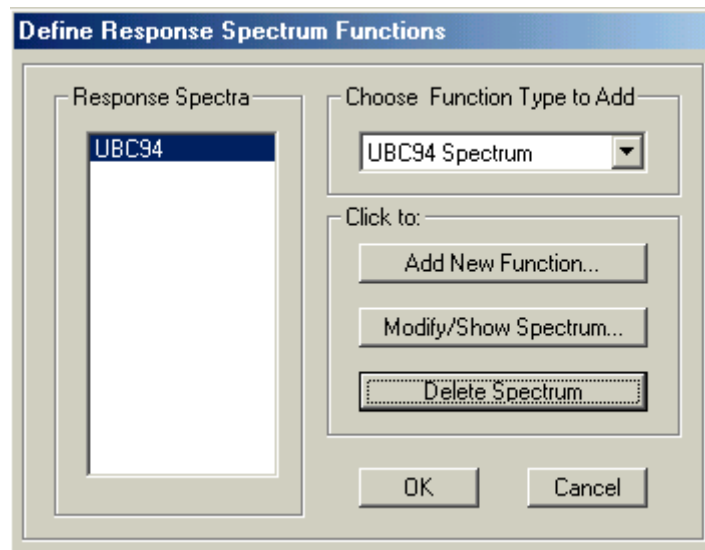
Period	Acceleration
0.	0.4
0.15	1.
0.585	1.
0.8	0.7315
1.	0.5852
1.2	0.4877
1.4	0.418
1.6	0.3658
1.8	0.3251

**Function Graph**



Paso 7 [Definición de casos de espectros]: Vamos ahora a escoger el espectro de respuesta que queremos usar. Para esto, del menú principal de “Define” seleccione la opción de “Response Spectrum Cases” (Casos de Espectros de Respuesta). Dijimos que el programa tiene una serie de espectros predefinidos tomados del código UBC-94. Estos pueden verse haciendo lo siguiente:

Comience en el menú principal “Define” y seleccione la opción “Response Spectrum Function” (Función de Espectro de Respuesta). Esto lo conduce a la siguiente ventana de “Define Response Spectra” (Defina los Espectros de Respuesta).



(Agregue Nuevos Casos) lo que lo conduce a la siguiente ventana.

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	UBC94	139.1
Accel	U1	UBC94	139.1

En el recuadro de Análisis Case Type seleccione “Response Spectrum” y luego en el recuadro de “Análisis Case Name” (Nombre del Caso de Análisis) deje el nombre de SPEC1 que es el nombre por defecto.

En el recuadro de “Modal Combination” (Combinación Modal) seleccione la opción de SRSS (o “Square Root of Sum of the Squares”). Note que la opción por omisión es CQC (“Complete Quadratic Combination”). No obstante, vamos a aplicar la combinación de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (o sea la SRSS) porque todavía es la más usada en la práctica.

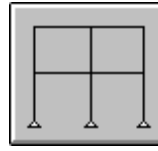
En el recuadro de “Directional Combination” (Combinación Direccional) deje la opción de SRSS. Como no estamos haciendo un análisis tridimensional con sismos en más de una dirección, esta opción es irrelevante para nuestro ejemplo. En el recuadro de “Input Response Spectra” (Espectros de Respuesta de Entrada) debemos escoger la dirección en la cual queremos que se aplique el terremoto. Hay tres opciones: U1, U2 y U3. Éstas se refieren a los ejes locales 1, 2 y 3. Si el ángulo de la excitación que se definió antes es cero, entonces: U1 = X, U2 = Y y U3 = Z, donde X, Y y Z son los ejes globales. En nuestro caso queremos considerar la componente horizontal del sismo, por lo tanto vamos a escoger la función de UBC94S2 en la dirección U1.

Por último vamos a ingresar el valor de 139.1 en la caja de “Scale Factor” (Factor de Escala). Este factor se explica en la siguiente nota. Presione OK cuando haya terminado.


