



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

ANÁLISIS Y DISEÑO DE EDIFICIOS ASISTIDO POR COMPUTADORAS

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, que presentan los bachilleres:

José Antonio Taboada García

Arturo Martín de Izcue Uceda

ASESOR: Alejandro Muñoz Peláez

Lima, Junio de 2009

RESUMEN

El tema de tesis “ANÁLISIS Y DISEÑO DE EDIFICIOS ASISTIDO POR COMPUTADORAS”, se ha desarrollado con la finalidad de servir de material didáctico a todas aquellas personas que pretendan iniciarse en el uso de un programa de análisis de edificios, en este caso el programa ETABS.

La investigación se ha dividido en 6 capítulos, que se describen a continuación:

- En el capítulo 1, se desarrolla la introducción, que explica la necesidad del uso de programas de cómputo para realizar el análisis de una estructura.
- El capítulo 2, presenta una breve referencia histórica, en donde se narra la evolución de los programas de análisis y diseño de estructuras, así como las facilidades actuales de éstos para el pre-procesamiento de los datos, su análisis y el post-procesamiento de los mismos.
- En el capítulo 3, se describen las herramientas que ofrece el programa ETABS para realizar la creación del modelo estructural del edificio (modelaje), el análisis y el diseño de sus elementos en concreto armado.
- En el capítulo 4, se describen las características estructurales de un edificio real de oficinas, las consideraciones tomadas en cuenta para la elaborar el modelo en ETABS y los parámetros sísmicos que se utilizaron en el capítulo 5 para realizar el análisis espectral de respuesta. Se menciona además, la diferente información que puede ser mostrada tanto de manera tabular como gráfica por el programa, después de realizar el análisis.
- En el capítulo 5, se muestra paso a paso la creación en el programa ETABS del modelo estructural del edificio descrito en el capítulo 4, el desarrollo del análisis espectral de respuesta y el diseño en concreto armado de los elementos típicos del edificio, con el propósito de familiarizarse con las herramientas que ofrece.
- En el capítulo 6, se presentan las conclusiones de la investigación.

A continuación del cuerpo de la tesis se encuentra la referencia bibliográfica y los anexos (Anexos A y B). El Anexo A, que presenta un esquema explicativo del contenido del CD y el Anexo B el integro del trabajo, en formato doc y pdf, junto con la carpeta “Archivos del Modelo”, que contiene los archivos requeridos para crear paso a paso el modelo del edificio, desarrollado en el capítulo 5.

AGRADECIMIENTOS

Este espacio ha sido reservado para comentar nuestra gratitud a las personas que nos apoyaron durante el desarrollo de esta investigación.

Nuestro asesor, Alejandro Muñoz, nos orientó siempre hacia adelante y mostró una gran paciencia en las interminables revisiones de cada capítulo. Sus ideas y sugerencias han hecho que este trabajo sea más claro y concreto y que en un futuro pueda servir a nuestros colegas a entender el manejo de un programa cada vez más difundido para el análisis y diseño de edificios.

A nuestros amigos, Henry León y Jenny Hokama, les decimos muchas gracias por todo el apoyo que nos brindarnos de forma desinteresada.

Por último, a nuestras familias, que en todo momento nos manifestaron de manera valiosa todo su respaldo y aliento.

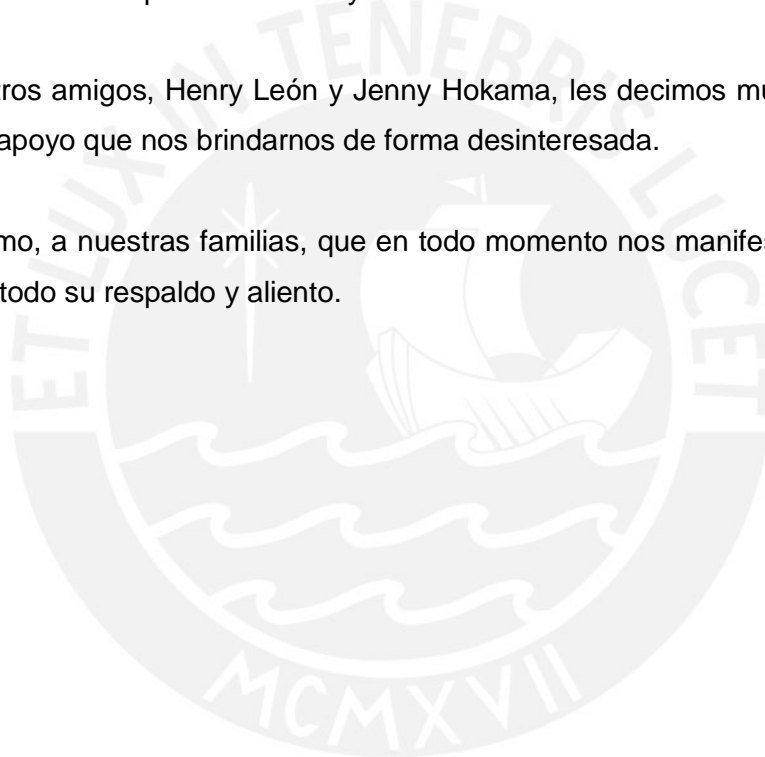


TABLA DE CONTENIDOS

1	Introducción	1
2	Posibilidades Actuales para el Modelaje y Análisis de Edificios	2
2.1	Referencia Histórica	2
2.2	Posibilidades de Pre Procesamiento	3
2.3	Posibilidades de Procesamiento.....	4
2.4	Posibilidades de Post Procesamiento.....	4
3	Análisis y Diseño de Edificios Mediante el Programa ETABS	5
3.1	Modelaje de la Geometría y Propiedades Mecánicas del Edificio	5
3.1.1	Malla.....	5
3.1.2	Pisos	8
3.1.3	Elementos Auxiliares de Referencia	9
3.1.4	Sistema de Coordenadas	11
3.1.5	Materiales.....	15
3.1.6	Objetos de Punto.....	16
3.1.7	Objetos de Línea	16
3.1.8	Objetos de Área.....	22
3.1.9	Piers y Spandrels	27
3.1.10	Diafragma Rígido.....	34
3.1.11	Masas.....	37
3.2	Análisis Estático Elástico.....	39
3.2.1	Casos de Carga Estática	39
3.2.2	Cargas en Objetos.....	40
3.3	Análisis Dinámico Elástico.....	47
3.3.1	Análisis de Modos y Frecuencias.....	49
3.3.2	Análisis Tiempo-Historia	50
3.3.3	Análisis Espectral de Respuesta.....	53
3.4	Efecto de la Secuencia Constructiva	55
3.4.1	Secuencia Constructiva en ETABS.....	57
3.5	Combinaciones de Casos de Carga	58
3.6	Pre Procesamiento.....	59
3.7	Procesamiento	64
3.8	Post Procesamiento	64

3.8.1	Visualización de Resultados en Pantalla	64
3.8.2	Visualización de Resultados en Archivos de Texto	65
3.9	Diseño en Concreto Armado	66
3.9.1	Diseño de Pórticos de Concreto Armado	66
3.9.2	Diseño de Muros de Corte	70
4	Ejemplo Ilustrativo	71
4.1	Análisis Espectral de Respuesta de un Edificio de Concreto Armado.....	71
4.1.1	Objetivo	71
4.1.2	Descripción de la Estructura	71
4.1.3	Modelo Estructural.....	72
4.1.4	Análisis Espectral de Respuesta (Norma Peruana E.030)	73
5	Guía para el Modelaje, Análisis y Diseño de Elementos de Concreto Armado en ETABS.....	76
5.1	Etapa de Pre Procesamiento.....	76
5.1.1	Creación del Modelo Estructural en ETABS	77
5.1.2	Análisis por Cargas de Gravedad	96
5.1.3	Análisis Sísmico Espectral.....	101
5.1.4	Verificación de la Fuerza Cortante Mínima en la Base.....	104
5.1.5	Combinaciones de los Casos de Carga	110
5.2	Resultados del Análisis	112
5.3	Diseño de Elementos en Concreto Armado.....	114
5.3.1	Diseño de Vigas	114
5.3.2	Diseño de Columnas	118
5.3.3	Diseño de Muros (Placas).....	126
6	Conclusiones.....	133
	Referencia Bibliográfica	
	Anexos	

LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1.- Malla rectangular y modelo de edificio de 1 solo piso.	5
Figura 3-2.- Ventana de definición de la malla del modelo, para un sistema cartesiano.	6
Figura 3-3.- Malla cilíndrica y modelo de edificio de 1 solo piso.	7
Figura 3-4.- Ventana de definición de la malla del modelo, para un sistema cilíndrico.	7
Figura 3-5.- Plantas y entresijos correspondientes a cada nivel de piso.	8
Figura 3-6.- Ventana de definición de los pisos del modelo.....	9
Figura 3-7.- Modelo de un edificio de 5 pisos en ETABS, con 2 pisos maestros.	9
Figura 3-8.- Edificio de tres pisos con mezanine.	10
Figura 3-9.- Sistema de Coordenadas Global X-Y-Z.	11
Figura 3-10.- Orientación, ubicación y rotación positiva de los ejes locales en objetos de línea.	12
Figura 3-11.- Orientaciones de los ejes locales en objetos de línea.	12
Figura 3-12.- Rotación positiva de los ejes locales en objetos de área.....	13
Figura 3-13.- Orientación del eje 3 en un muro en el plano XZ dibujado en sentido horario.	13
Figura 3-14.- Ejes locales de muros creados en una vista en planta.	14
Figura 3-15.- Orientaciones de los ejes locales en objetos de área.....	14
Figura 3-16.- Plantillas de secciones comunes para elementos tipo barra y los parámetros geométricos que definen su forma y permiten el cálculo de sus propiedades de sección.....	17
Figura 3-17.- Propiedades geométricas de una sección barra.	18
Figura 3-18.- Tipos de conexiones que se pueden modelar.	19
Figura 3-19.- Extremos rígidos en la unión de una columna y dos vigas de diferente peralte.....	20
Figura 3-20.- Vista en planta de un edificio con vigas de borde conectadas excéntricamente a sus columnas.	21
Figura 3-21.- Puntos cardinales de una sección transversal.	21
Figura 3-22.- Ejes locales en viga, antes y después de definir una excentricidad de punto en su extremo j.	22
Figura 3-23.- Fuerzas internas elementos diferenciales de una membrana, una placa y una cáscara.	23
Figura 3-24.- Malla de elementos finitos en estructuras bidimensionales.	23
Figura 3-25.- Tipos de secciones de los elementos tipo cobertura.	25

Figura 3-26.- Orientación de un elemento tipo cobertura, antes y después de ser rotado 90°	26
Figura 3-27.- Esfuerzos en un muro tridimensional y sus fuerzas internas obtenidas para el muro pier.....	27
Figura 3-28.- Muro de albañilería confinada modelada con un muro pier formado por elementos de línea y de área.....	28
Figura 3-29.- Ejes locales en muros pier bidimensionales y tridimensionales.....	28
Figura 3-30.- Diagramas de fuerza axial en muros pier.....	29
Figura 3-31.- Idealización de porciones de muro como elementos unidimensionales.	29
Figura 3-32.- Ejemplo de etiquetado de muros pier.....	30
Figura 3-33.- Esfuerzos en una viga de acoplamiento y sus fuerzas internas.	31
Figura 3-34.- Ejes locales en muros spandrel.	31
Figura 3-35.- Asociación de muros spandrel a niveles de piso.....	32
Figura 3-36.- Diagrama de momento flector en muros spandrel.....	32
Figura 3-37.- Idealización de vigas de acoplamiento como elementos unidimensionales.	33
Figura 3-38.- Ejemplo de etiquetado de muros spandrel.	33
Figura 3-39.- Deformaciones internas de una losa ante diferentes tipos de carga	34
Figura 3-40.- Deformaciones en los elementos de una estructura de un piso, con diafragma rígido en su propio plano, ante un desplazamiento en la dirección X.....	35
Figura 3-41.- Casos de carga utilizados para determinar el centro de rigidez.	37
Figura 3-42.- Sentido positivo de las fuerzas y momentos en un objeto de punto. 41	41
Figura 3-43.- Asentamiento de apoyo.	41
Figura 3-44.- Ejemplos de cargas distribuidas en objetos de línea.....	43
Figura 3-45.- Objeto de línea inclinado, con carga aplicada sobre una proyección de su longitud.	43
Figura 3-46.- Objeto de área inclinado, con carga distribuida aplicada sobre una proyección de su superficie.....	45
Figura 3-47.- Objeto de área con cambio de temperatura de 50°C en nudos superiores.....	46
Figura 3-48.- Objeto de área con cambio de temperatura uniforme de 25°C.....	46
Figura 3-49.- Objeto de área con cambio de temperatura resultante.....	46
Figura 3-50.- Dirección del viento y fuerzas de presión y succión.	47
Figura 3-51.- Grados de libertad estáticos y dinámicos de un pórtico plano de 2 pisos.....	48
Figura 3-52.- Grados de libertad dinámicos en un edificio de un piso	48

Figura 3-53.- Planta y elevación de un edificio de tres niveles.	50
Figura 3-54.- Modos fundamentales en las direcciones X, Y y alrededor del eje Z	50
Figura 3-55.- Componentes octogonales de un sismo en las direcciones 1, 2 y vertical, rotados un ángulo α respecto al eje global Z.....	52
Figura 3-56.- Edificio de tres pisos sometido a cargas estáticas concentradas, que se multiplican por una función de tiempo.	52
Figura 3-57.- Rotación de los ejes locales un ángulo α alrededor del eje Z.....	54
Figura 3-58.- Diagrama de momentos flectores en los últimos pisos de un pórtico de 20 pisos.	56
Figura 3-59.- Formulario de caso de secuencia constructiva.....	58
Figura 3-60.- Interfase gráfica del usuario del programa ETABS	60
Figura 3-61.- Plantillas estándar de ETABS.	61
Figura 3-62.- Formulario de las opciones de vista del edificio.	63
Figura 3-63.- Formulario de resultados del análisis del modelo.....	65
Figura 3-64.- Diagramas de deformaciones y esfuerzos de una sección de viga rectangular.....	67
Figura 3-65.- Diagramas de deformaciones y esfuerzos de una sección de viga T.	67
Figura 3-66.- Superficie de interacción para fuerza axial y momentos flectores biaxiales.....	68
Figura 3-67.- Superficie de interacción para el cálculo de la razón de capacidad de secciones sobre esforzadas.....	69
Figura 3-68.- Diagramas de deformaciones y esfuerzos de una sección de columna.	69
Figura 4-1.- Perspectiva del edificio Pinar I.	71
Figura 4-2.- Planta típica del edificio	72
Figura 4-3.- Modelo tridimensional del edificio.	73
Figura 4-4.- Espectro de pseudo aceleración.....	74
Figura 4-5.- Diagrama de momentos flectores, para la etapa 10 del caso de carga de secuencia constructiva.....	75
Figura 5-1.- Ventana de definición de las líneas de malla.	78
Figura 5-2.- Ventana de definición de la malla y pisos del modelo.	79
Figura 5-3.- Ventana de definición de los pisos.....	80
Figura 5-4.- Ventana de definición de las propiedades del material (concreto armado).	81
Figura 5-5.- Definición de una columna con sección rectangular.	82
Figura 5-6.- Definición de una viga con sección rectangular.	83
Figura 5-7.- Factores de modificación de propiedades para el análisis.	84

Figura 5-8.- Ventana de definición de una sección de muro.....	85
Figura 5-9.- Ventana de definición de una sección de losa.	86
Figura 5-10.- Ventana de propiedades de objetos, para el dibujo de columnas.....	87
Figura 5-11.- Ventana de propiedades de objetos, para el dibujo de líneas	88
Figura 5-12.- Ventana de propiedades de objeto, para el dibujo de muros.....	89
Figura 5-13.- Ventana de propiedades de objeto, para el dibujo de áreas.....	89
Figura 5-14.- Ventana de creación de etiquetas pier.	91
Figura 5-15.- Ventana de asignación de liberaciones.....	92
Figura 5-16.- Ventana de asignación de diafragmas	93
Figura 5-17.- Ventana de definición de diafragmas.	94
Figura 5-18.- Ventana de asignación de restricciones.....	95
Figura 5-19.- Restricciones asignadas en la base.....	95
Figura 5-20.- Ventana de definición de los casos de carga estática.	96
Figura 5-21.- Ventana de asignación de carga uniformemente distribuida (CM) sobre una superficie.....	97
Figura 5-22.- Ventana de asignación de carga uniformemente distribuida (CV) sobre una superficie.....	97
Figura 5-23.- Ventana de asignación de carga distribuida en secciones pórtico....	98
Figura 5-24.- Ventana de definición de la fuente de masa.....	99
Figura 5-25.- Ventana de las opciones de análisis.	100
Figura 5-26.- Ventana de definición del número de modos dinámicos.	101
Figura 5-27.- Ventana de las funciones de espectro de respuesta definidos.....	102
Figura 5-28.- Ventana de definición de la función del espectro de respuesta.	102
Figura 5-29.- Ventana de los casos de análisis espectral definidos.....	103
Figura 5-30.- Ventana de definición de los casos de análisis espectral, para las direcciones X y Y.	104
Figura 5-31.- Selección de la tabla de las razones de masa participante modal...	105
Figura 5-32.- Ventana de las razones de masa participante modal, con periodos fundamentales indicados.	105
Figura 5-33.- Selección de la tabla de datos de masa de los diafragmas	106
Figura 5-34.- Ventana de datos de masa de los diafragmas.	107
Figura 5-35.- Selección de la tabla de fuerza cortante en los pisos.....	108
Figura 5-36.- Casos de carga seleccionados para visualizar la fuerza cortante. ...	109
Figura 5-37.- Ventana de fuerzas cortantes, con fuerzas cortantes en la base indicadas.	109
Figura 5-38.- Ventana de definición del caso de secuencia constructiva.....	110

Figura 5-39.- Ventana de definición de combinaciones de carga.	111
Figura 5-40.- Combinaciones de carga para secuencia constructiva.....	112
Figura 5-41.- Ventana de selección de los resultados del análisis.....	113
Figura 5-42.- Ventana de selección de combinaciones de carga.....	114
Figura 5-43.- Ventana de preferencias de diseño de pórticos de concreto.	115
Figura 5-44.- Ventana de sobre escrituras, para definir el tipo de los elementos como ordinarios.	115
Figura 5-45.- Visualización en pantalla de ETABS del área requerida para el refuerzo a flexión de la viga V-0.30x0.65.	116
Figura 5-46.- Ventana de información del diseño de vigas de concreto, con áreas requeridas de acero.	116
Figura 5-47.- Esquema de la viga diseñada, entre los ejes C y E.....	117
Figura 5-48.- Selección de la tabla de fuerzas internas de las columnas elegidas.	118
Figura 5-49.- Casos de carga seleccionados para realizar el diseño de la columna.	119
Figura 5-50.- Ventana de preferencias de diseño de secciones pier y spandrel. ...	120
Figura 5-51.- Ventana de definición de secciones pier.	121
Figura 5-52.- Ventana de definición de datos de una sección pier.	121
Figura 5-53.- Refuerzo inicial colocado en la columna, dibujado en el Section Designer.	122
Figura 5-54.- Superficie de interacción de la sección inicial de columna dibujada.	123
Figura 5-55.- Refuerzo modificado de la sección de la columna, dibujado en el Section Designer.	124
Figura 5-56.- Diagrama de interacción de la columna C-0.90X0.45, para el eje local 2.	124
Figura 5-57.- Diagrama de interacción de la columna C-0.90X0.45, para el eje local 3.	125
Figura 5-58.- Esquema de la columna C-0.90X0.45 diseñada en el primer piso. .	125
Figura 5-59.- Selección de la tabla de fuerzas internas de las secciones pier elegidas.	126
Figura 5-60.- Casos de carga seleccionados para realizar el diseño del muro.	126
Figura 5-61.- Ventana de preferencias de diseño de secciones pier y spandrel. ...	128
Figura 5-62.- Ventana de definición de secciones pier.	129
Figura 5-63.- Ventana de definición de datos de una sección pier.	129
Figura 5-64.- Refuerzo inicial colocado en el muro, dibujado en el Section Designer.	130

Figura 5-65.- Superficie de interacción para la sección del muro dibujado.130

Figura 5-66.- Diagrama de interacción del muro PL1PISO1, para el eje local 2. ...131

Figura 5-67.- Diagrama de interacción del muro PL1PISO1, para el eje local 3. ...131

Figura 5-68.- Esquema del muro PL1PISO1 diseñado en el primer piso.....132



LISTA DE TABLAS

Tabla 3-1.- Propiedades de los tipos de sección cobertura.....	26
Tabla 3-2.- Comandos de dibujo de elementos tipo barra	62
Tabla 3-3.- Comandos de dibujo de elementos tipo área.....	62
Tabla 5-1.- Elementos de los formularios de ETABS.	76
Tabla 5-2.- Factor de amplificación sísmica (C).....	106
Tabla 5-3.- Peso total de la edificación	107
Tabla 5-4.- Cortante basal, para el caso estático.....	108
Tabla 5-5.- Factores de escala del caso dinámico.....	110
Tabla 5-6.- Fuerzas internas de la columna, provenientes del programa ETABS.	119
Tabla 5-7.- Comparación entre el metrado manual y de ETABS, para la carga axial proveniente de los casos de carga muerta y viva.....	119
Tabla 5-8.- Fuerzas internas de los casos de carga.	120
Tabla 5-9.- Combinaciones de los casos de carga, para el diseño de columnas.	120
Tabla 5-10.- Fuerzas internas del muro, provenientes del programa ETABS.....	127
Tabla 5-11.- Comparación entre el metrado manual y de ETABS, para la carga axial proveniente de los casos de carga muerta y viva.....	127
Tabla 5-12.- Fuerzas internas de los casos de carga.	127
Tabla 5-13.- Combinaciones de los casos de carga, para el diseño del muro.	128

1 INTRODUCCIÓN

Cualquier proyecto de estructuras, antes de ser analizado y diseñado debe ser previamente modelado.

En la etapa de creación del modelo (modelaje), se representa la estructura real por medio de una construcción simplificada de los elementos que la conforman. Es muy importante que se entienda el comportamiento de éstos a fin de evitar que se utilicen más elementos de los que se necesitan mediante refinamientos innecesarios que retrasan el análisis.

En general, los programas de análisis de estructuras permiten realizar el modelaje de una estructura, el procesamiento numérico de los datos y el análisis de los resultados por medio de las etapas de pre procesamiento, procesamiento y post procesamiento, respectivamente.

Actualmente, el modelaje de una estructura por medio de estos programas no es complicado, pues en su etapa de pre procesamiento se cuenta con diversas herramientas que facilitan el dibujo y la visualización del modelo.

Posteriormente a la fase de modelaje, se deben determinar y analizar los esfuerzos y deformaciones en la estructura. Para ello se utilizan técnicas de análisis matricial de estructuras (AME) y análisis por el método de elementos finitos (MEF), que involucran una gran cantidad de cálculos numéricos, de modo que es imprescindible utilizar algún programa de cómputo.

En vista de la importancia que tienen actualmente estos programas en el análisis de estructuras es que se ha realizado el presente trabajo de investigación, dentro del cual se han desarrollado específicamente las capacidades del programa ETABS, por medio de la explicación de las facilidades que ofrece en sus etapas de pre procesamiento, procesamiento y post procesamiento.

Este programa, está orientado al análisis y diseño de edificios y para ello presenta un entorno especializado.

Con el fin de ilustrar las capacidades del programa ETABS, se presenta adicionalmente, a manera de ejemplo, el modelaje, análisis y diseño en concreto armado de los elementos típicos de un edificio real de oficinas.

2 POSIBILIDADES ACTUALES PARA EL MODELAJE Y ANÁLISIS DE EDIFICIOS

2.1 Referencia Histórica

Antes del desarrollo de los programas de análisis estructural, los ingenieros analizaban los edificios como un conjunto de pórticos planos empleando métodos aproximados como el del portal, voladizo o muto, utilizando para las operaciones numéricas reglas de cálculo o calculadoras de mano.

En 1970, el Dr. Edward L. Wilson, lanzó en EE.UU el primer programa completo de análisis estructural¹, llamado SAP, el cual representaba para su época el estado del arte de los procedimientos numéricos para la ingeniería estructural. En esa época, el programa era utilizado en computadoras de gran tamaño, por lo que estuvo restringido a las organizaciones gubernamentales y a las grandes compañías.

Los programas elaborados a inicios de los 70s tenían una serie de limitaciones, como: una capacidad muy reducida de análisis, un complicado proceso de ingreso de datos (que se realizaba a través de tarjetas perforadas) y una trabajosa lectura de los resultados, los cuales se obtenían en papel impreso.

Estas desventajas iniciales, que demandaban un gran cuidado en el ingreso de los datos y en la lectura de los resultados, se fueron reduciendo con los años debido al aumento en la memoria y velocidad de las nuevas computadoras, la implementación de nuevos métodos numéricos, la invención de nuevos algoritmos, lenguajes de programación y sistemas operativos con entornos gráficos más avanzados.

A finales de los años 70, aparecieron las computadoras personales, lo cual hizo que los programas de análisis también se volvieran populares en las pequeñas compañías y entre algunos usuarios individuales.

En el año 1980, se desarrolló la primera aplicación para análisis estructural en 3D para computadoras personales.

Actualmente, los programas de análisis y diseño de estructuras permiten realizar rápidamente la creación del modelo a través del dibujo de un conjunto de objetos que poseen propiedades (dimensión, material, sección transversal, etc.) y que

¹ Revisar la información de la página web perteneciente a la empresa CSI Computers & Structures inc. (<http://www.csiberkeley.com/USGS/backgroundunder.pdf>).

representan a los elementos de la estructura. Éstos cuentan también con herramientas de edición, como cortar, copiar y pegar; opciones para obtener la geometría global de la estructura a través de plantillas o mediante la importación de archivos de dibujo de CAD. Asimismo, cuenta con opciones de visualización del modelo (3d, planta, elevación), opciones de visualización de resultados (en pantalla o archivos de texto), los cuales pueden ser exportados a diversas aplicaciones de Windows (Excel, Word, Access).

En estos programas, el modelaje, el procesamiento numérico de los datos y la visualización de los resultados, se realiza en entornos de trabajo perfectamente definidos, que corresponden a las etapas de pre procesamiento, procesamiento y post procesamiento, respectivamente.

2.2 Posibilidades de Pre Procesamiento

Los programas actuales permiten desarrollar la geometría del modelo mediante un conjunto de objetos, como líneas o mallas de elementos finitos bi o tri dimensionales, a los cuales se les asigna sus propiedades mecánicas (módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson, etc.), propiedades geométricas (sección transversal, momentos de inercia, espesores en el caso de losas, etc.), el material y las sollicitaciones de carga (fuerzas, desplazamientos, cambios de temperatura, etc.).

Mediante las opciones de selección, los elementos pueden ser elegidos de acuerdo a la planta a la que pertenecen, a su sección transversal, al tipo de objeto (punto, línea, área), etc.

De otro lado, la geometría del modelo, que puede ser modificada a través de las opciones edición, como las de copiado, pegado y eliminación, se puede visualizar a través de vistas tridimensionales, vistas en planta o vistas en elevación.

Es posible también, poder visualizar las asignaciones realizadas a los elementos, tales como, cargas, nombre, material, ejes locales, etc. y personalizar las opciones de visualización relacionadas al color del fondo de pantalla y de los elementos, al número de ventanas de visualización, al sonido de las animaciones, etc.

2.3 Posibilidades de Procesamiento

Las posibilidades de procesamiento, están relacionadas con el tipo de análisis que se puede ejecutar. Algunos de estos tipos corresponden al análisis estático elástico, análisis dinámico lineal (modal, tiempo-historia y espectral), análisis de acciones incrementales (Pushover), análisis de respuesta térmica, análisis transitorio lineal y no lineal y al análisis de líneas de influencia.

Es posible también, considerar durante el análisis, el efecto de la secuencia constructiva en la determinación de los resultados.

2.4 Posibilidades de Post Procesamiento

Los resultados del análisis pueden ser mostrados en pantalla a través de gráficos, tablas y funciones, o de manera impresa, a través de archivos de texto.

De manera gráfica, es posible mostrar las reacciones en la base, las fuerzas internas en los objetos de línea y la representación de la distribución de fuerzas y esfuerzos en los objetos de área y volumen.

De manera tabular, es posible mostrar los desplazamientos, rotaciones y reacciones en los nudos, las fuerzas internas en los elementos, los modos del edificio, etc.

También se pueden generar funciones que corresponden a curvas espectrales de respuesta, trazas tiempo-historia y curvas estáticas Pushover.

Con la información relacionada a las restricciones, grados de libertad, masa de los elementos, períodos y frecuencias modales, factores de participación modal, porcentaje de masa de participación modal, etc., se puede generar un archivo de texto que podrá ser visualizado de manera impresa.

Es posible además, obtener animaciones de la forma deformada del modelo (para un caso de carga) y los modos de vibración y exportar los resultados del análisis a hojas de cálculo, procesadores de texto o bases de datos.

3 ANÁLISIS Y DISEÑO DE EDIFICIOS MEDIANTE EL PROGRAMA ETABS

3.1 Modelaje de la Geometría y Propiedades Mecánicas del Edificio

3.1.1 Malla

Una malla es una cuadrícula espacial, que está conformada por un conjunto de líneas. Su finalidad es facilitar la ubicación de los diferentes elementos que componen el edificio.

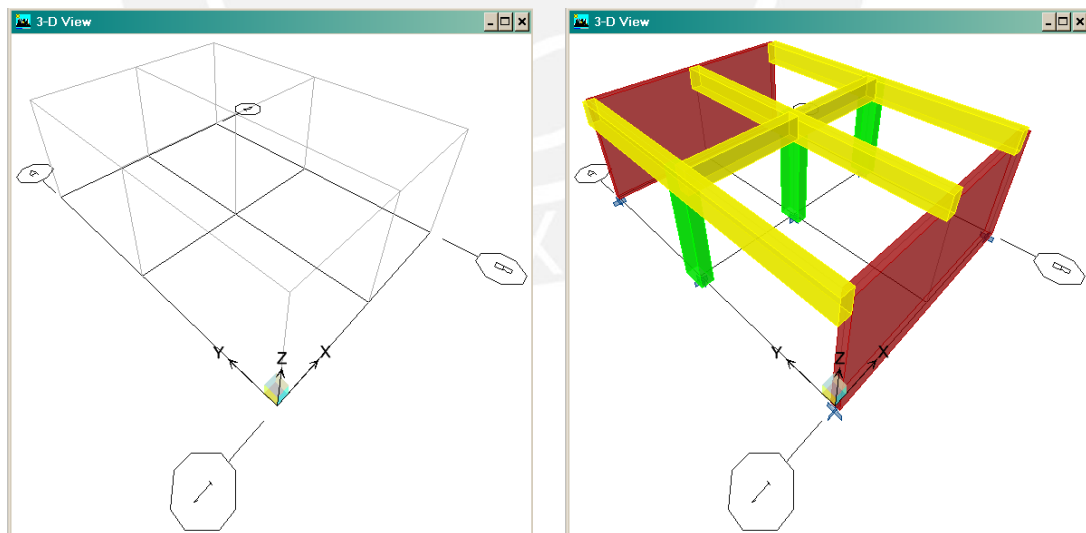
Las líneas de malla pueden pertenecer a un Sistema Cartesiano (Rectangular) o a un Sistema Cilíndrico.

En la pantalla del programa, es posible visualizar ambos tipos de sistemas al mismo tiempo o uno en especial, utilizando las opciones de visualización.

Sistema Cartesiano

En este sistema, las líneas de malla son paralelas a los ejes globales X y Y.

En la figura 3-1.-a se muestra la malla rectangular utilizada para realizar el modelo del edificio de un piso que se observa en la figura 3-1.-b.



a.- Malla rectangular utilizada para la creación del modelo del edificio.

b.- Modelo en ETABS de un edificio de 1 piso.

Figura 3-1.- Malla rectangular y modelo de edificio de 1 solo piso.

Para la creación de la malla, dentro de la ventana mostrada en la figura 3-2, se debe definir para cada línea de malla, su ubicación (de manera relativa a la siguiente línea de malla o de manera absoluta, con respecto al origen), tipo

(primaria o secundaria), visibilidad, color y la ubicación de la burbuja que encierra su nombre.

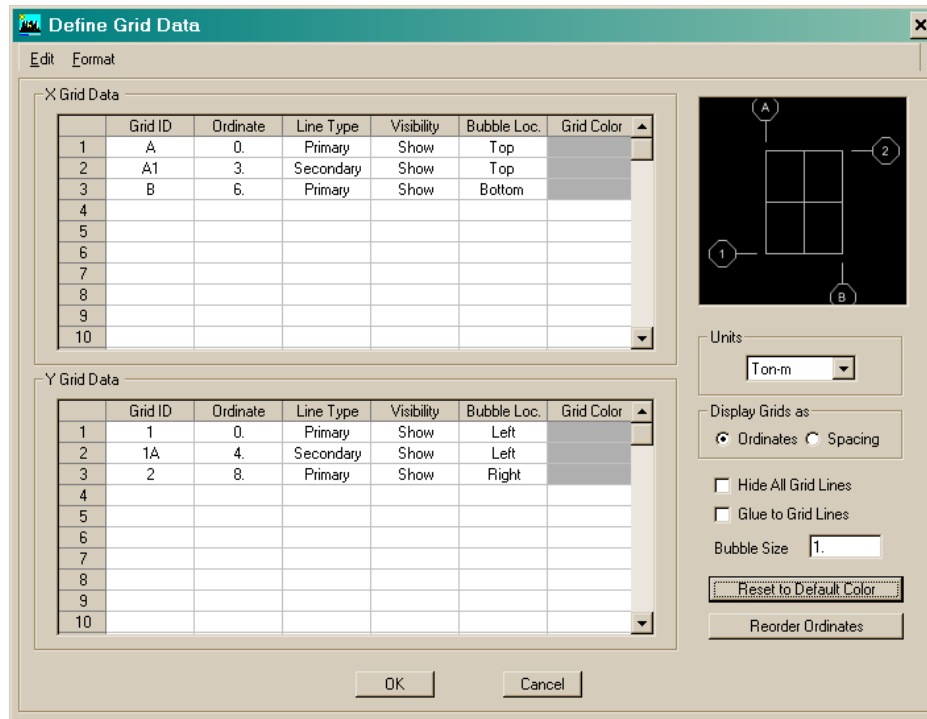


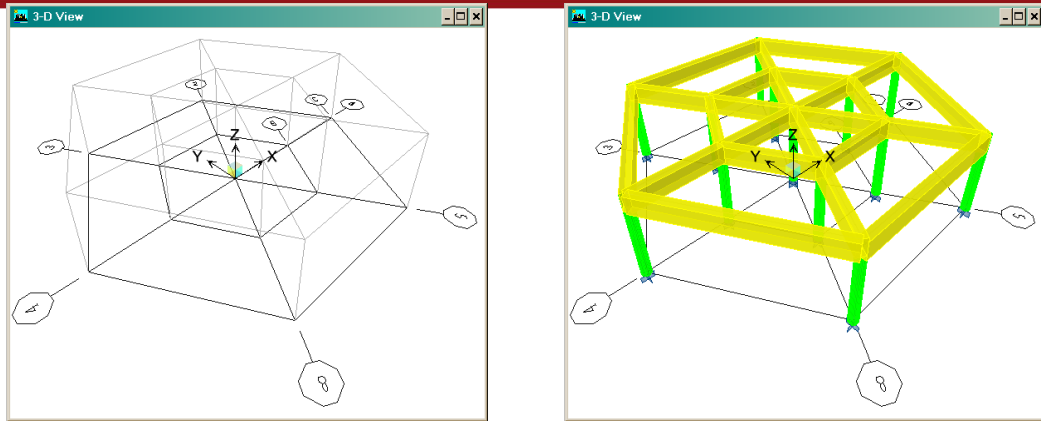
Figura 3-2.- Ventana de definición de la malla del modelo, para un sistema cartesiano.

Las líneas de malla primarias usualmente son utilizadas para ubicar elementos estructurales, mientras que las líneas de malla secundarias son opcionales y pueden servir para ubicar elementos estructurales secundarios, elementos no estructurales como tabiques, para delimitar aberturas en la losa de piso, ubicar cargas en el edificio, etc. Se puede apreciar en la figura 3-2 que el programa no muestra las burbujas con el nombre de las líneas de malla secundarias.

Sistema Cilíndrico

En este sistema, las líneas de malla se encuentran espaciadas por un ángulo de giro y un espaciamiento radial especificado.

En la figura 3-3a se muestra la malla cilíndrica utilizada para realizar el modelo del edificio de un piso que se observa en la figura 3-3b.



a.- Malla cilíndrica utilizada para la creación del modelo del edificio.

b.- Modelo en ETABS de un edificio de 1 piso.

Figura 3-3.- Malla cilíndrica y modelo de edificio de 1 solo piso.

Para la creación de la malla, dentro de la ventana mostrada en la figura 3-4, se debe definir para las líneas curvas, que siguen la dirección radial (R), su ubicación (de manera relativa a la siguiente línea de malla o de manera absoluta, con respecto al origen) y para las líneas rectas que nacen en el origen, un ángulo de giro (T) (de manera relativa a la siguiente línea de malla o de manera absoluta, con respecto al origen). Para ambos tipos de líneas (curvas y rectas), se debe definir adicionalmente su tipo (primaria o secundaria), visibilidad, color y la ubicación de la burbuja que encierra su nombre.

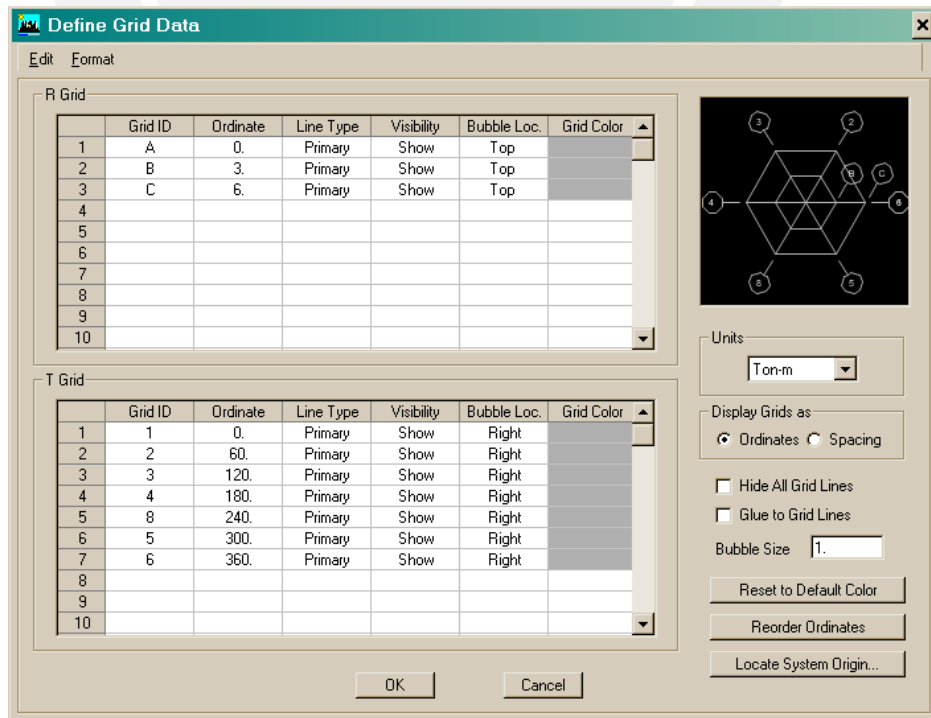


Figura 3-4.- Ventana de definición de la malla del modelo, para un sistema cilíndrico.

3.1.2 Pisos

En ETABS, cada piso está conformado por una planta del edificio (techo) y por el entrepiso comprendido entre esta planta y la planta inferior. Los objetos que pertenecen a cada piso son los objetos de la planta y los objetos del entrepiso.

Los pisos superiores al plano de la “Base”, el cual es un plano predefinido en del programa y que no es posible modificar, pueden ser definidos al especificar su nombre y la altura de su entrepiso.

En la figura 3-5 se ilustra con un edificio de 3 pisos, cuáles son los elementos asociados a cada piso (planta + entrepiso).

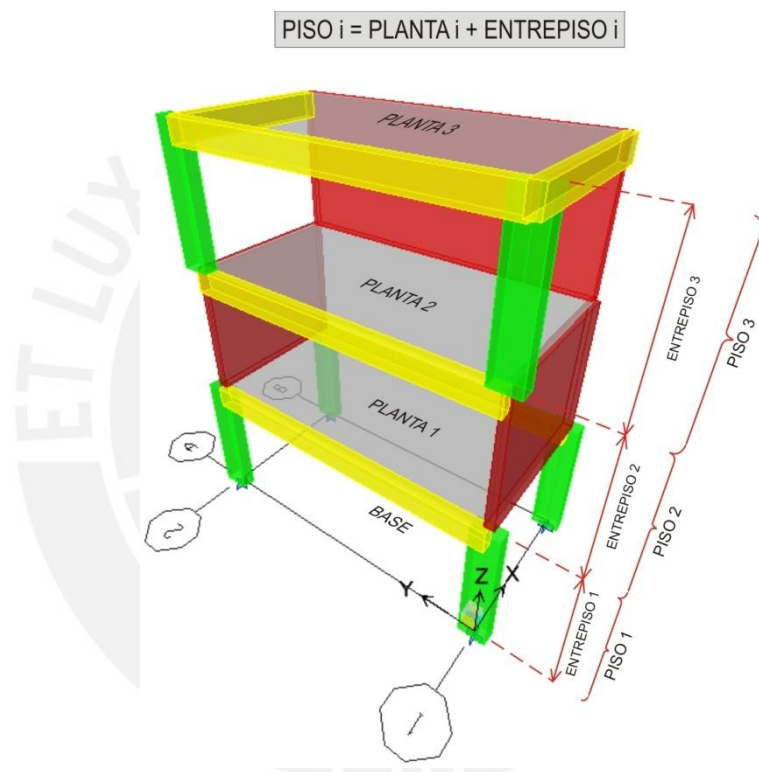


Figura 3-5.- Plantas y entrepisos correspondientes a cada nivel de piso.

El programa permite definir pisos maestros y pisos similares a estos, para que las modificaciones que se realicen en cualquier piso relacionado se reproduzcan automáticamente en todo el grupo de pisos similares. De esta manera, se pueden agregar o eliminar elementos y cargas en un conjunto de pisos al mismo tiempo.

La figura 3-7 muestra un edificio de cinco pisos. Los dos primeros son iguales entre sí, pero diferentes a los tres últimos, que también son iguales entre sí.

La creación del modelo, mostrado en la figura 3-6, se simplifica al definir al piso 1 como maestro del piso 2 y al piso 3 como maestro de los pisos 4 y 5.

Líneas de Referencia

Las líneas de referencia son guías verticales que se pueden crear al indicar su punto de intersección en cualquier vista en planta o al especificar sus coordenadas relativas a los ejes globales X y Y.

Estas líneas son útiles cuando los extremos de los elementos que se necesitan dibujar en una vista en elevación o planta no coinciden con los puntos de la malla.

Planos de Referencia

Los planos de referencia son planos guía horizontales insertados a una altura determinada del plano de la base.

Estos planos son útiles porque proporcionan un nuevo nivel de piso, que permite por ejemplo, en una vista en elevación o planta, ubicar a los elementos de un mezanine no considerado.

Las líneas y los planos de referencia pueden utilizarse en conjunto para delimitar aberturas o perforaciones en objetos verticales de área (p.e. en un muro de concreto).

La figura 3-8 muestra un edificio de tres pisos similares, con un mezanine en el primer entrepiso. El mezanine quedó definido por un plano de referencia intermedio en el primer entrepiso y dos líneas de referencias adicionales.

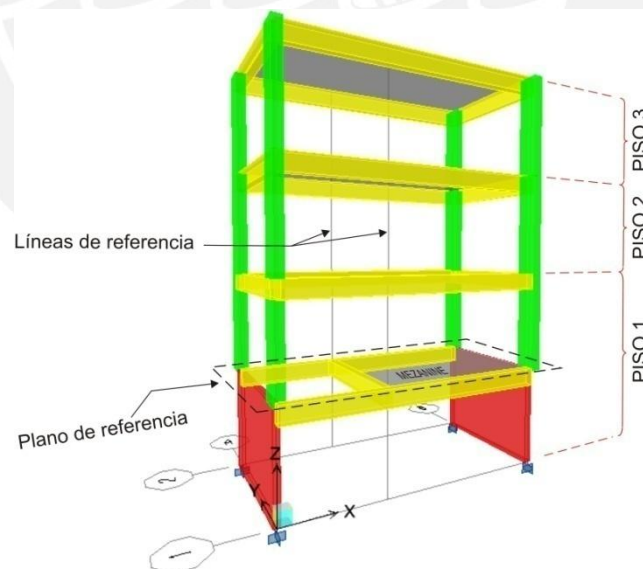


Figura 3-8.- Edificio de tres pisos con mezanine.

3.1.4 Sistema de Coordenadas

Sistema de Coordenadas Global

Para modelar un edificio se dispone por defecto de un sistema cartesiano y dextrógiro (que sigue la regla de la mano derecha) de coordenadas globales X-Y-Z, donde el eje Z es vertical y apunta hacia arriba, como se muestra en la figura 3-9.

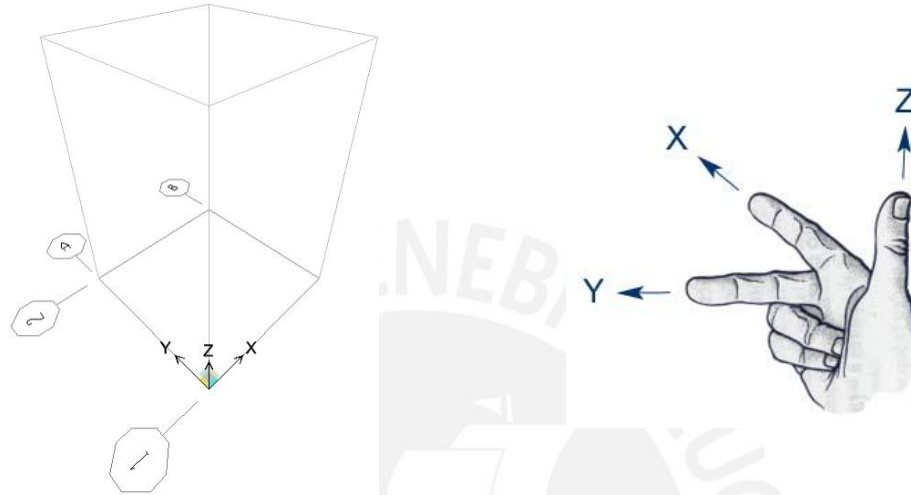


Figura 3-9.- Sistema de Coordenadas Global X-Y-Z.

Ejes Locales

En el programa ETABS los objetos de línea y de área se orientan dentro del modelo mediante un sistema dextrógiro de ejes locales 1-2-3. No existe esta opción para los objetos de punto.

El programa ETABS muestra a los ejes locales 1, 2 y 3 con los colores rojo, blanco y celeste, respectivamente.

- **Ejes locales en objetos de línea**

En los objetos de línea, el eje local 1 se extiende a lo largo del elemento y su sentido positivo se dirige desde el extremo inicial "i" hacia el extremo final "j". Los ejes locales 2 y 3 se encuentran instalados en el centroide de la sección transversal. Los ejes 2 y 3 pueden ser rotados alrededor del eje 1, tal como se muestra en la figura 3-10.

