



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

## **DISEÑO DE UN MODELO ESTRUCTURAL CON EL PROGRAMA ETABS®**

**KENNY ROLANDO CORZO VÉLIZ**

Asesorado por Ing. Hugo Roberto Nájera Castillo

Guatemala, octubre de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN MODELO ESTRUCTURAL  
CON EL PROGRAMA ETABS®**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**KENNY ROLANDO CORZO VÉLIZ**

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO: Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
VOCAL I:  
VOCAL II: Lic. Amahán Sánchez Álvarez  
VOCAL III: Ing. Julio David Galicia Celada  
VOCAL IV: Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz  
VOCAL V: Br. Elisa Yazminda Vides Leiva  
SECRETARIA: Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO: Ing. Sydney Alexander Samuels Milson  
EXAMINADOR: Ing. Raúl Alberto Marroquín Marroquín  
EXAMINADOR: Ing. Fredy Enrique Ríos Godinez  
EXAMINADOR: Ing. Francisco Javier Quiñónez De la cruz  
SECRETARIO: Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DISEÑO DE UN MODELO ESTRUCTURAL CON EL PROGRAMA ETABS®**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 25 de mayo de 2005.

Kenny Rolando Corzo Véliz

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Mi DIOS Y MI SEÑOR JESUCRISTO**, que me has ayudado en todo, has estado siempre conmigo y nunca me has abandonado, yo te doy gracias por haberme ayudado a lo largo de mi vida y esta carrera que hoy culmino es tuya y de nadie mas, espero que muchas personas puedan entender que nada se puede hacer si no es de tu mano, por siempre sea la GLORIA Y LA HONRA A TI.

**MIS PADRES**, Por el apoyo incondicional que me han dado durante todo el trayecto de mi vida este triunfo es de uds. Gracias por todos los consejos que me han dado que el SEÑOR JESUCRISTO LOS BENDIGA GRANDEMENTE.

**Ing. Hugo Roberto Nájera Castillo**, por el apoyo dado en estos meses de trabajo, tanto laboral como también por su valiosa colaboración en la asesoría, revisión y corrección del presente trabajo de tesis, esperando que EL SEÑOR JESUCRISTO lo recompense por la gran ayuda obtenida.

**La Facultad de Ingeniería**, por haberme dado la oportunidad de haber recibido una formación académica profesional.

**La Universidad de San Carlos de Guatemala**, por darme la oportunidad de haber estudiado en tan prestigiosa casa de estudios.

Cada una de las personas que estuvieron presentes en mi enseñanza a lo largo de mi vida.

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **SEÑOR JESUCRISTO**

Gracias por darme el privilegio de culminar mi carrera toda mi vida te pertenece a ti. (Heb.11:6)

### **Mis padres**

Fernando Arnoldo Corzo y Amelia Véliz de Corzo,  
Por estar conmigo siempre este triunfo es de ustedes, que el SEÑOR JESUCRISTO LOS BENDIGA.

### **Mis hermanos**

Wendy, Fernando, Pablo, gracias por tener grandes ejemplos dentro de mi hogar y saber que DIOS siempre nos ha ayudado en todo muchas gracias por toda la ayuda que me han brindado que el SEÑOR JESUCRISTO LOS BENDIGA GRANDEMENTE.

### **Mi hermanita**

Ana Noemí por todo lo que me has hecho aprender y la bendición que el SEÑOR JESUCRISTO ha puesto en nuestro hogar, para nunca olvidarnos quienes somos.

### **Mi hija**

Maria Andrea Corzo Garrido, eres una gran bendición para mi vida desde que supe de tu existencia el SEÑOR JESÚS cambio mi vida de una gran manera, y a tu mamá Ana Paola muchas gracias que el SEÑOR JESUCRISTO TE BENDIGA.

### **Mi familia**

Con mucho cariño para mis tíos y primos.

**Mi iglesia**

MISIÓN CRISTIANA ELIM, en especial a su  
fundador Dr. Ottoniel Ríos Paredes (Q.E.P.D)

**Mi colegio**

Instituto Evangélico América Latina

**La Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala**

**Pueblo de Guatemala**

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	V
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	XI
<b>GLOSARIO</b>	XIII
<b>RESUMEN</b>	XVII
<b>OBJETIVOS</b>	XIX
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XXI
<b>1. INVESTIGACIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 Aspectos Fundamentales del Diseño Estructural de Edificios	1
1.1.1 Aspectos que se relacionan con la naturaleza	2
1.1.1.1 Sismo	2
1.1.1.2 Sismología	2
1.1.1.3 Movimientos del suelo	3
1.1.1.4 Ondas Sísmicas	3
1.1.1.5 Índice de Sismicidad	7
1.1.1.6 Nivel de Protección	7
1.1.1.7 Sismos Para Diseño Estructural	9
1.1.1.8 Perfiles del suelo	12
1.1.2 Propiedades mecánicas de las edificaciones	15
1.1.2.1 Inercia	15
1.1.2.2 Periodo	15
1.1.2.3 Amortiguamiento	16
1.1.2.4 Ductilidad	16
1.1.2.5 Rigidez	16
1.1.3 Elementos que integran el sistema	17

1.1.3.1	Centro de masa y centro de rigidez	18
1.1.3.2	marcos y muros aislados	18
1.1.3.3	Predimensionamiento de vigas	19
1.1.3.4	Predimensionamiento de columnas	21
1.2	Cargas de Diseño	22
1.2.1	Cargas Verticales	22
1.2.1.1	Carga Muerta	22
1.2.1.2	Carga Viva	24
1.2.2	Cargas laterales	28
1.2.2.1	Carga de presión	29
1.2.2.2	Carga de sismo	30
1.2.2.3	Carga de viento	33
1.3	Análisis Estructural	39
1.3.1	Métodos Aproximados de Análisis	40
1.3.1.1	Método de estimación de la curva elástica y ubicación de los puntos de inflexión	40
1.3.1.2	Método del Portal	41
1.3.1.3	Método del Voladizo	42
1.3.2	Métodos Iterativos	43
1.3.2.1	Método de Kani	43
1.3.2.2	Método de Cross	44
<b>2.</b>	<b>DISEÑO ESTRUCTURAL CON EL PROGRAMA ETABS®</b>	<b>47</b>
2.1	Iniciando un Nuevo Modelo	48
2.1.1	Definir una Lista de Secciones Autoseleccionables	51
2.2	Agregar Objetos Line	52
2.2.1	Configuración para agregar objetos en niveles Simultáneamente	52

2.2.2	Dibujar objetos de Columna	53
2.2.3	Guardar Modelo	58
2.2.4	Dibujar los objetos viga resistente a las fuerzas laterales	59
2.2.5	Dibujar los objetos Vigas secundarias (Infill)	61
2.3	Agregar Objetos Área	65
2.3.1	Dibujo de los objetos del área del piso	65
2.3.2	Agregar el área de objetos dummy usado para la aplicación de la carga del viento	68
2.3.3	Agregar objetos en la vista de elevación	69
2.3.4	Agregar objetos en la vista en planta	70
2.4	Definición de los Casos de Carga Estática	72
2.5	Asignar Cargas de Gravedad	77
2.6	Definir Una Elevación Desarrollada	81
2.7	Asignar Cargas de Viento	82
2.8	Revisión de la Base de Datos de Ingreso en Database	85
2.9	Ejecutar el Análisis	87
2.10	Revisión Grafica de los Resultados del Análisis	88
2.11	Diseño de Vigas Compuestas	91
2.12	Diseño del Elemento de Acero	97
<b>3.</b>	<b>COMPROBACIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>107</b>
3.1	Integración de Cargas	107
3.2	Cálculo de Corte Basal	109
3.3	Resultados de fuerza sísmica calculados con ETABS®	111
3.4	Discusión de resultados	112
3.5	Cálculo de Rigideces	113
3.6	Cálculo de Factores de Distribución	114
3.7	Cálculo de los Momentos de Empotramiento	116
3.8	Cross sin Desplazamiento Lateral	117

3.9	Reacciones necesarias para Impedir Desplazamientos	118
3.10	Cálculo del Marco con Ayuda del Programa ETABS®	121
3.10.1	Definición de Sección de Vigas	122
3.10.2	Definición de Sección de Columnas	122
3.11	Comparación de momentos finales ETABS®-CROSS	126
3.12	Comparación ETABS®-Cross	127
<b>4.</b>	<b>EJEMPLO DE MODELO ESTRUCTURAL CALCULADO CON EL PROGRAMA ETABS®</b>	<b>129</b>
4.1	Se inicia el nuevo modelo	130
4.1.1	Definir secciones de vigas y columnas	134
4.2	Agregar objetos línea	136
4.3	Dibujar objetos columna	138
4.4	Guardar modelo	139
4.5	Agregar objetos Área	140
4.6	Definir empotramiento en base de columna	141
4.7	Definición de los casos de carga estática	142
4.8	Asignar cargas de gravedad	145
4.9	Ejecutar análisis	148
4.10	Revisión grafica de los resultados del análisis	151
4.11	Datos obtenidos con ETABS®	154

**CONCLUSIONES**

**RECOMENDACIONES**

**REFERENCIAS**

**BIBLIOGRAFÍA**

**APÉNDICES**

**ANEXOS**

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## ILUSTRACIONES

1	Composición de las diferentes capas de la Tierra	3
2	Propagación de las ondas en la corteza terrestre	5
3	Trayectoria de las partículas a causa de las ondas	5
4	Dirección de la propagación de las ondas	6
5	Mapa de ubicación de zonas sísmicas	10
6	Función de amplificación dinámica para perfil del suelo S1, con 5 % de amortiguamiento crítico	13
7	Función de amplificación dinámica para perfil del suelo S2, con 5 % de amortiguamiento crítico	14
8	Función de amplificación dinámica para perfil del suelo S3, con 5 % de amortiguamiento crítico	15
9	Área Tributaria de Columnas	21
10	Marco con Desplazamiento	41
11	Formulario de Nuevo Modelo	48
12	Formulario del Sistema del Edificio	49
13	Ventana Principal de ETABS®	50
14	Formulario de Definición de Propiedades de Secciones	51
15	Formulario Autoselección de Secciones	51
16	Formulario de Medida de Tramos	53
17	Propiedades del Objeto	54
18	Dibujo de objetos columna dentro de una región seleccionada	55
19	Formulario de Selección de Lista	56
20	Orientación de Ejes para Columnas	57
21	Modelo con Columnas Dibujadas	58

22	Propiedades del Objeto	59
23	Dibujando objetos viga resistentes a fuerza lateral en una región seleccionada	60
24	Propiedades del Objeto	62
25	Dibujando objetos viga secundarios en una región seleccionada	63
29	Selección usando una línea intersectante	64
27	Propiedades del Objeto	65
28	Formulario de Opciones para Vistas	67
29	Modelo después de que se han agregado los objetos área de piso	67
30	Sección de Losa	68
31	Modelo después de que se han agregado los objetos de área simulados en la Vista de Elevación a lo largo de la línea A.	70
32	Agregando objetos simulados tipo pared en la Vista en planta	71
33	Modelo después que han sido agregados todos los objetos simulados tipo pared	72
34	Formulario de Definición de Cargas Estáticas	74
35	Formulario de Cargas Sísmicas de UBC 1997	75
36	Formulario de Cargas de Viento de ASCE 7-98	76
37	Formulario de Definición de Cargas Después de ser Definidas	77
38	Formulario de Cargas Uniformemente Distribuidas	78
39	Formulario de Calculadora	79
40	Formulario de Cargas Distribuidas en Elemento	80
41	Cargas Distribuidas en Elementos	80
42	Formulario de Vistas de Elevaciones	81
43	Vista de Elevación	82
44	Formulario de Opciones de Vistas de Edificio	83
45	Ejes del Objeto de Áreas	83
46	Seleccionando objetos de área vertical en una vista de elevación	84
47	Formulario de Coeficientes de Viento	85

48	Selección de Objetos de Área Vertical	85
49	Formulario de Datos	86
50	Formulario de Datos de Área de Viento	87
51	Cuadro de Diagrama de Fuerzas en Elementos	89
52	Vista de Elevación de Diagrama de Momentos	89
53	Detalle de fuerzas obtenidas al hacer click con el botón derecho sobre Beam Show en al elevación vista en la Figura 53	90
54	Cuadro de Información de Líneas	91
55	Cuadro de Elementos	92
56	Formulario de Opciones de Vistas de Edificio	93
57	Modelo Después de Designar Composición	94
58	Mensaje de advertencia por un diseño incompleto en el Análisis vs Diseño de Sección	95
59	Mensaje de advertencia por un diseño completo en el Análisis vs Diseño de Sección	96
60	Mensaje de Advertencia Verifique Todos los Elementos Anteriores	96
61	Formulario de Identificación de la Línea	98
62	Mensaje de advertencia por un diseño incompleto en el Análisis vs Diseño de Sección	99
63	Modelo después del diseño inicial del Pórtico de Acero	100
64	Formulario informativo para verificar el Esfuerzo del Acero	101
65	Formulario para verificación de información AISC-LRFD93 del esfuerzo del acero	102
66	Formulario de Selección de la Combinación del Diseño de Carga	103
67	Formulario de Combinación de Datos de la Carga	104
68	Mensaje de alerta para verificar todos los elementos anteriores para un diseño completo	105
69	Secciones de Vigas y Columnas	108
70	Diagrama de Marco	113

71	Cálculo de Reacciones en Nivel 3	118
72	Cálculo de Reacciones en Nivel 2	119
73	Cálculo de Reacciones en Nivel 1	119
74	Diagrama de Momentos	120
75	Formulario de Definición de Tramos y Secciones de Marco	121
76	Definición de Sección de Vigas	122
77	Definición de Sección de Columnas	122
78	Definición de Cargas Estáticas	123
79	Marco con Cargas Vivas	123
80	Marco con Cargas Muertas	124
81	Cuadro Cuando se Hace Correr el Análisis Estructural en ETABS®	124
82	Diagrama de Momentos Obtenido con ETABS®	125
83	Diagrama de Resultados de Momentos con ETABS®	125
84	Diagrama con porcentaje de diferencia	127
85	Ejemplo de modelo de proyecto	130
86	Formulario de nuevo modelo	131
87	Formulario de colocación de tamaño de secciones	131
88	Formulario para editar secciones	132
89	Ventana principal de ETABS®	133
90	El formulario Define Frame Properties (definir propiedades)	134
91	Definición de secciones de vigas	134
92	Definición de viga	134
93	Definición de secciones de columnas	135
94	Definición de columnas	136
95	Selección de viga 0.25x0.45m	137
96	Dibujo de vigas	137
97	Caja properties of object (propiedades del objeto)	138
98	El modelo de ejemplo con las columnas dibujadas	138
99	Modelo después de que se han agregado los objetos área de piso	140

100	Cuadro de opciones a ver de modelo estructural	141
101	Cuadro de selección de empotramiento en todas las columnas	142
102	Formulario Define Static Load Case Names	143
103	Formulario 1997 UBC Seismic Loading (cargas sísmicas)	144
104	Formulario ASCE 7-98 Wind Loading (Cargas de Viento ASCE 7-98)	145
105	Formulario de cargas muertas	146
106	Formulario de cargas vivas tercer nivel	146
107	Formulario de cargas vivas segundo nivel	147
108	Formulario de cargas vivas primer nivel	147
109	Cuadro de asignación de cargas	148
110	Diagrama de Datos obtenidos con ETABS® cantidad de área de acero necesaria para cada miembro	151
111	Vista en elevación del Diagrama de Momentos	152
112	Detalle de Acero necesario para cada marco	152
113	Porcentaje de trabajo en columnas	153
114	Área necesaria para corte	153
115	Tabla de selección de resultados de ETABS®	154

## TABLAS

I	Nivel de Protección Sísmica	8
II	Aceleraciones Máximas Efectivas para el Sismo Básico y Frecuente	11
III	Funciones de Ampliación Dinámica	11
IV	Valor de los periodos $T_A$ y $T_B$ para distintos perfiles del suelo	12
V	Tabla 9.5(a) del código ACI318-99	20
VI	Cargas Vivas en Edificación	26
VII	Cargas Vivas Especiales	27
VIII	Factores de Carga Especificados por Algunos Códigos	39

IX	Cálculo de Cargas para Viga 3	108
X	Cálculo de Cargas para Viga 2	108
XI	Cálculo de Cargas para Viga 1	109
XII	Cálculo de Cross sin Desplazamiento	117
XIII	Cálculo de Cross sin Desplazamiento	117
XIV	Cálculo de Cross sin Desplazamiento	117
XV	Cálculo de Cross sin Desplazamiento	117
XVI	Cálculo de Cross sin Desplazamiento	118
XVII	Comparación de Resultados ETABS®-Cross	126
XVIII	Comparación de Resultados ETABS®-Cross	126
XIX	Comparación de Resultados ETABS®-Cross	126
XX	Comparación de Resultados ETABS®-Cross	126
XXI	Comparación de Resultados ETABS®-Cross	126

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A_c$	: Área efectiva combinada
$A_e$	: Área transversal
$A_{s(+)}$	: Área de acero a tensión
$A_{s(-)}$	: Área de acero a compresión
$A_{st}$	: Área total de acero longitudinal
$A_T$	: Área tributaria de un elemento
$A_v$	: Área de la varilla de estribo
$b$	: Ancho de un elemento
$C_m$	: Carga muerta
$C_u$	: Carga ultima de diseño
$C_v$	: Carga viva
$d$	: Peralte de un elemento
$d_{efec}$	: Peralte efectivo

- $E_c$**  : Módulo de elasticidad del concreto
- $EI$**  : Rigidez a la flexión
- $E_s$**  : Módulo de elasticidad del acero
- $f'_c$**  : Resistencia del concreto a compresión a los 28 días
- $f_y$**  : Esfuerzo de fluencia del acero
- $I_n$**  : Longitud libre entre elementos
- $r$**  : recubrimiento del acero
- ®** : Marca registrada
- S** : Carga de sismo
- S** : Espaciamiento de estribos
- $S_t$**  : Espaciamiento acero longitudinal
- t** : Espesor de elemento
- $\Phi$**  : Diámetro
- $\Phi$**  : Factor de reducción de carga

## GLOSARIO

<b>Amplificador de Momentos</b>	-Magnificador de Momentos- Factor de seguridad obtenido a partir de la evaluación de los efectos de esbeltez de las columnas.
<b>Base</b>	Es el nivel en el cual se considera que el movimiento sísmico se transmite a la estructura; o, el nivel de empotramiento de la misma actuando como un vibrador dinámico.
<b>Cimentación</b>	Subestructura destinada a soportar el peso de la construcción que gravitará sobre ella, la cual transmitirá sobre el terreno las cargas correspondientes de una forma estable y segura.
<b>Corte en la Base, V.</b>	Es la fuerza lateral total de diseño ó corte en la base de la estructura.
<b>Diapasón</b>	Altura relativa de un sonido determinado, dentro de una escala sonora.
<b>Dimensionar elementos de concreto reforzado</b>	Consiste en determinar mediante un proceso iterativo las dimensiones de elementos estructurales que satisfagan de mejor manera las condiciones de carga de determinado proyecto.
<b>Diafragma</b>	Es un sistema horizontal o casi horizontal que

transmite las fuerzas laterales a los elementos verticales resistentes. El término Diafragma incluye un sistema arriostrado horizontal.

**Ductilidad** Capacidad de deformarse sin fractura en el rango inelástico, que presentan algunos materiales.

**Edificio con un sistema de marcos** Es, esencialmente, una estructura especial completa que soporta las cargas gravitatorias.

**Efecto de esbeltez** Es la reducción de resistencia de elementos estructurales cuya relación longitud-peralte es grande, cuando son sometidos a compresión axial o flexo-compresión.

**Esfuerzo** Magnitud de una fuerza por unidad de área.

**Estructura** Ordenamiento de un conjunto de elementos encargado de resistir los efectos de las fuerzas externas de un cuerpo físico. También, se le llama a un sistema de elementos que se combinan de una forma ordenada para cumplir una función determinada, por ejemplo: cubrir una longitud, contener un empuje de tierras, cubrir un techo, conducir un caudal determinado, etc.

**Envolvente de momentos** Diagrama de momentos, donde se superponen los momentos producidos en la estructura de por las

combinaciones de cargas, para determinar cuáles son los momentos críticos y proceder a diseñar los elementos de la estructura con ellos.

<b>Fatiga</b>	Estado que presenta un material después de estar sometido a esfuerzos de forma repetida, por encima de su límite de tenacidad.
<b>Fluencia</b>	Fenómeno que se caracteriza porque un material sufra grandes deformaciones al ser sometido a un esfuerzo constante antes de producirse la falla. Como es el caso del acero a refuerzo.
<b>Límite de tenacidad</b>	Es la capacidad del material para resistir una carga de energía hasta que sobrevenga su ruptura.
<b>Longitud de desarrollo</b>	Es la mínima medida de una varilla anclada al concreto, para evitar que falle por adherencia.
<b>Marco concéntrico arriostrado</b>	Es un marco arriostrado en el que los miembros están sujetos primariamente a fuerzas axiales.
<b>Momento resistente</b>	Es el resultado de multiplicar la fuerza de tensión o la de compresión, por el brazo del par interno.
<b>Momento último o de diseño</b>	Es el momento resistente afectado por un factor de magnificación, el cual nos asegura que los elementos estructurales son diseñados para soportar las fuerzas internas actuantes con un cierto margen de seguridad.

<b>Muros de corte</b>	Es un muro diseñado para resistir fuerzas laterales paralelas al plano del muro algunas veces se le llama diafragma vertical.
<b>Peso específico</b>	Se define como el peso por unidad de volumen.
<b>Rarefacción</b>	Acción y efecto de rarefacar. Enrarecer.
<b>Trepidación</b>	Acción de trepidar.
<b>Trepidar</b>	Temblar, agitarse algo con movimientos rápidos y pequeños.
<b>Vibración</b>	Acción y efecto de vibrar.
<b>Vibrar</b>	Hacer mover cualquier cosa larga y elástica con un movimiento trémulo.

## RESUMEN

El presente trabajo de graduación contiene los procedimientos que se deben de tomar para elaborar un modelo estructural con ayuda del programa ETABS®. El programa ETABS® es una programa de análisis y diseño estructural basado en el método de los elementos finitos con características especiales para el análisis y diseño estructural de edificaciones. Este programa trabaja dentro de un sistema de datos ingresados, todo lo que se necesita es integrar el modelo dentro de un sistema de análisis y diseño con una versátil interfase. Los efectos que el programa proporciona son instantáneos y automáticos. El trabajo está compuesto de la siguiente manera:

Capítulo 1: Presenta la investigación de los aspectos fundamentales del diseño estructural de edificios, las propiedades mecánicas de las edificaciones, los elementos que integran el sistema, las cargas de diseño y el análisis estructural.

Capítulo 2: Se presentan los pasos que se deben de tomar para poder desarrollar un modelo estructural con ayuda del programa ETABS®.

Capítulo 3: Se presentan la comparación de resultados obtenida entre el programa ETABS® y un método iterativo como lo es el método de Cross.

Capítulo 4: Se presenta un ejemplo desarrollado tomando los pasos explicados en el Capítulo 2 del presente trabajo de graduación. Posteriormente se encuentran las conclusiones y recomendaciones, así como los apéndices donde se incluyen algunas demostraciones de la exactitud del programa comparado contra otros métodos teóricos y prácticos.



## OBJETIVOS

### General

Mostrar la realización del cálculo y diseño estructural con un software de tecnología de punta.

### Específicos

1. Mostrar un modelo estructural con el programa ETABS<sup>®</sup>,
2. Determinar los pasos a seguir para la elaboración de un modelo estructural con el programa ETABS<sup>®</sup>.
3. Desarrollar el manual para que este al servicio de los estudiantes referente al programa ETABS<sup>®</sup>.
4. Aportar una herramienta esencial a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil, en el área de estructuras.



## INTRODUCCIÓN

El diseño estructural es el procedimiento mediante el cual se definen los elementos que integran a las estructuras en lo referente a materiales, dimensiones, uniones, detalles en general y su ubicación relativa en los edificios. Estos elementos deberán presentar un comportamiento adecuado en condiciones de servicio y tener la capacidad para resistir las fuerzas a las que estén sometidos sin que se presente el colapso de la estructura<sup>1</sup>.

Una consideración muy oportuna acerca del análisis estructural es la siguiente: El análisis constituye la etapa “científica” del proceso de diseño, aquella en que se emplean métodos de la mecánica estructural que implican el uso de herramientas matemáticas frecuentemente muy refinadas.

El análisis estructural ha tenido una evolución extraordinaria en las últimas décadas con el desarrollo de métodos numéricos que resuelven los problemas matemáticos, mediante procedimientos iterativos con los que se puede llegar al nivel de precisión que se desee, a través de la ejecución del número necesario de ciclos de iteración. Con estos procedimientos se pueden analizar prácticamente cualquier tipo de estructura, por más compleja que sea, recurriendo al empleo de programas de cómputo con los que pueden realizarse en poco tiempo y a un costo razonable los millones de operaciones numéricas que una solución de este tipo implica.

Entre estos programas de cómputo se encuentra el ETABS<sup>®</sup> V8 que es un programa muy práctico el cual ayuda a resolver de manera inmediata el análisis estructural de un elemento, En el trabajo propuesto se muestran las instrucciones paso a paso para el desarrollo del modelo. Con esto se demostrarán los fundamentos y se mostrará cuán fácil y práctico puede ser

crear un modelo usando este programa. ETABS<sup>®</sup>, es un programa, extremadamente versátil y poderoso con muchas ventajas y funciones. Este trabajo no pretende ser un documento que cubra en la totalidad de esas funciones y ventajas, más bien, se mostrará cómo trabajar con el programa, proporcionando algunos comentarios para el desarrollo del modelo, para captar el valor del ETABS<sup>®</sup>.

# **1. INVESTIGACIÓN**

## **1.1 Aspectos fundamentales del diseño estructural de edificios**

La estructuración de un edificio es la primera etapa del diseño estructural. En ella se define el tamaño y la forma del edificio, la naturaleza, tamaño y ubicación de todos los elementos estructurales. Así como la naturaleza, tamaño y ubicación de todos los elementos no estructurales que puedan influir en el comportamiento de la estructura.

Comprende la definición de geometría general de la estructura (tanto en planta como en elevación), se establecen los materiales a emplear (concreto reforzado, mampostería reforzada, acero estructural, etc.) se determinan los sistemas estructurales resistentes tanto a cargas gravitacionales como sísmicas, se establecen los claros de vigas, tableros de losas y las alturas libres de los entrepisos, se proponen secciones y dimensiones tentativas de los elementos estructurales, se conceptualizan los tipos de uniones entre ellos, se definen los elementos no estructurales y su sistema de fijación a la estructura.

### **Aspectos de concepción estructural**

Son las consideraciones que deben tomarse en cuenta al momento de proceder a la estructuración de un edificio. Si estas nociones son aplicadas correctamente podremos obtener edificios bien concebidos estructuralmente. Los primeros aspectos se relacionan con la naturaleza de los movimientos sísmicos. Los siguientes corresponden a las propiedades mecánicas de las edificaciones ante cargas sísmicas.

## **1.1.1 Aspectos que se relacionan con la naturaleza**

### **1.1.1.1 Sismo**

Movimiento brusco y errático de la superficie terrestre. Las vibraciones no poseen una trayectoria específica y pueden presentarse en cualquier dirección<sup>2</sup>.

Existen tres clases de movimientos sísmicos: tectónicos, volcánicos y artificiales. Los primeros son producto de la tensión de las placas tectónicas, con su zona de conflicto, que son áreas cercanas a su frontera. Los volcánicos anuncian la cercanía de erupciones y raramente son destructivos. Los sismos artificiales son producto de las actividades humanas en el subsuelo. De las tres clases de movimientos, la más importante es la de origen tectónico debido a que la misma libera el 75% de la energía sísmica del planeta.

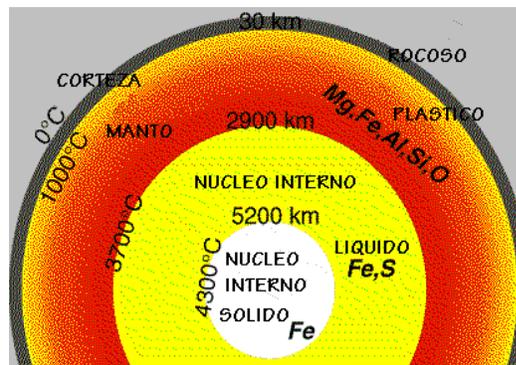
### **1.1.1.2 Sismología**

La ciencia que estudia los aspectos relacionados con la ocurrencia de temblores de tierra, terremotos o sismos. Esta es una ciencia joven, puesto que gran parte de sus métodos e instrumentos de observación fueron desarrollados a lo largo del siglo XX. A pesar de esto, la sismología ha logrado avances notables. Quizá una de sus más valiosas contribuciones al entendimiento de nuestro planeta lo constituya su aportación a la llamada Tectónica de Placas.

El núcleo terrestre está compuesto en gran parte por elementos metálicos como el de hierro y el níquel. El manto terrestre tiene una composición a base de silicatos abundantes en potasio, sodio y calcio. El cascarón más externo de la Tierra, el cual comprende la corteza y parte del manto, con un

espesor de aproximadamente 100 Km., parece comportarse como un cuerpo rígido "flotando" en el resto del manto en donde pueden presentarse movimientos como si se tratara de un fluido. Esta conducta semejante a la de un fluido tiene sentido solamente en tiempos geológicos, es decir, en tiempos del orden de millones de años.

**Figura 1.** Capas internas de la tierra



### 1.1.1.3 Movimientos del suelo

Los movimientos del suelo durante un sismo se manifiestan básicamente en forma de ondas, considerando así, para tal efecto, la corteza terrestre, como un medio sólido elástico continuo que transmite la energía irradiada desde el epicentro en todas las direcciones de dicho punto de inicio

### 1.1.1.4 Ondas sísmicas

Las ondas sísmicas se clasifican según la profundidad de donde son generadas. Las ondas de cuerpo o volumen son generadas a grandes profundidades, mientras que las superficiales se producen cercanas a la superficie terrestre. Las ondas llamadas de cuerpo o volumen son de tipo "P" y "S". Las ondas P, hacen oscilar al suelo en la misma dirección que se propaga

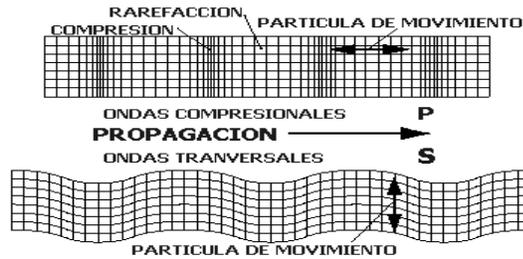
el sismo y son las que viajan más rápidamente (hasta 6 km/s) debido a su dirección de expansión radial con respecto a la fuente. Esto provoca básicamente compresión en el medio de transporte. Las ondas S provocan vibraciones perpendiculares a lo largo de su propagación. Dichas ondas viajan más lentamente (el doble de lentas, pero más intensas) y producen esfuerzos de corte en el medio de transporte.

Si desplazamos un diapasón de su posición de equilibrio y lo soltamos repentinamente, percibimos su sonido característico. Lo mismo sucede en la Tierra, hemos visto que la falla de la roca consiste precisamente en la liberación repentina de los esfuerzos impuestos al terreno. De esta manera, la tierra es puesta en vibración. Esta vibración es debida a la propagación de ondas como en el caso del diapasón.

Ahora bien, en un sólido pueden transmitirse dos tipos de ondas. El primer tipo es conocido como onda de compresión, porque consiste en la transmisión de compresiones y rarefacciones como en el caso de la transmisión del sonido, en este caso las partículas del medio se mueven en el mismo sentido en que se propaga la onda. El segundo tipo es conocido como ondas transversales; las partículas se mueven ahora en dirección perpendicular a la dirección de propagación de la onda. La figura muestra esquemáticamente la propagación de estas ondas en un bloque sólido.

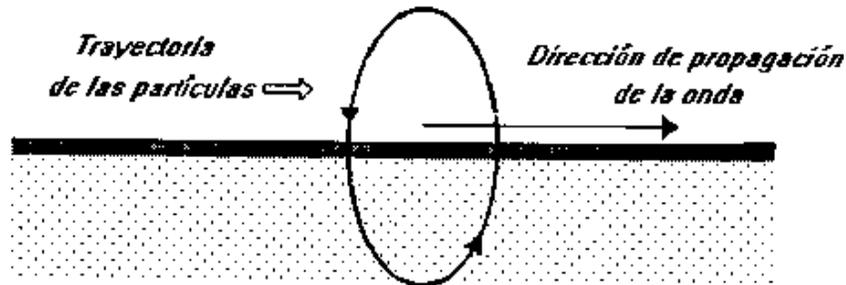
Las ondas compresionales y transversales han sido llamadas P y S respectivamente por razones que se verán más adelante. Son también conocidas como ondas internas porque se propagan en el interior de un sólido elástico.

**Figura 2.** Propagaciones de ondas terrestres



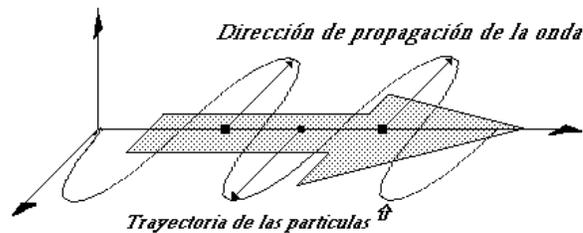
Además de estas dos clases de ondas existen otros dos tipos de gran importancia llamadas ondas superficiales por los motivos que veremos a continuación: cuando un sólido posee una superficie libre, como la superficie de la tierra, pueden generarse ondas que viajan a lo largo de la superficie. Estas ondas tienen su máxima amplitud en la superficie libre, la cual decrece exponencialmente con la profundidad, y son conocidas como ondas de Rayleigh en honor al científico que predijo su existencia. La trayectoria que describen las partículas del medio al propagarse la onda es elíptica retrógrada y ocurre en el plano de propagación de la onda. Una analogía de estas ondas lo constituyen las ondas que se producen en la superficie de un cuerpo de agua.

**Figura 3.** Trayectoria de partículas por ondas



Otro tipo de ondas superficiales son ondas de Love llamadas así en honor del científico que las estudió. Estas se generan solo cuando el medio elástico se encuentra estratificado, situación que se cumple en nuestro planeta pues como veremos se encuentra formada por capas de diferentes características físicas y químicas. Las ondas de Love se propagan con un movimiento de las partículas, perpendicular a la dirección de propagación, como las ondas S, sólo que polarizadas en el plano de la superficie de la Tierra, es decir solo poseen las componentes horizontales a superficie. Las ondas de Love pueden considerarse como ondas S "atrapadas" en el medio superior. Como para las ondas de Raleigh, la amplitud de las mismas decrece rápidamente con la profundidad. Las ondas de Love son observadas sistemáticamente sobre la superficie de la tierra pues nuestro planeta posee un estrato superficial de baja velocidad, la corteza, sobre un medio mas profundo, el manto.

**Figura 4.** Dirección de propagación de onda



Como podemos ver el término superficial se debe a que las ondas se generan por la presencia de superficies de discontinuidad ya que en un medio elástico infinito no podrían generarse. En general su existencia se puede explicar considerando que la vibración en lugares en los que existen menores tracciones, sucede por la presencia del vacío o un medio de menor rigidez, tiende a compensar la energía generando este tipo especial de vibraciones.

Se puede demostrar teóricamente y se observa experimentalmente que la velocidad de las ondas es tal que:

$$V_{R,L} < V_s < V_p \quad (\text{Ec. 1.1.1})$$

Donde  $V_p$ ,  $V_s$  y  $V_{R,L}$ , son las velocidades de las ondas P, S y de Rayleigh y Love respectivamente. Entre estas dos últimas no puede establecerse un orden de velocidades porque esta depende de muchos factores y no siempre viajan con la misma velocidad.

#### **1.1.1.5 Índice de Sismicidad**

El índice de sismicidad ( $I_0$ ) es una medida relativa de la severidad esperada del sismo en una localidad. Incide sobre el nivel de protección sísmica que se hace necesario para diseñar la obra ó edificación.

El territorio de Guatemala se divide en macrozonas caracterizadas por su índice de sismicidad que varia de  $I_0 = 2$  a  $I_0 = 4^3$ . La distribución geográfica del índice de sismicidad se especifica en la figura del mapa, que es un mapa base de macrozonificación sísmica de la república.

#### **1.1.1.6 Nivel de protección**

El nivel de protección es una medida del grado de protección suministrado al público y a los usuarios de las obras nuevas o existentes contra los riesgos derivados de las solicitudes de carga y de amenazas naturales. Para los diferentes diseños se establecen cinco niveles de protección: A, B, C, D Y E. El nivel E es el que da la más alta protección. Cualquier requisito,

método de análisis o sistema constructivo adecuado para un nivel superior de protección puede utilizarse en un nivel más bajo.

En obras que constituyen sistemas o complejos cuyos componentes son subsistemas, edificaciones o bien otras obras individuales, la obra física de cada componente tendrá, en general, el nivel de protección requerido para el sistema. Sin embargo, con base en un análisis del sistema debidamente argumentando, el nivel de protección de componentes que resulten no ser cruciales podrá reducirse. Por otra parte, deberá evaluarse que componentes necesitan un nivel de protección más alto que el requerido para el sistema como un todo.

Los accesos deberán tener un nivel de protección congruente con el de las edificaciones o componentes servidos. Las obras deben proyectarse estructuralmente de manera que no afecten a predios vecinos o próximos. Esto incluye, pero no se limita a adecuada separación del lindero, protección contra posibles escombros, tanto de la estructura como del terreno. Para cada amenaza se establece el nivel de protección respectivo, de acuerdo al cuadro en función del índice de sismicidad  $I_0$  y la clasificación de obra.

**TABLA I.** Nivel de protección sísmica

INDICE DE SISMICIDAD $I_0$	CRITICA	ESENCIAL	IMPORTANTE	ORDINARIA	UTILITARIA
5	E	E	D	C2	C1
4	E	D	C2	C1	B
3	D	C2	C1	B	B
2	C2	C1	B	B	A

**Fuente.** Normas Estructurales de diseño recomendadas para la republica de Guatemala, AGIES NR-2: 2000, p. 8

### 1.1.1.7 Sismos para diseño estructural

Son especificados sismos para diseño estructural por medio de espectros de respuesta sísmica simplificados, llamados “espectros de diseño”. Los sismos de diseño se denominan aquí “básicos”, “frecuentes” y extremos<sup>4</sup>.

#### Sismo básico

El sismo básico para el estado límite de cedencia se define como un sismo que tiene un 90 por ciento de probabilidad de no ser excedido en un periodo de 50 años.

El espectro de diseño para el estado límite de cedencia se construirá con:

$$S_a(T) = A_o D(T) \quad (\text{Ec. 1.1.2})$$

Cuyos términos se definen a continuación:

$S_a(T)$	Representa la respuesta sísmica máxima de un oscilador elástico de un grado de libertad. Esta función expresada como fracción de la aceleración de la gravedad
$A_o$	Es una medida de la aceleración máxima efectiva del terreno correspondiente al sismo básico de diseño. El valor de éste parámetro se especifica en la figura del mapa y en el cuadro. A menos que se indique explícitamente, el valor del parámetro $A_o$ para microzonas con índice de sismicidad $I_o = 5$ no necesita ser mayor que el valor para $I_o = 4$ .
$T$	Es el periodo de vibración del oscilador y representa al periodo fundamental de vibración de la estructura o al periodo de alguno de sus modos de vibración, según el método requerido para el análisis.
$D(T)$	Representa la amplificación dinámica de la respuesta máxima del oscilador elástico de un grado de libertad. Es función del parámetro $T$ ; esta función depende del tipo de perfil del suelo en el sitio de construcción.

**Fuente.** Normas Estructurales de diseño recomendadas para la republica de Guatemala, AGIES NR-2: 2000, p. 9

## Sismo de servicio

El sismo de servicio, llamado también sismo frecuente, se define como un sismo que tiene una alta probabilidad de ocurrencia durante la vida útil de la estructura.

El espectro correspondiente al sismo de servicio se estima de acuerdo ha:

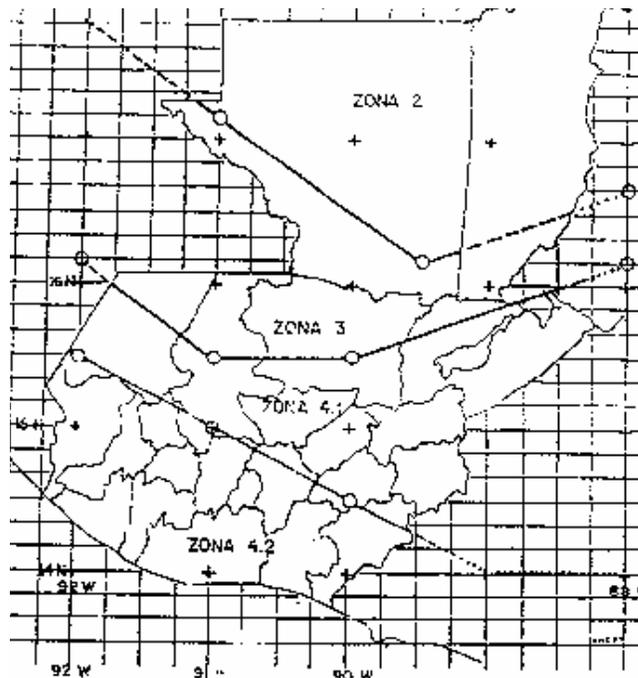
$$S_f(T) = A_f D(T) \quad (\text{Ec. 1.1.3})$$

Donde:

$A_f$	Es una medida de la aceleración máxima del suelo producida por el sismo frecuente o de servicio. El valor de éste parámetro se especifica en el cuadro.
-------	---

**Fuente.** Normas Estructurales de diseño recomendadas para la republica de Guatemala, AGIES NR-2: 2000, p. 11

**Figura 5.** Mapa de ubicación de zonas sísmicas



**Fuente** Normas Estructurales de diseño recomendadas para la republica de Guatemala, AGIES NR-2: 2000, p. 12

**TABLA II.** Aceleraciones máximas efectivas para el sismo básico y para el Sismo Frecuente

ZONA	I <sub>o</sub>	A <sub>o</sub>	A <sub>F</sub>
2	2	0.15g	0.015g
3	3	0.15 a 0.40g	0.015 a 0.15g
4.1	4	0.40g	0.15 a 0.20g
4.2	4	0.40g	0.20g

**Fuente.** Normas Estructurales de diseño recomendadas para la republica de Guatemala, AGIES NR-2: 2000, p. 12

**TABLA III.** Funciones de ampliación dinámica

Función de ampliación dinámica	
Cuando $T < T_A$	$D(T) = 1.0 + 1.5 T / T_A$
Cuando $0 < T < T_B$	$D(T) = 2.5$
Cuando $T \geq T_B$	$D(T) = 2.5 (T_B / T)^{0.67}$

**Fuente.** Normas Estructurales de diseño recomendadas para la republica de Guatemala, AGIES NR-2: 2000, p. 14

### Sismo extremo

Se define como sismo extremo al que tiene la máxima intensidad que puede ocurrir en el sitio. Para los casos que requiera un estimado de sismo extremo para fines de diseño estructural, se recurrirá a solicitar un dictamen específico de un experto en la materia. Como una guía general, el espectro de este sismo puede estimarse de acuerdo a:

$$S_u(T) = 1.3A_oD(T)k_u(T) \text{ (Ec. 1.1.4)}$$

Donde:

K <sub>u</sub> (T)	Factor de modificación que calibra la función D(T) para tomar en cuenta el amortiguamiento post-elástico que ocurriría durante las severas incursiones al intervalo post-elástico de la estructura producidas por el evento extremo.
--------------------	--

**Fuente.** Normas Estructurales de diseño recomendadas para la republica de Guatemala, AGIES NR-2: 2000, p. 15

### 1.1.1.8 Perfiles del suelo<sup>5</sup>

Para establecer el espectro del sismo de diseño, se definen tres perfiles de suelo.