**Nota:**

Note que el espectro que vimos en el paso anterior está en %g (o en otras palabras, como fracción de la aceleración de la gravedad) y tiene una máxima aceleración del suelo igual a 1 (o sea para periodo cero el valor es 1-g). Por lo tanto, debemos escalarlo para que tenga la máxima aceleración del suelo correspondiente al sitio donde se va a construir la estructura. Por ejemplo, en el caso de Puerto Rico, ubicado en Zona 3 en la clasificación del código UBC-97, y para un tipo de suelo  $S_B$ , según el mismo código, esta aceleración máxima deber ser 0.36g. Además debemos asignarles unidades a espectro, en este caso pulg/s<sup>2</sup> para lo cual lo multiplicamos también por el valor de g correspondiente (386.4 pulg/s<sup>2</sup>). En resumen el factor de escala (“Scale Factor”) es igual a  $0.36 * 386.4 = 139.1$  pulg/s<sup>2</sup>.


Paso 8 [Analizar la estructura y obtener las frecuencias naturales]: Abra el menú de “Analyze” y la opción de “Set Options...”. Escoja la siguiente opción de “Fast DOFs”:

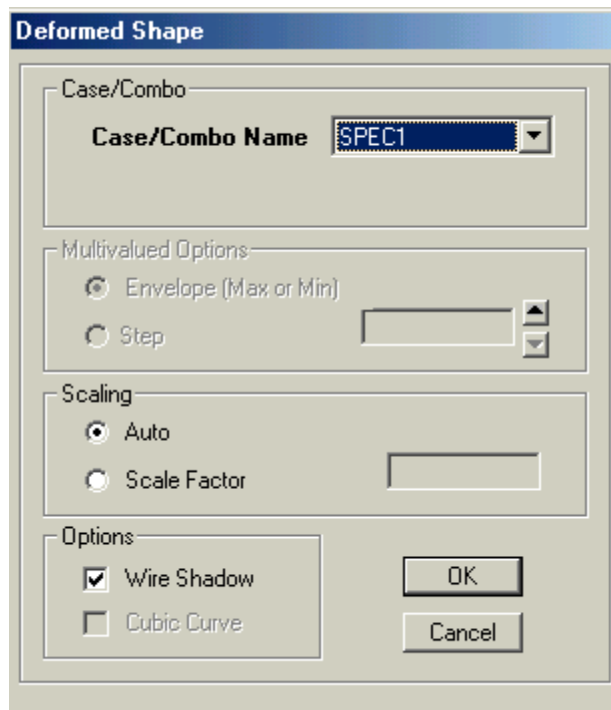


Abajo en la misma pantalla seleccione la opción de “Dynamic Analysis”. Note que al seleccionar esta opción se activa el botón que está a la derecha y que tiene como descripción “Set Dynamic Parameters”. Presione este botón, lo que lo conducirá a la siguiente pantalla que se muestra. Escriba 8 en número de modos (o de frecuencias naturales) y deje los demás parámetros como los tiene el programa por omisión. Presione OK dos veces para llegar a la pantalla principal.

