

## **IV. EJEMPLO DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO POR MEDIO DEL ANÁLISIS NO LINEAL ESTÁTICO**

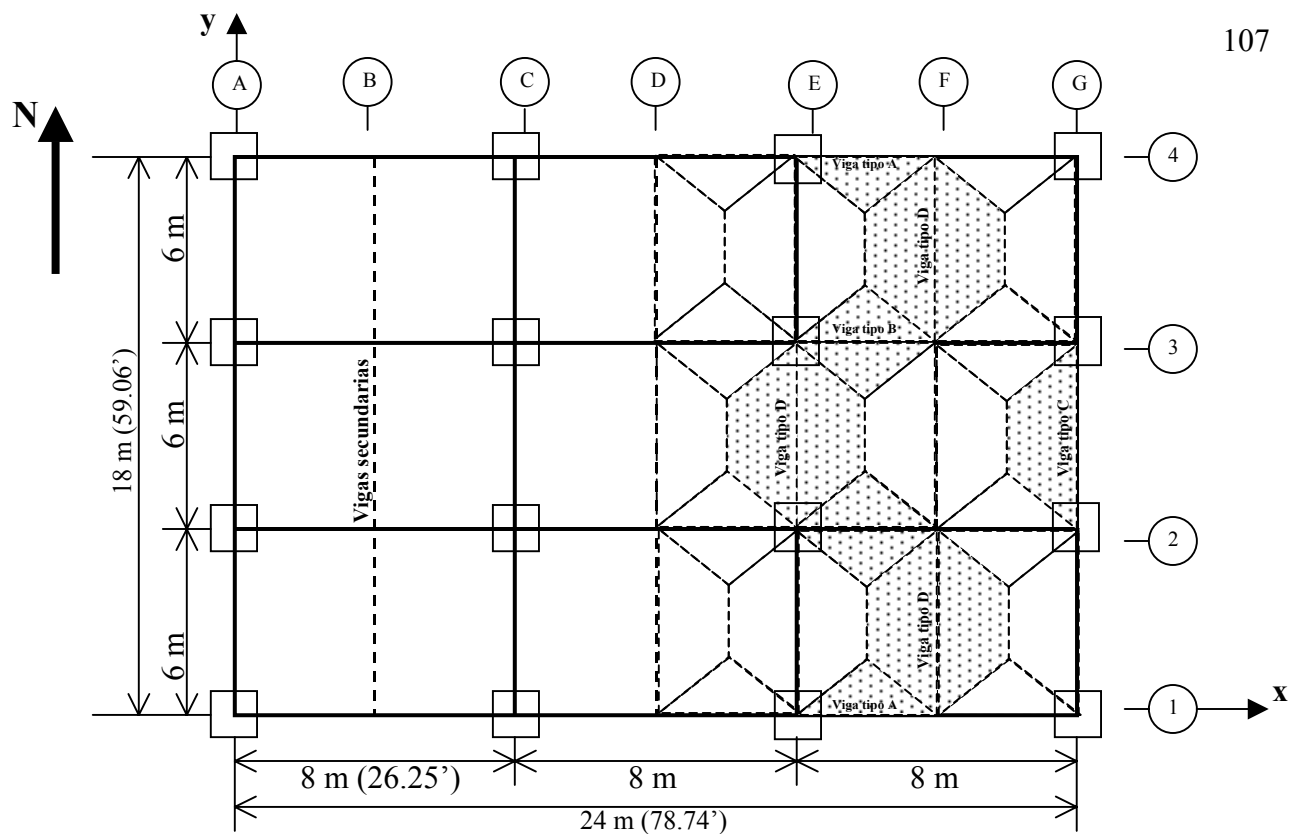
### **A. Descripción de las características principales de la estructura**