**TABLA IV.** Valor de los periodos  $T_A$  y  $T_B$  para distintos perfiles del suelo

Perfil del suelo			
	S1	S2	S3
$T_A$	0.12	0.12	0.12
$T_B$	0.4	0.60	1.0

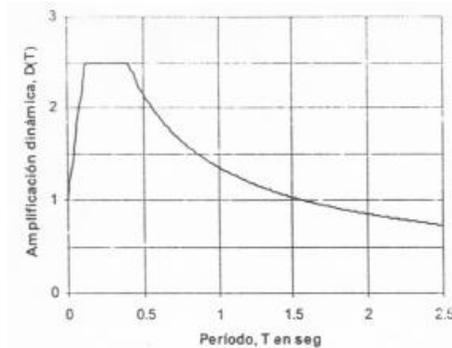
**Fuente.** Normas Estructurales de diseño recomendadas para la republica de Guatemala, AGIES NR-2: 2000, p. 14

#### Perfil de suelo S1

Este perfil satisface cualquiera de las siguientes condiciones:

- a) Roca de cualquier clase; tal material puede caracterizarse por velocidades de onda de corte mayores que 800 metros por segundo.
- b) Suelo rígido cuyo basamento rocoso está a menos de 50 metros de profundidad y constituido por cenizas volcánicas, arenas y gravas densas o arcillas firmes.

**Figura 6.** Función de amplificación dinámica para perfil del suelo S1, con 5 % de amortiguamiento crítico



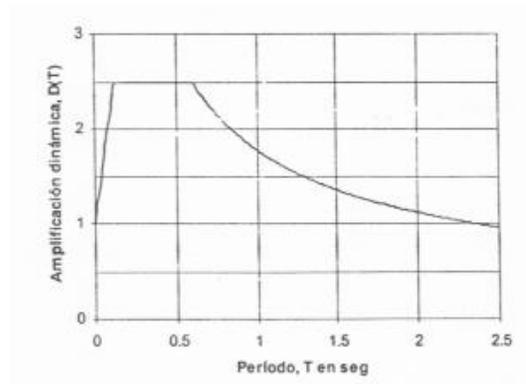
**Fuente.** Normas Estructurales de diseño recomendadas para la republica de Guatemala, AGIES NR-2: 2000, p. 13

### **Perfil de suelo S2**

Este perfil satisface cualquiera de las siguientes condiciones:

- a) Suelo firme, cuyo basamento rocoso está a más de 50 metros de profundidad y cuyos depósitos son cenizas volcánicas, suelos granulares densos, limos densos o arcillas firmes;
- b) En general, suelos firmes y estables cuyos perfiles no clasifican como S1 ni como S3.

**Figura 7.** Función de amplificación dinámica para perfil del suelo S2, con 5 % de amortiguamiento crítico



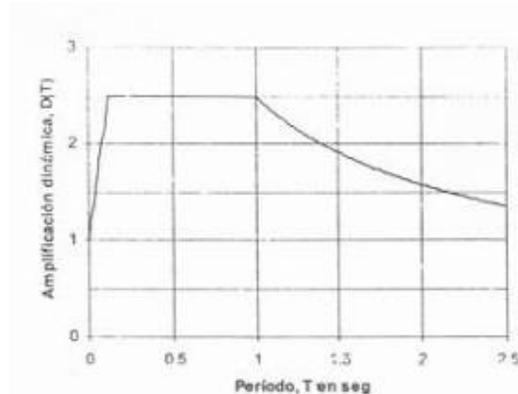
**Fuente.** Normas Estructurales de diseño recomendadas para la republica de Guatemala, AGIES NR-2: 2000, p. 13

### **Perfil de suelo S3**

Este perfil satisface cualquiera de las condiciones siguientes:

- a) Depósitos de más de 10 metros de espesor de cenizas, arenas o limos desde sueltos hasta de densidad media;
- b) Depósitos entre 10 y 20 metros de espesor de arcillas blandas o semiblandas con o sin estratos arenosos intermedios;
- c) En general, perfiles de suelo donde la velocidad de onda de corte del depósito es menor que 200 metros por segundo.
- d) En caso de duda se tomará el resultado más crítico de suponer perfil S2 y S3.

**Figura 8.** Función de amplificación dinámica para perfil del suelo S3, con 5 % de amortiguamiento crítico



**Fuente.** Normas Estructurales de diseño recomendadas para la republica de Guatemala, AGIES NR-2: 2000, p. 14

## 1.1.2 Propiedades Mecánicas de las edificaciones

### 1.1.2.1 Inercia

Propiedad de la materia de resistencia al movimiento o cambio de dirección del mismo. La inercia de una edificación es proporcional a su masa y las fuerzas a aplicar para simular un sismo en un modelo son un porcentaje del peso total de la estructura.

### 1.1.2.2 Período

Intervalo de tiempo en el cual un sistema masa-resorte completa un ciclo completo de tiempo. La mayoría de modelos dinámicos en estructuras se reducen básicamente a sistemas de este tipo. Cuando el periodo de movimiento de una estructura coincide con el periodo del suelo se produce

resonancia, en la que el suelo y estructura actúan como conjunto provocando mayor amplificación de fuerzas dinámicas sobre la edificación.

### **1.1.2.3 Amortiguamiento**

Mecanismo mediante el cual un sistema masa-resorte disipa energía y vuelve a su estado original de reposo. El valor numérico del amortiguamiento corresponde a un porcentaje del amortiguamiento crítico, el cual consiste en el valor de amortiguamiento que en un sistema masa-resorte regresa al estado estático al ser trasladado fuera de su posición de reposo. En las estructuras, el amortiguamiento es proporcionado por el rango elástico de deformación de las vigas y columnas.

### **1.1.2.4 Ductilidad**

Propiedad de la materia que permite su deformación sin que la misma se rompa o astille. En estructuras, la ductilidad se utiliza, como mecanismo de disipación de energía, para evitar el colapso de la edificación cuando se ha excedido su capacidad estimada de carga lateral o vertical.

En un sismo, las cargas laterales reales pueden exceder los valores estimados en el cálculo, proporcionando de esta manera, la ductilidad de los miembros estructurales, el mecanismo último de disipación de energía.

### **1.1.2.5 Rigidez**

La rigidez es la capacidad de resistencia de un cuerpo a cambiar por la acción de fuerzas exteriores sobre el mismo. En estructuras el concepto de

rigidez es relativo a la capacidad de deformación de un miembro estructural (viga, columna, muro) ante la acción de fuerzas externas.

Analizando nuevamente el sistema masa-resorte, la rigidez, corresponde al elemento elástico, que reduce las desviaciones laterales a diferencia del amortiguador, que disipa la energía, para que el sistema vuelva al reposo.

La importancia del concepto, radica en que la rigidez determina las deflexiones que presenta un miembro ante cargas externas y es por eso que la mayoría de métodos de análisis estructurales utilizan matrices de rigideces para cuantificar fuerzas internas de una estructura. Toda deformación de un miembro es proporcional a su rigidez.

Este postulado es especialmente importante en los desplazamientos laterales producidos por un sismo. Ya que un sistema de marcos generalmente se encuentra sujeto por una losa (diafragma rígido), que ocasiona que la distribución de fuerzas sea proporcional a la rigidez de cada tramo.

### **1.1.3 Elementos que integran el sistema**

Generalmente las estructuras de los edificios están constituidas por una retícula ortogonal en tres direcciones: Una vertical definida por las columnas y dos horizontales definidas por las vigas. Cuando los marcos forman ángulos rectos, intentar hacer un análisis tridimensional puede resultar laborioso e impracticable (si no se hace con un software adecuado), por lo que el problema se puede reducir a un sistema de marcos planos en dos direcciones que da por resultado una forma aproximada de análisis simplificado aceptable.

### **1.1.3.1 Centro de masa y centro de rigidez<sup>6</sup>**

El centro de masa (C.M.) es el centro de gravedad de las cargas verticales de un nivel, si están distribuidas uniformemente, el centro de masas, coincide con el centroide geométrico de de la planta del piso, y será el punto donde se considera aplicada la fuerza horizontal que incide en ese nivel. El centro de rigidez (C.R.) de un nivel, será el centro de gravedad de las rigideces de los elementos que definen la conformación estructural (muros y columnas).

### **1.1.3.2 Marcos y muros aislados**

Es importante conocer las características con que deben contar los marcos y muros considerados como elementos aislados, para esperar de los mismos un comportamiento estructural satisfactorio, bajo efectos sísmicos. Al igual que en el conjunto de la planta los elementos sismorresistente verticales aislados, deben contar con simetría y continuidad.

Al limitar la altura del marco ó muro con relación al ancho, se tiene por objeto que el sistema cuente con cierta rigidez que atenúa efectos de volteo y los desplazamientos laterales excesivos.

### 1.1.3.3 Predimensionamiento de vigas

#### Criterios de diseñadores guatemaltecos:

Para calcular el peralte ( $d$ ) de la viga los ingenieros estructurales en Guatemala<sup>7</sup> recomiendan una relación; de 6 a 8 cm. de peralte por metro lineal de claro, y un ancho ( $b$ ), de  $\frac{1}{3}$  a  $\frac{1}{2}$  de  $d$ :

$$d = \frac{(6-8)cm}{ml_{claro}}, \quad (\text{Ec. 1.1.5})$$

$$b = \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{2}\right)d, \quad (\text{Ec. 1.1.6})$$

La tabla 9.5 (a) del código ACI318-99<sup>8</sup>:

En la tabla 9.5 (a); del código ACI318-99 encontramos otro referente para el predimensionamiento de las vigas no pretensadas, en función del claro que cubren. Es de hacer notar que esta tabla es aplicable a elementos de hormigón armado de un  $f'c$  y grado de acero de refuerzo ya establecidos. En caso de quererse aplicar a miembros de distinto  $f'c$  o grado de refuerzo, se deben aplicar las correcciones especificadas en la misma.

**Tabla V.** Tabla 9.5(a) del código ACI318-99

**TABLA 9.5 (a).**  
**Alturas o espesores mínimos de vigas no pretensadas o losas armadas en una dirección a menos que se calculen las deformaciones\*.**

	Espesor Mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un extremo continuo	Ambos extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que no soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse por grandes deformaciones.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{\ell}{20}$	$\frac{\ell}{24}$	$\frac{\ell}{28}$	$\frac{\ell}{10}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{\ell}{16}$	$\frac{\ell}{18.5}$	$\frac{\ell}{21}$	$\frac{\ell}{8}$

\* La luz  $\ell$  está en mm.

Los valores dados en esta tabla se deben usar directamente en elementos de hormigón de peso normal ( $w_c = 2\,400\text{ kg/m}^3$ ) y refuerzo grado 420 MPa. Para otras condiciones, los valores deben modificarse como sigue:

- (a) Para hormigón liviano estructural de peso unitario dentro del rango de  $1\,500$  a  $2\,000\text{ kg/m}^3$ , los valores de la tabla deben multiplicarse por  $(1.65 - 0.0003 w_c)$ , pero no menos de 1.09, donde  $w_c$  es la densidad en  $\text{kg/m}^3$ .
- (b) Para otros valores de  $f_y$  distintos de 420 MPa, los valores de esta tabla deben multiplicarse por  $(0.4 + f_y/700)$ .

Fuente: Código ACI318-99. p. 144

### 1.1.3.4 Predimensionamiento de columnas

#### Criterios de diseñadores guatemaltecos:

El Ing. J.M. Rubio propone calcular el área gruesa de columnas a través de la relación<sup>9</sup>:

$$P_{act} = 0.20Pu, \quad (\text{Ec. 1.1.7}) \quad \text{donde; } P_{act} = \sum (P_{entrepiso} + P_{vigas} + P_{col.sup.}); \quad (\text{Ec. 1.1.8})$$

así el  $A_g$  esta dada por:

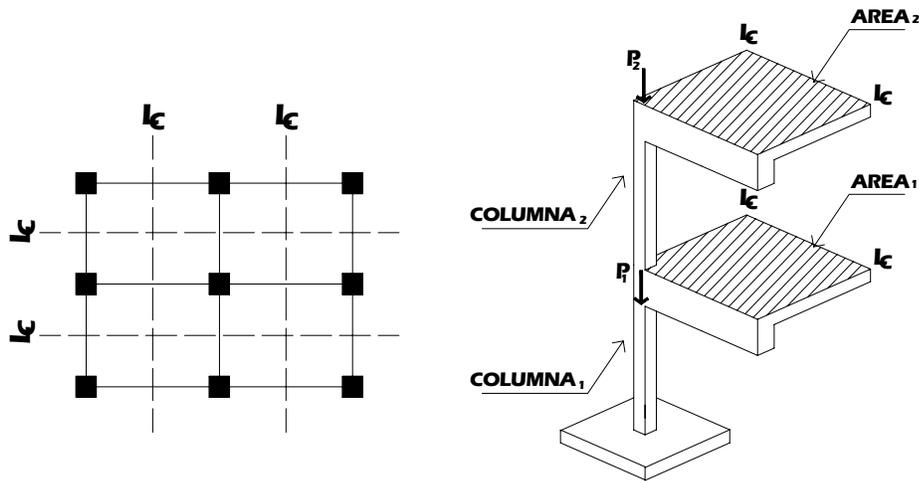
$$A_g = \frac{P_{act}}{0.17 f'c}, \quad (\text{Ec. 1.1.9})$$

$$A_g = \frac{A_{TC} \times N^{\circ}_{entrepisos}}{(620 - 600)}, \quad (\text{Ec. 1.1.10})$$

Donde:

- $A_g$  = sección de la columna
- $A_{TC}$  = Área tributaria de la columna
- $N^{\circ}_{entrepisos}$  = número de plantas del edificio

Figura 9. Área tributaria de columnas



Fuente: Ángel Sic García. Guía teórica y práctica del curso de concreto Armado 2. p.203

## **1.2 Cargas de diseño**

Las cargas son fuerzas externas que actúan sobre la estructura. Las cuales provocan reacciones internas dentro del sistema estructural para resistirlas. Dependiendo de la manera como las cargas sean aplicadas, tienden a deformar la estructura y sus componentes. En el presente trabajo se clasifican a las cargas en una estructura de acuerdo con la dirección de su aplicación<sup>10</sup>: cargas verticales y cargas laterales.

### **1.2.1 Cargas verticales**

También llamadas cargas por gravedad, comprenden la carga muerta y carga viva.

#### **1.2.1.1 Carga Muerta**

Las cargas muertas comprenden todas las cargas de elementos permanentes de la construcción incluyendo la estructura en sí, pisos rellenos, cielos, vidrieras, tabiques fijos, equipo permanente anclado rígidamente anclado. Las fuerzas netas de pre-esfuerzo también se consideran cargas muertas. Se Incluye el peso de todos los componentes permanentes de una estructura, como vigas, columnas, techos y cubiertas de puentes.

### **Memoria de diseño**

Los pesos unitarios y otras suposiciones afines acerca de la carga muerta se dejarán consignados en la memoria de diseño.

### **Peso de los materiales**

Para el cálculo se utilizarán valores representativos medios de los pesos de los materiales. El ingeniero estructural tendrá presente que no es necesariamente conservador tomar pesos unitarios en exceso de los valores reales.

### **Tabiques y particiones**

Los tabiques y particiones interiores no incorporadas al sistema estructural deberán incluirse como cargas uniformemente distribuidas sobre el entrepiso, tomando en cuenta el peso unitario de los mismos y su densidad de construcción.

### **Cerramientos y vidrieras**

Las paredes exteriores de cierre, sillares, vidrieras, balcones y otros cerramientos perimetrales deberán incluirse como cargas lineales uniformemente distribuidas sobre el perímetro del entrepiso, tomando en cuenta el peso unitario de los mismos y su densidad de construcción.

### **Equipos fijos**

Los equipos fijos rígidamente sujetos a las estructura se deberán considerar carga muerta.

## **Equipos pesados**

Los equipos fijos cuyo peso exceda el 50 % de la provisión de carga viva concentrada deberán ser tomados específicamente en cuenta por el ingeniero estructural que decidirá si son carga muerta o carga viva. El diseñador general informará al ingeniero estructural sobre su presencia.

### **1.2.1.2 Carga Viva**

Las cargas vivas son aquellas producidas por el uso y la ocupación de la edificación. Los agentes que producen estas cargas no están rígidamente sujetos a la estructura. Estos incluyen, pero no están limitados a: los ocupantes en sí, el mobiliario y su contenido así como el equipo no fijo.

### **Cargas concentradas**

Las cargas vivas concentradas ( $P_v$ ) se aplicarán sobre el área real de aplicación conocida. Cuando el área de aplicación no se conozca, la carga viva concentrada se distribuirá de acuerdo con las cargas vivas especificadas y se aplicará en la posición que ocasione los efectos más desfavorables.

### **Cargas vivas especificadas**

- a) Cargas uniformemente distribuidas ( $W_v$ ): los entrepisos se diseñarán para las cargas uniformemente distribuidas especificadas en el cuadro.

- b) Cargas concentradas ( $P_v$ ): se verificará que los entrepisos resistan localmente las cargas concentradas especificadas en el cuadro que simulan efectos de equipo y mobiliario pesados. Estas cargas se colocarán en las posiciones más desfavorables; en el entrepiso sobre un área de 75 cm por 75 cm. Las cargas de los párrafos (a) y (b) no se aplicarán simultáneamente; se utilizarán para diseño las condiciones más críticas.
- c) Cargas concentradas en estacionamiento: la circulación de vehículos genera cargas de impacto y cargas dinámicas que deben tomarse en consideración al diseñar estacionamientos. Para simular estas cargas se verificará que los estacionamientos soporten localmente un par de cargas concentradas separadas 1.50 metros. Cada una será el 40% del peso del vehículo más pesado que esté proyectado a utilizar el área. En estacionamientos exclusivos para automóviles las cargas concentradas serán de 900 kilogramos cada una. Las cargas de los párrafos (a) y (c) no se aplicarán simultáneamente; se utilizará para diseño la condición local más crítica.
- d) Escaleras: Los escalones individuales de una escalera se diseñarán para una carga concentrada de 150 kg.
- e) Cargas especiales y cargas de impacto: el diseño deberá considerar agentes generadores de cargas de impacto y de otras cargas especiales.
- f) Cargas vivas cubiertas pesadas, con o sin acceso, donde la cubierta en sí tenga un peso propio que exceda  $120 \text{ kg/m}^2$ . La carga se aplica a la proyección horizontal de las cubiertas. Excepción: estas cargas no son necesariamente aplicables para edificaciones dentro de las áreas de amenaza volcánica.

- g) Cargas vivas de cubiertas livianas: la estructura portante de techos enlaminados, de cubiertas con planchas livianas y de cubiertas transparentes se diseñará para las cargas listadas en el cuadro. La carga se aplica a la proyección horizontal de las cubiertas. Excepción: estas cargas no son necesariamente aplicables para edificaciones dentro de las áreas de amenaza volcánica.

**TABLA VI.** Cargas vivas en edificaciones

<b>Tipo de ocupación o uso</b>	<b><math>W_v</math> (kg / m<sup>2</sup>)</b>	<b><math>P_v</math> (kg)</b>
Vivienda	200	0
Oficina	250	800
Hospitales - encamamiento y habitaciones	200	0
Hospitales - servicios médicos y laboratorio	350	800
Hoteles - alas de habitaciones	200	0
Hoteles - servicios y áreas públicas	500	800
Escaleras privadas	300	Ver (d)
Escaleras públicas o de escape	500	Ver (d)
Balcones, cornisas y marquesinas	300	0
Áreas de salida y / o escape	500	0
Vestíbulos públicos	500	0
Plazas y áreas públicas a nivel de calle	500	800
Salones de reunión		
Con asientos fijos	300	0
Sin asientos fijos	500	0
Escenarios y circulaciones	500	0
Instalaciones deportivas públicas		
Zonas de circulación	500	0
Zonas de asientos	400	0
Canchas deportivas		0
Aulas y escuelas	200	400
Bibliotecas		
Áreas de lectura	200	400
Deposito de libros	600	800
Almacenes		
Minoristas	350	800
Mayoristas	500	1200
Estacionamientos y garajes		
Automóviles	250	Ver inciso (c)

Vehículos pesados	Según vehículo	Ver inciso (c)
Rampas de uso colectivo	750	Ver inciso (c)
Corredores de circulación	500	Ver inciso (c)
Servicio y reparación	500	Ver inciso (c)
Bodegas		
Cargas livianas	600	800
Cargas pesadas	1200	1200
Fabricas		
Cargas livianas	400	800
Cargas pesadas	600	1200
Cubiertas pesadas		
Azoteas de concreto con acceso	200	
Azoteas sin acceso horizontal o inclinadas	100	
Azoteas inclinadas más de 20°	75 <sup>b</sup>	
Cubiertas livianas		
Techos de láminas, tejas, cubiertas plásticas, lonas, etc.	50 <sup>b</sup>	

**Fuente.** Normas Estructurales de diseño recomendadas para la republica de Guatemala, AGIES NR-2: 2000, p. 28-29

**TABLA VII.** Cargas vivas especiales

Uso	Carga vertical	Carga horizontal
Sistema portante de cielo falso	20 kg / m <sup>2</sup>	
Particiones y tabiques		15 kg / m <sup>2</sup>
Elevadores (carga muerta + viva)	2 veces carga total	
Grúas (carga muerta + viva)	1.25 veces carga total	
Estanterías (más de 2 m de altura)		50 kg puntual, arriba
Sistema de fijación de lámparas y colgadores de tuberías	Su peso ó 50 kg mínimo	Prevenir oscilación
Barandales de uso público		75 kg / m, lineal
Barandales de uso privado		30 kg / m, lineal

**Fuente.** Normas Estructurales de diseño recomendadas para la republica de Guatemala, AGIES NR-2: 2000, p. 29

## **Reducción de carga viva**

Las cargas vivas uniformemente distribuidas especificadas anteriormente, párrafos (a) y (f) pueden reducirse en función del área tributaria por medio de un factor multiplicador K.

El factor de reducción para cargas distribuidas será:

$$K_v = [1 - 0.008 (A_T - 15)] \quad (\text{Ec. 1.2.1})$$

$$K_v \geq 0.77 - 0.23 M/V \quad (\text{Ec. 1.2.2})$$

En las expresiones anteriores  $A_T$  es el área tributaria en metros cuadrados y para ciertos miembros puede incorporar las áreas tributarias de varios pisos; M y V representan las cargas muerta y viva totales que tributen sobre el miembro; las ecuaciones no aplican a áreas tributarias menores que 15 metros cuadrados. El factor de reducción  $K_v$  no será menor que 0.6 para miembros que reciban carga de un solo piso ni será menor que 0.4 para miembros que reciben cargas de varios pisos.  $K_v$  será igual a 1.0 para lugares de reuniones públicas y cuando la carga viva sea 500 kg / m<sup>2</sup> o más.

### **1.2.2 Cargas laterales**

Las constituyen aquellas fuerzas que actúan ortogonalmente o casi, respecto a la línea de acción de la gravedad. Se dividen en cargas de presión, sismo y de viento<sup>11</sup>.

### **1.2.2.1 Carga de presión**

#### **Empuje de fluidos**

Las estructuras sometidas a empujes de fluidos ( $E_f$ ) se diseñarán para soportar la presión estática de los mismos. Las presiones hidrodinámicas causadas por los sismos, sobre el fondo, las paredes y la cubierta del contenedor se tomarán en cuenta y el analista consignará sus suposiciones en la memoria de diseño.

#### **Empuje de suelos**

Los empujes de suelos ( $E_s$ ) sobre paredes y otras estructuras aproximadamente verticales que retengan suelo se calcularán con base en principios geotécnicos establecidos. Se deberá tomar en cuenta las posibles sobrecargas vivas y/o muertas sobre la masa de suelo retenida. Los empujes sísmicos se tomarán en cuenta y el analista consignará sus suposiciones en la memoria de diseño.

#### **Suelos saturados**

A menos que exista un drenaje con suficiente capacidad de evacuación de agua, el empuje se calculará para el peso sumergido del suelo más la presión hidrostática, excepto que el informe geotécnico indique explícitamente que esto no es un problema. Asimismo se tomará en cuenta en el diseño la presión hidrostática causada sobre pisos y muros de sótanos por una posición desfavorable del nivel freático esto sea un problema.

### 1.2.2.2 Carga de sismo

#### Corte basal<sup>12</sup>

El edificio se considerará fijo en la base y se diseñará en cada dirección de análisis para resistir como mínimo el cortante basal estático equivalente ( $V_B$ ) de acuerdo a la siguiente expresión:

$$V_B = C_s * W_s \quad (\text{Ec. 1.2.3}) \quad (\text{SEGÚN EC. 3-2/1 AGIES NR-3 1996})$$

Donde:

$W_s$	Es el peso de la parte de la masa de la edificación capaz de generar fuerzas inerciales que distribuyan al cortante basal.
$C_s$	Es el coeficiente sísmico de diseño (SEGÚN NUMERAL 3-2.1.3 AGIES NR-3 1996)

#### Peso $W_s$

El peso  $W_s$  incluirá como mínimo la carga muerta total de la edificación. En almacenes o bodegas incluirá como mínimo un 25 por ciento de la carga viva. El analista también incluirá otras cargas vivas que estén rígidamente ancladas a la estructura. Las masas líquidas que no sobrepasen el 5 % del peso total de la edificación se añadirán simplemente al peso  $W_s$ ; en otros casos se verificarán las componentes hidrodinámicas.

#### Coeficiente $C_s$

El coeficiente sísmico de diseño en cada dirección de análisis se establecerá de la manera siguiente:

$$C_s = S_a(T) / R \quad \text{si } T > T_a \quad (\text{Ec. 1.2.4}) \quad (\text{SEGÚN EC. 3-2/2a AGIES NR-3 1996})$$

$$C_s = S_a(T) / 1 + (R - 1) * T / T_a \quad \text{si } T < T_a \quad (\text{Ec. 1.2.5}) \quad (\text{SEGÚN EC. 3-2/2b AGIES NR-3 1996})$$

Donde

R	Es el factor de Reducción (según sección 3-1.2. AGIES NR-3 1996)
T <sub>a</sub>	Es uno de los períodos de vibración que definen al espectro sísmico de diseño (SEGÚN FIGURA 2-2/2 AGIES NR-2 1996)
T	Es el período fundamental de vibración de la estructura
S <sub>a</sub> (T)	Es la demanda sísmica de diseño para una estructura con período T (SEGÚN SE ESPECIFICA EN LA SECCION 2-2.2 AGIES NR-2 1996)

### Periodo de Vibración (T)

El período T es el período fundamental de vibración de la edificación. Al período T puede asignársele el valor genérico empírico T<sub>E</sub>. Si el período T se calcula analíticamente y resulta ser mayor que 1.2 T<sub>E</sub>, se utilizará este último valor para calcular la demanda sísmica por el método de la carga sísmica equivalente.

### Período Empírico T<sub>E</sub>

El período fundamental de vibración de una edificación puede estimarse en forma genérica igualando a un período Empírico (T<sub>E</sub>).

Para edificios en general:

$$T_E = 0.09 * h_N / \sqrt{L} \quad (\text{Ec. 1.2.6}) \quad (\text{SEGÚN EC. 3-2/3a AGIES NR-3 1996})$$

$$T_E = K_T * h_N^{0.75} \quad (\text{Ec. 1.2.7}) \quad (\text{SEGÚN EC. 3-2/3b AGIES NR-3 1996})$$

Donde:

K<sub>T</sub> = 0.061 para marcos de concreto

K<sub>T</sub> = 0.085 para marcos de acero

$h_N$	Es la altura total del edificio, en metros, desde la base o nivel del terreno medida en metros; la base es el primer nivel de la edificación restringido de vibrar libremente (usualmente el nivel de plaza).
L	Es la distancia entre los ejes estructurales extremos en la dirección de análisis, medida en metros.

### Distribución vertical de fuerzas sísmicas

El cortante basal  $V_B$  se distribuirá a lo alto del edificio de acuerdo a la expresión siguiente:

$$F_j = C_{v_j} * V_B \quad (\text{Ec. 1.2.8}) \quad (\text{SEGÚN EC. 3-2/4 AGIES NR-3 1996})$$

Donde:

$$C_{v_j} = W_j h_j^k / \sum (W_i h_i^k) \quad (\text{Ec. 1.2.9}) \quad (\text{SEGÚN EC. 3-2/5 AGIES NR-3 1996})$$

$F_j$	Es el cortante en el nivel j de la edificación
k	Depende del período de la edificación para períodos de 0.5 segundos o menos $k = 1$ para períodos mayores, $k = 0.75 + 0.5T$
$W_j$	Es el peso asignado al nivel "i" o del nivel "j" de la edificación.
$h_i$	Es la altura en metros del nivel "i" o del nivel "j" sobre la base de la edificación; la base es el primer nivel de la edificación restringido de vibrar libremente (usualmente el nivel de plaza).

### Distribución horizontal de fuerzas sísmicas

La fuerza sísmica ( $V_x$ ) acumulada desde arriba hasta el nivel "x" se distribuirá a los diversos miembros verticales del sistema sismo-resistente que están en el piso debajo del nivel "x" tomando en cuenta las rigideces relativas de esos miembros verticales y las del diafragma de esos miembros verticales y las del diafragma en el nivel "x". El analista tomará en cuenta las rigideces finitas del diafragma en el análisis, excepto que pueda justificar el empleo de un

modelo analítico de diafragma infinitamente rígido demostrando que los diafragmas son considerablemente más rígidos que los marcos estructurales.

En el proceso de distribuir horizontalmente las fuerzas sísmicas se tomará en cuenta el momento torsional MT, causando por la localización de las masas de la edificación. A esto se añadirá un momento torsional accidental MTA, causado por un desplazamiento del centro de masa analítico del 5 % de la dimensión de la edificación (medida perpendicularmente a la dirección de aplicación de las fuerzas sísmicas).

### **Volteo**

Toda edificación se diseñará para resistir los efectos de volcamiento o volteo causados por las fuerzas sísmicas, especificadas anteriormente. Los momentos de volteo para el diseño de cimentaciones se podrán reducir.

### **1.2.3 Carga de Viento**

El Viento es aire en movimiento, el aire tiene una masa partículas (densidad o peso) y se mueve en una dirección particular a una velocidad particular. Por consiguiente posee energía cinética expresada como:

$$E = 1/2 mv^2 \text{ (Ec. 1.2.10)}$$

### **Condiciones del viento**

La condición del viento que más interesa para el diseño de edificios u otras estructuras es principalmente la de una tormenta de viento, específicamente vientos con alta velocidad al nivel de la superficie del suelo.

Entre estos están tornados y huracanes. De primordial importancia en la evaluación del viento es la velocidad máxima que alcanza el viento.

### **Efectos críticos del viento sobre edificios u otras estructuras**

Los mayores efectos del viento sobre edificios u otras estructuras se pueden generalizar hasta cierto punto debido a que se conoce una serie calificada de características que abarcan las situaciones más comunes. Algunas de las suposiciones generales que se hacen son las siguientes:

- ❖ La mayoría de edificios son macizos o tienen forma de cajón, lo cual produce una respuesta aerodinámica común.
- ❖ La mayoría de los edificios presentan superficies cerradas, favorablemente lisas al viento.
- ❖ La mayoría de los edificios se encuentran firmemente apoyados en el suelo, presentando una situación particular para resistir los efectos de arrastre de la superficie del suelo.
- ❖ La mayoría de los edificios poseen estructuras relativamente rígidas, lo cual produce una escala bastante limitada de variación de la estructura.

El efecto principal del viento se representa en la forma de presiones normales a las superficies exteriores del edificio. Mediante la fórmula:

$$p = Cv^2 \text{ (Ec. 1.2.11)}$$

En donde C es una constante que considera la masa de aire, y para el efecto total del viento sobre un edificio simple con forma de cajón es, aproximadamente 0.003, y V es el valor de la velocidad del viento.

### **Presión hacia adentro sobre muros exteriores**

Por lo general, se requiere que las superficies que se oponen directamente al viento se diseñen para resistir la presión total en la base, aunque esto es algo conservador, ya que la fuerza constituye comúnmente sólo cerca de un 60 % de la fuerza total sobre el edificio.

### **Succión sobre los muros exteriores y presión sobre el techo**

La mayoría de los reglamentos también requieren que la succión sobre los muros exteriores sea la presión total en la base. La mayoría de reglamentos exigen una presión de levantamiento (succión) igual a la presión total de diseño a la elevación del nivel del techo.

### **Fuerza total sobre el edificio**

La fuerza total horizontal se calcula como presión horizontal sobre la silueta del edificio, haciendo los ajustes por la altura sobre el nivel del suelo.

### **Efectos Armónicos**

El diseño para resistir la vibración, trepidación, azotamiento, oscilación multinodal, etc., exige un análisis dinámico y no se puede lograr cuando se utiliza el método equivalente de carga estática. La rigidez, el arrostramiento y el ajuste de los elementos en general pueden reducir al mínimo las posibilidades de estos efectos, pero sólo un análisis dinámico real o una prueba de túnel de viento pueden asegurar que la estructura es adecuada para resistir estos efectos armónicos.

## **Efectos de las aberturas**

Si la superficie de un edificio es cerrada y suficientemente lisa, el viento se deslizará alrededor de ella con un flujo fluido. Las aberturas o formas del edificio que tienden a cortar el aire pueden afectar, en gran parte, la fuerza total del viento sobre el edificio.

## **Efecto torsional**

Si un edificio no es simétrico en función de su silueta o si el sistema lateralmente resistente no es simétrico dentro del edificio, la fuerza del viento puede producir un efecto de torsión. Este efecto es el resultado de una desalineación del centroide de la fuerza del viento y el centroide del sistema lateralmente resistente y producirá una fuerza adicional en algunos de los elementos de la estructura.

## **Cálculo de la presión estática del viento**

Esta es la presión estática equivalente básica de referencia basada en la velocidad local crítica del viento. Y esta basada en la siguiente fórmula, como aparece en la norma ANSI:

$$q_s = 0.00256v^2 \text{ (Ec. 1.2.12)}$$

En el valle de Guatemala el viento es recomendable a partir de los 10 metros de altura de 100 millas \* hora.<sup>13</sup>

## Presión de diseño del viento<sup>14</sup>

$$p = C_e C_q q_s I \quad (\text{Ec. 1.2.13})$$

**Fuente:** Fórmula del UBC (11-1), (sección 2311)

Donde:

p	Presión de diseño del viento, lb/pie <sup>2</sup>
C <sub>e</sub>	Altura, exposición y coeficiente de factor de ráfaga combinados, como se da en la tabla 16-G de UBC 1997
C <sub>q</sub>	Coeficiente de presión para la estructura o porción de ésta que se considera, como aparece en la tabla 16-H de UBC 1997
q <sub>s</sub>	Presión estática del viento a 30 pies, dada en la tabla 16-F de UBC 1997
I	Factor de importancia, como se da en AGIES NR-2

### Método de la fuerza normal

En este método se supone que las presiones del viento actúan simultáneamente normales a todas las superficies exteriores. Se requiere que este método se utilice para diseñar marcos rígidos a dos aguas y se emplea para cualquier estructura.

### Método del área proyectada

En este método, se considera que el efecto total del viento sobre el edificio es una combinación de una sola presión horizontal que actúa hacia adentro sobre una superficie vertical que consiste en la proyección del perfil del edificio y una presión hacia fuera que actúa sobre el área proyectada total del edificio en planta. Este método se utiliza para diseñar cualquier estructura de menos de 200 pies de altura, excepto marcos rígidos a dos aguas. Este es el método empleado, generalmente, por los reglamentos de construcción en el pasado. Otras normas dan varias recomendaciones, donde una común es un límite de desplazamiento de nivel de 0.005 veces  $k_a$  altura del nivel. Para

estructuras de mampostería, el desplazamiento debido al viento, en ocasiones, se limita a 0.0025 veces la altura al nivel.

### **Consideraciones generales de diseño por viento**

La ubicación del edificio es una consideración importante, ya que la presión básica de diseño varía de factor de 2.4 del área de menor velocidad del viento a la máxima.

El peso muerto de la construcción, la altura del edificio el tipo de sistema estructural. La forma aerodinámica del edificio y sus partes expuestas a la vista y la existencia de grandes aberturas, partes aisladas u ocultas de la superficie, etc. La carga muerta del edificio constituye, en general, una ventaja en el diseño por viento, debido a que es un factor estabilizante para resistir el levantamiento, volteo y deslizamiento y tiende a reducir la incidencia de vibración.

Varios aspectos de la forma del edificio pueden provocar incremento o reducción de los efectos del viento, algunas situaciones críticas potenciales, son las siguientes: Formas planas contra curvadas, los edificios altos, los edificios abiertos y salientes del edificio.

En la mayoría de los edificios, la estructura lateralmente resistente se compone de dos elementos básicos: los elementos distribuidos horizontales y los elementos verticales en voladizo o de marco arriostrado. La rigidez relativa de los elementos individuales es la propiedad principal que afecta estas relaciones.

## Combinaciones de carga

Cualquiera de todas las cargas mencionadas puede actuar sobre una estructura en un momento dado. Sin embargo es entrar prácticamente al campo de la especulación; el que se produzca algún tipo de carga crítica.

Es por ello que los códigos de construcción establecen combinaciones de cargas específicas, que los miembros estructurales deben estar en capacidad de soportar para tratar de evitar el colapso de la estructura.

**TABLA VIII.** Factores de carga especificados por algunos códigos

Código	Combinaciones Gravitacionales	Combinaciones excepcionales	Combinaciones para volteo
AGIES	1.4CM + 1.7 CV	1.05CM + 1.275CV + 1.275S	0.8CM + S
USCE 7-98	1.2CM+1.6CV	1.2CM+0.5CV+1.05S	0.9CM+1.0S
ACI-2000	1.2CM + 1.6 CV	1.05CM + 1.275CV + 1.275S	0.9CM + 1.3S

### 1.3 Análisis estructural

El análisis se refiere a la determinación de las fuerzas internas actuantes en las distintas secciones de la estructura para su posterior comparación con las fuerzas actuantes resistentes, a fin de verificar si su diseño satisface las condiciones de seguridad. En algunos casos también buscamos a través del análisis las deformaciones verticales y horizontales de algunos elementos estructurales para su comparación con los valores que definen estados límites de servicio. Ya habiendo determinado las cargas verticales y laterales actuantes sobre la estructura, se debe proceder a determinar la respuesta estructural en el edificio; o sea los efectos que las acciones de diseño provocan en la estructura. Estos efectos se describen en términos de fuerzas internas, esfuerzos flechas y deformaciones<sup>15</sup>.

Para algunos tipos de estructuras, las ecuaciones de equilibrio no son suficientes para determinar las reacciones o los esfuerzos internos. Estas estructuras se llaman estáticamente indeterminadas.

Para el análisis de esas estructuras se deben formular ecuaciones adicionales basadas en el conocimiento de las deformaciones elásticas. Por tanto, los métodos de análisis que permiten evaluar las deformaciones en términos de fuerzas o esfuerzos desconocidos, son importantes para la solución de problemas relacionados con las estructuras estáticamente indeterminadas. Algunos de estos métodos, como el método de trabajo virtual, también son útiles para resolver problemas complicados en sistemas estáticamente determinados.

### **1.3.1 Métodos aproximados de análisis**

Estos métodos son utilizados en diseños preliminares y sirven además como comprobaciones rápidas de los resultados de métodos más refinados. En esta sección solo se mencionaran algunos métodos aproximados de análisis y las condiciones donde es posible aplicarlos, ya que este no es uno de los objetivos del presente trabajo, el entrar en detalle en esta materia.

#### **1.3.1.1 Método de estimación de la curva elástica y ubicación de los puntos de inflexión**

Aplicable a vigas y marcos simétricos de preferencia para obtener mayor exactitud. Es usado exclusivamente para estructuras sometidas a cargas verticales.

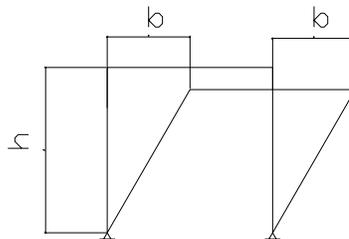
### 1.3.1.2 Método del portal

Método aproximado de análisis estructural, utilizado para estructuras sometidas a cargas laterales, en marcos cuya altura total es menor a su ancho total.

Se basa en los siguientes:

- ❖ Ángulos inicialmente rectos continúan siendo rectos aun después de la deformación.
- ❖ Despreciando la deformación axial, el desplazamiento  $\Delta$  de las columnas en el mismo.
- ❖ En los tramos sin carga se produce un punto de inflexión. Por simetría los puntos de inflexión se ubican a la mitad de cada miembro.

**Figura 10.** Marco con desplazamiento lateral



#### Principios básicos del método del portal

- ❖ Se forma un punto de inflexión a la mitad de cada viga y columna.

- ❖ La suma de las fuerzas cortantes en las columnas es igual a la fuerza exterior que se le aplica al panel.
- ❖ Asumiremos el marco como formado por la unión de varios paneles. Las columnas inferiores del marco absorberán el doble que las columnas exteriores.