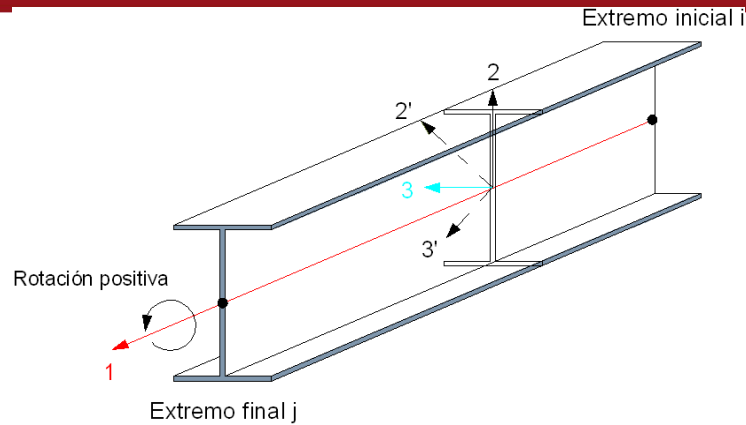


Figura 3-10.- Orientación, ubicación y rotación positiva de los ejes locales en objetos de línea.

Por defecto, el programa orienta los ejes locales de los objetos de línea como se indica a continuación:

En columnas, los ejes 1 y 2 siguen las direcciones +Z y +X respectivamente.

En vigas, el eje 2 siempre sigue la dirección +Z. El eje 1 tiene una proyección positiva en la dirección +X, independientemente del sentido en que se dibuje la viga. Sólo cuando la viga es paralela al eje Y, el eje 1 sigue el sentido de dibujo de la viga.

En elementos inclinados, los ejes 1 y 2 son ascendentes y forman un plano vertical.

En la figura 3-11 se muestran los ejes locales para las columnas, vigas y elementos inclinados, y el eje local 2 en color negro para que sea visualizado en el papel.

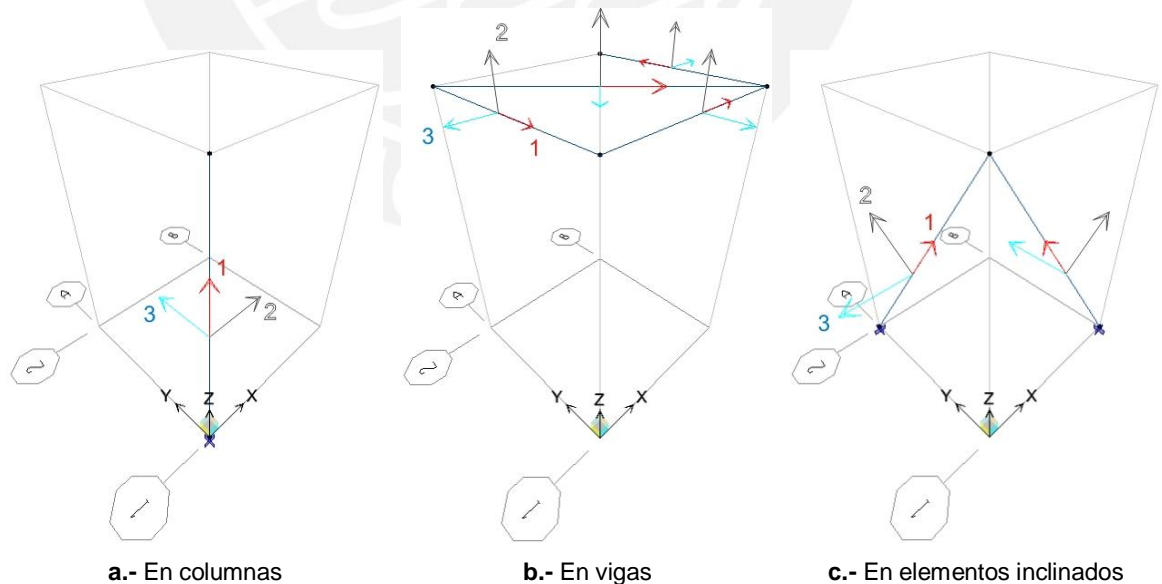


Figura 3-11.- Orientaciones de los ejes locales en objetos de línea.

- **Ejes locales en objetos de área**

El eje local 3 es perpendicular al objeto de área. Los ejes 1 y 2, contenidos en el plano del objeto de área, pueden ser rotados un determinado ángulo alrededor del eje 3, como se muestra en la figura 3-12.

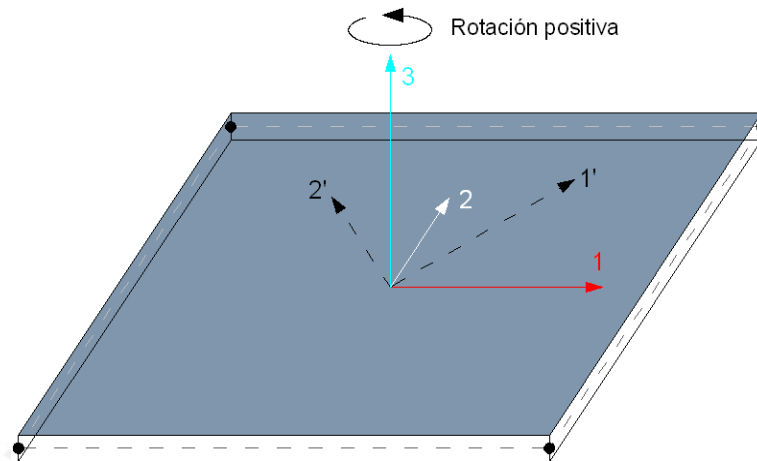


Figura 3-12.- Rotación positiva de los ejes locales en objetos de área.

En muros, losas y rampas, el eje local 3 se orienta dependiendo del sentido en que se dibujó el elemento. Por ejemplo, para un muro en el plano XZ, el eje 3 sigue la dirección +Y si el muro se dibujó en sentido horario (figura 3-13) y sigue la dirección -Y si el dibujo se hizo en sentido antihorario.

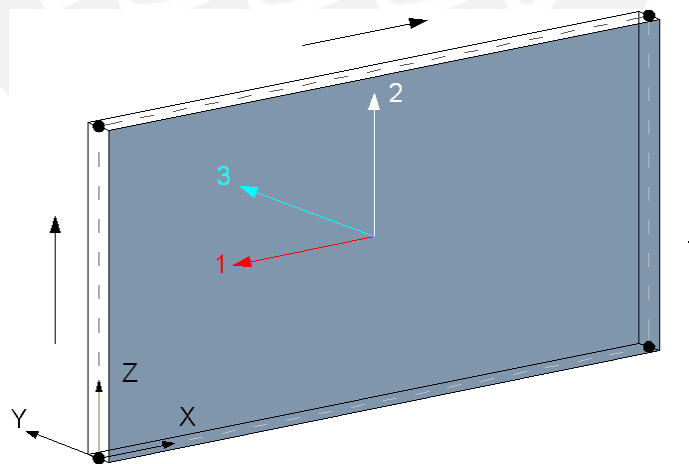


Figura 3-13.- Orientación del eje 3 en un muro en el plano XZ dibujado en sentido horario.

Por defecto, el programa orienta los ejes locales de los objetos de área como se indica a continuación:

En muros, el eje 2 siempre sigue la dirección +Z. Cuando un muro se crea mediante una vista en planta, el eje 1 sigue el sentido en que se dibujó el muro, como se muestra en la figura 3-14.

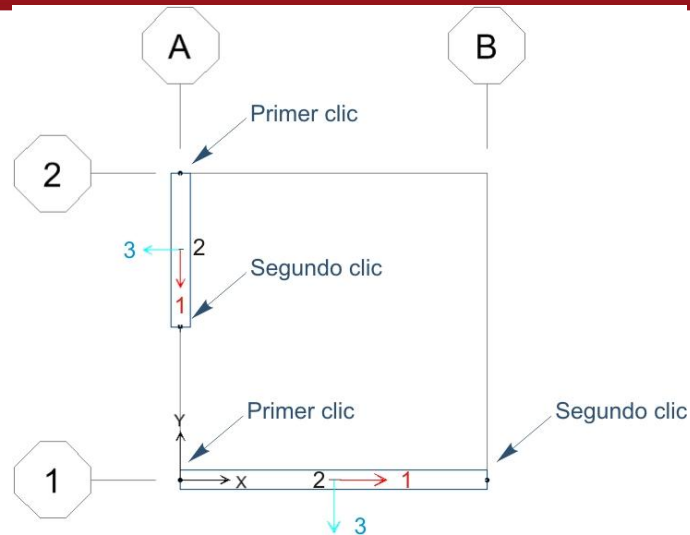


Figura 3-14.- Ejes locales de muros creados en una vista en planta.

En losas, el eje 2 siempre sigue la dirección +Y.

En rampas, el eje 2 siempre es ascendente y forma con el eje 3 un plano vertical.

La figura 3-15 muestra ejemplos de ejes locales en un muro, una losa y una rampa, para el sentido de creación indicado con la flecha circular.

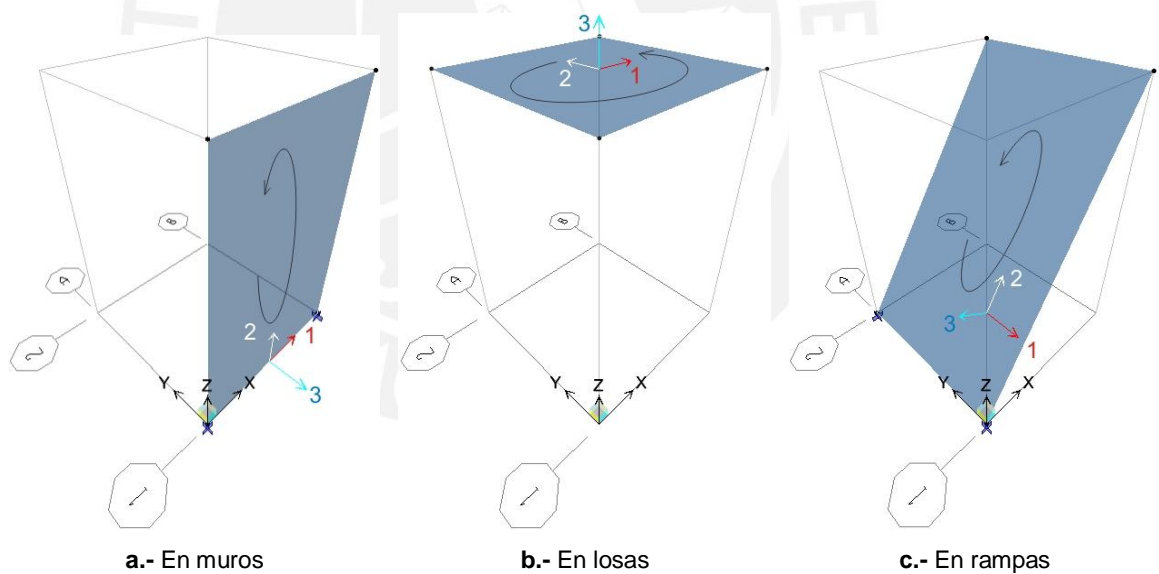


Figura 3-15.- Orientaciones de los ejes locales en objetos de área.

Cabe mencionar que los objetos de área con sección cobertura y las losas orientadas en una dirección no presentan ejes locales. Solamente muestran la dirección de distribución de carga del elemento y su ángulo de giro, en el caso de haber sido rotados.

3.1.5 Materiales

El programa permite crear cualquier tipo de materiales al definir sus propiedades mecánicas para el análisis y para el diseño.

Por defecto ETABS cuenta con dos materiales: concreto armado y acero, con propiedades predefinidas, que pueden ser modificadas.

Propiedades para el Análisis

Las propiedades que se pueden definir para el análisis son: la masa y el peso por unidad de volumen, el módulo de elasticidad (E), el coeficiente de Poisson (μ) y el coeficiente de expansión térmica (α), que se encuentra en unidades de $^{\circ}\text{C}^{-1}$. El módulo de corte (G) se calcula automáticamente, como $E / [2 * (1 + \mu)]$.

Si el material es modelado como anisotrópico, se deberán especificar las propiedades para el análisis en cada dirección, incluyendo el módulo de corte.

Propiedades para el Diseño

Las propiedades para el diseño varían según el tipo de diseño elegido. Se puede elegir entre diseño en concreto o diseño en acero.

- **Diseño en Concreto**

Para realizar el diseño en concreto se deben definir las siguientes propiedades: la resistencia a la compresión del concreto (f'_c), el esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo longitudinal (f_y) y el esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo transversal (f_{ys}).

El esfuerzo f_y es utilizado en los cálculos del refuerzo por flexión y carga axial, mientras que el esfuerzo f_{ys} en el cálculos del refuerzo por corte. Por lo general, se utiliza el mismo tipo de acero para ambas sollicitaciones ($f_y = f_{ys}$).

Adicionalmente, si el concreto que se va a utilizar es fabricado con agregados ligeros, se especifica el factor de reducción de la resistencia al corte, el cual comúnmente varía entre 0.75 y 0.85. Para todos los cálculos de corte el término $\sqrt{f'_c}$ es multiplicado por este factor.

- **Diseño en Acero**

Para el diseño en acero se deben definir las siguientes propiedades: el esfuerzo de fluencia (F_y), la resistencia última (F_u) y el costo por unidad de peso.

El costo por unidad de peso es una variable usada para el diseño por el post procesador de *Diseño de Vigas Compuestas*, el cual determina el tamaño óptimo de

las vigas basándose en el costo, conectores y curvatura, en vez de solamente en el área de su sección transversal (peso).

3.1.6 Objetos de Punto

Los puntos son objetos mediante los cuales se conectan elementos, se apoya la estructura o se aplican cargas concentradas que pueden ser transferidas a las barras del modelo.

ETABS crea automáticamente estos objetos en los extremos de un elemento tipo barra o en las esquinas de un elemento tipo área.

Para modelar los apoyos de un edificio, es posible restringir uno o más de los 6 grados de libertad que posee cada uno (3 traslacionales y 3 rotacionales).

El programa permite seleccionar para cada nudo, uno de los cuatro casos predeterminados de restricciones (empotramiento, apoyo simple, apoyo de rodillo y sin restricciones) que son los más comunes en el modelaje de edificios.

Después de realizado el análisis, es posible obtener los desplazamientos en los nudos de la estructura y las reacciones en los nudos de apoyo (nudos restringidos).

3.1.7 Objetos de Línea

Son líneas rectas, que se conectan en sus extremos a los nudos de la estructura y a las que se les puede o no asignar una sección transversal de cierto tipo.

Los objetos de línea que poseen propiedades de sección consideran efectos de deformación por fuerza axial, deformación por fuerza cortante, torsión y flexión y se clasifican según su orientación en el modelo en objetos de línea tipo: columna (orientación vertical), viga (orientación horizontal) y diagonal.

Los objetos de línea que no poseen propiedades de sección son los de tipo nulo, como la sección “ninguno” y los de tipo “línea de dimensión”. Los objetos de tipo nulo, con sección “ninguno” sirven para asignar cargas en su longitud y los objetos de tipo “línea de dimensión” para acotar el modelo en una vista en planta.

Con un objeto de línea se puede representar también el comportamiento de rótulas plásticas.

Propiedades de Sección en Elementos Tipo Barra

Están conformadas por las propiedades del material y las propiedades geométricas de la sección, que se asignan a los objetos de línea.

Las propiedades del material se desarrollaron en la sección 3.1.5.

Las propiedades geométricas corresponden a los momentos de inercia, la constante torsional, las áreas de corte y al área transversal de la sección.

El programa cuenta de manera predefinida con las secciones del AISC y permite cargar diferentes bases de datos de otras secciones, mediante archivos con extensión *.PRO. Las secciones que se pueden cargar están organizadas en los siguientes archivos:

- AISC3.PRO: Secciones del Instituto Americano del Acero y Construcción (V3).
- BSSHAPES.PRO: Secciones de acero de las Normas Británicas.
- CISC.PRO: Secciones del Instituto Canadiense del Acero y Construcción.
- EURO.PRO: Secciones europeas de acero.
- JOISTS.PRO: Secciones del Instituto de Viguetas de Acero.
- SECTIONS.PRO: Secciones del Instituto Americano del Acero y Construcción (V2).
- SECTIONS8.PRO: Secciones del Instituto Americano del Acero y Construcción (V3).

Es posible crear secciones transversales comunes, seleccionando una plantilla y proporcionando los parámetros geométricos necesarios. Para estas secciones ETABS calcula automáticamente las propiedades geométricas. La figura 3-16 muestra las plantillas disponibles y los parámetros geométricos que deben ser definidos en cada una de ellas a fin de crear las secciones del edificio.

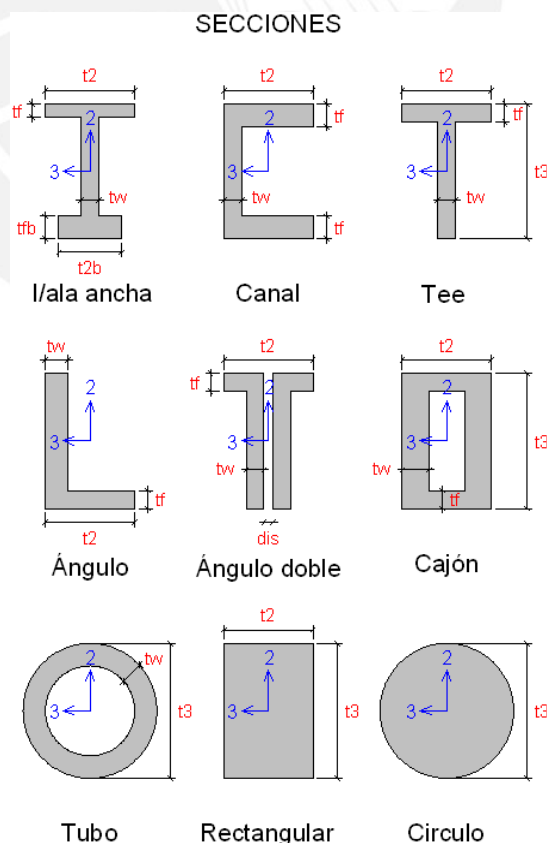


Figura 3-16.- Plantillas de secciones comunes para elementos tipo barra y los parámetros geométricos que definen su forma y permiten el cálculo de sus propiedades de sección.

A manera de ejemplo, en la figura 3-17 se muestra una sección W, creada a partir de una plantilla y sus propiedades geométricas, calculadas por el programa.

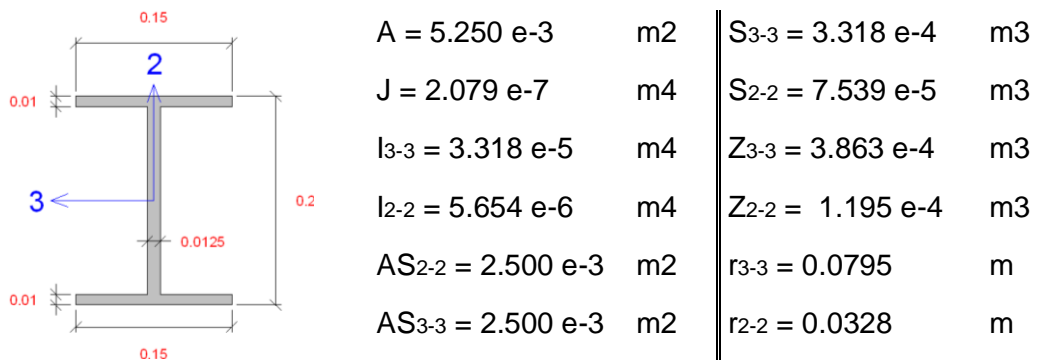


Figura 3-17.- Propiedades geométricas de una sección barra.

Si las plantillas disponibles no son adecuadas para definir una sección, se podrá utilizar la sección denominada “General”. Ésta, permite crear una sección especificando directamente sus propiedades geométricas.

También se pueden dibujar secciones de cualquier tipo y adicionarlas a las secciones predefinidas mediante el sub programa “Diseñador de Secciones”. En este caso, el sub programa calcula automáticamente las propiedades geométricas.

Un tipo particular de sección que se puede crear es el tipo “Vigueta de Acero”, que consiste en una vigueta compuesta por una brida superior, una brida inferior y diagonales.

El programa permite crear barras de sección variable dividiendo al elemento en varios tramos y asignando a cada uno de ellos una sección inicial y final. Para el cálculo de las propiedades de sección a lo largo de un tramo, ETABS interpola las propiedades de las secciones iniciales y finales del tramo de manera lineal, parabólica o cúbica, según se necesite.

Existe también la posibilidad de que el programa seleccione la sección más conveniente para un elemento después de realizar el análisis. Para ello, hay que indicar que la sección pertenece al conjunto llamado “Lista de Autoselección”, el cual está conformado por una lista de secciones disponibles especificadas por el usuario.

• **Modificadores de Propiedades de Sección**

Se utilizan para escalar mediante un factor algunas de las propiedades geométricas, como el área de la sección transversal, las áreas de corte, la constante torsional, los momentos de inercia, la masa y el peso del material del elemento.

Conexiones en los Extremos

Los objetos de línea se conectan por defecto rígidamente en sus extremos, pero es posible desconectarlos total o parcialmente de la carga axial, el corte, la torsión y los momentos flectores.

La figura 3-18 muestra una viga con los tipos de conexiones que se pueden modelar.

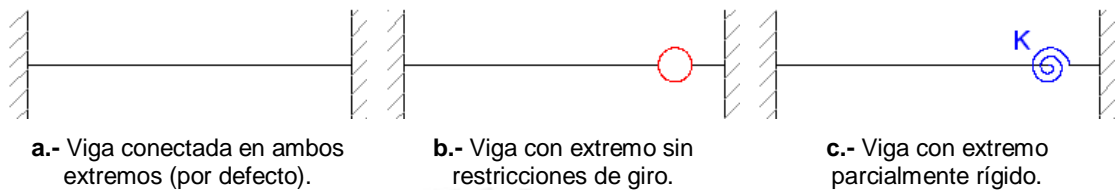


Figura 3-18.- Tipos de conexiones que se pueden modelar.

Las liberaciones se especifican siempre en los ejes locales del objeto de línea y ocurren en las caras de los apoyos, es decir, en las caras interiores de los extremos rígidos.

Cualquier restricción en la conexión de los elementos tipo barra se puede liberar siempre que el elemento permanezca estable, de modo que toda la carga aplicada al elemento sea transferida al resto de la estructura. Por ello, no están permitidos los siguientes conjuntos de liberaciones:

- Liberar la carga axial en ambos extremos.
- Liberar la fuerza de corte 2 (principal) en ambos extremos.
- Liberar la fuerza de corte 3 (secundaria) en ambos extremos.
- Liberar la torsión en ambos extremos.
- Liberar el momento 2-2 (secundario) en ambos extremos y la fuerza de corte 3 (secundaria) en cualquier extremo.
- Liberar el momento 3-3 (principal) en ambos extremos y la fuerza de corte 2 (principal) en cualquier extremo.

Extremos Rígidos en Barras

Los extremos rígidos toman en cuenta el traslape de los elementos tipo barra no colineales en la zona de su unión, como ocurre por ejemplo en la unión de una viga y una columna.

En estructuras con elementos de grandes dimensiones la longitud del traslape puede ser una fracción significativa de la longitud total del elemento conectado, por ejemplo en la unión de una viga y una placa.

Para cada elemento tipo barra se pueden definir dos longitudes de extremo rígido (End-I y End-J) y un factor de zona rígida. Las longitudes End-I y End-J permiten

desplazar la cara del elemento, inicialmente ubicada en el nudo de intercepción (i ó j), a la frontera de la zona de traslape de los elementos.

El factor de zona rígida indica la fracción de la longitud de los extremos rígidos que se comportará rígidamente a deformaciones por flexión y corte. Este factor puede variar entre 0 y 1.

Por defecto ETABS asume un valor de 0, lo cual significa que los extremos rígidos tienen la misma rigidez y propiedades de sección barra que el resto del elemento. Las deformaciones axiales y torsionales no son afectadas en la zona rígida debido a que el programa asume que la longitud total de elemento es flexible para esas deformaciones.

El programa, también puede calcular automáticamente las longitudes de los extremos rígidos de un nudo, como las longitudes de traslape de los elementos conectados. Aún en este caso, se debe especificar un valor apropiado del factor de zona, pues ETABS considera por defecto 0.

En la figura 3-19b se muestran los extremos rígidos que el programa calcula en la unión de una columna con dos vigas de diferente peralte.

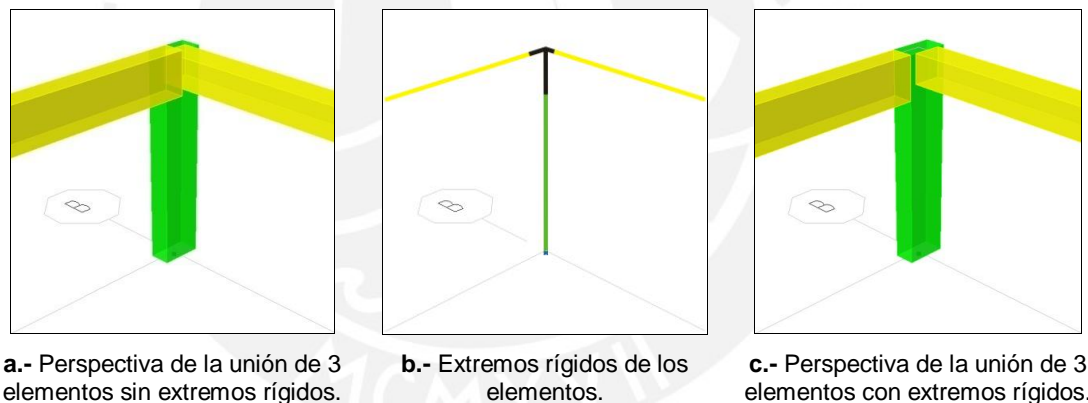


Figura 3-19.- Extremos rígidos en la unión de una columna y dos vigas de diferente peralte.

Extremos Excéntricos en Barras

El programa asume por defecto, que la unión entre una columna y las vigas que llegan a ella ocurre en el nudo en el cual coinciden el centroide de la sección transversal del extremo superior de la columna y los puntos centrales superiores de las secciones transversales de los extremos de las vigas que llegan a la columna. Sin embargo, en estructuras reales este no siempre es el caso.

Un ejemplo de ello se muestra en la figura 3-20, que representa la vista en planta de un edificio conformado por un sistema de columnas, vigas y losas, en donde las vigas de borde se encuentran desplazadas excéntricamente con respecto al eje de las columnas.

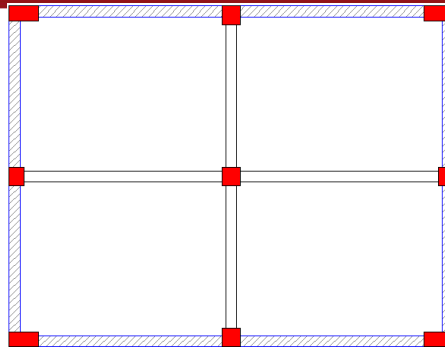


Figura 3-20.- Vista en planta de un edificio con vigas de borde conectadas excéntricamente a sus columnas.

Para poder modelar estos casos, ETABS provee a cada sección transversal de 11 puntos cardinales, tal como se muestra en la figura 3-21 para una sección Canal.

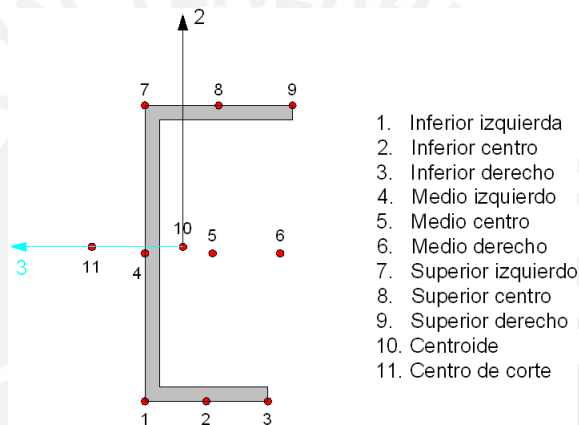


Figura 3-21.- Puntos cardinales de una sección transversal.

Para secciones simétricas respecto a los dos ejes, los puntos cardinales 5, 10 y 11 coinciden.

Los puntos cardinales sirven para especificar el punto de pase del eje 1 del elemento, que por defecto en las columnas es el centroide y en las vigas el punto centro superior.

Es posible además conectar excéntricamente una viga a una columna al definir un desplazamiento en los extremos de la viga en las direcciones de los ejes locales o globales a partir de un punto cardinal elegido. Las conexiones excéntricas son completamente rígidas.

Una vez especificada una conexión excéntrica para un elemento, los ejes locales de éste se basarán en su posición final. Similarmente, la ubicación de las cargas asignadas al elemento se basarán en su longitud y ubicación final, después de aplicadas las conexiones excéntricas.

La figura 3-22 muestra cómo varía la dirección final de los ejes locales después de

asignar una excentricidad a uno de los extremos de una viga en planta. Inicialmente la viga se extiende del extremo i al extremo j , el eje local 2 apunta hacia arriba. Después de definir la excentricidad en el extremo j , la viga se extiende del extremo i al extremo j' y el eje local 1' apunta de i a j' .

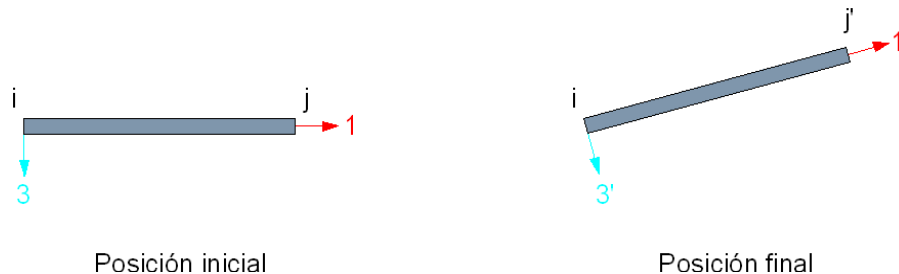


Figura 3-22.- Ejes locales en viga, antes y después de definir una excentricidad de punto en su extremo j .

3.1.8 Objetos de Área

Las estructuras bidimensionales pueden verse afectadas por cargas en su propio plano, cargas perpendiculares a él o una combinación de ambos casos.

Según la dirección de las cargas y las condiciones de apoyo de los elementos, los objetos de área pueden comportarse como membranas, placas o cáscaras.

En las membranas, las cargas están aplicadas en el plano del elemento y producen esfuerzos internos normales y cortantes en el plano. Por lo tanto, para que una membrana resista las cargas aplicadas debe tener rigidez en su plano.

En las placas, las cargas están aplicadas fuera del plano del elemento y producen esfuerzos cortantes fuera de su plano, torsiones y flexiones. Por lo tanto, para que una placa resista las cargas aplicadas debe tener rigidez a la flexión y a torsión.

En las cáscaras, las cargas aplicadas producen que el elemento se comporte como la suma de una membrana y una placa. Por lo tanto, para que una cáscara resista las cargas aplicadas debe tener rigidez en su plano y fuera de él.

La figura 3-23 muestra los diferentes comportamientos que presenta un objeto de área en función de las cargas que soporta, así como las fuerzas internas de un elemento diferencial para cada caso.

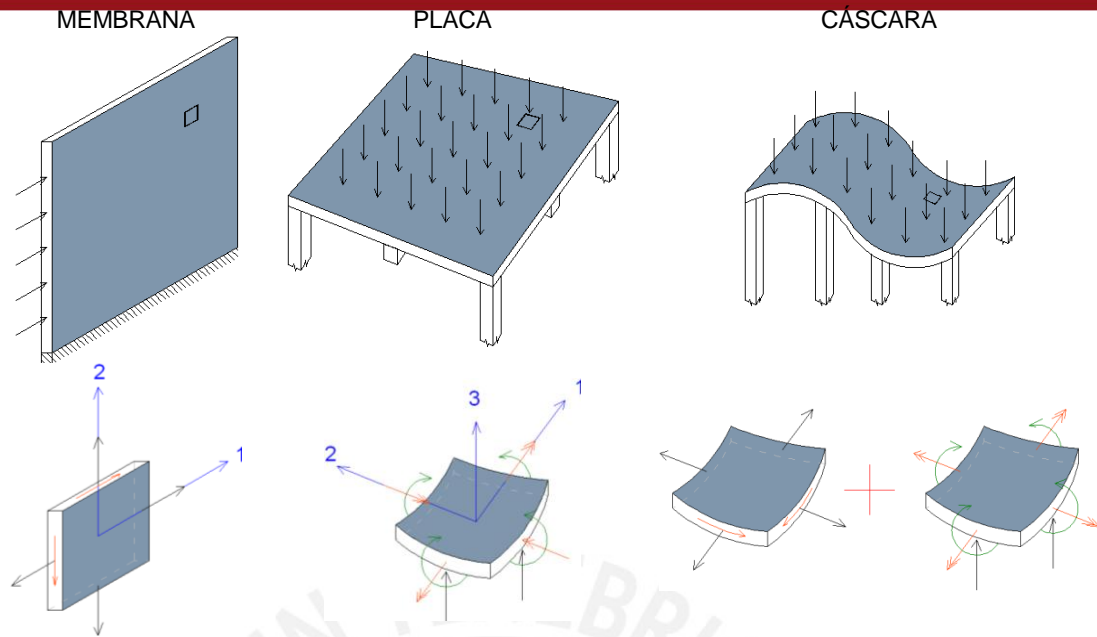


Figura 3-23.- Fuerzas internas elementos diferenciales de una membrana, una placa y una cáscara.

En nuestro medio, a los elementos que se comportan como membranas se les llama placas y a los que se comportan como placas se les llama losas. Los elementos con un comportamiento de cáscara si son conocidos con el mismo nombre.

Un método aproximado para analizar el comportamiento de estas estructuras (a fin de obtener los esfuerzos y deformaciones en ellas) consiste en dividir la estructura total, por medio de una malla, en una serie de regiones denominadas elementos finitos, que se encuentran unidos entre si en puntos llamados nodos. De esta manera se aproxima la solución de un problema complejo mediante un modelo que consiste en la solución de una serie de problemas más sencillos que se encuentran relacionados entre si.

La figura 3-24 muestra una posible división de las estructuras bidimensionales en elementos finitos rectangulares por medio de una malla.

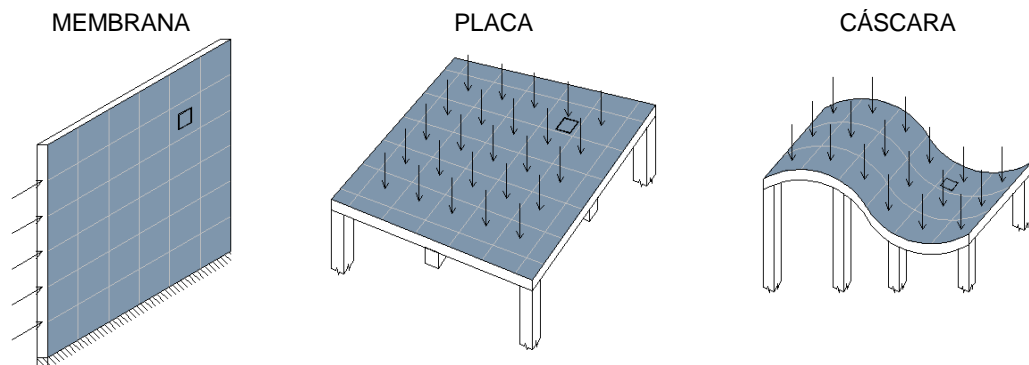


Figura 3-24.- Malla de elementos finitos en estructuras bidimensionales.

La experiencia en el uso del método de elementos finitos (MEF) recomienda realizar un refinamiento de la malla de elementos finitos en zonas de alta concentración de esfuerzos, cambios bruscos en la geometría o en zonas cercanas a la aplicación de condiciones de frontera o carga. Por otra parte, señala que no es necesario hacerlo cuando se quiere obtener desplazamientos.

En el programa ETABS, un objeto de área se puede utilizar, para modelar los muros y losas del edificio por medio de una malla de elementos finitos o como un instrumento de repartición de cargas. A los objetos de área se les puede o no asignar una sección transversal de cierto tipo.

Los objetos de área que poseen propiedades de sección se utilizan para realizar un análisis por elementos finitos y se clasifican según su orientación en el modelo en objetos de área tipo muro (orientación vertical), tipo piso (orientación horizontal) y tipo rampa (orientación diagonal).

Los objetos de área que no poseen propiedades de sección son los de tipo nulo como la sección “ninguno” y las “aberturas”. Un objeto con sección “ninguno” puede ser dibujado en cualquier vista y sirve para transmitir las cargas asignadas a él a los elementos de la estructura por medio de una técnica de metrado de cargas como la del sobre o la del área tributaria, mientras que una “abertura” sólo se puede dibujar en una vista en planta y sirve para crear aberturas dentro de un objeto de área con propiedades de sección. Las “aberturas” se utilizan por ejemplo para modelar la caja del ascensor o los ductos de las montantes de agua y de desagüe.

Propiedades de sección en Objetos de Área

Están conformadas por las propiedades del material y las propiedades geométricas de la sección, que se asignan a los objetos de área.

Las propiedades del material se desarrollaron en la sección 3.1.5.

El programa permite asignar a un objeto de área secciones de muro, losa y cobertura. Los objetos de área con sección muro y losa pueden ser unidireccionales o bidireccionales. Sin embargo, los objetos de área con sección cobertura son siempre unidireccionales y sus apoyos se orientan por defecto en la dirección del eje local 1.

En nuestro medio es común utilizar coberturas para la construcción de entresijos ligeros, conformados por una placa colaborante (que sirve también como encofrado y de acero negativo) y el espesor de concreto de la losa, en edificios, mezanines, puentes peatonales y vehiculares.

Las propiedades geométricas que se definen en el caso de las secciones de muro y losa son las mismas pero difieren para el caso de la sección cobertura.

- **Secciones Muro y Losa**

Los parámetros que se especifican para definir una sección muro y una sección losa son los mismos y corresponden al material, a los espesores de membrana y flexión y al tipo de comportamiento del elemento (membrana, placa o cáscara).

El espesor de membrana se utiliza para calcular la rigidez de la membrana en secciones de cáscara completa y en secciones de membrana pura, así como el volumen del elemento para el cálculo de la masa y el peso propio.

El espesor de flexión es utilizado para calcular la rigidez de curvatura y corte transversal en secciones de cáscara completa y secciones de placa pura.

ETABS permite que un objeto de área con un comportamiento de membrana sea utilizado como un instrumento para repartir cargas. Esto es útil para distribuir automáticamente las cargas de una losa, en una dirección o en dos direcciones, a sus vigas y muros utilizando el criterio del área tributaria. Si la carga se distribuye en una dirección, el programa considera por defecto que la dirección de apoyo de la losa es la del eje local 1, sin embargo éste puede ser posteriormente rotado.

También permite modelar zapatas gruesas y losas de cimentación, para el caso de un elemento con un comportamiento de placa o de cáscara, porque puede considerar adicionalmente el comportamiento de placa gruesa y tomar en cuenta en el análisis las deformaciones por corte transversal fuera del plano.

- **Sección Cobertura**

Existen tres tipos de sección cobertura, que son la sección cobertura rellena, la sección cobertura sin rellenar y la sección losa maciza. Estas secciones se muestran en la figura 3-25.

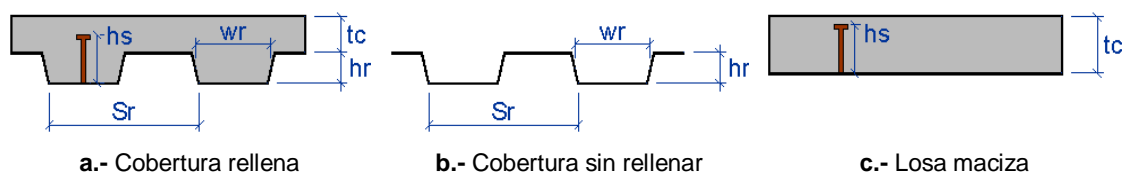


Figura 3-25.- Tipos de secciones de los elementos tipo cobertura.

Para crear las secciones de cobertura rellena y losa maciza es necesario especificar sus parámetros geométricos, las características de los conectores de corte y el peso por unidad de área. Para el caso de la cobertura sin rellenar se debe especificar sus parámetros geométricos, el espesor de corte de la cobertura y el peso por unidad de área.

En la tabla 3-1 se detallan los parámetros a definir en la creación de los tipos de sección cobertura.

Tabla 3-1.- Propiedades de los tipos de sección cobertura.

Tipo de sección		Cobertura rellena	Cobertura sin relleno	Losa maciza
Propiedades geométricas	Profundidad de la losa (tc)	✓		✓
	Profundidad de la cobertura (hr)	✓	✓	
	Ancho de los canales (wr)	✓	✓	
	Espaciamiento promedio entre canales (Sr)	✓	✓	
Propiedades de los conectores de corte	Díametro	✓		✓
	Altura (hs)	✓		✓
	Resistencia última a tensión (Fu)	✓		✓
Propiedades de los materiales	Material de la losa			✓
	Material de la cobertura	✓	✓	
	Espesor de corte de la cobertura		✓	
Peso unitario de la cobertura metálica		✓	✓	

Los elementos con sección cobertura no muestran sus ejes locales, sino la dirección en la cual se apoyan, que por defecto es la dirección del eje local 1, sin embargo esta dirección puede ser posteriormente rotada un ángulo cualquiera, tal como se muestran en la figura 3-26.

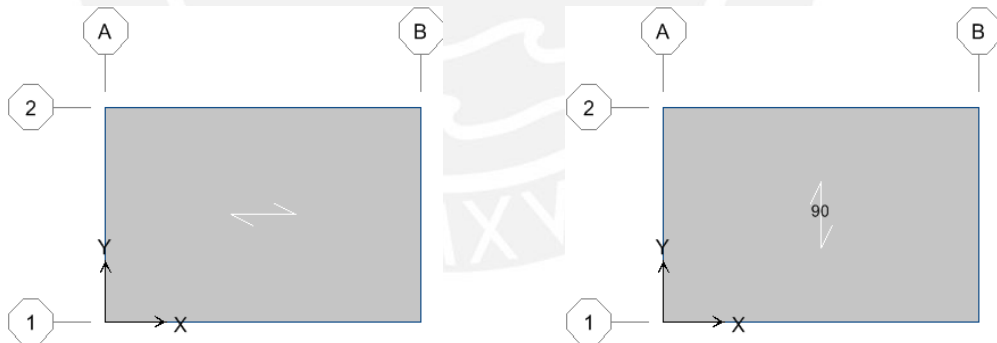


Figura 3-26.- Orientación de un elemento tipo cobertura, antes y después de ser rotado 90°

• **Modificadores de Propiedades de Sección**

Se utilizan para modificar tanto a la rigidez del elemento, al especificar los factores (f11, f22, f12, m11, m22, m12, v13, v23), así como a su masa y peso. Los factores f11, f22, f12 afectan a la rigidez de membrana, los factores m11, m22, m12 afectan a la rigidez a la flexión y los factores v13, v23 a la rigidez al corte.

Por último, estos factores de modificación sólo afectan las propiedades de análisis, pero no a las propiedades de diseño.

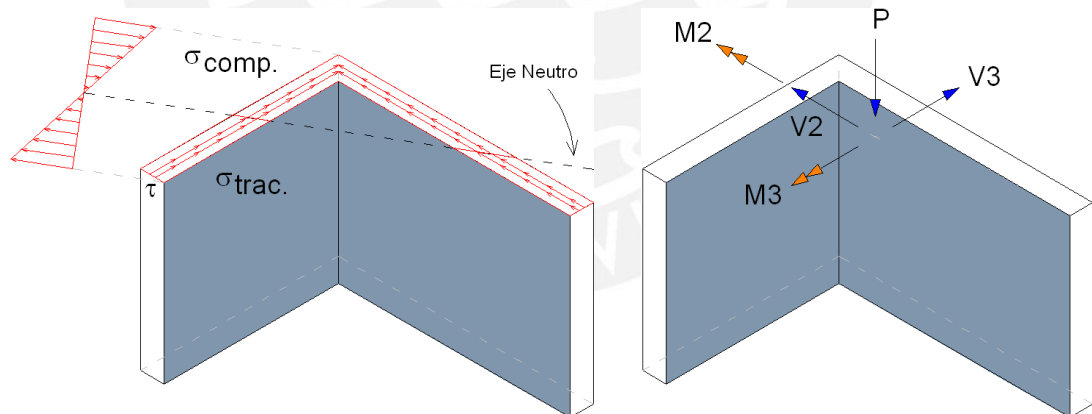
3.1.9 Piers y Spandrels

Por efecto de las cargas de gravedad y sismo en el interior de los muros aparecen esfuerzos normales y de corte. Sin embargo, para efectos de diseño es necesario integrar estos esfuerzos para determinar las fuerzas internas en las secciones del elemento (fuerza axial, fuerzas cortantes, momento torsor y momentos flectores). El programa ETABS permite tratar a las porciones de muros (bidimensionales) como si se tratase de elementos tipo barra (unidimensionales), integrando los esfuerzos para reportar las fuerzas internas en cada sección transversal. Esto se realiza identificando a dichas porciones de muro como elementos de muro pier o spandrel, como se detalla a continuación.

Muros Pier

Un muro pier permite obtener las fuerzas internas en secciones horizontales de muros formados por objetos de área verticales (tipo muro), o por una combinación de objetos de área y de línea verticales.

Por ejemplo, en la figura 3-27a se muestran los esfuerzos normales y de corte presentes en la sección horizontal superior de un muro en forma de L. Las Fuerzas internas en la sección horizontal superior, que se muestran en la figura 3-27b, son obtenidas al integrar los esfuerzos en dicha sección.



a.- Distribución de esfuerzos en la sección horizontal superior de un muro en forma de L.

b.- Fuerzas Internas en la sección horizontal superior de un muro pier tridimensional.

Figura 3-27.- Esfuerzos en un muro tridimensional y sus fuerzas internas obtenidas para el muro pier.

También se pueden usar elementos de línea junto con los de área dentro de un muro pier para modelar, por ejemplo, muros de albañilería confinada, como el mostrado en la figura 3-28.

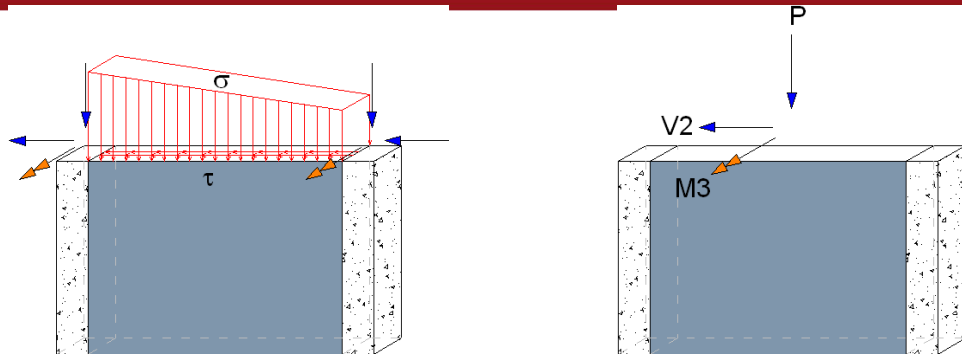


Figura 3-28.- Muro de albañilería confinada modelado con un muro pier formado por elementos de línea y de área.

Los muros pier pueden ser bidimensionales, si están formados por objetos contenidos en un solo plano vertical, o tridimensionales, si los objetos que los forman están contenidos en dos o más planos verticales.

Cuando se trata de muros pier tridimensionales, el plano del muro pier es paralelo a la porción de muro de mayor longitud, pero si las porciones de muro son de la misma longitud, será paralelo a la que se dibujó primero.