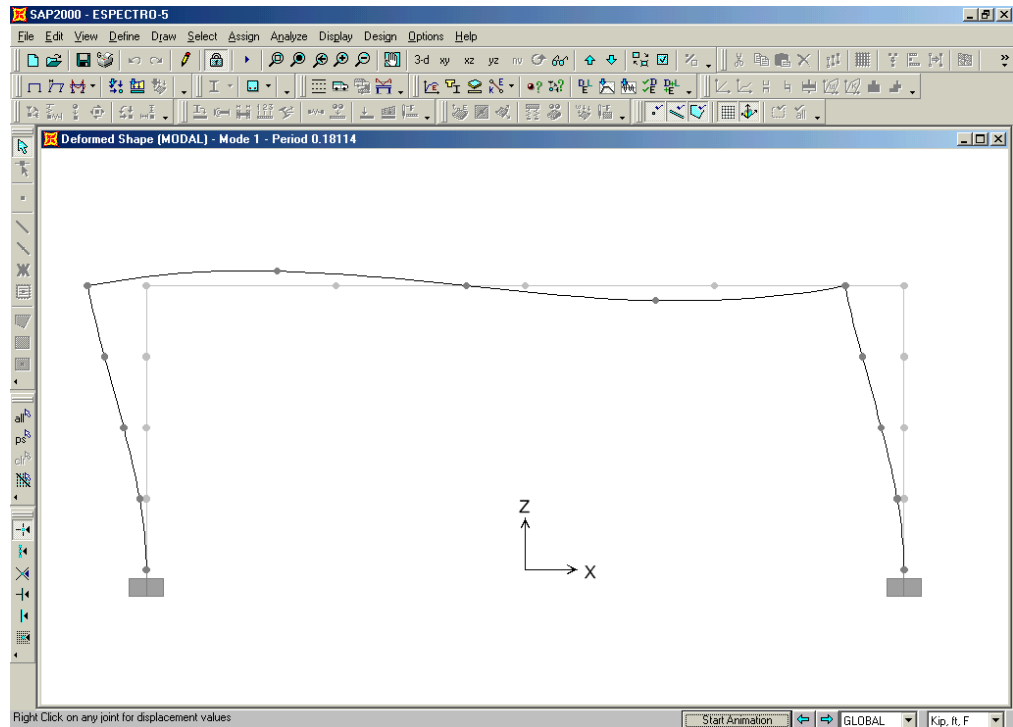
Corra el análisis presionado  o mediante la opción de “Run” en el menú de “Analyze”.

Al terminar de analizar el modelo, el programa nos muestra el primer modo de vibración. Para ver todos los modos de vibración siga el Paso 5 del Ejemplo de Análisis Dinámico 1. Se recomienda examinar los modos para asegurarse que el modelo produce los resultados que uno espera.


Paso 9 [Resultados]: Para ver la deformación máxima de la estructura presione el icono de . De la ventana que aparece de “Deformed Shape”, seleccione en el recuadro de “Load” la opción de “SPEC1 Spectra”, deje el recuadro de “Scaling” con los valores por omisión y en el recuadro de “Options” seleccione la opción de “Wire Shadow” como se muestra a continuación.



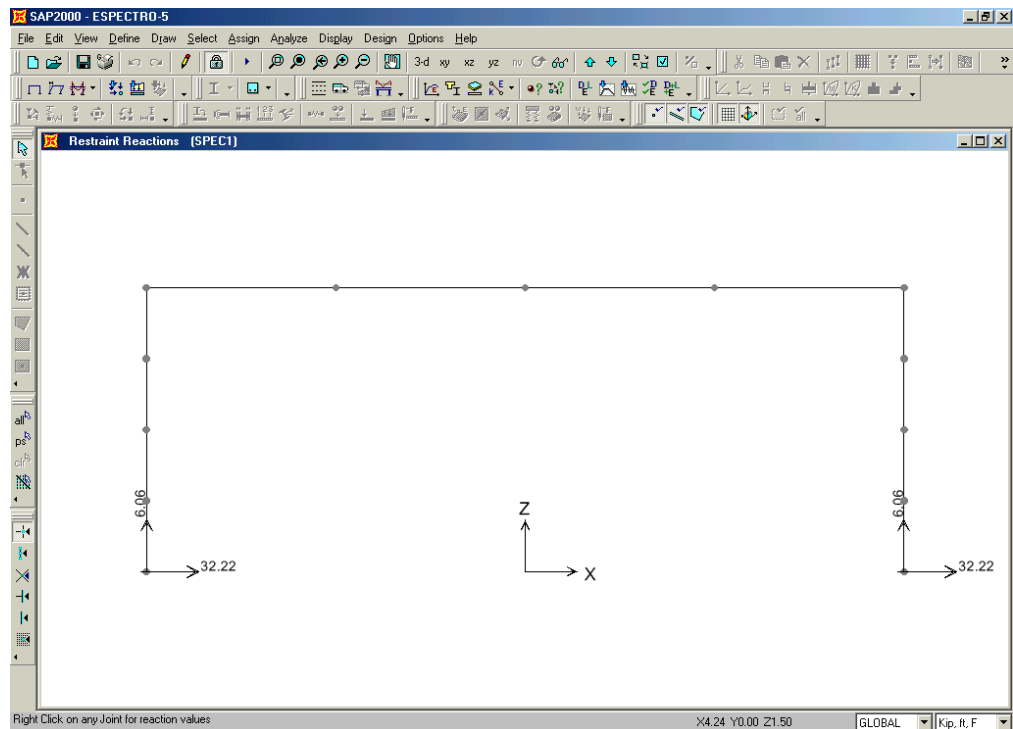
Presione OK. El programa muestra la estructura deformada superpuesta con la no deformada como se muestra a continuación.