### **1.3.1.3 Método del voladizo**

Aunque el cortante en las columnas es importante en marcos altos, aquellos en donde la altura es mayor que la base, el comportamiento está definido principalmente por la flexión que dicho marco sufre. Este método es aplicable a marcos con carga horizontal. El marco se comporta en forma similar a una viga empotrada en voladizo con las columnas de un lado del centroide trabajando a tensión y las del otro lado a compresión dependiendo de la magnitud de los esfuerzos y de la distancia a que se encuentra del centroide.

Este método también supone que el marco está formado por paneles y que se forma un punto de inflexión a la mitad de cada viga y columna.

Al usar el método del voladizo son aplicables las siguientes hipótesis:

- ❖ Se coloca un punto de inflexión en el centro de cada viga y cada columna este se supone un punto de momento cero.
- ❖ El momento axial de una columna es proporcional a su distancia desde el centroide de las áreas de las secciones transversales de las columnas en un nivel de piso dado.

- ❖ Como el esfuerzo es igual a fuerza por área, entonces en el caso especial de columnas con secciones transversales, la fuerza en una columna es también proporcional a su distancia desde el centroide de las áreas de las columnas. Estas dos hipótesis reducen el marco a uno que es estable y estáticamente determinado.

### **1.3.2 Métodos Iterativos**

Estos son métodos que utilizan una matemática muy refinada, básicamente se realizan a través de procesos iterativos. Los de cálculo manual están cayendo en desuso ante la opción que se presenta, hoy en día, de utilizar métodos automatizados de cálculo.

#### **1.3.2.1 Método de Kani**

Método iterativo, aplicable a vigas y marcos rígidos, simétricos o asimétricos, sometidos a cualquier tipo de carga. A continuación se describe, en forma simple, el procedimiento a seguir en este método:

- ❖ La rigideces de las columnas  $K_c$  y las viga  $K_v$ , están dada por  $K = 1/L$ ;
- ❖ El factor de giro para cada nudo ( $u$ ), esta dado por  $u = -0.5K_c/v / (\sum K_c/v + \sum K_{llegan\ al\ nudo})$ , la suma todos los  $u$  de un nudo debe ser igual a  $-0.5$ ;
- ❖ El momento fijo tiene únicamente las vigas y depende condiciones de carga;

- ❖ Momento de sujeción  $M_s$ , es el momento fijo izquierdo mas el momento fijo derecho, siendo que en un nudo solo puede haber 1 o 2 momentos fijos.

### 1.3.2.2 Método de Cross

Método iterativo, aplicable a vigas y marcos rígidos, simétricos o asimétricos, sometidos a cargas laterales y/o verticales. Sus conceptos básicos son:

- ❖ **Momento fijo ( $M_f$ )**; Es el momento necesario en el extremo de un miembro de una estructura, para que el giro en ese extremo sea cero.
- ❖ **La rigidez ( $K$ )** es la acción necesaria para producir una deformación unitaria en cualquier miembro<sup>16</sup>. La rigidez en un voladizo por definición es igual a cero.
- ❖ **El factor de distribución ( $D_{ij}$ )**; es el valor por el cual se debe multiplicar el momento aplicado a un nudo rígido, para obtener el momento que absorbe cada uno de los miembros que concurren a ese nudo, se encuentra en función de las rigideces de los miembros conectados a el.
- ❖ Un momento aplicado en un extremo empotrado de un miembro transmitirá al extremo contrario, un momento de magnitud igual a la mitad del valor del primero y de signo contrario (factor de transporte);
- ❖ Para que el ciclo de iteraciones concluya, el momento que se transmite con el factor de de transporte deber ser 0.10  $M_f$  menor;

- ❖ El momento final será igual al  $M_f$  final más los efectos que le llegaron. A modo de comprobación, la suma de los momentos finales en cada miembro debe ser igual a cero.

### **Método de Cross para marcos sin desplazamiento lateral**

El método se ejecuta de la misma manera que para vigas continuas. La única diferencia estriba en que pueden concurrir más de dos miembros a un mismo nudo. Por ejemplo, en un nudo interior de un marco reticular se unen generalmente dos vigas y dos columnas. Las rigideces angulares de los miembros y los factores de distribución en cada nudo se calculan. Debe verificarse que la suma de los factores de distribución sea igual a 1 en todos los nudos y el momento de equilibrio que se introduzca en la etapa de distribución debe ser igual a la suma de los momentos de empotramiento perfecto de todos los miembros que concurren al nudo.

### **Método de Cross para marcos con desplazamiento lateral**

En marcos con posibilidad de tener desplazamientos laterales se presenta un factor adicional que debe considerarse: el equilibrio de todas las fuerzas horizontales que actúan sobre el marco, incluyendo las reacciones horizontales en los apoyos.

### **Marcos de un nivel**

En un marco asimétrico tanto en carga como en geometría, los nudos se pueden desplazar horizontalmente al aplicar una carga.

## **Marcos de varios niveles**

Para resolver marcos de varios niveles por el método de Cross es necesario plantear una ecuación de equilibrio de fuerzas horizontales en cada marco. En una primera etapa, el marco se resuelve bajo la acción de las cargas verticales impidiendo el desplazamiento lateral. Esta etapa es semejante a la correspondiente a marcos de un nivel, pero ahora, en cada piso aparece una reacción horizontal. Se empieza en el piso superior, haciendo un corte horizontal inmediatamente arriba de la trabe del segundo piso. Dividiendo los momentos obtenidos en el análisis de la primera etapa entre las alturas de las columnas, se obtienen las fuerzas horizontales y por equilibrio de fuerzas horizontales se calcula la reacción horizontal, si las columnas son de la misma altura, la reacción puede obtenerse dividiendo la suma de los momentos entre la altura. El mismo procedimiento se repite en cada piso.

## **Programas de computación**

En la actualidad existen programas de computación que ayudan a resolver métodos iterativos con la potencia y rapidez que proporcionan los equipos de cómputo, en el mercado existe toda una gama de software a la venta, aunque también existen los de dominio público, entre ellos tenemos: **Paem, Staad pro, Sap 2000®, Cadre pro 3d, ETABS®, etc.**

ETABS® es uno de los programas estructurales que se utilizan en la actualidad por los ingenieros estructurales, por ese motivo se dan a conocer los pasos necesarios para construir un modelo con ayuda del programa en el siguiente Capítulo.

## **2. DISEÑO ESTRUCTURAL CON EL PROGRAMA ETABS®**

ETABS® es un programa de análisis y diseño estructural basado en el método de los elementos finitos con características especiales para el análisis y diseño estructural de edificaciones. Los métodos numéricos usados en el programa, los procedimientos de diseño y los códigos internacionales de diseño le permiten ser versátil y productivo, tanto si se está diseñando un pórtico bidimensional o realizando un análisis dinámico de un edificio de gran altura con aisladores en la base.

ETABS® trabaja dentro de un sistema de datos ingresados, el concepto básico es que el usuario crea un modelo consistente del sistema de piso y de los marcos verticales y laterales para analizar y diseñar toda edificación. Todo lo que se necesita es integrar el modelo dentro de un sistema de análisis y diseño con una versátil interfase. No existen modelos externos para mantenimiento ni de transferencia de datos entre módulos. Los efectos sobre una parte de la estructura debido a cambios efectuados en otra parte son instantáneos y automáticos.

Los modelos de análisis incluyen una gran variedad de opciones para el análisis estático y dinámico. El modelo integrado puede incluir, entre otros, sistemas de marcos y losa compuesta, con aberturas y voladizos, sistemas de vigas de acero, marcos resistentes, complejos sistemas de paredes de corte, losas de piso rígido y flexible, techos inclinados, rampas y estructuras de parqueo, pisos de mezanine, sistemas de tijeras, edificaciones múltiples y sistemas de diafragma escalonado.

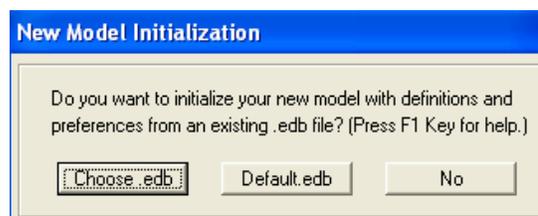
Para esto se deben de seguir algunos pasos en la elaboración de un modelo estructural en el programa ETABS®, mencionándose los siguientes:

## 1.2 Iniciando un nuevo modelo

En este paso, se fijan las dimensiones y alturas de los pisos. Luego, se define una lista de secciones que se ajusten a los parámetros solicitados por el ingeniero para el diseño.

Si las unidades mostradas en la casilla de dialogo en la esquina inferior derecha de la ventana de ETABS® no son las requeridas se debe de seleccionar en esta casilla de dialogo para fijar las unidades.

**Figura 11.** El formulario *New Model Initialization*



Seleccionar el botón *No* en el cuadro de la Figura 11 para iniciar sin ningún archivo realizado previamente. Y aparecerá el cuadro mostrado en la figura 12.

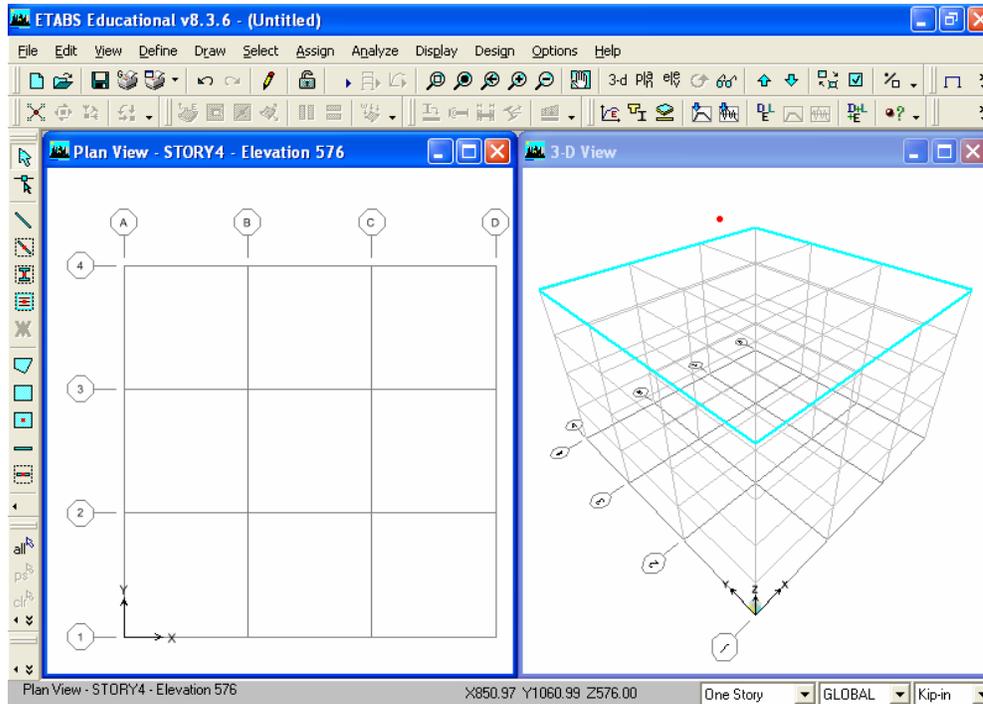
**Figura 12.** El formulario *Building Plan Grid System and Story Data Definition*.

The dialog box is titled "Building Plan Grid System and Story Data Definition". It contains the following sections and controls:

- Grid Dimensions (Plan):**
  - Uniform Grid Spacing
    - Number Lines in X Direction: 4
    - Number Lines in Y Direction: 4
    - Spacing in X Direction: 5
    - Spacing in Y Direction: 5
  - Custom Grid Spacing
- Story Dimensions:**
  - Simple Story Data
    - Number of Stories: 3
    - Typical Story Height: 2.5
    - Bottom Story Height: 4.5
  - Custom Story Data (with "Edit Story Data..." button)
- Units:** Ton-m
- Add Structural Objects:** Steel Deck, Staggered Truss, Flat Slab, Flat Slab with Perimeter Beams, Waffle Slab, Two Way or Ribbed Slab, Grid Only

El formulario *Building Plan Grid System and Story Data* es usado para especificar el espaciamiento de las líneas horizontales de la cuadrícula, los datos de los niveles y en algunos casos, modelos de plantillas. Los modelos de plantillas proporcionan una forma rápida y fácil de iniciar su modelo. Automáticamente, estos modelos agregan objetos estructurales con propiedades apropiadas a su modelo. Se recomienda que inicie sus modelos usando plantillas cada vez que sea posible. Hay veces que el modelo es creado desde la cuadrícula en vez de usar una plantilla.

**Figura 13.** Ventana principal de ETABS®



Cuando haga click en el botón *OK*, su modelo aparece en la ventana principal ETABS® con dos sub ventanas verticales, en la ventana de la izquierda aparece una vista en planta y en la ventana de la derecha una vista en 3D, como lo mostrado en figura 13. El número de sub ventanas puede cambiarlas usando el comando *Options menú > Windows*.

Note que la vista en Planta esta activa en la figura 13. Cuando la ventana esta activa, la barra de titulo esta resaltada. Fije una ventana activa haciendo un click en cualquier lugar de la ventana activa. Si cambia las vistas de las ventanas, regrese a las descritas por defecto en el párrafo anterior con activar *Plan View*, antes de continuar con el siguiente paso.

### 2.1.1 Definir una lista de secciones auto seleccionables

Una lista de secciones auto seleccionables es simplemente una lista de secciones. Estas listas pueden ser asignadas a elementos estructurales. Cuando una lista de secciones auto seleccionables esta asignada a un elemento estructural, el programa automáticamente puede seleccionar la sección más económica, o la más adecuada de la lista cuando esta diseñado el elemento. El programa tiene muchas listas de secciones auto seleccionables incorporadas.

Figura 14. El formulario *Define Frame Properties*<sup>17</sup>

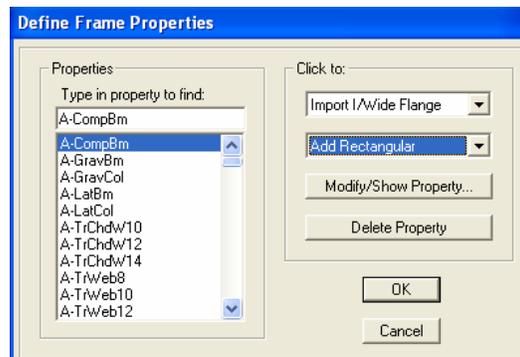
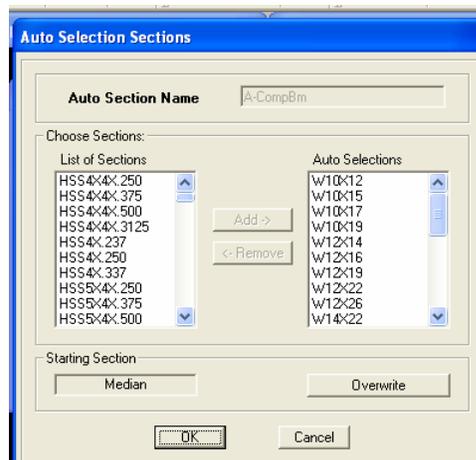


Figura 15. Formulario *Auto Select Sections*



Hacer click en el botón *Add* para agregar las vigas seleccionadas a la lista *Auto Selection* del lado derecho del formulario.

Hacer click en el botón *OK* y luego en el botón *OK* del formulario *Define Frame Properties* para aceptar cambios.

## **2.2 Agregar objetos line**

En este paso, el programa esta configurado para agregar objetos a múltiples niveles simultáneamente. Luego los objetos estructurales son agregados al modelo.

### **2.2.1 Configuración para agregar objetos niveles simultáneamente**

Asegúrese que la ventana *Plan View* este activa. Para hacer una ventana activa, mover el cursor, o la flecha del *Mouse*, sobre la lista y hacer click con el botón izquierdo del *Mouse*. Cuando la vista esta activa, la barra de titulo esta resaltada.

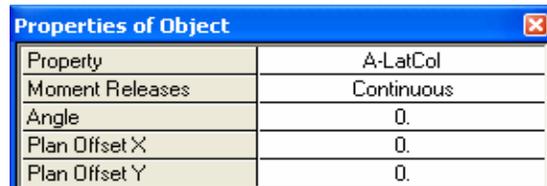
Hacer click en la casilla de dialogo en la que se lee “*One Story*” en la parte inferior derecha de la ventana principal, la cual es mostrada en la figura 13.

Resaltar *Similar Stories* en la lista. Esto activa la opción *Similar Stories* para dibujar y seleccionar objetos.



Clicks. Aparecerá la casilla de dialogo Properties of Object para columnas como se muestra en la Figura 17.

**Figura 17.** Casilla *properties of object* (propiedades del objeto)



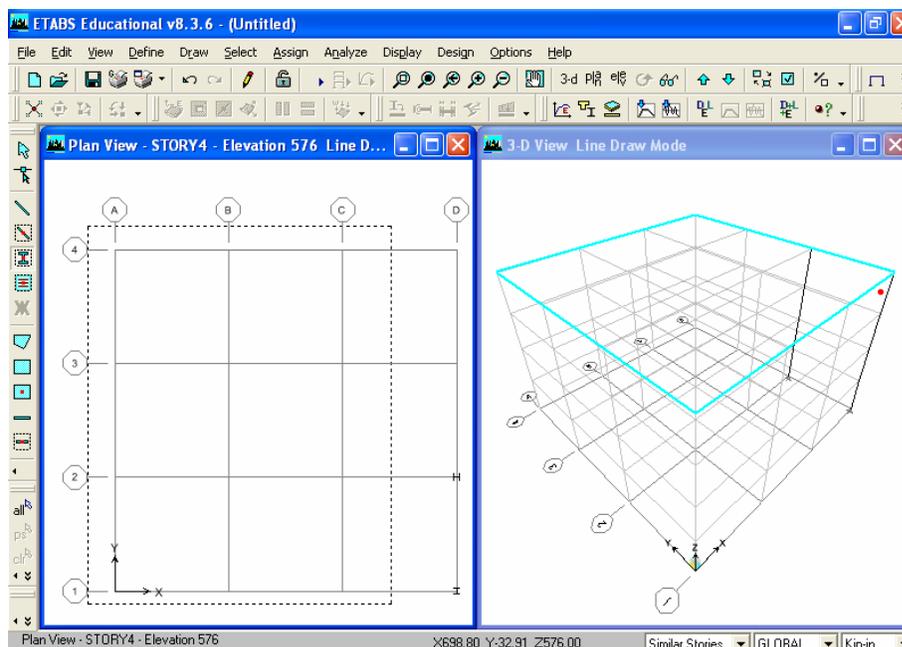
Si la casilla Properties of Object esta ocultando cualquier parte del modelo en cualquier vista, presionarla y arrastrarla hacia otra posición. Para mover el formulario, hacer clic en la barra del título Properties of Object de la casilla, mantener presionado el botón izquierdo del Mouse y arrastrarlo fuera del formulario.

Si quiere revisar las secciones incluidas, o cualquier otra lista de sección auto seleccionable, (1) Hacer click en el *comando Define > menú Frame Sections* o hacer clic en el botón  *Define Frame Sections*. Aparecerá el formulario Define Frame Properties. (2) Resaltar el nombre asignado a la lista en la casilla Properties. (3) Hacer click en el botón *Modify / Show Property*. Aparecerá el formulario Auto Selection Sections; y en el área Auto Selection del formulario son mostradas las secciones incluidas en la lista. (4) Hacer clic en el botón *Cancel* para cerrar el formulario.

Hacer Click en la casilla de edición Angle del formulario Properties of Object y configurar el ángulo de 90. Esto significa que por defecto las columnas rotarán 90 grados desde su posición.

Para dibujar la primera columna, hacer solo un click izquierdo dentro de la Vista en planta en la intersección de las líneas en la cuadrícula. Aparecerá en ese punto una columna formada dentro de la Vista en Planta. También, en la vista 3D, observe que la propiedad de Similar Stories solo se aplica cuando las adiciones o cambios se realizan al modelo en la Vista en Planta. La propiedad Similar Stories no se aplica cuando las adiciones o cambios se realizan en las vistas de Elevación o de 3D.

**Figura 18.** Dibujo de objetos columna dentro de una región seleccionada



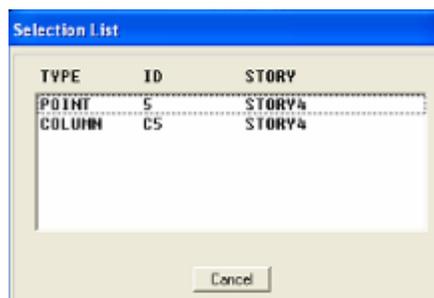
Ahora dibujar las columnas restantes de una sola acción seleccionando un área alrededor de la intersección de la grilla como se muestra en la Figura 18. Para hacer esta selección, hacer clic con el botón izquierdo del Mouse sobre la superior izquierda de la intersección de los ejes y luego, mientras sostiene el botón izquierdo del Mouse, arrástrelo hasta que se encuentre en la

parte inferior derecha de la intersección de los ejes. Una caja de la selección similar debe ampliarse alrededor de las líneas de intersección de la grilla mientras que el Mouse se arrastra a través del modelo. Suelte el botón izquierdo del Mouse y el programa dibujará los objetos de la columna en la intersección de los ejes.

Hacer clic en el botón Select Object,  para cambiar el programa del modo Dibujo al modo Selección.

Mantener presionada la *ctrl* de su teclado y hacer un clic izquierdo en la vista en Planta sobre la columna que desea. Una lista de la selección similar a la presentada en la Figura 19 se mostrara debido a que múltiples objetos existen en la ubicación que se seleccionó. En este ejemplo, un objeto punto y un objeto columna existen en la misma ubicación. Obsérvese que la lista de selección sólo aparecerá cuando la tecla *ctrl* sea usada con el botón izquierdo del Mouse.

**Figura 19.** Formulario *Selection List*

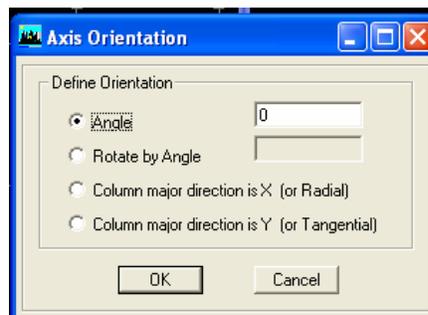


Seleccionar la columna de la lista haciendo clic sobre ella. Ahora la columna en esta seleccionada. La columna estará seleccionada en su totalidad debido a que la propiedad Similar Stories esta activa. Obsérvese que la barra de estado

en la esquina inferior derecha de la ventana principal de ETABS® indica que se han seleccionado el número de líneas que deseaba.

Hacer click en el comando *Assign menú > Frame / Line > Local Axes* para presentar el formulario mostrado en la Figura 20.

**Figura 20.** Orientación de Ejes para Columnas



**Nota:** Cuando son presentados los ejes locales, la codificación para el color de las flechas es rojo, blanco y azul siempre, correspondiente a los ejes 1, 2 y 3 respectivamente.

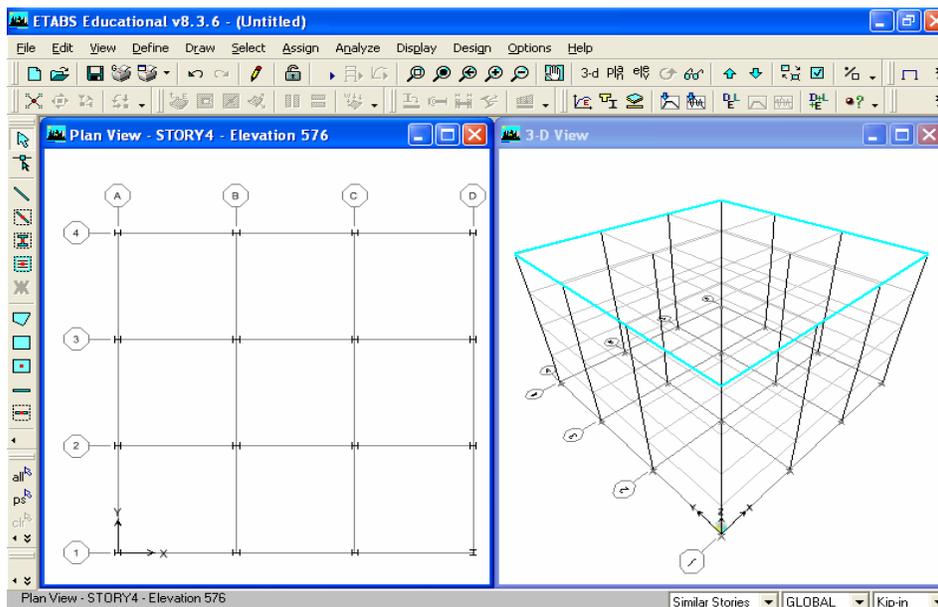
Hacer click en la opción *Column Major Direction is Y* en el formulario y luego hacer clic en el botón **OK**. Las columnas seleccionadas serán rotadas 90 grados.

Note las flechas de color asociadas a cada columna. Estas flechas indican las direcciones de los ejes locales. La flecha roja está siempre en la dirección del eje local 1, la flecha blanca está en la dirección del eje local 2 y la flecha azul está en la dirección del eje local 3. Por defecto, la flecha roja no es visible porque esta (y por lo tanto el eje local 1 de la columna) es perpendicular a la pantalla. Una forma fácil de recordar la codificación para el color de los

ejes es pensar en la bandera Americana. La bandera Americana es roja, blanca y azul. La codificación para el color de los ejes es rojo = 1, blanco = 2 y azul = 3.

Hacer click en el comando *Assign menú > Clear Display of Assign* para ocultar las flechas de la pantalla.

**Figura 21.** El modelo de ejemplo con las columnas dibujadas



### 2.2.3 Guardar modelo

Guardar el modelo con frecuencia durante el desarrollo. Aunque normalmente se puede guardar con el mismo nombre, por lo tanto sobrescribiendo los previos modelos, usted podría regularmente guardar sus modelos con un nombre diferente. Esto le permite llevar un registro de su modelo en varias etapas de su desarrollo.

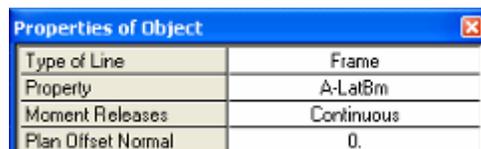
Hacer click en el comando *File menú > Save*, o en el botón Save  Para guardar su modelo. Especifique el directorio en donde desea guardar su modelo.

#### 2.2.4 Dibujar los objetos viga resistente a las fuerzas laterales

Asegúrese de que la vista en planta este activa. Dibujar las vigas entre las columnas usando los siguientes pasos:

Hacer click en el botón *Create Lines in Region or at Clicks*,  o en el comando *Draw menú Draw Line Objects Create Lines in Regions or al Clicks*. La casilla *Properties of Object* para objetos línea aparecerá como en la Figura 22.

**Figura 22.** *Caja Properties of Object*

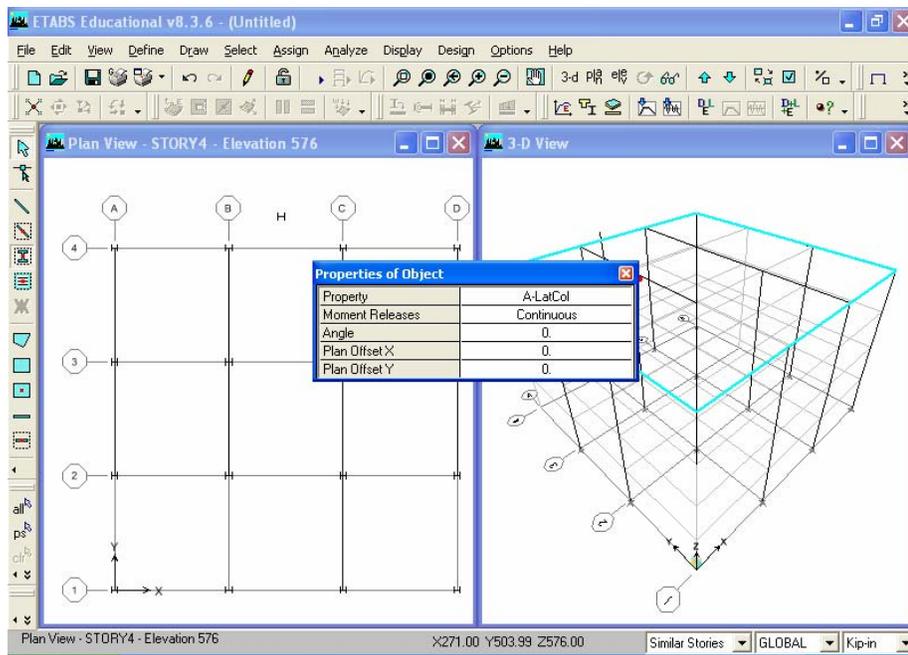


Properties of Object	
Type of Line	Frame
Property	A-LatBm
Moment Releases	Continuous
Plan Offset Normal	0.

Hacer clic con el botón izquierdo del Mouse una vez en la vista en planta sobre el eje D entre los ejes que se desean. Una viga será dibujada a lo largo del eje seleccionado. Debido a que la opción *Similar Stories* esta activa, las vigas serán creadas en todos los niveles.

De manera similar, hacer clic una vez en el eje donde desea que inicie y luego hacer click una vez sobre el eje donde desea que termine para dibujar las vigas en dos posiciones más.

**Figura 23.** Dibujando objetos viga resistentes a fuerza lateral en una región seleccionada



Dibujar Ahora las vigas resistentes a la fuerza lateral restantes en una acción seleccionando el área alrededor de los ejes para agregar vigas entre las columnas dibujadas anteriormente, como se muestra en la Figura 23. Para hacer un área de selección, hacer click en el botón izquierdo del Mouse sobre la parte superior izquierda de la intersección de los ejes y luego, mientras mantiene presionado el botón izquierdo del Mouse, arrastrar el Mouse hasta ubicarlo sobre la pared inferior derecha de la intersección de los ejes. Un área seleccionada se creará alrededor de las intersecciones de los ejes conforme

sea arrastrado el Mouse a través del modelo. Después de dejar de presionar el botón izquierdo del Mouse el programa dibujara los objetos vigas.

Hacer click en el botón Select Object,  para cambiar del modo Dibujo al modo selección.

Hacer click una vez en la viga a lo largo de un eje entre los ejes donde desea colocar para seleccionarla. Presionar la tecla *Delete* en su teclado o hacer click en el comando *Edit menú > Delete* para borrar.

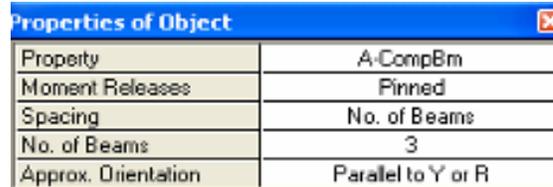
Hacer click en el comando *File menú > Save*, o en el botón Save,  para guardar su modelo.

### 2.2.5 Dibujar los objetos Vigas secundarias (*Infill*)

Asegúrese que la vista en planta este activa. Ahora dibujar las vigas secundarias que unen las vigas principales, usando los siguientes ítems:

Hacer click en el botón *Create Secondary Beams in Region or at Clicks*,  o en el comando *Draw menu > Draw Lines Objects > Create Secondary Beams in Region or at clicks*. La casilla *Properties of Object* para vigas aparecerá según lo mostrado en la Figura 24.

**Figura 24.** Casilla Properties of Object

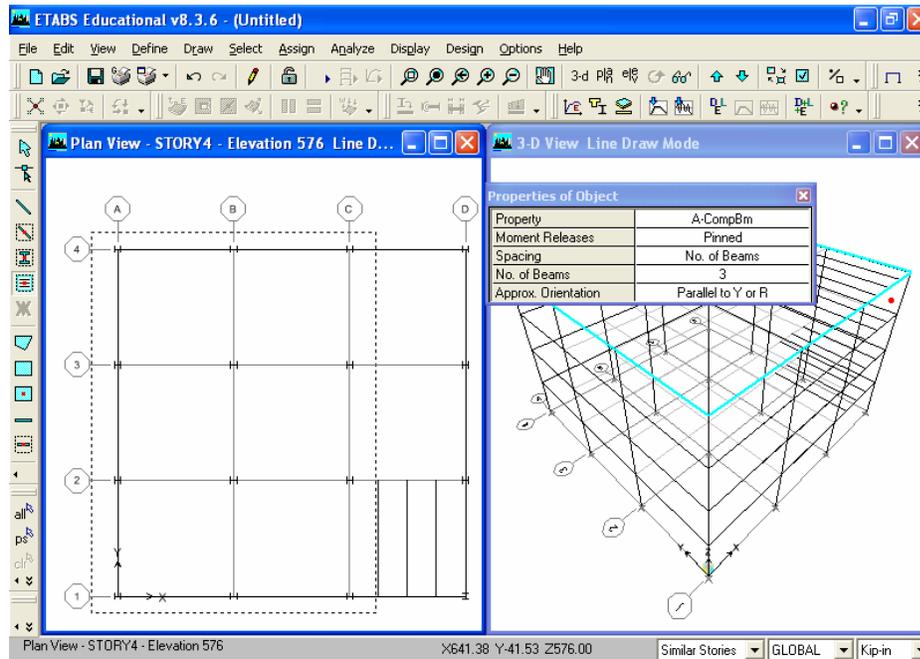


Properties of Object	
Property	A-CompBm
Moment Releases	Pinned
Spacing	No. of Beams
No. of Beams	3
Approx. Orientation	Parallel to Y or R

Asegúrese que el item Property este activo en el formulario. Si no fuese así, hacer click una vez en la casilla opuesta al item Property para activar la casilla y luego de la lista resultante una lista de secciones auto seleccionable que puede ser usada para vigas secundarias compuestas. Para revisar las secciones incluidas en la lista auto seleccionada, (1) hacer click en el comando *Define menú > Frame Sections*. (2) Seleccionar en la lista presentada. (3) Hacer click en el botón *Modify / Show Property*. (4) Cuando finalice hacer click en el botón *Cancel* para cerrar el formulario.

Dibujar el resto de vigas secundarias en solo una acción, seleccionando un área alrededor de las líneas donde vigas secundarias serán adicionadas, como se muestra en la Figura 25. Para seleccionar el área, hacer click con el botón izquierdo del Mouse en una posición superior izquierda de la intersección de los ejes y luego, mientras mantiene presionado el botón izquierdo del Mouse, arrastrarlo hasta ponerlo en una posición inferior derecha de la intersección. Un área seleccionada como la que se muestra en la Figura 25 se creará conforme el Mouse sea arrastrado a través del modelo. Dejar de presionar el botón del Mouse para dibujar los objetos viga secundarios.

**Figura 25.** Dibujando objetos viga secundarios en una región seleccionada



Hacer click en el botón *Select Object*,  para cambiar del modo dibujo al modo selección.

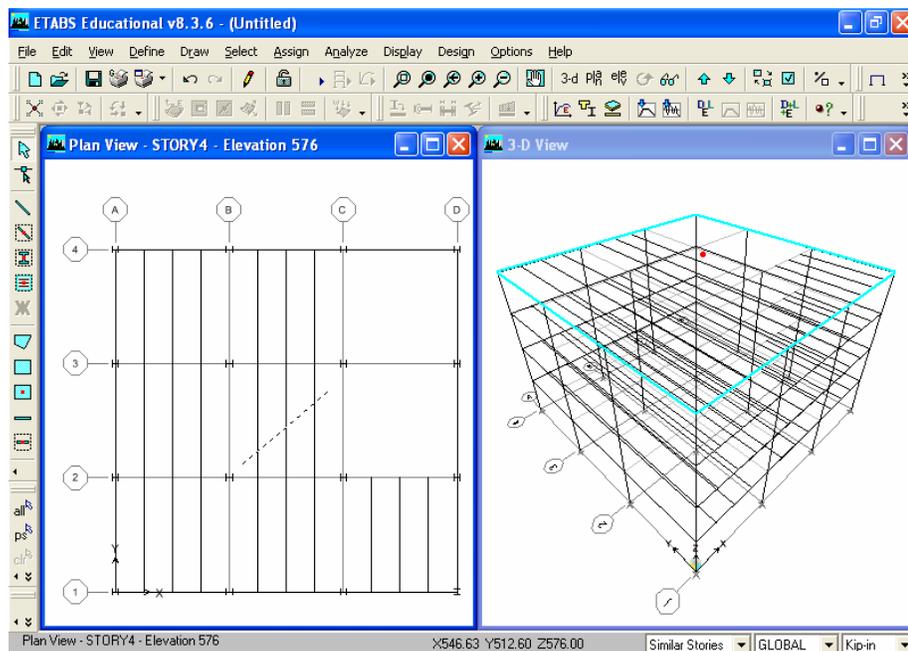
Hacer click en el botón *Select Using Intersecting Line*,  o hacer click en el comando *Select* menú *Using Intersecting Line* para cambiar al modo selección de línea intersecarte. En esta modalidad, hacer click con el botón izquierdo del Mouse una vez para comenzar una línea. Luego, mientras mantiene presionado el botón izquierdo del Mouse, arrástrelo hacia otra posición, de modo de crear una línea de selección. Cuando se deja de presionar el botón del Mouse, todos los objetos que son interceptados por la línea de selección están seleccionados.

Según la Figura 26. Hacer click con el botón izquierdo del Mouse en la vista en planta entre los ejes justo a la derecha del eje en el punto donde inicia la línea punteada manteniendo presionado el botón izquierdo del Mouse, arrastre el puntero al punto donde quiere que termine de seleccionar como en la figura. La línea seleccionada debe cruzar las vigas secundarias indeseadas en el vano limitado por los ejes. Deje de presionar el botón izquierdo del Mouse para seleccionar las vigas.

Presione la tecla Delete en su teclado o hacer click en el comando *Edit > menú Delete* para borrar las vigas seleccionadas del modelo.

Hacer click en el comando *File menú > Save*, o en el botón Save,  para guardar su modelo.

**Figura 26.** Selección usando una línea intersectante



## 2.3 Agregar objetos área

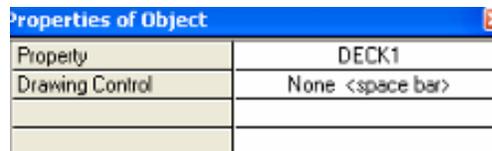
En este paso, los pisos son agregados al modelo y se crea un área “dummy” (simulada) en la cual la carga del viento puede ser asignado posteriormente.

### 2.3.1 Dibujo de los objetos del área del piso

Asegúrese que la Vista en Planta este activa. Ahora dibuje un objeto área para representar el piso usando los siguientes ítems.

Hacer click en el botón *Draw Áreas*,  o seleccionar el *comando Draw menú > Draw Área Objects > Draw Áreas*. Aparecerá el cuadro de Properties of Object para área que aparece en la Figura 27.

**Figura 27.** Cuadro de Properties of Object



Properties of Object	
Property	DECK1
Drawing Control	None <space bar>

Compruebe que el comando *Snap to Grid Intersections and Points* este activo. Este comando puede asistir con exactitud al dibujar el área objeto. Este comando se activa cuando el botón asociado  es presionado. Alternativamente, usar el comando *Draw menú > Snap To > Grid Intersections*

*and Points* para asegurarse que este comando este activo. Este comando se activa por defecto.

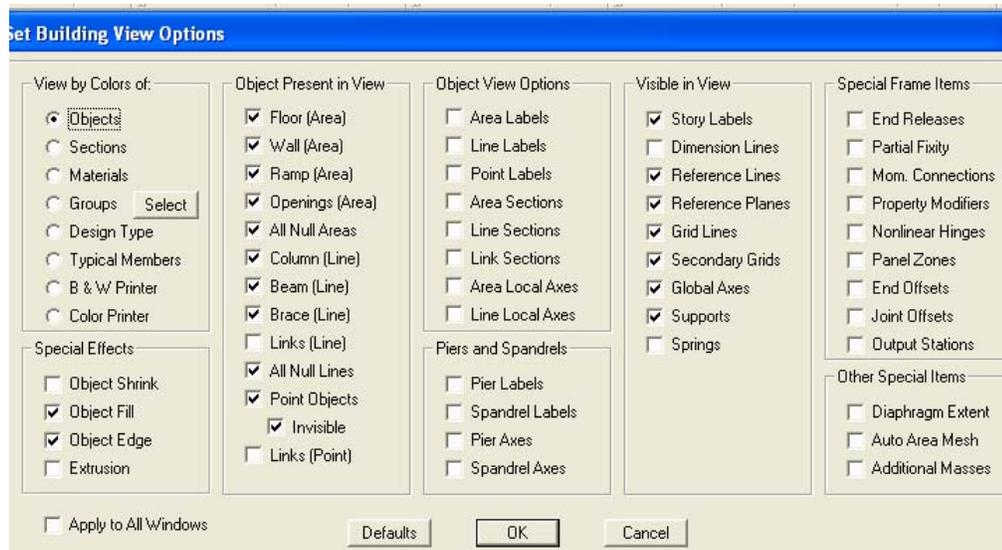
Hacer un click en la columna que desea. Luego, moviéndose en la dirección de las agujas del reloj alrededor del modelo, hacer un click en los puntos de intersección en este orden para dibujar el perímetro del edificio Presionar *Edit menú > Undo Área Object Add*. Repita los pasos desde A hasta D.

Si se equivocó mientras dibujaba el objeto, haga click en el botón *Select Object*,  para cambiar el programa del modo Dibujo al modo Selección. Luego hacer click en el comando *Edit menú > Undo Área Object Add*.

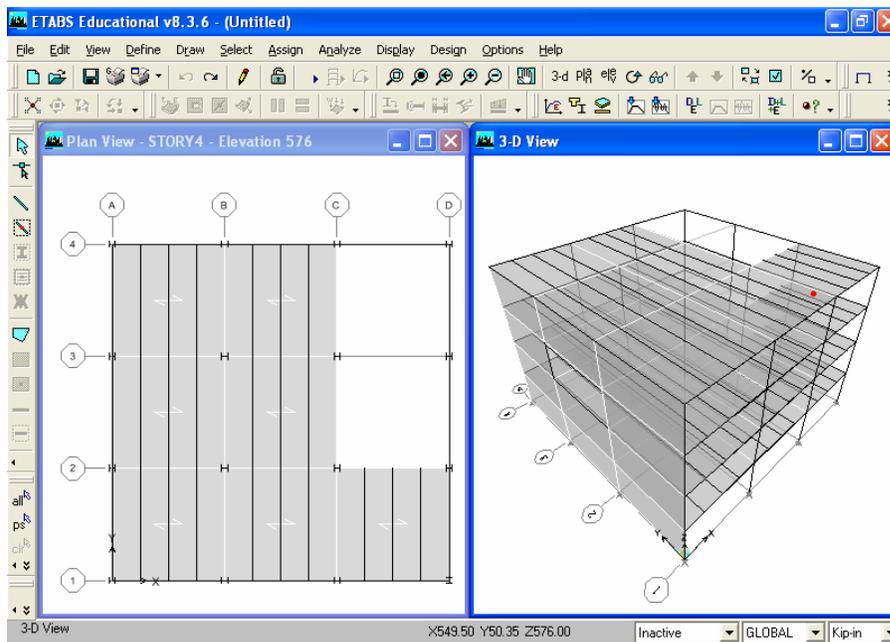
Hacer click en el botón *Select Object*,  para cambiar el programa de modo Dibujo al modo selección.