- **Ejes locales de muros pier**

Todos los muros pier poseen un sistema dextrógiro de ejes locales 1-2-3, en donde el eje local 1 sigue la dirección +Z. El eje local 2 se encuentra en el plano del muro pier y tiene una proyección positiva en la dirección +X. Cuando el muro es paralelo al eje Y, el eje 2 sigue la dirección +Y. Los ejes locales para muros pier bidimensionales y tridimensionales se muestran en la figura 3-29.

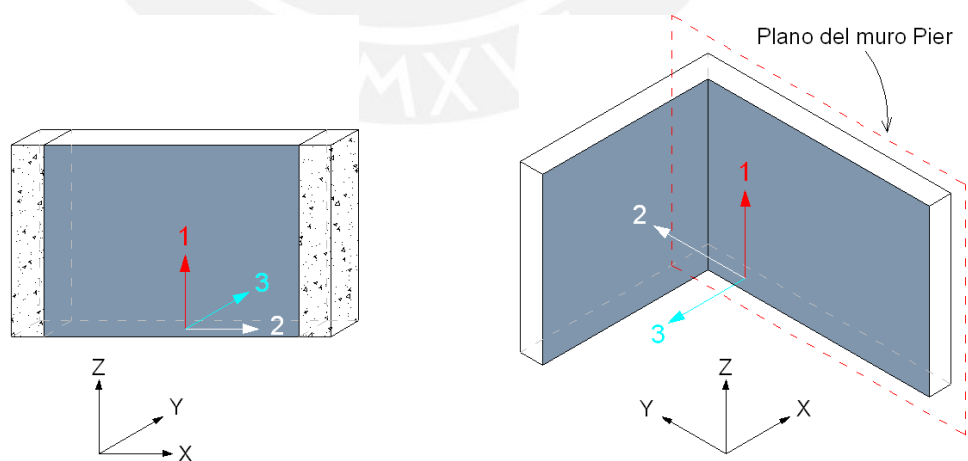


Figura 3-29.- Ejes locales en muros pier bidimensionales y tridimensionales.

- **Etiquetado de muros pier**

En la figura 3-30 se muestran los diagramas de Fuerza Axial en cada una de las porciones de un muro plano perforado de tres niveles.

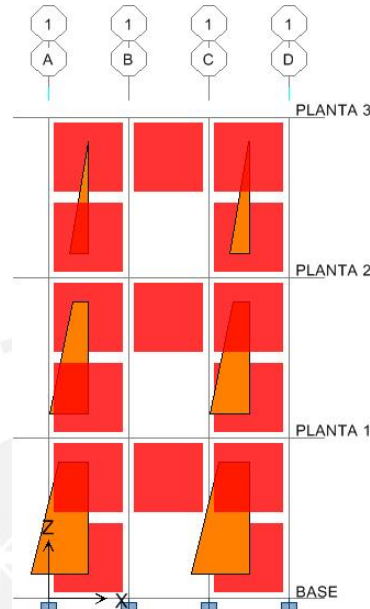


Figura 3-30.- Diagramas de fuerza axial en muros pier.

Para obtener los diagramas de fuerzas internas en secciones horizontales de las porciones verticales del muro, éstas se deben idealizar como elementos tipo barra, como se observa en la figura 3-31.

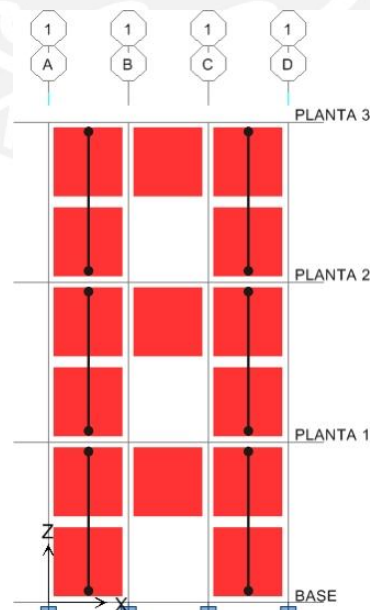


Figura 3-31.- Idealización de porciones de muro como elementos unidimensionales.

Para lograr esta idealización, se asignan etiquetas de muro pier a las porciones en que se necesiten los diagramas de fuerzas internas, como se muestra en la figura 3-32.



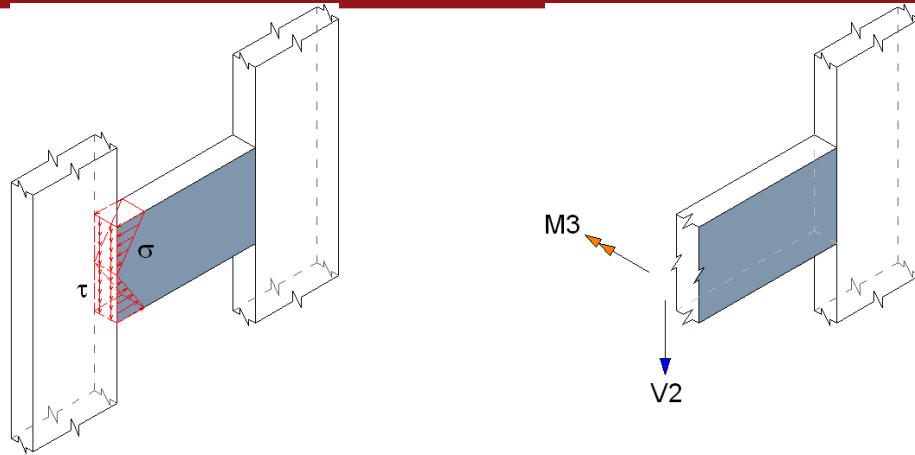
Figura 3-32.- Ejemplo de etiquetado de muros pier.

Con esta asignación se logra identificar a las porciones verticales izquierda y derecha del muro como P1 y P2 respectivamente. El programa maneja cada nivel de P1 y P2 como un solo elemento individual dividido por niveles.

Muros Spandrel

Un muro spandrel puede estar formado por objetos de área verticales (elementos de cáscara tipo muro) o por una combinación de objetos de área y de línea horizontales.

Por ejemplo, en la figura 3-33a se muestran los esfuerzos normales (σ) y de corte (τ) presentes en la sección vertical extrema de una viga de acoplamiento modelada con elementos de área. Las Fuerzas internas en la sección vertical extrema (V2, M3), que se muestran en la figura 3-33b, se obtienen al integrar los esfuerzos en la sección.



a.- Distribución de esfuerzos en la sección vertical de una viga de acoplamiento.

b.- Fuerzas Internas en la sección vertical de una viga de acoplamiento.

Figura 3-33.- Esfuerzos en una viga de acoplamiento y sus fuerzas internas.

• Ejes locales de muros spandrel

Los muros spandrel poseen un sistema dextrógiro de ejes locales 1-2-3, en donde el eje local 1 es horizontal, dentro del plano del muro spandrel, y tiene una proyección positiva en la dirección +X, pero si el muro spandrel es perpendicular al eje X, seguirá la dirección +Y. El eje 2 siempre sigue la dirección +Z. La figura 3-34 muestra los ejes locales en muros spandrel.

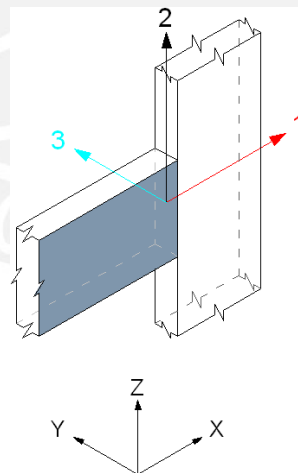


Figura 3-34.- Ejes locales en muros spandrel.

• **Etiquetado de muros spandrel**

Cada elemento dentro de un muro spandrel está asociado al nivel de piso más alto que este elemento interseca o toca. Si no intersecará ningún nivel, éste pertenecerá al nivel de piso inmediato superior. La figura 3-35 muestra la asociación a niveles de piso de los muros spandrel.

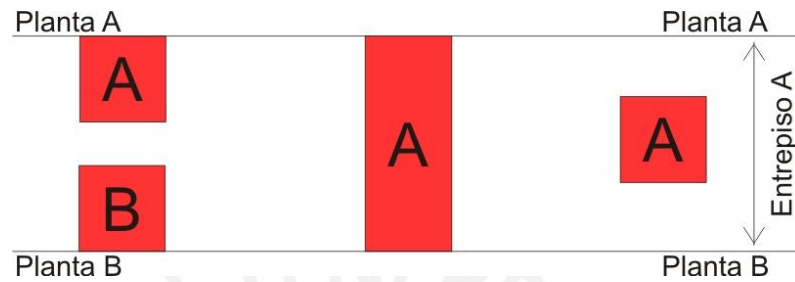


Figura 3-35.- Asociación de muros spandrel a niveles de piso.

A diferencia de los muros pier, un muro spandrel puede contener objetos de área de dos niveles de piso adyacentes.

En la figura 3-36 se muestra el diagrama de Momento Flector en cada una de las porciones de muro perforado plano de tres niveles.

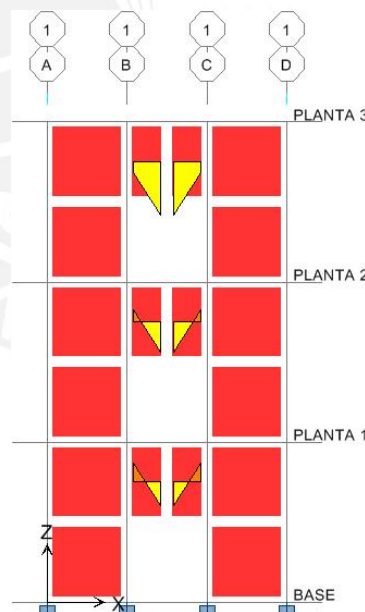


Figura 3-36.- Diagrama de momento flector en muros spandrel.

Para obtener los diagramas de fuerzas internas en muros, las vigas de acoplamiento se idealizan como elementos tipo barra, como se observa en la figura 3-37.

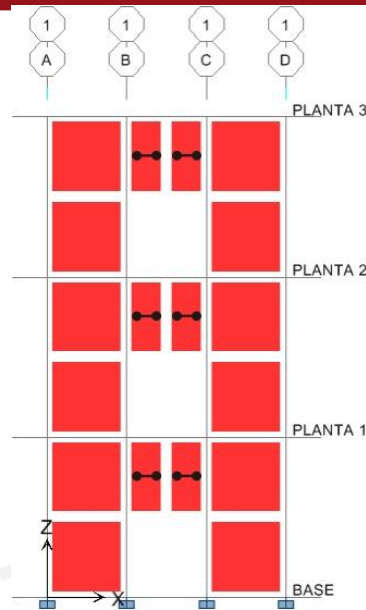


Figura 3-37.- Idealización de vigas de acoplamiento como elementos unidimensionales.

Para idealizar las vigas de acoplamiento como elementos unidimensionales, se les asigna etiquetas de muro spandrel, como se presenta en la figura 3-38.

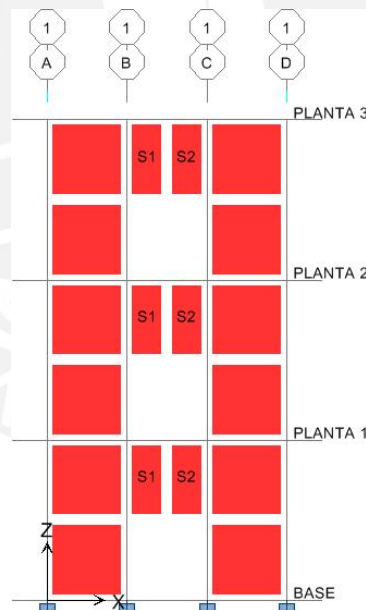


Figura 3-38.- Ejemplo de etiquetado de muros spandrel.

Se observa que las tres vigas de acoplamiento tienen las mismas etiquetas de muro spandrel S1 y S2, pero el programa las manejará como elementos independientes en cada nivel.

Para los elementos de barra, muros pier y muros spandrel, los diagramas de fuerzas internas se obtienen uniendo con segmentos rectos los valores calculados en los puntos prefijados como ubicaciones de salida. Sin embargo, para elementos

de muro pier y spandrel, los valores de fuerzas exactas son calculados sólo en los extremos del elemento y por tanto cuando los diagramas de fuerzas internas no son lineales, los valores intermedios no son representativos y los resultados sólo son válidos en los puntos extremos calculados.

Debido a este detalle, cuando el diseño es gobernado por cargas de gravedad, se recomienda modelar las vigas de acoplamiento con elementos de barra.

3.1.10 Diafragma Rígido

Las losas de entrepiso que conforman la estructura de una edificación presentan mayor rigidez en su propio plano que fuera de él. Por esta razón se pueden idealizar como cuerpos infinitamente rígidos para deformaciones en su propio plano. La figura 3-39 ilustra lo que ocurre con un diafragma rígido para una carga cualquiera "P".

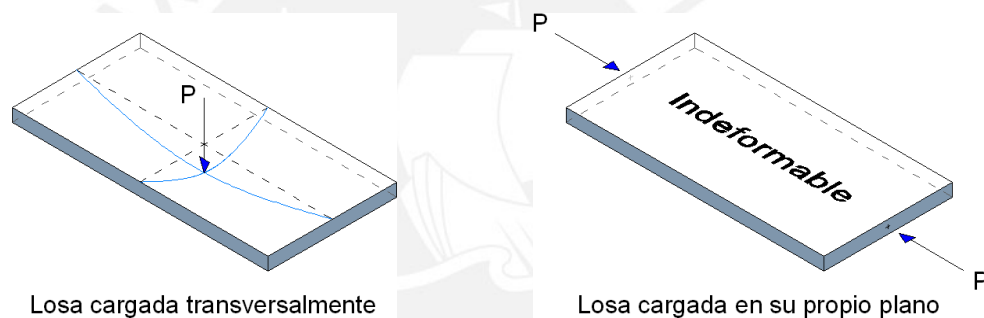


Figura 3-39.- Deformaciones internas de una losa ante diferentes tipos de carga

En la dirección perpendicular al plano del diafragma éste es flexible, por lo tanto, para cualquier nudo del diafragma, la existencia de desplazamientos verticales y rotaciones alrededor de los ejes horizontales (que son independientes del movimiento del diafragma) no afectan la idealización.

Para describir el movimiento de un diafragma rígido en el plano horizontal sólo es necesario conocer dos desplazamientos horizontales ortogonales (en las direcciones X y Y) y un giro, alrededor de un eje perpendicular al plano del diafragma (eje Z).

En la figura 3-40, se representa una estructura de un piso compuesta por cuatro pórticos y un diafragma rígido desplazado una distancia " δ ", en la dirección global X. En ella se puede apreciar, que los nudos de las columnas unidos a la losa, presentan el mismo desplazamiento horizontal " δ ", pero diferentes desplazamientos verticales producto de la deformación axial de las columnas (los nudos del lado izquierdo se han desplazado hacia arriba y los del lado derecho hacia abajo).

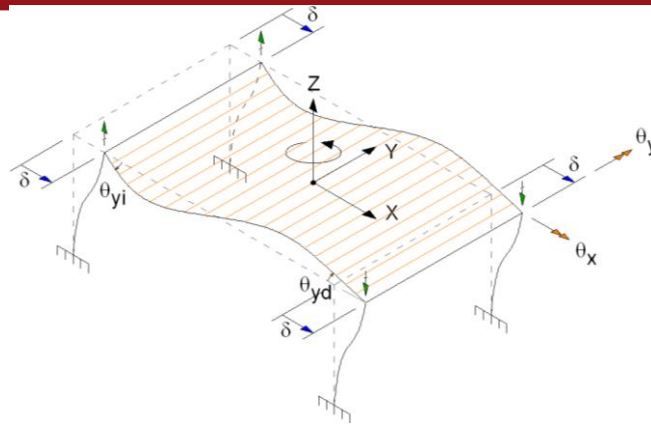


Figura 3-40.- Deformaciones en los elementos de una estructura de un piso, con diafragma rígido en su propio plano, ante un desplazamiento en la dirección X

También se observa que estos nudos presentan giros alrededor de los ejes X y Y, debido a las deformaciones por flexión de los elementos. Estos giros son independientes del giro del diafragma.

En resumen, dos puntos cualesquiera que formen parte de la losa de entrepiso (que se comporte como un diafragma rígido) no pueden tener desplazamientos relativos dentro del plano horizontal, no obstante, pueden tener desplazamientos relativos en la dirección vertical y giros con respecto a cualquier eje horizontal.

Las ventajas de idealizar una losa de entrepiso como diafragma rígido son las siguientes:

- Permite compatibilizar los desplazamientos de todos los elementos contenidos en el diafragma, y analizar la estructura como un conjunto, lo que brinda resultados más confiables que los obtenidos al analizarla con pórticos independientes.
- Demanda menos memoria y tiempo en el proceso de análisis de los programas de cómputo, como el ETABS, debido a que se reduce el tamaño de la matriz de rigidez tridimensional del edificio.
- Distribuye automáticamente las fuerzas horizontales a los diferentes elementos verticales resistentes, en proporción a sus rigideces.
- Toma en cuenta el efecto de torsión de toda la estructura, lo cual es especialmente importante en estructuras con resistencia vertical irregular o con plantas irregulares. Por lo tanto en estructuras donde los centros de masa y de rigidez no coinciden, la idealización de diafragmas rígidos toma en cuenta automáticamente la torsión que genera la aplicación de fuerzas horizontales en lugares diferentes del centro de rigidez.

Diafragma rígido en objetos de área

Dentro del programa ETABS, si se asigna un diafragma rígido a un objeto de área, se logra que todos los puntos del perímetro y los puntos que se encuentran dentro de los límites del objeto de área, incluyendo los puntos (nudos) creados como resultado de una partición automática, se comporten como parte del diafragma rígido.

Al asignar un diafragma rígido a un objeto de área, su comportamiento fuera del plano no se verá afectado.

Los diafragmas rígidos solamente pueden ser horizontales, por lo tanto no se pueden asignar a objetos de área tipo muro ni a objetos de área tipo rampa, sino sólo a los objetos de área tipo piso y a los objetos de área tipo nulo que estén en un plano horizontal.

Diafragma rígido en objetos de punto

A un objeto de punto se le puede asignar directamente una restricción de diafragma rígido, de modo que se comporte como lo haría si fuera parte de un diafragma rígido.

Al asignar un diafragma rígido a un objeto de punto, su comportamiento fuera del plano horizontal (formado por los objetos de punto) no se verá afectado.

Cálculo del centro de rigidez lateral de un diafragma

El centro de rigidez (CR) es un concepto que fue definido inicialmente para estructuras de un solo piso, como el punto correspondiente al centroide de las rigideces laterales de todos los elementos resistentes de la estructura. Este punto es una función de las propiedades estructurales, es independiente de la carga y es el único que no se traslada cuando el edificio está sometido a un momento torsor.

Para los edificios de varios niveles no tiene sentido hablar de un solo centro de rigidez debido a que cada piso rotará relativamente con respecto a los demás por la interacción de fuerzas entre los diferentes pisos del edificio.

Por lo tanto, para el análisis lateral de este tipo de edificios, la suposición que mejor se aproxima a la realidad es analizar al edificio como una serie de edificios de un solo piso, apilados uno sobre otro, sin compatibilidad de desplazamientos de entrepiso.

Existen diversos métodos para estimar el centro de rigidez, como por ejemplo el utilizado por algunos programas europeos, que consiste en dar un momento torsor unitario en algún punto arbitrario de la losa de piso con el fin de determinar el centro de rigidez como el punto sin desplazamiento lateral.

El programa ETABS, puede calcular los centros de rigidez para cada diafragma

rígido como parte de la solución del problema. Para ello utiliza 3 casos de carga unitaria, que se aplican en el centro de masa (CM) del piso en estudio, tal como se muestra en la figura 3-41.

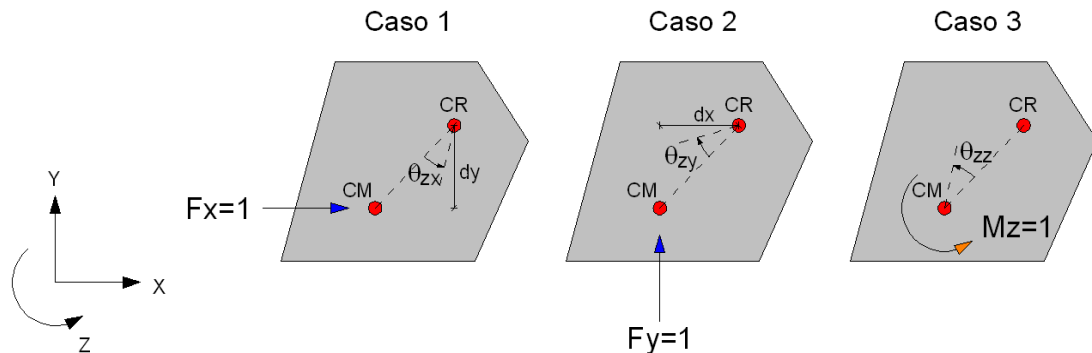


Figura 3-41.- Casos de carga utilizados para determinar el centro de rigidez.

Como resultado de cada uno de los estados de carga se obtienen los giros θ_{zx} , θ_{zy} y θ_{zz} respectivamente, con los cuales se calcula la distancia horizontal (dx) y vertical (dy) del centro de masa al centro de rigidez, como:

$$dx = -\theta_{zy} / \theta_{zz}$$

$$dy = -\theta_{zx} / \theta_{zz}$$

Finalmente, con dx y dy se ubica el centro de rigidez de cada piso, como:

$$X_{CR} = X_{CM} + dx$$

$$Y_{CR} = Y_{CM} + dy$$

3.1.11 Masas

La masa de la estructura se utiliza en un análisis modal para calcular los períodos y formas modales de vibración y en un análisis de respuesta en el tiempo o espectral para calcular las fuerzas de inercia y posteriormente las sollicitaciones internas que estas producen.

En los elementos lineales, la masa se calcula integrando el producto de la masa volumétrica del material por su área transversal, a lo largo de la longitud del elemento. En los elementos de área, la integral corresponde al producto de la masa volumétrica del material por el espesor del elemento y se extiende en toda su área. Posteriormente, para ambos casos, la masa se distribuye a los nudos de los elementos.

Fuente de Masa

En el programa ETABS, la masa del edificio puede obtenerse de la masa propia de los elementos y la masa adicional asignada en los objetos de punto, de línea y de área. También puede obtenerse la masa de las cargas que actúan sobre el edificio

y en un caso más general, ésta puede obtenerse en base a los 2 casos anteriores. Estos 3 casos se detallan a continuación.

- **De masa propia y masa especificada**

En este caso, la masa del edificio se encuentra asociada a la masa propia de los elementos estructurales y a la masa adicional asignada en los objetos de punto, de línea y de área. La masa propia se calcula multiplicando el volumen de cada elemento por su masa por unidad de volumen.

La masa especificada, es la masa adicional asignada a los elementos (tabiques, revestimientos, etc.), y se aplica de manera concentrada a los objetos de punto y de manera uniformemente distribuida a los objetos de línea y a los objetos de área.

- **Masa adicional en objetos de punto**

Se deben especificar las masas traslacionales en las direcciones de los tres ejes globales y los momentos de inercia rotacionales alrededor de las direcciones de los ejes globales.

En las direcciones globales X y Y el valor de la masa traslacional es el mismo porque la masa en cualquier dirección del sismo es la misma.

Las masas traslacionales presentan unidades de $\text{Fuerza} \cdot \text{Segundo}^2 / \text{Longitud}$ y los momentos de inercia rotacionales unidades de $\text{Fuerza} \cdot \text{Longitud} \cdot \text{Segundo}^2$.

- **Masa adicional en objetos de línea**

Se debe especificar la masa adicional por unidad de longitud, que el programa aplicará solamente a los tres grados de libertad traslacional, a menos que se considere sólo la masa lateral, para lo cual, la masa adicional se aplicará únicamente en las direcciones globales X y Y.

Ésta masa tiene unidades de $\text{Fuerza} \cdot \text{Segundo}^2 / \text{Longitud}^2$.

- **Masa adicional en objetos de área**

Se debe especificar la masa adicional por unidad de área, que el programa aplicará solamente a los tres grados de libertad traslacional, a menos que se considere sólo la masa lateral, para lo cual, la masa adicional se aplicará únicamente en las direcciones globales X y Y.

Ésta masa tiene unidades de $\text{Fuerza} \cdot \text{Segundo}^2 / \text{Longitud}^3$.

- **De cargas**

En este caso, la masa de la estructura se define por medio de una combinación de los casos de carga previamente definidos. La masa total es igual a la suma de las

cargas, escaladas el factor de cada uno de los casos de carga, divididas entre la gravedad. Para este cálculo sólo se consideran las cargas en la dirección global Z. Cuando la fuente de masa es de cargas, el programa ignora toda masa adicional asignada.

- **De masa propia, masa especificada y cargas**

Es la suma de las opciones anteriores, la cual considera para el cálculo de la masa del edificio a las masas propias de los elementos estructurales, a las masas adicionales y a la masa que se obtiene de la combinación de los casos de carga.

En cualquiera de los tres casos posibles de fuentes de masa, se puede elegir “incluir solamente la masa lateral” y/o “concentrar la masa lateral en las plantas”

Si se elige “incluir solamente masa lateral”, se considerará en el análisis sólo las masas traslacionales asignadas en las direcciones globales X y Y, y los momentos de inercia rotacionales de masa alrededor del eje global Z, y no se tomará en cuenta la dinámica vertical del edificio.

Si se elige “concentrar la masa lateral en las plantas”, entonces, durante el análisis, la masa lateral ubicada entre dos plantas se concentrará en la planta más cercana a dicha masa.

3.2 Análisis Estático Elástico

El Análisis Estático Elástico es un análisis de cargas que no varían en el tiempo y en el cual la estructura no excede el rango elástico.

Las cargas estáticas pueden tener un origen gravitatorio, de viento, de nieve, etc.

Existen procedimientos para el análisis sísmico de edificios en los que las sollicitaciones sísmicas se pueden representar por medio de un conjunto de cargas estáticas.

El programa ETABS, organiza el Análisis Estático en casos de carga estática, cada uno de los cuales contiene un conjunto de cargas de origen semejante y que actúan simultáneamente en los objetos del modelo.

3.2.1 Casos de Carga Estática

Un caso de carga estática se define indicando un nombre, un tipo de carga y un factor para incluir el peso propio de la estructura en las cargas que actúan en los objetos del modelo.

- **Nombre del Caso de Carga.-** Es una cadena de caracteres definida por el usuario para identificar el caso de carga.
- **Tipo de Carga.-** Con el fin de usar combinaciones predefinidas de casos de carga, el programa permite asignar a cada caso de carga uno de los siguientes tipos: Muerta, Super Muerta, Viva, Reducción de Carga Viva, Sismo, Viento, Nieve y Otras.
- **Factor de Peso Propio.-** El programa multiplica el peso propio de los objetos de la estructura por este factor y los añade al caso de carga. El peso propio de la estructura se suele asignar totalmente al caso de carga muerta, por medio de un factor igual a uno. En contraste, este factor es igual a cero para los casos de carga viva.

En el programa, los casos de carga estática Muerta y Viva se crean por defecto con los nombres "DEAD" y "LIVE" respectivamente y con los valores del factor de peso propio indicados.

Las cargas de los casos de carga estática de viento o de sismo pueden ser asignadas mediante cargas concentradas o distribuidas, pero también de manera automática al elegir un código de carga apropiado.

3.2.2 Cargas en Objetos

En cada operación de asignación de cargas a un objeto se debe elegir un caso de carga estática previamente definido.

Se pueden asignar cargas a objetos de punto, de línea o de área.

Cargas en objetos de punto

A un objeto de punto se le puede asignar: fuerzas, desplazamientos y cambios de temperatura.

- **Fuerzas** 

Se asigna una carga de fuerza a un objeto de punto, indicando la magnitud de las fuerzas o momentos en la dirección de los ejes globales, teniendo en cuenta que la dirección positiva de las fuerzas y momentos corresponde a la dirección positiva de los ejes globales, los que se muestran en la figura 3-42.

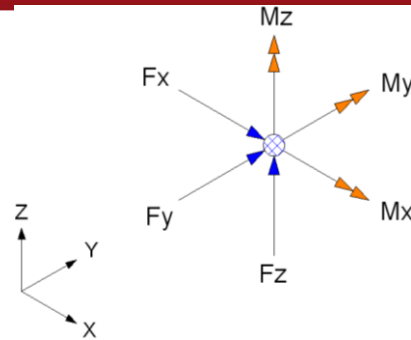



Figura 3-42.- Sentido positivo de las fuerzas y momentos en un objeto de punto.

Las cargas asignadas en los puntos que se encuentran a lo largo de un objeto de línea o dentro del plano de un objeto de área, pasan a formar parte del caso de carga especificado siempre y cuando el objeto de línea o de área tenga activa la opción de subdividido automático.

- **Desplazamientos de nudos “conectados al suelo”** 

Se asigna una carga de desplazamiento (δ) a un objeto de punto indicando el desplazamiento en los ejes de coordenadas globales, como se muestra en la figura 3-43.

El desplazamiento asignado a un nudo es considerado como carga estática sólo si previamente se le ha asignado a éste una “conexión al suelo” en la misma dirección de su desplazamiento (traslación o rotación).

Se entiende por “conexión al suelo” a una restricción, un resorte o un elemento de enlace.

Este desplazamiento tiene efecto sobre la estructura si el objeto de punto está conectado directamente a un objeto estructural o descansa sobre un objeto de área de tipo piso, que el ETABS pueda dividir automáticamente.

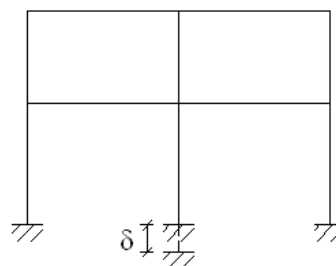


Figura 3-43.- Asentamiento de apoyo.

- **Temperatura** 

Se asigna un cambio de temperatura (en °C) a un objeto de punto para definir una variación de temperatura uniforme a lo largo de los elementos de barra o de cáscara que se conectan al nudo.

Cuando se asigna un cambio de temperatura en los nudos extremos de los objetos de línea o en los nudos de las esquinas de los objetos de área, el programa interpola linealmente los valores del cambio de temperatura a lo largo de ellos.

Cargas en objetos de línea

A un objeto de línea se le puede asignar: cargas concentradas, cargas distribuidas y cambios de temperatura.

- **Cargas concentradas en objetos de línea** 

Para asignar una carga concentrada (fuerza o momento) en un objeto de línea se indica su dirección, su magnitud y distancia con respecto al extremo i del objeto de línea. Esta distancia puede ser relativa o absoluta.

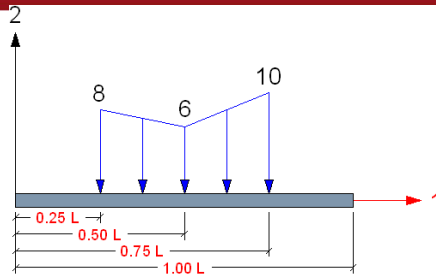
La carga puede actuar en la dirección de los ejes locales o globales.

- **Cargas distribuidas en objetos de línea** 

Las cargas distribuidas (fuerzas o momentos) pueden ser uniformes o trapezoidales.

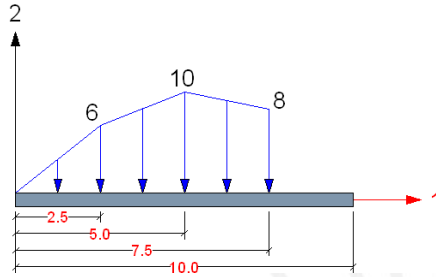
Para asignar una carga uniforme sólo se necesita especificar su magnitud y dirección en la que actúa.

En cambio, para las cargas trapezoidales, además de especificar la dirección en la que actúa, se debe indicar la magnitud de la carga y su distancia con respecto al extremo i del elemento, para los diferentes trapecios consecutivos. Estas distancias pueden ser relativas o absolutas, como se muestra en la figura 3-44.



Distancia Relativa

Distancia (fracción de L):	0.25	0.50	0.75	0.00
Carga (Ton / m)	8.0	6.0	10.0	0.0



Distancia Absoluta

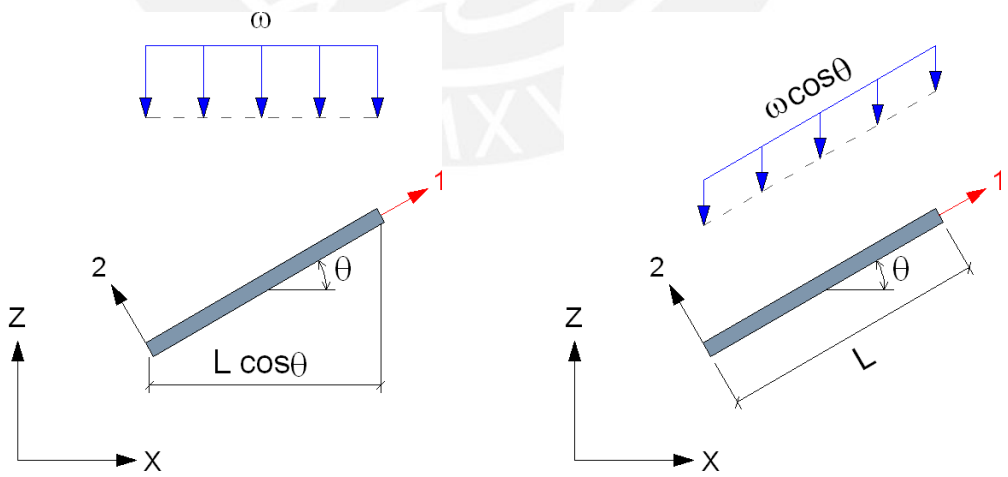
Distancia (m)	0.00	2.50	5.00	7.50
Carga (Ton / m)	0.0	6.0	10.0	8.0

Figura 3-44.- Ejemplos de cargas distribuidas en objetos de línea.

La carga puede orientarse en la dirección de los ejes locales y globales.

En el caso de objetos de línea inclinados, una fuerza distribuida, orientada en alguno de los ejes globales, puede actuar por unidad de longitud del objeto o por unidad de longitud proyectada del objeto en el eje global perpendicular a la carga.

La figura 3-45a muestra una carga de magnitud ω en la dirección de la gravedad, que actúa por unidad de longitud proyectada en el eje X. El programa ETABS interpreta esta carga, como una carga distribuida por unidad de longitud del objeto de línea pero con una magnitud $\omega \cos(\theta)$ como se muestra en la figura 3-45b.



a.- Carga distribuida ω en la dirección de la gravedad, aplicada sobre la longitud proyectada del objeto de línea en el eje X.

b.- Representación de la carga distribuida ω actuando sobre toda la longitud del objeto de línea.

Figura 3-45.- Objeto de línea inclinado, con carga aplicada sobre una proyección de su longitud.

- **Temperatura** 

Se asigna un cambio de temperatura (en °C) a un objeto de línea al indicar el valor del cambio uniforme de temperatura en el objeto de línea. También se puede asignar una variación uniforme de cambio de temperatura al especificar los cambios de temperatura en los nudos extremos del objeto de línea, como se mencionó en la sección de cargas en objetos de punto.

Se pueden combinar cambios de temperatura asignados a objetos de línea con cambios de temperatura en los nudos de sus extremos. En esos casos el programa suma ambas cargas de temperatura.

Cargas en áreas

A un objeto de área se le puede asignar: cargas uniformes, cargas de temperatura y cargas de viento.

- **Cargas uniformes en objetos de área** 

Para asignar una carga uniforme a un objeto de área se indica su magnitud y la dirección en la que actúa.

La carga puede orientarse en la dirección de los ejes locales y globales.

En el caso de objetos de área inclinados, una fuerza distribuida, orientada en alguno de los ejes globales, puede actuar por unidad de superficie del objeto o por unidad de superficie proyectada del objeto en el eje global perpendicular a la carga.

La figura 3-46a muestra una carga de magnitud ω en la dirección de la gravedad, que actúa por unidad de área proyectada del objeto en el eje X. El programa ETABS interpreta esta carga, como una carga distribuida por unidad de área del objeto pero con una magnitud $\omega \cos(\theta)$, como se muestra en la figura 3-46b.

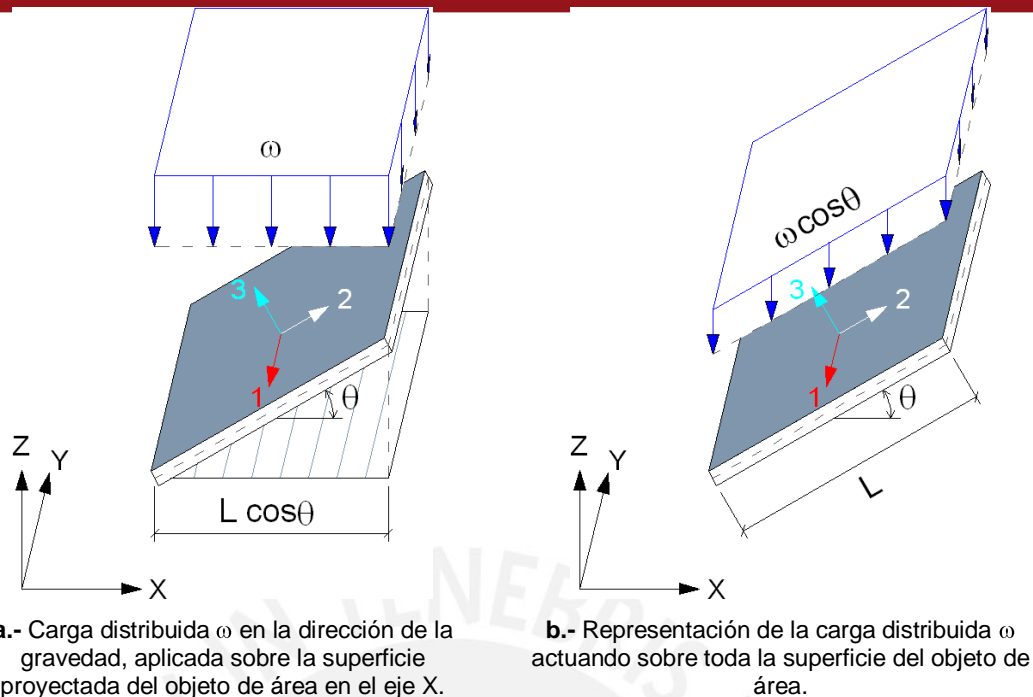


Figura 3-46.- Objeto de área inclinado, con carga distribuida aplicada sobre una proyección de su superficie.

• Temperatura

Se asigna un cambio de temperatura (en °C) a un objeto de área al indicar el valor del cambio uniforme de temperatura sobre la superficie de un objeto de área. También se puede asignar una variación uniforme de cambio de temperatura al especificar los cambios de temperatura en los nudos extremos del objeto de área, como se mencionó en la sección de cargas en objetos de punto.

Se pueden combinar cambios de temperatura asignados a objetos de área con cambios de temperatura en los nudos de sus esquinas. En esos casos el programa suma ambas cargas de temperatura.

Por ejemplo en la figura 3-47, se ha asignado un cambio de temperatura de 50°C en los nudos superiores de un objeto de área, el mismo que se ha sumado al cambio uniforme de temperatura de 25°C (figura 3-48), para obtener un cambio de temperatura resultante en el objeto de área de 75°C en los nudos superiores y de 25°C en los nudos inferiores, como se muestra en la figura 3-49.

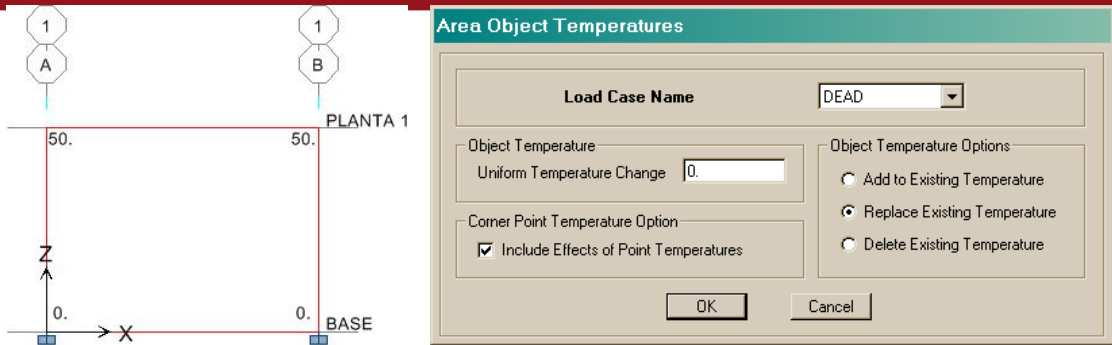


Figura 3-47.- Objeto de área con cambio de temperatura de 50°C en nudos superiores.

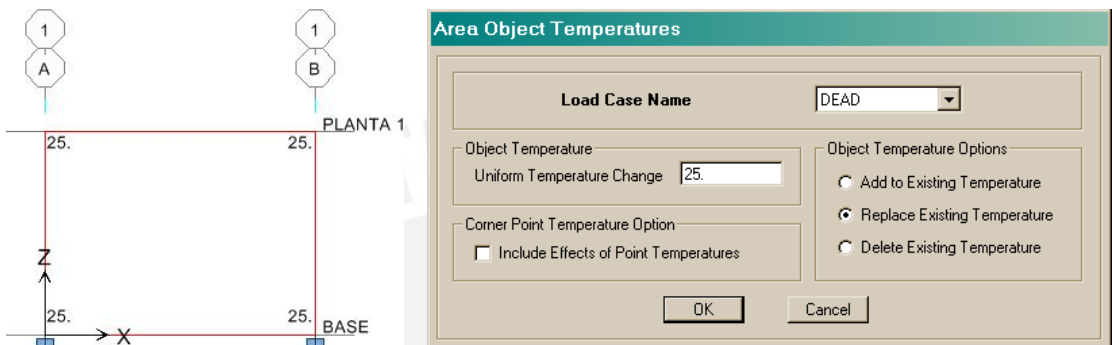


Figura 3-48.- Objeto de área con cambio de temperatura uniforme de 25°C.

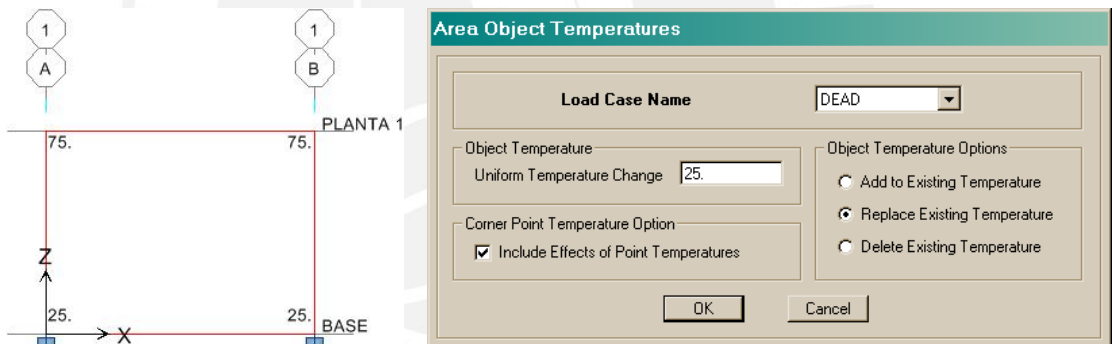


Figura 3-49.- Objeto de área con cambio de temperatura resultante.

• **Presión de Viento**

Una edificación soporta una carga de viento cuando se interpone en la dirección del movimiento de una masa de aire.

La carga de viento origina presión en las caras de la edificación que están expuestas a la dirección del viento (barlovento), y succión en las caras opuestas a la dirección del viento (sotavento), tal como se ilustra en la figura 3-50.

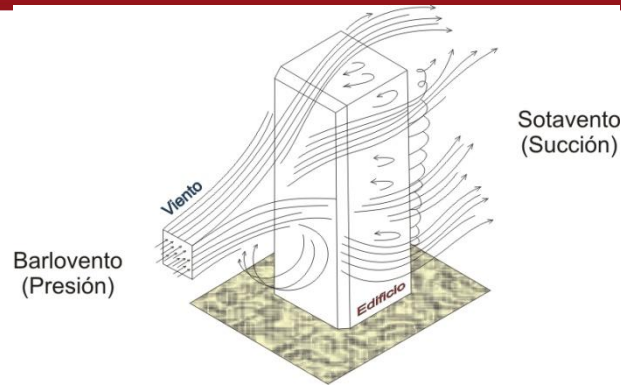


Figura 3-50.- Dirección del viento y fuerzas de presión y succión.

En el programa ETABS, antes asignar una carga de presión de viento, predefinida por algún código, se debe definir un caso de carga estática de viento y seleccionar una norma de viento para la carga lateral automática.

Se calcula automáticamente la magnitud de una carga de viento asignada a un objeto de área al indicar un coeficiente de presión de viento para la norma seleccionada. La dirección puede ser de barlovento o sotavento.

Las cargas de presión de viento en objetos de área, ya sean de barlovento o sotavento, siempre siguen la dirección positiva del eje local 3 del objeto de área.

Si no se asigna una norma lateral de viento, las cargas que pertenecen al caso estático de viento podrán ser asignadas a los objetos del modelo como cargas concentradas o distribuidas, pero no como cargas de presión de viento.

3.3 Análisis Dinámico Elástico

En el Análisis Dinámico, los desplazamientos de la estructura varían con el tiempo, generando velocidades y las aceleraciones que también varían con el tiempo.

Los desplazamientos, velocidades y aceleraciones de la estructura generan respectivamente fuerzas restitutivas, fuerzas de amortiguamiento y fuerzas de inercia variables en el tiempo, que deben tenerse en cuenta al momento de plantear la ecuación de equilibrio dinámico:

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = -M\ddot{s}$$

Donde:

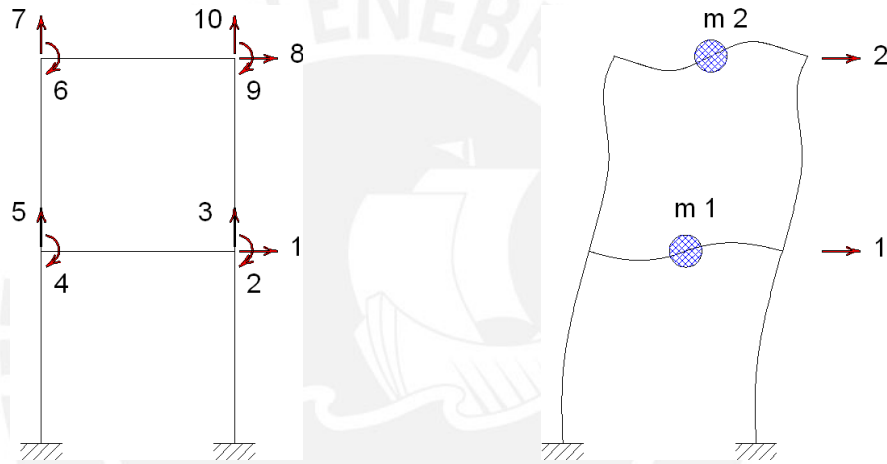
M = Matriz de masa.

C = Matriz de amortiguamiento.

- K = Matriz de rigidez lateral.
- x = Desplazamiento relativo con respecto al suelo.
- s = Desplazamiento del suelo.
- ..
- S = Aceleración del suelo.

Desde el punto de vista dinámico sólo interesan los grados de libertad (GDL) en los que se generan fuerzas de inercia significativa. Estos grados de libertad se denominan grados de libertad dinámicos.

La figura 3-51a representa una vista en elevación de un edificio con un diafragma rígido en cada uno de sus dos pisos y por tanto con 10 GDL estáticos.



a.- Grados de libertad estáticos. b.- Grados de libertad dinámicos.
Figura 3-51.- Grados de libertad estáticos y dinámicos de un pórtico plano de 2 pisos.