#### **1. Datos generales, ocupación, colindancias y confiabilidad de los datos**

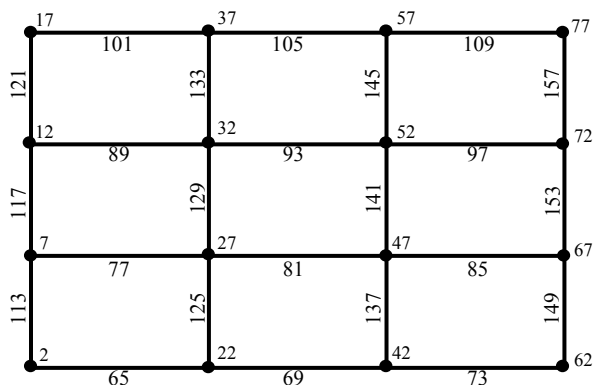
Se ha decidido evaluar un edificio de concreto reforzado localizado en la Zona 1 de la Ciudad de Guatemala. El edificio fue construido en 1974 y presenta un sistema estructural de marcos de concreto reforzado en ambos sentidos. El edificio tiene cuatro niveles con una altura total de 12 m. Está ocupado por oficinas y el número de personas, entre trabajadores y visitantes, es de aproximadamente 150. El edificio presenta colindancias en el lado norte, éste y oeste. Todos estos datos generales y los planos estructurales del edificio fueron proporcionados por el administrador, por lo que se puede asegurar la confiabilidad de los mismos.

#### **2. Geometría y características principales de la estructura**

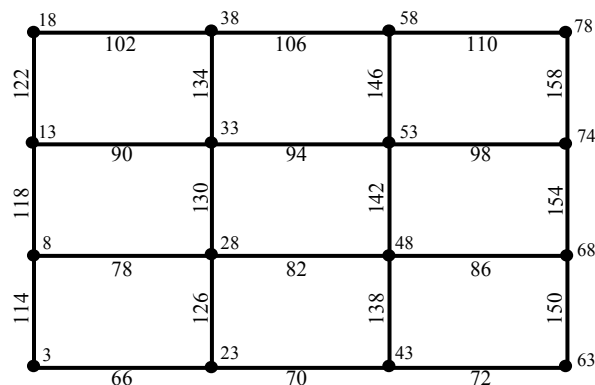
El edificio presenta un sistema estructural de marcos de concreto reforzado en ambos sentidos. En la dirección “y” presenta tres luces de 6 metros cada una y en la dirección “x” 3 luces de 8 metros. El área total del edificio es 432 metros cuadrados. En la dirección “y” presenta vigas secundarias localizadas en la parte media de las luces de 8 metros. Posee un total de 80 nudos principales y un total de 160 elementos, entre vigas y columnas. En la Figura 30 se puede observar la geometría general de la planta del edificio, la numeración de los elementos y nudos de cada uno de los niveles y las áreas tributarias para cada uno de los tipos de viga. En el Cuadro 38 se muestra la geometría y las características principales del concreto y del refuerzo de columnas, vigas y losas.



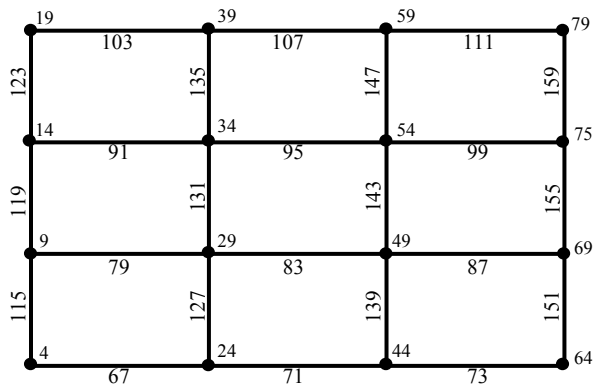
(a) Planta acotada



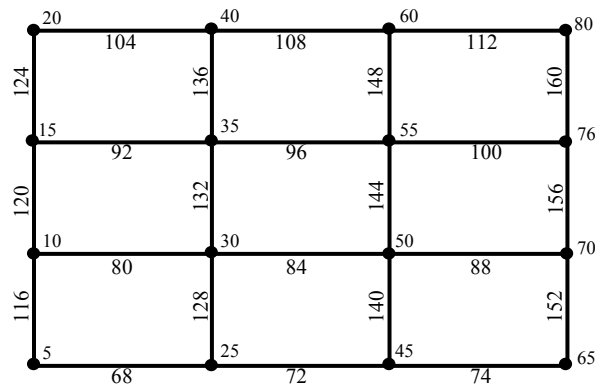
(b) Elementos y nudos nivel 2



(c) Elementos y nudos nivel 3



(d) Elementos y nudos nivel 4



(e) Elementos y nudos nivel 5

Figura 30: Planta acotada y numeración de nudos y elementos por nivel

**Cuadro 38: Geometría y características del concreto y del refuerzo de columnas, vigas y losas**

Elemento	$f'_c$ en lb/plg <sup>2</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	$f_y$ en lb/plg <sup>2</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	Dimensiones (cm)	Varillas
Columnas	4000 (281)	60,000 (4,218)	70 x 70	12 # 8
Vigas			50 x 75	8 # 6
Vigas secundarias			30 x 45	6 # 6
Losas			12 (peralte)	N/A