Para una mejor vista de la adición de la losa, hacer click en el botón *Set Building View Options* . Cuando este formulario aparezca, verificar que el recuadro de *object Fill* y *Apply to All Windows* estén activados con un check, como se muestra en la Figura 28.

**Figura 28.** Formulario de Set Building View Options



**Figura 29.** Modelo después de que se han agregado los objetos área de piso



**Figura 30.** Formulario Deck Section (Sección de Losa)

**Deck Section**

Section Name: DECK1

Type:

- Filled Deck
- Unfilled Deck
- Solid Slab

Geometry:

Slab Depth (tc): 0.0889

Deck Depth (hr): 0.0762

Rib Width (wr): 0.1524

Rib Spacing (Sr): 0.3048

Material:

Slab Material: CONC

Deck Material:

Deck Shear Thick:

Composite Deck Studs:

Diameter: 0.0191

Height (hs): 0.1524

Tensile Strength, Fu: 42184178

Metal Deck Unit Weight:

Unit Weight/Area: 11.2296

Set Modifiers... Display Color

OK Cancel

### 2.3.2 Agregar el área de objetos dummy usado para la aplicación de la carga del viento

Algunas áreas de objetos Dummy que no tienen masa ni rigidez serán agregados al modelo, estas áreas serán usadas posteriormente para aplicar la carga del viento al edificio,

### 2.3.3 Agregar objetos en la vista de elevación

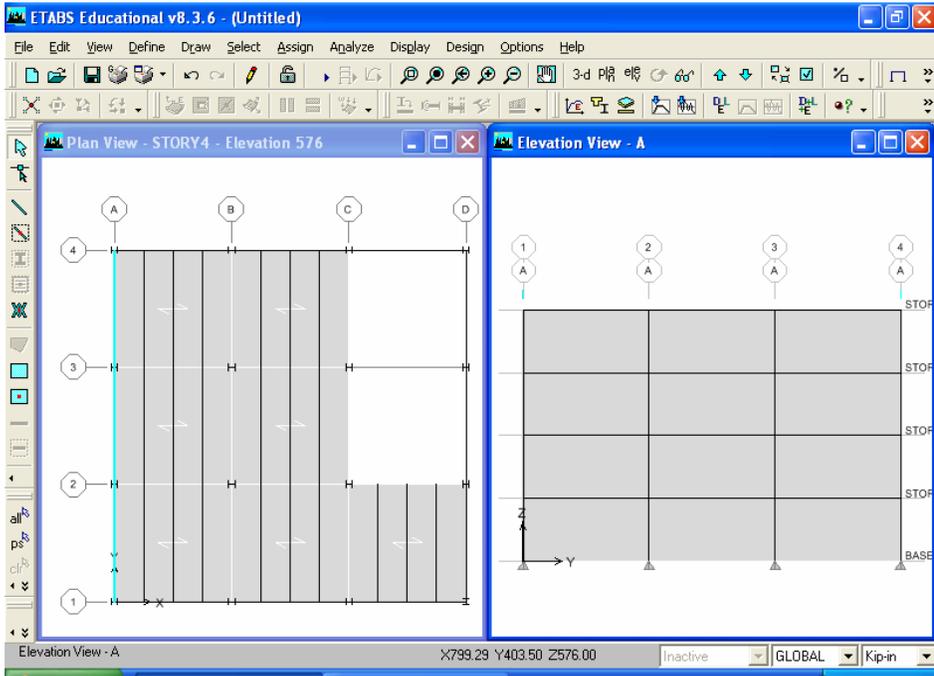
Activar la vista 3D, haciendo click sobre cualquier punto de la vista. La vista esta activa cuando su barra de titulo esta resaltada.

Hacer click en el botón *Elevation View*  y seleccionar A (i.e., eje A) desde el formulario *Set Elevation View*; luego hacer click en el botón *OK*. La vista 3D cambia a la vista de Elevación del eje A.

Hacer click en el botón *Create Áreas at Click*  o en el comando *Draw menú > Draw Área Objects > Create Áreas at Click*. Aparecerá el cuadro *Properties of Object* para objetos de área. Hacer click en la casilla de edición *Property* y seleccionar *NONE* del cuadro resultante.

Hacer un click en cada uno de los vanos mostrados en esta vista de elevación para agregar los elementos de área simulados (dummy). La figura 31 muestra el modelo con la simulación del objeto tipo pared que no tiene masa ni rigidez que agregar a lo largo de la línea A.

**Figura 31.** Modelo después de que se han agregado los objetos de área simulados en la Vista de Elevación a lo largo de la línea A.



### 2.3.4 Agregar objetos en la vista en planta

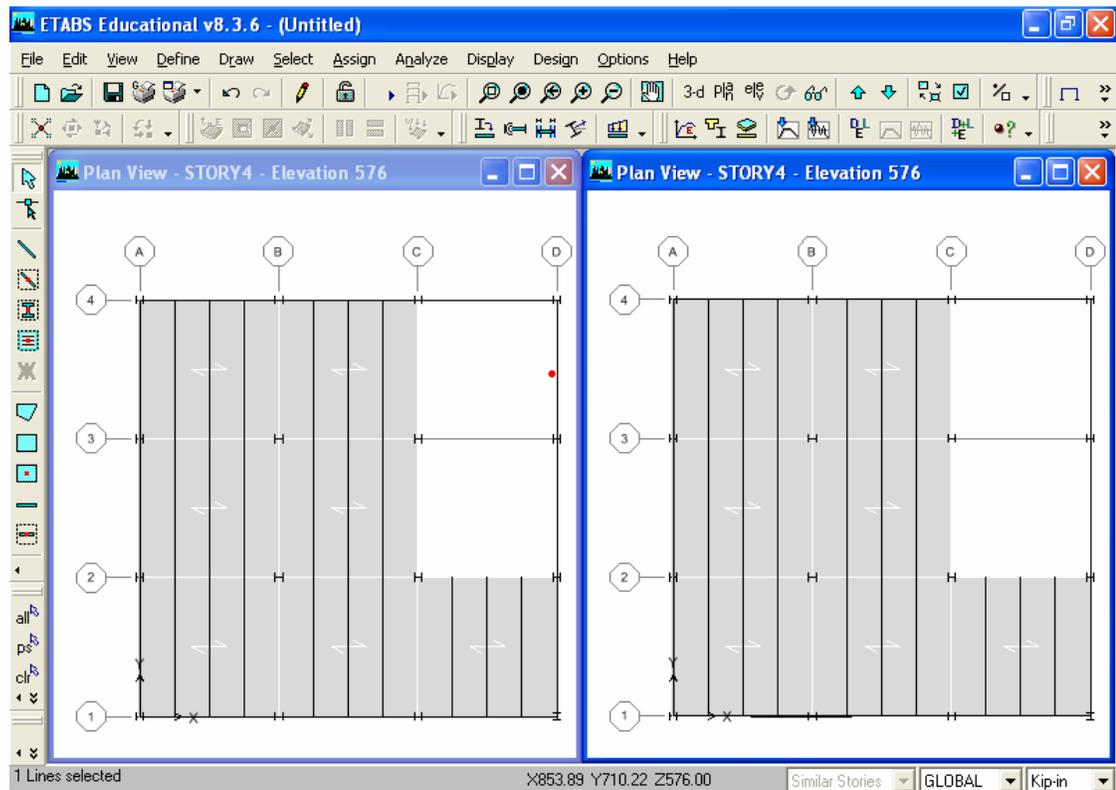
Asegúrese que la Vista de Elevación este activa. La vista está activa cuando su barra de título esta resaltada.

Hacer click en el botón Vista en Planta  y seleccionar su último nivel en el formulario *Select Plan Level*.

Hacer click en el botón *Create Walls in Region or at Click*,  o hacer click en el comando *Draw menú > Draw Área Objects > Create Walls in Region or at*

*Clicks.* Aparecerá el cuadro Properties of Objects para crear objetos área. Hacer click en la casilla de edición Property y seleccionar *NONE* de la casilla resultante. Los tipos simulados de pared sin dureza ni masa serán agregados a todos los niveles del modelo debido a que la propiedad Similar Stories esta activa y el comando fue ejecutado en la Vista de Planta. Como se muestra en la Figura 32.

**Figura 32.** Agregando objetos simulados tipo pared en la Vista en planta

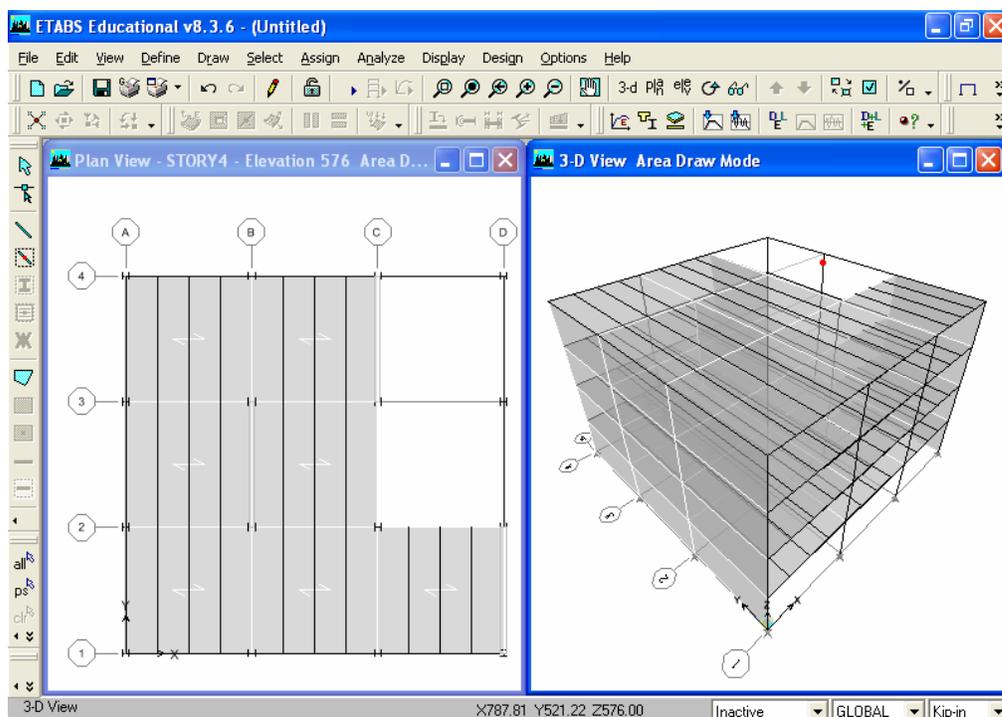


Hacer click en el botón Select,  para cambiar el programa del modo dibujo al modo de selección.

Asegúrese que la Vista en Planta que sigue la regla de la mano derecha este activa. Hacer click en el botón *Set Default 3D View*  para cambiar de la Vista en Planta a la Vista en 3D.

Hacer click en el comando *File menú > Save*, o en el botón *Save*,  para guardar su modelo.

**Figura 33.** Modelo después que han sido agregados todos los objetos simulados tipo pared



## 2.4 Definición de los casos de carga estática

Las cargas estáticas consisten en la carga muerta, viva, sismo y de viento actuando en el edificio.

La carga muerta del edificio consiste en su peso propio, más una carga muerta adicional aplicada a las losas, y también se agrega una carga muerta adicional aplicadas a las vigas perimetrales del edificio. En la carga muerta que se aplica adicional en las losas, toma en cuenta los pesos de los tabiques, cielorrasos, ductos de ventilación, instalaciones eléctricas y sanitarias, etc. Y la carga aplicada a las vigas perimetrales se consideran el perímetro del revestimiento lateral del edificio.

La carga viva que se toma depende del uso del edificio tomando como referencia la tabla 6 del Capítulo 1.

Observe que realmente las cargas varían probablemente en algunas losas de los diferentes niveles.

**Nota:** No hay límite para el número de casos de carga estática que puedan ser definidos en el ETABS®.

Se aplica una carga sísmica estática UBC97 y una carga del viento ASCE 7-98 para los edificios. Las fuerzas que se aplican a los edificios para sismo y viento son automáticamente calculadas por el programa.

Hacer un click en el comando *Define menú > Static Load Cases* o click en el botón *Define Static Load Cases*  para que aparezca el formulario Define Static Load Cases como se muestra en la Figura 33. Observe que por defecto hay dos casos de cargas definidos. Estas son *DEAD*, cuando es un caso de carga muerta y *LIVE*, cuando es un caso de carga viva.

Observe que el factor de multiplicidad de peso propio está definido como 1 para el caso DEAD. Esto indica que este caso de carga incluirá automáticamente 1.0 veces el peso propio de todos los elementos.

Hacer click en DEAD para resaltar la fila como se muestra en la Figura 34.

**Figura 34.** Formulario Define Static Load Case Names

Load	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load
DEAD	DEAD	1	
DEAD	DEAD	1	
LIVE	LIVE	0	

Para definir la carga de sismo UBC97, nuevamente haga click en la casilla de edición para la columna Load. Seleccionar QUAKE para el tipo de carga. Asegúrese que el factor de multiplicidad para el peso propio sea cero. Use el menú carga lateral para seleccionar UBC97; con esta opción seleccionada, ETABS® automáticamente aplicará la carga sísmica estática conforme a los requerimientos del código 1997 UBC. O agregar los parámetros necesarios para su diseño y hacer click en el botón *Add New Load*.

Esto presentará el formulario 1997 UBC Seismic Loading (El formulario UBC97 aparece porque el tipo Auto Lateral Load fue configurado en el item E). Dentro de este formulario, hacer click en la opción Y ó X Dir en la parte superior del formulario, como se muestra en la Figura 35. Hacer click en el botón *OK*. El formulario Define Static Load Case Names reaparecerá.

**Figura 35.** Formulario 1997 UBC Seismic Loading

Para definir la carga de viento ASCE 7-98, hacer click nuevamente en la casilla de edición para la columna Load. Seleccionar el tipo *WIND* en la columna *Type*. Seleccionar *ASCE 7-98* del menú *Lateral Load* desplazado. Hacer click en el botón *Add New Load*.

Esto presentará el formulario ASCE 7-98 Wind Loading mostrado en la Figura 36. Seleccione *Exposure* de la opción *Área Objects*. Note que el formulario cambia de apariencia.

El Exposure de la opción Área Objects significa que la carga del viento se define por los coeficientes de presión de viento especificado por el usuario aplicado a los elementos verticales simulados que fueron dibujados anteriormente.

**Figura 36.** Formulario ASCE 7-98 Wind Loading (Cargas de Viento ASCE 7-98)

**ASCE 7-98 Wind Loading**  
Edit

**Exposure and Pressure Coefficients**

- Exposure from Extents of Rigid Diaphragms
  - Wind Direction Angle: 0.
  - Windward Coeff. Cp: 0.8
  - Leeward Coeff. Cp: 0.5
- Exposure from Area Objects

**Exposure Height**

- Top Story: STORY4
- Bottom Story: BASE
- Include Parapet
- Parapet Height: [ ]

**Wind Coefficients**

- Wind Speed (mph): 70.
- Exposure Type: B
- Importance Factor: 1.
- Topographical Factor, Kzt: 1.
- Gust Factor: 0.85
- Directionality Factor, Kd: 0.85

**Exposure Width**

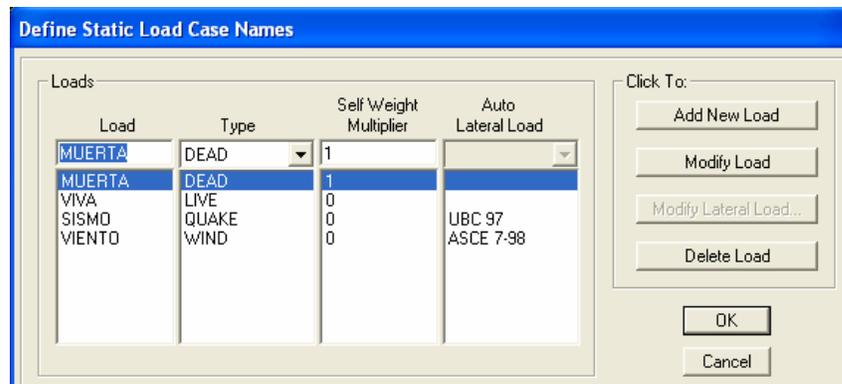
Story	Diaphragm	Width	X-Ord	Y-Ord

Calculate from Diaphragm Extents  
 User Defined

OK Cancel

El formulario Define Static Load Case Names aparecerá como se muestra en la Figura 37. Hacer click en el botón *OK* en el formulario para aceptar todos nuevos casos de carga estática definidos.

**Figura 37.** El formulario Define Static Load Case Names después de que todos los casos de las carga estática han sido definidas



## 2.5 Asignar cargas de gravedad

En este paso, las cargas de gravedad muerta y viva súper impuesta que serán aplicadas en el modelo. Asegúrese que la propiedad Similar Stories este habilitada y que la Vista en Planta esta activa.

Hacer clic en cualquier lugar de la losa (pero no sobre una viga) para seleccionar la losa. Una línea discontinua aparecerá alrededor del perímetro de la losa. Esta línea discontinua indica que la losa ha sido seleccionada.

Hacer click en el comando *Assign > Shell/Área Loads > Uniform* o click en el botón *Assign Uniform Load* . Aparecerá el formulario Uniform Surface Loads. Seleccionar la carga que se desea aplicar como se muestra en la Figura 38.

**Figura 38.** Formulario Uniform Surface Loads

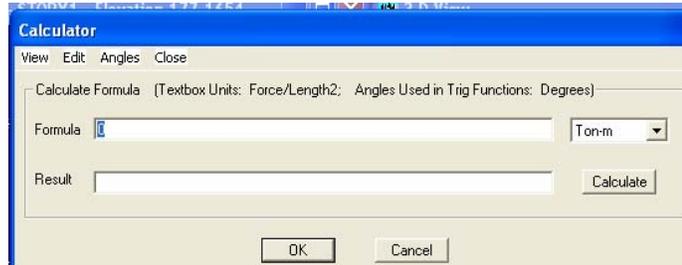


The image shows a software dialog box titled "Uniform Surface Loads". It features a blue header bar. The main area is divided into several sections: "Load Case Name" with a dropdown menu showing "MUERTA"; "Units" with a dropdown menu showing "Kgf-m"; "Uniform Load" with a "Load" text input field containing "0" and a "Direction" dropdown menu showing "Gravity"; and "Options" with three radio buttons: "Add to Existing Loads", "Replace Existing Loads" (which is selected), and "Delete Existing Loads". At the bottom of the dialog are "OK" and "Cancel" buttons.

Note que la dirección especificada para la carga es Gravity. La dirección de la carga de Gravedad es hacia abajo; eso es, en la dirección del eje Global Z negativo.

Mantenga presionada la tecla Shift y haga doble click en el campo Load para presentar el formulario Calculador, mostrado en la Figura 39. Esta calculadora incorporada tiene un número de funciones que son útiles para asignar cargas.

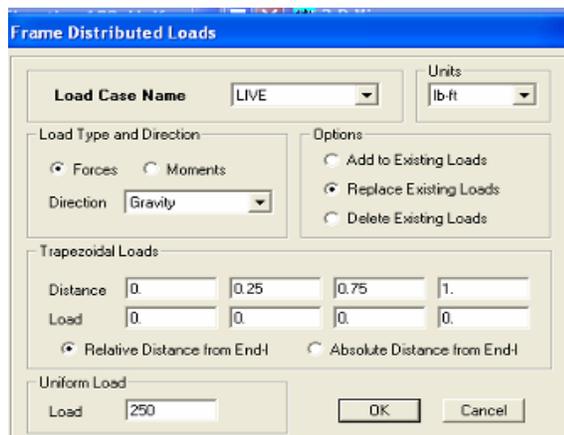
**Figura 39.** Formulario de la calculadora



Seleccione una viga perimetral del modelo creado a lo largo de algún eje, observe que la barra de estado en la esquina inferior izquierda de la ventana principal ETABS® indica cuantas líneas han sido seleccionadas, también note que las líneas seleccionadas aparecen discontinuas.

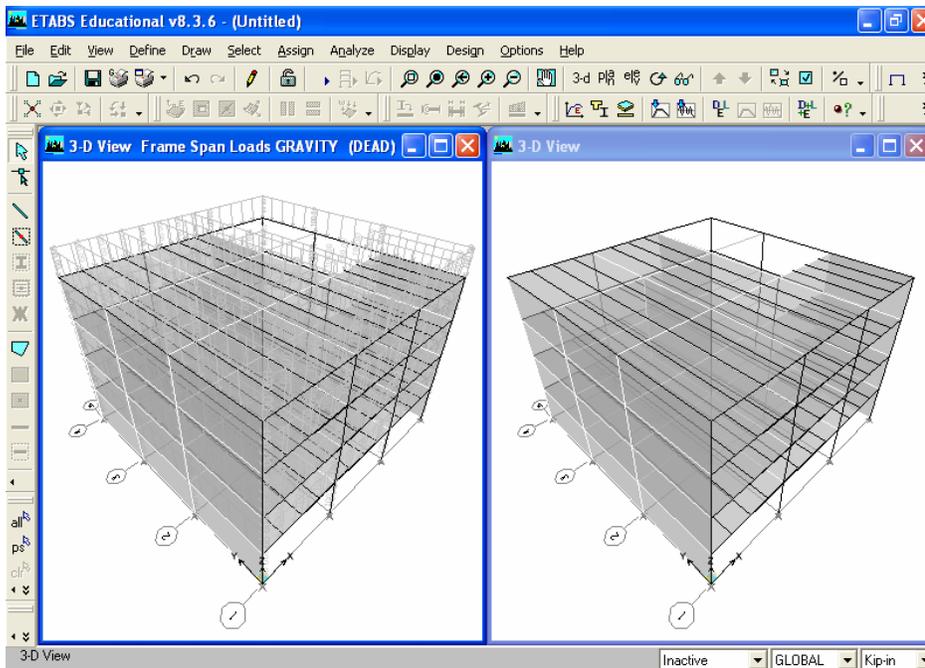
Y así seleccionar todas las vigas perimetrales en forma similar y cuando se tengan todas las vigas seleccionadas hacer click en el comando *Assign > Frame/Line Loads > Distributed* o en el botón *Assign Frame Distributed Load* . Se presentará el formulario *Frame Distributed Loads* mostrado en la Figura 40.

**Figura 40.** Formulario Frame Distributed Loads



Al tener todas las cargas configuradas en las vigas perimetrales aparecerá como en la Figura 41.

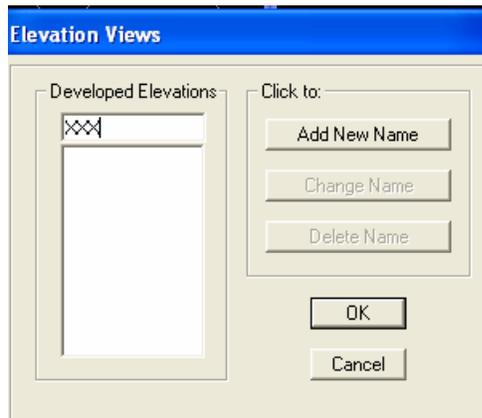
**Figura 41.** Cargas distribuidas en los elementos



## 2.6 Definir una elevación desarrollada

En este paso, una vista Developer Elevation del lado derecho del modelo será definido de modo que la carga de viento puede ser originada en el Capítulo 2.7. Al hacer click en el comando *Draw menú > Draw Developer Elevation Definition* para presentar el formulario. *Elevation Views* mostrado en la Figura 42.

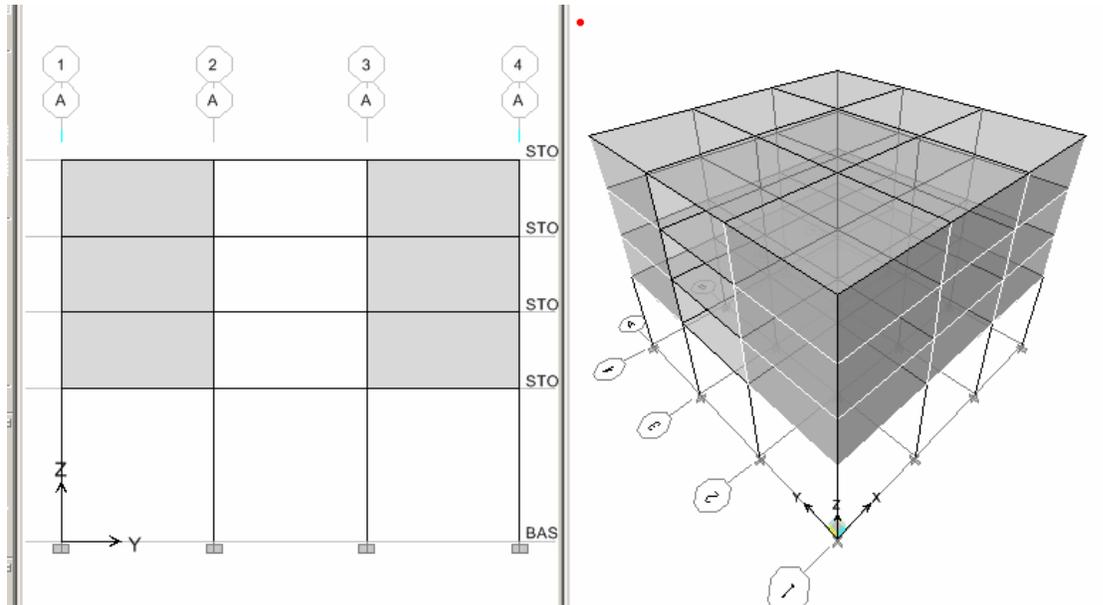
**Figura 42.** El formulario Elevations Views



Asignar un nombre a la elevación y hacer click en el botón *Add New Name* y luego en el botón *OK*. Note que ambas vistas son ahora *Plan Views* y que el modo de dibujo *Developed Elevation* esta activo.

Asegurarse que el *Plan View* este activa. Hacer click en el botón *Elevation View*  y seleccionar cualquier nombre que se le desee proporcionar del formulario *Set Elevation View*, hacer click en el botón *OK*. El *Plan View* cambia a *Developed Elevation View*, como se muestra en la Figura 43.

**Figura 43.** Vista Developed Elevation

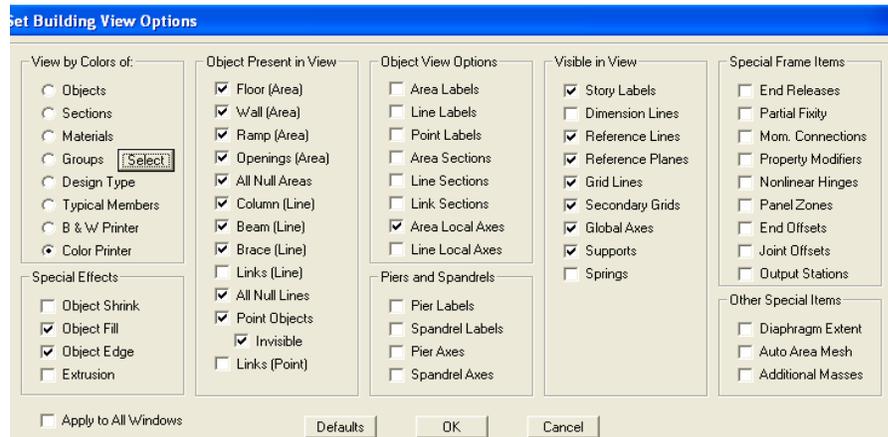


## 2.7 Asignar cargas de viento

En este paso, las cargas de viento son asignadas a una vista Developed Elevation definido en el paso anterior. Típicamente, los coeficientes de la presión del viento son aplicados a la superficie vertical de un objeto área. En tales casos, un coeficiente positivo de presión de viento es aplicado a una carga de viento en la dirección posterior de los ejes de un objeto área. Un coeficiente negativo de presión de área es aplicado a una carga de viento en la dirección negativa del eje de un objeto área.

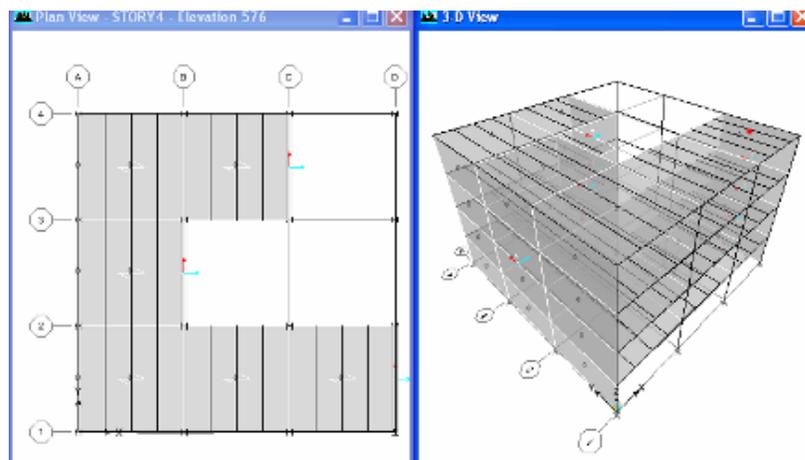
Hacer click en la ventada 3D view para volverla activa. Hacer click en el comando *View menu > Set Building View Options* o en el botón *Set Building View Options*  para presentar el formulario mostrado en la Figura 44.

**Figura 44.** Formulario Set Building View Options



Chequear en la casilla Área Local Axes para activar el eje local del área y luego hacer click en el botón *OK* para salir del formulario. Las rojas, blanca y azul aparecen definiendo los ejes locales del objeto área. El modelo aparecerá como en la Figura 45.

**Figura 45.** Ejes del objeto área

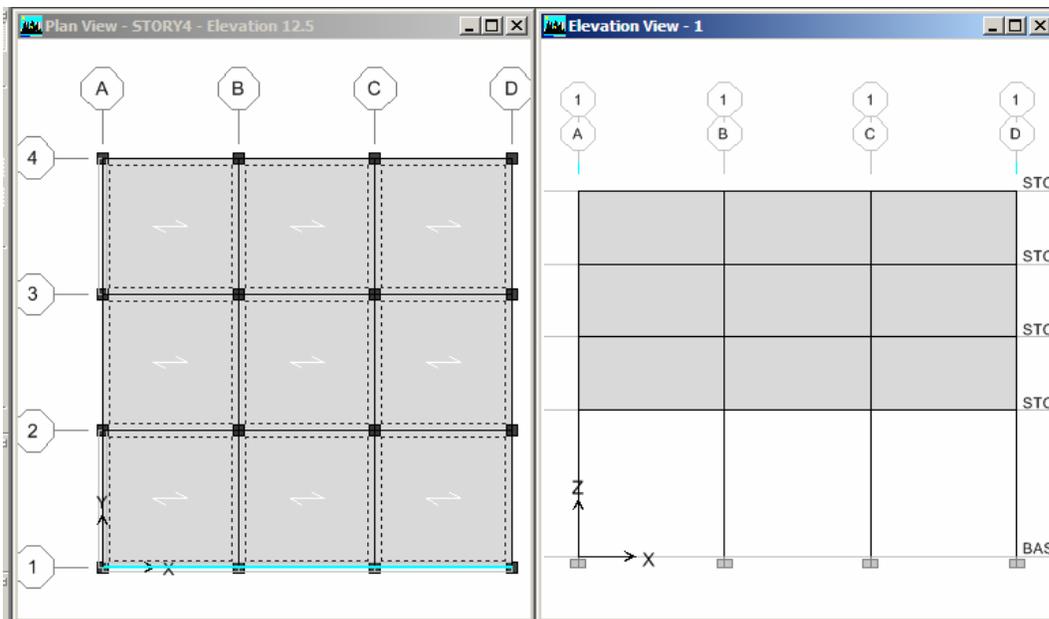


Cuando se hayan confirmado que los objetos área vertical tienen sus ejes locales apuntando en la dirección positiva X, hacer click en el comando *View menu > Set Building View Options*, para presentar el formulario *Set Building View Options*. Quitar la selección de la casilla *Área Local Axes* para ocultar la visualización de los ejes locales y luego hacer click en el botón *OK* para salir del formulario.

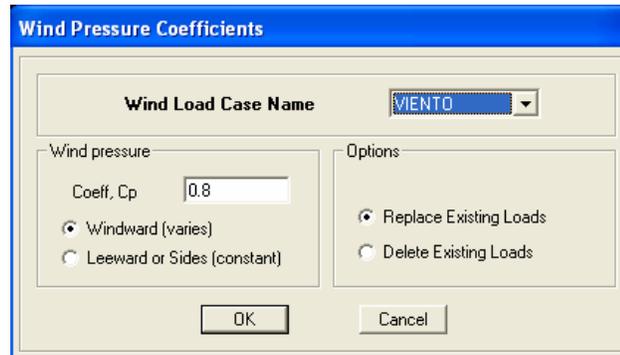
Hacer click con el botón izquierdo del Mouse y arrastrarlo para dibujar una caja de selección alrededor de todos los paneles en esta vista en elevación, como se muestra en la Figura 46.

Hacer click en el comando *Assign menu > Shell / Área Loads > Wind Pressure Coefficient*, el cual se presentara como lo mostrado en la Figura 47. Y digitalizar el coeficiente para la región donde diseñara.

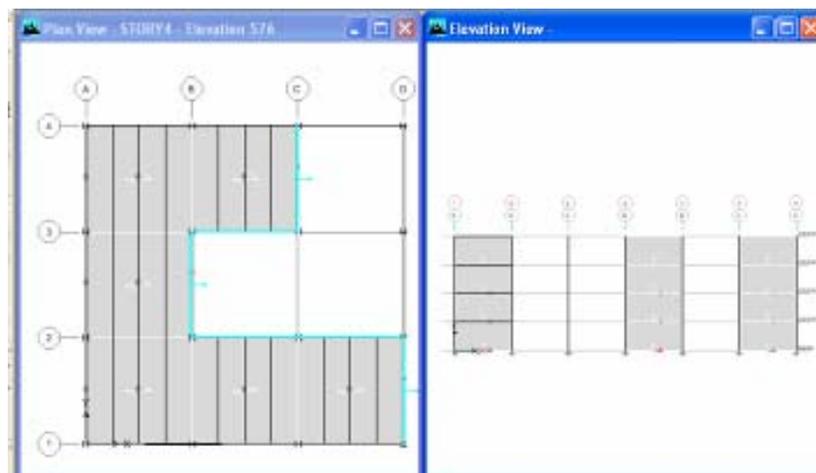
**Figura 46.** Seleccionando objetos de área vertical en una vista de elevación



**Figura 47.** El formulario Wind Pressure Coefficients



**Figura 48.** Seleccionando objetos de área vertical



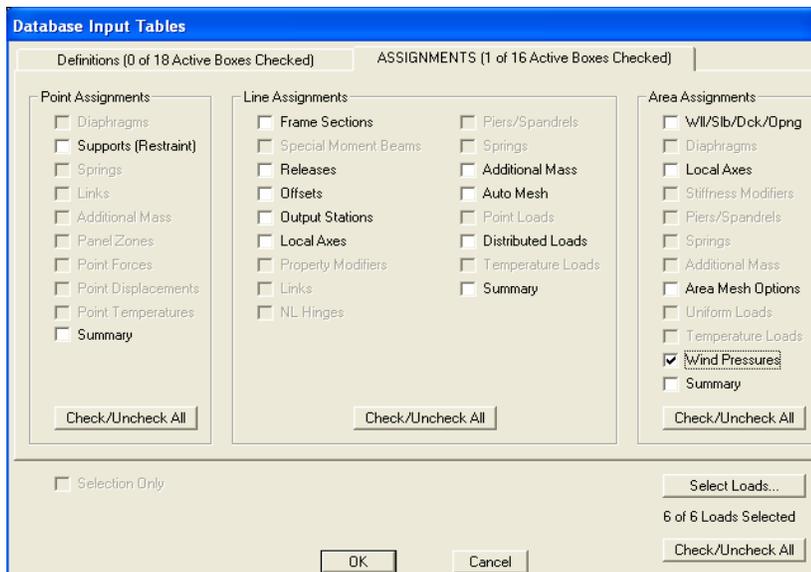
## 2.8 Revisión de la base de datos de ingreso en database display

En este paso, una base de datos que muestra los coeficientes de presión debido a viento que deberían de haber sido ingresados en el paso anterior. Haga click en el comando *Display menú > Set input Table Mode* para mostrar el cuadro *Database input Tables*. Hacer click en la etiqueta *Assignments* y luego

seleccione la casilla *Wind Pressures* como se muestra en la Figura 39. Asegúrese que la casilla *Selection Only* no este seleccionada.

Hacer click en el botón *OK* para mostrar la tabla de base de datos seleccionada, la tabla mostrada en la Figura 49.

**Figura 49.** Formulario Database input Tables



Cada columna en la tabla corresponde a un área de objetos. Las cinco columnas en la tabla muestran los coeficientes  $C_p$  para cada objeto área vertical. Las siguientes tres columnas muestran los componentes globales X, Y y Z de este factor  $C_p$ .

Hacer clic en el botón *OK* para cerrar la ventana de base de datos.

**Figura 50.** Formulario Área Wind Pressures

Case	Story	Area	Windward	Cp	XComponent	YComponent	ZComponent
WINDX	STORY4	A1	Yes	0.8000	0.8000	0.0000	0.0000
WINDX	STORY4	A2	Yes	0.8000	0.8000	0.0000	0.0000
WINDX	STORY4	A3	Yes	0.8000	0.8000	0.0000	0.0000
WINDX	STORY4	A14	No	0.5000	0.5000	0.0000	0.0000
WINDX	STORY4	A15	No	0.5000	0.5000	0.0000	0.0000
WINDX	STORY4	A16	No	0.5000	0.5000	0.0000	0.0000
WINDX	STORY3	A1	Yes	0.8000	0.8000	0.0000	0.0000
WINDX	STORY3	A2	Yes	0.8000	0.8000	0.0000	0.0000
WINDX	STORY3	A3	Yes	0.8000	0.8000	0.0000	0.0000
WINDX	STORY3	A14	No	0.5000	0.5000	0.0000	0.0000
WINDX	STORY3	A15	No	0.5000	0.5000	0.0000	0.0000
WINDX	STORY3	A16	No	0.5000	0.5000	0.0000	0.0000
WINDX	STORY2	A1	Yes	0.8000	0.8000	0.0000	0.0000
WINDX	STORY2	A2	Yes	0.8000	0.8000	0.0000	0.0000
WINDX	STORY2	A3	Yes	0.8000	0.8000	0.0000	0.0000
WINDX	STORY2	A14	No	0.5000	0.5000	0.0000	0.0000
WINDX	STORY2	A15	No	0.5000	0.5000	0.0000	0.0000
WINDX	STORY2	A16	No	0.5000	0.5000	0.0000	0.0000
WINDX	STORY1	A1	Yes	0.8000	0.8000	0.0000	0.0000
WINDX	STORY1	A2	Yes	0.8000	0.8000	0.0000	0.0000
WINDX	STORY1	A3	Yes	0.8000	0.8000	0.0000	0.0000

## 2.9 Ejecutar el análisis

Hacer click en el comando *Analyze menú > Run analysis* o el botón *Run* Análisis, y haga click en el botón *Run* en el cuadro *Run Options*.

El programa creará el modelo de análisis para los objetos basados en el modelo de ETABS, y pronto presentará una ventana “*Analyzing, Please Wait*”. Los datos se desarrollan en esta ventana conforme el programa ejecuta el análisis. Después de haber sido completado el análisis, el programa realiza algunas acciones adicionales que son mostradas en la barra de estado en la esquina inferior izquierda de la ventana del ETABS.

Cuando el proceso entero de análisis se haya completado, el modelo automáticamente muestra una vista de la forma de la deformada del modelo, y el modelo se bloquea, el modelo es bloqueado cuando el botón *Lock/Unlock*

Model aparece cerrado, bloqueando el modelo prevenimos cualquier cambio en el modelo que invalidaría los resultados del análisis.

## **2.10 Revisión grafica de los resultados del análisis**

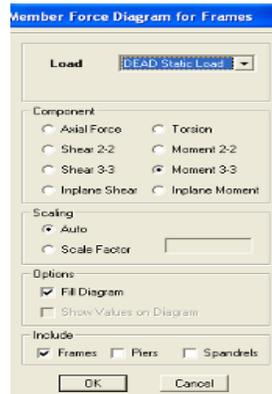
En este paso, los resultados del análisis serán revisados usando la representación gráfica de los resultados.

Hacer click en el botón Show Frame/Pier/Spandrel Forces o los comandos *Display menú > Show Member Force/Stresses Diagram > Frame/Pier/Spandrel Forces* para presentar el cuadro Member Force Diagram for Frames mostrado en la figura 51.

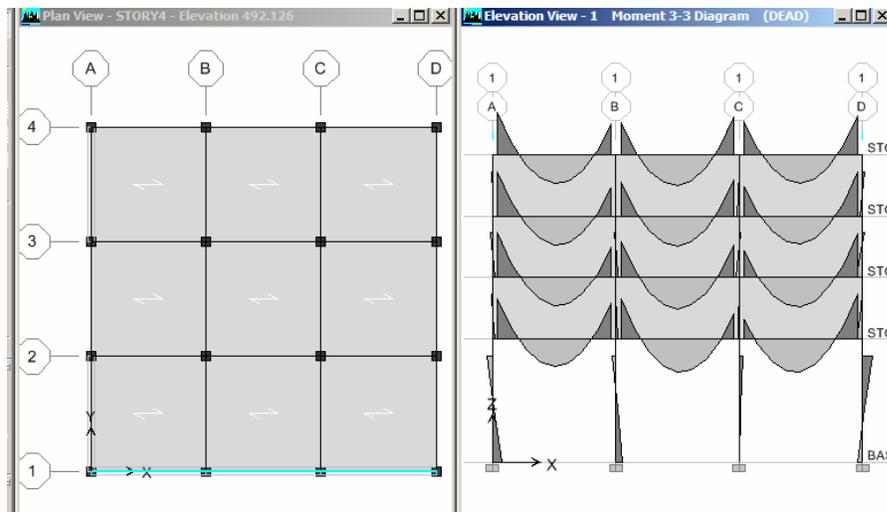
- ❖ Seleccione en la casilla Load la carga que desea observar.
- ❖ Seleccione la opción Moment 3-3.
- ❖ Deseleccione Fill Diagram si estuviera seleccionada.
- ❖ Seleccione en la casilla Show Values on Diagram.