Cuando el edificio recibe un movimiento en su base, éste oscila lateralmente y las masas m_1 y m_2 de cada nivel se aceleran, produciendo dos fuerzas de inercia horizontales importantes. Por tanto el edificio sólo tiene dos grados de libertad dinámicos que son los desplazamientos 1 y 2, mostrados en la figura 3-51b.

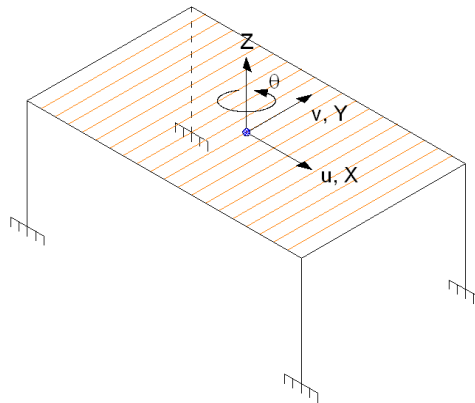


Figura 3-52.- Grados de libertad dinámicos en un edificio de un piso

En estructuras tridimensionales con diafragmas rígidos, como la mostrada en la figura 3-52. El diafragma en cada piso posee 3 GDL dinámicos, que son los desplazamientos horizontales u y v , en la dirección X y Y respectivamente, y el giro θ alrededor del eje vertical Z .

El programa ETABS realiza tres tipos de análisis dinámicos elásticos que son el Análisis de Modos y Frecuencias, el Análisis Tiempo – Historia y el Análisis de Respuesta Espectral.

Para el Análisis Tiempo – Historia y para el Análisis de Respuesta Espectral, es necesario especificar una función que represente las sollicitaciones sísmicas.

3.3.1 Análisis de Modos y Frecuencias

Cada modo representa una tendencia de movimiento de una estructura. Esta tendencia se describe por medio de una forma y un período natural que corresponden al caso en que la estructura estuviese en vibración libre sin amortiguamiento.

Se puede demostrar que después de liberar una estructura sin amortiguamiento, que ha sido forzada a adoptar inicialmente una forma igual a la de un modo de vibración, ésta seguirá vibrando libremente con la frecuencia circular del modo y manteniendo la forma modal².

El análisis modal permite calcular la forma y el período de vibración de cada modo, utilizando las masas y rigidez del edificio.

En el caso de edificios se asume que la masa se encuentra concentrada en los pisos del edificio, y que estos sólo tienen tres grados de libertad dinámicos.

El programa ETABS, calcula estas tendencias de vibración de los edificios y permite seleccionar el número de modos que se deciden usar en el análisis, así como el procedimiento para hallar estas tendencias de vibración representativas (eigenvectors o vectores Ritz).

Para el análisis de vectores propios (eigenvectors), se deberá especificar además el rango de frecuencias de los modos, usando los parámetros “ f_0 ” y “ f_{max} ”, que representan respectivamente el centro del rango de frecuencias y el radio del rango de éstas. De esta manera el programa buscará solamente los modos con una frecuencia “ f ” que satisfagan la ecuación $|f - f_0| \leq f_{max}$.

Si no se desea restringir el rango de frecuencia de los modos, se asigna un valor de cero al parámetro f_{max} .

² Información referida del manual de Ingeniería Sismorresistente, Alejandro Muñoz Peláez, 1999, Primera edición, Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, pg 111.

A modo de ejemplo se muestra en la figura 3-53 la planta y elevación de un edificio de tres niveles.

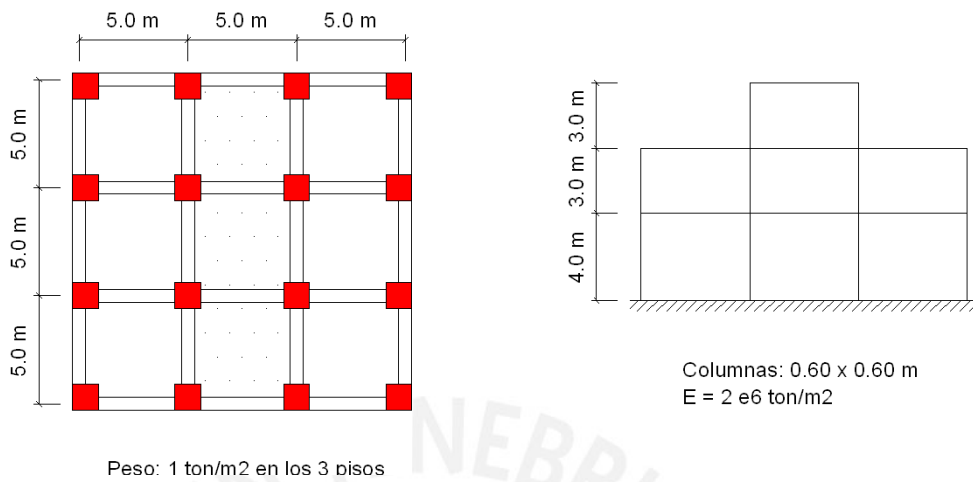


Figura 3-53.- Planta y elevación de un edificio de tres niveles.

La figura 3-54 muestra las formas y períodos naturales de los modos fundamentales en las direcciones X, Y y alrededor del eje Z.

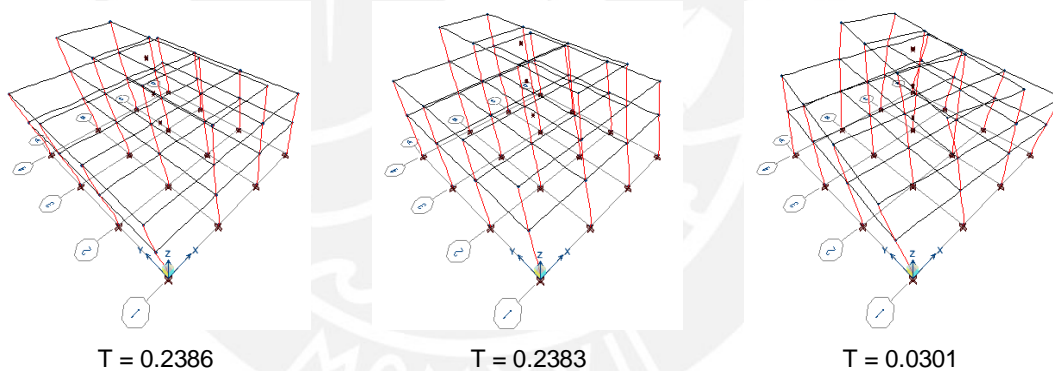


Figura 3-54.- Modos fundamentales en las direcciones X, Y y alrededor del eje Z

El programa ordena los modos en orden decreciente con respecto a los períodos de vibración.

3.3.2 Análisis Tiempo-Historia

El análisis tiempo-historia permite calcular la respuesta en el tiempo de una estructura ante una carga dinámica cualquiera.

El programa ETABS puede realizar dos tipos diferentes de análisis tiempo historia. El primero corresponde al caso de un edificio sometido a una aceleración en su base y el segundo al caso de un edificio, con base fija, sometido a un conjunto de cargas que varían en el tiempo, como sucede en el caso de un edificio ante la acción de ráfagas de viento.

Tanto para el caso de un movimiento en la base como para el de cargas dinámicas externas es necesario definir una función en el tiempo.

Función de Tiempo-Historia

La función de tiempo-historia es un conjunto de pares de valores $(t, f_{(t)})$.

Los valores de la función $(f_{(t)})$ pueden usarse como valores de aceleraciones basales o como factores de multiplicación de los casos de carga estática de fuerza o desplazamiento.

El programa ETABS permite identificar la función por medio de un nombre y definirla de alguna de las siguientes maneras:

- Seleccionando un archivo de texto que contenga una función de tiempo historia. El archivo puede tener las siguientes características: un número de líneas de cabecera 'nl' y 'nc' caracteres iniciales al principio de todas las líneas que contienen los valores de la función. En el archivo, la función puede estar constituida por pares de valores $(t, f_{(t)})$ o sólo por los valores de $f_{(t)}$ espaciados un intervalo de tiempo constante (dt) . Para que el programa lea la función del archivo se debe especificar: 'nl' y 'nc', así como el número de puntos por línea, la forma como se separan los valores de la función (espacios, tabulaciones o sin separación) y si el archivo contiene pares de valores $(t, f_{(t)})$ o sólo valores de $f_{(t)}$. Si el archivo contiene sólo valores $f_{(t)}$, entonces, será necesario especificar 'dt'.
- Ingresando directamente, por medio del teclado, los pares de valores $(t, f_{(t)})$.
- Seleccionando una función disponible en el programa El programa cuenta con las siguientes funciones: seno, coseno, rampa, diente de sierra y triangular.

Tipos de Análisis Tiempo-Historia

En ETABS los dos tipos de análisis tiempo historia son:

- **Aceleración en la Base**

Cuando un edificio está sujeto a una acción sísmica en su base, se puede representar la aceleración del suelo mediante 3 componentes ortogonales. El programa ETABS permite asignar a las direcciones locales del suelo 1, 2 y global Z tres funciones de tiempo historia.

Por defecto las direcciones positivas de 1 y 2 coinciden con las direcciones positivas de los ejes globales X y Y, sin embargo el programa permite definir un ángulo de giro (α) para el triedro 1,2 y Z respecto al eje Z, tal como se muestra en la figura 3-55.

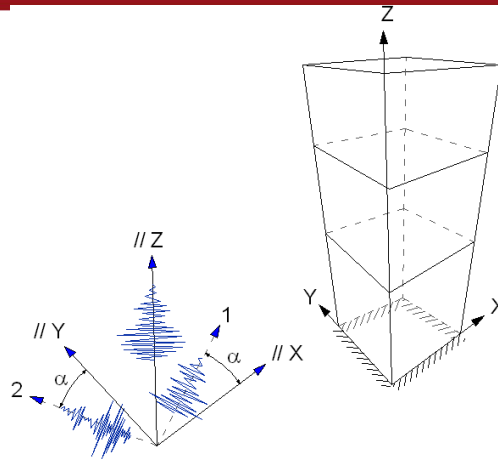


Figura 3-55.- Componentes octogonales de un sismo en las direcciones 1, 2 y vertical, rotados un ángulo α respecto al eje global Z

Para cada caso de análisis de aceleración en la base, el programa calcula la historia de aceleraciones de cada punto de la estructura y permite obtener el espectro de respuesta correspondiente en dichos puntos (espectros de piso).

- **Cargas Dinámicas Externas**

Para configurar los casos de cargas dinámicas, las cargas de los casos estáticos de fuerza o desplazamiento, se multiplican por los valores de la función de tiempo-historia para convertirse en un conjunto de cargas externas variables en el tiempo. En la figura 3-56 se muestra un conjunto de cargas estáticas concentradas en los niveles de piso de un edificio de tres pisos, que serán convertidas en cargas dinámicas al multiplicarse por la función: $f(t) = 0.7 \text{ sen } (20t)$.

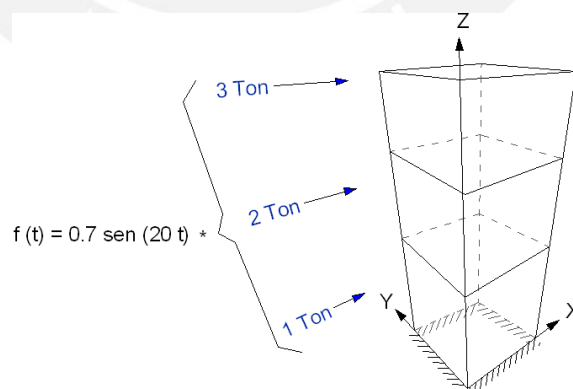


Figura 3-56.- Edificio de tres pisos sometido a cargas estáticas concentradas, que se multiplican por una función de tiempo.

Configuración de un Caso de Análisis Tiempo-Historia

Para cada análisis que se desee realizar se debe configurar un caso de análisis tiempo-historia indicando un nombre y especificando el amortiguamiento modal, el número y tamaño de los intervalos de tiempo de salida, una función de tiempo y eligiendo en la opción de carga si esta función multiplica a los casos de carga estática o si representa a un acelerograma en la base.

Los valores de la función pueden ser multiplicados por un factor de escala, que es cualquier número real. Este factor puede presentar unidades de Longitud/Tiempo², si los valores de la función se usan como aceleraciones basales, o ser adimensionales, si los valores de la función se usan como multiplicadores de los casos de carga estática.

Resultados del Análisis Tiempo-Historia

El programa calcula la respuesta en el tiempo del edificio, y permite visualizar gráficamente la historia de:

- Energía (cinética, potencial, disipada por el amortiguamiento).
- Momentos y cortantes en la base del edificio.
- Desplazamientos, velocidades, aceleraciones, reacciones y fuerzas de resorte en los objetos de punto.
- Fuerzas internas en los objetos de línea y en los elementos Pier y Spandrel.

3.3.3 Análisis Espectral de Respuesta

Un espectro elástico es el conjunto de las respuestas máximas de diferentes estructuras de un grado de libertad, caracterizadas por un período y un amortiguamiento, sometidas a un acelerograma, y se representa como una función de aceleraciones espectrales vs. valores de período o de frecuencia.

El Análisis Espectral de Respuesta permite calcular la respuesta máxima probable de la estructura cuando la sollicitación sísmica se representa por un espectro elástico, combinando las respuestas de los diferentes modos por medio de un método de combinación modal y las respuestas en las diferentes direcciones por medio de un método de superposición direccional.

En el programa, las funciones espectrales deben ser asignadas a las direcciones locales 1, 2 y 3. Por defecto las direcciones positivas locales coinciden con las direcciones positivas de los ejes globales X, Y y Z, sin embargo ETABS permite definir un ángulo de giro (α) respecto al eje Z para el triedro 1, 2 y 3, medido desde el eje positivo global X, tal como se muestra en la figura 3-57.

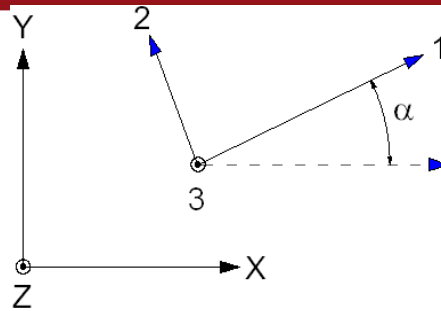


Figura 3-57.- Rotación de los ejes locales un ángulo α alrededor del eje Z.

Función Espectral de Respuesta

La función Espectral de Respuesta es un conjunto de valores de períodos (T) o de frecuencias (f) vs. valores de aceleración espectral (SA).

El programa ETABS permite identificar la función por medio de un nombre y definirla de alguna de las siguientes maneras:

- Seleccionando un archivo de texto que contenga una función. El archivo puede tener las siguientes características: un número de líneas de cabecera 'nl' y un conjunto de líneas donde se distribuyen los pares de valores de la función, que pueden ser valores de (T, SA) o (f, SA).

Para que el programa lea la función del archivo se debe especificar 'nl' y si la función está conformada por períodos o frecuencias.

- Ingresando directamente, por medio del teclado, los pares de valores (T, SA).
- Seleccionando un espectro disponible en el programa, correspondiente a alguno de los siguientes códigos: UBC94, UBC97, BOCA96, NBCC95, IBC2000, NEHRP97, Eurocode 8, NZS4203.

Configuración de un Caso de Análisis Espectral de Respuesta

Para cada análisis que se desee realizar, se debe configurar un caso espectral de respuesta, indicando un nombre, especificando una función espectral e indicando el factor de escala de la función, la orientación de los ejes locales del suelo por medio de un ángulo de giro, el amortiguamiento modal que estará presente en todos los modos, el tipo de combinación modal y el tipo de combinación direccional.

El factor de escala que multiplica a los valores de la función debe tener unidades correspondientes a Longitud / Tiempo².

- **Combinación Modal.**

Para cada caso de análisis espectral, se puede combinar por medio de un método de combinación modal los valores de desplazamiento, fuerza y esfuerzo de cada modo, con la finalidad de hallar la respuesta máxima de cada uno de estos

parámetros.

Los métodos de combinación modal son: Combinación Cuadrática Completa (CQC), Combinación de la Raíz de la Suma de los Cuadrados (SRSS), Suma de Absolutos (ABS) y Combinación Modal General (GMC).

- **Combinación Direccional**

La combinación modal produce un único resultado positivo para cada dirección de aceleración. Los resultados direccionales de estos valores espectrales se pueden combinar por un método de combinación direccional para producir un nuevo y único resultado positivo.

Los métodos de combinación direccional son: Combinación de la Raíz Cuadrada de la Suma de los Cuadrados (SRSS), Suma de Absolutos (ABS) y el de la Suma de los Absolutos Escalados.

3.4 Efecto de la Secuencia Constructiva

Las cargas de peso propio de un edificio, las cuales constituyen un gran porcentaje de la carga gravitacional total, actúan paulatinamente durante las etapas de construcción del edificio.

Muchos programas de cómputo no consideran la secuencia constructiva y aplican la carga completa al edificio cuando éste ya está construido.

El no considerar la aplicación de las cargas según la secuencia constructiva produce que en los últimos pisos de un edificio alto (más de 10 pisos) se presenten diagramas de momentos flectores irreales.

En edificios de concreto armado, hay que tomar en cuenta también los cambios volumétricos que sufre el material a lo largo del tiempo debidos en su mayoría al flujo plástico (creep) y a la retracción (contracción de fragua), ya que producen esfuerzos adicionales en la estructura.

Para resolver manualmente la secuencia constructiva existen métodos aproximados como el propuesto por el ACI, que considera:

- Realizar el metrado de las cargas por nivel (P_i).
- Evaluar los desplazamientos verticales absolutos de cada eje de columna.
- Determinar los momentos considerando que los extremos lejanos de la viga en estudio se encuentran empotrados, es decir, que no existe repercusión de los giros entre los niveles consecutivos.

Cuando se usa programas para resolver pórticos planos, existe un modelo

alternativo que consiste en calcular unas cargas equivalentes “F” (positivas cuando están dirigidas hacia abajo), que aplicadas de una sola vez sobre la estructura ya construida, reproduzcan los desplazamientos generados durante el proceso constructivo, garantizando la compatibilidad de desplazamiento vertical que debe existir en una columna que pertenece a dos pórticos que se interceptan ortogonalmente (efecto espacial). El programa PROCONST es uno de ellos.

Para ilustrar el efecto de la secuencia constructiva, se muestra en la figura 3-58 dos pórticos de 20 pisos, analizados con ETABS, junto con los momentos flectores en las vigas de sus últimos pisos.

En el pórtico de la izquierda no se ha considerado la secuencia constructiva y puede notarse que sobre el eje 1-B prácticamente no aparecen momentos negativos. Esto se debe en parte a que las deformaciones axiales y las rotaciones producidas en los niveles inferiores se van acumulando piso a piso, generando una distorsión en el diagrama de momentos en los últimos pisos.

En el pórtico de la derecha, donde se ha analizado el efecto de la secuencia constructiva, se considera que las deformaciones (rotaciones o desplazamientos verticales) producidas en los pisos construidos no generan esfuerzos sobre los pisos superiores que serán construidos posteriormente. Esto se debe a que en la realidad:

- Las columnas son construidas a plomo con lo cual se corrige la rotación del nudo inmediato inferior
- Las vigas son encofradas de manera horizontal, por lo que se compensa la pérdida de altura en las columnas, producida por su deformación axial.

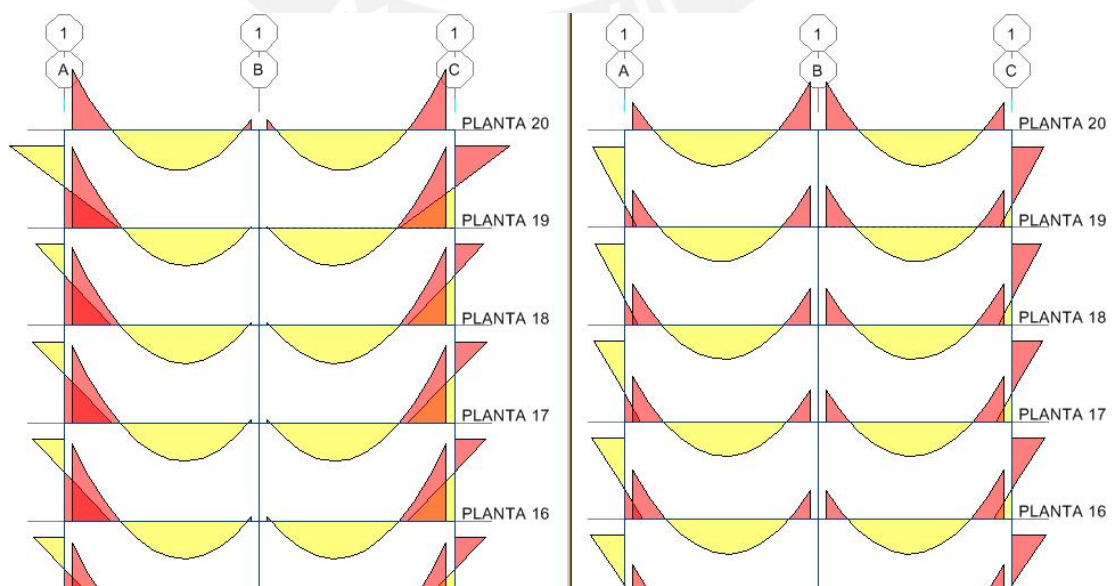


Figura 3-58.- Diagrama de momentos flectores en los últimos pisos de un pórtico de 20 pisos.

3.4.1 Secuencia Constructiva en ETABS

Para modelar la secuencia constructiva en ETABS, es necesario definir el orden en que serán construidos los elementos del edificio (columnas, vigas, losas, etc.) y las cargas que presentarán en cada etapa, en un caso de análisis, denominado de secuencia constructiva.

Para ello se deben crear grupos activos que consideren a los elementos de cada etapa de construcción. Estos grupos pueden ser creados de manera automática por el programa o de manera manual.

Se debe tener en consideración si se decide agrupar la estructura del edificio de manera manual, que cada grupo activo (o etapa) subsiguiente de construcción está conformado por los objetos del grupo previo y por los objetos del piso que se construye.

Es posible también que los objetos de un grupo activo sean removidos y asignados a una etapa siguiente, como ocurre por ejemplo en el caso de los puntales que controlan la deformación de una losa colaborante, mientras que el concreto está fresco. En un momento los puntales serán utilizados en un nivel y luego serán retirados de ese nivel y utilizados en el siguiente.

Los objetos removidos y agregados a una etapa posterior comienzan nuevamente con un estado inicial sin esfuerzos.

Casos de Secuencia Constructiva

El análisis de la secuencia constructiva es tratado por ETABS como un tipo especial de análisis estático no lineal, ya que la estructura puede estar sometida a deformaciones inelásticas.

Para crear un caso de secuencia constructiva es necesario en primer lugar definir todos los casos de carga estática que están presentes durante la construcción del edificio, previamente a la aplicación de las cargas en los elementos.

Posteriormente, se establecen los grupos activos que representarán las etapas de construcción del edificio. Es posible hacerlo de una manera automática, al indicar simplemente cada cuantos niveles se creará un grupo activo o de manera manual, definiendo qué elementos conforman el grupo activo para cada nivel del edificio.

Los casos de secuencia constructiva también pueden considerar efectos geométricos no lineales (efectos P-Delta).

Para definir un caso de secuencia constructiva debe llenarse en un formulario, como el mostrado en la figura 3-59, lo siguiente:

- El nombre del caso de secuencia constructiva.
- La consideración de los efectos geométricos no lineales (efectos P-Delta).

- El patrón de cargas presente en todas las etapas de construcción.
- Si los objetos de la estructura serán agrupados de manera automática por el programa o de manera manual.
- Si el caso es creado de manera automática, cada cuantos niveles el programa creará un grupo activo.
- Si el caso es creado de manera manual, para cada nivel un grupo previamente definido.

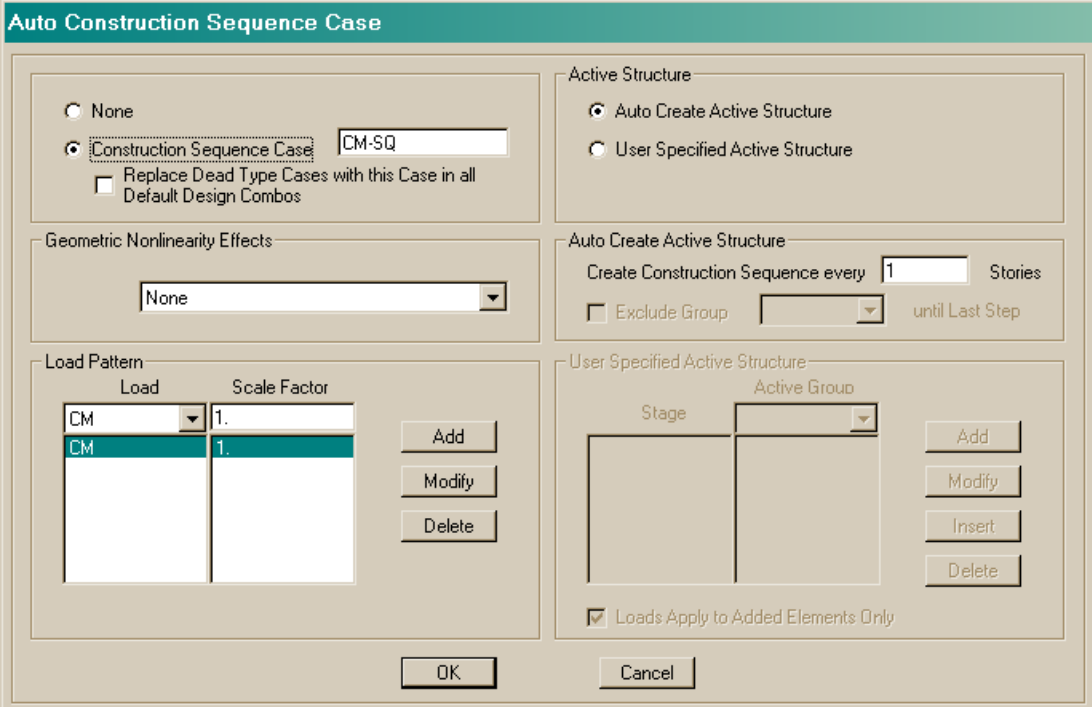


Figura 3-59.- Formulario de caso de secuencia constructiva.

3.5 Combinaciones de Casos de Carga

Una combinación de casos de carga es la composición de dos o más casos de carga individuales mediante factores de escala, que pueden ser positivos o negativos.

Con estas combinaciones se pueden superponer los desplazamientos, las reacciones, las fuerzas internas, etc. de los casos de carga individuales, con la finalidad de obtener solicitaciones de carga más desfavorables en los elementos y posteriormente realizar envolventes de carga que sean útiles para el diseño.

Con los casos de carga se pueden hacer combinaciones del siguiente tipo:

- **Adicionar (ADD)**

La combinación corresponde a la composición algebraica de los valores de los casos de carga involucrados.

- **Absoluto (ABS)**

La combinación corresponde a la suma de los valores absolutos de los casos de carga involucrados.

- **SRSS**

La combinación corresponde a la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los valores absolutos de los casos de carga involucrados.

- **Envolvente (ENVE)**

La combinación corresponde a los valores máximos de los casos de carga involucrados.

Para crear una nueva combinación se debe elegir los casos de carga involucrados, asignarles sus factores de escala y especificar alguno de los cuatro tipos de combinación.

El programa ETABS cuenta también por defecto con una serie de combinaciones, del tipo adicionar, que son útiles para el diseño de pórticos de acero y concreto, vigas compuestas y muros de corte, las cuales se pueden cargar fácilmente a la lista de combinaciones.

Las combinaciones con las que cuenta el programa por defecto varían según el código de diseño, por lo tanto es importante elegir el código de diseño antes de realizar la carga de las combinaciones y correr el análisis.

El programa por defecto realiza el diseño de los pórticos de concreto y muros de corte con el código del ACI 318-99 y el diseño de los pórticos de acero y vigas compuestas con el código AISC – LRFD93. Se puede sin embargo elegir otros códigos de diseño.

3.6 Pre Procesamiento

El pre procesador, es el entorno y el conjunto de herramientas que permiten el modelaje de cualquier edificio de una manera amistosa, rápida y sencilla. Una parte de él es la Interfase Gráfica del Usuario (IGU) en donde se encuentran: la Ventana

Principal del programa, la Barra de Título Principal, la Barra de Título de las Ventanas, la Barra de Menú, las Barras de Herramientas, la Barra de Estado, Sistema de Coordenadas usado por las Coordenadas del mouse y las unidades actuales. La figura 3-60 muestra el entorno de ETABS.

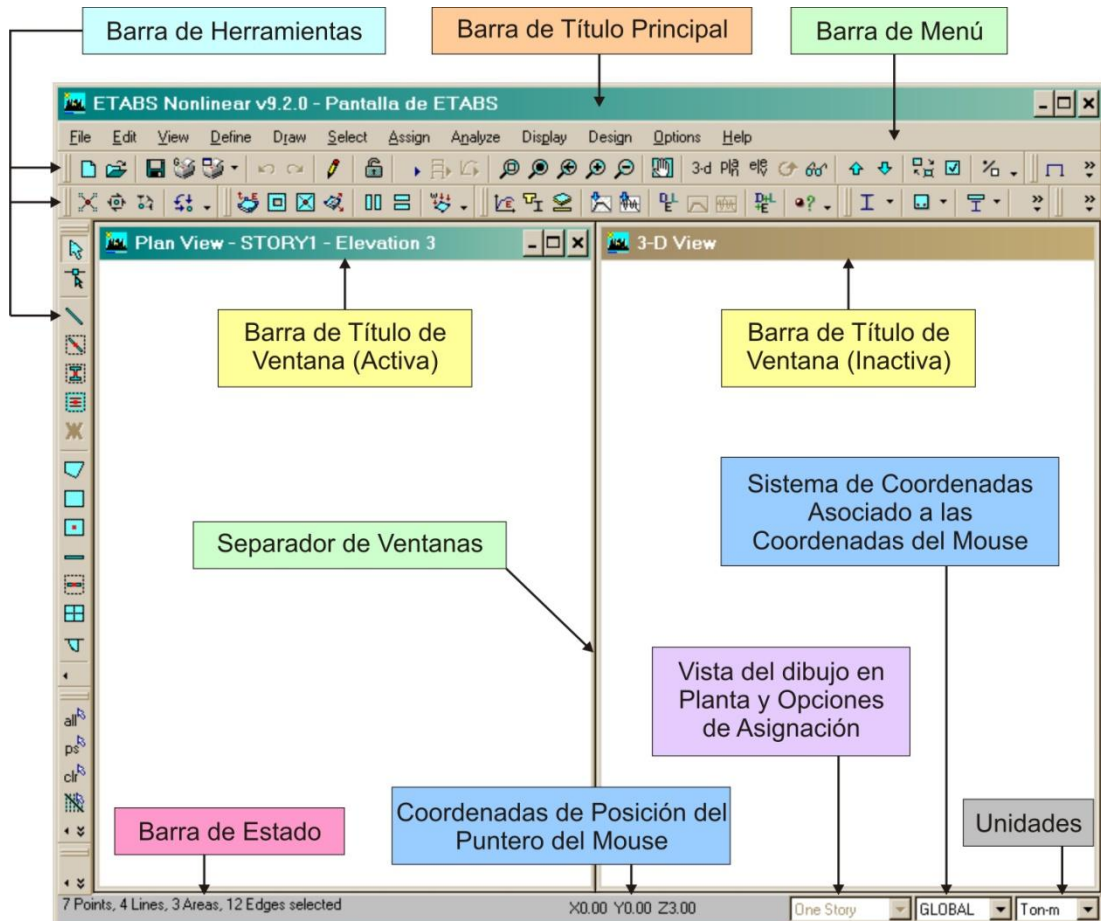


Figura 3-60.- Interfase gráfica del usuario del programa ETABS

ETABS permite importar definiciones y preferencias de algún archivo anterior, como propiedades de los materiales, tipos de secciones, funciones de análisis, casos de análisis, casos de carga, combinaciones de carga, etc.

Para contar con una distribución inicial de elementos se pueden utilizar las plantillas estándar de ETABS, que facilitan modelar edificios de cobertura metálica, armadura alternada, losa plana, losa plana con vigas perimetrales, losa tipo waffle y losa armada en dos sentidos (ver figura 3-61).

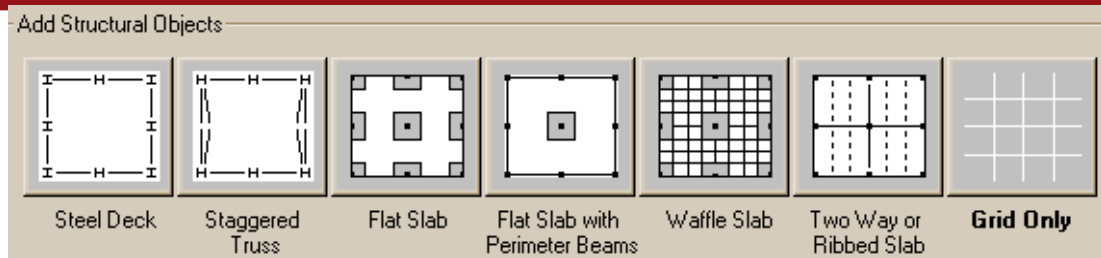










Figura 3-61.- Plantillas estándar de ETABS.

El entorno del pre procesador simplifica la creación y visualización de la estructura del modelo a través de ventanas.

Para modificar la plantilla inicial y continuar con la creación del edificio, se cuenta con comandos para replicar objetos , modificar los espaciamientos de la malla , modificar los alturas de los niveles de piso , visualizar el modelo (3D, planta o elevación , desplazar vistas , ampliar o reducir vistas  - , especificar límites de visualización, crear grupos de objetos, dibujar objetos de línea o de área para las diferentes vistas, capturar puntos mediante opciones de snap , seleccionar objetos, asignar propiedades de sección y visualizar múltiples ventanas de exhibición.

El pre procesador permite seleccionar elementos del modelo por: su tipo de sección, su tipo de objeto, el nivel en que se encuentran, el grupo al que pertenecen y hasta por el plano en el que pueden encontrarse

Cuando la ventana de exhibición activa muestra una vista en planta se puede elegir alguna de las tres opciones de ETABS para el dibujo y edición de elementos: one story, all stories, similar stories. De esta manera se puede controlar si las operaciones se harán sobre un piso, sobre todos los pisos o sobre los pisos similares.

A continuación se revisan algunas facilidades importantes del pre procesador:

- **Creación de materiales y secciones**






El pre procesador permite crear materiales de cualquier tipo y definir secciones para elementos tipo barra y tipo área de plantillas predefinidas, mediante la carga de archivos o por medio del sub programa “Diseñador de Secciones”.

- **Modelaje de elementos tipo barra**

Existen diferentes comandos de dibujo que permiten crear un elemento tipo barra para las diferentes vistas en pantalla.

Estos se muestran y detallan en la tabla 3-2.

Tabla 3-2.- Comandos de dibujo de elementos tipo barra

	Dibuja un objeto de línea en una vista en planta, elevación o 3D al definir sus extremos.
	Dibuja un objeto de línea en una vista en planta, elevación o 3D al hacer clic sobre una línea de malla con el botón izquierdo del mouse.
	Dibuja una columna en cualquier ubicación dentro de una vista en planta al hacer clic con el botón izquierdo del mouse.
	Dibuja vigas secundarias en una vista en planta dentro de una región limitada por líneas de malla.
	Dibuja diagonales en una vista en elevación dentro de una región limitada por líneas de malla.

Es posible asignar una rótula para liberar cualquier restricción al giro en los extremos de un elemento tipo barra. Esto permite modelar por ejemplo los elementos que conforman una armadura.






El pre procesador permite asignar longitudes de extremo rígido (brazos rígidos) para tomar en cuenta los traslapes de las secciones transversales de los elementos tipo barra que se conectan en un nudo, como ocurre por ejemplo en la unión de una columna y una viga.

- **Modelaje de elementos tipo área**

Existen diferentes comandos de dibujo que permiten crear un elemento tipo área para las diferentes vistas en pantalla.

Estos se muestran y detallan en la tabla 3-3.

Tabla 3-3.- Comandos de dibujo de elementos tipo área.

	Dibuja un objeto en cualquier ubicación dentro de área en una vista en planta, elevación o 3D al definir sus extremos.
	Dibuja áreas rectangulares en una vista en planta y elevación al definir dos esquinas opuestas.
	Dibuja áreas en una vista en planta y elevación dentro de una región limitada por líneas de malla al hacer clic con el botón izquierdo del mouse.
	Dibuja un muro en una vista en planta al definir sus extremos
	Dibuja un muro en una vista en planta sobre una línea de malla o entre dos nudos ya definidos.

- **Diafragma rígido**

El programa permite asignar un diafragma rígido tanto a objetos de punto como a objetos de área y también calcular automáticamente y visualizar su centro de masa.

- **Cargas**


Se pueden definir casos de carga y modelar diferentes tipos de carga, como: cargas de asentamiento, concentradas, distribuidas, temperatura y de viento.

El pre procesador permite añadir, reemplazar o eliminar cualquier tipo de carga y mostrarla en pantalla para un caso de carga en particular las asignaciones realizadas.

- **Visualización de datos de entrada**

Los datos se pueden visualizar en pantalla, por medio de gráficos, de tablas (que se pueden copiar a Excel) o por medio de archivos de texto.

- **Visualización gráfica**

El pre procesador permite visualizar a través del formulario de opciones de vista del edificio , de la figura 3-62, opciones como:

- Los elementos del edificio con los colores correspondientes a: los tipos de objeto, materiales, secciones, grupos y el tipo de diseño asignado.
- Los tipos de objetos presentes en las ventanas de visualización.
- Los nombres de las secciones asignadas a los elementos del modelo.
- Los ejes locales de los elementos.
- Los nombres de las etiquetas de los Pier y Spandrel.
- Las rótulas y brazos rígidos asignados.
- Efectos de relleno y extrusión de las secciones.

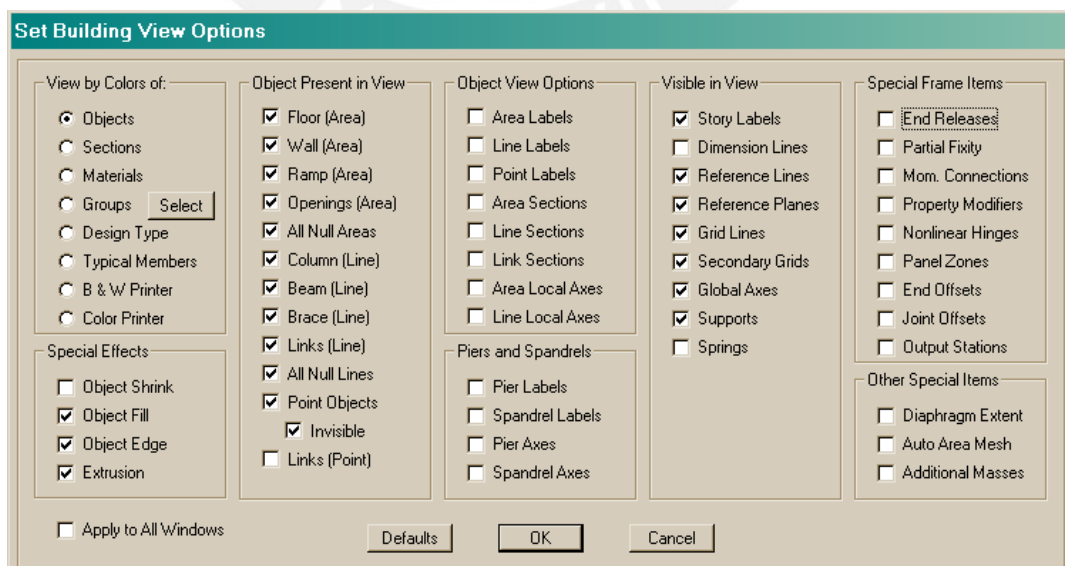


Figura 3-62.- Formulario de las opciones de vista del edificio.

3.7 Procesamiento

En la etapa de Procesamiento el programa analiza el modelo y genera automáticamente un archivo de registro que se identifica por la extensión “LOG”. Este archivo contiene todo el proceso del análisis junto con las advertencias y mensajes de error que se pudieran presentar, por lo tanto es importante revisarlo cuidadosamente antes de visualizar los resultados del análisis.




3.8 Post Procesamiento

El Post Procesamiento recoge los resultados del Procesamiento y permite mostrarlos directamente en la pantalla del programa de manera tabular o en archivos de texto.

3.8.1 Visualización de Resultados en Pantalla

Los resultados del análisis pueden ser mostrados en pantalla por medio de: gráficos, tablas o el trazo de funciones.

Visualización Gráfica

Se puede visualizar gráficamente las deformadas correspondientes a un caso de carga , las formas modales , las reacciones en la base, las fuerzas internas en los objetos de línea , y la representación (en colores) de la distribución de fuerzas y esfuerzos en los objetos de área.

La deformada de un caso de carga y las formas modales pueden mostrarse de manera animada y además ser escaladas por un factor (negativo o positivo).

Se puede ver en pantalla los valores de los desplazamientos y rotaciones en los nudos (al hacer clic sobre ellos con el botón derecho del mouse).

Visualización Tabular

Se puede visualizar de manera tabular, en una ventana independiente, los desplazamientos, rotaciones y reacciones en los nudos, los modos del edificio, las fuerzas internas en los elementos, etc. Las opciones de selección se muestran en la figura 3-63.

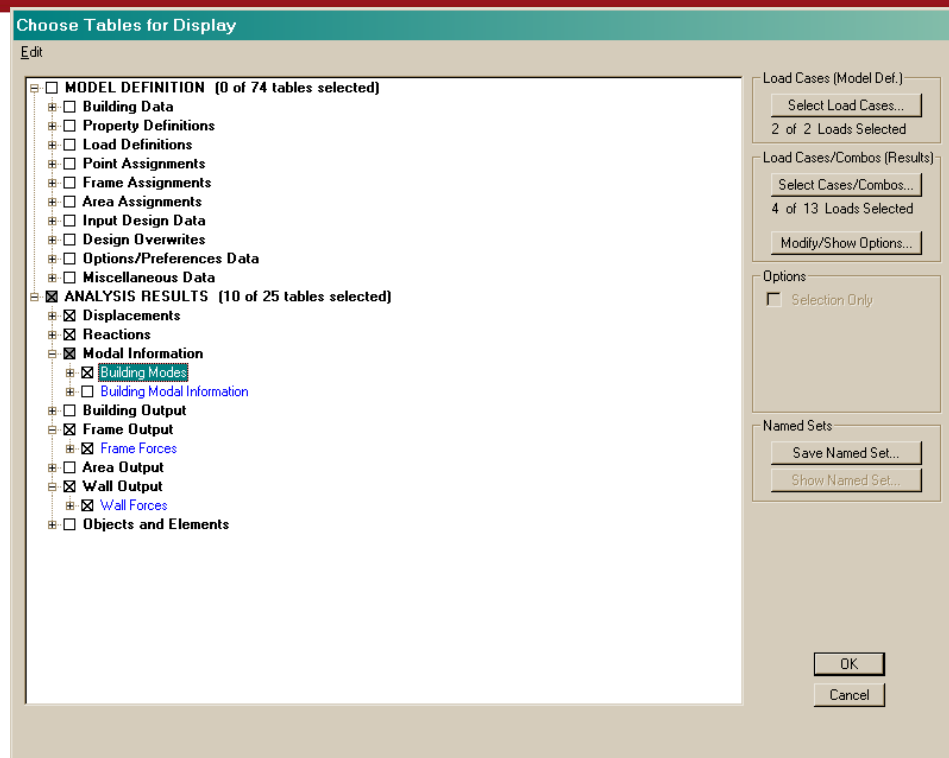





Figura 3-63.- Formulario de resultados del análisis del modelo.

Esta información puede ser mostrada para todos los elementos de la estructura o sólo para algunos elementos seleccionados y posteriormente ser copiada a Excel.

Trazo de Funciones

Las funciones generadas después del análisis que pueden ser trazadas son: las curvas espectrales de respuesta , las trazas de tiempo-historia  y las curvas Estáticas de Pushover .

3.8.2 Visualización de Resultados en Archivos de Texto

El programa ETABS guarda la información de los resultados del análisis en archivos de texto, que podrán ser impresos directamente o visualizados en pantalla. Existen dos tipos de archivos de resultados:

Archivo con Extensión OUT

Se crea automáticamente después de la ejecución del análisis y se identifica porque tiene el mismo nombre del modelo y la extensión “OUT”.

Este archivo muestra información de todo el modelo, relativa a: restricciones, grados de libertad de desplazamiento, masas en los nudos, períodos y frecuencias modales, factores de participación modal, porcentaje de masa de participación modal, porcentaje de participación de carga modal, balance de fuerza, etc.

Archivo con Extensión TXT

Como una opción a la impresión de las tablas de resultados, se puede crear un archivo de texto que contenga los resultados seleccionados que se desean mostrar, como por ejemplo: información relativa a desplazamientos y reacciones en los nudos, fuerzas en los elementos, modos del edificio, etc.

3.9 Diseño en Concreto Armado

El programa ETABS, después de correr el análisis es capaz de realizar el diseño a flexo compresión y corte de los pórticos y muros de corte de concreto armado, para las combinaciones de diseño elegidas.

A través del diseño, ETABS calcula los requerimientos de acero longitudinal y transversal y verifica si las secciones asignadas son apropiadas.

Este proceso es iterativo, e inicia con el pre dimensionamiento de las secciones y la colocación de una armadura inicial, que serán chequeadas por el programa para verificar que cumplan con los requisitos mínimos que el código de diseño elegido exige cada vez que se corra el diseño. En el caso de tener secciones insuficientes, el programa permite realizar modificaciones en la sección de los elementos, la resistencia de los materiales, los requerimientos de ductilidad, en los coeficientes que afectan la resistencia de la sección o en ciertos factores de diseño que varían según el código elegido, etc., a fin de cumplir con estos requisitos.

El programa cuenta con diversos códigos para el diseño de pórticos de concreto armado y muros de corte, como por ejemplo los códigos: ACI 318-05/IBC 2003, ACI 318-02, ACI 318-99, UBC 97, BS8110 89, BS8110 97, CSA-A23.3-94, Indian IS 456-2000, etc. La Norma Peruana no está incluida dentro de los códigos predeterminados, sin embargo, se puede cumplir con muchos de sus requerimientos modificando ligeramente los parámetros del código ACI 318-99.

3.9.1 Diseño de Pórticos de Concreto Armado

El diseño de pórticos de concreto armado comprende al diseño de vigas y al diseño de columnas.

Diseño de Vigas

El programa puede diseñar secciones de vigas T y rectangulares.

Para su diseño, se deberá utilizar la envolvente de las combinaciones de los casos de carga, a fin de trabajar con las solicitaciones máximas a lo largo de ella.

Para el diseño del refuerzo longitudinal, primero se calcula la resistencia nominal de

la sección con un refuerzo a tracción y se verifica si es mayor a la demandada por los momentos flectores provenientes de la envolvente, en caso de ser menor, se calcula el refuerzo en compresión necesario.

Para el diseño del refuerzo transversal o de corte (estribos), el programa calcula primero la resistencia al corte del concreto y verifica si es mayor a la demandada por las fuerzas cortantes provenientes de la envolvente. Si es menor, calcula la diferencia de resistencia que deberá ser aportada por los estribos y posteriormente el área de acero necesaria como una cuantía, en unidades de Longitud²/Longitud. Si la resistencia al corte del concreto es mayor a la resistencia demandada, el programa calcula la cuantía de acero mínimo que deberá colocarse a lo largo de la viga.

En la figura 3-64 y en la figura 3-65 se muestran el diagrama de deformaciones y de esfuerzos utilizado por el ACI y la Norma Peruana, para el cálculo de la resistencia de diseño de vigas con secciones rectangulares y T.