### **B. Evaluación de vulnerabilidad sísmica de la estructura:**

Antes de realizar una evaluación sísmica detallada del edificio se evaluó su vulnerabilidad por medio de un proceso visual rápido, en el que se aplicaron los criterios descritos en el inciso C, Capítulo I de este trabajo. Esta evaluación de vulnerabilidad tuvo como objetivo principal determinar las condiciones generales del edificio y sirvió también para verificar si existe la necesidad de realizar un análisis estático no lineal. Los resultados finales de esta evaluación fueron los siguientes:

1. Se determinó que la estructura principal es de marcos de concreto reforzado y por lo tanto se le asignó el sistema estructural de Marcos de Concreto Resistentes a Momento, que en la boleta de vulnerabilidad se designa como C1. La calificación estructura (CE), para este sistema estructural, es de 2.0.
2. Los factores modificadores que afectan la vulnerabilidad del edificio son los siguientes:
  - a. Mal mantenimiento (CE = -0.5): por simple observación se determinó que el edificio no ha tenido mantenimiento estructural durante varios años.
  - b. Colisión entre edificios (CE = -0.5): se determinó que no existe junta de construcción en la colindancia norte.

- c. Elementos no estructurales ( $CE = -0.1$ ): el edificio presenta en su interior un número considerable de elementos no estructurales, tales como: muros de relleno de mampostería, ventanería, cielo falso y lámparas.
  - d. Código de diseño sísmico: el edificio fue construido en 1974 y existe certeza de la utilización de un código de diseño para su construcción. Por lo tanto, la calificación por la aplicación de código de diseño sísmico, según el Cuadro 4, es de +1.50.
  - e. Se seleccionó un tipo de suelo S2, es decir un suelo firme cuyo basamento rocoso se encuentra a más de 50 metros de profundidad y está formado por cenizas volcánicas, suelos granulares densos, limos densos o arcillas firmes. Por lo tanto la calificación estructural para el suelo tipo S2 es de +0.00.
3. La calificación estructural final de la estructura, que se obtiene a partir de la resta de la calificación estructural menos las calificaciones de los factores modificadores, es de +2.40. La calificación estructural final del edificio es de  $C = +2.40$  y por lo tanto, según el Cuadro 5, el edificio presenta una vulnerabilidad estructural mínima. Como la calificación estructural  $C$  es mayor que 1.50, no es necesario un análisis estático no lineal para determinar la capacidad sismorresistente del edificio. Sin embargo, el propietario del edificio solicitó un análisis estructural detallado para determinar su estado actual. Por lo tanto, sí se realizará un análisis inelástico.

En la Figura 31 se muestra la boleta de vulnerabilidad utilizada para la evaluación de este edificio.

### METODO DE EVALUACION VISUAL RAPIDO

Nombre: Ejemplo de evaluación rápida de vulnerabilidad de un edificio de concreto reforzado  
 Dirección: Zona 1, Ciudad de Guatemala, Guatemala Código Postal: 01001  
 Otra identificación: Edificio con fachada principal pintada de amarillo  
 Número de Pisos: 4 Niveles Área Total en m<sup>2</sup>: 432 m<sup>2</sup>  
 Uso: Oficinas Año de Construcción: 1974  
 Inspector: Ingeniero Civil, Juan Carlos Castillo Valdez, Colegiado No. 5719 Fecha: 12/05/2003

¿Estructura definida en las dos direcciones?  SI  NO PLANTA Y ELEVACION Escala:

OCUPACION		CALIFICACION ESTRUCTURAL Y FACTORES DE MODIFICACION														
Residencial	No. Personas	TIPO DE ESTRUCTURA	M	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2	C3	CC	CP	MS	MM	MNR
Comercial	0 - 10	Calificación Básica	4.5	4.5	3.0	5.5	3.6	1.5	2.0	3.0	1.5	2.0	1.5	3.0	2.5	1.0
Oficinas	11 - 100	Gran Altura	N/A	-2.0	-1.0	N/A	-1.0	-0.5	-1.0	-1.0	-0.5	N/A	-0.5	-1.0	-1.0	-0.5
Industrial	100+	Mal Mantenimiento	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
Reun. Públicas		Irregularidad Vertical (a)	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
Escuelas/Inst.		Irregularidad Vertical (m)	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
Edif. Gub.		Irregularidad Vertical (b)	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2
Serv. Emergencia		Nivel Suave	-1.0	-2.5	-2.0	-1.0	-2.0	-1.0	-2.0	-2.0	-1.0	-1.0	-2.0	-2.0	-2.0	-1.0
Edif. Histórica		Torsión	-0.8	-1.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
Peligros de Colindancias	<input checked="" type="checkbox"/> Si	Irregularidad Planta (a)	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
Otros Peligros:	Peligro en la colindancia norte.	Irregularidad Planta (m)	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
		Irregularidad Planta (b)	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2
		Colisión entre edificios	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
		Pan. pesados p/fach	N/A	-1.5	-1.5	-1.5	N/A	N/A	-1.0	N/A	N/A	N/A	-1.0	N/A	N/A	N/A
		Columnas Cortas (a)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
		Columnas Cortas (b)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	N/A	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
		Col. aisladas men. 30X30	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	N/A	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
		Elementos No Estruct.	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
		Cód. Diseño Sísmico							+1.5							N/A
CONFIABILIDAD DE DATOS		S1 Edificio alto	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0
		S1 Edificio bajo	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
	* = Estimado, Subjetivo o Información no real	S2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		S3	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
		S3 & de 8 a 20 niveles	N/A	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
DESC = Desconocido		CALIFICACION FINAL							+2.4							

COMENTARIOS:

- Elementos no estructurales: muros de relleno de mampostería, ventanería, cielo falso y lámparas de iluminación.
- Por solicitud del propietario del edificio, se realizará un análisis estático no lineal.

¿Se requiere de Evaluación Detallada?  
 SI  NO

Figura 31: Boleta de vulnerabilidad del edificio en estudio

## **C. Evaluación Estructural Detallada**

### **1. Lineamientos en el uso de programas de computadora**

Para la realización del análisis no lineal estático del edificio en mención es necesario de un programa de análisis estructural en computadora. Para este ejemplo, se usó el SAP 2000 Non Linear V8 que cuenta con la herramienta del análisis inelástico. Para poder realizar este análisis en un programa de computadora se deben seguir los siguientes pasos principales:

1. Especificar la geometría de la estructura.
2. Definir las propiedades de los materiales.
3. Especificar los elementos que forman parte de la estructura. Aquí se deben definir las características de las secciones transversales de los elementos del edificio. Estas características dependerán del material seleccionado.
4. Asignar a los elementos del modelo estructural las secciones especificadas en el paso anterior.
5. Asignar restricciones a los elementos y a los nudos. En el caso de tener diafragma rígido, se debe verificar que las vigas tengan restringidos los giros horizontales. Además, los nudos en la base de la estructura se deben definir empotrados y el resto libres.
6. Definir los casos de carga estática. Aquí se deben especificar los casos de carga viva, carga muerta, sismo en una o en varias direcciones, etc.
7. Asignar las cargas estáticas a los nudos y/o elementos.

8. Asignar la masa en los nudos, correspondiente al peso propio de losas, acabados en losas, piso, relleno, sobrecarga muerta (tabiques) etc.
9. Especificar las restricciones del diafragma rígido o flexible.
10. Definir las propiedades y el tipo de articulaciones que se asignarán a los elementos. En el programa SAP 2000 Non Linear V8 existen 4 tipos de articulaciones:
  - **Articulación PMM:** su cedencia está basada en la interacción de carga axial con momentos flexionantes en el punto que se asigne.
  - **Articulación P:** su cedencia está basada en la carga axial aplicada en el punto que se asigne.
  - **Articulación M3:** su cedencia está basada en los momentos flexionantes en el punto que se asigne.
  - **Articulación V2:** su cedencia está basada en las fuerzas de corte aplicadas en el punto que se asigne.
11. Asignar las articulaciones definidas en el paso anterior a los elementos del modelo estructural.
12. Definir los casos de carga estática “pushover”. En este paso se debe definir el desplazamiento total del edificio y el número mínimo y máximo de iteraciones (incrementos de desplazamiento) que hará el análisis inelástico. En el programa SAP 2000 Non Linear V8 existen 4 distintos métodos que describen la distribución de carga lateral en la estructura para casos de carga “pushover”:

- **Aplicación de una aceleración uniforme.** En este caso, la fuerza lateral se aplica automáticamente a los nudos, de acuerdo a su masa tributaria.
  - **Aplicación de una fuerza lateral a cada nudo, de acuerdo al modo de vibración.** Esta fuerza es proporcional al producto de la forma del modo por la frecuencia circular al cuadrado por la masa tributaria a cada nudo.
  - **Aplicación de un patrón de carga estática arbitraria.**
  - Combinación de cualquiera de los tres métodos descritos con anterioridad.
13. Correr el análisis inelástico y visualizar la formación de articulaciones en los elementos del modelo estructural en cada una de las iteraciones realizadas por el programa. También se debe visualizar el espectro de capacidad vs. demanda y el punto de desempeño de la estructura y comparar los resultados obtenidos con los límites específicos deseados para el edificio. Para determinar la estabilidad global del edificio, es recomendable, pero no obligatorio, realizar un análisis estático y dinámico, dentro del rango lineal.

## **2. Modelo de la estructura**

### **a. Cargas distribuidas y cargas puntuales en vigas**

Para cada una de las vigas del edificio, se tuvieron que determinar las cargas distribuidas y puntuales. Para realizar esto, se determinó la carga muerta y carga viva del edificio. Es importante mencionar que el programa de computación automáticamente calcula el peso propio de los elementos estructurales. En el Cuadro 39 se muestra la integración de la carga muerta total y la carga viva.

**Cuadro 39: Integración de la carga muerta total y la carga viva**

Tipo de carga	Carga en kg/m <sup>2</sup>	Carga en lb/pie <sup>2</sup>
Peso propio losa	288.00	59.00
Acabados losa	30.00	6.15
Piso	70.00	14.34
Relleno del piso	50.00	10.25
Sobrecarga muerta	98.00	20.00
<b>Carga muerta total (CM)</b>	<b>536.00</b>	<b>109.74</b>
<b>Carga viva (CV)</b>	<b>98.00</b>	<b>20.00</b>

La carga distribuida, generada por la carga muerta y carga viva, en las vigas se presenta en los cuadros 40, 41, 42 y 43. En la Figura 32 y 33 se presentan las áreas tributarias para cada uno de los tipos de viga y la forma de las cargas uniformemente distribuidas.

**Cuadro 40: Vigas tipo A:***Vigas nivel 2: 65, 69, 73, 101, 105 y 109;**Vigas nivel 3: 66, 70, 74, 102, 106 y 110;**Vigas nivel 4: 67, 71, 75, 103, 107 y 111;**Vigas nivel 5: 68, 72, 74, 104, 108 y 112.*

<b>W<sub>CM</sub> en lb/pie</b>	<b>W<sub>CM</sub> en kg/m</b>	<b>W<sub>CV</sub> en lb/pie</b>	<b>W<sub>CV</sub> en kg/m</b>
219.48	326.62	40.00	59.53

**Cuadro 41: Vigas tipo B:***Vigas nivel 2: 77, 81, 85, 89, 93 y 97;**Vigas nivel 3: 78, 82, 86, 90, 94 y 98;**Vigas nivel 4: 79, 83, 87, 91, 95 y 99;**Vigas nivel 5: 80, 84, 88, 92, 96 y 100.*