Haga click en el botón OK para generar la salida del diagrama de momentos mostrado en la figura 53.

**Figura. 51.** Cuadro Member Force Diagram for Frames



**Figura 52.** Vista en elevación del Diagrama de Momentos



Note que estos diagramas de momentos son ploteados con el momento positivo en el lado de tensión del elemento. Cambie esto, si deseara, usando el comando comuntador *Options menú > Momento Diagrams on Tension Side*.

Hacer click con el botón derecho del Mouse en el nivel superior de la viga entre los ejes que desea para presentar el cuadro Diagram for Beam mostrada en la Figura 53.

**Figura 53.** Detalle de fuerzas obtenidas al hacer click con el botón derecho sobre Beam Show en al elevación vista en la Figura 52.



Note que la carga aplicada, corte, momento y deflexión son mostradas para la viga, y los máximos valores son identificados en el cuadro Diagram for Beam Uniform Load mostrada para la viga es la carga tributaria de la losa mas el peso propio de la viga. Las cargas tributarias concentradas no son mostradas.

Hacer click en la opción Scroll for Values y una barra deslizable aparecerá en la parte inferior del cuadro, arrastrar la barra deslizable con su Mouse para ver los valores en las diferentes ubicaciones a lo largo de la viga.

Asegúrese que Elevation View este activa y luego haga click en el comando *Display menú > Show Underformed Shape* o el botón Show Underformed Shape para despejar la visualización de los diagramas de momento en Elevation View.

Asegúrese que Elevation View este activa y luego haga click en el botón Set Default 3D View para volver a iniciar la vista por defecto 3D

## 2.11 Diseño de vigas compuestas

En este paso, las vigas compuestas serán diseñadas. Note que el análisis deberá ejecutarse completando antes los siguientes items.

En el Plan View, haga click derecho en una de las vigas secundarias. El cuadro Line Information mostrada en la figura 54 aparecerá.

**Figura 54.** Cuadro Line Information

Line Information	
Location   Assignments   Loads	
Identification	
Label	B3
Line Type	Beam
Story	STORY4
Design Procedure	Steel Frame
Length	288
Start Point (I)	6
Story	STORY4
X	576
Y	576
Delta Z	0
End Point (J)	7
Story	STORY4
X	576
Y	864
Delta Z	0
Units	Kip-in
OK	



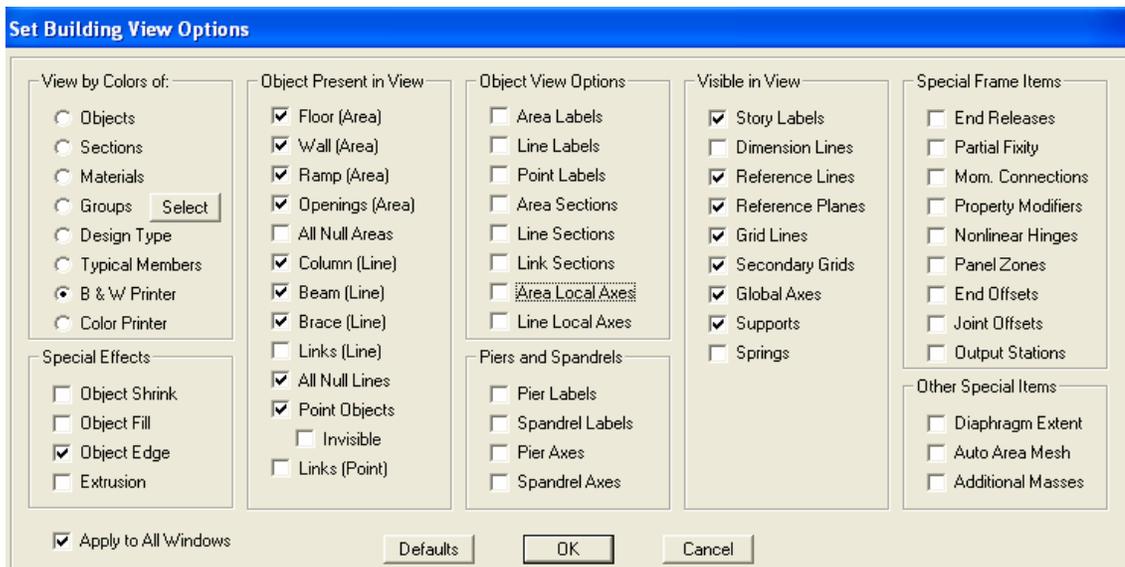
Hacer click en la barra de título del 3D View para activar la vista en 3D.

Hacer click en el botón *Set Building View Options*. Cuando el cuadro *Set Building View Options* aparece, deseleccione la casilla *Object Fill* como se muestra en la figura 56, esta eliminará la presentación del relleno en los objetos área.

En el área *Object Present en View* del cuadro, deseleccione la casilla *All Null Áreas*.

Haga click en la casilla *Apply to All Windows* y luego haga click en el botón *OK* para aceptar los cambios.

**Figura 56.** Cuadro *Set Building Options*

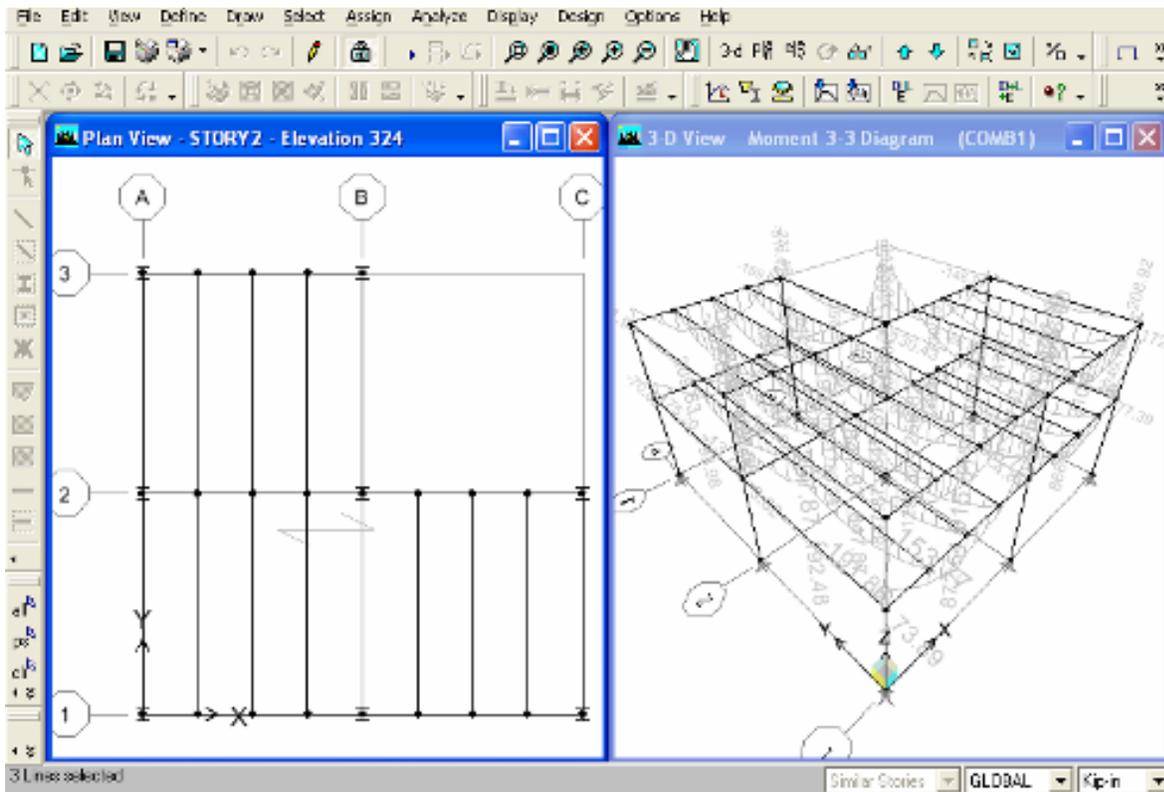


Con 3D View activado, haga click en el comando *Design menú > Composite Beam Design > Start Design Without Similarity* para iniciar los procesos de diseño. El programa diseña las vigas compuestas, seleccionando

el tamaño óptimo de la viga de la lista de selección de secciones que le fue asignada cuando aquellas fueron dibujadas en el paso 2.2.

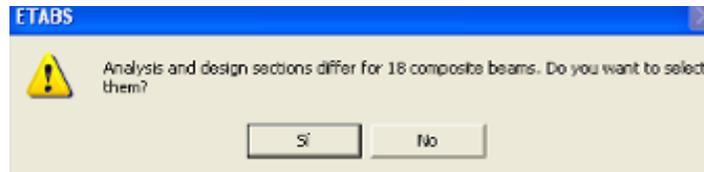
Cuando el diseño este completo, los tamaños seleccionados serán mostrados en el modelo. El modelo aparecerá como se muestra en la figura 57.

**Figura 57.** *Model alter the inicial composite design*



Haga click en le comando *Design menú > Composite Beam Design > Verify Análisis vs Design Section*. Un mensaje similar a la mostrada en la figura 58 aparecerá. Haga click en el botón *No* para cerrar el cuadro.

**Figura 58.** Mensaje de advertencia por un diseño incompleto en el Análisis vs Diseño de Sección



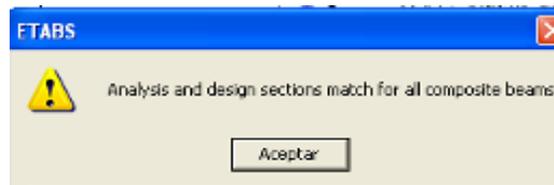
En el análisis inicial (Paso 2.9), el programa úsa el peso de la sección media de la lista de selección de secciones. Durante el diseño, el programa selecciona una sección de diseño, el cual difiere para la sección de análisis usada. El mensaje de la figura 58 indica que el análisis y la sección de diseño son diferentes.

El objetivo es repetir los procesos de análisis y diseño hasta que el análisis y diseño de la sección sean idénticos. Note que cuando el edificio es reanalizado, ETABS usará la sección de diseño actual como el nuevo análisis de la sección para la próxima ejecución del análisis. Así, en el próximo análisis de este ejemplo, la viga compuesta será analizada usando la sección de análisis requerida por el usuario. Para reejecutar el análisis con la nueva sección de análisis para la viga compuesta hacer click en los comandos *Analyze menú > Run Analysis* y haga click en el botón *Run* en el cuadro *Run Options*.

Cuando el análisis se complete, haga click en el comando *Design menú > Composite Beam Design > Start Design Without Similarity* para iniciar el proceso de diseño de la viga compuesta.

Hacer click en el comando *Design menú > Composite Beam Design > Verify Análisis vs Design Section*. El mensaje mostrado en la figura 59 se mostraría, indicando que el análisis y la sección de diseño son los mismos para la viga compuesta. Hacer click en el botón *OK*.

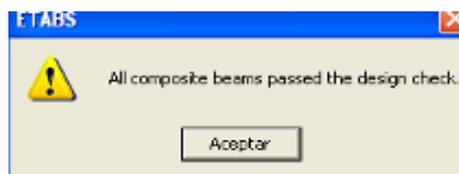
**Figura 59.** Mensaje de advertencia por un diseño completo en el Análisis vs Diseño de Sección



Si no le muestra este mensaje, repita las acciones hasta que esta se muestre, antes de proceder al siguiente ítem.

Hacer click en el comando *Design menú > Composite Beam Design > Verify All Members Passed*. El mensaje mostrado en la figura 60 se mostraría. Indicando que todas las vigas compuestas han aprobado el diseño. Hacer click en el botón *OK* para cerrar el cuadro.

**Figura 60.** Mensaje de advertencia, verifique todos elementos anteriores



Hacer click en el botón *Select All* o haga click en el comando *Select menú > All*, o presione las tecla *Ctrl* y *A* simultáneamente en su teclado para seleccionar todos los objetos en el modelo.

Hacer click en el comando *Design > Composite Beam Design > Make Auto Select Section Null* y haga click en el botón *OK* para el mensaje resultante. Esta remueve las secciones autoseleccionables de la lista para los miembros de la viga compuesta y reemplaza estos con otras secciones de diseño actuales.

Hacer click en el comando *Assign menú > Clear Display of Assigns*. También haga click en el botón *Clear Sections* para borrar la selección.

## **2.12 Diseño del elemento de acero**

En este paso, el diseño de la estructura de acero es completo. Note que en el análisis sería ejecutada antes de llevar a cabo los siguientes ítems.

En el Plan View, haga click derecho en la viga a lo largo de las líneas tipo grillas. El cuadro Line Information mostrada en la figura 61 aparecerá. Revise la información. Note que Design Procedure para esta viga es Steel Frame. Haga click en el botón *OK* para cerrar en cuadro.

**Figura 61.** Formulario de Información de la Línea

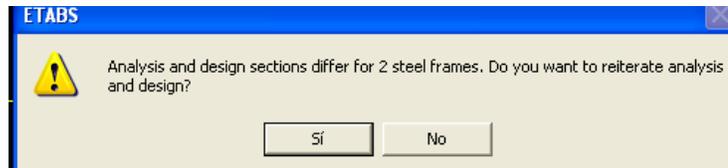
The 'Line Information' dialog box contains the following data:

Property	Value
Length	288.
Start Point (I)	6
Story	STORY4
X	576.
Y	576.
Delta Z	0.
End Point (J)	7
Story	STORY4
X	576.
Y	864.
Delta Z	0.

Haga click en la barra tipo título de la 3D View para activar la vista en 3D. Esto permite que los resultados del diseño aparezcan en la 3D View.

Haga click en el comando *Design > Steel Frame Design > Start Design/Check of Structure*, para iniciar el proceso de diseño de la estructura de acero. Las columnas y las vigas laterales de aquellos tramos entre columnas serán diseñadas. Cuando el diseño inicial este completo, un cuadro similar a lo que se muestra en la figura 62 aparecerá.

**Figura 62.** Mensaje de advertencia por un diseño incompleto en el Análisis vs Diseño de Sección



Similar al diseño compuesto, en el análisis inicial, el programa usará la sección media para el peso de las secciones seleccionadas de la lista para el análisis. Las secciones diseñadas escogidas difieren para las secciones de análisis usadas. El mensaje en la figura 62 indica que el análisis y el diseño de la sección son diferentes.

Haga click en el botón *No* para cerrar el cuadro.

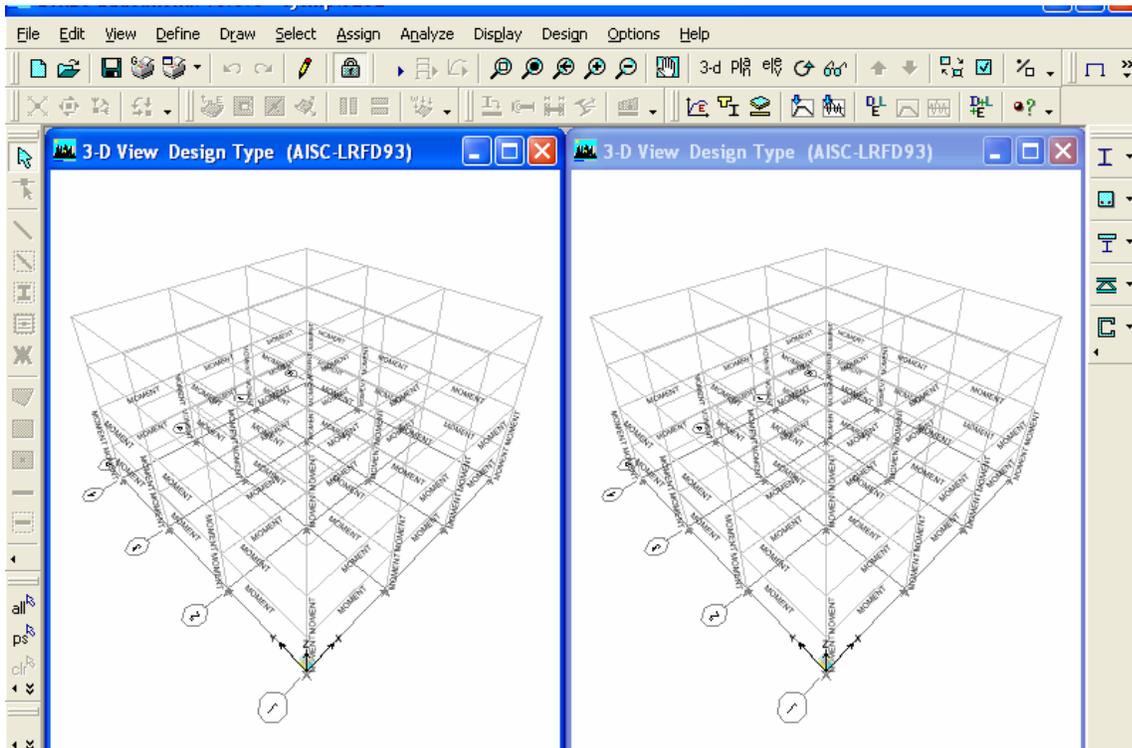
Haga click en la barra de título del Plan View para activar la vista.

Haga click en el comando *Design > Steel Frame Design > Display Design Info*. El cuadro Display Design Results aparecerá.

Asegúrese que la opción *Design Output* este seleccionada y que *P-M Ratio Colors & Values* este seleccionada en la casilla desplegable de *Design Output*. Luego haga click en el botón *OK*.

Los resultados serán mostrados en la Plan View y el modelo aparece como se muestra en la figura 63.

**Figura 63.** Modelo después del diseño inicial del Pórtico de Acero



En Plan View, haga click derecho en la viga a lo largo de las líneas de la cuadrícula como se indica en la figura 63. El cuadro Steel Stress Check Information mostrado en la figura 64 aparecerá.

El cuerpo principal del cuadro lista la relación de esfuerzos obtenidas en varias estaciones a lo largo de la viga para cada combinación de cargas de diseño. Note que el programa automáticamente crea códigos específicos de diseño de combinación de cargas para el diseño de estos elementos de acero.

Haga click en el botón Details en el cuadro Steel Stress Check Information. El cuadro Steel Stress Check Information AISC-LRFD93 mostrado en la figura 65 aparecerá. Note que usted puede imprimir esta información usando el cuadro File Menu.

**Figura 64.** Formulario informativo para verificar el Esfuerzo del Acero

COMBO ID	STATION LOC	TOP STEEL	BOTTOM STEEL	SHEAR STEEL
DCON2	30.51	0.265	0.265	0.008
DCON2	53.15	0.265	0.549	0.008
DCON2	75.79	0.265	0.695	0.000
DCON2	98.43	0.265	0.756	0.000
DCON2	121.06	0.265	0.650	0.000
DCON2	143.70	0.265	0.510	0.008
DCON2	166.34	0.265	0.265	0.008
DCON2	188.98	0.823	0.536	0.011

Haga click en X en la esquina superior derecha del cuadro Steel Stress Check Information AISC-ASD89 para cerrar esta.

Haga click en el botón *Cancel* para cerrar el cuadro Steel Stress Check Information.

**Figura 65.** Formulario para verificación de información AISC-LRFD93 del esfuerzo del acero

**Steel Stress Check Information AISC-LRFD93**

File Drawing

AISC-LRFD93 STEEL SECTION CHECK Units: lb-in

Level: STORY2 Element: B1 Station Loc: 229.870 Section ID: W18X50  
 Element Type: Moment Resisting Frame Classification: Seismic

L=236.220  
 A=14.700 i22=40.100 i33=800.000 z22=16.600 z33=101.000  
 s22=10.693 s33=88.889 r22=1.652 r33=7.377  
 E=29000000 fy=50000.000  
 RLLF=1.000

P-M33-M22 Demand/Capacity Ratio is 0.007 = 0.000 + 0.006 + 0.000

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

	P	M33	M22	U2	U3
Combo DSTL1	-275.123	-25670.357	-167.165	700.682	2.743

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)

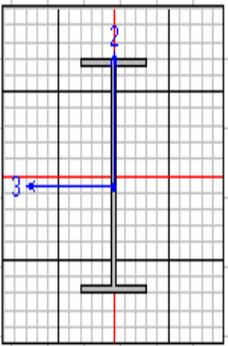
	Pu Load	phi*Pnc Strength	phi*Pnt Strength
Axial	275.123	171248.196	661499.991

	Mu Moment	phi*Mn Capacity	Cm Factor	B1 Factor	B2 Factor	K Factor	L Factor	Cb Factor
Major Bending	25670.357	4493714.777	0.850	1.000	1.000	1.000	0.946	1.863
Minor Bending	167.165	721799.973	0.850	1.000	1.000	1.000	0.946	

SHEAR DESIGN

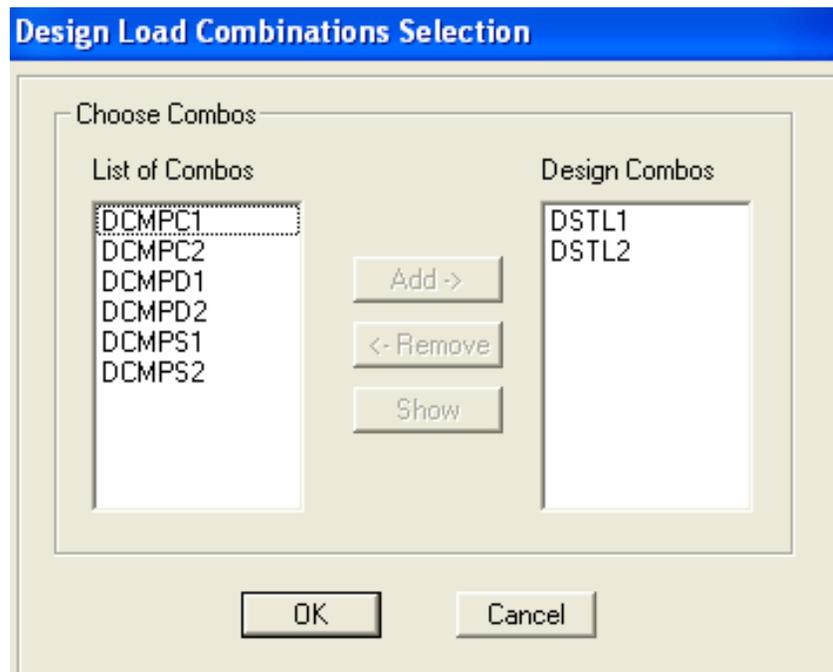
	Uu Force	Phi*Un Strength	Stress Ratio
Major Shear	700.682	172529.996	0.004
Minor Shear	2.743	192375.000	1.426E-05

DEFLECTION DESIGN (ENVELOPE)



Haga click en el comando *Design > Steel Frame Design > Select Design Combo*. El cuadro *Design Load Combinations Selection* mostrada en la figura 66 aparecerá.

**Figura 66.** Formulario de Selección de la Combinación del Diseño de Carga



En la lista de combinaciones de diseño identificamos las diez combinaciones de carga de diseño por defecto para elementos de acero creados por el programa. Haga click en el combo que desea observar para resaltar esta y luego haga click en el botón Show. El cuadro Load Combination Data mostrada en la figura 67 aparecerá, mostrando la combinación de cargas de diseño del combo seleccionado, definidas por el programa.

Haga click en el botón *OK* en el cuadro Load Combination Data para cerrar esta.

Hacer click en la barra tipo título de la Plan View para activar la vista.

Hacer click en el comando *Display menú > Show Underformed Shape* para despejar la pantalla de relación de esfuerzos.

**Figura 67.** Formulario de Combinación de Datos de la Carga

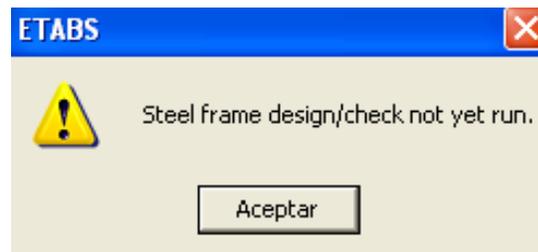
Case Name	Scale Factor
DEAD Static Load	1.2
LIVE Static Load	1.6

Hacer click en la barra tipo título 3D View para activar la vista en 3D.

Cuando el diseño este completo, un mensaje aparecerá indicando cuantas secciones de diseño son diferentes de las secciones de análisis. Hacer click en el botón No para cerrar la casilla que apareció.

Hacer click en el comando *Design > Steel Frame Design > Verify All Members Passed*. Un cuadro similar al mostrado en la figura 68 deberá aparecer indicando que todos los miembros pasan.

**Figura 68.** Mensaje de alerta para verificar todos los elementos anteriores para un diseño completo



Note que los miembros que no estén pasando en este estado es una indicación que las secciones de la lista de auto selección son inadecuadas. El programa tendría que usar las secciones en la lista auto select para ambos análisis y diseño, buscando inadecuadamente el resultado, en este caso, añada secciones a la lista auto seleccionable o asigne secciones más grandes para los miembros que no pasaron y continúe con el proceso de diseño.

El diseño de la estructura y esta introducción del **ETABS®** Versión 8 está ahora completa.



### 3. COMPROBACIÓN DE RESULTADOS

Se determinara el diseño de un edificio de 3 niveles, el primer nivel de 4.50 metros de alto y los siguientes de 2.50 metros de alto cada uno con 3 secciones horizontales de 5 metros las secciones de las esquinas y de 3.50 la del centro, se tomara un marco de la edificación y se analizara con el método de Cross, Y se calculara el mismo marco con ayuda del programa ETABS® y se hará la comparación de los resultados obtenidos. Para el cálculo de las cargas que llevara la edificación se tomaran las siguientes especificaciones:

#### 3.1 Integración de cargas<sup>18</sup>

##### Cargas vivas

Según Agies NR-2:2000 para Hospital

- ❖ Hospitales (encamamiento y habitaciones) = 200 kg/m<sup>2</sup>
- ❖ Hospitales (Servicios médicos y laboratorio) = 350 kg/m<sup>2</sup>

##### Cargas muertas

- ❖ Losa Espesor 0.12 m (Asumida)<sup>19</sup>

$$PP = (0.12 \cdot 2400) = 288 \text{ kg/m}^2$$

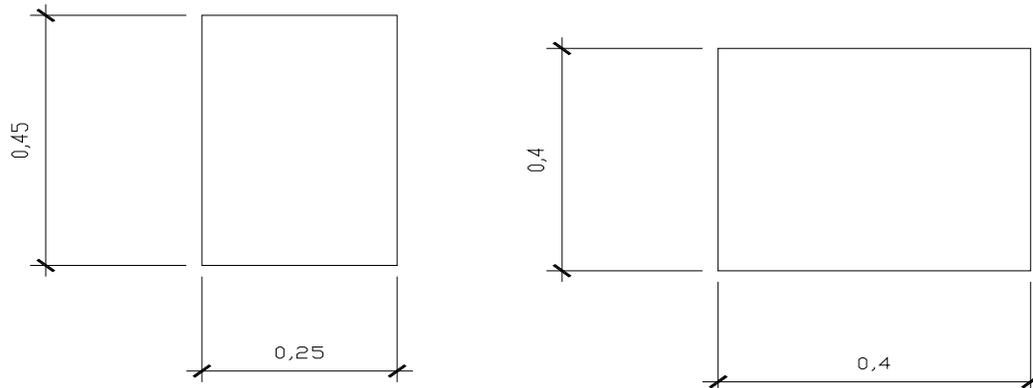
- ❖ Piso Espesor 0.03 m (Asumido)<sup>20</sup>

$$PP = (0.03 \cdot 2400) = 72 \text{ kg/m}^2$$

Sc = 35 kg/m<sup>2</sup> (tabiques y acabados) (Según Agies NR-2:2000)

$$C_{MT} = 288 + 72 + 35 = 395 \text{ kg/m}^2$$

**FIGURA 69.** secciones de vigas y columnas



## Vigas

### Vigas para nivel 3

El tercer nivel se encuentra el encamamiento y habitaciones del hospital por lo que Según Agies NR-2:2000 se utilizan como carga viva  $200 \text{ kg/m}^2$

**TABLA IX.** Cálculo de cargas para viga 3

Viga	L (m)	A ( $\text{m}^2$ )	PP <sub>v</sub> (Kg/m)	W <sub>cm</sub> (Kg/m) (C <sub>m</sub> * A) / L	W <sub>cv</sub> (Kg/m) (C <sub>v</sub> * A) / L	W <sub>u</sub> (Kg/m) (1.4W <sub>cm</sub> + 1.7W <sub>cv</sub> )
1	5	6.25	270	764	250	1495
2	3.5	3.75	270	694	215	1338
3	5	6.25	270	764	250	1495

### Vigas para nivel 2

El segundo nivel se encuentra el servicio medico y los laboratorios del hospital por lo que Según Agies NR-2:2000 se utilizan como carga viva  $350 \text{ kg/m}^2$

**TABLA X.** Cálculo de cargas para viga 2

Viga	L (m)	A ( $\text{m}^2$ )	PP <sub>v</sub> (Kg/m)	W <sub>cm</sub> (Kg/m) (C <sub>m</sub> * A) / L	W <sub>cv</sub> (Kg/m) (C <sub>v</sub> * A) / L	W <sub>u</sub> (Kg/m) (1.4W <sub>cm</sub> + 1.7W <sub>cv</sub> )
1	5	6.25	270	764	438	1815
2	3.5	3.75	270	694	375	1610
3	5	6.25	270	764	438	1815

## Vigas para nivel 1

El primer nivel se encuentra las oficinas del hospital por lo que Según Agies NR-2:2000 se utilizan como carga viva 250 kg/m<sup>2</sup>

**TABLA XI.** Cálculo de carga para viga1

Viga	L (m)	A (m <sup>2</sup> )	PP <sub>v</sub> (Kg/m)	W <sub>cm</sub> (Kg/m) (C <sub>m</sub> * A) / L	W <sub>cv</sub> (Kg/m) (C <sub>v</sub> * A) / L	W <sub>u</sub> (Kg/m) (1.4W <sub>cm</sub> + 1.7W <sub>cv</sub> )
1	5	6.25	270	764	313	1602
2	3.5	3.75	270	694	268	1428
3	5	6.25	270	764	313	1602

## 3.2 Cálculo de corte basal<sup>21</sup>

Método a emplear NR-3: DISEÑO DE EDIFICACIONES AGIES 1996

$$V_B = C_s * W_s \quad (\text{EC. 3-2/1 Según Agies NR-3 1996})$$

$$T = K_T * h_n^{0.75} \quad (\text{EC. 3-2/3b Según Agies NR-3 1996})$$

$$T = 0.085 * 9.5^{0.75} = 0.46 \quad (K_T = 0.085 \text{ para marcos de acero})$$

$$C_s = \frac{S_a(T)}{R} \quad (\text{EC. 3-2/2a Según Agies NR-3 1996})$$

$$S_a(T) = A_o * D(T) \quad (\text{EC. 2-2/1 Según Agies NR-2 1996})$$

$$A_o = 0.30g \quad (\text{Dato para zona 4.2}) \quad (\text{CUADRO 2-2/b Según Agies NR-2 1996})$$

$$D(T) = 2.277 \quad (\text{Cuando } T_B \leq T) \quad (\text{CUADRO 2-2/c Según Agies NR-2 1996})$$

$$S_a(T) = 0.3 * 2.277 = 0.6831$$

$$R = 1.2 * R_o * Q \quad (\text{EC. 3-1/1 Según Agies NR-3 1996})$$

$$R_o = 5.0 \quad (\text{Cuando el sistema es de concreto reforzado}) \quad (\text{CUADRO 3-1/a Según Agies NR-3 1996})$$

$$\sum q = 7.5 \quad (\text{Factor de calidad sismo-resistente})^{22} \quad (\text{CUADRO 3-1/b Agies NR-3 1996})$$

$$Q = 1.00 + 0.01 \sum q \quad (\text{EC. 3-1/2 Según Agies NR-3 1996})$$

$$Q = 1.00 + 0.01 (7.5) = 1.075 \quad (\text{Factor de calidad sismo-resistente})$$

$$R = 1.2 * 5.0 * 1.075 = 6.45$$

$$C_s = \frac{0.6831}{6.45} = 0.106$$

$$V_B = (0.106 * 10251) = 1086.61 \text{ Kg} = 1.086 \text{ Ton}$$

### Cálculo de Fuerza Horizontal

$$F_j = C_{vj} * V_B \quad (\text{EC. 2-2/1 Según Agies NR-2 1996})$$

$$C_{vj} = \frac{W_j h_j^k}{\sum W_j h_j^k} \quad (\text{EC. 2-2/1 Según Agies NR-2 1996})$$

$$C_{vj} = \frac{(1086.61 * 4.5^1)}{(1086.61 * 4.5^1 + 1086.61 * 2.5^1 + 1086.61 * 2.5^1)} = 0.48$$

$$C_{vj} = \frac{(1086.61 * 7)}{(1086.61 * 4.5^1 + 1086.61 * 2.5^1 + 1086.61 * 2.5^1)} = 0.74$$

$$C_{vj} = \frac{(1086.61 * 9.5^1)}{(1086.61 * 4.5^1 + 1086.61 * 2.5^1 + 1086.61 * 2.5^1)} = 1.00$$

### Cálculo de Fuerza Horizontal por Nivel

$$F_j = (0.48 * 1086.61) = 521.57 \text{ kg} \approx 0.52157 \text{ Ton}$$

$$F_j = (0.74 * 1086.61) = 804.09 \text{ kg} \approx 0.80409 \text{ Ton}$$

$$F_j = (1.00 * 1086.61) = 1086.61 \text{ kg} \approx 1.08661 \text{ Ton}$$

### 3.3 Resultados de fuerza sísmica calculados con ETABS®

ETABS v8.3.6 File: MARCO SIN DESPLAZAMIENTO Ton-m Units

A U T O S E I S M I C U B C 9 7

AUTO SEISMIC INPUT DATA

Direction: X  
 Typical Eccentricity = 5%  
 Eccentricity Overrides: No

Period Calculation: User Defined  
 User T = 0.46

Top Story: STORY3  
 Bottom Story: BASE

R = 5  
 I = 1

Soil Profile Type = SA  
 Z = 0.3  
 Ca = 0.2400  
 Cv = 0.2400

AUTO SEISMIC CALCULATION FORMULAS

$V = (Cv I W) / (R T)$  (Eqn. 1)  
 $V \leq 2.5 Ca I W / R$  (Eqn. 2)  
 $V \geq 0.11 Ca I W$  (Eqn. 3)

If  $T \leq 0.7$  sec, then  $F_t = 0$   
 If  $T > 0.7$  sec, then  $F_t = 0.07 T V \leq 0.25 V$

AUTO SEISMIC CALCULATION RESULTS

T Used = 0.4600 sec  
 W Used = 10.86

V (Eqn 1) = 0.0473W  
 V (Eqn 2) = 0.0544W  
 V (Eqn 3) = 0.0120W  
 V (Eqn 4) = 0.0348W

V Used = 0.1043W = 1.13

AUTO SEISMIC STORY FORCES

STORY	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
STORY3	(Forces reported at X = 0.0000, Y = 0.0000, Z = 9.5000)					
	0.78	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
STORY2	(Forces reported at X = 0.0000, Y = 0.0000, Z = 7.0000)					
	0.79	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
STORY1	(Forces reported at X = 0.0000, Y = 0.0000, Z = 4.5000)					
	0.61	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000

### 3.4 Discusión de resultados obtenidos de agies 1996 con etabs®

Con los resultados obtenidos entre el código AGIES 1996 en el Cálculo de las reacciones sísmicas y los resultados obtenidos con ETABS® en el cual se utiliza el código UBC-97, se pudo observar que es muy importante determinar el tipo de suelo en el cual se diseña y el periodo, ya que estos datos pueden hacer variar considerablemente los resultados en el programa.

La comparación de los resultados es similar, en AGIES el resultado del coeficiente sísmico de diseño ( $C_s$ ) es de 0.106 y el cortante basal estático equivalente ( $V_B$ ) es de 1.086 Ton. Y los resultados obtenidos con ETABS® son de ( $C_s$ ) 0.1043 y ( $V_B$ ) 1.13 Ton.

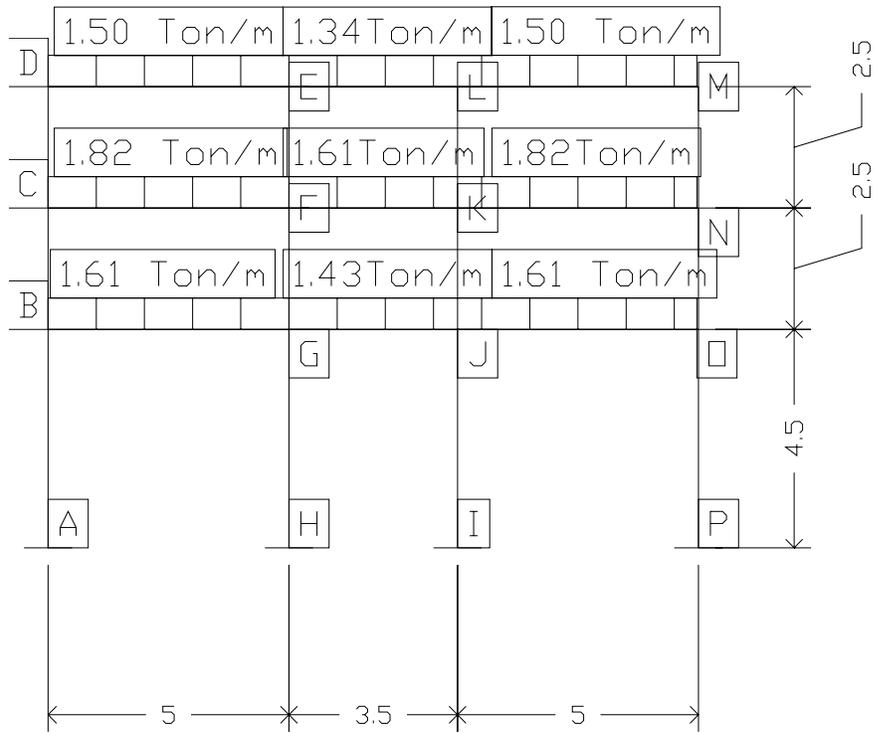
Y la distribución de fuerzas sísmicas dio un resultado como lo muestra la siguiente tabla.

NIVEL	AGIES	ETABS-UBC97	% diferencia
1	0.48	0.61	21.31
2	0.74	0.79	6.33
3	1.00	0.78	-28.21

Se observan las diferencias que existen entre las normas estructurales de diseño y construcción recomendadas para la Republica de Guatemala NR-3 Diseño Estructural de Edificaciones AGIES 1996 y el código que fue utilizado con el programa ETABS® UBC-97, su distribución no es la misma y la diferencia entre estos es considerable.