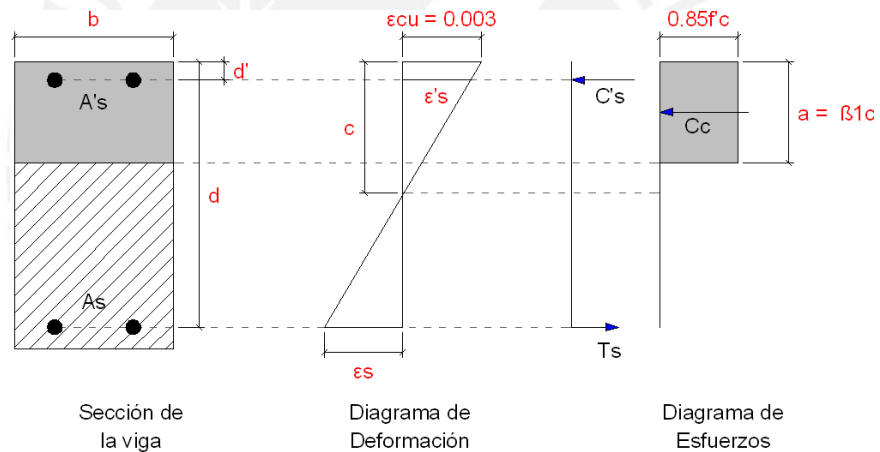


Figura 3-64.- Diagramas de deformaciones y esfuerzos de una sección de viga rectangular.

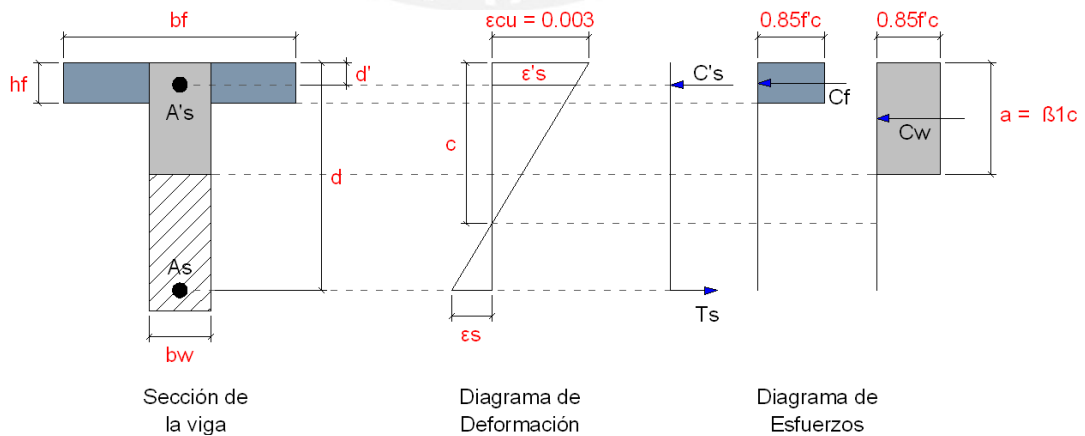


Figura 3-65.- Diagramas de deformaciones y esfuerzos de una sección de viga T.

Diseño de Columnas

El programa puede calcular el acero longitudinal requerido de una sección o chequear la capacidad de la sección para un acero longitudinal especificado, en términos de la Razón de Capacidad (RC), que es un factor que indica la condición de esfuerzos de la columna, con respecto a su capacidad. Para que una sección sea diseñada directamente, se debe indicar al momento de ser creada, que su refuerzo será diseñado, de lo contrario, será chequeado por medio de la RC.

El procedimiento de diseño de columnas que realiza el programa, consta de los siguientes pasos:

- La generación de una superficie o volumen de interacción de la fuerza axial y los momentos flectores biaxiales para una sección deseada, como la mostrada en la figura 3-66.

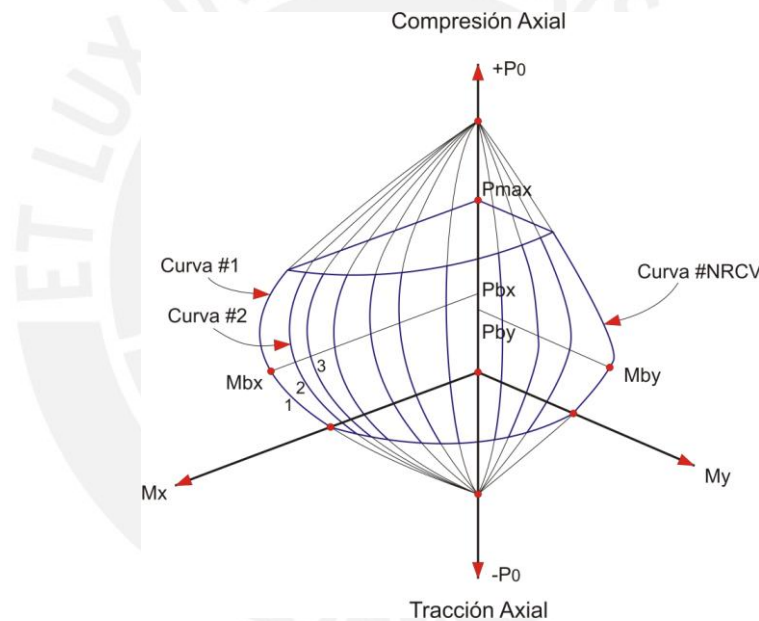


Figura 3-66.- Superficie de interacción para fuerza axial y momentos flectores biaxiales.

- El chequeo de la capacidad de la columna, con las combinaciones factorizadas de fuerza axial y momentos flectores de los casos de carga, en ambos extremos de la columna. En este paso, también se calcula el refuerzo longitudinal requerido (si no ha sido especificado) con una RC de 1, o en su defecto la RC de la columna con el refuerzo especificado.

El chequeo de la capacidad está basado en si los puntos de la carga de diseño se encuentran dentro del volumen de interacción, para lo cual se tendrá una sección adecuada y una $RC < 1$, sin embargo, si algún punto se encuentra fuera del volumen de interacción la columna estará sobre esforzada y el programa tendrá que calcular la RC, que es mayor a 1, por medio del cociente

entre la demanda de capacidad (OL) y la capacidad de la columna (OC), $RC = OL / OC$, tal como se ilustra en la figura 3-67.

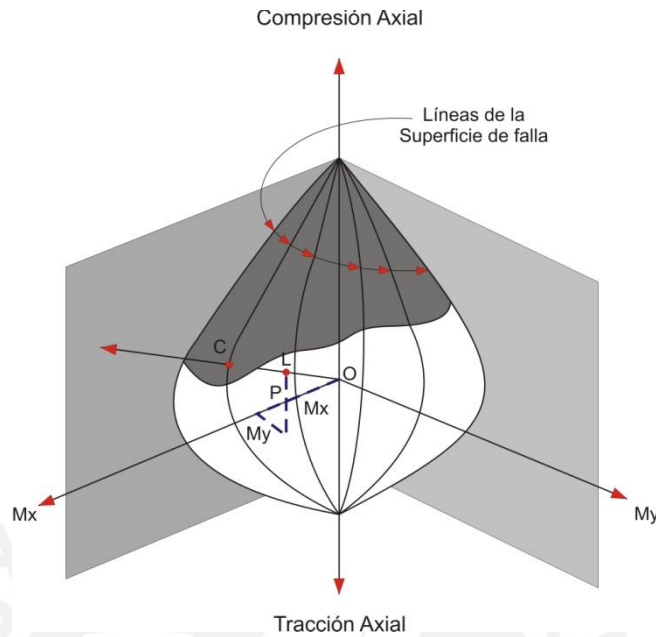


Figura 3-67.- Superficie de interacción para el cálculo de la razón de capacidad de secciones sobre esforzadas.

- El diseño del refuerzo por corte, de manera similar al de una viga, pero tomando en cuenta el efecto de la fuerza axial en la capacidad de corte del concreto.

En la figura 3-68 se muestra el diagrama de deformaciones y de esfuerzos utilizado por el ACI y la Norma Peruana, para el cálculo de la resistencia de diseño de una columna.

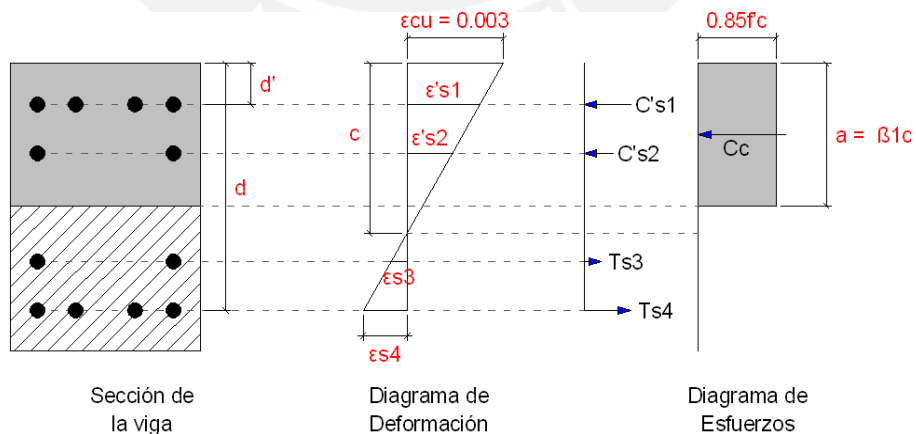


Figura 3-68.- Diagramas de deformaciones y esfuerzos de una sección de columna.

3.9.2 Diseño de Muros de Corte

Al igual que en las columnas, el programa puede diseñar o chequear la sección de un muro de corte.

Para el diseño de muros de corte, se deberá asignar etiquetas de muro pier (a los elementos verticales) y spandrel (a los elementos horizontales) a los objetos de área o línea que conforman los muros de corte.

El programa, a partir de las combinaciones de los casos de carga que se consideren críticos para el diseño, calcula las cuantías de acero requeridas, para su comportamiento a flexión (refuerzo vertical) y corte (refuerzo horizontal).

Sin embargo, es posible utilizar el sub programa “Diseñador de Secciones”, que permite dibujar la sección del muro de corte y asignarle un acero vertical tentativo, que podría ser el recomendado por las cuantías que calcula directamente ETABS, a fin de obtener la superficie de interacción, que indica la capacidad de la sección.

A partir de esta superficie de interacción, se puede realizar el chequeo de la capacidad del muro de corte, con las combinaciones factorizadas de fuerza axial y momentos flectores de los casos de carga, como en el caso de las columnas.



4 EJEMPLO ILUSTRATIVO

4.1 Análisis Espectral de Respuesta de un Edificio de Concreto Armado

4.1.1 Objetivo

Mostrar la aplicación de las herramientas que ofrece el programa para realizar la creación del modelo, el análisis y el diseño de los elementos en concreto armado de un edificio.

4.1.2 Descripción de la Estructura

El edificio mostrado en la figura 4-1 es de concreto armado, cuenta con 10 pisos y 2 sótanos y está ubicado en el distrito de Surco, en una zona en donde el suelo puede ser considerado como rígido.



Figura 4-1.- Perspectiva del edificio Pinar I.

Presenta en la dirección X y Y un sistema sismorresistente conformado principalmente por muros de corte. Es irregular en planta por la presencia de esquinas entrantes en los pisos típicos, tal como se muestra en la figura 4-2.

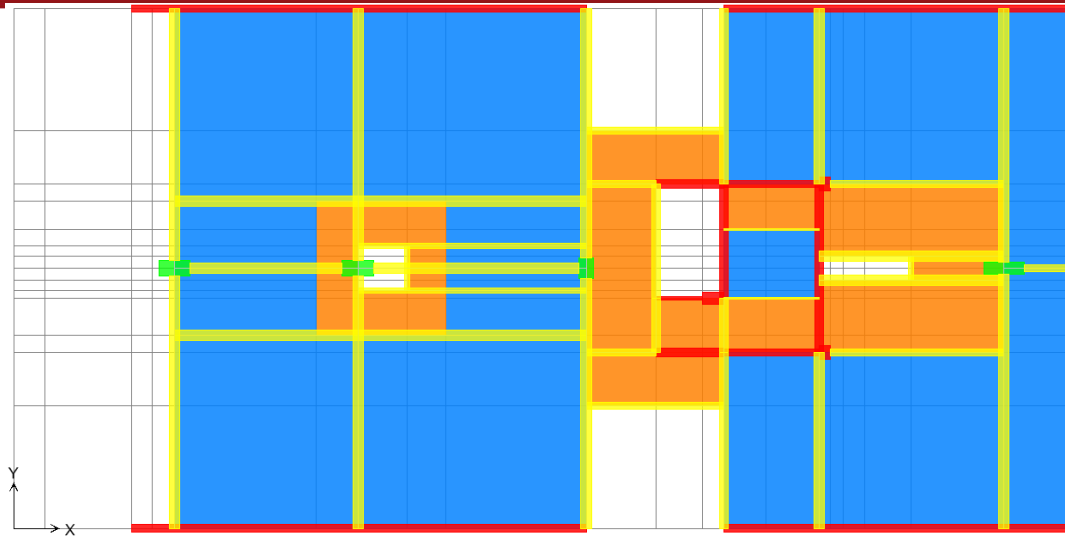


Figura 4-2.- Planta típica del edificio

Las losas de color azul, que se aprecian en la figura 4-2, son aligeradas de 25 cm. de espesor y las losas anaranjadas son macizas de espesor variable, entre 15 y 25 cm.

Los dos sótanos y las dos primeras plantas se han destinado para el uso de estacionamientos y las plantas superiores para el uso de oficinas. Sobre el piso 10 se encuentra el tanque elevado y el cuarto de máquinas del ascensor.

4.1.3 Modelo Estructural

Para la elaboración del modelo estructural (detallado en el capítulo 5) se utilizó la versión **9.2.0** del programa ETABS y se tomó en cuenta:

- Anular la rigidez a torsión de las vigas, por medio del coeficiente **1E-5**, dentro de sus propiedades de sección.
- Utilizar como espesor de los objetos de área tipo losa un espesor muy pequeño, igual a $1 * 10^{-4}$, para anular su peso propio, el mismo que se asignará directamente de manera manual como una carga por unidad de área. Para el caso de losas aligeradas es necesario aplicar este artificio, pues los materiales que la conforman tienen distintos pesos específicos.
- Asignar las liberaciones de momento en los extremos de las secciones de viga que se encuentren apoyadas en otras vigas o apoyadas en muros perpendiculares a ellas.
- Relacionar los grados de libertad de todos los nudos, en cada nivel, para simular un comportamiento de diafragma rígido.
- Restringir las traslaciones horizontales (X, Y) y la rotación vertical (Z) en las plantas de los sótanos para modelar el confinamiento del terreno que los

circunda.

- Definir que la fuente de masa del edificio proviene de las cargas asignadas a través de los diferentes casos de carga.
- Asignar para el análisis dinámico, 3 modos dinámicos por cada planta del edificio, sobre el nivel del terreno. De esta manera se asignó $3 \cdot (10+2) = 36$ modos dinámicos.

En la figura 4-3 se muestra el modelo tridimensional del edificio.

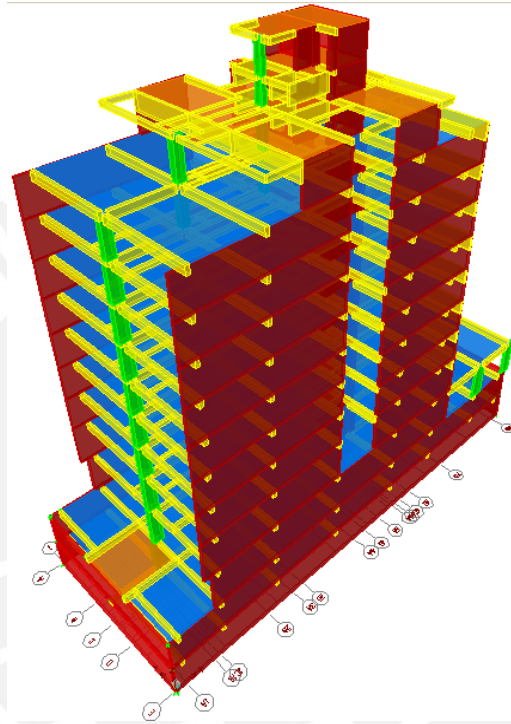


Figura 4-3.- Modelo tridimensional del edificio.

4.1.4 Análisis Espectral de Respuesta (Norma Peruana E.030)

Para obtener el espectro de aceleraciones, se utilizaron los siguientes parámetros indicados en la Norma Sismorresistente E.030:

- Factor de Zona (**Z**):
Ubicación del edificio: Lima (**Zona 3**) $\rightarrow Z = 0.40$.
- Parámetros del Suelo (**T_p** y **S**):
Suelo rígido (**Tipo S₁**) $\rightarrow T_p = 0.40$ s y **S** = 1.0. **T_p** es el período que define la plataforma del espectro para cada tipo de suelo y **S** es el factor de amplificación del suelo.
- Factor de Amplificación Sísmica (**C**):
C = $2.5 \cdot (T_p / T)$; **C** \leq 2.5

- Coeficiente de Uso e Importancia (**U**):
Edificación común para uso de oficinas (Categoría C) → **U = 1.0**.
- Coeficiente de Reducción de Solicitaciones Sísmicas (**R**):
Sistema de muros estructurales de concreto armado → **R = 6**. Por la irregularidad en planta, el coeficiente **R**, se reduce a $\frac{3}{4} \cdot 6 = 4.5$.

En la figura 4-4 se muestra el gráfico del espectro inelástico de pseudo aceleración utilizado en ambas direcciones horizontales (X y Y) y definido por $S_a = Z \cdot U \cdot C \cdot S \cdot g / R$, en donde **g** es la gravedad (9.80665 m/s^2).

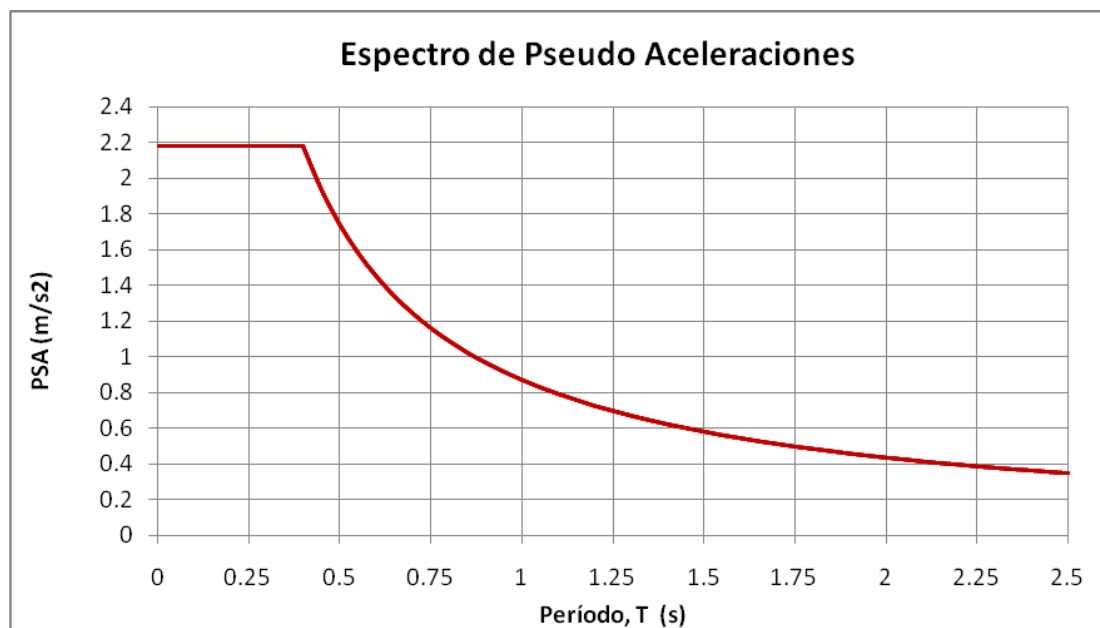


Figura 4-4.- Espectro de pseudo aceleración.

Evaluación de Resultados

El programa permite mostrar de manera tabular para los casos de carga elegidos:

- El desplazamiento de los centros de masa y el desplazamiento en todos puntos, ya sean traslacionales o rotacionales, con lo cual es posible calcular la junta de separación sísmica.
- Los desplazamientos relativos de entrepiso (Drifts), que podrán ser comparados con los límites permitidos en la Norma Peruana.
- Las reacciones en los apoyos.
- Las fuerzas cortantes de piso del análisis dinámico, de donde se podrá obtener el cortante basal, necesario para calcular el factor de escala de los resultados de este análisis.
- La información modal, como por ejemplo la razón de masa modal participante, necesaria para identificar los períodos máximos en cada dirección.

- Las fuerzas internas de los elementos de pórtico (vigas y columnas), como la fuerza axial, cortante y momentos flectores.
- Las fuerzas internas de los elementos de área con etiquetas Pier y Spandrel.

De manera gráfica, ETABS puede mostrar entre otras cosas, para un caso de carga, la deformada de la estructura, la forma de los modos y las fuerzas internas en los elementos.

Para el caso de carga de secuencia constructiva, tanto la deformada como las fuerzas internas se pueden visualizar para las diferentes etapas de construcción. En la figura 4-5 se muestra el diagrama de momentos para la etapa 10 de construcción del caso de carga de secuencia constructiva.

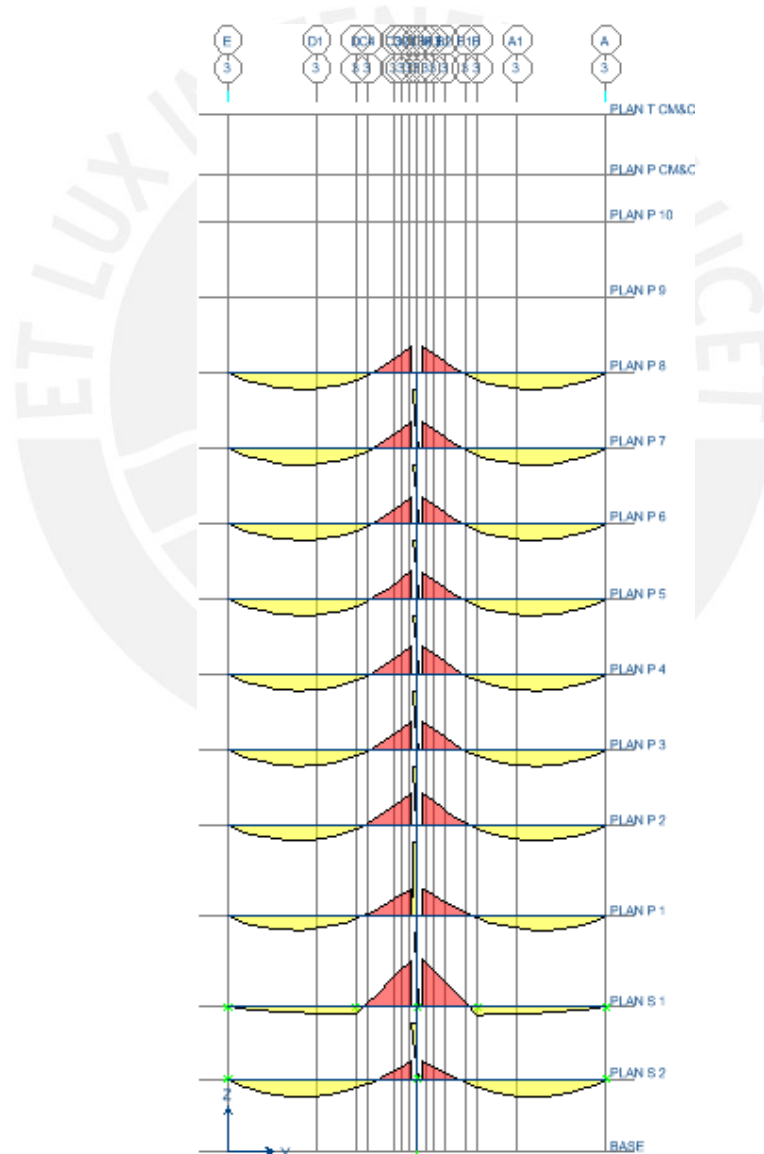


Figura 4-5.- Diagrama de momentos flectores, para la etapa 10 del caso de carga de secuencia constructiva.

5 GUÍA PARA EL MODELAJE, ANÁLISIS Y DISEÑO DE ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO EN ETABS

En este capítulo se va a desarrollar paso a paso en ETABS, el modelo del edificio presentado en el capítulo 4 (Ejemplo Ilustrativo).

5.1 Etapa de Pre Procesamiento

Para la creación del modelo estructural, se ha utilizado la versión **9.2.0** del programa ETABS.









En esta etapa, se recomienda trabajar de una manera ordenada, siguiendo las instrucciones indicadas en los pasos que se desarrollan a continuación.

Debido a que en cada paso, sería engorroso y poco didáctico estar repitiendo las mismas instrucciones en más de un elemento del modelo, se ha preferido complementar su creación a través de archivos con extensión “EDB”, que deberán ser abiertos antes de continuar con el paso siguiente.

Los archivos de los pasos se encuentran en el CD, dentro del Anexo B, en la carpeta “Archivos del Modelo” > Pasos del Modelo ETABS.

Antes de iniciar es recomendable familiarizarse con la nomenclatura de los elementos que conforman un formulario de ETABS, mostrados en la tabla 5-1.

Tabla 5-1.- Elementos de los formularios de ETABS.

	Cuadro
	Casilla de verificación
	Cuadro de texto
	Botón de comando
	Botón de opción
	Cuadro de lista
	Cuadro combinado
	Barra de desplazamiento


5.1.1 Creación del Modelo Estructural en ETABS

PASO 1. Creación de las líneas de malla y definición de la información de los pisos

La malla del modelo se puede crear:

- Importando las líneas de malla, directamente desde un archivo de AutoCAD, con extensión “DXF”.
- Mediante su definición directa, al momento de iniciar la creación del modelo del edificio.
- Editando posteriormente la malla que muestra el programa por defecto.

Para el ejemplo, la malla del edificio se va a definir al momento de iniciar la creación del modelo. Para facilitar esta operación, se va a copiar la información de sus coordenadas desde un archivo de Excel, de la siguiente manera:

- Ingresar al menú **File > New Model** () y presionar el botón de comando **NO**.
- En la ventana **Building Plan Grid System and Story Data Definition**, elegir dentro de la lista del cuadro **Units**, las unidades **Ton-m**. Dentro del cuadro **Grid Dimensions (Plan)**, seleccionar la opción **Custom Grid Spacing** y presionar el botón de comando **Edit Grid**, para abrir la ventana **Define Grid Data**.
- Abrir el archivo “**MALLA.xls**” que se encuentra en el CD, dentro del Anexo B, en la carpeta “Archivos del Modelo” y copiar los datos coloreados de marrón en la celda superior izquierda del cuadro **X Grid Data** de la ventana abierta de ETABS. Repetir el último paso, pero ahora pegar los datos coloreados de azul dentro del cuadro **Y Grid Data**. En la figura 5-1 se muestra la ventana de definición de las líneas de malla.

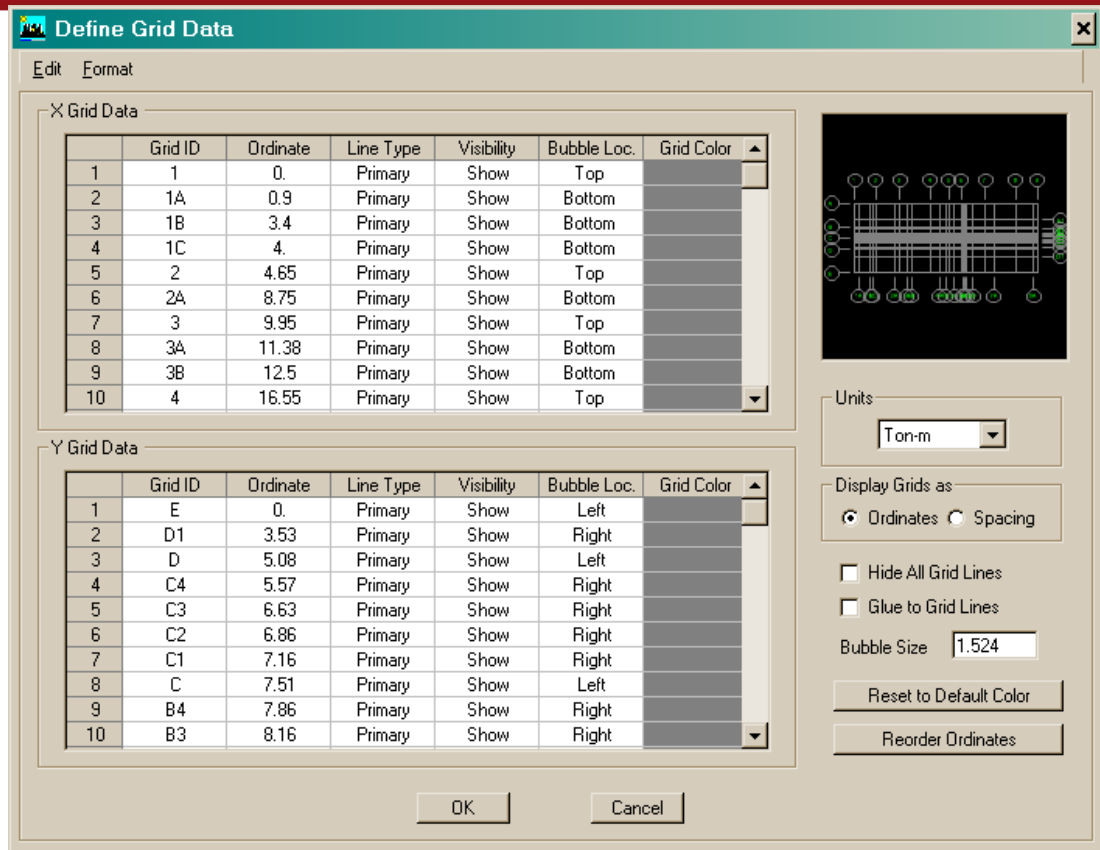


Figura 5-1.- Ventana de definición de las líneas de malla.

Para definir la información de los pisos, dentro de la ventana **Building Plan Grid System and Story Data Definition**:

- Dentro del cuadro **Story Dimensions**, verificar que esté activada la opción **Simple Story Data**. Escribir **14** en el cuadro de texto **Number of Stories** y **2.88** en los cuadros de texto restantes (**Typical Story Height** y **Bottom Story Height**), tal como se muestra en la figura 5-2. En este caso **14** representa la cantidad de pisos del edificio incluyendo los sótanos y **2.88** la altura promedio de los sótanos.

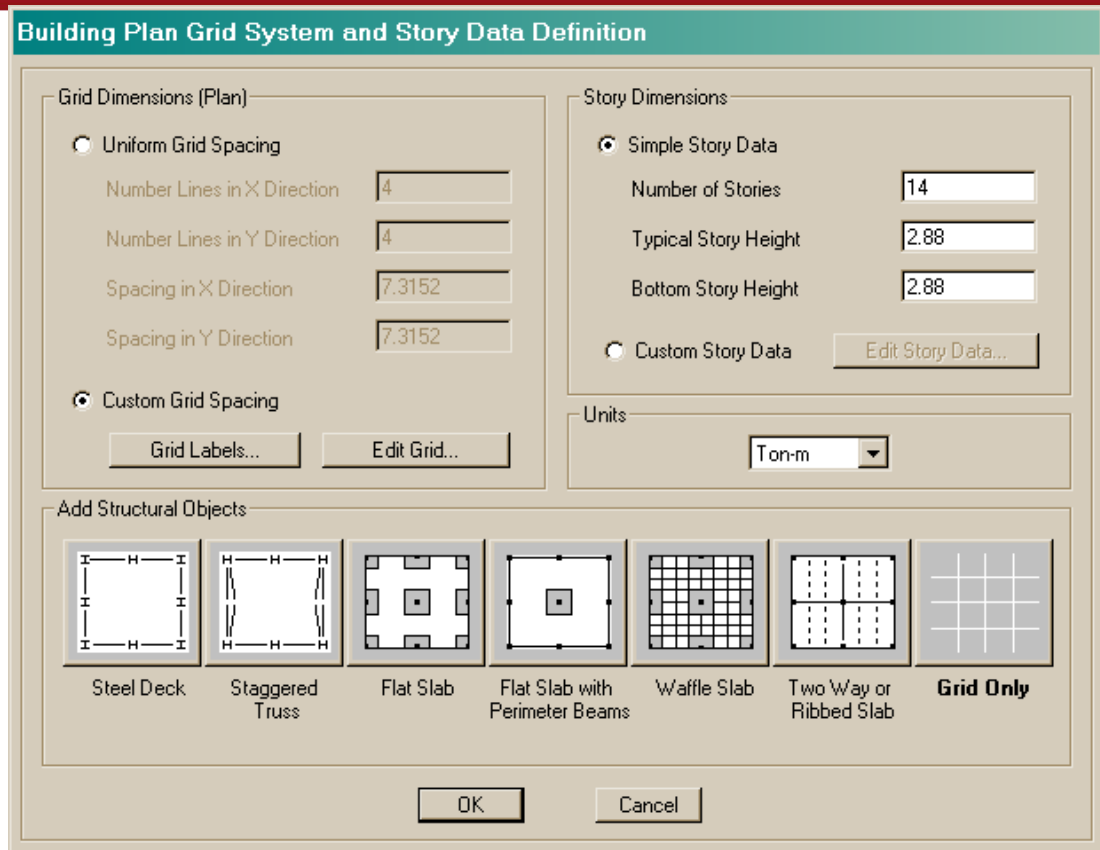


Figura 5-2.- Ventana de definición de la malla y pisos del modelo.

- Dentro del cuadro **Story Dimensions**, seleccionar la opción **Custom Story Data** y presionar el botón de comando **Edit Story Data**.
- En la ventana **Story Data**, copiar la información de la figura 5-3.

Story Data

	Label	Height	Elevation	Master Story	Similar To	Splice Point	Splice Height
15	PLAN T CM&C	2.4	41.21	Yes		No	0.
14	PLAN P CM&C	1.85	38.81	No	NONE	No	0.
13	PLAN P10	3.	36.96	No	NONE	No	0.
12	PLAN P9	3.	33.96	No	NONE	No	0.
11	PLAN P8	3.	30.96	No	PLAN P3	No	0.
10	PLAN P7	3.	27.96	No	PLAN P3	No	0.
9	PLAN P6	3.	24.96	No	PLAN P3	No	0.
8	PLAN P5	3.	21.96	No	PLAN P3	No	0.
7	PLAN P4	3.	18.96	No	PLAN P3	No	0.
6	PLAN P3	3.	15.96	Yes		No	0.
5	PLAN P2	3.6	12.96	No	NONE	No	0.
4	PLAN P1	3.6	9.36	No	NONE	No	0.
3	PLAN S1	2.88	5.76	No	NONE	No	0.
2	PLAN S2	2.88	2.88	No	NONE	No	0.
1	BASE		0.				

Reset Selected Rows

Height:

Master Story:


Similar To:


Splice Point:

Splice Height:

Units: Change Units

Figura 5-3.- Ventana de definición de los pisos.


Nota: En caso de que se requiera modificar la definición inicial de las líneas de malla, como por ejemplo, cuando hay que añadir, borrar o cambiar el espaciamiento de alguna de ellas, se podrá ingresar al menú **Edit > Edit Grid Data > Edit Grid** (), presionar el botón de comando **Modify/Show System** y realizar las modificaciones de manera manual.

Para modificar la información de los niveles de piso, ingresar al menú **Edit > Edit Story Data > Edit Story** ().

En el archivo **Paso 1_Malla y Pisos.EDB**, se encuentran las instrucciones realizadas en este paso.

PASO 2. Definición de las propiedades del material

Para definir las propiedades del material concreto armado, modificaremos las propiedades del material **CONC**, que se encuentra dentro de la lista de materiales por defecto de ETABS, para ello:

- Seleccionar las unidades **Ton-m** (Ton-m ▾), en la parte inferior derecha de la pantalla.
- Ingresar al menú **Define > Material Properties** ().
- Elegir el material **CONC** y apretar el botón de comando **Modify/Show Material**.
- Definir en la ventana **Material Property Data** las propiedades para el análisis y diseño, tal como se muestra en la figura 5-4.

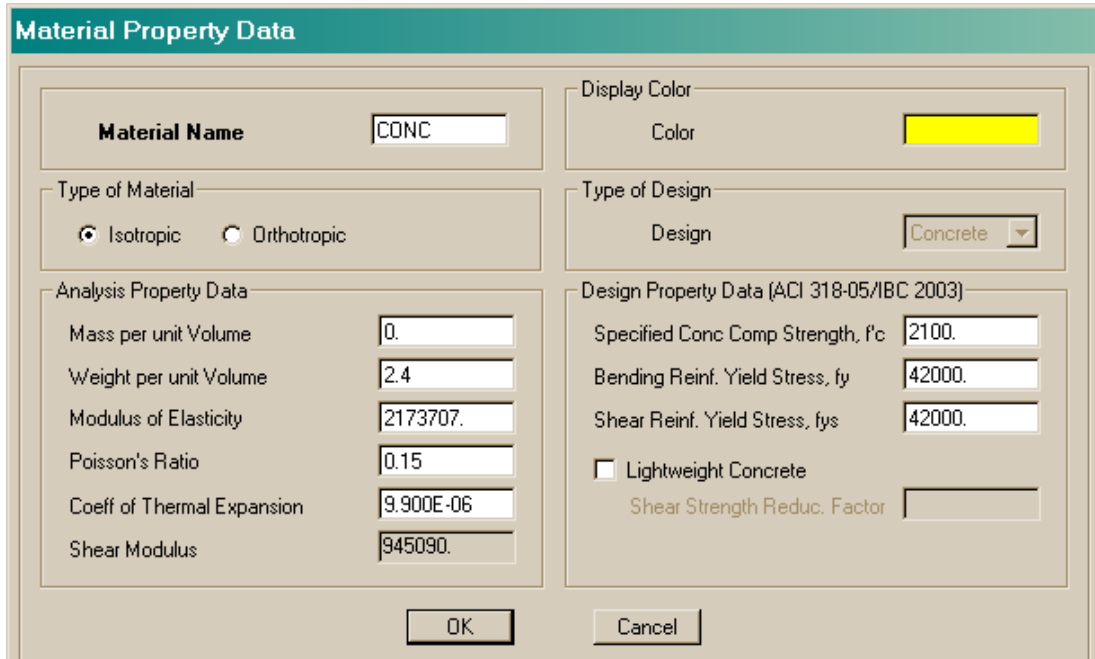



Figura 5-4.- Ventana de definición de las propiedades del material (concreto armado).

El archivo **Paso 2_Material.EDB**, comprende al paso previo e incluye la instrucción realizada en el paso 2.


PASO 3. Definición de las secciones de los elementos tipo barra (Columnas y Vigas)

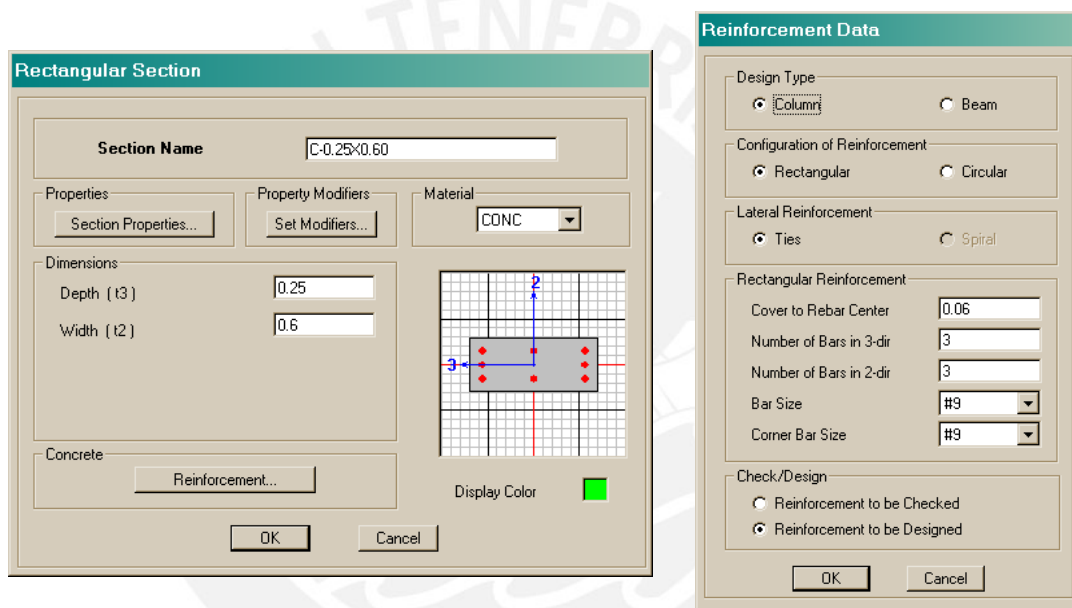
Las secciones de los elementos tipo barra (columnas y vigas) se definen a través del menú **Define > Frame Sections**, o del botón de comando  (**Define Frame Sections**).

Recomendación: Al abrir la ventana **Define Frame Properties**, se muestra la lista de secciones que el programa tiene por defecto. Es recomendable, aunque no indispensable, borrar todas estas secciones antes de definir las secciones del modelo, ya que con ello se simplifica su posterior asignación.

Definición de secciones de las columnas:

A manera de ejemplo se define la sección de la columna de **0.25 x 0.60 m**:

- Presionar el botón de comando  (**Define Frame Sections**), ubicar el cuadro de lista para añadir secciones y seleccionar la opción **Add Rectangular**.
- En la ventana Rectangular Section:
 - Definir el nombre de la sección, las dimensiones y el material, como se muestra en la figura 5-5a.
 - Presionar el botón de comando **Reinforcement**, para especificar la distribución del acero de refuerzo y llenar la ventana **Reinforcement Data**, como se muestra en la figura 5-5b.



a.- Ventana de definición de propiedades de la sección.

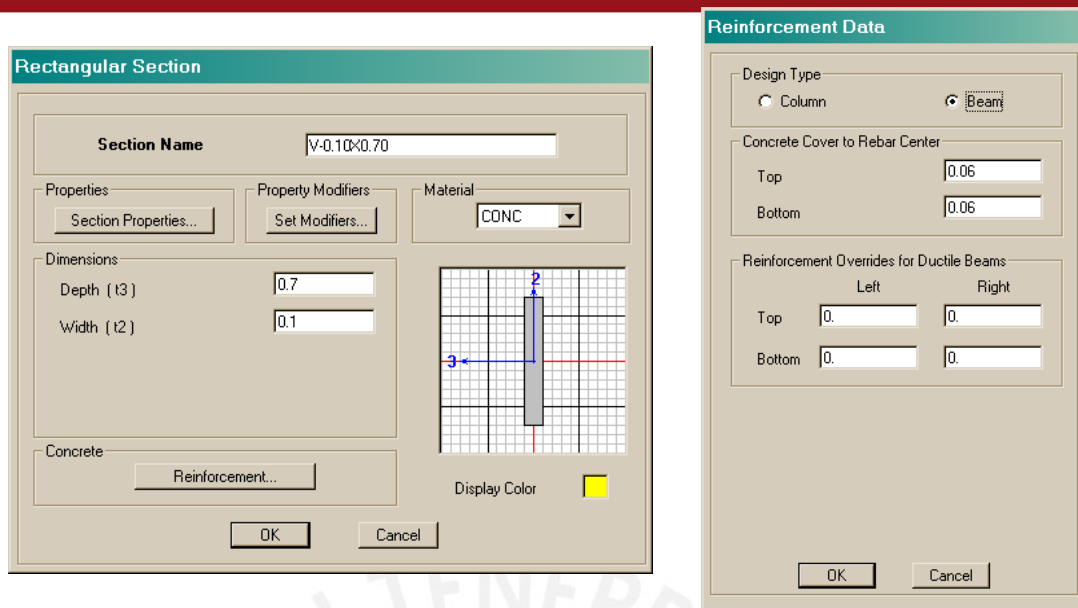
b.- Definición del acero de refuerzo.

Figura 5-5.- Definición de una columna con sección rectangular.

El archivo **Paso 3a_DefColumnas.EDB**, comprende a los pasos previos e incluye la definición de las demás secciones de columna.

Definición de secciones de las vigas:

Para el caso de la sección de la viga de **0.10 x 0.70 m**, se define el nombre de la sección, las dimensiones y el material de manera similar al caso de la columna, como se muestra en la figura 5-6a. En la figura 5-6b, se muestra la definición del refuerzo de la viga.



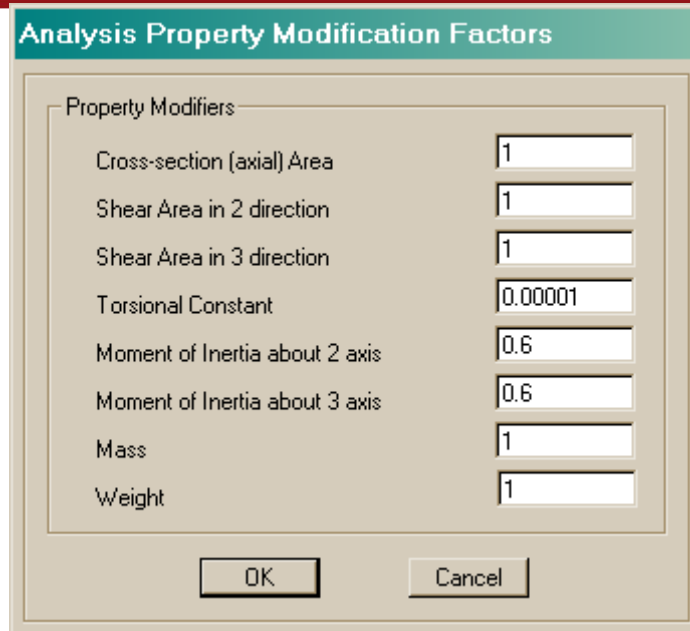
a.- Ventana de definición de propiedades de la sección.

b.- Definición del acero de refuerzo.

Figura 5-6.- Definición de una viga con sección rectangular.

Nota: El recubrimiento de acero para las vigas y columnas es determinado automáticamente por el programa. Sin embargo, se debe verificar este recubrimiento teniendo en cuenta los valores mínimos de la norma y, en el caso de las vigas, la posibilidad de usar acero en más de una capa, según su sección y su luz.

Para trabajar con secciones agrietadas, usando las sugerencias del ACI, existe la posibilidad de afectar las propiedades de la sección por coeficientes que multiplican a los valores de la sección neta. Por ejemplo, si se desea anular la rigidez a torsión de una viga y reducir al 60% su rigidez a la flexión, se deberá presionar dentro de la ventana de definición de las propiedades de la sección, el botón de comando **Set Modifiers** y escribir en la ventana **Analysis Property Modification Factors**, los coeficientes indicados en la figura 5-7.




Property Modifiers	Value
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	0.00001
Moment of Inertia about 2 axis	0.6
Moment of Inertia about 3 axis	0.6
Mass	1
Weight	1

Figura 5-7.- Factores de modificación de propiedades para el análisis.

El archivo **Paso 3b_DefVigas.EDB**, comprende a los pasos previos e incluye la definición de las demás secciones de viga.


PASO 4. Definición de las secciones de los elementos tipo área (Muros y Losas)

Las secciones de los muros y las losas se definen a través del menú **Define > Wall/Slab/Deck Sections**, o del botón de comando  (**Define Wall/Slab/Deck Sections**).

Recomendación: Al abrir la ventana **Define Wall/Slab/Deck Sections**, se muestra la lista de secciones que el programa posee por defecto (**DECK1**, **PLANK1**, **SLAB1** y **WALL1**). Es recomendable, aunque no indispensable, borrar estas secciones y agregar las que se utilizarán.