Si deseamos conocer los desplazamientos o la rotación de una junta en particular, vamos a esta junta y la seleccionamos haciendo BD sobre la misma. Se abrirá una ventana donde aparece la información deseada. Esto se había mostrado en el Paso 15 del Ejemplo de Vigas 1.

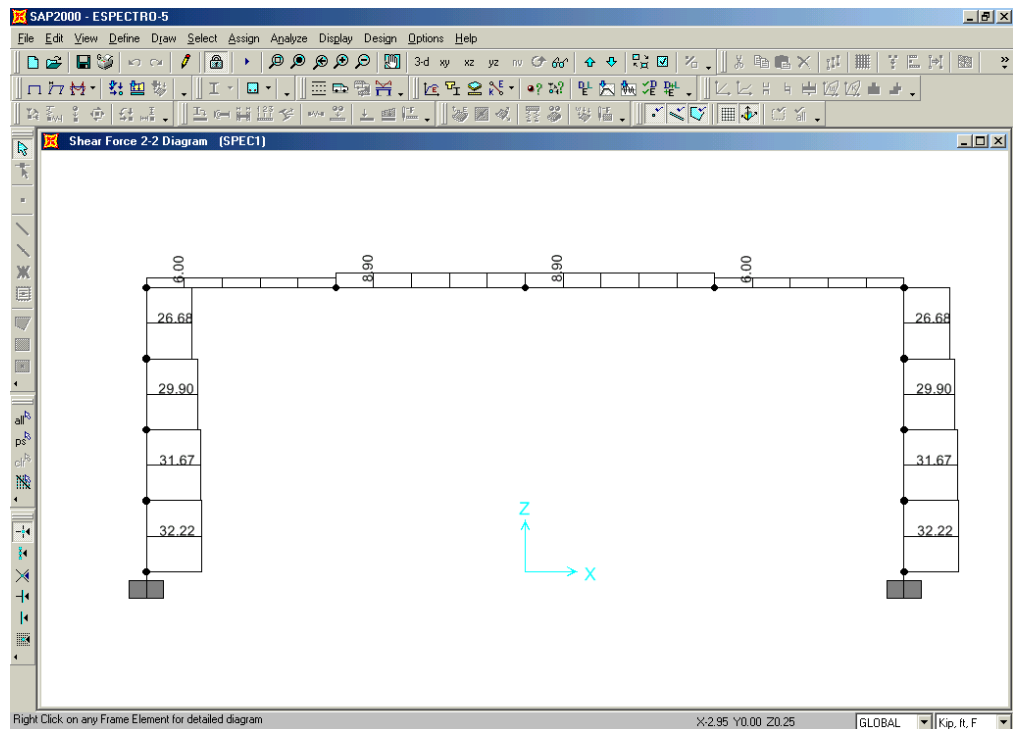
Para ver las reacciones presione el icono de  y seleccione la opción de “SPEC1 Spectra” en el recuadro de “Load” de la ventana de “Joint Reaction Forces” que se abre. Además asegúrese que la opción de “Reactions” esté seleccionada. El resultado se muestra a continuación. Recuerde que para ver los momentos en la base de la columnas debe cambiar la vista de la estructura del pnao X-Z a una 3-Dim. Por supuesto, siempre se puede observar los valores numéricos de las reacciones haciendo un BD sobre el apoyo que nos interesa.