**FIGURA 70.** Diagrama de marco

**MARCO DE EDIFICACIÓN**



**3.5 Cálculo de rigideces angulares simplificadas**

$$K_{XX} = \frac{I_{COL-VIGA}}{L_{LONG. ELE.}}$$

$$K_{AB} = K_{GH} = K_{IJ} = K_{OP} = \frac{0.001898}{4.5} = 4.22 * 10^{-4} M^4$$

$$K_{BC} = K_{CD} = K_{FG} = K_{EF} = K_{JK} = K_{KL} = K_{ON} = K_{NM} = \frac{0.001898}{2.5} = 7.59 * 10^{-4} M^4$$

$$K_{BG} = K_{JO} = K_{CF} = K_{KN} = K_{DE} = K_{LM} = \frac{0.002133}{5} = 4.27 * 10^{-4} M^4$$

$$K_{EL} = K_{FK} = K_{GJ} = \frac{0.002133}{5} = 6.09 * 10^{-4} M^4$$

### 3.6 Cálculo de factores de distribución

$$FD_{AB} = 0$$

$$FD_{BA} = \frac{K_{BA}}{K_{BA} + K_{BG} + K_{BC}} = \frac{4.22 * 10^{-4}}{4.22 * 10^{-4} + 4.27 * 10^{-4} + 7.59 * 10^{-4}} = 0.2624$$

$$FD_{CB} = \frac{K_{CB}}{K_{CD} + K_{CF} + K_{CB}} = \frac{7.59 * 10^{-4}}{7.59 * 10^{-4} + 4.27 * 10^{-4} + 7.59 * 10^{-4}} = 0.3902$$

$$FD_{BC} = \frac{K_{BC}}{K_{BA} + K_{BG} + K_{BC}} = \frac{7.59 * 10^{-4}}{4.22 * 10^{-4} + 4.27 * 10^{-4} + 7.59 * 10^{-4}} = 0.4720$$

$$FD_{BG} = \frac{K_{BG}}{K_{BA} + K_{BG} + K_{BC}} = \frac{4.27 * 10^{-4}}{4.22 * 10^{-4} + 4.27 * 10^{-4} + 7.59 * 10^{-4}} = 0.2656$$

$$FD_{CF} = \frac{K_{CF}}{K_{CB} + K_{CF} + K_{CD}} = \frac{4.27 * 10^{-4}}{7.59 * 10^{-4} + 4.27 * 10^{-4} + 7.59 * 10^{-4}} = 0.2195$$

$$FD_{CD} = \frac{K_{CD}}{K_{CB} + K_{CF} + K_{CD}} = \frac{7.59 * 10^{-4}}{7.59 * 10^{-4} + 4.27 * 10^{-4} + 7.59 * 10^{-4}} = 0.3902$$

$$FD_{DC} = \frac{K_{DC}}{K_{DC} + K_{DE}} = \frac{7.59 * 10^{-4}}{4.27 * 10^{-4} + 7.59 * 10^{-4}} = 0.6400$$

$$FD_{DE} = \frac{K_{CB}}{K_{CD} + K_{DE}} = \frac{4.27 * 10^{-4}}{7.59 * 10^{-4} + 4.27 * 10^{-4}} = 0.3600$$

$$FD_{ED} = \frac{K_{ED}}{K_{ED} + K_{EF} + K_{EL}} = \frac{4.27 * 10^{-4}}{4.27 * 10^{-4} + 7.59 * 10^{-4} + 6.09 * 10^{-4}} = 0.2379$$

$$FD_{EL} = \frac{K_{EL}}{K_{EL} + K_{EF} + K_{ED}} = \frac{6.09 * 10^{-4}}{6.09 * 10^{-4} + 7.59 * 10^{-4} + 4.27 * 10^{-4}} = 0.3393$$

$$FD_{EF} = \frac{K_{EF}}{K_{EF} + K_{EL} + K_{ED}} = \frac{7.59 * 10^{-4}}{7.59 * 10^{-4} + 6.09 * 10^{-4} + 4.27 * 10^{-4}} = 0.4228$$

$$FD_{GH} = \frac{K_{GH}}{K_{GH} + K_{GB} + K_{GJ} + K_{GF}} = \frac{4.22 * 10^{-4}}{4.22 * 10^{-4} + 4.27 * 10^{-4} + 6.09 * 10^{-4} + 7.59 * 10^{-4}} = 0.1904$$

$$FD_{GF} = \frac{K_{GF}}{K_{GF} + K_{GB} + K_{GJ} + K_{GH}} = \frac{7.59 * 10^{-4}}{7.59 * 10^{-4} + 4.27 * 10^{-4} + 6.09 * 10^{-4} + 4.22 * 10^{-4}} = 0.3424$$

$$FD_{GB} = \frac{K_{GB}}{K_{GB} + K_{GF} + K_{GJ} + K_{GH}} = \frac{4.27 * 10^{-4}}{4.27 * 10^{-4} + 7.59 * 10^{-4} + 6.09 * 10^{-4} + 4.22 * 10^{-4}} = 0.1926$$

$$FD_{FC} = \frac{K_{FC}}{K_{FC} + K_{FE} + K_{FK} + K_{FG}} = \frac{4.27 * 10^{-4}}{4.27 * 10^{-4} + 7.59 * 10^{-4} + 6.09 * 10^{-4} + 7.59 * 10^{-4}} = 0.1672$$

$$FD_{FK} = \frac{K_{FK}}{K_{FK} + K_{FG} + K_{FC} + K_{FE}} = \frac{6.09 * 10^{-4}}{6.09 * 10^{-4} + 7.59 * 10^{-4} + 4.27 * 10^{-4} + 7.59 * 10^{-4}} = 0.2385$$

$$FD_{GJ} = \frac{K_{GJ}}{K_{GJ} + K_{GH} + K_{GB} + K_{GF}} = \frac{6.09 * 10^{-4}}{6.09 * 10^{-4} + 4.22 * 10^{-4} + 4.27 * 10^{-4} + 7.59 * 10^{-4}} = 0.2747$$

$$FD_{FG} = \frac{K_{FG}}{K_{FG} + K_{FC} + K_{FE} + K_{FK}} = \frac{7.59 * 10^{-4}}{7.59 * 10^{-4} + 4.27 * 10^{-4} + 7.59 * 10^{-4} + 6.09 * 10^{-4}} = 0.2972$$

*Por simetría*

$$FD_{AB} = FD_{IJ} = FD_{HG} = FD_{PO} ; FD_{FG} = FD_{KJ} = FD_{FE} = FD_{KL} ; FD_{BC} = FD_{ON} ;$$

$$FD_{CD} = FD_{MN} ; FD_{GH} = FD_{JI} ; FD_{BA} = FD_{OP} ; FD_{CB} = FD_{NO} ; FD_{DC} = FD_{NM} ;$$

$$FD_{FC} = FD_{KN} ; FD_{FK} = FD_{KF} ; FD_{JO} = FD_{GB} ; FD_{ED} = FD_{LM} ; FD_{EL} = FD_{LE} ;$$

$$FD_{GF} = FD_{JK} ; FD_{EF} = FD_{LK} ; FD_{BG} = FD_{OJ} ; FD_{DE} = FD_{ML} ; FD_{GJ} = FD_{JG} ;$$

$$FD_{CF} = FD_{NK}$$

### 3.7 Cálculo de los momentos de empotramiento perfecto para cross sin desplazamiento lateral

$$M_{DE} = M_{LM} = \frac{-wL^2}{12} = -\frac{1.50 * 5^2}{12} = -3.125 \text{ T/m}^2$$

$$M_{ED} = M_{ML} = \frac{wL^2}{12} = \frac{1.50 * 5^2}{12} = 3.125 \text{ T/m}^2$$

$$M_{CF} = M_{KN} = -\frac{wL^2}{12} = -\frac{1.82 * 5^2}{12} = -3.792 \text{ T/m}^2$$

$$M_{FC} = M_{NK} = \frac{wL^2}{12} = \frac{1.82 * 5^2}{12} = 3.9792 \text{ T/m}^2$$

$$M_{BG} = M_{JO} = \frac{-wL^2}{12} = -\frac{1.61 * 5^2}{12} = -3.354 \text{ T/m}^2$$

$$M_{GB} = M_{OJ} = \frac{wL^2}{12} = \frac{1.61 * 5^2}{12} = 3.354 \text{ T/m}^2$$

$$M_{EL} = -\frac{wL^2}{12} = -\frac{1.34 * 3.50^2}{12} = -1.368 \text{ T/m}^2$$

$$M_{LE} = \frac{wL^2}{12} = \frac{1.34 * 3.50^2}{12} = 1.368 \text{ T/m}^2$$

$$M_{FK} = -\frac{wL^2}{12} = -\frac{1.61 * 3.50^2}{12} = -1.644 \text{ T/m}^2$$

$$M_{KF} = \frac{wL^2}{12} = \frac{1.61 * 3.50^2}{12} = 1.644 \text{ T/m}^2$$

$$M_{GJ} = -\frac{wL^2}{12} = -\frac{1.43 * 3.50^2}{12} = -1.460 \text{ T/m}^2$$

$$M_{JG} = \frac{wL^2}{12} = \frac{1.43 * 3.50^2}{12} = 1.460 \text{ T/m}^2$$

### 3.8 Cross sin desplazamientos laterales

**TABLA XII.** Cross sin desplazamientos laterales

NUDO	A		B		C			D	
	AB	BA	BC	BG	CB	CF	CD	DC	DE
FD	0	0.2624	0.4720	0.2656	0.3902	0.2195	0.3902	0.64	0.36
MOMENTO	0	0	0	-3.354	0	-3.792	0	0	-3.125
1ª DISTRIBUCION	0	0.880	1.583	0.891	1.480	0.832	1.480	2.00	1.125
1er TRANSPORTE	0.440	0	0.740	-0.183	0.792	-0.180	1.00	0.740	-0.209
2ª DISTRIBUCION	0	-0.146	-0.263	-0.148	-0.629	-0.354	-0.629	-0.340	-0.191
2º TRANSPORTE	-0.073	0	-0.315	-0.038	-0.132	0.003	-0.170	-0.315	-0.065
3ª DISTRIBUCION	0	0.093	0.166	0.094	0.117	0.065	0.117	0.243	0.137
MOM. TOTALES	0.367	0.827	1.911	-2.738	1.628	-3.426	1.798	2.328	-2.328

**TABLA XIII.** Cross sin desplazamientos laterales

NUDO	E			F				G	
	ED	EF	EL	FC	FE	FK	FG	GB	GF
FD	0.2379	0.4228	0.3393	0.1672	0.2972	0.2385	0.2972	0.1926	0.3424
MOMENTO	3.125	0	-1.368	3.792	0	-1.644	0	3.354	0
1ª DISTRIBUCION	-0.418	-0.743	-0.596	-0.360	-0.638	-0.512	-0.638	-0.365	-0.649
1er TRANSPORTE	0.563	-0.319	0.298	0.416	-0.372	0.256	-0.325	0.446	-0.319
2ª DISTRIBUCION	-0.129	-0.229	-0.184	0.005	0.007	0.006	0.007	-0.075	-0.132
2º TRANSPORTE	-0.096	0.004	0.092	-0.177	-0.115	-0.003	-0.066	-0.074	0.004
3ª DISTRIBUCION	0	0	0	0.061	0.107	0.086	0.107	0.003	0.006
MOM. TOTALES	3.045	-1.287	-1.758	3.737	-1.011	-1.811	-0.915	3.289	-1.09

**TABLA XIV.** Cross sin desplazamientos laterales

NUDO	G		H	I	J			K	
	GJ	GH	HG	IJ	JI	JG	JK	JO	KF
FD	0.2747	0.1904	0	0	0.1904	0.2747	0.3424	0.1926	0.2385
MOMENTO	-1.460	0	0	0	0	1.460	0	-3.354	1.644
1ª DISTRIBUCION	-0.519	-0.361	0	0	0.361	0.519	0.649	0.365	0.512
1er TRANSPORTE	0.260	0	-0.181	0.181	0	-0.260	0.319	-0.446	-0.256
2ª DISTRIBUCION	-0.106	-0.074	0	0	0.074	0.106	0.132	0.075	-0.006
2º TRANSPORTE	0.053	0	-0.037	0.037	0	-0.053	-0.004	0.074	0.003
3ª DISTRIBUCION	0.005	0.003	0	0	-0.003	-0.005	-0.006	-0.003	-0.086
MOM. TOTALES	-1.767	-0.432	-0.218	0.218	0.432	1.767	1.09	-3.289	1.811

**TABLA XV.** Cross sin desplazamientos laterales

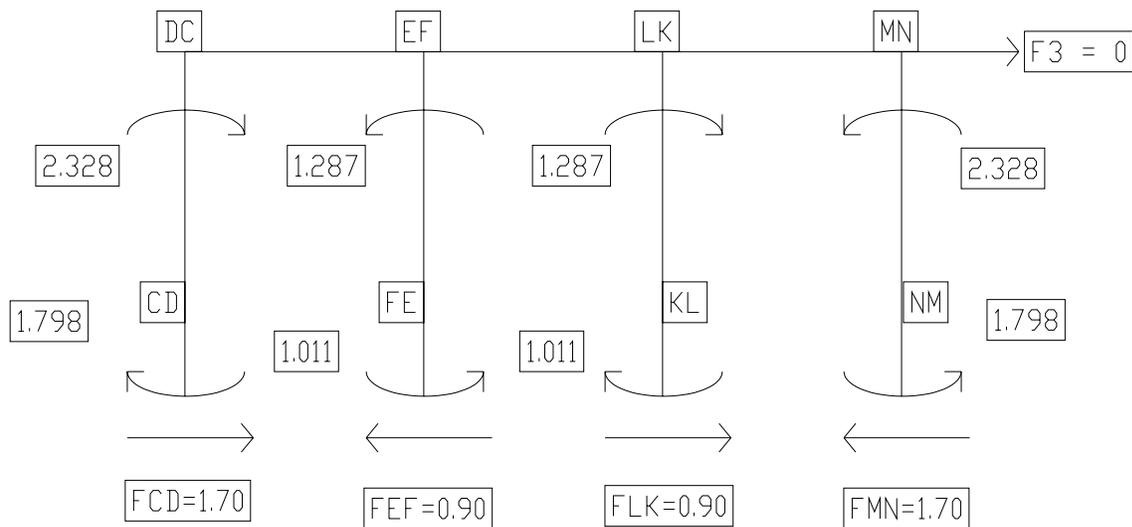
NUDO	K		L			M		N	
	KL	KN	KJ	LK	LE	LM	ML	MN	NM
FD	0.2972	0.1672	0.2972	0.4228	0.3393	0.2379	0.36	0.64	0.3902
MOMENTO	0	-3.792	0	0	1.368	-3.125	3.125	0	0
1ª DISTRIBUCION	0.638	0.360	0.638	0.743	0.596	0.418	-1.125	-2.00	-1.480
1er TRANSPORTE	0.372	-0.416	0.325	0.319	-0.298	-0.563	0.209	-0.740	-1.00
2ª DISTRIBUCION	-0.007	-0.005	-0.007	0.229	0.184	0.129	0.191	0.340	0.629
2º TRANSPORTE	0.115	0.177	0.066	-0.004	-0.092	0.096	0.065	0.315	0.170
3ª DISTRIBUCION	-0.107	-0.061	-0.107	0	0	0	-0.137	-0.243	-0.117
MOM. TOTALES	1.011	-3.737	0.915	1.287	1.758	-3.045	2.328	-2.328	-1.798

**TABLA XVI.** Cross sin desplazamientos laterales

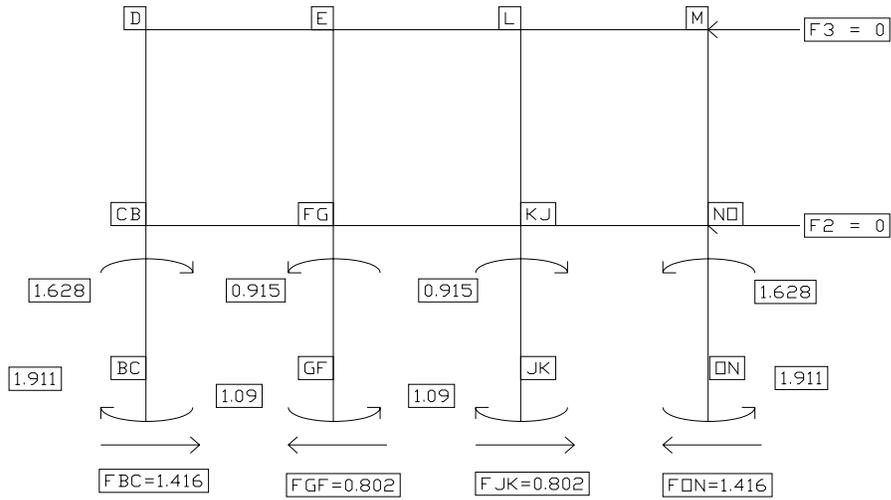
NUDO	N		O			P
	NK	NO	ON	OJ	OP	PO
MIEMBRO						
FD	0.2195	0.3902	0.4720	0.2656	0.2624	0
MOMENTO	3.792	0	0	3.354	0	0
1ª DISTRIBUCION	-0.832	-1.480	-1.583	-0.891	-0.880	0
1er TRANSPORTE	0.180	-0.792	-0.740	0.183	0	-0.440
2ª DISTRIBUCION	0.354	0.629	0.263	0.148	0.146	0
2º TRANSPORTE	-0.003	0.132	0.315	0.038	0	0.073
3ª DISTRIBUCION	-0.065	-0.117	-0.166	-0.094	-0.093	0
MOM. TOTALES	3.426	1.628	-1.911	2.738	-0.827	-0.367

### 3.9 Reacciones necesarias para impedir los desplazamientos laterales<sup>23</sup>

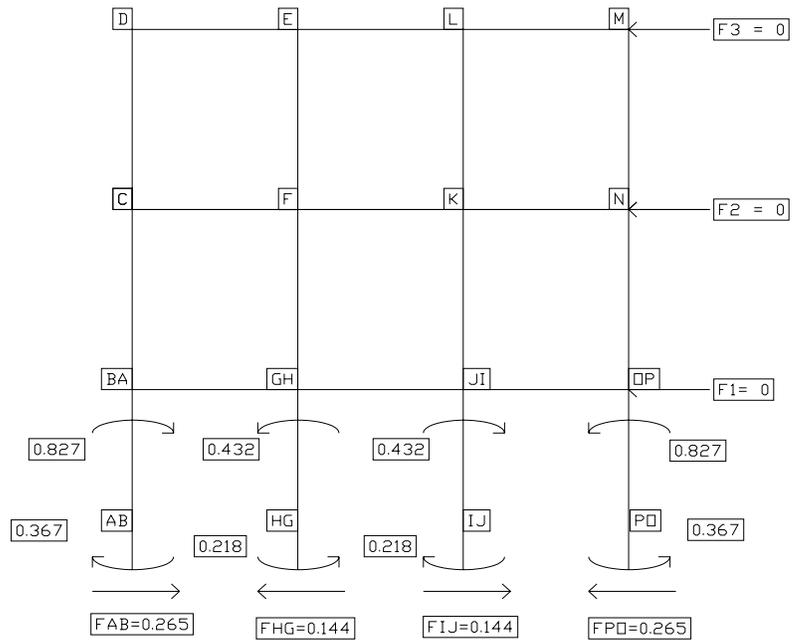
**FIGURA 71.** Fuerza  $F_3$



**FIGURA 72. Fuerza  $F_2$**

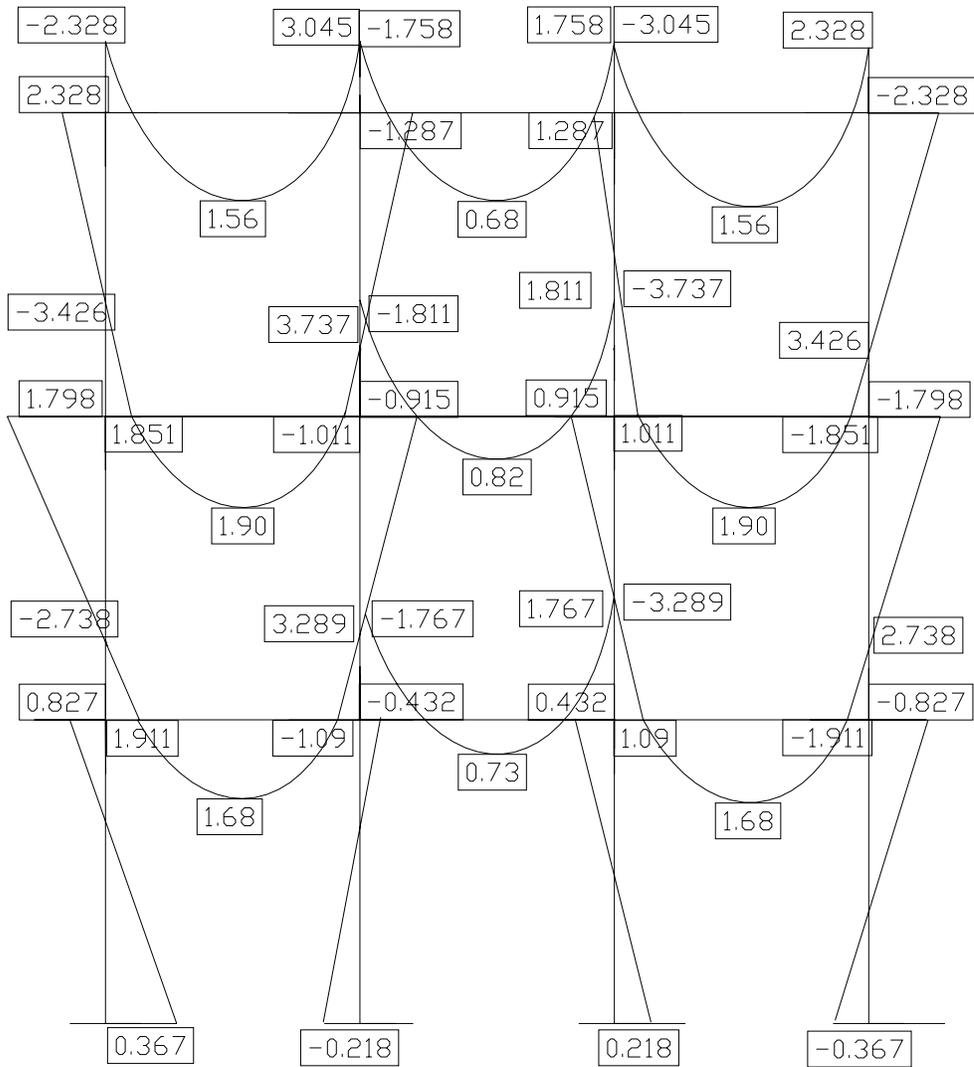


**FIGURA 73. Fuerza  $F_1$**



**FIGURA 74.** Diagrama de momentos

**DIAGRAMA DE MOMENTOS**



### 3.10 Cálculo del marco con ayuda del programa etabs®<sup>24</sup>

Se procede al diseño del marco con ayuda del programa ETABS® utilizaremos todos los pasos como en el Capítulo 2 de esta tesis lo indica, se iniciara colocando las dimensiones en Ton-m ya que con esas dimensiones trabajamos en el marco por el método de cross, se colocaran las dimensiones en la tabla que aparece.

FIGURA 75.<sup>25</sup> Formulario Building Gris System and Story Data Definition

The screenshot shows the 'Building Plan Grid System and Story Data Definition' dialog box. It is divided into three main sections:

- Grid Dimensions (Plan):** Contains radio buttons for 'Uniform Grid Spacing' (selected) and 'Custom Grid Spacing'. Below are input fields for 'Number Lines in X Direction' (3), 'Number Lines in Y Direction' (1), 'Spacing in X Direction' (5), and 'Spacing in Y Direction' (1). There are also buttons for 'Grid Labels...' and 'Edit Grid...'.
- Story Dimensions:** Contains radio buttons for 'Simple Story Data' (selected) and 'Custom Story Data'. Below are input fields for 'Number of Stories' (3), 'Typical Story Height' (2.5), and 'Bottom Story Height' (4.5). There is an 'Edit Story Data...' button.
- Units:** A dropdown menu set to 'Ton-m'.
- Add Structural Objects:** A row of seven icons representing different slab types: 'Steel Deck', 'Staggered Truss', 'Flat Slab', 'Flat Slab with Perimeter Beams', 'Waffle Slab', 'Two Way or Ribbed Slab', and 'Grid Only' (which is highlighted).

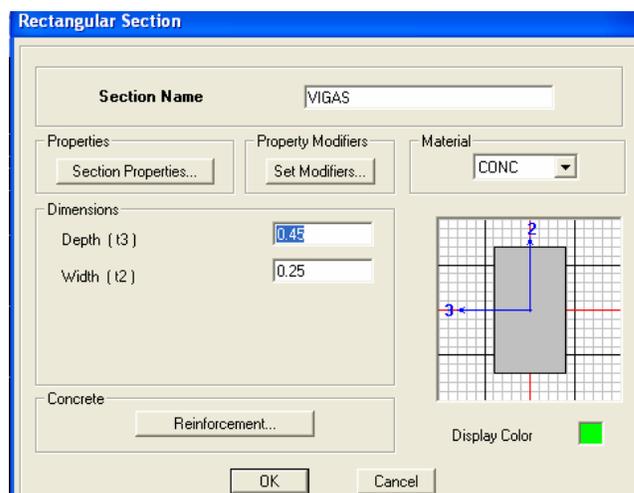
At the bottom of the dialog are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Colocando 4 en dirección de X, 1 en el sentido Y (para solo tener un marco) 5 m que es lo que mide la sección de X, 3 en número de pisos, 2.5 que es la medida típica de la estructura y 4.5 metros que será lo que mida el primer nivel del marco.

Se continúa con la modulación de las secciones de las columnas y vigas siendo estas  $0.25 \times 0.45$  m para vigas y  $0.40 \times 0.40$  para columnas, como aparece en la siguiente figura

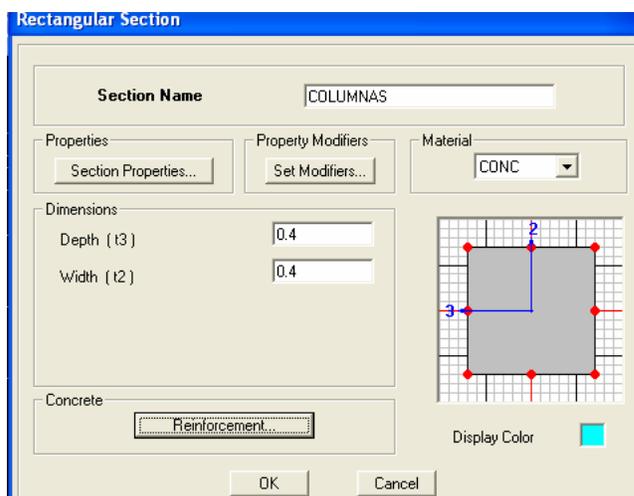
### 3.10.1 Definición de sección de vigas<sup>26</sup>

FIGURA 76. Definición de secciones de vigas



### 3.10.2 Definición de secciones de columnas<sup>27</sup>

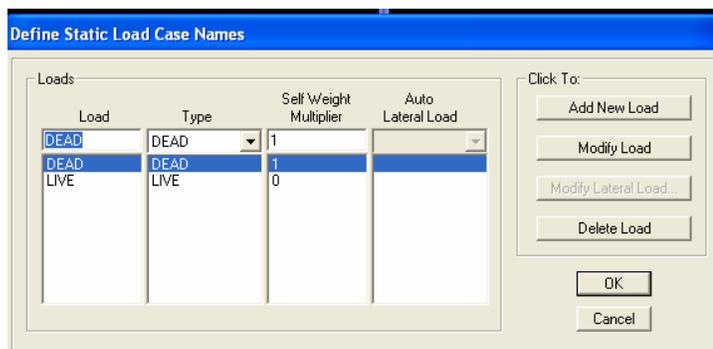
FIGURA 77. Definición de secciones de columnas



Se continúa la definición de secciones dibujando los elementos y colocando su función ya sean vigas o columnas.

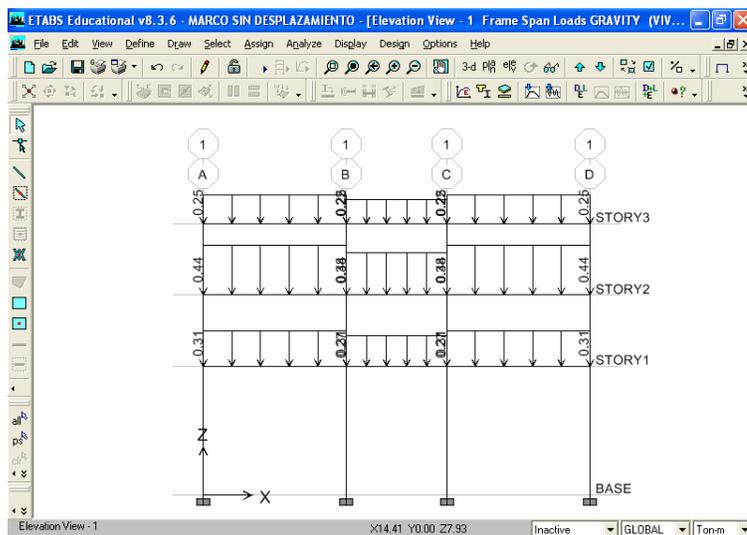
Se definen las cargas que trabajaran en el marco ya sean estas vivas y muertas con el siguiente cuadro

**FIGURA 78.**<sup>28</sup> Definición de Cargas Estáticas



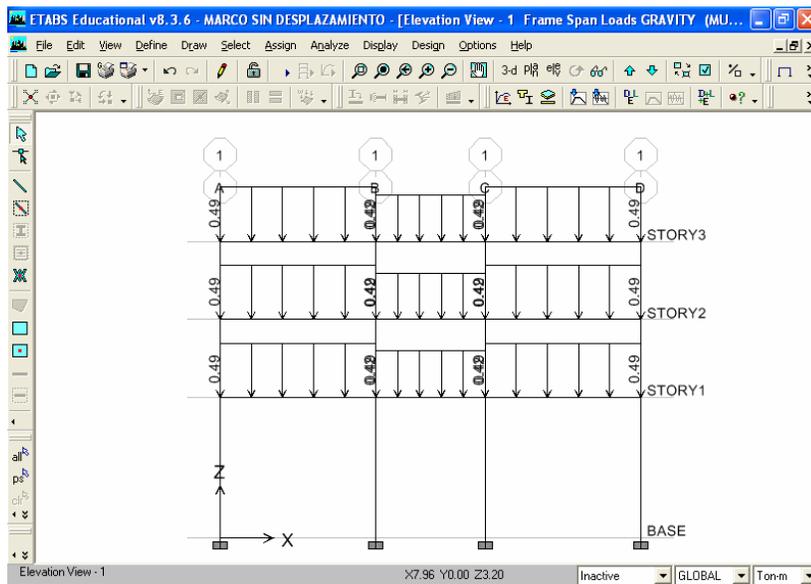
Se asignan los valores a cada tramo del marco, como en el marco siguiente aparecen las cargas vivas del diseño.

**FIGURA 79.**<sup>29</sup> Dibujo de marco con cargas asignadas



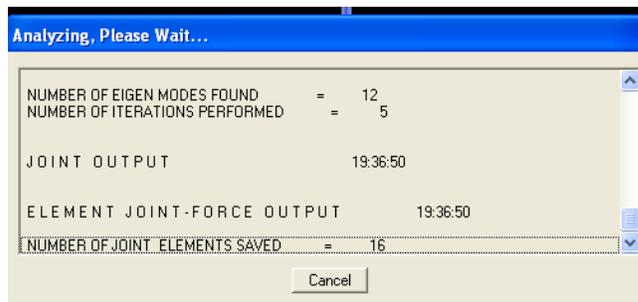
Se asignan los valores a cada tramo del marco, como en el marco siguiente aparecen las cargas muertas del diseño sin incluir los pesos propios de vigas y columnas ya que el programa los calcula.

**FIGURA 80.**<sup>30</sup> Dibujo de marco con cargas asignadas



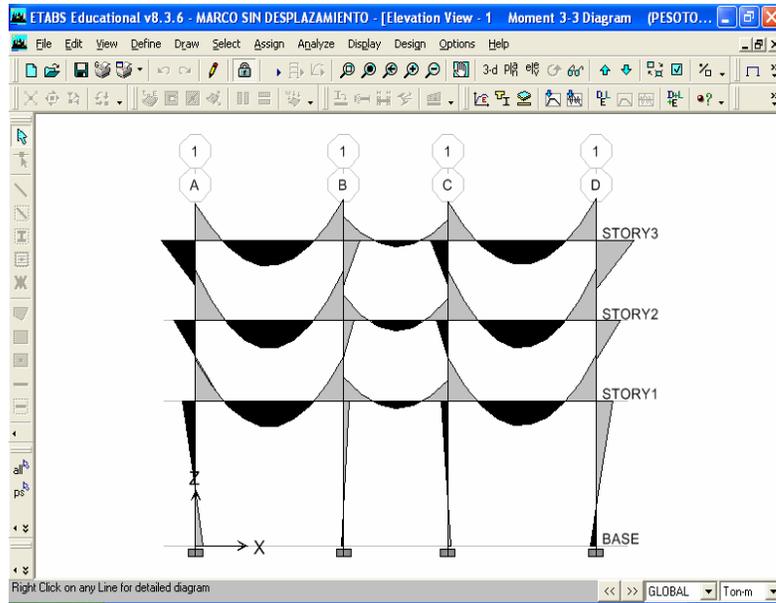
Se corre el análisis estructural

**FIGURA 81.** Cuadro del análisis del marco



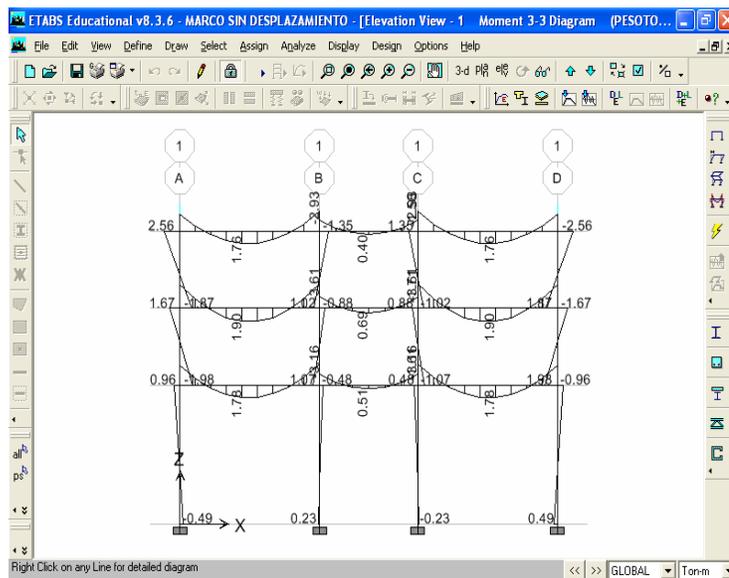
Y se obtiene como resultado el diagrama de momentos dado por el programa ETABS®

**FIGURA 82.** Diagrama de momentos



Y se obtienen los resultados que muestra el siguiente diagrama de momentos por el programa ETABS®

**FIGURA 83.** Diagrama de momentos con datos



### 3.11 Comparación de momentos finales de ETABS®-cross<sup>31</sup>

**TABLA XVII.** Comparación de momentos finales de ETABS®-cross

NUDO	A		B		C			D	
MIEMBRO	AB	BA	BC	BG	CB	CF	CD	DC	DE
MOM. ETABS®	0.49	0.96	1.98	-2.94	1.67	-3.54	1.87	2.56	-2.56
MOM. CROSS	0.37	0.83	1.91	-2.74	1.63	-3.43	1.80	2.33	-2.33
% DIFERENCIA	24.5	13.5	3.7	6.8	2.4	3.1	3.7	9.0	9.0

**TABLA XVIII.** Comparación de momentos finales de ETABS®-cross

NUDO	E			F				G	
MIEMBRO	ED	EF	EL	FC	FE	FK	FG	GB	GF
MOM. ETABS®	2.94	-1.35	-1.58	3.61	-1.02	-1.71	-0.88	3.16	-1.07
MOM. CROSS	3.05	-1.29	-1.76	3.74	-1.01	-1.81	-0.92	3.29	-1.09
% DIFERENCIA	-3.7	4.4	-11.4	-3.6	1.0	-5.8	-4.5	-4.1	-1.9

**TABLA XIX.** Comparación de momentos finales de ETABS®-cross

NUDO	G		H	I	J			K	
MIEMBRO	GJ	GH	HG	IJ	JI	JG	JK	JO	KF
MOM. ETABS®	-1.61	-0.48	-0.23	0.23	0.48	1.61	1.07	-3.16	1.71
MOM. CROSS	-1.77	-0.43	-0.22	0.22	0.43	1.77	1.09	-3.29	1.81
% DIFERENCIA	-9.9	10.4	4.3	4.3	10.4	-9.9	-1.9	-4.1	-5.8

**TABLA XX.** Comparación de momentos finales de ETABS®-cross

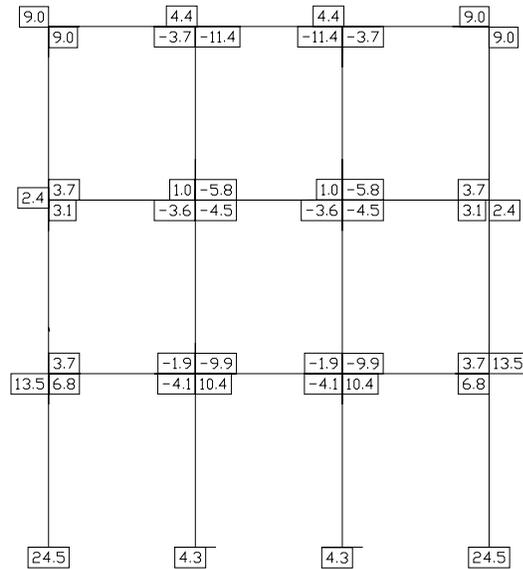
NUDO	K			L			M		N
MIEMBRO	KL	KN	KJ	LK	LE	LM	ML	MN	NM
MOM. ETABS®	1.02	-3.61	0.88	1.35	1.58	-2.94	2.56	-2.56	-1.87
MOM. CROSS	1.01	-3.74	0.92	1.29	1.76	-3.05	2.33	-2.33	-1.80
% DIFERENCIA	1.0	-3.6	-4.5	4.4	-11.4	-3.07	9.0	9.0	3.7

**TABLA XXI.** Comparación de momentos finales de ETABS®-cross

NUDO	N		O			P
MIEMBRO	NK	NO	ON	OJ	OP	PO
MOM. ETABS®	3.54	1.67	-1.98	2.94	-0.96	-0.49
MOM. CROSS	3.43	1.63	-1.91	2.74	-0.83	-0.37
% DIFERENCIA	3.1	2.4	3.7	6.8	13.5	24.5

Los porcentajes que se obtuvieron fueron el mayor 24.5 % el menor de 1.0 % dando como porcentaje medio 6.685 %.

**Figura 84.** Diagrama con porcentaje de diferencias



### 3.12 Comparación CROSS-ETABS®

El marco que se estudio es un sistema de tres niveles y cuatro columnas, se estudio con el método de cross sin desplazamiento y el programa ETABS®, se tomo como base los datos obtenidos con el programa ya que estos datos son más exactos que los datos obtenidos con cross sin desplazamiento.

Los datos obtenidos en la base de las columnas en los nodos A Y P son de un 24.5 % de diferencia. Y en los extremos de las columnas en los nodos B y O, una diferencia de 13.7 %, en las columnas interiores del marco en su base los nodos H e I obtiene una diferencia de 4.3 % y en sus extremos en los nodos G y J 10.4 %, hay una reducción considerable en el porcentaje de estas columnas en la base del marco. Aunque en sus extremos no varía demasiado.

En el primer nivel los resultados variaron en el nodo B y O obtenemos un valor de 3.7 % y en su extremo en los nodos C y N obtenemos 2.4 %, que son

valores despreciables ya que el valor obtenido no varía demasiado, en las columnas intermedias en los nodos G y J obtenemos un valor de -1.9 % y en sus extremos en los nodos F y K obtenemos una diferencia de -4.5 %.

En el segundo nivel los resultados que se obtuvieron en los nodos C y N fueron de 3.7 % y en su extremo en los nodos D y M es de 9.0 %, en las columnas intermedias en sus nodos F y K obtenemos un valor de 1.0 % y en su extremo en los nodos E y L un valor de 4.4 %.

Se puede observar que hay una diferencia significativa por lo cual nos hace pensar que los resultados finales en un diseño basado con el método de cross se pueden encontrar errores de gran importancia, entre estos errores se encuentran el de colocar material de refuerzo de más que significa encarecimiento del proyecto ó colocar material de refuerzo de menos que significa riesgo en la seguridad de la edificación.

Dado en ejemplos incluidos en apéndice<sup>32</sup>. La verificación de resultados del programa contra métodos independientes da como prueba la exactitud del programa, podemos determinar el cálculo estructural de un sistema requerido en un tiempo más rápido y con datos más exactos con ayuda del programa, por eso es necesaria la utilización de software.

## **4. EJEMPLO DE MODELO ESTRUCTURAL CALCULADO CON EL PROGRAMA ETABS®**

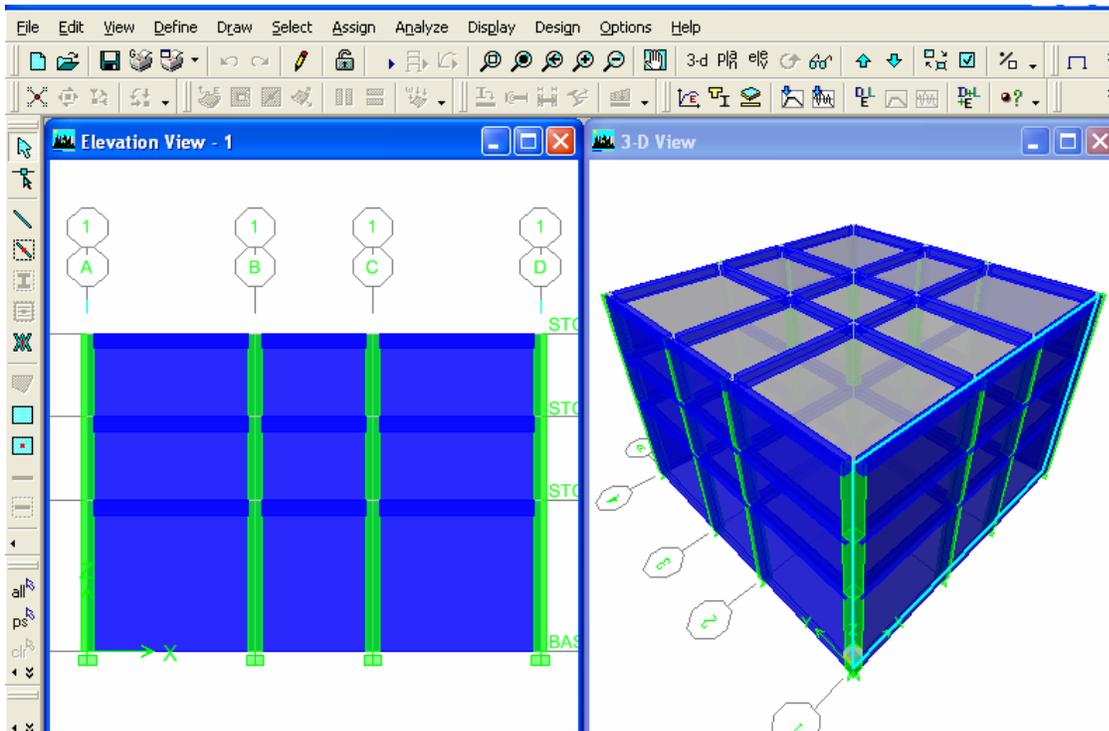
En este capítulo se proporcionan las instrucciones paso a paso para construir un modelo con ETABS®. Cada paso del proceso de creación del modelo es identificado, y varias técnicas de construcción del modelo son introducidas. Al finalizar este Capítulo, se habrá construido el modelo mostrado en la Figura 85.

El Ejemplo del proyecto es un edificio de tres pisos de forma irregular. Primer piso es de 4.50 metros de alto, el segundo piso es de 2.50 metros de alto al igual que el tercer piso. Las distancias de sus vanos son de 5 metros en los extremos y 3.5 al centro con 5 metros en las direcciones X e Y.

El sistema resistente de la fuerza lateral consiste en pórticos intersecados entre si. Las losas de pisos consisten en concreto de 0.12 metros.

Las vigas resistentes a la fuerza lateral que conectan las columnas están diseñadas como vigas rectangulares y Las secciones de las vigas serán de 0.25x0.45 m. y las secciones de las columnas serán de 0.40x0.40 m.<sup>33</sup>

**Figura 85.** Un ejemplo del modelo

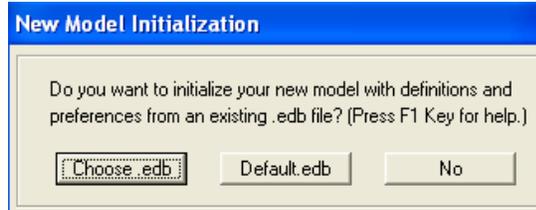


#### **4.1 Se inicia el nuevo modelo**

Se fijaran las dimensiones y alturas de los pisos. Se define una lista de secciones que se ajusten a los parámetros para el diseño.