Definición de secciones de los muros:

A manera de ejemplo se define la sección del muro de concreto armado de **0.10 m** de espesor:

- Presionar el botón de comando  (**Define Wall/Slab/Deck Sections**), ubicar el cuadro de lista para añadir secciones y seleccionar la opción **Add New Wall**.
- En la ventana **Wall/Slab Section**, definir el nombre de la sección, el material, los espesores de membrana y flexión y el tipo de comportamiento del elemento, tal como se muestra en la figura 5-8.

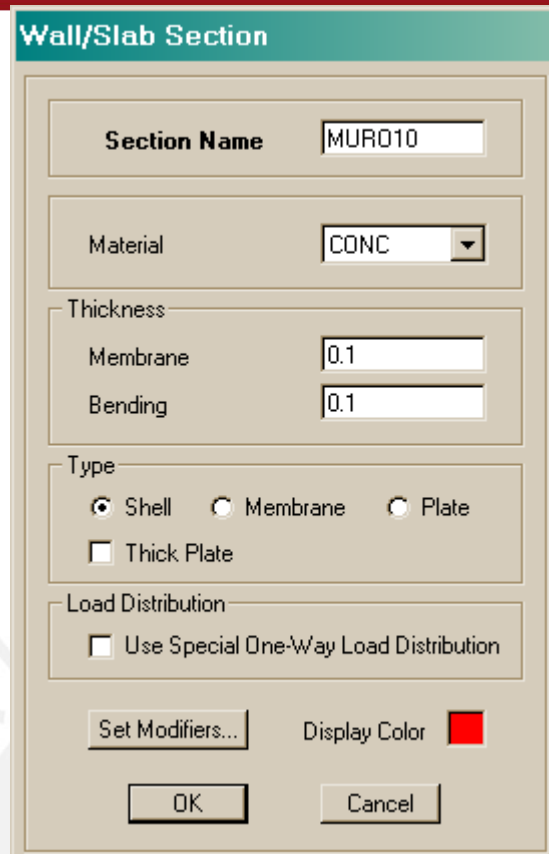


Figura 5-8.- Ventana de definición de una sección de muro.


El archivo **Paso 4a_DefMuros.EDB**, comprende a los pasos previos e incluye la definición de las demás secciones de muro.

Definición de secciones de las losas:

En el modelo se crearán dos secciones de losa, **ALIGERADO** y **MACIZA**, como un medio para incluir las cargas de las losas y todo lo que esté directamente sobre ellas.

A manera de ejemplo, se va a definir la sección de losa **ALIGERADO**, que se usará para distribuir las cargas en una sola dirección (**Use Special One-Way Load Distribution**).

Como el peso propio del aligerado y sus cargas se aplican sobre los elementos de este tipo, el espesor se define con un valor muy pequeño (1×10^{-4}):

- Presionar el botón de comando  (**Define Wall/Slab/Deck Sections**) y seleccionar del cuadro de lista la opción **Add New Slab**.
- En la ventana **Wall/Slab Section**, definir el nombre de la sección, el material, los espesores de membrana y flexión, el tipo de comportamiento del elemento y la manera como se distribuye la carga vertical, tal como se muestra en la figura 5-9.

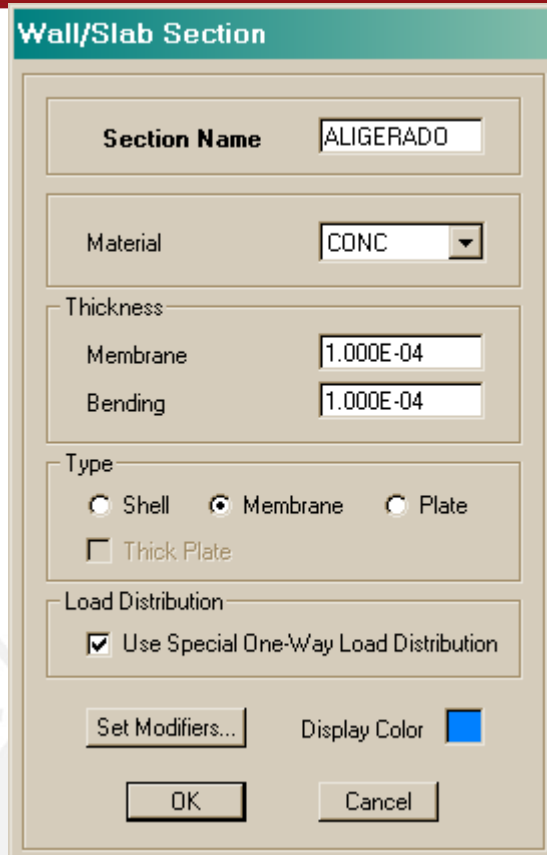


Figura 5-9.- Ventana de definición de una sección de losa.


Nota: El tipo de comportamiento se define como membrana para hacer que el programa no tome en cuenta estos elementos como componentes estructurales y sólo reparta unidimensionalmente la carga que actúa sobre ellos.

El archivo **Paso 4b_DefLosas.EDB**, comprende a los pasos previos e incluye la definición de las demás secciones de losa.

PASO 5. Dibujo y asignación de elementos tipo barra (Columnas y Vigas)



En este paso se dibujarán los elementos tipo barra (columnas y vigas) del modelo y se les asignará las secciones definidas en el paso 4.

Es importante utilizar un orden y sentido en el dibujo de los elementos, para saber posteriormente cuáles serán sus extremos iniciales y finales y llevar un fácil control de sus ejes locales. Para ello, las columnas se dibujarán de abajo hacia arriba, en una vista en elevación, y las vigas de izquierda a derecha y de abajo hacia arriba, en una vista en planta.

Recomendación: Antes de iniciar el dibujo, es recomendable presionar el botón de comando  (**Set Building View Options**) y activar la casilla **Line Sections**, dentro del cuadro **Object View Options**, para poder visualizar las secciones asignadas.

Dibujo y asignación de columnas:

A manera de ejemplo se va a dibujar y asignar en todas las plantas típicas, la sección de columna **C-0.40X0.60**, ubicada en la intersección de las líneas de malla **4** y **C**:

- Presionar el botón de comando  (**Set Plan View**) y seleccionar la planta típica **PLAN P 3**.
- Seleccionar la opción **Similar Stories**, en el cuadro de lista con las opciones de asignación para las vistas en planta (parte inferior derecha de la pantalla).
- Presionar el botón de comando  (**Create Columns in Region or at Clicks (Plan)**).
- En la ventana **Properties of Object**, elegir la sección **C-0.40X0.60**, en la casilla **Property**, tal como se muestra en la figura 5-10.

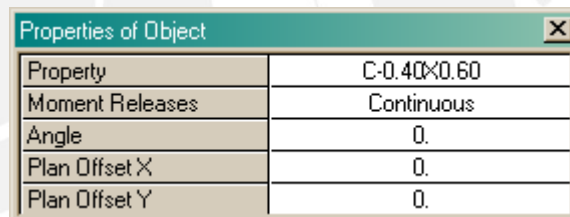



Figura 5-10.- Ventana de propiedades de objetos, para el dibujo de columnas.

- Hacer un clic en el punto de intersección de las líneas de malla, con el nombre de etiqueta **Grid Point 4 C**.

El archivo **Paso 5a_DAColumnas.EDB**, comprende a los pasos previos e incluye el dibujo y asignación de las demás secciones de columna.

Dibujo y asignación de vigas:

A manera de ejemplo se va a dibujar y asignar en todos los pisos típicos, la sección de viga **V-0.30X0.65**, ubicada entre los ejes **A** y **E** del eje **3**:

- Seleccionar la planta típica **PLAN P 3** y la opción **Similar Stories**, de la misma forma que se hizo para el **Dibujo y asignación de columnas**.
- Presionar el botón de comando  (**Draw Lines (Plan, Elev, 3D)**).
- En la ventana **Properties of Object**, elegir la sección **V-0.30X0.65**, en la casilla **Property**, tal como se muestra en la figura 5-11.

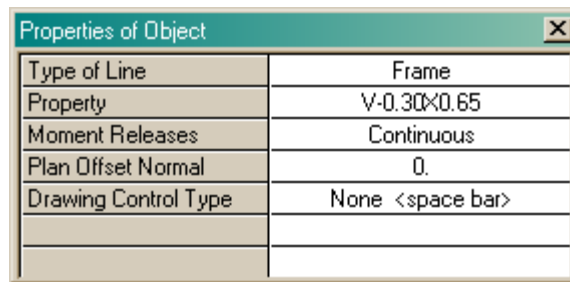


Figura 5-11.- Ventana de propiedades de objetos, para el dibujo de líneas


- Ubicar el cursor en el punto con la etiqueta **Grid Point 3 E** y hacer clic sobre él, luego, desplazar el cursor hasta encontrar el punto con la etiqueta **Grid Point 3 C** y dar clic sobre él.
- Hacer clic derecho para deseleccionar y repetir el paso anterior entre los puntos con las etiquetas **Grid Point 3 C** y **Grid Point 3 A**. Se debe notar que el dibujo de la viga se ha realizado de abajo hacia arriba.

El archivo **Paso 5b_DAVigas.EDB**, comprende a los pasos previos e incluye el dibujo y asignación de las demás secciones de viga.

PASO 6. Dibujo y asignación de elementos tipo área (Muros y Losas)


En este paso se dibujarán los elementos tipo área (muros y losas) del modelo y se les asignará las secciones definidas en el paso 5.


Para el control de la orientación sus ejes locales, en una vista en planta, los muros se dibujarán de izquierda a derecha y las losas en sentido anti-horario.

Recomendación: Antes de iniciar el dibujo, es recomendable presionar el botón de comando  (**Set Building View Options**) y activar la casilla **Area Sections**, dentro del cuadro **Object View Options**, para poder visualizar las secciones asignadas.

Dibujo y asignación de muros:

A manera de ejemplo se va a dibujar y asignar en todos los pisos típicos, la sección de muro **MURO20**, ubicada entre los ejes **1B** y **4** del eje **A**:

- Presionar el botón de comando  (**Set Plan View**) y seleccionar la planta típica **PLAN P 3**.
- Seleccionar la opción **Similar Stories**, en el cuadro de lista con las opciones de asignación para las vistas en planta (parte inferior derecha de la pantalla).

- Presionar el botón de comando  (**Draw Walls (Plan)**).
- En la ventana **Properties of Object**, elegir la sección **MURO20**, en la casilla **Property**, tal como se muestra en la figura 5-12.

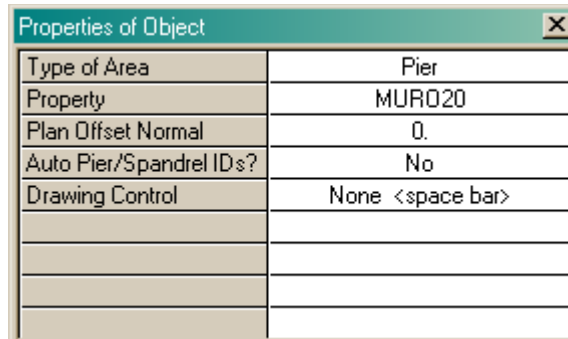



Figura 5-12.- Ventana de propiedades de objeto, para el dibujo de muros.

- Ubicar el cursor en el punto con la etiqueta **Grid Point 1 B A** y hacer clic sobre él, luego, desplazar el cursor hasta encontrar el punto con la etiqueta **Grid Point 4 A** y hacer clic sobre él.

El archivo **Paso 6a_DAMuros.EDB**, comprende a los pasos previos e incluye el dibujo y asignación de las demás secciones de muro.

Dibujo y asignación de losas:

A manera de ejemplo se va a dibujar y asignar en todos los pisos típicos, la sección de losa aligerada **ALIGERADO**, ubicada entre las líneas de malla **3, 4** y **A, B1**:

- Seleccionar la planta típica **PLAN P 3** y la opción **Similar Stories**, de la misma forma que se hizo para el **Dibujo y asignación de muros**.
- Presionar el botón de comando  (**Draw Rectangular Areas (Plan, Elev)**).
- En la ventana **Properties of Object**, elegir la sección **ALIGERADO** en la casilla **Property**, tal como se muestra en la figura 5-13.

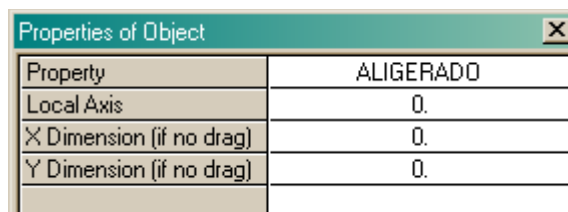



Figura 5-13.- Ventana de propiedades de objeto, para el dibujo de áreas.



- Ubicar el cursor en la esquina inferior izquierda de la losa, en el punto con la etiqueta **Grid Point 3 B1**, y hacer clic en él. Luego arrastrar el cursor hacia la esquina superior derecha, al punto con la etiqueta **Grid Point 4 A** y soltar el botón izquierdo del mouse.

Nota: En este caso no fue necesario modificar el ángulo de giro de la losa porque ésta se orientaba en la dirección del eje global **X**. Para los casos donde sea necesario rotar esta orientación un cierto ángulo con respecto al eje **X**, se utilizará el menú **Assign > Shell/Area > Local Axes**, o el botón de comando  (**Assign Shell Local Axes**).

El archivo **Paso 6b_DALosas.EDB**, comprende a los pasos previos e incluye el dibujo y asignación de las demás secciones de losa.

PASO 7. Asignación de Etiquetas Pier

Para poder apreciar las fuerzas internas en los objetos de área verticales, se les asignan a éstos etiquetas pier. En nuestro caso se va a asignar una etiqueta pier a cada muro de un piso que se quiera analizar por separado. Por ejemplo, se va a asignar la etiqueta **PL1** a la placa de cada piso típico del eje **A**, entre los ejes **1B** y **4**:

- Presionar el botón de comando  (**Set Plan View**) y seleccionar la planta **PLAN 3P**.
- Seleccionar la opción **Similar Stories**, en el cuadro de lista con las opciones de asignación para las vistas en planta (parte inferior derecha de la pantalla).
- Seleccionar el muro ubicado en el eje **A**, entre las líneas de malla **1B** y **4**, es decir entre las etiquetas **Grid Point 1B A** y **Grid Point 4 A**.
- Presionar el botón de comando  (**Assign Pier Label**).
- En la ventana **Pier Names**, escribir **PL1** en el cuadro de texto y presionar luego el botón de comando **Add New Name** y finalmente elegir esta etiqueta dentro de las que ya han sido creadas. Como se muestra en la figura 5-14.

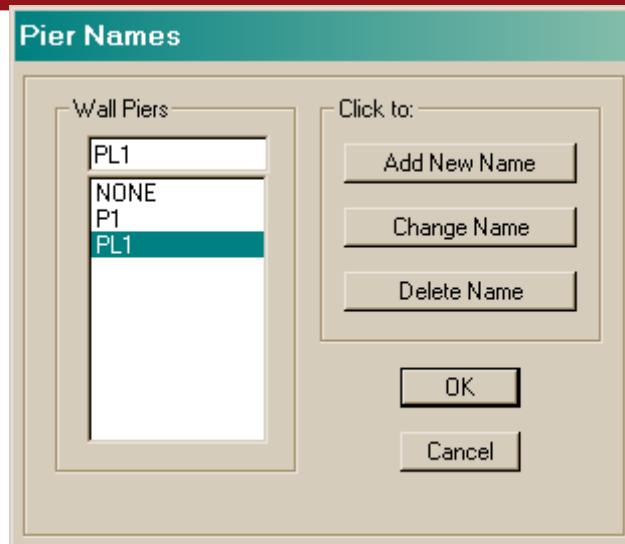



Figura 5-14.- Ventana de creación de etiquetas pier.

El archivo **Paso 7_MPier.EDB**, comprende a los pasos previos e incluye la asignación de las demás etiquetas de muro pier.

PASO 8. Re-etiquetación de los objetos de punto, línea y área.

Tanto los nudos como los objetos de línea y de área del modelo, se identifican a través de etiquetas, las cuales son colocadas por defecto a medida que se va dibujando el modelo. Es conveniente que luego de crear todos los elementos se realice una re-etiquetación:

- Ingresar al menú **Edit > Auto Relabel All**. De esta manera, el programa realiza la re-etiquetación de manera automática, utilizando como referencia el sistema de coordenadas global. Para ello, ordena primero a los objetos por su nivel de entropiso, luego por su ubicación en el eje global Y y por último por su ubicación en el eje global X.


Recomendación: Antes de re-etiquetar los elementos del modelo, sería bueno mostrar las etiquetas creadas por defecto, con la finalidad de visualizar el cambio. Para ello, presionar el botón de comando  (**Set Building View Options**) y activar las casillas **Area Labels**, **Line Labels** y **Point Labels**, dentro del cuadro **Object View Options** y finalmente la casilla **Apply to All Windows**.

El archivo **Paso 8_Reetiquetado.EDB**, comprende a los pasos previos e incluye la re-etiquetación de los objetos del modelo.

PASO 9. *Asignación de liberaciones en los extremos de las secciones de Viga*

Se liberarán totalmente los momentos en los extremos de las vigas que se encuentren apoyadas en otras vigas o apoyadas en muros perpendiculares a ellas. También se liberará parcialmente el momento en los extremos de las vigas muy esforzadas que deban ser diseñadas por capacidad, hasta lograr un momento que pueda ser manejado en el diseño.

A manera de ejemplo se va a liberar completamente el momento en la dirección **3**, **Moment 33 (Mayor)**, en el extremo inicial de la viga ubicada en la planta **PLAN S 2**, en el eje **2** y entre las líneas de malla **A** y **C**:

- Presionar el botón de comando  (**Set Plan View**) y seleccionar la planta **PLAN S 2**.
- Seleccionar la opción **One Story** (porque la planta **PLAN S 2** no es típica), en el cuadro de lista con las opciones de asignación para las vistas en planta (parte inferior derecha de la pantalla).
- Seleccionar la viga ubicada en el eje **2**, entre las líneas de malla **A** y **C**, es decir entre las etiquetas **Grid Point 2 A** y **Grid Point 2 C**.
- Ingresar al menú **Assign > Frame/Line > Frame Releases/Partial Fixity** y activar la casilla **Moment 33 (Mayor)** para el extremo **Start**, tal como se muestra en la figura 5-15 y aceptar el valor de **0** escrito en el cuadro de texto de la sección **Frame Partial Fixity Springs**.

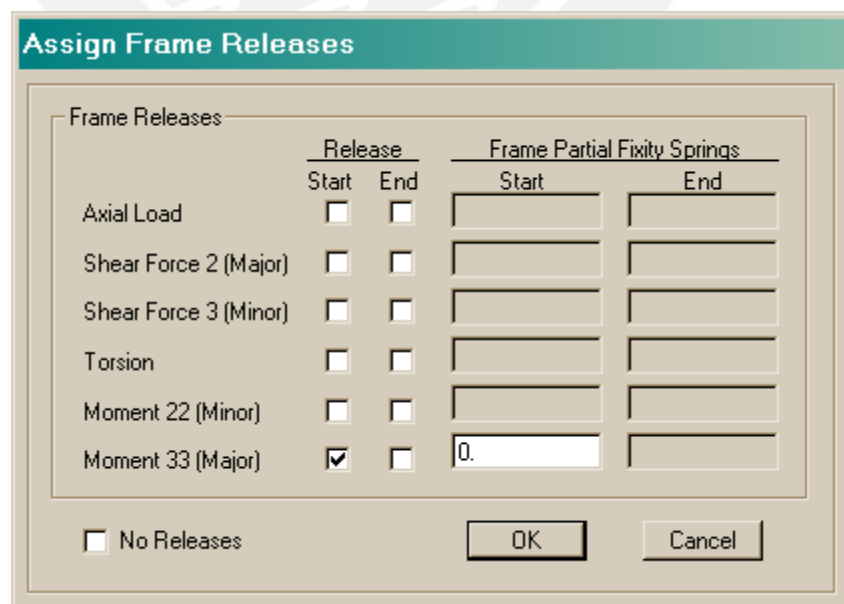


Figura 5-15.- Ventana de asignación de liberaciones.

El archivo **Paso 9_Liberaciones.EDB**, comprende a los pasos previos e incluye la asignación de las demás liberaciones en los extremos de las vigas.



PASO 10. Creación y asignación de diafragmas

Los sistemas de piso, que pueden considerarse como diafragmas rígidos, se representan asignando a las áreas o a los nudos del nivel una restricción de “Diafragma”.

Es recomendable asignar a una misma planta un diafragma de punto y adicionalmente un diafragma de área, ya que algunos nudos presentes en la planta pueden no coincidir con las esquinas de los elementos de área del nivel.

Esta restricción no es necesaria asignarla a las plantas del edificio que se encuentran confinadas por una restricción física, como el caso de los sótanos (que están enterrados).

A manera de ejemplo se va a asignar a la planta del 1er piso, **PLAN P 1** el diafragma rígido **D1**:

- Presionar el botón de comando  (**Set Plan View**) y seleccionar la planta **PLAN P 1**.
- Seleccionar la opción **One Story**, en el cuadro de lista con las opciones de asignación para las vistas en planta (parte inferior derecha de la pantalla).
- Seleccionar todos los elementos de la planta, arrastrando el cursor desde una esquina a otra opuesta y presionar el botón de comando  (**Diaphragms - de punto**), dentro del menú **Assign > Joint/Point**.
- En la ventana **Assign Diaphragm**, seleccionar **D1**, dentro del cuadro **Diaphragms**, como se muestra en la figura 5-16.

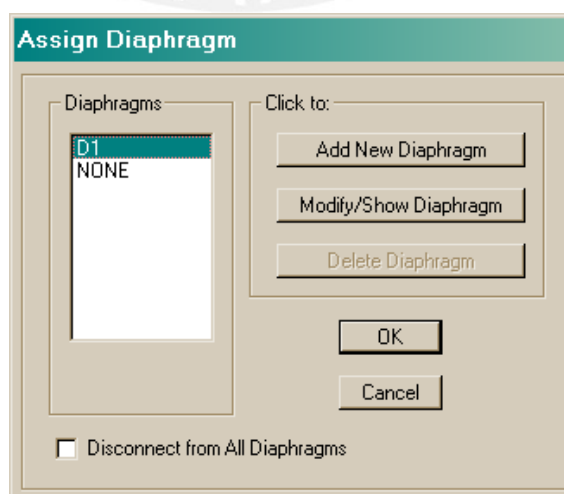



Figura 5-16.- Ventana de asignación de diafragmas

- Volver a seleccionar todos los elementos de la planta y presionar ahora el botón de comando  (**Diaphragms** - de área), dentro del menú **Assign > Shell/Area**.
- En la ventana **Assign Diaphragm**, seleccionar el mismo diafragma asignado a los objetos de punto, **D1**.

Para crear un nuevo diafragma, por ejemplo el diafragma **D2**, que se asignará a la planta **PLAN P 2**:

- Ingresar al menú **Define > Diaphragms** y presionar el botón de comando **Add New Diaphragm**, dentro del cuadro **Click to**.
- En la ventana **Diaphragm Data** escribir **D2** y seleccionar la opción **Rigid**, tal como se muestra en la figura 5-17.

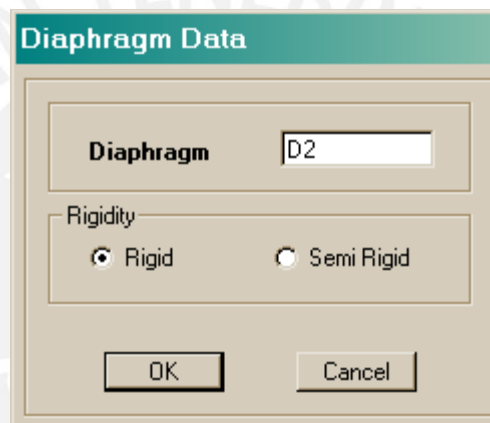



Figura 5-17.- Ventana de definición de diafragmas.

El archivo **Paso 10_Diafragmas.EDB**, comprende a los pasos previos e incluye la definición y asignación de los demás diafragmas.


PASO 11. Asignación de restricciones

A los sótanos del edificio, no se les ha asignado diafragmas rígidos, pero es necesario restringir los desplazamientos horizontales y la rotación vertical en sus plantas para poder modelar su comportamiento.

A manera de ejemplo se van a asignar las restricciones necesarias en los nudos de las plantas **PLAN S 2** y **PLAN S 1**:

- Presionar el botón de comando  (**Set Plan View**) y seleccionar la planta **PLAN S 2**.
- Seleccionar la opción **Similar Stories**, en el cuadro de lista con las opciones de asignación para las vistas en planta (parte inferior derecha de la pantalla).
- Seleccionar todos los nudos del entrepiso, arrastrando el cursor desde una

esquina a otra opuesta.

- Presionar el botón de comando  (**Assign Restraints (Supports)**) y activar las casillas **Translation X**, **Translation Y** y **Rotation about Z**, dejando desactivadas las demás casillas, tal como se muestra en la figura 5-18.

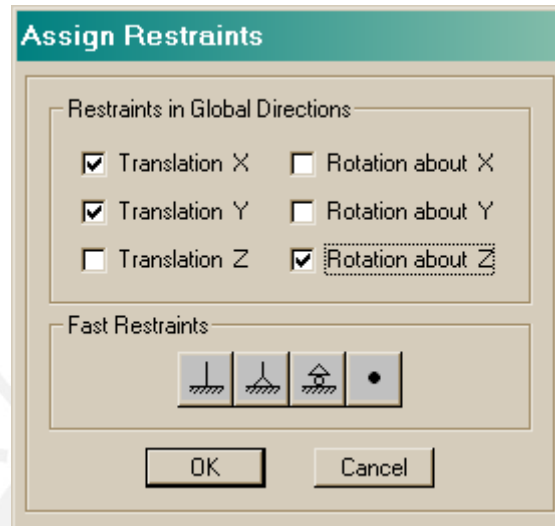


Figura 5-18.- Ventana de asignación de restricciones.

En la planta **BASE**, si suponemos un suelo rígido en el que todos los elementos están restringidos, habría que llenar la ventana **Assign Restraints** como se indica en la figura 5-19.




Figura 5-19.- Restricciones asignadas en la base.

El archivo **Paso 11_Restricciones.EDB**, comprende a los pasos previos e incluye la asignación de restricciones en los nudos de los sótanos y de la base del edificio.

5.1.2 Análisis por Cargas de Gravedad

PASO 12. Definición de los casos de carga estática

Se usarán los casos de carga estática muerta y viva. En el ejemplo se identifican con los nombres **CM** y **CV** respectivamente. Estos casos se crean como se indica a continuación:

- Para la carga muerta, presionar el botón de comando  (Define Static Load Cases) y en la ventana **Define Static Load Case Names**, tipear **CM** en el cuadro de texto **Load**, seleccionar **DEAD** en el cuadro de lista **Type**, tipear **1** en el cuadro de texto **Self Weight Multiplier** (para considerar el peso propio de los elementos) y finalmente hacer clic en el botón **Add New Load**.
- Para la carga viva, tipear **CV** en el cuadro de texto **Load**, seleccionar **LIVE** en el cuadro de lista **Type**, tipear **0** en el cuadro de texto **Self Weight Multiplier** y hacer clic en el botón **Add New Load**, tal como se muestra en la figura 5-20.

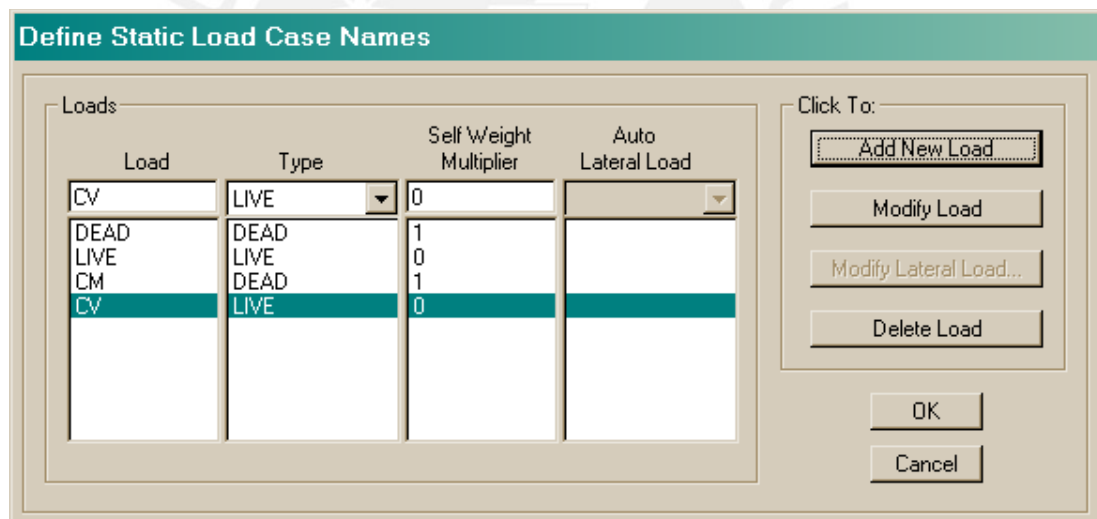


Figura 5-20.- Ventana de definición de los casos de carga estática.



Recomendación: para facilitar la posterior asignación de los casos de carga, se deberá borrar los casos **DEAD** y **LIVE**, que aparecen por defecto.

El archivo **Paso 12_DCCE.EDB**, comprende a los pasos previos e incluye la definición de los casos de carga estática.

PASO 13. Asignación de cargas estáticas en losas

A las losas se asignarán las cargas uniformemente distribuidas, muerta (**CM**) y viva (**CV**), correspondientes al peso propio y a la sobrecarga, respectivamente.

A manera de ejemplo, se va a asignar en todos los pisos típicos, los casos de carga **CM** y **CV** a la losa aligerada ubicada entre las líneas de malla **3, 4** y **A, B1**:

- Presionar el botón de comando  (**Set Plan View**) y seleccionar la planta **PLAN P 3**.
- Seleccionar la opción **Similar Stories**, en el cuadro de lista con las opciones de asignación para las vistas en planta (parte inferior derecha de la pantalla).
- Presionar el botón de comando  (**Assign Uniform Load**).
- En la ventana **Uniform Surface Loads**, elegir el caso de carga **CM** del cuadro de lista **Load Case Name**, las unidades **Ton-m** del cuadro **Units**, escribir **0.45** en el cuadro de texto **Load** y seleccionar el botón de opción **Replace Existing Loads**, tal como se muestra en la figura 5-21.

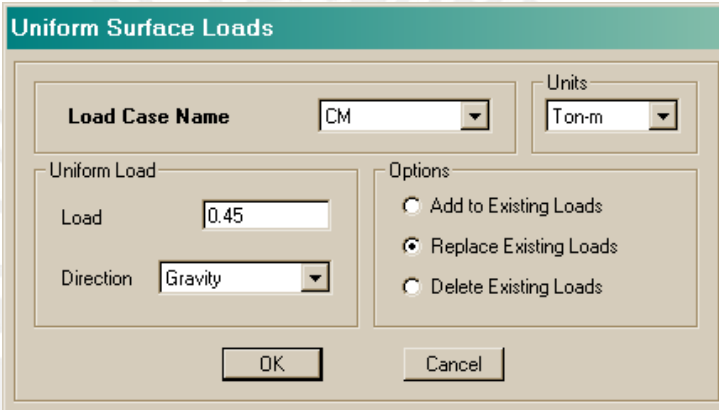


Figura 5-21.- Ventana de asignación de carga uniformemente distribuida (CM) sobre una superficie.

- Repetir el paso anterior, pero elegir ahora el caso de carga **CV** del cuadro de lista **Load Case Name**, escribir **0.30** en el cuadro de texto **Load** y seleccionar el botón de opción **Replace Existing Loads** en el cuadro **Options**, tal como se muestra en la figura 5-22.

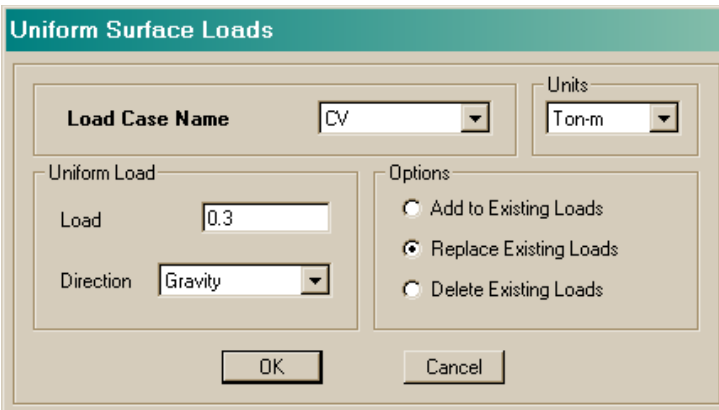


Figura 5-22.- Ventana de asignación de carga uniformemente distribuida (CV) sobre una superficie



Nota: En el caso de tener losas de más de cuatro lados, se debe realizar el metrado de cargas de la losa y distribuir la carga directamente sobre los elementos que la soportan.

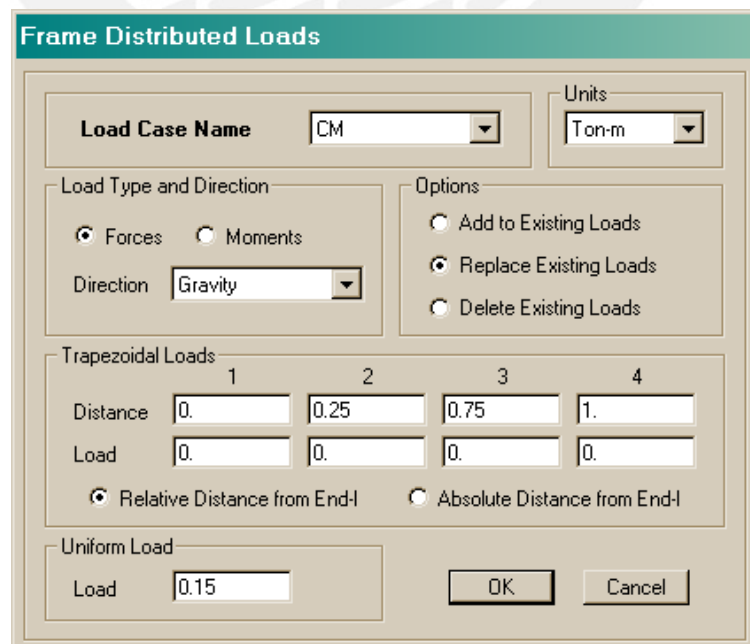
El archivo **Paso 13_ACEL.EDB**, comprende a los pasos previos e incluye la asignación de todas las cargas estáticas en las losas.

PASO 14. Asignación de cargas estáticas en vigas

En las vigas, se asignarán (de manera concentrada o distribuida) las cargas de los tabiques directamente apoyados y el metrado de la carga del área tributaria de las losas que tienen más de cuatro lados.

A manera de ejemplo, se va a asignar a la viga del eje **4**, entre los ejes **A** y **E**, de todas las plantas típicas, la carga estática proveniente de peso propio de los tabiques:

- Presionar el botón de comando  (**Set Plan View**) y seleccionar la planta **PLAN P 3**.
- Seleccionar la opción **Similar Stories**, en el cuadro de lista con las opciones de asignación para las vistas en planta (parte inferior derecha de la pantalla).
- Seleccionar la viga del eje **4**, comprendida entre los ejes **A** y **E**.
- Presionar el botón de comando  (**Assign Frame Distributed Load**) y en la ventana que aparece copiar la información de la figura 5-23.




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

Figura 5-23.- Ventana de asignación de carga distribuida en secciones pórtico.

El archivo **Paso 14_ACEV.EDB**, comprende a los pasos previos e incluye la asignación de todas las cargas estáticas en las vigas.

PASO 15. Definición de la fuente de masa

Para el análisis sísmico, se debe definir la fuente de masa, tal como se indica:

- Presionar el botón de comando  (**Define Mass Source**).
- En la ventana **Define Mass Source**, seleccionar la opción **From Loads**, dentro del cuadro **Mass Definition**.
- Dentro del cuadro **Define Mass Multiplier for Loads**, seleccionar **CM** en el cuadro de lista **Load**, tipear **1** en el cuadro de texto **Multiplier** y presionar el botón de comando **Add**.
- Realizar la misma operación, pero esta vez, seleccionar **CV** en el cuadro de lista **Load** y tipear **0.25** en el cuadro de texto **Multiplier**.
- Activar las casillas **Include Lateral Mass Only** y **Lump Lateral Mass at Story Levels**, como se muestra en la figura 5-24.

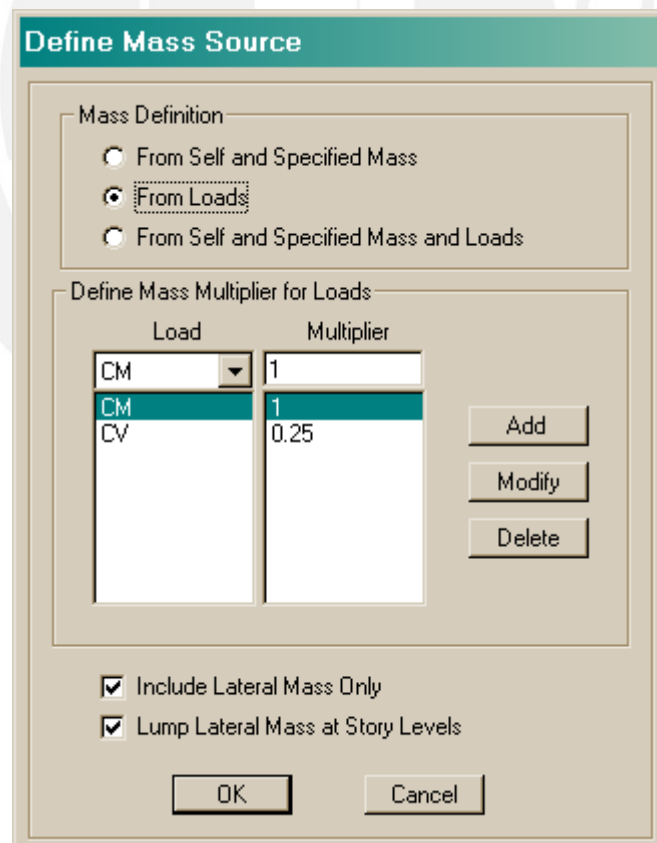


Figura 5-24.- Ventana de definición de la fuente de masa.

El archivo **Paso 15_DFM.EDB**, comprende a los pasos previos e incluye la definición de la fuente de masa.

PASO 16. Definición del número de modos

Se deben definir **3** modos por piso (**2** traslacionales y **1** rotacional). El edificio tiene **12** pisos, contabilizando los niveles del tanque elevado y cuarto de máquinas del ascensor y descontando los niveles de los sótanos. Por lo tanto **36** modos.

Para definir los modos en el programa, se debe:

- Ingresar al menú **Analyze > Set Analysis Options**.
- En la ventana **Analysis Options**, que se muestra en la figura 5-25, seleccionar el botón de comando **Set Analysis Parameters**.

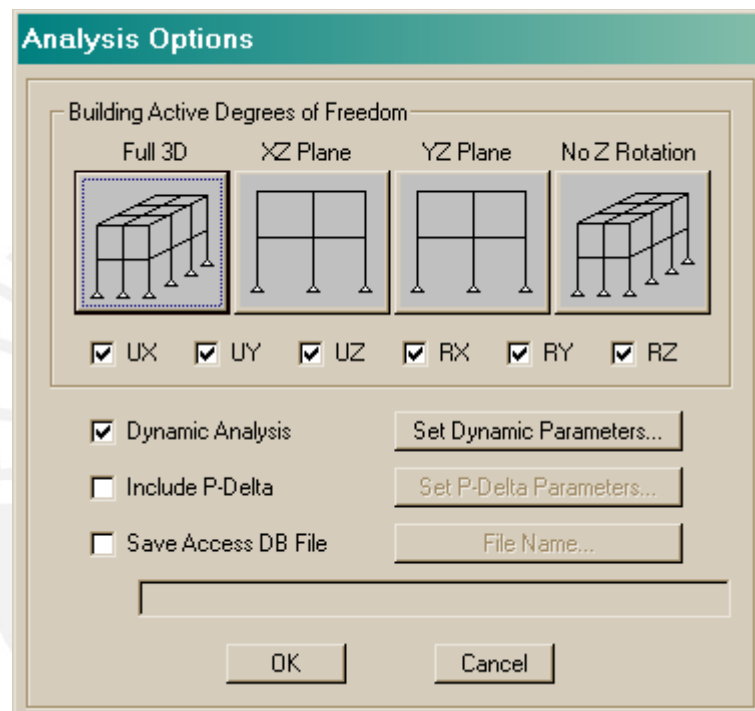


Figura 5-25.- Ventana de las opciones de análisis.

- En la ventana **Dynamic Analysis Parameters**, escribir **36** en el cuadro de texto **Number of Modes**, como se muestra en la figura 5-26.

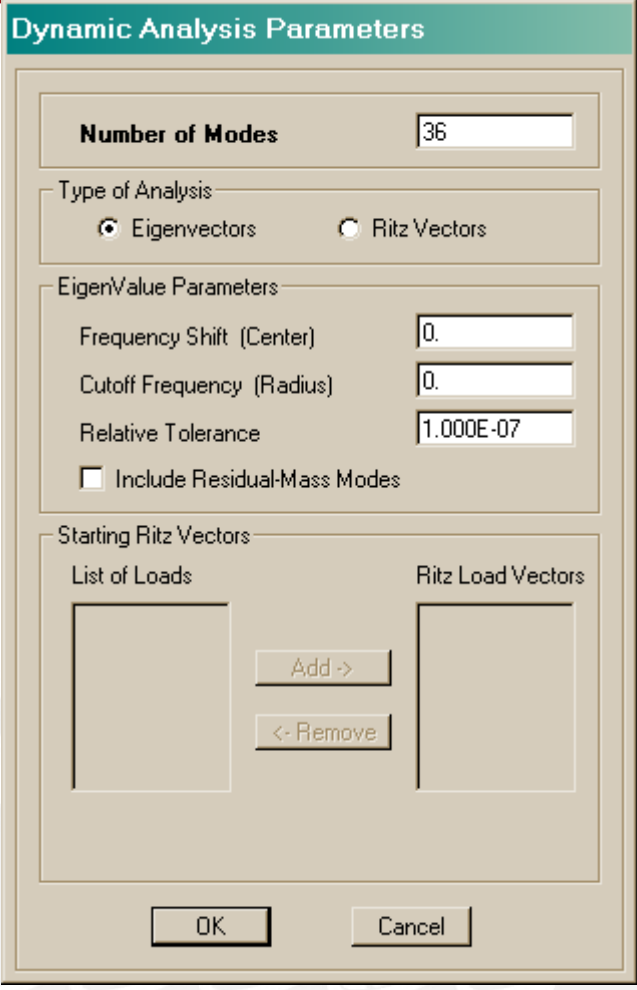


Figura 5-26.- Ventana de definición del número de modos dinámicos.


El archivo **Paso 16_DNM.EDB**, comprende a los pasos previos e incluye la definición del número de modos.

5.1.3 Análisis Sísmico Espectral

El espectro se encuentra en un archivo de texto, en donde la primera columna corresponde a los datos del período (**T**) y en la segunda, el producto del factor de amplificación del suelo (**S**) y el factor de amplificación sísmica (**C**).

PASO 17. Definición de la función del espectro de respuesta

Para definir la función del espectro de respuesta:

- Ingresar al menú **Define > Response Spectrum Functions** ().
- En la ventana **Define Response Spectrum Functions** (ver figura 5-27), seleccionar del cuadro de lista **Choose Function Type to Add** la opción **Spectrum from File** y dentro del cuadro **Click to** presionar el botón de comando **Add New Function**.

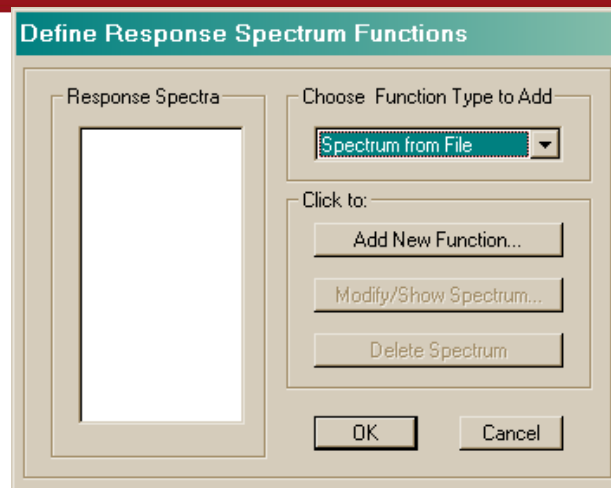


Figura 5-27.- Ventana de las funciones de espectro de respuesta definidos.

- En la ventana **Response Spectrum Function Definition**, escribir **FUNCION** en el cuadro de texto **Function Name**. Luego, presionar el botón de comando **Browse** (dentro del cuadro **Function File**) y cargar el archivo de texto “P17_TvsSC.txt” que se encuentra en la carpeta “Archivos del Modelo” y escribir **1** en el cuadro de texto **Header Lines to Skip**. Finalmente, dentro del cuadro **Values are** seleccionar el botón de opción **Period vs Value**, y presionar el botón de opción **Display Graph** para visualizar el espectro, tal como se indica en la figura 5-28.

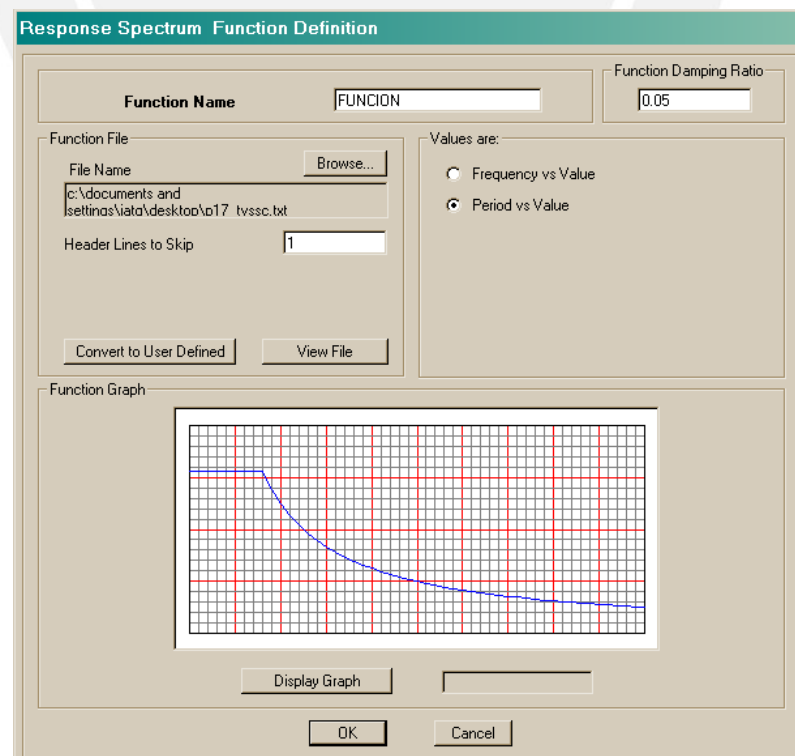



Figura 5-28.- Ventana de definición de la función del espectro de respuesta.

El archivo **Paso 17_DFER.EDB**, comprende a los pasos previos e incluye la definición de la función del espectro de respuesta.

PASO 18. Definición de los casos de análisis espectral

Se van a definir para las direcciones X y Y los casos de análisis espectral:

- Ingresar al menú **Define > Response Spectrum Cases** ().
- En la ventana **Define Response Spectra** (ver figura 5-29), presionar el botón de comando **Add New Spectrum**.