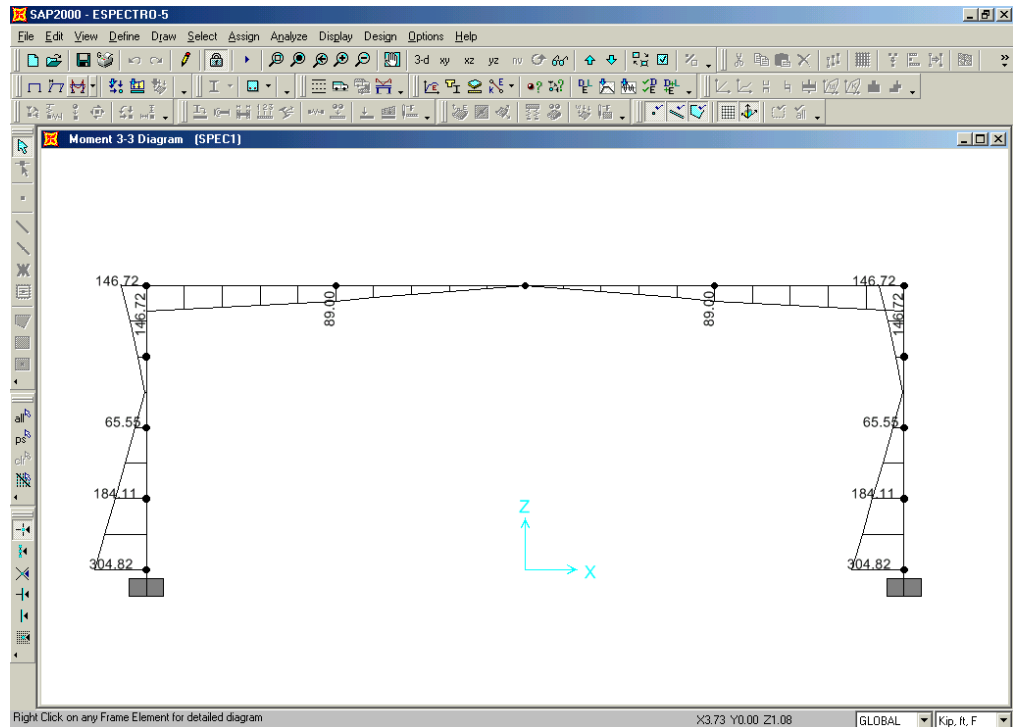
Para observar los cortantes presione el icono de  y seleccione la opción de “SPEC1 Spectra” en el recuadro de “Load” de la ventana de “Member Force Diagram for Frames” (Diagramas de Fuerza en los Miembros para MARCOS) que se abre. En el recuadro de “Component” escoja la opción “Shear 2-2” (Cortante en la dirección del eje 2). Además seleccione la opción de “Show Values on Diagram” (Muestre los Valores en el Diagrama) y deje la opción “Scaling” (Escala) en “Auto” (automático). El diagrama de cortante del MARCO se muestra a continuación.

Para escoger la fuerza cortante que se desea que el programa grafique, tenga en cuenta que para una barra horizontal el eje 2 coincide con el eje Z global y para una barra vertical, el eje 2 está en la dirección del eje X global.



Para ver los momentos flectores presione el icono de  y seleccione la opción de “SPEC1 Spectra” en el recuadro de “Load” de la ventana de “Member Force Diagram for Frames” que se activa. Asegúrese de seleccionar la opción “Moment 3-3” (momento alrededor del eje 3) en el recuadro de “Component”. Seleccione la opción de “Show Values on Diagram” y deje “Scaling” en “Auto”. Al presionar OK aparece el diagrama que se muestra a continuación.