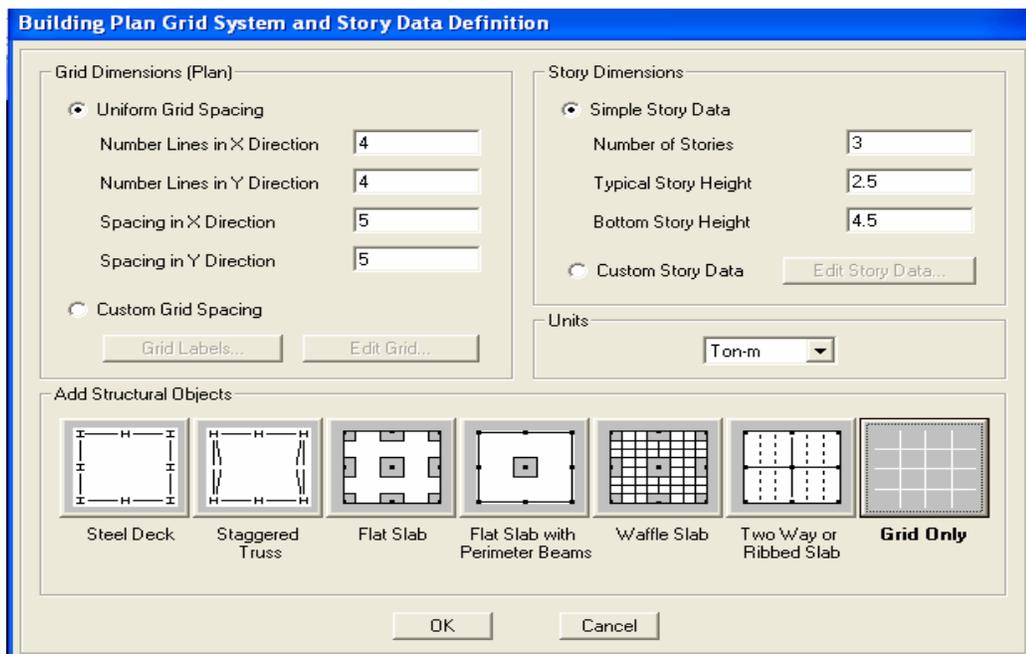
Se colocan las unidades que se desean para el diseño en la casilla de dialogo en la esquina inferior derecha de la ventana de ETABS®; utilizaremos Ton-m. Colocaremos que no en el formulario de nuevo modelo a utilizar como lo muestra en la figura 86.

**Figura 86.** El formulario New Model Initialization (nuevo modelo)



Al haber Seleccionado el botón **No** en el cuadro de la Figura 86. Aparece el cuadro mostrado en la figura 87.

**Figura 87.** El formulario Building Plan Gris System and Story Data Definition.(Definición de sistema de edificio)



En el cuadro de la figura 88 se coloca 4 en la casilla “*Number lines in X Direction*” y 4 en “*Number lines in Y Direction*” esto es numero de líneas en sentido ó dirección “X” y “Y”. Posteriormente colocamos 5 en “*Spacing in X*

*Direction*” y 5 en “*Spacing in Y Direction*” esto es el espacio en los sentidos “X” y “Y”.

Se coloca 3 en la casilla “*Number of Stories*” para fijar el número de pisos.

Colocar 4.50 m dentro de la casilla *Bottom Story Height* para fijar la altura del nivel bajo, y 2.5 en *Typical Story Height* para definir la altura de todos los niveles posteriores, se da click en el botón *Grid Only* y se da *OK*.

Ahora editaremos las distancias presionando el botón derecho del Mouse y dando click en *edit story* y colocaremos los vanos que son de 3.5 m y en nuestro dibujo aparecen de 5 m., dando click derecho sobre el marco nos aparece el cuadro que aparece en la figura 88.

**Figura 88.** Formulario Story Data (Edición de niveles)

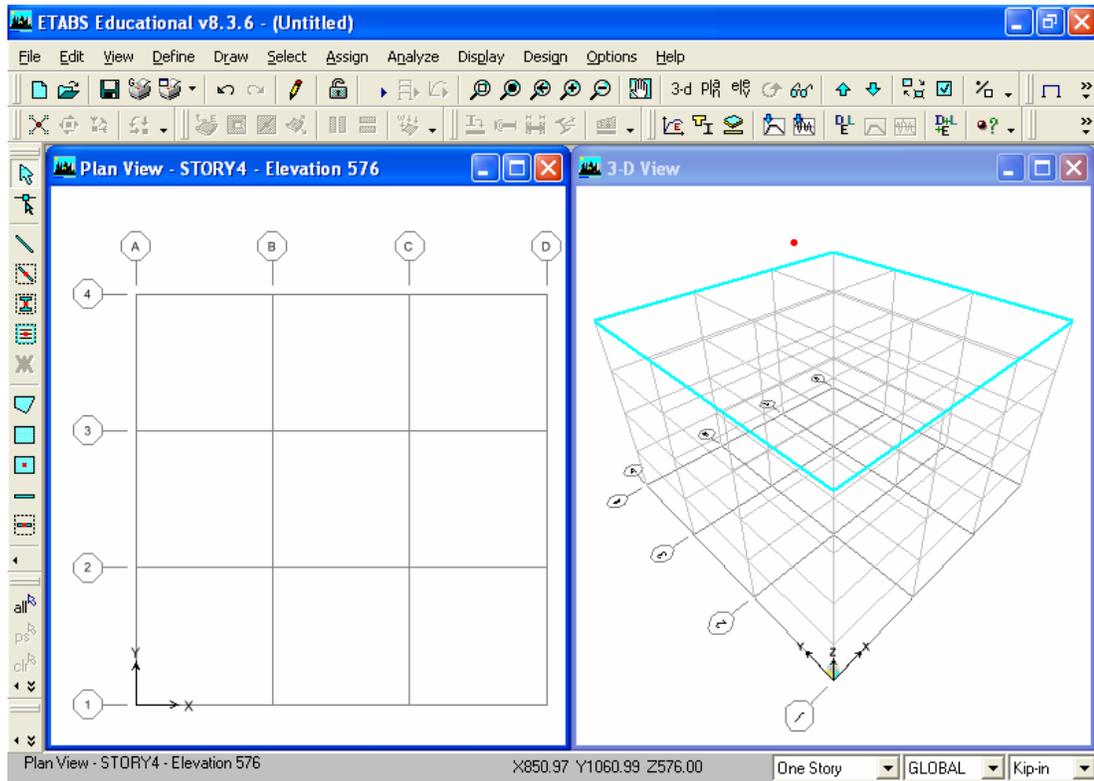
The dialog box 'Define Grid Data' contains the following data tables:

Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	A	0.	Primary	Show	Top
2	B	5.	Primary	Show	Top
3	C	8.5	Primary	Show	Top
4	D	13.5	Primary	Show	Top
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	1	0.	Primary	Show	Left
2	2	5.	Primary	Show	Left
3	3	8.5	Primary	Show	Left
4	4	13.5	Primary	Show	Left
5					
6					
7					
8					
9					
10					

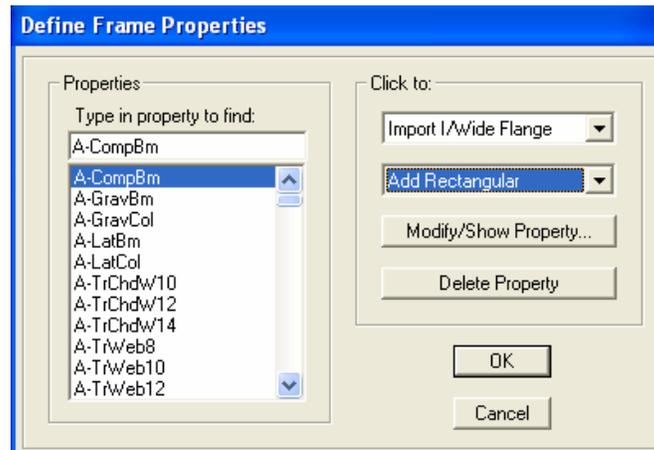
**Figura 89.** Ventana principal de ETABS®



#### 4.1.1 Definir secciones de vigas y columnas

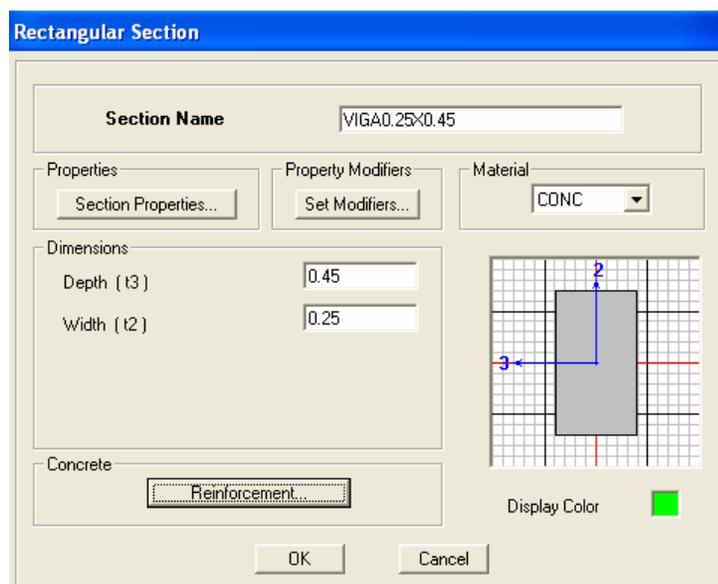
Se definirán las secciones de vigas y columnas como anteriormente se mencionaron. En el *menú Define > Frame sections* y aparecerá el cuadro de la figura 90.

**Figura 90.** El formulario Define Frame Properties (Definición de propiedades de los elementos)



Y seleccionaremos forma rectangular. Nos aparecerá el cuadro de la figura 91 y le colocaremos el nombre de VIGA0.25X0.45.

**Figura 91.** Definición de secciones de vigas



Colocamos que son de concreto y en el refuerzo se da el nombre de viga como en el cuadro de la figura 92.

**Figura 92.** Definición de viga

The 'Reinforcement Data' dialog box is shown with the following settings:

- Design Type:**  Column,  Beam
- Concrete Cover to Rebar Center:**
  - Top: 0.025
  - Bottom: 0.025
- Reinforcement Overrides for Ductile Beams:**

	Left	Right
Top	0	0
Bottom	0	0

Hacer click en el botón *OK* para agregar las vigas seleccionadas a la lista *viga0.25x0.45* del lado derecho del formulario.

Igual lo hacemos con las columnas con el nombre de *columna0.40X0.40*, después de asignar *add rectangular* en el cuadro de la figura 90.

**Figura 93.** Definición de secciones de Columnas

The 'Rectangular Section' dialog box is shown with the following settings:

- Section Name:** COLUMN0.40X0.40
- Properties:** Section Properties...
- Property Modifiers:** Set Modifiers...
- Material:** CONC
- Dimensions:**
  - Depth (t3): 0.4
  - Width (t2): 0.4
- Concrete:** Reinforcement...
- Display Color:** [Red square]

Al igual que las vigas seleccionamos de concreto y definimos el armado deseado ó el armado que propone el programa para la sección definida por el usuario, como lo muestra la figura 94.

**Figura 94.** Definición de Columnas

The image shows a dialog box titled "Reinforcement Data" with the following settings:

- Design Type:**  Column,  Beam
- Configuration of Reinforcement:**  Rectangular,  Circular
- Lateral Reinforcement:**  Ties,  Spiral
- Rectangular Reinforcement:**
  - Cover to Rebar Center: 1.016E-03
  - Number of Bars in 3-dir: 3
  - Number of Bars in 2-dir: 3
  - Bar Size: #9
- Check/Design:**  Reinforcement to be Checked,  Reinforcement to be Designed

Buttons: OK, Cancel

Hacer click en el botón OK y luego en el botón OK del formulario Define Frame Properties para aceptar cambios.

## 4.2 AGREGAR OBJETOS LINE

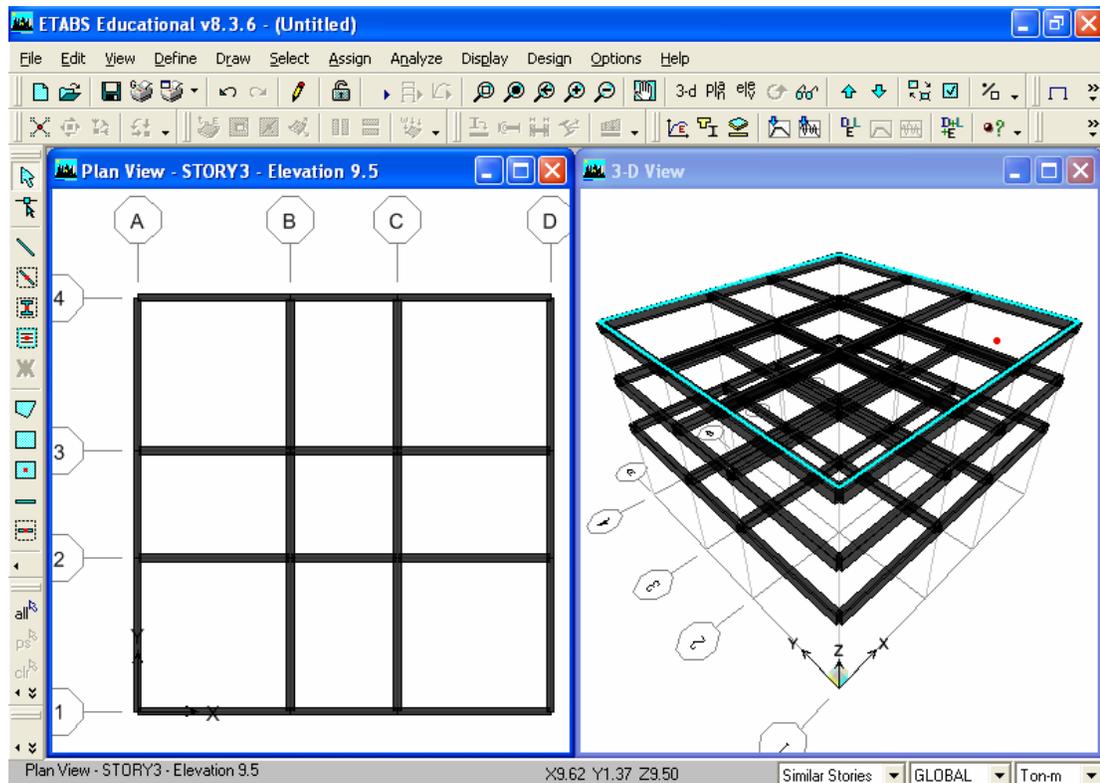
En este paso, el programa esta configurado para agregar objetos a múltiples niveles simultáneamente. Luego los objetos estructurales son agregados al modelo. Por ejemplo colocaremos las vigas dando click en el

menú *Draw > Draw line objects > create lines in Region or at clicks* y nos aparece la casilla mostrada en la figura 95.

**Figura 95.** Selección de Viga 0.25\*0.45

Properties of Object	
Type of Line	Frame
Property	VIGA0.25X0.45
Moment Releases	Continuous
Plan Offset Normal	0.
Drawing Control Type	None <space bar>

**Figura 96.** Dibujo de Vigas



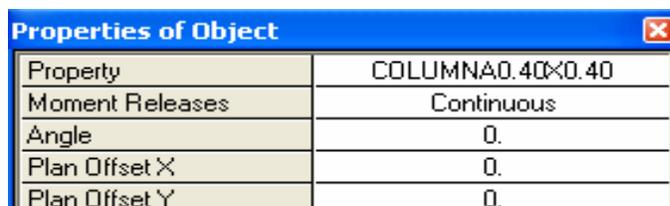
Resaltar *Similar Stories* en la tercera casilla inferior izquierda de la ventana principal de la figura 96. Esto activa la opción *Similar Stories* para dibujar y seleccionar objetos.

Para revisar las características actuales del *Similar Story*, hacer click en el comando *Edit menú > Edit story*. El formulario *Story Data* aparece mostrando en la Figura 87. Note las columnas del *Master Story* (piso patrón) y del *Similar Story* en el formulario. Con la opción *Similar Stories* activa, las adiciones o cambios son hechos a un nivel. Esto significa que con *Similar Stories* activo, cualquier dibujo o presentación seleccionada de cualquier nivel se aplicarán a todos los otros niveles. Un nivel puede ser configurado como *Similar To NONE* de modo que las adiciones o cambios no lo afectaran.

### 4.3 Dibujar objetos columna

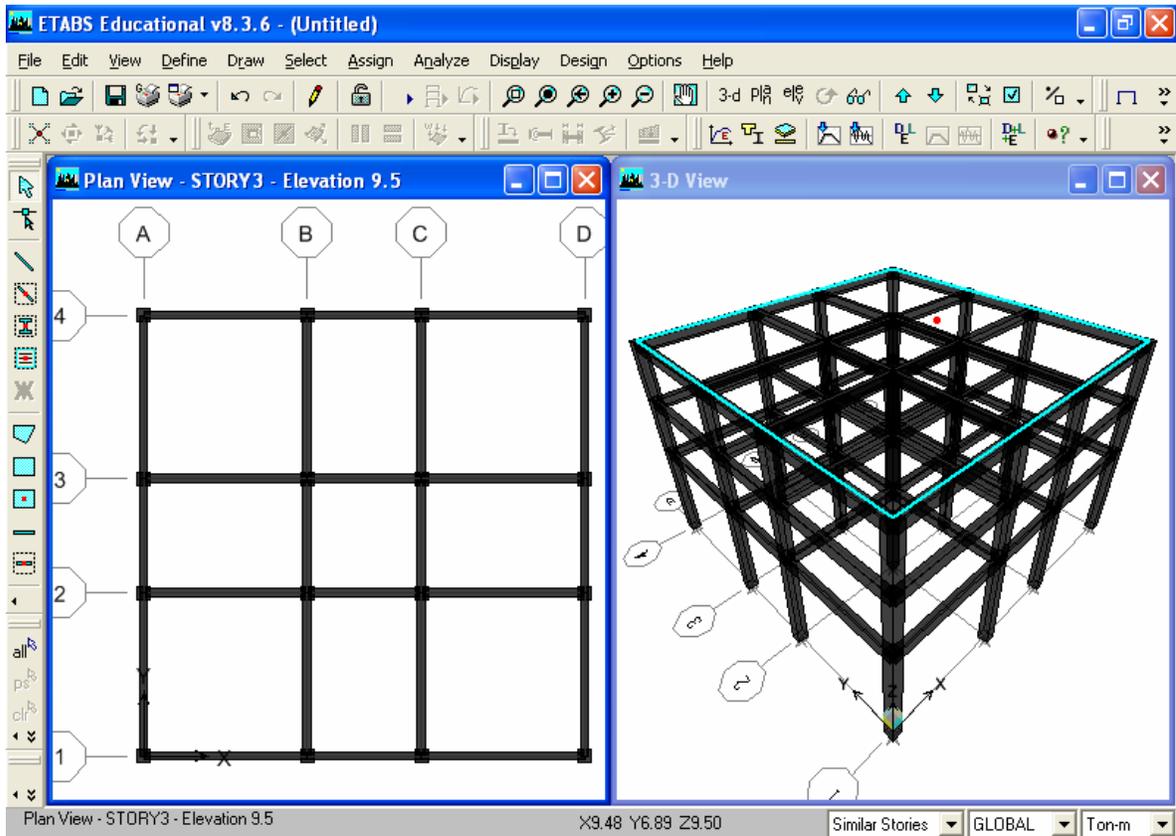
Colocamos la ventana en planta story 3 y dibujamos las columnas que definimos con anterioridad para dibujar las columnas damos un clic en *menú Draw > Draw line objects > create columns in Region or at clicks* y aparecerá el cuadro de la figura 97.

**Figura 97.** Casilla properties of object (propiedades del objeto)



Property	COLUMNAO.40X0.40
Moment Releases	Continuous
Angle	0.
Plan Offset X	0.
Plan Offset Y	0.

**Figura 98.** El modelo de ejemplo con las columnas dibujadas



#### 4.4 Guardar modelo

Guardamos el modelo con frecuencia durante el desarrollo. Aunque normalmente se puede guardar con el mismo nombre, por lo tanto sobrescribiendo los previos modelos, se podrían regularmente guardar los modelos con un nombre diferente. Esto permite llevar un registro del modelo en varias etapas del desarrollo.

## 4.5 Agregar objetos área

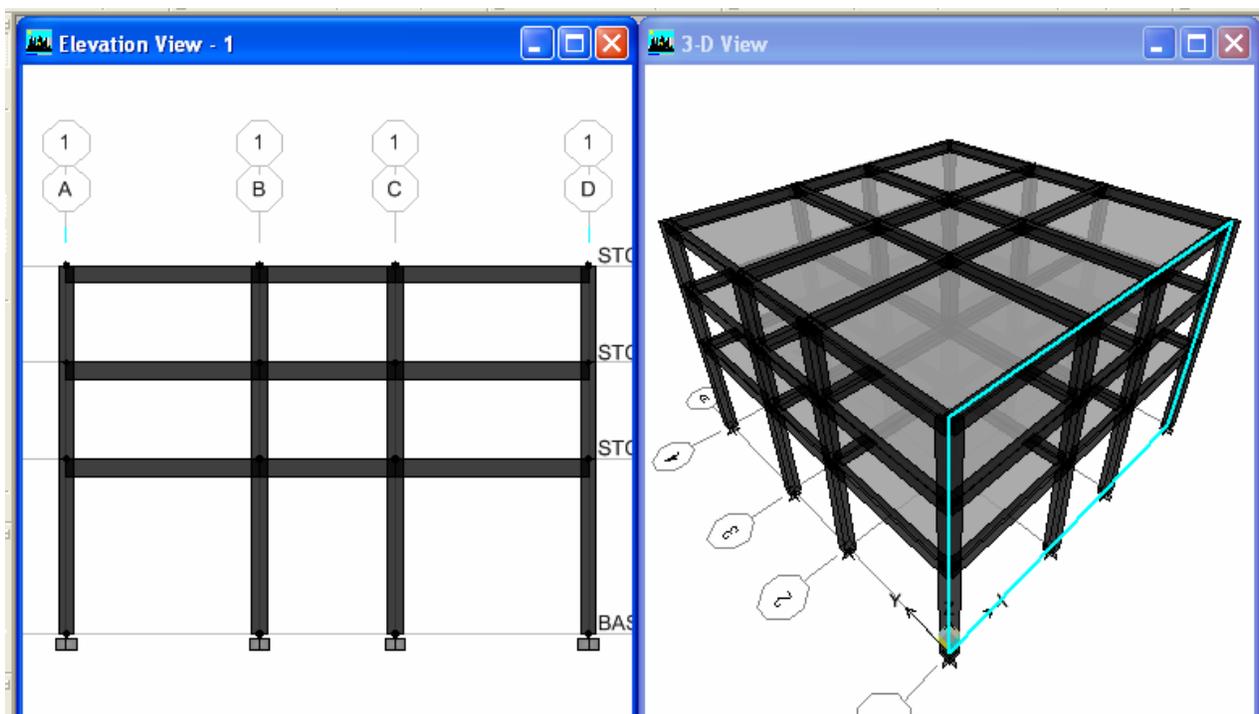
En este paso, los pisos son agregados al modelo, también se pueden crear áreas “dummy” (simuladas) en el cual las cargas del viento pueden ser asignadas posteriormente.

### 4.5.1 Dibujo de los objetos del área del piso

Asegurar que la Vista en Planta este activa. Ahora dibujaremos un objeto área para representar el piso usando los siguientes ítems.

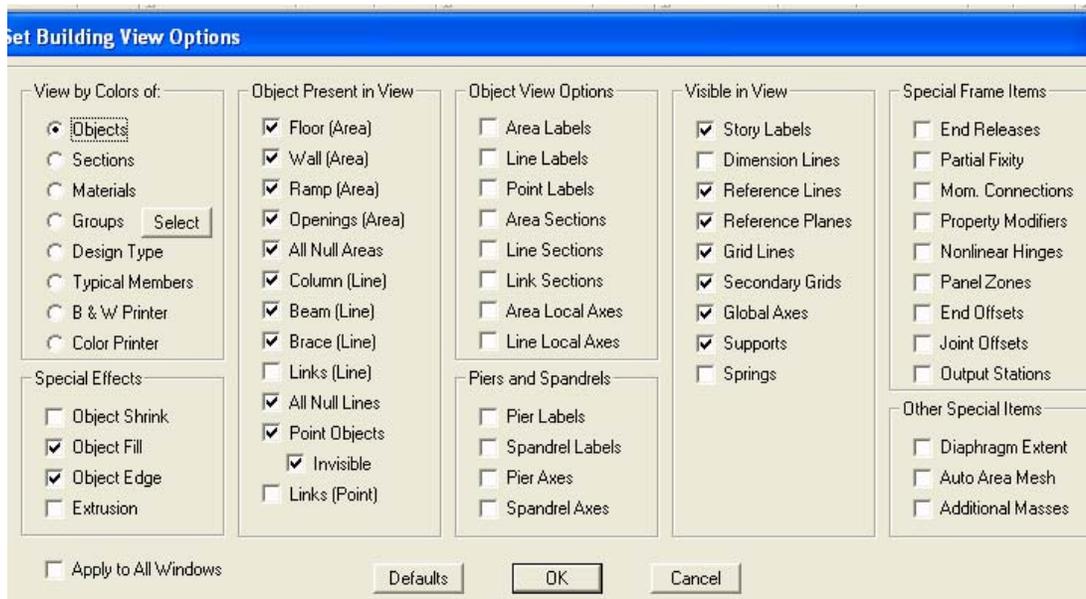
Hacer click en el botón *Draw Áreas*, , o seleccionar el comando *Draw* menú > *Draw Área Objects* > *Draw Áreas*.

**Figura 99.** Modelo después de que se han agregado los objetos área de piso



Para poder observar el modelo estructural como se mira en la figura 99 es necesario dar click en el *menú view > set building view options*, en la columna *Special Effects > Extrusion* y aparecerá el cuadro de la figura 100.

**Figura 100.** Cuadro de opciones a ver de modelo estructural.



#### 4.6 Definir empotramiento en base de columna

Para definir el empotramiento en las columnas del modelo estructural se coloca la ventana en vista de elevación, se seleccionan las bases de las columnas y se da un click en el *menú assign > joint / point > Restraints (Supports)* y aparecerá el cuadro de la figura 101.

**Figura 101.** Cuadro de selección de empotramiento en todas las columnas



Se seleccionan todas las casillas del cuadro de la figura 101 para seleccionar empotramiento en las columnas y se da *OK*.

#### **4.7 Definición de los casos de carga estática**

Las cargas estáticas usadas en este ejemplo consisten en la carga muerta, viva, sismo y de viento actuando en el edificio.

La carga muerta del edificio consiste en su peso propio, más una carga muerta adicional aplicada a las losas, y también se agrega una carga muerta adicional aplicadas a las vigas perimetrales del edificio. En la carga muerta que se aplica adicional en las losas, toma en cuenta los pesos de los tabiques, cielorrasos, ductos de ventilación, instalaciones eléctricas y sanitarias, etc. Y la carga aplicada a las vigas perimetrales se consideran el perímetro del revestimiento lateral del edificio.

La carga viva que se toma depende del uso del edificio tomando como referencia la tabla 6 del Capítulo 1<sup>34</sup>.

Se aplica una carga sísmica estática UBC-97 y una carga del viento ASCE 7-98 para los edificios. Las fuerzas que se aplican a los edificios para sismo y viento son automáticamente calculadas por el programa.

**Figura 102.** Formulario Define Static Load Case Names (cargas estáticas)<sup>35</sup>

Load	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load
VIENTO	WIND	0	ASCE 7-98
MUERTA	DEAD	1	
VIVA	LIVE	0	
SISMO	QUAKE	0	UBC 97
VIENTO	WIND	0	ASCE 7-98

Para definir la carga de sismo UBC97, nuevamente haga click en la casilla de edición para la columna Load. Seleccionar QUAKE para el tipo de carga. Asegúrese que el factor de multiplicidad para el peso propio sea cero. Use el menú carga lateral para seleccionar UBC97; con esta opción seleccionada, ETABS® automáticamente aplicará la carga sísmica estática conforme a los requerimientos del código 1997 UBC. Hacer click en el botón *Add New Load*.

Esto presentará el formulario 1997 UBC Seismic Loading (El formulario UBC97 aparece porque el tipo Auto Lateral Load fue configurado en el ítem E). Dentro de este formulario, hacer click en la opción X Dir en la parte superior del formulario, como se muestra en la Figura 103. Hacer click en el botón *OK*. El formulario Define Static Load Case Names reaparecerá. Los parámetros que hacen falta serán llenados por criterio del ingeniero a cargo del cálculo.

**Figura 103.** Formulario 1997 UBC Seismic Loading (cargas sísmicas)

**1997 UBC Seismic Loading**

**Direction and Eccentricity**

X Dir       Y Dir  
 X Dir + Eccen Y       Y Dir + Eccen X  
 X Dir - Eccen Y       Y Dir - Eccen X

Eccentricity Ratio:

Override Eccentricities:

**Seismic Coefficients**

Per Code       User Defined

Soil Profile Type:

Seismic Zone Factor:

User Defined Ca:

User Defined Cv:

**Time Period**

Method A      Ct (ft) =

Program Calc      Ct (ft) =

User Defined      T =

**Near Source Factor**

Per Code       User Defined

Seismic Source Type:

Dist. to Source (km):

User Defined Na:

User Defined Nv:

**Story Range**

Top Story:

Bottom Story:

**Factors**

Overstrength Factor, R:

**Other Factors**

Importance Factor, I:

Para definir la carga de viento ASCE 7-98, hacer click nuevamente en la casilla de edición para la columna Load. Seleccionar el tipo *WIND* en la columna *Type*. Seleccionar *ASCE 7-98* del menú *Lateral Load* desplazado. Hacer click en el botón *Add New Load*.

Esto presentará el formulario ASCE 7-98 Wind Loading mostrado en la Figura 104, el cual deberá ser llenado conforme los parámetros de diseño deseados por el ingeniero o persona encargada del cálculo estructural.

**Figura 104.** Formulario ASCE 7-98 Wind Loading (Cargas de Viento ASCE 7-98)

Story	Diaphragm	Width	X-Ord	Y-Ord

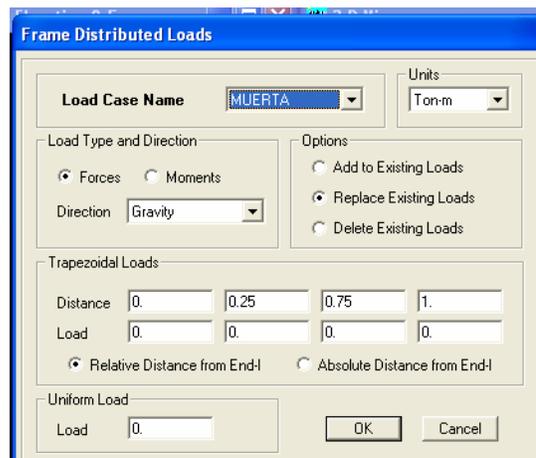
Hacer click en el botón *OK* en el formulario para aceptar todos nuevos casos de carga estática definidos.

#### 4.8 Asignar cargas de gravedad<sup>36</sup>

En este paso, las cargas de gravedad muerta y viva que serán aplicadas en el modelo, los pasos a seguir se encuentran en el Capítulo 2.5 de este trabajo.

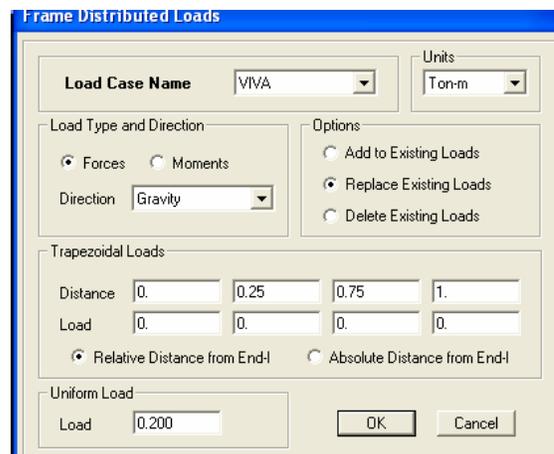
Seleccionemos todas las vigas perimetrales del modelo creado a lo largo de algún eje. Colocamos para carga viva para el tercer nivel  $200 \text{ kg/m}^2$ , para el segundo nivel  $350 \text{ kg/m}^2$  y para el primer nivel una carga  $250 \text{ kg/m}^2$ , considerando algún tipo de muro perimetral que represente este peso, la carga muerta es calculada automáticamente por el programa, se coloca cero en la casilla designada para cantidad de carga muerta.

**Figura 105.** Formulario de cargas muertas



The screenshot shows the 'Frame Distributed Loads' dialog box. The 'Load Case Name' is set to 'MUERTA'. The 'Units' are set to 'Ton-m'. Under 'Load Type and Direction', 'Forces' is selected and 'Direction' is 'Gravity'. Under 'Options', 'Replace Existing Loads' is selected. The 'Trapezoidal Loads' section has 'Distance' values of 0, 0.25, 0.75, and 1, and 'Load' values of 0, 0, 0, and 0. The 'Uniform Load' section has a 'Load' value of 0. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom right.

**Figura 106.** Formulario de cargas vivas tercer nivel



The screenshot shows the 'Frame Distributed Loads' dialog box. The 'Load Case Name' is set to 'VIVA'. The 'Units' are set to 'Ton-m'. Under 'Load Type and Direction', 'Forces' is selected and 'Direction' is 'Gravity'. Under 'Options', 'Replace Existing Loads' is selected. The 'Trapezoidal Loads' section has 'Distance' values of 0, 0.25, 0.75, and 1, and 'Load' values of 0, 0, 0, and 0. The 'Uniform Load' section has a 'Load' value of 0.200. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom right.

**Figura 107.** Formulario de cargas vivas segundo nivel

**Frame Distributed Loads**

Load Case Name: VIVA Units: Ton-m

Load Type and Direction:  
 Forces  Moments  
Direction: Gravity

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

Trapezoidal Loads:  
Distance: 0. 0.25 0.75 1.  
Load: 0. 0. 0. 0.  
 Relative Distance from End-I  Absolute Distance from End-I

Uniform Load:  
Load: 0.350

OK Cancel

**Figura 108.** Formulario de cargas vivas primer nivel

**Frame Distributed Loads**

Load Case Name: VIVA Units: Ton-m

Load Type and Direction:  
 Forces  Moments  
Direction: Gravity

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

Trapezoidal Loads:  
Distance: 0. 0.25 0.75 1.  
Load: 0. 0. 0. 0.  
 Relative Distance from End-I  Absolute Distance from End-I

Uniform Load:  
Load: 0.250

OK Cancel

Seleccionamos en la ventana de ETABS® en la esquina inferior izquierda ONE STORY, ya que la carga viva del diseño es diferente en todos los niveles, seleccionamos las áreas de las losas estando en planta STORY 3 y colocamos las cargas vivas y muertas del modelo estructural, en el *menú Assign > shell / Área Loads > uniform*, y aparece el cuadro de la figura 109.

**Figura 109.** Cuadro de asignación de cargas



#### 4.9 Ejecutar el análisis

Hacer clic en el comando *Analyze menú > Run analysis* o el botón *Run Análisis*, y haga clic en el botón *Run* en el cuadro *Run Options*.

El programa creará el modelo de análisis para los objetos basados en el modelo de ETABS, y pronto presentará una ventana “*Analyzing, Please Wait*”. Los datos se desarrollan en esta ventana conforme el programa ejecuta el análisis. Después de haber sido completado el análisis, el programa llega algunas acciones de librería que son mostradas en la barra de estado en la esquina inferior izquierda de la ventana del ETABS.

Cuando el proceso entero de análisis se haya completado, el modelo automáticamente muestra una vista de la forma de la deformada del modelo, y el modelo se bloquea, el modelo es bloqueado cuando el botón Lock/Unlock Model aparece cerrado, bloqueando el modelo prevenimos cualquier cambio en el modelo que invalidaría los resultados del análisis.

### **Memoria del análisis de ETABS®**

Este paso es muy necesario en el programa, ya que con los datos obtenidos podemos determinar si no hay ninguna advertencia en el diseño estructural y poder observar si esta bien o necesita algún cambio. Para obtener este análisis se da click al *Menu file > last análisis run log* y nos da los valores siguientes:

Program ETABS Version 8.3.0.1

BEGIN ANALYSIS  
MAXIMUM MEMORY BLOCK SIZE (BYTES) = 6.972 MB

#### ELEMENT FORMATION

NUMBER OF JOINT ELEMENTS FORMED = 64  
NUMBER OF SPRING ELEMENTS FORMED = 0  
NUMBER OF FRAME ELEMENTS FORMED = 120  
NUMBER OF SHELL ELEMENTS FORMED = 61

#### EQUATION SOLUTIO

TOTAL NUMBER OF EQUILIBRIUM EQUATIONS = 324  
APPROXIMATE "EFFECTIVE" BAND WIDTH = 94

NUMBER OF EQUATION STORAGE BLOCKS = 1  
MAXIMUM BLOCK SIZE (8-BYTE TERMS) = 27315  
SIZE OF STIFFNESS FILE(S) (BYTES) = 214.680 KB

NUMBER OF EQUATIONS TO SOLVE = 324  
NUMBER OF STATIC LOAD CASES = 5  
NUMBER OF ACCELERATION LOADS = 6  
NUMBER OF NONLINEAR DEFORMATION LOADS = 0

#### EIGEN ANALYSIS

NUMBER OF STIFFNESS DEGREES OF FREEDOM = 324

NUMBER OF MASS DEGREES OF FREEDOM = 96  
 NUMBER OF EIGEN MODES SOUGHT = 12  
 NUMBER OF RESIDUAL-MASS MODES SOUGHT = 0  
 NUMBER OF SUBSPACE VECTORS USED = 16

RELATIVE CONVERGENCE TOLERANCE = 1.00E-07  
 FREQUENCY SHIFT (CENTER) (CYC/TIME) = .000000  
 FREQUENCY CUTOFF (RADIUS) (CYC/TIME) = .000000

NUMBER OF EIGEN MODES FOUND = 12  
 NUMBER OF ITERATIONS PERFORMED = 17

JOINT OUTPUT

GLOBAL FORCE BALANCE RELATIVE ERRORS

PERCENT FORCE AND MOMENT ERROR AT THE ORIGIN, IN GLOBAL COORDINATES

LOAD	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
MUERTA	1.36E-15	3.67E-16	3.76E-14	5.09E-14	5.66E-14	1.61E-16
VIVA	1.38E-16	9.17E-17	6.45E-14	2.83E-14	3.89E-14	2.78E-16
SISMO	6.12E-14	1.43E-15	1.53E-14	3.25E-14	1.24E-13	4.15E-14
VIENTO	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
TRIBUTAR	1.12E-15	1.46E-15	6.48E-14	2.60E-14	3.90E-14	6.93E-16

MODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	2.94E-05	1.20E-05	2.02E-14	5.10E-06	1.76E-05	3.14E-05
2	2.56E-05	1.28E-05	1.84E-14	6.34E-06	1.68E-05	2.35E-05
3	9.11E-06	0.000165	5.59E-14	0.000145	0.000370	0.000385
4	2.73E-05	2.70E-06	2.95E-15	1.04E-05	4.10E-05	2.78E-05
5	0.000101	3.11E-06	6.43E-15	1.64E-06	1.93E-05	4.52E-05
6	0.001960	0.004064	1.74E-14	0.000236	0.000275	0.002812
7	0.009925	0.003654	4.92E-14	0.000911	0.000567	0.001851
8	0.025485	0.010818	1.42E-14	0.004330	2.78E-05	0.006734
9	0.001357	0.002595	2.77E-14	0.000477	0.000399	0.003334
10	0.000125	0.000737	2.32E-14	9.28E-05	0.000191	0.002147
11	0.001360	0.001114	2.82E-14	0.000451	7.36E-05	0.000940
12	0.000233	0.001764	2.89E-14	0.000116	6.21E-05	0.002352

ELEMENT JOINT-FORCE OUTPUT

NUMBER OF JOINT ELEMENTS SAVED = 64  
 NUMBER OF FRAME ELEMENTS SAVED = 120  
 NUMBER OF SHELL ELEMENTS SAVED = 61

ELEMENT OUTPUT

ANALYSIS COMPLETE

MAXIMUM MEMORY BLOCK SIZE (BYTES) = 6.972 MB

ELEMENT FORMATION 18:15:23

NUMBER OF JOINT ELEMENTS FORMED = 64  
 NUMBER OF SPRING ELEMENTS FORMED = 0

LOAD RE-SOLUTION

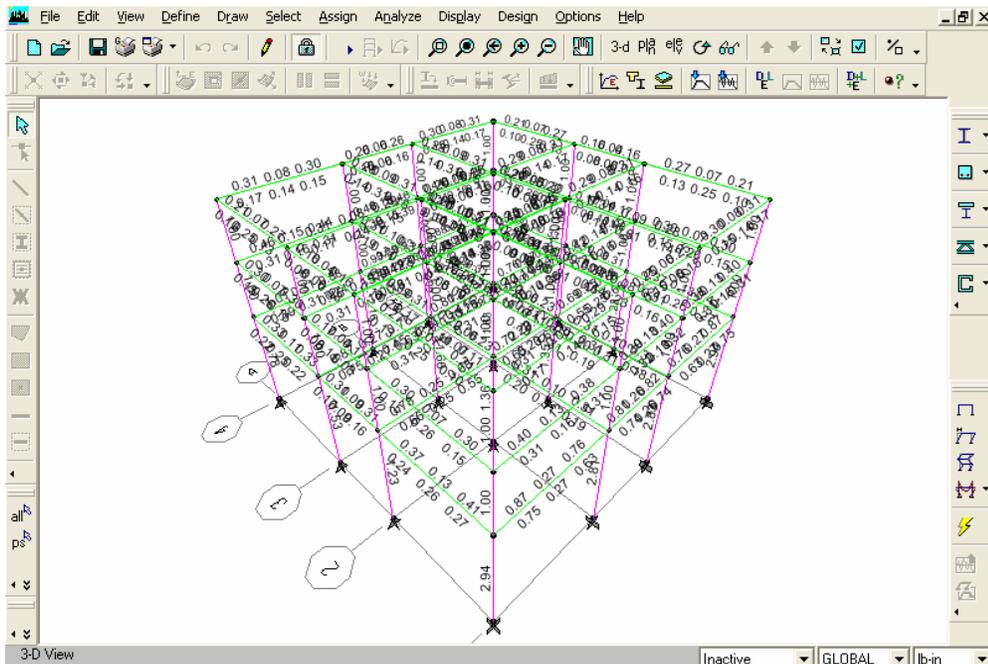
NUMBER OF STATIC LOAD CASES = 5  
 ELEMENT JOINT-FORCE OUTPUT 18:15:23  
  
 NUMBER OF JOINT ELEMENTS SAVED = 64  
 NUMBER OF FRAME ELEMENTS SAVED = 120  
 NUMBER OF SHELL ELEMENTS SAVED = 61

ANALYSIS COMPLETE

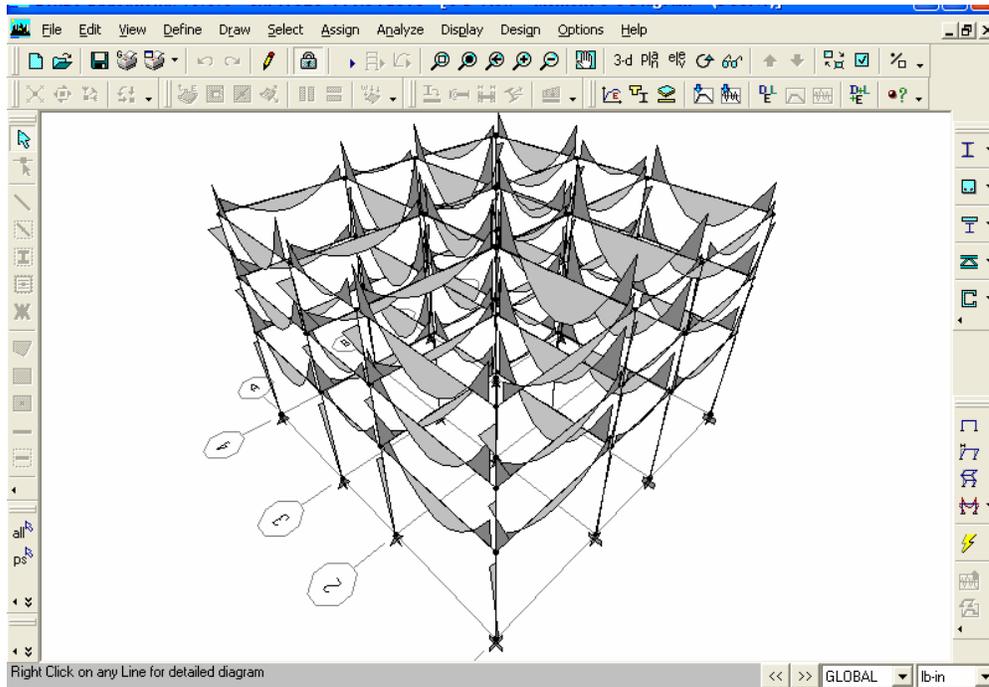
#### 4.10 Revisión grafica de los resultados del analisis<sup>37</sup>

En este paso, los resultados del análisis serán revisados usando la representación gráfica de los resultados.