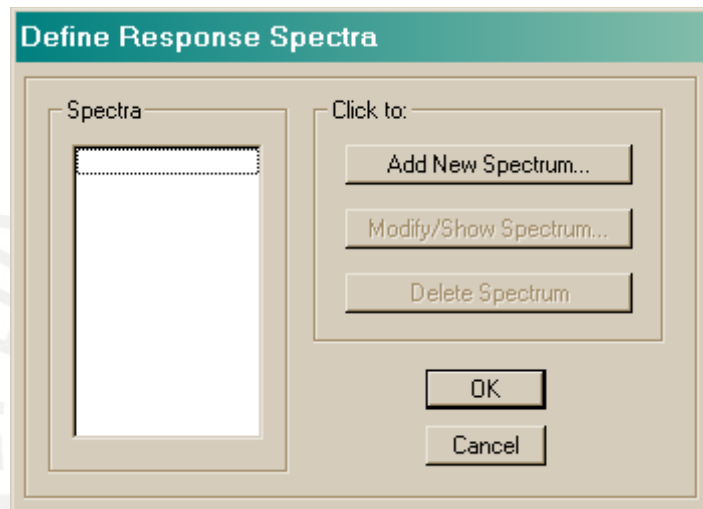


Figura 5-29.- Ventana de los casos de análisis espectral definidos.

- En la ventana **Response Spectrum Case Data**, para la dirección **X**, escribir **SPECXX** en el cuadro de texto **Spectrum Case Name**. Luego, dentro del cuadro **Input Response Spectra**, para la dirección **U1**, seleccionar en el cuadro de lista **Function**, la función del espectro de respuesta **FUNCION** y escribir el factor de escala, proveniente del producto de los factores $Z*U*g / R = 0.40*1*9.80665/4.5 = 0.872$, dentro del cuadro de texto **Scale Factor**. Finalmente, verificar que el resto de parámetros coincidan con los mostrados en la figura 5-30.
- Repetir el mismo procedimiento para la dirección **Y**, pero escribir **SPECYY** en el cuadro de texto **Spectrum Case Name** e ingresar la función **FUNCION** y el factor de escala **0.872** ($Z*U*g / R$), en la dirección **U2**.

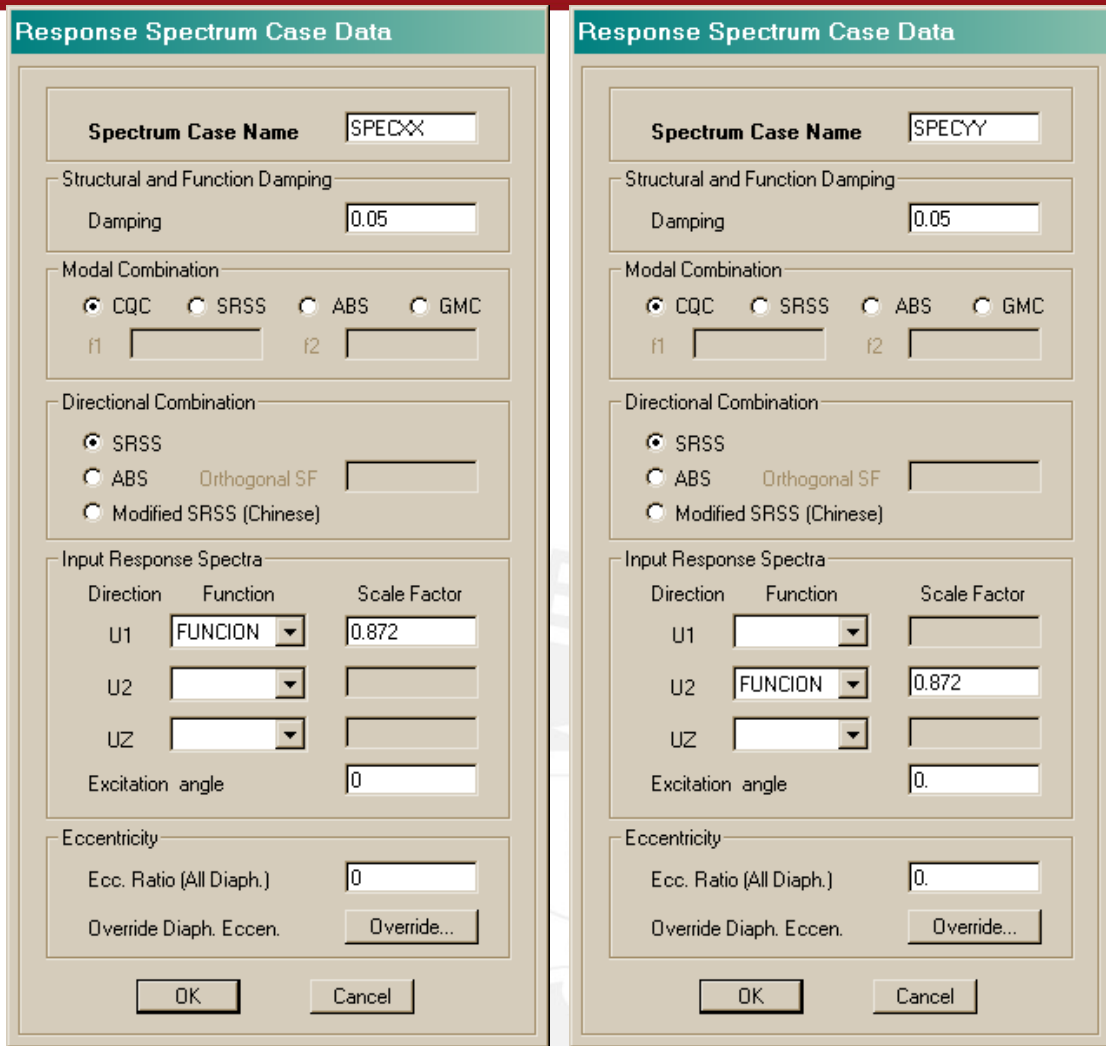


Figura 5-30.- Ventana de definición de los casos de análisis espectral, para las direcciones X y Y.

El archivo **Paso 18_DCAE.EDB**, comprende a los pasos previos e incluye la definición de los casos de análisis espectral.

5.1.4 Verificación de la Fuerza Cortante Mínima en la Base

La norma peruana especifica que para cada una de las direcciones consideradas en el análisis dinámico (X y Y), la fuerza cortante en la base del edificio deberá ser mayor o igual que el 90% (en edificios irregulares) de la misma fuerza calculada a través de un análisis estático. En caso contrario se deberán incrementar los resultados del análisis dinámico por medio de un factor de escala.

Estos factores de escala van a servir para multiplicar a los casos de carga de análisis espectral, definidos en el paso 18, con la finalidad de utilizarlos como casos de carga de sismo dentro de las combinaciones de carga definidas en el paso 20.

Cálculo del cortante en la base del caso estático

El cortante en la base está definido por $V = Z \cdot U \cdot C \cdot S \cdot P / R$, en donde P es el peso total de la edificación (sin considerar los sótanos) y $C / R \geq 0.125$.

Para el cálculo del factor de amplificación sísmica (C):

- Ingresar al menú **Display > Show Tables**, y en la ventana **Choose Tables for Display**, seleccionar **ANALYSIS RESULTS > Modal Information > Building Modal Information > Table: Modal Participating Mass Ratios**, tal como se indica en la figura 5-31. En la figura 5-32 se muestra la tabla **Modal Participating Mass Ratios**, que contiene los periodos fundamentales en cada dirección (dentro de una circunferencia).

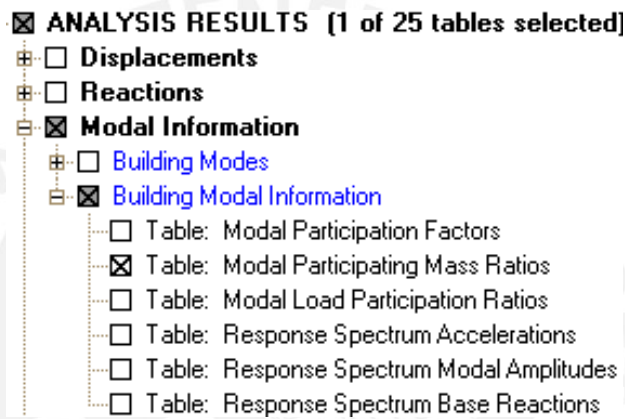


Figura 5-31.- Selección de la tabla de las razones de masa participante modal.

Modal Participating Mass Ratios							
Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	
1	$T_y = 1.323461$	0.8885	64.8804	0.0000	0.0085	64.8804	
2	0.686038	1.9280	6.6913	0.0000	1.9365	71.5717	
3	$T_x = 0.643151$	69.8808	0.1042	0.0000	71.8173	71.6760	
4	0.258521	0.0051	18.3049	0.0000	71.8224	89.9809	
5	0.117392	0.0004	2.7069	0.0000	71.8227	92.6878	
6	0.112591	0.0498	2.7199	0.0000	71.8726	95.4076	
7	0.101031	15.7998	0.0168	0.0000	87.6724	95.4245	
8	0.074747	0.0581	2.0246	0.0000	87.7305	97.4491	
9	0.057492	2.4947	0.8115	0.0000	90.2252	98.2606	
10	0.056270	1.2357	0.0948	0.0000	91.4608	98.3554	
11	0.054832	1.2584	0.8815	0.0000	92.7192	99.2368	
12	0.043466	0.0329	0.4858	0.0000	92.7521	99.7226	

Figura 5-32.- Ventana de las razones de masa participante modal, con periodos fundamentales indicados.

- En las direcciones X y Y, para cada uno de los periodos fundamentales, calcular

el valor de $C = 2.5 \cdot (T_p / T)$; $C \leq 2.5$. En la tabla 5-2 se muestra el cálculo de C y la verificación de la condición $C / R \geq 0.125$.

Tabla 5-2.- Factor de amplificación sísmica (C)

Dirección X		Dirección Y	
C_x	= 1.55	C_y	= 0.76
R_x	= 4.5	R_y	= 4.5
C_x / R	= 0.344	C_y / R	= 0.169

Para el cálculo del peso total del edificio (P):

- Para mostrar las masas en los pisos, ingresar al menú **Display > Show Tables**, y en la ventana **Choose Tables for Display**, seleccionar **MODEL DEFINITION > Building Data > Mass Data > Table: Diaphragm Mass Data**, tal como se indica en la figura 5-33. En la figura 5-34 se muestra la tabla **Diaphragm Mass Data**, con la información de la masa de los pisos del edificio.

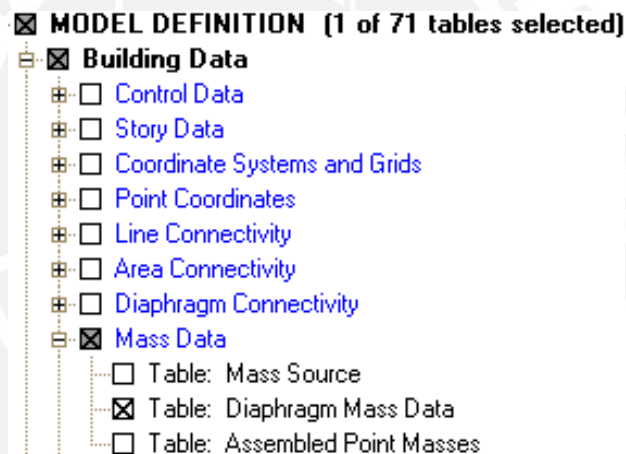


Figura 5-33.- Selección de la tabla de datos de masa de los diafragmas

Diaphragm Mass Data

Edit View

Diaphragm Mass Data

	Story	Diaphragm	MassX	MassY	MMI	XM	YM
▶	PLAN T CM&C	DTCMC	2.7669	2.7669	26.2629	20.460	7.804
	PLAN P CM&C	DPCMC	7.8838	7.8838	76.6052	20.478	7.470
	PLAN P 10	D10	14.1891	14.1891	523.1967	17.753	7.042
	PLAN P 9	D9	34.4103	34.4103	3057.6447	18.024	7.460
	PLAN P 8	D8	40.2236	40.2236	3708.0018	17.950	7.508
	PLAN P 7	D7	40.4365	40.4365	3721.4896	17.958	7.500
	PLAN P 6	D6	40.4365	40.4365	3721.4896	17.958	7.500
	PLAN P 5	D5	40.4365	40.4365	3721.4896	17.958	7.500
	PLAN P 4	D4	40.4600	40.4600	3722.8740	17.953	7.500
	PLAN P 3	D3	40.4930	40.4930	3724.9885	17.947	7.500
	PLAN P 2	D2	41.7962	41.7962	3864.9532	18.031	7.508
	PLAN P 1	D1	50.0685	50.0685	7208.4548	22.173	7.502

Navigation icons: Home, Previous, Next, End. OK button.

Figura 5-34.- Ventana de datos de masa de los diafragmas.

- Dentro de una hoja de Excel, multiplicar las masas por la gravedad y realizar una sumatoria para obtener el peso del edificio, tal como se muestra en la tabla 5-3.

Tabla 5-3.- Peso total de la edificación

Piso	Diafragma	Masa (Tn)	Peso (Tnf)
PLAN T CM&C	DTCMC	2.7669	27.13
PLAN P CM&C	DPCMC	7.8838	77.31
PLAN P 10	D10	14.1891	139.15
PLAN P 9	D9	34.4103	337.45
PLAN P 8	D8	40.2236	394.46
PLAN P 7	D7	40.4365	396.55
PLAN P 6	D6	40.4365	396.55
PLAN P 5	D5	40.4365	396.55
PLAN P 4	D4	40.46	396.78
PLAN P 3	D3	40.493	397.1
PLAN P 2	D2	41.7962	409.88
PLAN P 1	D1	50.0685	491
Suma		=	3859.91

El cálculo de los cortantes basales del caso estático, para las direcciones X y Y se muestra en la tabla 5-4.

Tabla 5-4.- Cortante basal, para el caso estático

Dirección X		Dirección Y	
Vx est. =	531.81	Vy est. =	260.76
Tx =	0.643151	Ty =	1.323461
Z =	0.4	Z =	0.4
U =	1	U =	1
Cx =	1.55	Cy =	0.76
S =	1	S =	1
P =	3859.91	P =	3859.91
Rx =	4.5	Ry =	4.5

Cálculo del cortante en la base del caso dinámico

Para obtener el cortante en la base en las direcciones de análisis X y Y:

- Ingresar al menú **Display > Show Tables**, y en la ventana **Choose Tables for Display**, seleccionar **ANALYSIS RESULTS > Building Output > Building Output > Table: Story Shears**, tal como se indica en la figura 5-35.



Figura 5-35.- Selección de la tabla de fuerza cortante en los pisos.

- En la misma ventana (**Choose Tables for Display**), dentro del cuadro **Load Cases/Combos (Results)**, presionar el botón de comando **Select Cases/Combos** y seleccionar los casos de carga **SPECXX Spectra** y **SPECYY Spectra**, tal como se muestra en la figura 5-36.

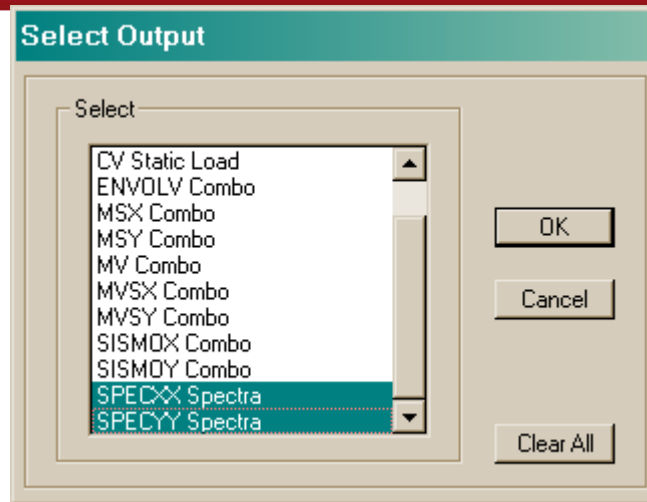


Figura 5-36.- Casos de carga seleccionados para visualizar la fuerza cortante.

- En la tabla **Story Shears** (figura 5-37), se muestran las fuerzas cortantes en la base del edificio para las direcciones X y Y (dentro de una circunferencia).

Story	Load	Loc	P	VX	VY	T
PLAN P 2	SPECXX	Top	0.00	395.05	13.83	3231.436
PLAN P 2	SPECXX	Bottom	0.00	395.05	13.83	3231.436
PLAN P 2	SPECYY	Top	0.00	14.37	220.17	3868.231
PLAN P 2	SPECYY	Bottom	0.00	14.37	220.17	3868.231
PLAN P 1	SPECXX	Top	0.00	408.47	15.55	3360.095
PLAN P 1	SPECXX	Bottom	0.00	408.47	15.55	3360.095
PLAN P 1	SPECYY	Top	0.00	15.55	240.01	4340.460
PLAN P 1	SPECYY	Bottom	0.00	15.55	240.01	4340.460
PLAN S 1	SPECXX	Top	0.00	31.88	33.59	952.161
PLAN S 1	SPECXX	Bottom	0.00	31.88	33.59	952.161
PLAN S 1	SPECYY	Top	0.00	42.96	396.57	9487.780
PLAN S 1	SPECYY	Bottom	0.00	42.96	396.57	9487.780

Figura 5-37.- Ventana de fuerzas cortantes, con fuerzas cortantes en la base indicadas.

Cálculo de los factores de escala

Para calcular los factores de escala, se debe comparar la fuerza cortante del caso dinámico contra la fuerza cortante del caso estático y verificar que el cociente sea mayor o igual a 0.90, como se muestra en la tabla 5-5.

Tabla 5-5.- Factores de escala del caso dinámico.

Vx din.	=	408.47	Vy din.	=	240.01
Vx est.	=	531.81	Vy est.	=	260.76
Vx din. / Vx est.	=	0.77	Vy din. / Vy est.	=	0.92
Cociente min.	=	0.9	Cociente min.	=	0.9
Factor (fx)	=	1.17	Factor (fy)	=	1

5.1.5 Combinaciones de los Casos de Carga

PASO 19. Definición del caso de secuencia constructiva

Para que se muestren las fuerzas internas en los elementos de la estructura, tomando en cuenta que el edificio ha sido cargado en diferentes etapas durante su construcción, se debe definir un caso de secuencia constructiva:

- Ingresar al menú **Define > Add Sequential Construction Case**.
- En la ventana **Auto Construction Sequence Case**, verificar que la información concuerde con la mostrada en la figura 5-38.

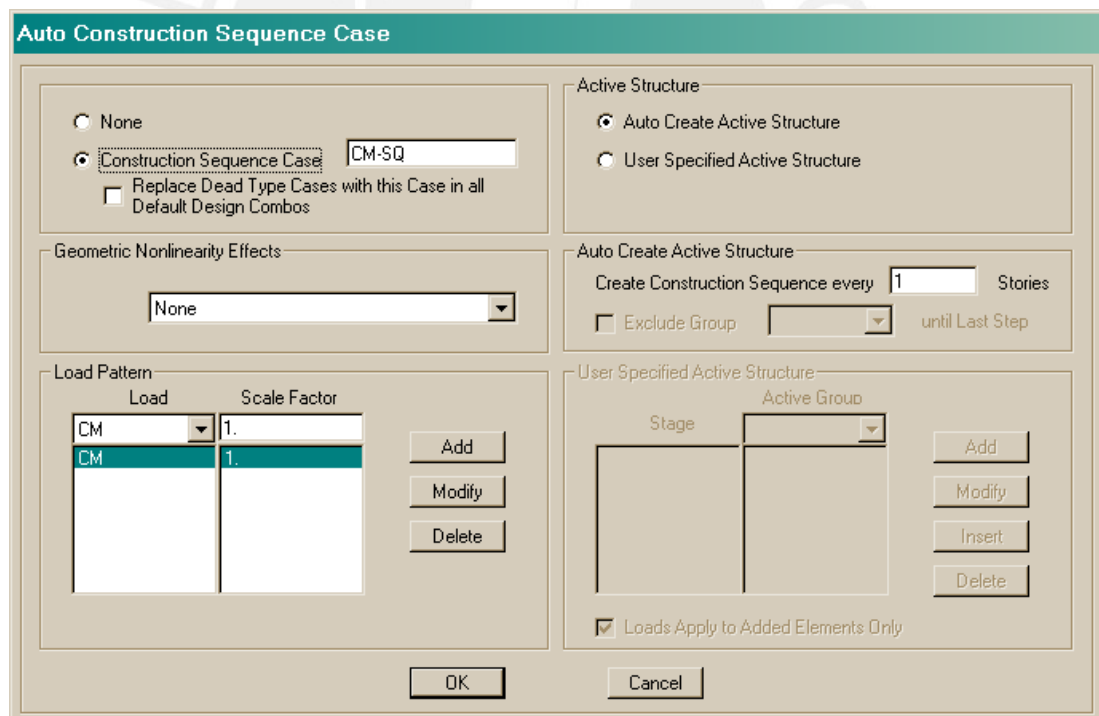



Figura 5-38.- Ventana de definición del caso de secuencia constructiva.

El archivo **Paso 19_DCSC.EDB**, comprende a los pasos previos e incluye la definición del caso de secuencia constructiva.

PASO 20. Definición de las combinaciones de los casos de carga

En este paso se definen las combinaciones de los casos de carga para el análisis. Como ejemplo se va a definir el caso de carga **MV** (Muerta-Viva), como la suma de **1.4*CM** y **1.7*CV**:

- Presionar el botón de comando  (**Define Load Combinations**).
- En la ventana **Define Load Combinations**, que se muestra en la figura 5-39, presionar el botón de comando **Add New Combo** para agregar la combinación de los casos.

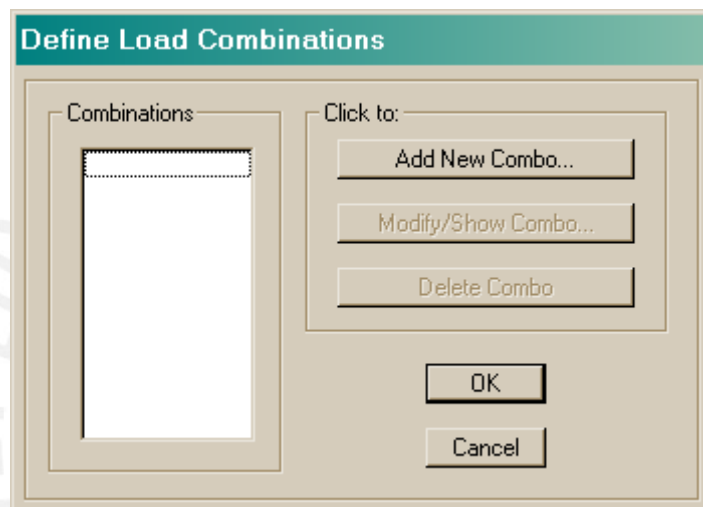
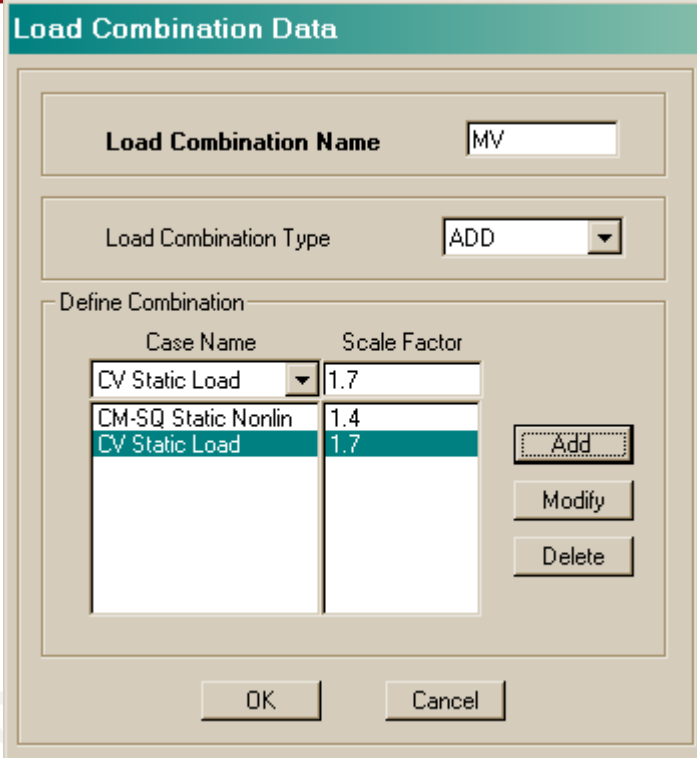


Figura 5-39.- Ventana de definición de combinaciones de carga.

- En la ventana **Load Combination Data**, escribir **MV** en el cuadro de texto **Load Combination Name**, seleccionar el tipo de combinación **ADD** y en el cuadro **Define Combination** seleccionar el nombre de un caso y su factor de multiplicación y posteriormente presionar **Add**. De esta forma, se seleccionará el caso **CM-SQ Static Nonlin** y el factor **1.4** y posteriormente el caso **CV Static Load** y el factor **1.7**, tal como se muestra en la figura 5-40.



Case Name	Scale Factor
CV Static Load	1.7
CM-SQ Static Nonlin	1.4
CV Static Load	1.7



Figura 5-40.- Combinaciones de carga para secuencia constructiva.

Nota: Hay que notar que se debe trabajar con el caso de carga **CM-SQ Static Nonlin**, proveniente del caso de secuencia constructiva y no con el caso de carga **CM**.

El archivo **Paso 20_CCC.EDB**, comprende a los pasos previos e incluye todas las combinaciones de los casos de carga.

PASO 21. *Procesamiento*

En este paso se corre el modelo y el caso de secuencia constructiva para que el programa realice el análisis, para ello:

- Presionar el botón de comando  (**Run Analysis**) y posteriormente  (**Run Construction Sequence Analysis**).

5.2 Resultados del Análisis

Después de realizar el análisis, el programa permite visualizar de manera tabular, para los casos de carga elegidos:

- El desplazamiento de los centros de masa y el desplazamiento en todos puntos, ya sean traslacionales o rotacionales, con lo cual es posible calcular la junta de

separación sísmica.

- Los desplazamientos relativos de entrepiso (Drifts), que podrán ser comparados con los límites permitidos en la Norma Peruana.
- Las reacciones en los apoyos.
- Las fuerzas cortantes de piso del análisis dinámico, de donde se podrá obtener el cortante basal, necesario para calcular el factor de escala de los resultados de este análisis.
- La información modal, como por ejemplo la razón de masa modal participante, necesaria para identificar los períodos máximos en cada dirección.
- Las fuerzas internas de los elementos de pórtico (vigas y columnas), como la fuerza axial, cortante y momentos flectores.
- Las fuerzas internas de los elementos de área con etiquetas pier y spandrel.

En la figura 5-41 se muestra la ventana **Chosse Table for Display**, que permite seleccionar los resultados que se requieren visualizar.

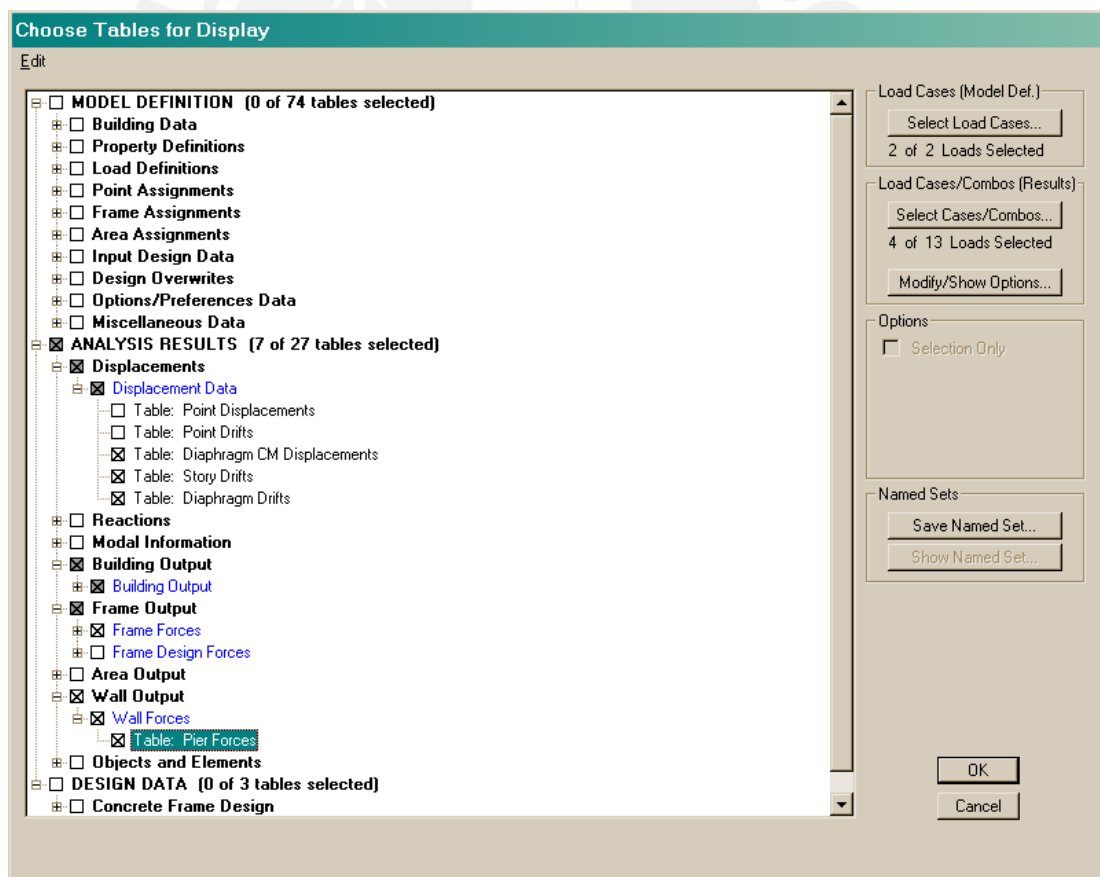


Figura 5-41.- Ventana de selección de los resultados del análisis.

5.3 Diseño de Elementos en Concreto Armado

5.3.1 Diseño de Vigas

A manera de ejemplo se va a diseñar la viga **V-0.30x0.65** del eje **3**, de la planta **PLAN P 5**:

- Ingresar al menú **Design > Concrete Frame Design > Select Design Combo**.
- En la ventana **Design Load Combinations Selection**, cargar de la lista de combinaciones (**List of Combos**), la combinación **ENVOL**. Ver figura 5-42.

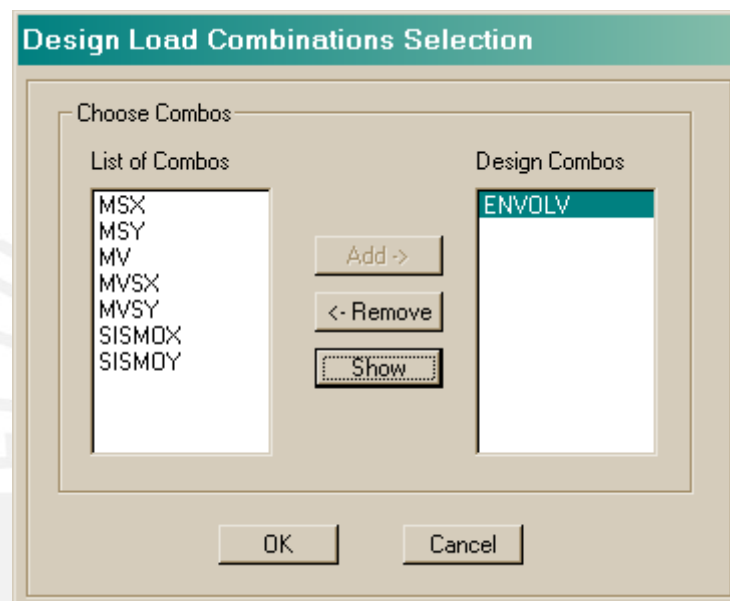


Figura 5-42.- Ventana de selección de combinaciones de carga.

- Ingresar al menú **Options > Preferences > Concrete Frame Design** y verificar que los valores mostrados en la ventana **Concrete Frame Design Preferences** correspondan a los de la figura 5-43.

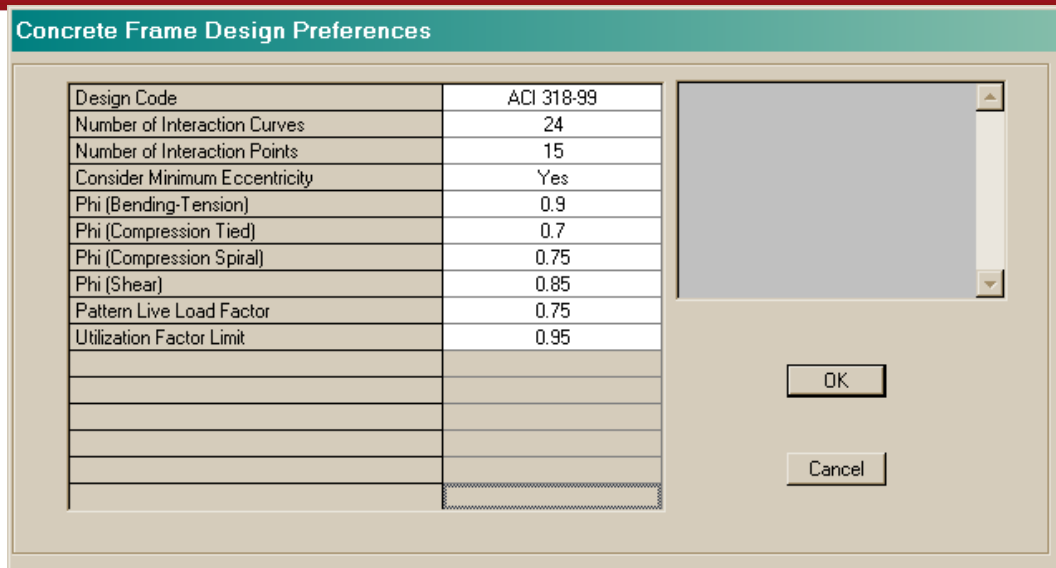


Figura 5-43.- Ventana de preferencias de diseño de pórticos de concreto.

- Presionar el botón de comando (Set Elevation View) y elegir la elevación 3.
- Seleccionar la viga de la planta **PLAN P 5** e ir al menú **Design > Concrete Frame Design > View/Revise Overwrites**.
- Dentro de la ventana **Concrete Frame Design Overwrites (ACI 318-99)**, activar la casilla **Element Type**, y seleccionar la opción **Sway Ordinary**, como se muestra en la figura 5-44.

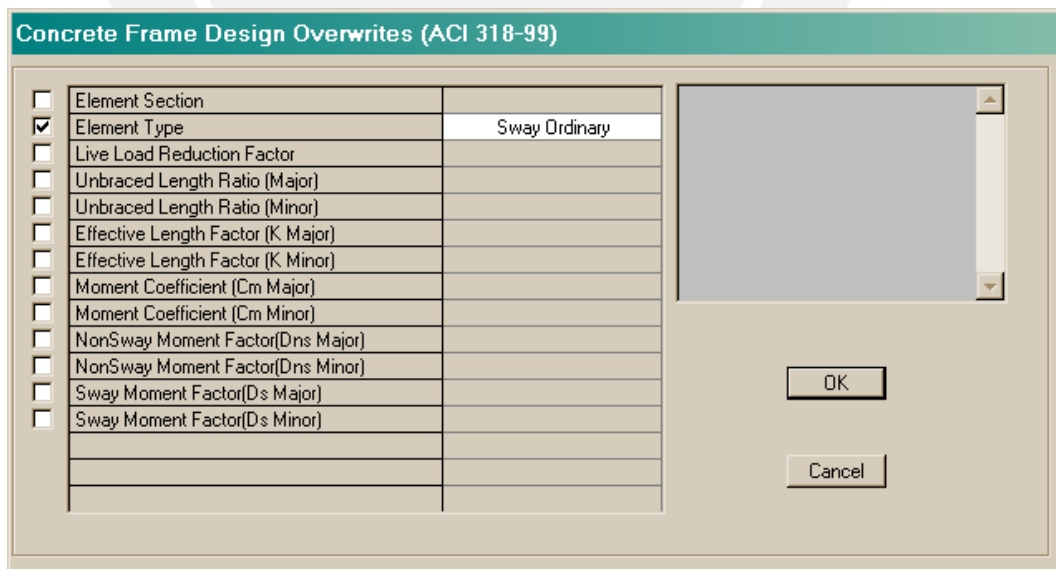


Figura 5-44.- Ventana de sobre escrituras, para definir el tipo de los elementos como ordinarios.

- Seleccionar nuevamente la viga y presionar el botón de comando (Start Concrete Design/Check of Structure).
- Cambiar las unidades por **Kgf-cm** (), en la parte inferior derecha de la

pantalla, para que el programa muestre el área de acero longitudinal requerida en cm^2 , tal como se aprecia en la figura 5-45.

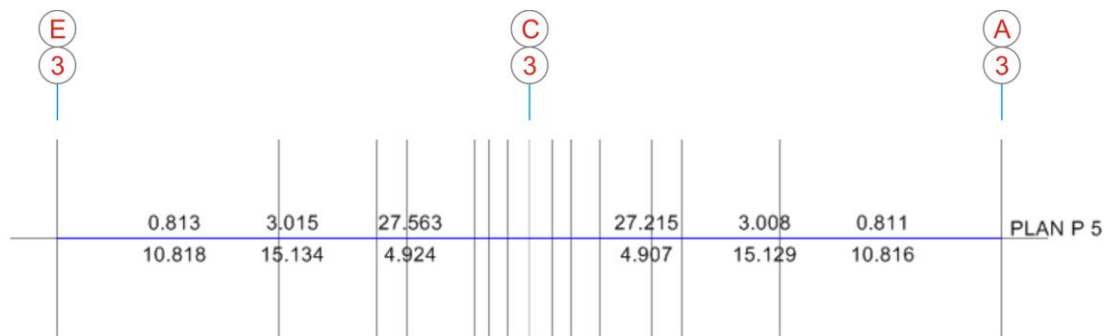


Figura 5-45.- Visualización en pantalla de ETABS del área requerida para el refuerzo a flexión de la viga V-0.30x0.65.

- Con los requerimientos máximos mostrados, plantear una distribución inicial de acero longitudinal.
En este caso, se puede realizar una redistribución para disminuir el área de acero superior, en el apoyo central (Eje **C**), de **27.563 cm^2 @ 25.5 cm^2 ($5\phi 1''$)** y verificar que un área de acero inferior de **15.3 cm^2 ($3\phi 1''$)** es suficiente.
- Hacer clic derecho sobre el tramo de viga comprendido entre los ejes **E** y **C** para mostrar la ventana **Concrete Beam Design Information (ACI 318-99)**, que contiene la información de las áreas requeridas de acero tanto para las solicitaciones de flexión (cm^2), como de corte (cm^2/cm). Ver figura 5-46.

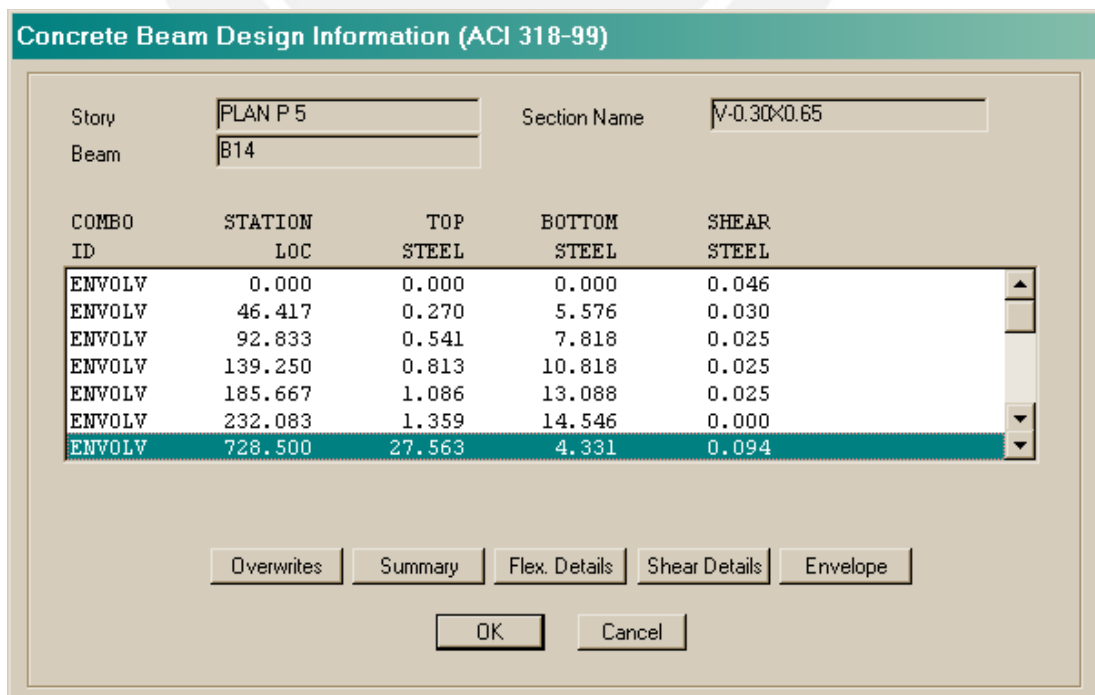
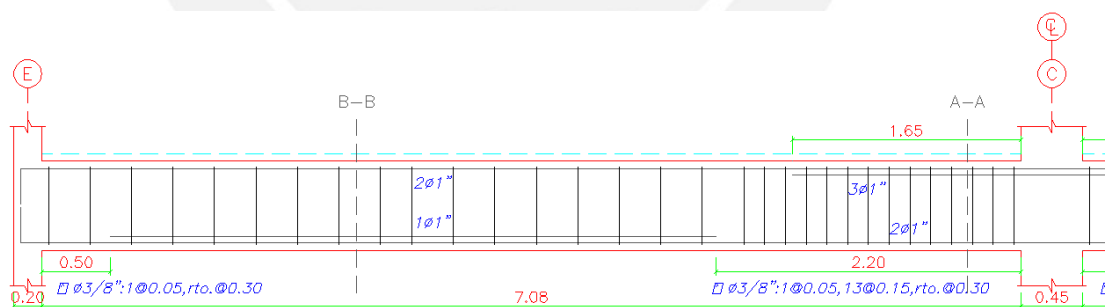


Figura 5-46.- Ventana de información del diseño de vigas de concreto, con áreas requeridas de acero.

- De la tabla mostrada en la figura 5-46, obtener aproximadamente las ubicaciones de los puntos teóricos de corte del acero superior e inferior, teniendo en consideración que se correrá tanto arriba como abajo $2\phi 1''$ (10.2 cm^2).
- Verificar que será necesario cortar aproximadamente:
 - Acero superior : a **625 cm** del extremo inicial.
 - Acero inferior : a **130 cm** y **448 cm** del extremo inicial.
- Con las recomendaciones de la norma, se obtienen los puntos finales de corte:
 - Acero superior : a **562.5 cm** de extremo inicial (a **165 cm** de la cara de la columna del eje C).
 - Acero inferior : a **70 cm** y **507.5 cm** del extremo inicial (a **50 cm** y **220 cm** de las caras de las columnas, de los ejes **E** y **C** respectivamente).
- Para calcular el espaciamiento de los estribos ($3/8''$), se divide el área de acero entre la cuantía que presenta la tabla de resultados de ETABS. Así, para una cuantía de $0.095 \text{ cm}^2/\text{cm}$ el espaciamiento máximo es de **14.95 cm** y para una cuantía de $0.046 \text{ cm}^2/\text{cm}$, de **30.87 cm**. Para el ejemplo se utilizarán espaciamientos de **15 cm** y **30 cm**, hasta cubrir los requerimientos de acero que exige la tabla de la figura 5-46.

En la figura 5-47, se muestra el diseño de la viga entre los ejes **C** y **E**. La sección de la viga, entre los ejes **A** y **C** es simétrica.



VT-05 (0.30x0.65m) TECHO 2 AL 8

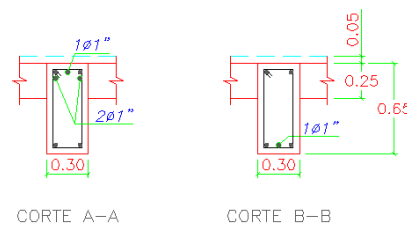



Figura 5-47.- Esquema de la viga diseñada, entre los ejes C y E.

5.3.2 Diseño de Columnas

A manera de ejemplo se va a diseñar la columna **C-0.90X0.45**, ubicada entre los ejes **3** y **C**, del nivel **PLAN P 1**:

- Verificar que las unidades sean **Ton-m** ($\sqrt{\text{Ton}\cdot\text{m}}$), en la parte inferior derecha de la pantalla.
- Presionar el botón de comando  (**Set Elevation View**) y elegir la elevación **3**.
- Seleccionar la columna del eje **C** de la planta **PLAN P 1**.
- Ingresar al menú **Display > Show Tables**, y en la ventana **Choose Tables for Display**, seleccionar **ANALYSIS RESULTS > Frame Output > Frame Forces > Table: Column Forces**, como se indica en la figura 5-48.

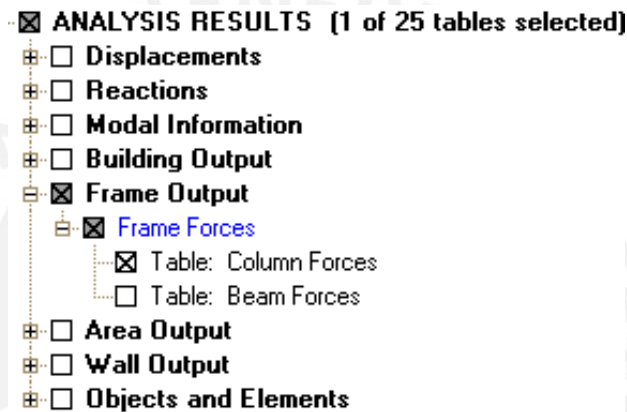


Figura 5-48.- Selección de la tabla de fuerzas internas de las columnas elegidas.

- En la misma ventana (**Choose Tables for Display**), dentro del cuadro **Load Cases/Combos (Results)**, presionar el botón de comando **Select Cases/Combos** y seleccionar los casos de carga **CM-SQ Static Nonlin**, **CV Static Load**, **SISMOX Combo** y **SISMOY Combo**, tal como se muestra en la figura 5-49.

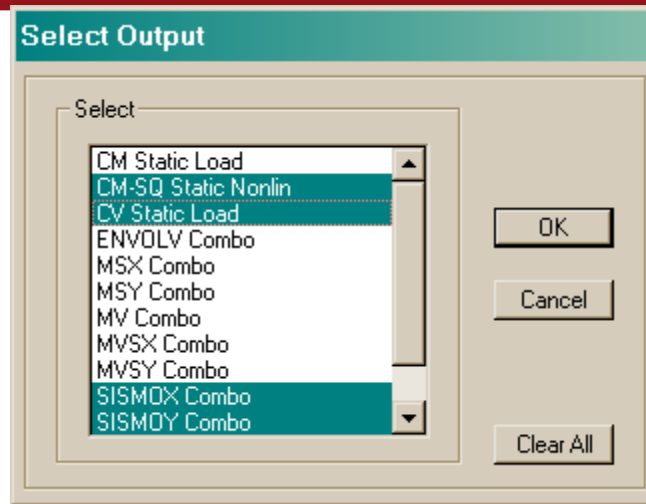


Figura 5-49.- Casos de carga seleccionados para realizar el diseño de la columna.

- Copiar los valores mostrados en la tabla **Column Forces** en una hoja de Excel.
- Construir en Excel una tabla (ver tabla 5-6) con la fuerza axial (**P**) y los momentos flectores (**M2** y **M3**) para cada uno de los anteriores casos de carga.

Tabla 5-6.- Fuerzas internas de la columna, provenientes del programa ETABS.