Para seleccionar el momento que se desea graficar, recuerde que para una estructura plana como la nuestra el eje 3 tiene siempre la dirección del eje global X (o sea normal a la pantalla).



Nota:

Cuando se usa el método del espectro de respuesta nuestro objetivo es calcular aproximadamente la **máxima** respuesta en **valor absoluto** de una estructura a un terremoto específico representado por su espectro de aceleraciones, o a los posibles sismos de diseño representados por un espectro de diseño. En el caso de un MARCO plano, las máximas respuestas pueden ser, por ejemplo, los dos desplazamientos y el giro de las juntas, o la fuerza axial, cortante y momento en los extremos de cada barra. Como se explica en los cursos o textos de Dinámica de Estructuras, el método predice la máxima respuesta en cada modo de la estructura, y luego las combina de acuerdo a una regla. Cuando se usa la regla SRSS (el caso de este ejemplo), las respuestas modales se elevan al cuadrado, se suman y al resultado se le saca la raíz cuadrada. Por lo tanto el método **NO** nos da los signos de estas cantidades, o en otras palabras los resultados son todos positivos. En la realidad, una respuesta puede ser positiva o negativa. Si calculásemos la verdadera respuesta máxima en el tiempo, el resultado sería un valor cercano a una de las dos cantidades positiva o negativa. Esto tiene implicaciones importantes para el diseño. Por ejemplo, para diseñar la viga y las columnas del MARCO debemos considerar los dos posibles diagramas de momentos con signos contrarios como los se muestran en las dos figuras a continuación.

Las dos figuras siguientes fueron obtenidas aplicando cargas nodales horizontales con de 56.51 k en la junta superior izquierda en los dos sentidos del eje de X. Para el lector con curiosidad, el valor de 11.78 k fue obtenido usando la fórmula que se muestra a continuación. Esta fórmula permite calcular los momentos en la junta entre viga y columna de un MARCO de un claro y un piso, como el que se utilizó en este ejemplo, cuando se le aplica una carga horizontal en un extremo de la viga. En este caso, del análisis espectral anterior se obtiene que el momento en las juntas de la viga es 30.54 k-ft. Usando este valor en la fórmula se puede despejar la carga lateral “equivalente”  $P$  que generaría este momento. Al sustituir los valores de  $M = 30.54$  k-ft,  $h = 15$  ft,  $l = 40$  ft,  $J_1/J_2 = 1$  y  $\varepsilon_a = 0.5$  en la ecuación y despejar la carga lateral se obtiene  $P = 11.78$  k. Nóte que los momentos obtenidos con esta carga concentrada son bastante parecidos a los obtenidos con el análisis espectral.

$$M = \frac{Ph}{2} \left( \frac{1/\varepsilon_a + 1}{N^v} \right) k_a$$

donde:

$P$  = Carga concentrada en la junta para un MARCO de un claro y un piso

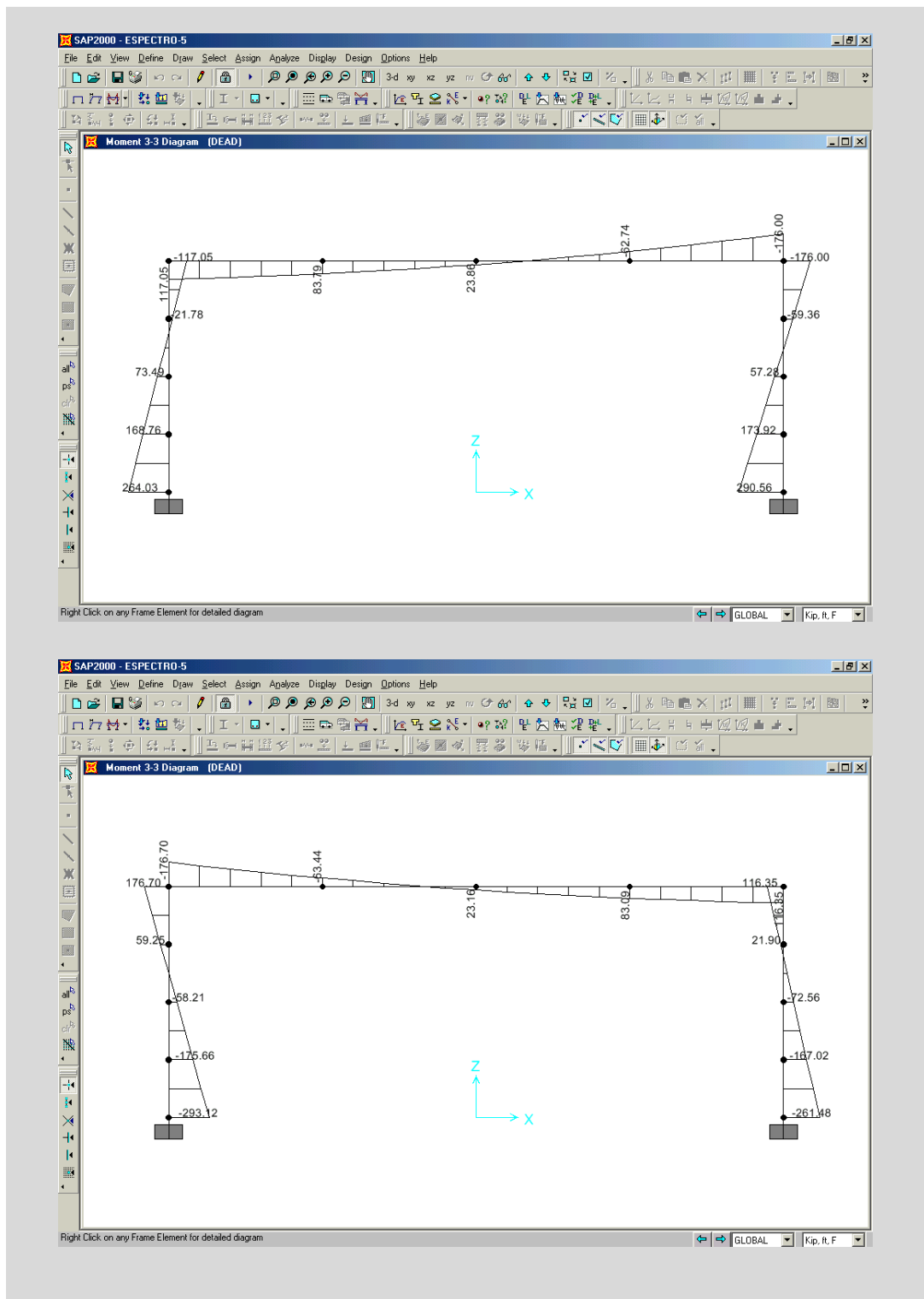
$\varepsilon_a$  = Factor de acarreo entre viga y columna