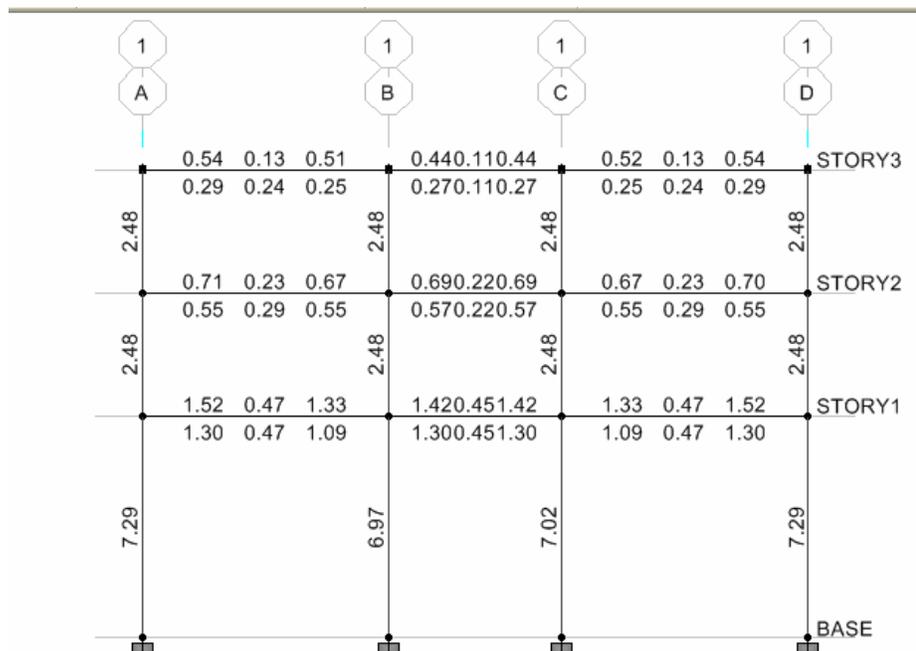
**Figura 110.** Diagrama de Datos obtenidos con ETABS® cantidad de área de acero necesaria para cada miembro



**Figura 111.** Vista en elevación del Diagrama de Momentos

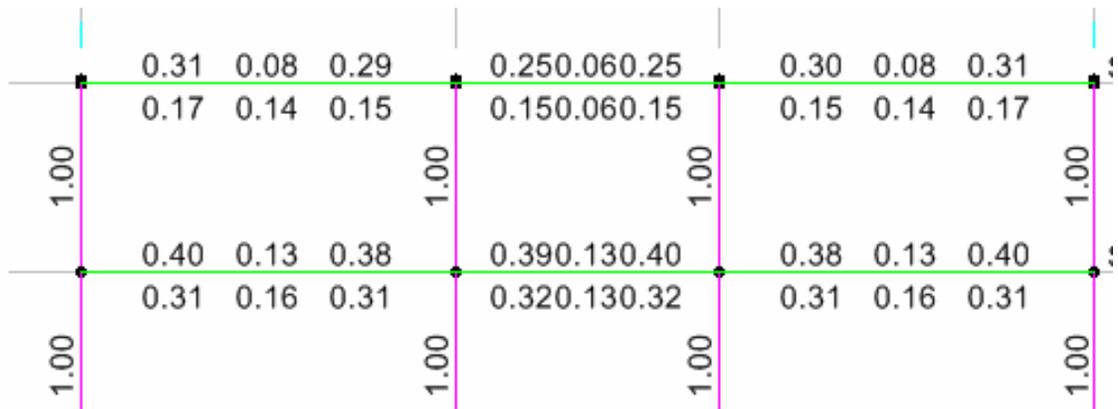


**Figura 112.** Detalle de Acero necesario para cada marco (pulgada<sup>2</sup>)

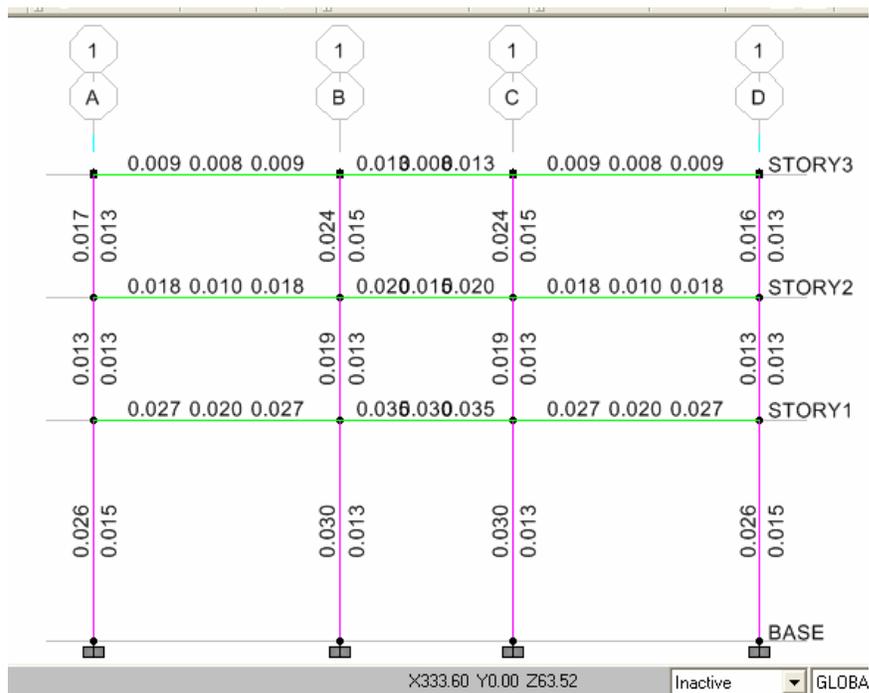


Observemos el comportamiento de las columnas si están trabajando a un porcentaje aceptable. Para esto ver la figura 113.

**Figura 113.** Porcentaje de refuerzo en columnas



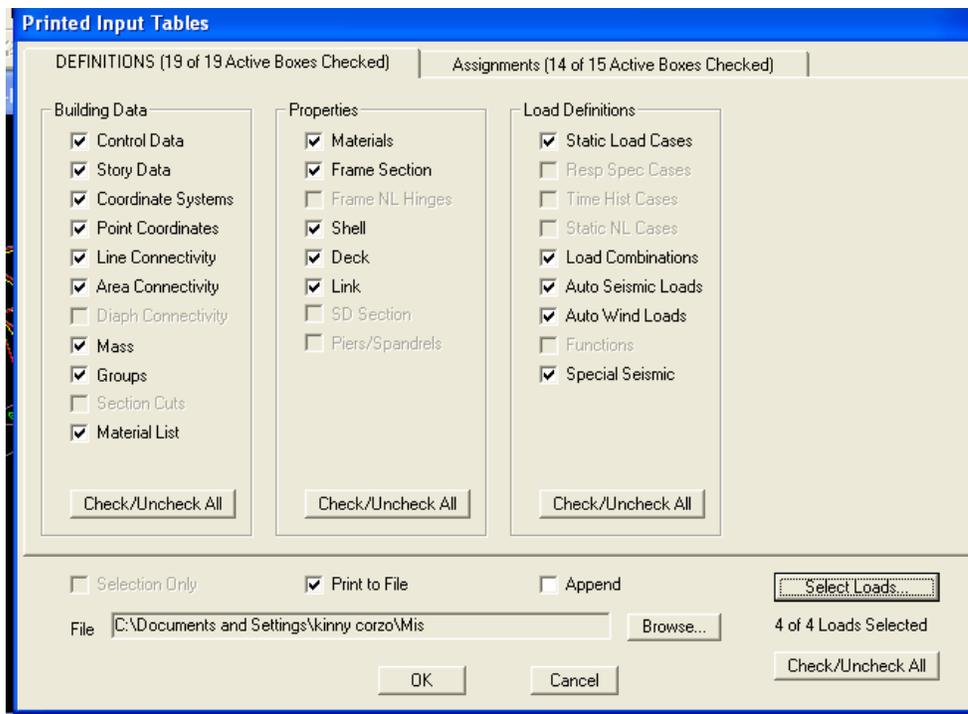
**Figura 114.** Área necesaria para corte (pulgada<sup>2</sup>)



#### 4.11 Datos obtenidos con etabs®

Para obtener los resultados que ha calculado el programa se da click en el *Menu file > print tables > input* y aparecerá la tabla de la figura 115.

**Figura 115.** Tabla de selección de resultado de ETABS®



Y se seleccionan las casillas que se desean ver los resultados, después de nuevo se hace click en el *menú file > display input/ output text file*, para observar los resultados.

## CONCLUSIONES

Con la información obtenida en la demostración del programa ETABS®, se puede concluir lo siguiente.

1. La utilización de programas automatizados de estructuras llevan a una optimización del diseño estructural, por lo consiguiente la utilización del programa ETABS® siendo uno de los programas estructurales que existen se pueden obtener grandes beneficios, ya sea en rapidez en el Cálculo estructural de algún proyecto requerido con la facilidad en el manejo del programa.
2. Con esta explicación del programa ETABS®, para el diseño estructural. Se deja una guía para el manejo del programa, y con esto poder desarrollar modelos estructurales.
3. Se demuestra la eficacia que posee el programa ETABS® en el Cálculo estructural con esto se desea despertar la introducción de tecnología por medio de software a todos los cursos profesionales, en el área de Ingeniería Civil.
4. Este programa es una herramienta de gran utilidad para el ingeniero que diseña estructuralmente y ayuda a minimizar errores que se cometen en el diseño con la exactitud mostrada que posee.
5. El programa por si solo no puede ser manejado, es necesario la participación de una persona capacitada en el ramo de ingeniería civil en el área de estructuras.



## RECOMENDACIONES

Para llevar a cabo la implementación de software en el área de ingeniería, es necesario tomar en cuenta las recomendaciones siguientes.

1. Utilizar este programa en los cursos del área de estructuras en la facultad y, así, poder darle una nueva perspectiva a los estudiantes y darles a conocer uno de los programas de estructuras que existen.
2. Utilizar el presente trabajo como una guía para el manejo del programa.
3. Implementar en los cursos profesionales la utilización de programas ya sea ETABS® en estructuras u otros programas estructurales que existen en el mercado.
4. Aplicar esta herramienta para el estudio y mejor aprendizaje, fácil y práctico en estructuras.
5. Este programa deber ser manejado por personal capacitado en estructuras para obtener los mejores resultados del mismo.



## REFERENCIAS

<sup>1</sup>  
Roberto Meli Piralla. Diseño estructural. (2º Edición; México: Editorial Limusa, 2000) p. 15

<sup>2</sup>  
Ver: Flores Córdova, Rudy Armando, (Tesis Ingeniero Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004)

<sup>3</sup>  
Este es el valor que corresponde a Guatemala según normas AGIES 2002

<sup>4</sup>  
Normas estructurales de diseño recomendadas para la República de Guatemala. AGIES NR: 2000. (Guatemala: s.e., 2002) p.p. 9-15

<sup>5</sup>  
Normas estructurales de diseño recomendadas para la República de Guatemala. AGIES NR: 2000. (Guatemala: s.e., 2002) p.p. 13-15

<sup>6</sup>  
Ver: Gonzáles, Robles, Casillas y Díaz de Cossio. Aspectos fundamentales del concreto reforzado. (México: Editorial Limusa, 1977) p.p. 303-320

<sup>7</sup>  
Ing. Juan Miguel Rubio. Ex-catedrático del área de estructuras, Facultad de Ingeniería USAC, 2002. Clase magistral

<sup>8</sup>  
Tomada de código ACI 318-99, para el predimensionamiento de vigas

<sup>9</sup>  
Ibid, comunicación personal

<sup>10</sup>  
Para ver una clasificación mas rigurosa consultar: Merritt, Frederick, Jonathan T. Ricktts. Manual integral para diseño y construcción. p.p. 5.3 y 5.4

<sup>11</sup>  
La que a su vez se subdivide en: cargas hidrostáticas y de empuje de tierra

12

En el presente trabajo se utiliza el método de la norma NR-3, AGIES. 1996

13

Apuntes obtenidos en curso Diseño Estructural primer semestre 2004.

14

Para el diseño de cargas de viento se utiliza la ecuación 1.2.13 y se utilizan los factores dados por las tablas del código UBC 1997, que aparecen en el anexo.

15

Para consultar otros métodos de cálculo de análisis estructural se puede ver: Ramírez Figueroa, Fredy A. Guía Práctica dirigida del curso de diseño estructural. (Tesis Ingeniero Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003) p.p. 39-54

16

Meli Piralla, *Op, Cit.*, p. 329

17

El programa ya los trae por naturaleza

18

Normas estructurales de diseño recomendadas para la República de Guatemala. AGIES NR: 2 2000. (Guatemala: s.e., 2002)

19

Se asume una losa de 0.12 m para el diseño de losas planas

20

Se asume un peso que el piso le transmite a la losa y esta a las vigas

21

Se toma de referencia lo visto en la sección 1.2.4

22

Tomado del resultado de la tabla en el anexo, es una guía para establecer la estructuración sismo-resistente de una edificación e integrar el índice de calidad "q" y el factor de reducción  $r_o$

23

Se hace el análisis para observar si la suma de fuerzas es igual a 0, con esto determinamos que no hay desplazamiento en el marco.

24

Se diseña el marco con ayuda del programa ETABS®

25

Se diseña el marco según secciones del estudiado en cross

26

Se utilizan las vigas propuestas en el modelo estudiado en cross.

27

Se utilizan las columnas propuestas en el modelo estudiado en cross

28

Se colocan las cargas sin ningún factor ya que el programa los coloca automáticamente

29

Se asignan las cargas muertas obtenidas en la sección 3.1.

30

Se asignan las cargas vivas obtenidas en tablas IX, X Y XI.

31

Se comparan los resultados

32

Se toman los ejemplos de comparación de resultados que se encuentran en el apéndice.

33

Se aplica tabla 9.5 (a), código ACI389-99, ver sección 2.8.1

34

Se utilizan las cargas vivas y muertas utilizadas en el marco de comparación entre el programa ETABS® y CROSS

35

Se definen las cargas actuantes en el edificio a diseñar, dejando que el programa calcule las cargas sísmicas según el UBC-97 y las cargas de viento según ASCE 7-98.

36

Los pasos que se deben de seguir son los mostrados en la sección 2.5 de este trabajo, para poder obtener los cuadros que aparecen en las figuras 106-109.

37

Para poder obtener las figuras 111-115, se toma como referencia la sección 2.10 de este trabajo

## BIBLIOGRAFIA

1. Ambrose, James. **Análisis y diseño de estructuras.** 2° ed. México: Editorial Limusa, 1998. 844 pp.
2. Bolt, B., A., **Terremotos,** Ediciones Orbis, Barcelona, 1986
3. Brocken Broug, Roger L. Frederick S. Merritt. **Manual de diseño de estructuras de acero.** 2° ed. Tomo II. Bogota, Colombia: Editorial McGraw-Hill, 1997. 225 pp.
4. **Código de diseño de hormigón armado basado en el ACI 318-99.** Chile: Comisión de diseño estructural en hormigón armado y albañilería perteneciente a la corporación de desarrollo tecnológico de la cámara chilena de la construcción (CDEHAA-CCC). 2000. 576 pp.
5. Dowrick, D. J. **Diseño de estructuras resistentes a sismos para ingenieros y arquitectos.** México: Editorial Limusa, 1984. 410 pp.
6. Espíndola, J.M., **El Tercer Planeta: Edad, estructura y composición de la Tierra, Fondo de Cultura Económica,** Col. La Ciencia desde México, 2a. reimpresión, 1993
7. Flores Córdova, Rudy Armando. **Diseño estructural del albergue San Miguel Febres Cordero ubicado en la colonia Venezuela zona 21 de Guatemala.** Tesis de Ingeniero Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004.191 pp.
8. Gere y Timoshenko. **Mecánica de materiales.** 4° ed. México: Editorial Internacional Thomson editores, 1998. 916 pp.
9. González Cuevas, Oscar M. **Análisis Estructural.** México: Editorial Limusa, 2002. 584 pp.

10. Instituto de La construcción y Gerencia Fondo Editorial ICG. **Diseño automatizado de estructuras sismo resistente ETABS®**. Seminario Internacional Especializado, Diciembre 2002, Lima, Perú. 90 pp.
11. Merritt, Frederick S. **Manual del Ingeniero civil**. 3° ed. Tomo I. México: Editorial McGraw-Hill, 1992. 477 pp.
12. Nawy, Edward S. **Concreto reforzado: un enfoque básico**. 1° ed. México: Editorial Prentice-Hall Hispanoamérica, S.A. 1989. 743 pp.
13. **Normas Estructurales de Diseño Recomendadas para la Republica de Guatemala**, Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES), NR-1, NR-2, NR-3, NR-4, NR-9: 1996 y 2000.
14. Paredes Ruiz, Paola Anaite. **Guía teórica y práctica del curso de diseño estructural**. Tesis de Ingeniero Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1995. 109 pp.
15. Suárez, G. y Z. Jiménez, **Sismos en la Ciudad de México y el terremoto de septiembre de 1985**, Cuadernos del Instituto de Geofísica, N

## **APÉNDICES**



## EJEMPLO DE UN MARCO PLANO DE TRES NIVELES CON RESPALDO AL ANALISIS DEL COMPONENTE DINAMICO CON ETABS®

### DESCRIPCIÓN

Este es un marco plano de 3 niveles proyectado a el CENTRO 1940 con un respaldo al componente sísmico en N-S, con un 5 por ciento variable.

El marco geométrico es mostrado en la Figura 1.

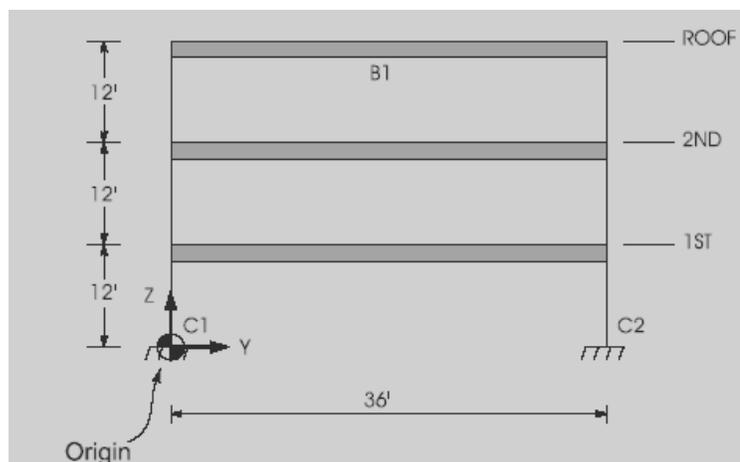
Opciones significativas activadas de ETABS®

Análisis del marco en 2 dimensiones.

Desplazamiento de las juntas rígidas en vigas y columnas automáticamente calculadas.

Respaldo al análisis del componente dinámico.

**FIGURA 1.** Planta de Marco de Tres Niveles



## **MODELO DE COMPUTACIÓN**

El marco está modelado como un sistema de línea de 2 columnas y un solo marco, un sistema sencillo, Kip-pulgada-segundos estas son las unidades utilizadas. Los otros parámetros asociados con la estructura son los siguientes:

Todas las columnas tienen dimensiones de W14X90

Todas las vigas están infinitamente rígidas y cuentan con una profundidad de 24”.

Modulo de Elasticidad= 29500 ksi

Masa de nivel típico = 0.4 kip-sec<sup>2</sup>/ plg

La columna está modelada para tener un área axial infinita para que la deformación axial sea omitida. También, el área de corte de la columna cero es suministrada para accionar la opción de ETABS® de omitir deformaciones de corte. Estas deformaciones son omitidas para que sea congruente con el modelo calculado a mano con el cual se compararan los resultados.

## **COMPARACIÓN DE RESULTADOS**

Asumiendo que las vigas son rígidas y un desplazamiento rígido en los bordes de las columnas de 24 pulgadas (i.e. igual a la profundidad de las vigas) y omitiendo ambas deformaciones de corte, axial y de traslape, la rigidez lateral del nivel para este ejemplo puede ser calculada.

El ejemplo entonces se reduce a un sistema de tres secciones y tres masas, con la misma rigidez y masa. Esto puede ser analizado utilizando cualquier método exacto para obtener los tres periodos naturales y la masa normalizada de la figura del sistema.

Los tres periodos naturales teóricos y las figuras de masa normalizada se comparan en la tabla. Con los resultados de ETABS®. Los resultados son idénticos.

**Tabla 1-1.** Comparación de Resultados

MODO	PERIODO (SEGUNDOS)	MODO DE FORMA	ETABS®	TEORICO
1	0.4414	Nivel de Techo	1.165	1.165
		2do. Nivel	0.934	0.934
		1er. Nivel	0.519	0.519
2	0.1576	Nivel de Techo	0.934	0.934
		2do. Nivel	-0.519	-0.519
		1er. Nivel	-1.165	-1.165
3	0.1090	Nivel de Techo	0.519	0.519
		2do. Nivel	-1.165	-1.165
		1er. Nivel	0.934	0.934

Los componentes de las aceleraciones en los tres periodos naturales pueden entonces interpolarse linealmente a partir de la componente respaldada usada.

Los componentes de las aceleraciones pueden ser utilizadas por turno con la información de las figuras y las masas del nivel para obtener las respuestas modales. Las respuestas modales para los desplazamientos del nivel y los momentos de las columnas pueden ser combinados utilizando el procedimiento de combinación cuadrática.

El desplazamiento del nivel y los momentos de la columna obtenidos de esta manera se comparan en la Tabla 1-2 con los resultados de ETABS®. Los resultados son idénticos.

**Tabla 1-2.** Comparación de Desplazamientos y Momentos en Columna

<b>CANTIDAD</b>	<b>ETABS®</b>	<b>TEORICO</b>
Desplazamientos de:		
Techo	2.139	2.139
2do. Nivel	1.715	1.715
1er. Nivel	0.955	0.955
Momento, Columna C1 y Base	11.730	11.730

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

Paz, M. 1985. Structural Dynamics, Theory and Computations, Van Nostrand Reinhold.

Przemieniecki, J.S. 1968. Theory of Matriz Structural Análisis. Mc-GrawHill.

Wilson, E.L., A.D. Kiureghian and E.P. Bayo 1981. A Replacement for the SRSS Method in Seismic Analysis. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 9.

## EJEMPLO DE UN MARCO PLANO DE SIETE NIVELES ANALISIS DE CARGAS DE GRAVEDAD Y LATERAL

### DESCRIPCION

Este es un marco plano de siete niveles. Las cargas de gravedad y la geometría del marco se muestran en la figura 2.

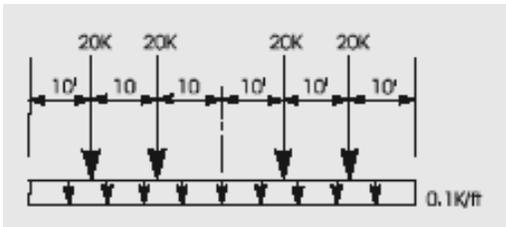
El marco está condicionado a las siguientes cargas laterales:

Cargas laterales estáticas Figura 1.

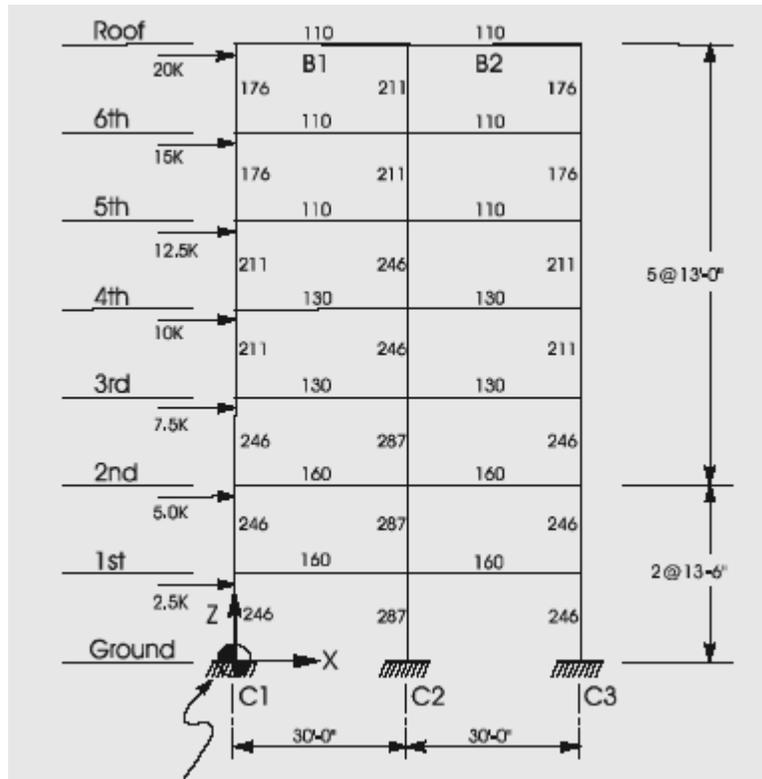
Cargas laterales resultantes procedentes de EL CENTRO 1940, Componente sísmico respaldado en N-S, con un 5 por ciento variable.

Cargas laterales resultantes procedentes de EL CENTRO 1940 N-S componentes de la aceleración histórica.

**Figura 1.** Cargas Verticales típicas en cada nivel



**Figura 2.** Marco Plano de Siete Niveles



Todas las columnas son de W14s.

Todas las vigas son de W24s.

Los demás miembros tienen su peso indicado.

La masa típica de cada nivel es de 0.49 kip-seg<sup>2</sup>/plg

### **OPCIONES SIGNIFICATIVAS ACTIVADAS EN ETABS®**

Análisis de marco de dos dimensiones.

Propiedades de las secciones especificadas por el usuario.

Cargas laterales especificadas por el usuario.

Análisis del componente de respuesta dinámica.

Análisis histórico dinámico.

## **MODELO DE COMPUTACIÓN**

El marco está modelado con líneas de tres columnas y dos ventanas. Se usan las unidades kip-pulg-seg. Debido a que los miembros de borde ancho utilizados son secciones más antiguas, sus propiedades no están disponibles en la base de datos de propiedades de sección AISC incluida en el programa ETABS®, por lo tanto las propiedades requeridas deben ser proporcionadas explícitamente en la información de entrada.

## **COMPARACIÓN DE RESULTADOS**

El marco del ejemplo se analiza en WILSON & HABIBULLAH para las cargas de gravedad, cargas laterales estáticas y las cargas de componentes de respuesta dinámica. DYNAMIC/EASE2. Analiza el marco del ejemplo bajo las cargas estáticas laterales y de componentes dinámicos y las cargas antiguas. La comparación de los resultados de ETABS® con WILSON & HABIBULLAH y DYNAMIC/EASE2. Se presenta en las tablas 1-1, 1-2, 1-3 y 1-4. Note la

diferencia entre la técnica de ETABS® Y WILSON & HABIBULLAH, el cual utiliza una combinación cuadrática completa y DYNAMIC/EASE2, que se usa la combinación de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados. La comparación de los resultados para los tres análisis es excelente.

**Tabla 1-1.** Comparación de Resultados por Carga Lateral Estática

<b>CANTIDAD</b>	<b>ETABS®</b>	<b>WILSON AND HABIBULLAH</b>	<b>DYNAMIC/EASE</b>
Desplazamiento Lateral de Techo	1.4508	1.4508	1.4508
Fuerza Axial en Columna C1 en Suelo	69.99	69.99	69.99
Momento en Columna C1 en Suelo	2324.68	2324.68	2324.68

**Tabla 1-2.** Comparación de Resultados por Periodos de Vibración

<b>MODE</b>	<b>ETABS®</b>	<b>WILSON AND HABIBULLAH</b>	<b>DYNAMIC/EASE2</b>
1	1.27321	1.27321	1.27321
2	0.43128	0.43128	0.43128
3	0.24204	0.24204	0.24204
4	0.16018	0.16018	0.16018
5	0.11899	0.11899	0.11899
6	0.09506	0.09506	0.09506
7	0.07951	0.07951	0.07951

**Tabla 1-3.** Comparación de Resultados del Análisis de la Componente Resultante

<b>CANTIDAD</b>	<b>ETABS® CQC Combinación</b>	<b>Wilson and Habibullah CQC Combinación</b>	<b>DYNAMIC/EASE2 SRSS Combinación</b>
Desplazamiento Lateral en Techo	5.4314	5.4314	5.4378
Fuerza Axial Columna C1 en Suelo	261.52	261.50	261.76
Momento Columna C1 en Suelo	9916.12	9916.11	9968.25

**Tabla 1-4.** Comparación de Resultados de Análisis Histórico

<b>CANTIDAD</b>	<b>ETABS®</b>	<b>WILSON AND HABIBULLAH</b>
Máximo Desplazamiento en Techo	5.49	5.48
Máximo Corte en Base	285	284
Máxima Fuerza Axial Columna C1 en Suelo	263	258
Máximo Momento Columna C1 en Suelo	9104	8740

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

DYNAMIC/EASE2. Static and Dynamic Análisis of Multistory Frame Structures Using. DYNAMIC/EASE2, Engineering Analysis Corporation and Computers and Structures, Inc. Berkeley, California.

Wilson, E.L. and A. Habibullah 1992. SAP90, Sample Example and Verification Manual. Computers and Structures, Inc Berkeley, California.



## **ANEXOS**



**GUIA PARA ESTABLECER LA ESTRUCTURACION SISMO-RESISTENTE DE UNA EDIFICACION E INTEGRAR EL INDICE DE CALIDAD "Q" Y EL FACTOR DE REDUCCION  $R_o$**

**EDIFICACION** (nombre) : \_\_\_\_\_  
 Clasificación de obra: (Sección 1-1.3 Agies 1996 NR-1) \_\_\_\_\_  
 Índice de sismicidad del sitio: (Sección 2-2.1.1 Agies 1996 NR-2) \_\_\_\_\_  
**NIVEL DE PROTECCION REQUERIDO** (Sección 2-2.1.2 Agies 1996 NR-2) \_\_\_\_\_, Asignado \_\_\_\_\_  
 Perfil del suelo: (Sección 2-2.2.3 Agies 1996 NR-2) \_\_\_\_\_  
 Aceleración máx. Efectiva del terreno:  $A_o =$  \_\_\_\_\_ Figura 2-2/1 Agies 1996 NR-2

**TIPO DE ESTRUCTURA** (Sección 3-1.3.1 Agies 1996 NR-3) \_\_\_\_\_, Anotar si aplica Sección 3-1.3.4 Agies 1996 NR-3) \_\_\_\_\_  
 Anotar si aplica alguna restricción por Sección 3-1.3.6 ó 3-1.3.7 Agies 1996 NR-3) \_\_\_\_\_

**DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA** \_\_\_\_\_, Adjuntar planta esquemática  
 Número de pisos, bajo el suelo \_\_\_\_\_ Sobre el suelo \_\_\_\_\_  
 Altura total, bajo el suelo \_\_\_\_\_ Sobre el suelo \_\_\_\_\_  
 Longitud X máx., bajo el suelo \_\_\_\_\_ Sobre el suelo \_\_\_\_\_  
 Longitud Y máx., bajo el suelo \_\_\_\_\_ Sobre el suelo \_\_\_\_\_  
 (Longitudes X y Y son entre extremos)

CONFIGURACION DE LA EDIFICACION Índices $q_1$ conforme la sección 3-1.4 AGIES 1996 NR-3	Dirección de análisis		Valores $q_1$ de referencia	
	--X--	--Y--	min.	Máx.

Numeral 3-1.4.2 AGIES 1996 NR-3	<b>Redundancia estructural</b>				
	Numero de tramos	$q_{x1} =$ _____	$q_{y1} =$ _____	-3.0	2.5
	Número de ejes estructurales	$q_{x2} =$ _____	$q_{y1} =$ _____	-3.0	2.5
	Presencia de muros o riostras	$q_{x3} =$ _____	$q_{y1} =$ _____	0.0	3.5

Numeral 3-1.4.2 AGIES 1996 NR-3	<b>Configuración de planta</b>			
	Regularidad en planta	$q_4 =$ _____	-3.0	+2.5
	Excentricidad en planta	$q_{x5} =$ _____, $q_{y5} =$ _____	-3.0	+2.5
Isotropía en planta	$Q_6 =$ _____	-3.0	+2.5	

Numeral 3- 1.4.3 AGIES 1996 NR-3	<b>Configuración vertical</b>				
	Cambios de rigidez Posición elementos no est.	$q_{x7} = \underline{\hspace{1cm}}$ $q_{x8} = \underline{\hspace{1cm}}$	$q_{y7} = \underline{\hspace{1cm}}$ $q_{y8} = \underline{\hspace{1cm}}$	-5.0 -5.0	0.0 0.0
FACTOR "Q" DE CALIDAD SISMO- RESISTENTE Numeral 3-1.2.3 Ec. 3-1/2 AGIES 1996		$Q_x = \underline{\hspace{1cm}}$	$Q_y = \underline{\hspace{1cm}}$	-25.0	+16.0
FACTOR "R <sub>o</sub> " DE REDUCCION DE RESPUESTA Numeral 3-1.2.2 cuadro. 3-1/A AGIES 1996		$R_x = \underline{\hspace{1cm}}$	$R_y = \underline{\hspace{1cm}}$		

Fuente Normas Estructurales de diseño recomendadas para la republica de Guatemala, AGIES NR-3: 1996, p.3-1/5

**FACTOR “R<sub>o</sub>” DE REDUCCION DE RESPUESTA SISMICA POR CAPACIDAD  
POST-ELASTICA (DUCTILIDAD) DE LA ESTRUCTURA**

SISTEMA ESTRUCTURAL Véase norma Agies NR-3 numeral3-1.3.1	SISTEMA VERTICAL SISMO-RESISTENTE	FACTOR R <sub>o</sub> Véase norma Agies NR-3 numeral3- 1.2.2
E1. SISTEMA DE CAJON	Con muros estructurales:	
	De mampostería reforzada	2.5
	De concreto reforzado	3.5
	De mampostería sin refuerzo	1.0
	De mampostería parcialmente reforzada	1.7
	De madera	4.0
E2. SISTEMA DE MARCOS E2-1 marcos ordinarios: E2-2. marcos especiales:	Con marcos arriostrados	3.0
	De acero estructural	3.5
	De concreto reforzado	1.7
	De acero estructural	5.5
	De concreto reforzado	5.0
E3. SISTEMA COMBINADO DE MUROS Y MARCOS:	Con muros de mampostería reforzada	3.5
	Con muros de concreto reforzado	5.5
	Con marcos arriostrados en vez de muros	
	Arriostres ordinarios	3.5
	Arriostres excéntricos	4.0
E4. SISTEMA DUAL DE MUROS Y MARCOS	Con muros de mampostería reforzada	3.5
	Con muros de concreto reforzado	5.5
	Con marcos arriostrados en vez de muros	
	Arriostres ordinarios	3.5
	Arriostres excéntricos	5.0
E5. PENDULO INVERTIDO	De concreto reforzado	
	Confinado	2.0
	Ordinario	No usar
	De estructura de acero	
	Con detalles ordinarios	1.0
	Con detalles sísmicos	2.0
	De estructura de madera	2.5
E6: OTRO TIPO Clasificar como E5 o bien consultar exclusiones específicas en los Capítulos 3-7,3-8,3-9 y subsiguientes agregados a normas AGIES.		

Fuente Normas Estructurales de diseño recomendadas para la republica de Guatemala, AGIES NR-3: 1996, p.3-1/4

**TABLA 16-F PRESIÓN ESTÁTICA DEL VIENTO ( $q_s$ )**

Velocidad básica del viento (mph) ( x 1.61 para km/h)	70	80	90	100	110	120	130
Presión $q_s$ (psf) ( x 0.0479 para kN/m <sup>2</sup> )	12.6	16.4	20.8	25.6	31.0	36.9	43.3

Fuente UNIFORM BUILDING CODE (UBC) 1997

**TABLA 16-G ALTURA, EXPOSICIÓN Y COEFICIENTE DE FACTOR DE RÁFAGA COMBINADOS ( $C_s$ )**

Altura calculada arriba del nivel contiguo del suelo	EXPOSICION D	EXPOSICION C	EXPOSICION B
x 304.8 para mm			
0 -15	1.39	1.06	0.62
20	1.45	1.13	0.67
25	1.50	1.19	0.72
30	1.54	1.23	0.76
40	1.62	1.31	0.84
60	1.73	1.43	0.95
80	1.81	1.53	1.04
100	1.88	1.61	1.13
120	1.93	1.67	1.20
160	2.02	1.79	1.31
200	2.10	1.87	1.42
300	2.23	2.05	1.63
400	2.34	2.19	1.80

Fuente UNIFORM BUILDING CODE (UBC) 1997

**TABLA 16-H COEFICIENTES DE PRESIÓN (C<sub>q</sub>)**

<b>ESTRUCTURA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>FACTOR C<sub>q</sub></b>
<b>1. sistemas primarios y marcos</b>	<b>Método de fuerza normal:</b>  PAREDES: Barlovento en pared Sotavento en pared  TECHOS: Viento perpendicular a su rigidez Sotavento en techos Barlovento en techos <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Que tengan menos de 16.67 % de pendiente</li> <li>➤ Que tengan entre 16.67 % y 75 % de pendiente</li> <li>➤ Que tengan entre 75 % y 100 % de pendiente</li> <li>➤ Que tengan 100 % de pendiente</li> </ul> Viento paralelo a su rigidez	0.8 hacia dentro 0.5 hacia fuera  0.7 hacia fuera  0.7 hacia fuera 0.9 ext. O 0.3 int. 0.4 hacia dentro 0.7 hacia dentro  0.7 hacia fuera
	<b>Método de área proyectada:</b>  En área proyectada verticalmente <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Estructuras de 40 pies o menores de alto</li> <li>➤ Estructuras sobre 40 pies de alto</li> </ul> En área proyectada horizontalmente	1.3 horizontal 1.4 horizontal  0.7 hacia arriba
<b>2. Elementos y componentes en áreas no discontinuas</b>	<b>Elementos en paredes</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Toda la estructura</li> <li>➤ Estructuras cerradas y no cerradas</li> <li>➤ Estructuras parcialmente cerradas</li> <li>➤ Parapetos</li> </ul>	1.2 hacia dentro 1.2 hacia fuera 1.6 hacia fuera 1.3 ext. O int.
	<b>Elementos en Techos:</b>  Estructuras cerradas y no cerradas <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Pendiente menor de 58.3 %</li> <li>➤ Pendiente entre 58.3 % y 100 %</li> </ul> Estructuras parcialmente cerradas <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Pendiente menor de 16.7 %</li> <li>➤ Pendiente entre 16.7 % y 58.3 %</li> <li>➤ Pendiente entre 58.3 % y 100 %</li> </ul>	1.3 hacia fuera 1.3 ext. O int.  1.7 hacia fuera 1.6 ext. O 0.8 int. 1.7 ext. O int.

<p><b>3. Elementos y componentes en áreas discontinuas</b></p>	<p>Esquinas en paredes .</p> <p>Alerones en techos, rastrillos o sin bordillos salientes</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Pendiente menor de 16.7 %</li> <li>➤ Pendiente entre 16.7 % y 58.3 %</li> <li>➤ Pendiente entre 58.3 % y 100 %</li> </ul> <p>Para pendientes menores de 16.7 %</p> <p>Alerones de techos salientes, rastrillos o bordillos y Toldos</p>	<p>1.5 ext. O 1.2 int.</p> <p>2.3 hacia arriba</p> <p>2.6 hacia fuera</p> <p>1.6 hacia fuera</p> <p>0.5 añadir por encima del valor</p>
<p><b>4. Chimeneas, tanques y torres sólidas</b></p>	<p><b>Forma Cuadrada o rectangular</b></p> <p><b>Forma Hexagonal o octogonal</b></p> <p><b>Forma Redonda o elíptica</b></p>	<p>1.4 cual. Direc.</p> <p>1.1 cual. Direc.</p> <p>0.8 cual. Direc.</p>
<p><b>5. Marcos abiertos en torres</b></p>	<p><b>Cuadrado y rectangular:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Diagonal</li> <li>➤ Normal</li> </ul> <p><b>Triangular</b></p>	<p>4.0</p> <p>3.6</p> <p>3.2</p>
<p><b>6. Accesorios en Torres (tales como escaleras, conductos, lámparas y elevadores)</b></p>	<p><b>Miembros cilíndricos:</b></p> <p>Diámetros de 2 plg. O menores</p> <p>Diámetros mayores de 2 plg.</p> <p>Miembros planos o angulares</p>	<p>1.0</p> <p>0.8</p> <p>1.3</p>
<p><b>7. Señales, Astas de banderas, Postes de alumbrado y estructuras menores</b></p>		<p>1.4 en cualquier dirección</p>

Fuente UNIFORM BUILDING CODE (UBC) 1997