	P (Tn)	M2 (Tn-m)	M3 (Tn-m)
MUERTA:	-384.18	-0.15	16.31
VIVA:	-127.53	-0.01	3.03
SISMOX:	1.98	0.35	11.42
SISMOY:	0.22	8.28	-0.41

- Realizar el metrado manual de la carga axial para los casos de carga muerta y viva, que recibe la columna en ese nivel, utilizando el criterio del área tributaria.
- Comparar con el resultado que obtiene el programa (ver tabla 5-7) y posteriormente verificar si las cargas del programa se aproximan a las del criterio de área tributaria. En este ejemplo se va a trabajar con la carga del metrado manual.

Tabla 5-7.- Comparación entre el metrado manual y de ETABS, para la carga axial proveniente de los casos de carga muerta y viva.

	P (Manual) (Tn)	P (ETABS) (Tn)
MUERTA:	-350.09	-384.18
VIVA:	-139.90	-127.53

- En la tabla 5-8, se muestran las cargas seleccionadas que actúan en la columna para los diferentes casos de carga elegidos.

Tabla 5-8.- Fuerzas internas de los casos de carga.

	P (Tn)	M2 (Tn-m)	M3 (Tn-m)
MUERTA:	-350.09	-0.15	16.31
VIVA:	-139.90	-0.01	3.03
SISMOX:	1.98	0.35	11.42
SISMOY:	0.22	8.28	-0.41

- Con las fuerzas de la tabla 5-8, realizar las combinaciones de los casos de carga que se muestran en la tabla 5-9.

Tabla 5-9.- Combinaciones de los casos de carga, para el diseño de columnas.

Nivel	Descripción	Combinación	Pu (Tn)	Mu2 (Tn-m)	Mu3 (Tn-m)
PLAN P 1	C-0.90X0.45	MV	-727.96	-0.22	27.98
		MSX	-313.1	0.22	26.1
		MSY	-314.86	8.14	14.27
		MVSX	-610.51	0.15	35.59
		MVSY	-612.27	8.08	23.77
		-MSX	-317.06	-0.48	3.26
		-MSY	-315.3	-8.41	15.09
		-MVSX	-614.47	-0.55	12.76
		-MVSY	-612.71	-8.47	24.58

- Ingresar al menú **Options > Preferences > Shear Wall Design** y verificar que los valores mostrados en la ventana **Wall Pier/Spandrel Design Preferences** correspondan a los de la figura 5-50. Para una mejor presentación del diagrama de interacción, el número de puntos (**Number of Points**) debe ser \geq que **15**.

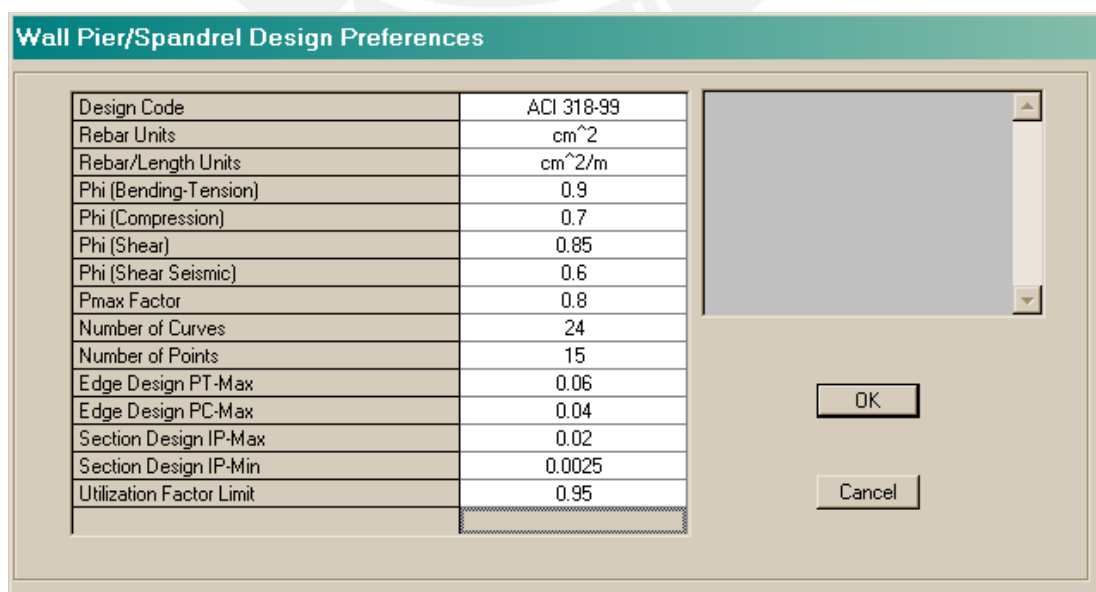


Figura 5-50.- Ventana de preferencias de diseño de secciones pier y spandrel.

- Ingresar al menú **Design > Shear Wall Design > Define Pier Sections for Checking** y en la ventana **Pier Sections** (figura 5-51) presionar el botón de comando **Add Pier Section**.

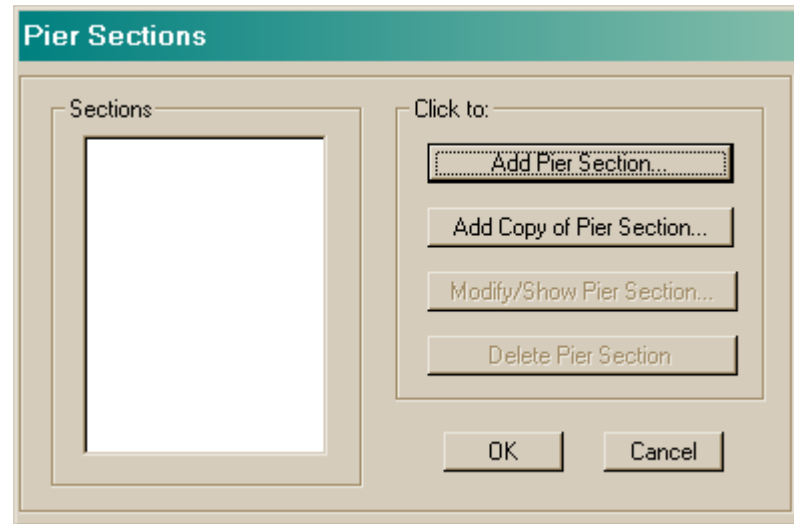


Figura 5-51.- Ventana de definición de secciones pier.

- En la ventana **Pier Section Data**, mostrada en la figura 5-52, escribir **C90X45INI** en el cuadro de texto **Section Name** y presionar el botón de comando **Section Designer**.

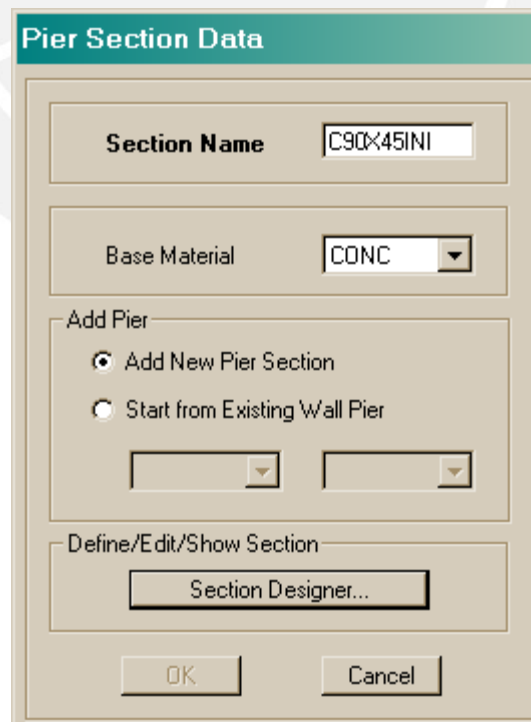


Figura 5-52.- Ventana de definición de datos de una sección pier.

- Dentro del Sub Programa **Section Designer**, graficar la sección de la columna, con una distribución inicial de acero ($16 \phi 1''$, **aprox.** $\rho = 2\%$), tal como se muestra en la figura 5-53.

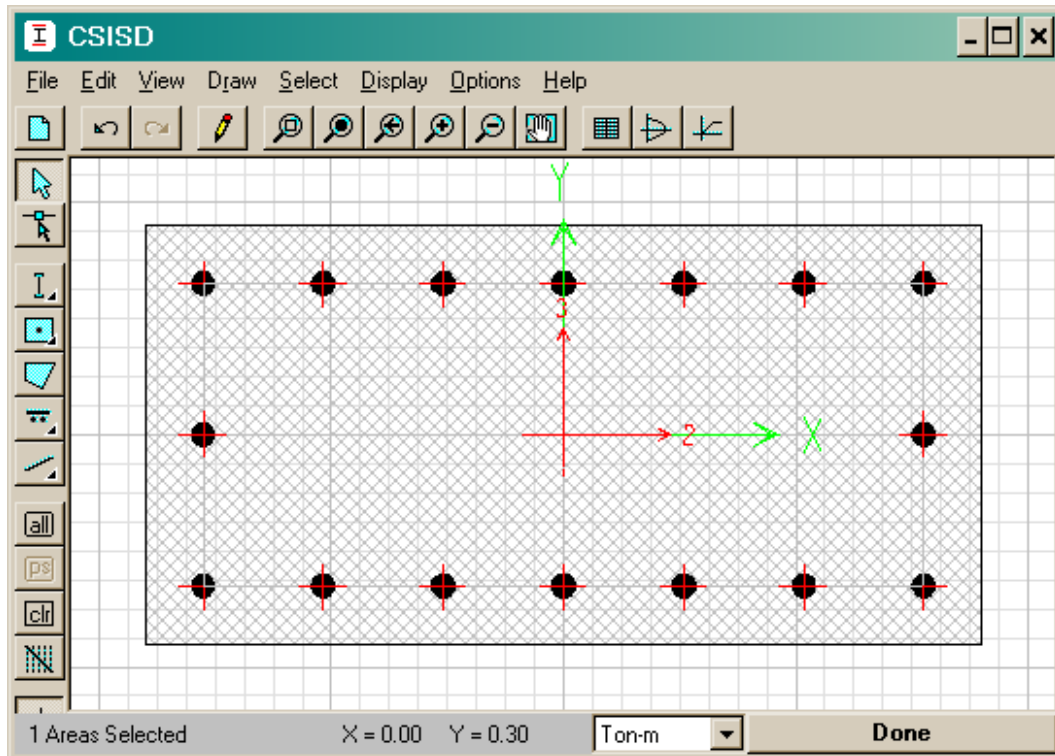



Figura 5-53.- Refuerzo inicial colocado en la columna, dibujado en el Section Designer.

- Para obtener el diagrama de Interacción (figura 5-54), presionar el botón de comando  (**Show Interaction Surface**).

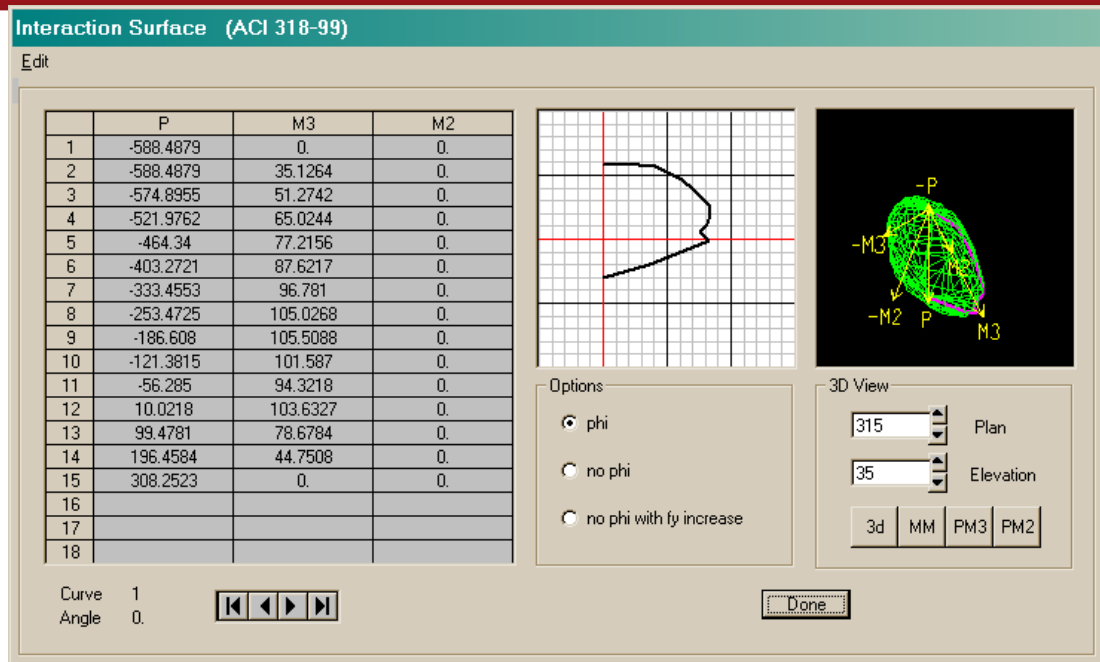


Figura 5-54.- Superficie de interacción de la sección inicial de columna dibujada.

- Copiar los resultados mostrados en la ventana **Interaction Surface** en una hoja de Excel, y graficar las curvas del diagrama de interacción para los pares **P-M2 (90°-curva 7 y 270°-curva 19)** y **P-M3 (0°-curva 13 y 180°-curva 1)**.
- Comprobar si la resistencia de la columna es mayor que la demandada por las combinaciones de las fuerzas. En caso de no ser así, iterar aumentando su armadura, hasta llegar a cumplir con la demanda de resistencia.
- Como no se cumple este requisito con la armadura inicial, modificarla por **16 ϕ 1³/₈"**. Para ello, crear una nueva sección (**C90X45FIN**) en la ventana **Pier Section Data** y presionar el botón de comando **Section Designer**. En la figura 5-55 se muestra el detalle de la nueva sección.

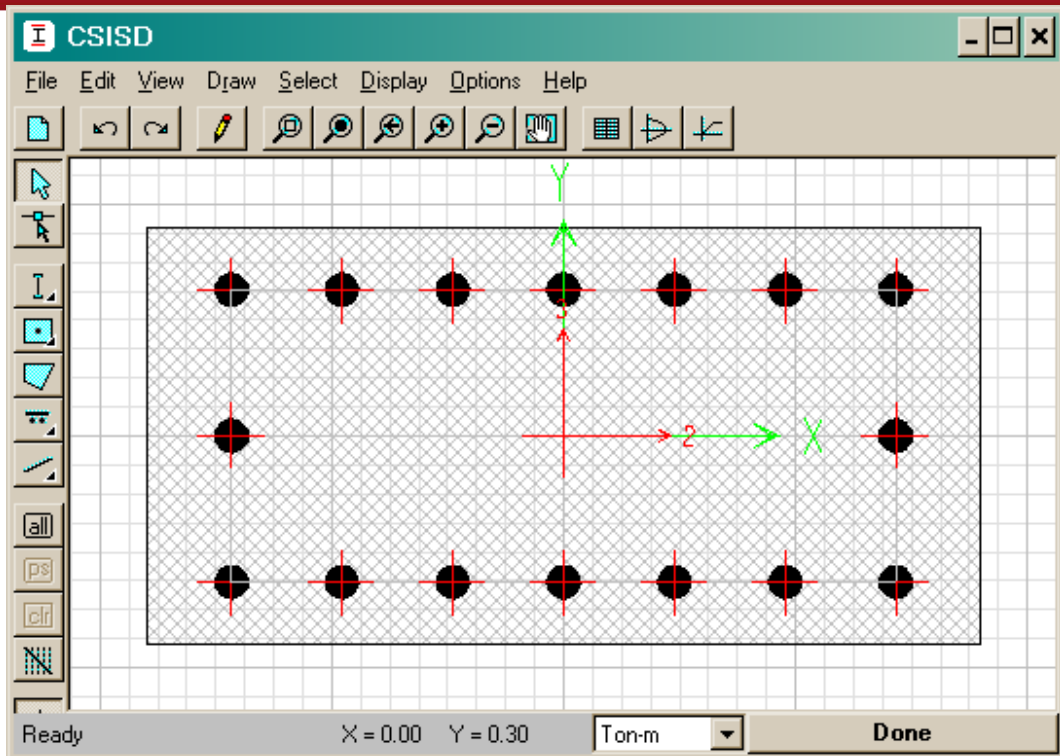


Figura 5-55.- Refuerzo modificado de la sección de la columna, dibujado en el Section Designer.

- Comprobar nuevamente si la resistencia de la columna es mayor que la demandada por las combinaciones de las fuerzas. Se aprecia en la figura 5-56 y en la figura 5-57 que con $16 \phi 1\frac{3}{8}$ " se cumple el requisito buscado en los ejes locales 2 y 3 respectivamente.

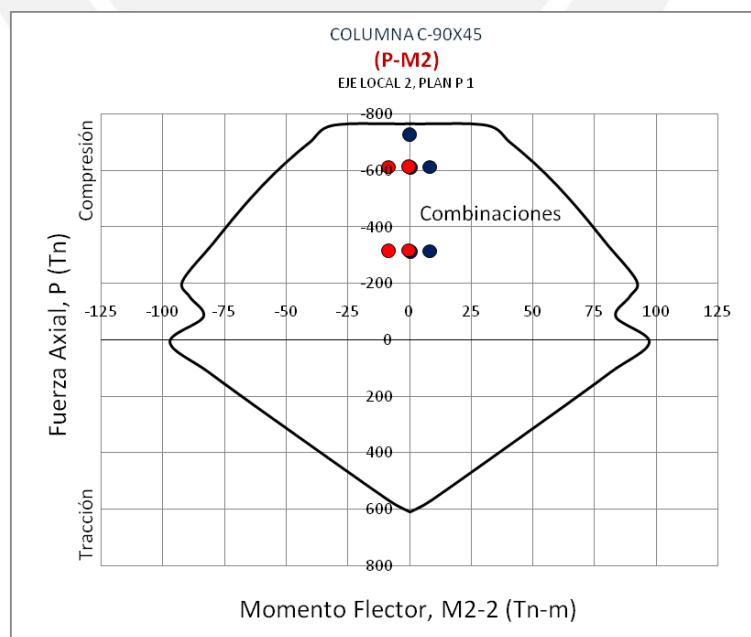


Figura 5-56.- Diagrama de interacción de la columna C-0.90X0.45, para el eje local 2.

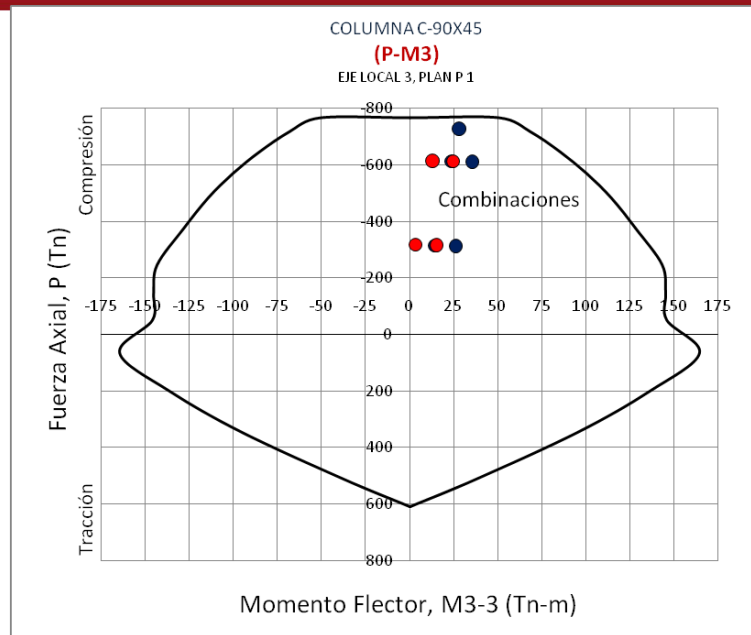



Figura 5-57.- Diagrama de interacción de la columna C-0.90X0.45, para el eje local 3.

- Para calcular la distribución del acero transversal, visualizar la fuerza cortante en la columna, en la dirección 2. Para ello, ir al menú **Display > Show Member Forces/Stress Diagram** () > **Frame/Pier/Spandrel Forces**.
- En la ventana **Member Force Diagram for Frames**, seleccionar el caso de carga **ENVOLV** y en el cuadro **Component** la opción **Shear 2-2**.
- Con las recomendaciones de la Norma **E.060**, calcular el espaciamiento del refuerzo transversal. Para este caso con ϕ 3/8": **1@0.05, 8@0.15 y rto. @ 0.30 m c/ext.** es suficiente. El espaciamiento máximo de **0.30 m**, contempla el requerimiento de control del pandeo de las barras longitudinales.

En la figura 5-58 se muestra el diseño de la columna **C-90X45** en el primer piso.

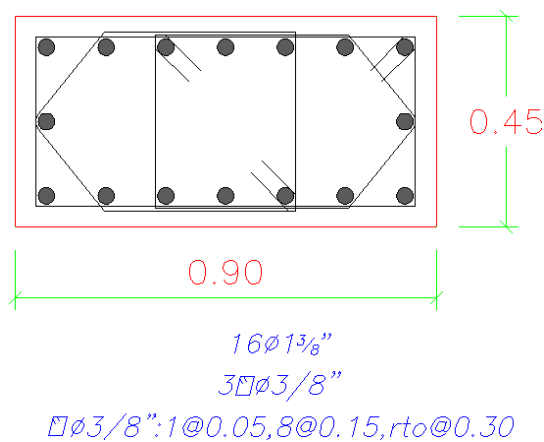



Figura 5-58.- Esquema de la columna C-0.90X0.45 diseñada en el primer piso.

5.3.3 Diseño de Muros (Placas)

A manera de ejemplo se va a diseñar el muro del nivel **PLAN P 1**, ubicado entre los ejes **1C** y **7A** e identificado con la etiqueta **PL1**:

- Verificar que las unidades sean **Ton-m** (Ton-m), en la parte inferior derecha de la pantalla.
- Presionar el botón de comando  (**Set Elevation View**) y elegir la elevación **A**.
- Seleccionar el muro comprendido entre los ejes **1C** y **7A** de la planta **PLAN P 1**.
- Ingresar al menú **Display > Show Tables**, y en la ventana **Choose Tables for Display**, seleccionar **ANALYSIS RESULTS > Wall Output > Wall Forces > Table: Pier Forces**, como se indica en la figura 5-59.

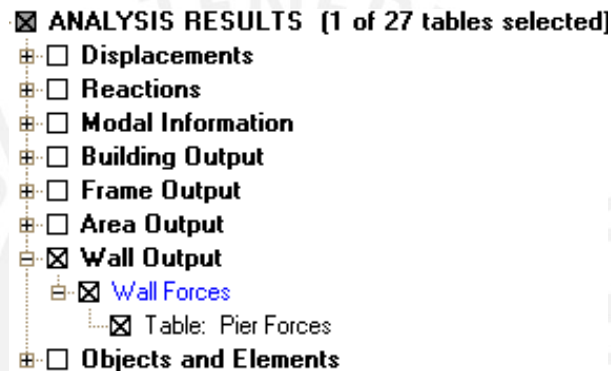


Figura 5-59.- Selección de la tabla de fuerzas internas de las secciones pier elegidas.

- En la misma ventana (**Choose Tables for Display**), dentro del cuadro **Load Cases/Combos (Results)**, presionar el botón de comando **Select Cases/Combos** y seleccionar los casos de carga **CM-SQ Static Nonlin**, **CV Static Load**, **SISMOX Combo** y **SISMOY Combo**, tal como se muestra en la figura 5-60.

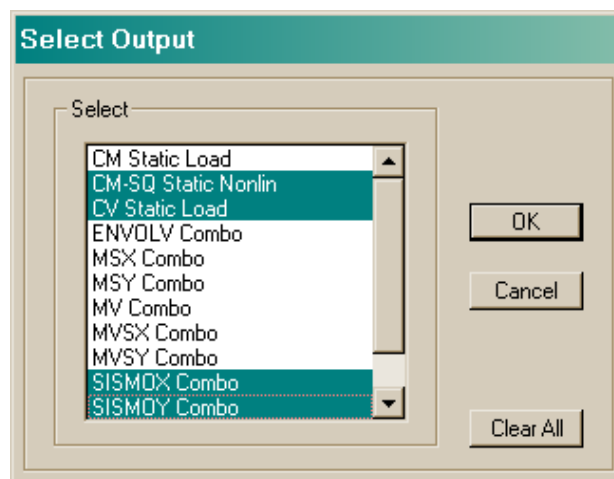


Figura 5-60.- Casos de carga seleccionados para realizar el diseño del muro.

- Copiar los valores mostrados en la tabla **Pier Forces** en una hoja de Excel.
- Construir en Excel una tabla (ver tabla 5-10) con la fuerza axial (**P**) y los momentos flectores (**M2** y **M3**) para cada uno de los anteriores casos de carga.

Tabla 5-10.- Fuerzas internas del muro, provenientes del programa ETABS.

	P (Tn)	M2 (Tn-m)	M3 (Tn-m)
MUERTA:	-567.76	0.75	-1,999.30
VIVA:	-121.74	0.85	-604.69
SISMOX:	43.35	0.81	-3,114.58
SISMOY:	50.99	-20.86	1,189.62

- Realizar el metrado manual de la carga axial, para los casos de carga muerta y viva, que recibe el muro en ese nivel, utilizando el criterio del área tributaria.
- Comparar con el resultado que obtiene el programa (ver tabla 5-11) y posteriormente verificar si las cargas del programa se aproximan a las del criterio de área tributaria. En este ejemplo se va a trabajar con la carga del metrado manual.

Tabla 5-11.- Comparación entre el metrado manual y de ETABS, para la carga axial proveniente de los casos de carga muerta y viva.

	P (Manual) (Tn)	P (ETABS) (Tn)
MUERTA:	-642.28	-590.84
VIVA:	-156.34	-129.58

- En la tabla 5-12, se muestran las cargas que actúan en el muro para los diferentes casos de carga elegidos.

Tabla 5-12.- Fuerzas internas de los casos de carga.

	P (Tn)	M2 (Tn-m)	M3 (Tn-m)
MUERTA:	-642.28	0.75	-1,999.30
VIVA:	-156.34	0.85	-604.69
SISMOX:	43.35	0.81	-3,114.58
SISMOY:	50.99	-20.86	1,189.62

- Con las fuerzas de la tabla 5-12, realizar las combinaciones de los casos de carga, que se muestran en la tabla 5-13.

Tabla 5-13.- Combinaciones de los casos de carga, para el diseño del muro.

Nivel	Descripción	Combinación	Pu (Tn)	Mu2 (Tn-m)	Mu3 (Tn-m)
PLAN P 1	PL1	MV	-1164.97	2.51	-3826.98
		MSX	-534.7	1.49	-4913.95
		MSY	-527.06	-20.18	-609.75
		MVSX	-954.93	2.82	-6369.56
		MVSY	-947.29	-18.85	-2065.36
		-MSX	-621.4	-0.13	1315.21
		-MSY	-629.04	21.54	-2988.99
		-MVSX	-1041.63	1.2	-140.4
		-MVSY	-1049.27	22.87	-4444.6

- Ingresar al menú **Options > Preferences > Shear Wall Design** y verificar que los valores mostrados en la ventana **Wall Pier/Spandrel Design Preferences** correspondan a los de la figura 5-61. Para una mejor presentación del diagrama de interacción, el número de puntos (**Number of Points**) debe ser por lo menos de **15**.

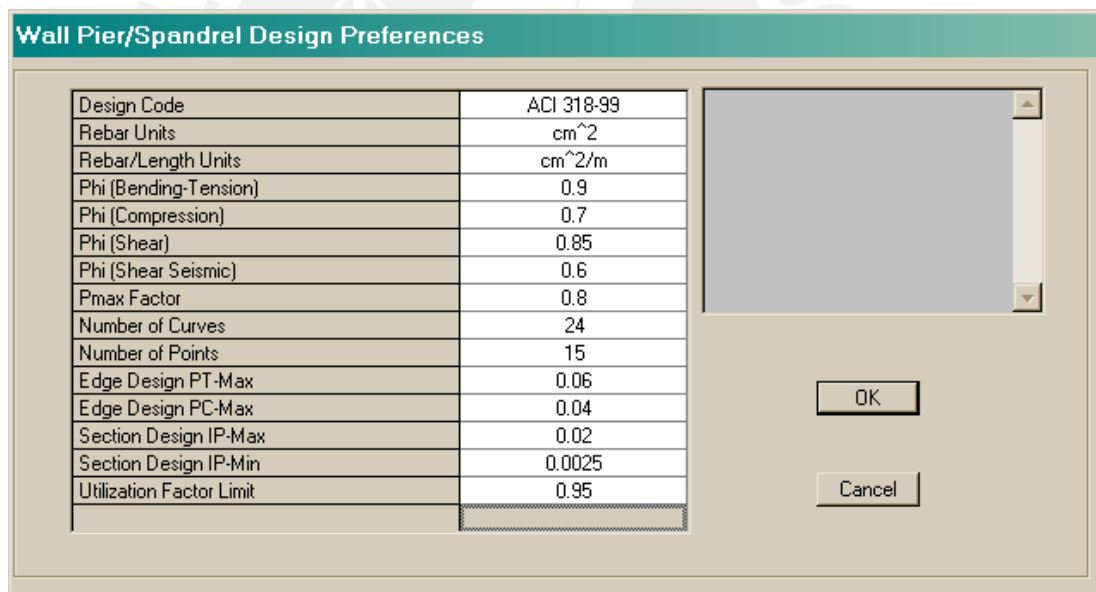


Figura 5-61.- Ventana de preferencias de diseño de secciones pier y spandrel.

- Ingresar al menú **Design > Shear Wall Design > Define Pier Sections for Checking** y en la ventana **Pier Sections** (figura 5-62) presionar el botón de comando **Add Pier Section**.

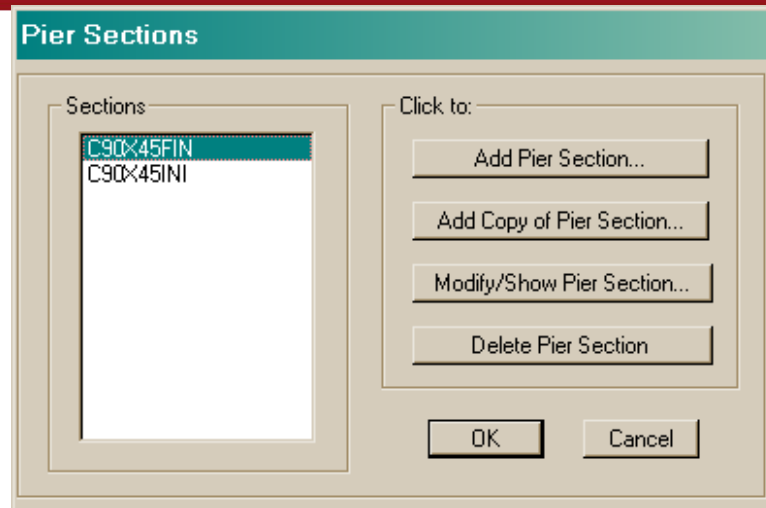


Figura 5-62.- Ventana de definición de secciones pier.

- En la ventana **Pier Section Data**, mostrada en la figura 5-63, escribir **PL1** en el cuadro de texto **Section Name** y presionar el botón de comando **Section Designer**.

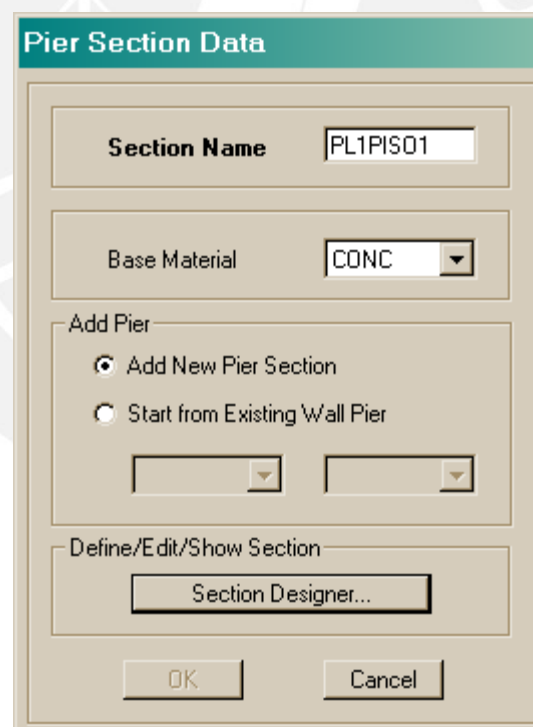


Figura 5-63.- Ventana de definición de datos de una sección pier.

- Dentro del Sub Programa **Section Designer**, graficar la sección del muro, con una distribución inicial de acero, tomando en cuenta la fuerza cortante para el acero distribuido y asumiendo que los núcleos extremos toman íntegramente el momento. De esta manera, se colocarán en cada núcleo de los extremos y en los intermedios, que coinciden con los ejes, **6 ϕ 5/8"** y un acero distribuido de ϕ

3/8" @ 0.35 m ($\rho_v = .0020$). Ver figura 5-64.

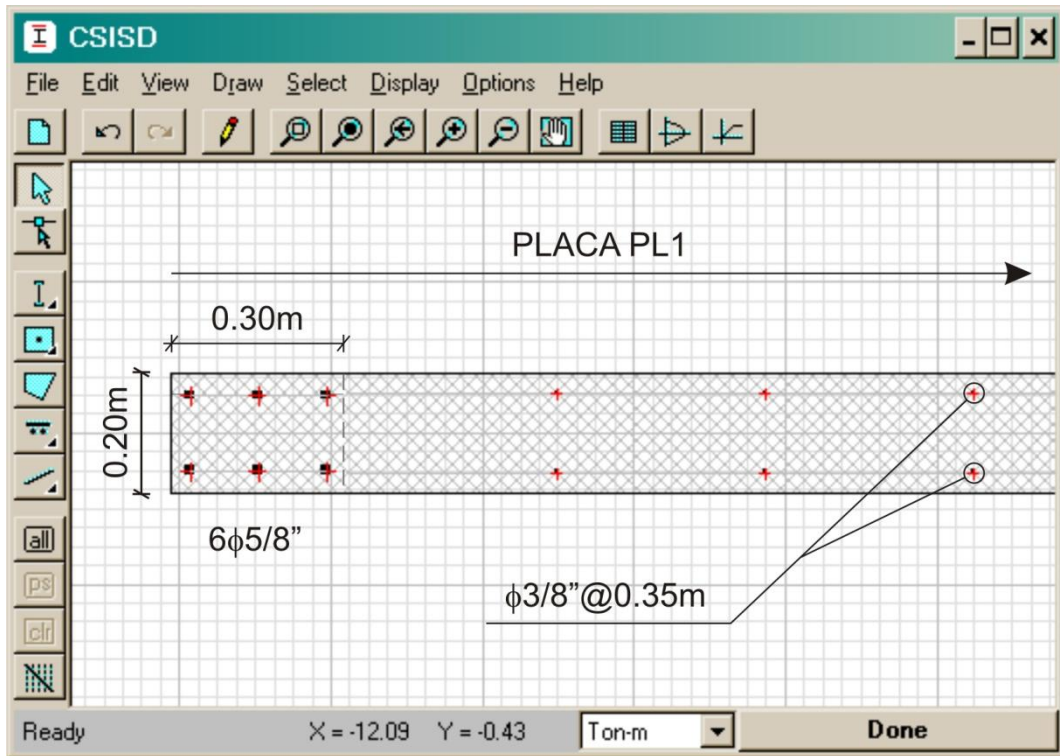


Figura 5-64.- Refuerzo inicial colocado en el muro, dibujado en el Section Designer.

- Para obtener el diagrama de Interacción (figura 5-65), presionar el botón de comando (Show Interaction Surface).

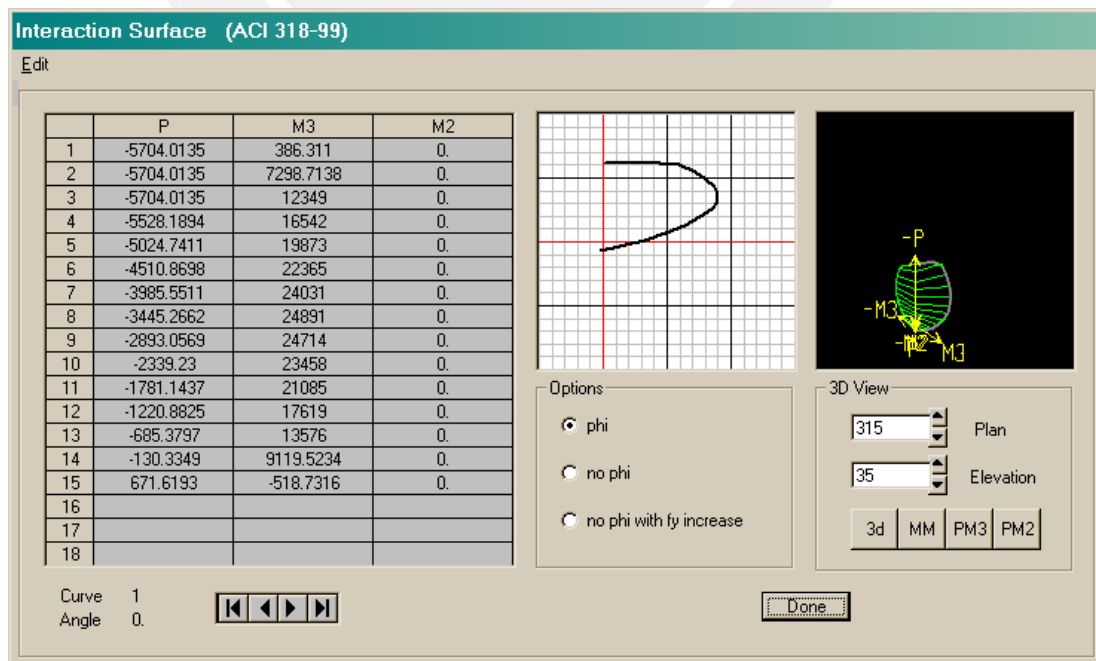


Figura 5-65.- Superficie de interacción para la sección del muro dibujado.

- Copiar los resultados mostrados en la ventana **Interaction Surface** en una hoja de Excel, y graficar las curvas del diagrama de interacción para los pares **P-M2 (90°-curva 7 y 270°-curva 19)** y **P-M3 (0°-curva 13 y 180°-curva 1)**.
- Comprobar si la resistencia del muro es mayor que la demandada por las combinaciones de las fuerzas. En caso de no ser así, iterar aumentando su armadura, hasta llegar a cumplir con la demanda de resistencia. En la figura 5-66 y en la figura 5-67 se aprecia que con esta sección se cumple el requisito buscado en los ejes locales 2 y 3 respectivamente.

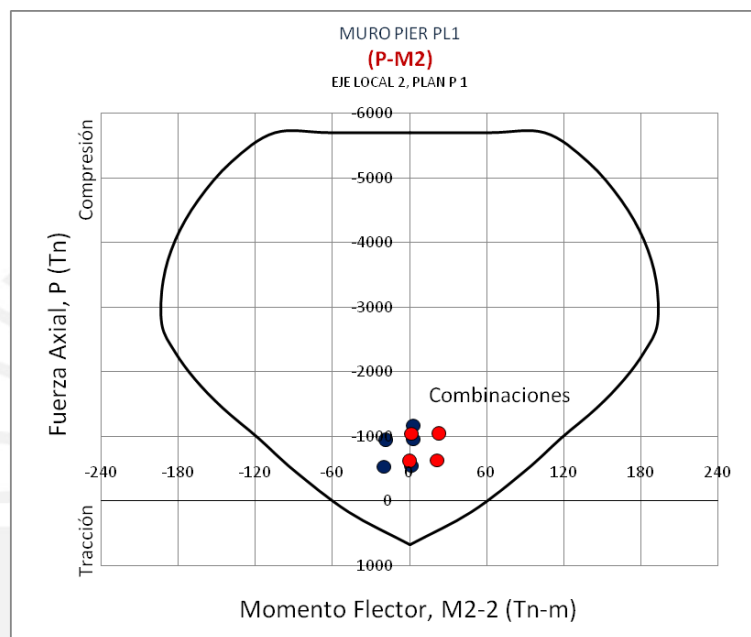


Figura 5-66.- Diagrama de interacción del muro PL1PISO1, para el eje local 2.

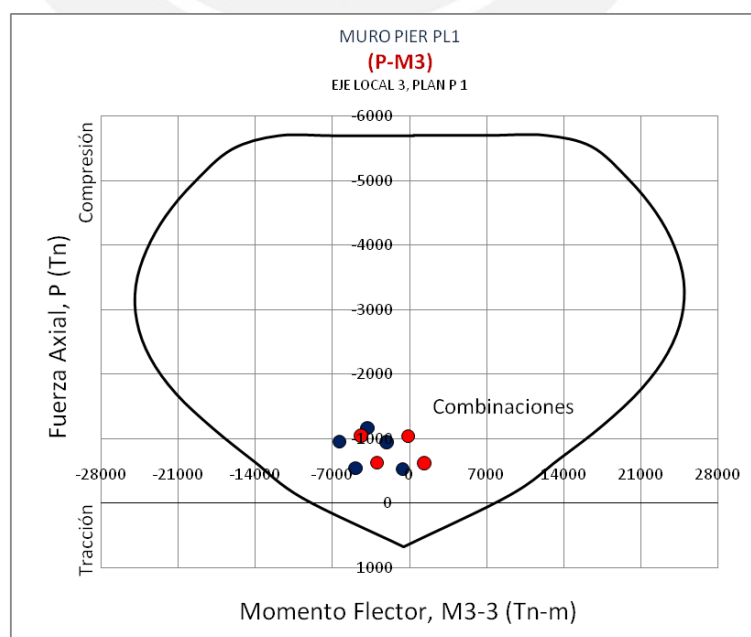
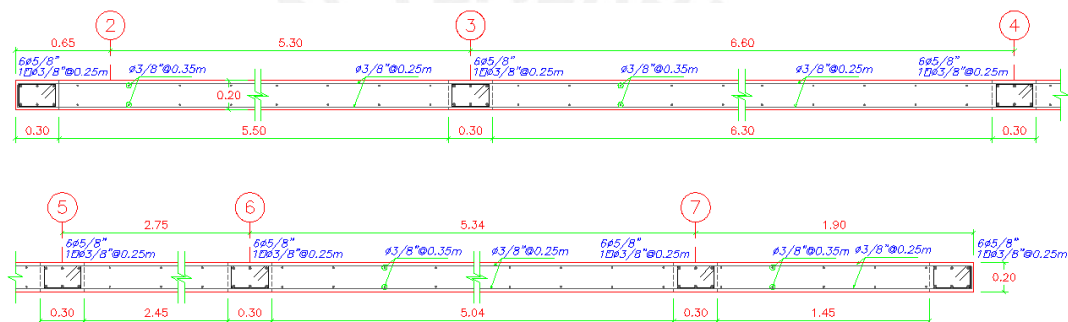


Figura 5-67.- Diagrama de interacción del muro PL1PISO1, para el eje local 3.

- Para calcular la distribución del acero transversal, visualizar la fuerza cortante en la base del muro, en la dirección **2**. Para ello, ir al menú **Display > Show Member Forces/Stress Diagram (11) > Frame/Pier/Spandrel Forces**.
- En la ventana **Member Force Diagram for Frames**, seleccionar el caso de carga **ENVOLV**, en el cuadro **Component** la opción **Shear 2-2** y dentro del cuadro **Include** activar la casilla **Piers**.
- Con las recomendaciones de la Norma **E.060**, calcular el espaciamiento del refuerzo transversal. El acero mínimo a colocar es ϕ **3/8" @ 28.4 cm** ($\rho_h =$ **0.0025**), por lo que se espaciará el acero horizontal cada **25 cm**.

En la figura 5-68 se muestra el diseño del muro **PL1** en el primer piso.



PL1 (26.53X0.20m) TECHO 1

Figura 5-68.- Esquema del muro PL1PISO1 diseñado en el primer piso.

6 CONCLUSIONES

- Al usar un programa de cómputo se reduce el tiempo de creación del modelo y se pueden realizar modificaciones muy rápidamente. Sin embargo, la veracidad de los resultados está en función de un modelo que se aproxime al comportamiento de la estructura real.
- Durante el análisis de secuencia constructiva, ETABS resuelve las cargas que se aplican en los elementos del edificio, realizando un análisis estático no lineal. Para los elementos verticales (columnas y muros), será necesario comparar estas cargas con un metrado manual que tome en cuenta el criterio de área tributaria (para verificar su validez), antes de utilizarlas para realizar las combinaciones de los casos de carga utilizados para el diseño.
- Una herramienta útil para el diseño de columnas y muros es el Diseñador de Secciones, un sub programa dentro de ETABS, porque facilita la obtención del diagrama de interacción de cualquier sección transversal dibujada en él.
- En el caso de las vigas, el programa calcula las cargas por el criterio del área tributaria, por lo cual es posible utilizar los resultados del diseño automático (que se muestra como áreas o cuantías de acero) para obtener directamente y de manera rápida el armado de acero en estos elementos.
- Nuestra norma no está contemplada dentro del programa ETABS, pero es posible obtener los mismos resultados que se obtendrían al diseñar con ésta, si se selecciona para el diseño el código ACI 318-99 y se especifica que los elementos son del tipo "Ordinario" (sway ordinary).
- En cuanto a la interfase gráfica, que ofrece opciones intuitivas para la creación del modelo estructural (ordenadas dentro de menús secuenciales y lógicos), así como a las opciones de presentación de resultados (por medio de gráficos realísticos y tablas) y a las diversidad de análisis que puede realizar el programa, podemos concluir que ETABS es una herramienta que ha probado ser sencilla y bastante completa para el análisis de edificios.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE
1999 Building code requirements for structural concrete (ACI 318-99) with commentary. Farmington Hills. Mich.

- BAZÁN, Enrique
1999 Diseño sísmico de edificios. México: Limusa.

- CENTRO DE EDUCACIÓN CONTINUA
1999 Curso: Introducción al método de los elementos finitos. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Área de diseño – Sección Ingeniería Mecánica.

- GIANFRANCO OTAZZI, Pasino
2004 Apuntes del curso concreto armado 1. Cuarta edición. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

- GONZÁLES CUEVAS, Oscar Manuel
1986 Aspectos fundamentales del concreto reforzado. Segunda edición. México: Limusa.

- Manuales de COMPUTERS AND STRUCTURES, INC.
2000 ETABS Three dimensional analysis and design of building systems, Section Designer Manual. Primera Edición. California.

2005 CSI Analysis reference manual for SAP 2000, ETABS and SAFE. California.

2005 ETABS Integrated building design software, Introductory Tutorial. Version 9. California.

2005 ETABS Integrated building design software, User's Guide. Version 9. California.

- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO
2006 Reglamento Nacional de Edificaciones: Decreto Supremo N° 011-2006-Vivienda.

- MUÑOZ PELÁEZ, Alejandro
1999 Ingeniería sismorresistente. Primera edición. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

- OCHOA SARZO, Fernando Paúl/MAZA ESPÍRITU, Luis Javier
2000 Modelaje y análisis de estructuras mediante programas de computación. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Civil. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.

- SAN BARTOLOMÉ, Ángel
1999 Análisis de edificios. Segunda edición. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo Editorial.

- SARRIA MOLINA, Alberto
1995 Ingeniería sísmica. Segunda edición. Bogotá: ECOE.

- COMPUTER AND STRUCTURES, INC.
History of company.
<<http://www.csiberkeley.com/USGS/backgroundunder.pdf>>

ANEXOS

ANEXO A. Esquema del contenido del CD

ANEXO B. CD del Documento

ANEXO A (Esquema del contenido del CD)