$$N^v = \left( \frac{1}{\varepsilon_a} + 4 \right) k_a + 1$$

$$k_a = \frac{J_1}{J_2} \cdot \frac{h}{l}$$

$J_1, J_2$  = Momentos de inercia de la viga y las columnas, respectivamente

$h, l$  = altura y largo o claro del MARCO



Fin del Ejemplo de Análisis de Espectro de Respuesta



## Sobre los autores

El Dr. Luis Edgardo Suárez se desempeña actualmente como profesor titular (catedrático) en el Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura de la Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez (UPR-RUM). En este departamento dicta cursos de pregrado, maestría y doctorado en el área de Análisis Estructural, Mecánica Aplicada, Dinámica de Estructuras y Dinámica de Suelos. Además de las actividades docentes, el Dr. Suárez trabaja en investigación en las áreas de dinámica estructural, ingeniería de terremotos, métodos computacionales y vibraciones aleatorias. Como resultado de su trabajo, ha publicado más de 40 artículos en revistas técnicas internacionales con arbitraje y en más de 50 congresos técnicos, además de varios reportes técnicos. El Prof. Suárez se graduó como el mejor de su clase en la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, en 1981 con un diploma en Ingeniería Mecánica en un programa de 6 años. Luego de trabajar como instructor por dos años en la misma universidad, recibió su grado de maestría en 1984 y su grado doctoral en 1986, ambos en Mecánica Aplicada del Departamento de Ciencias de la Ingeniería y Mecánica Aplicada (Engineering Science & Mechanics, ESM) en Virginia Polytechnic Institute and State University (Virginia Tech, VPI). Su disertación doctoral consistió en el análisis sísmico de equipos mecánicos y componentes no estructurales de edificios. El Dr. Suárez se unió a la Universidad de Puerto Rico en 1989 como profesor asistente (catedrático auxiliar) en el Departamento de Ingeniería General. Anteriormente trabajó como profesor asistente en el Departamento ESM en Virginia Tech y como profesor de postgrado en el Departamento de Estructuras de la Universidad de Córdoba. El Dr. Suárez se ha distinguido como profesor e investigador. Fue seleccionado entre los 20 mejores profesores en enseñanza del Colegio de Ingeniería en VPI. Recibió el “Ph. D. Research Award” del Capítulo de VPI de Sigma Xi, una “Cunningham Fellowship” de VPI, el “PR-EPSCoR Productivity Award” por dos años consecutivos, y dos “Tau Beta Award” por excelencia en la enseñanza. El Dr. Suárez aparece listado en varias publicaciones de referencia como por ejemplo: “Who's Who in Science & Engineering”, “Who's Who in American Education”, “Who's Who in American Education”, “Who's Who Among America's Teachers”, y “Who's Who Among Hispanic Engineers”. Fue seleccionado como uno de los seis “Profesores Destacados” del Colegio de Ingeniería de la UPR-M en los años 1994, 1996 y 1999. El Prof. Suárez ha supervisado proyectos de investigación para el “US Army Research Office”, la “National Science Foundation”, el “US Corps of Engineers”, NASA, y el “National Center for Earthquake Engineering Research”. En la actualidad dirige dos proyectos de la “Federal Emergency Management Agency”. Además es Editor de la Revista Internacional de Infraestructura Civil, Accidentes y Desastres, miembro de la Junta Editorial de la revista “*Engineering Structures*” y Editor para el Caribe y Centroamérica de la revista “*Mechanics*”. Es revisor de artículos técnicos para trece revistas técnicas internacionales y es miembros de once sociedades científicas y profesionales, entre ellas la ASCE, ASME, AIAA, ASEE, EERI, y Sigma Xi.

Drianfel E. Vázquez Torres es estudiante doctoral en el Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura del Recinto Universitario de Mayagüez de la Universidad de Puerto

Rico (UPRM). Su tesis se titula “Seismic behavior and Retrofitting of Hillside and Hilly Terrain R/C Houses Raised on Gravity Columns” (comportamiento sísmico y rehabilitación de casas de hormigón sobre columnas gravitatorias en laderas y colinas). Completó su bachillerato con honores en ingeniería civil en esa misma institución en el año 1998. Posteriormente, obtuvo una Maestría en Ciencias en la misma institución con su tesis titulada “Detection and location of damage in experimental and analytical R/C beams using modal methodologies” (detección y localización de daño en vigas experimentales y analíticas de hormigón armado usando metodologías modales). Además en la actualidad se desempeña como Instructor en el Departamento de Ingeniería del Recinto de Ponce de la UPR. También ha enseñado como instructor en la Pontificia Universidad Católica de Puerto Rico y en el Departamento de Ingeniería General de la UPRM. Es miembro, en calidad de especialista estructural, del “Urban Search and Rescue Team” de Puerto Rico (Equipo Urbano de Rescate y Búsqueda). Además de la ingeniería estructural, otra de sus especialidades es el desarrollo de interfases gráficas para programas de ingeniería civil.