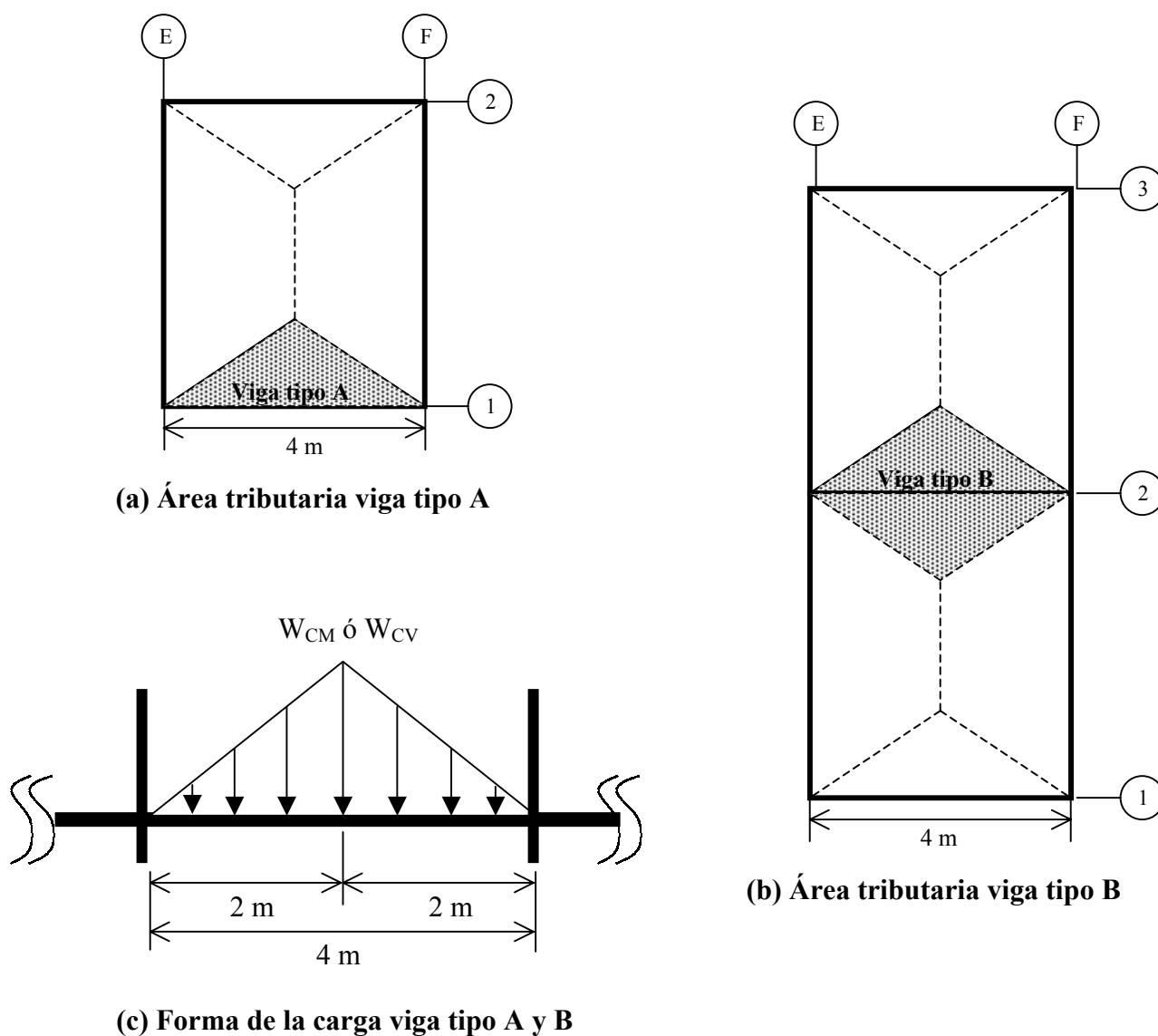
<b>W<sub>CM</sub> en lb/pie</b>	<b>W<sub>CM</sub> en kg/m</b>	<b>W<sub>CV</sub> en lb/pie</b>	<b>W<sub>CV</sub> en kg/m</b>
438.96	653.24	80.00	119.05

**Cuadro 42: Vigas tipo C:***Vigas nivel 2: 113, 117, 121, 149, 153 y 157;**Vigas nivel 3: 114, 118, 122, 150, 154 y 158;**Vigas nivel 4: 115, 119, 123, 151, 155 y 159;**Vigas nivel 5: 116, 120, 124, 152, 156 y 160.*

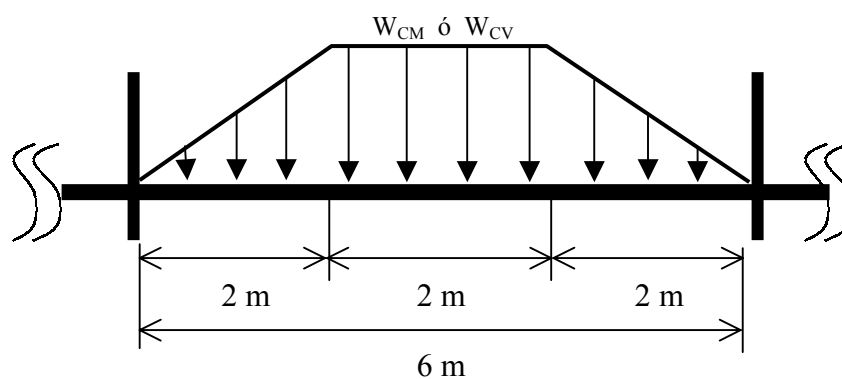
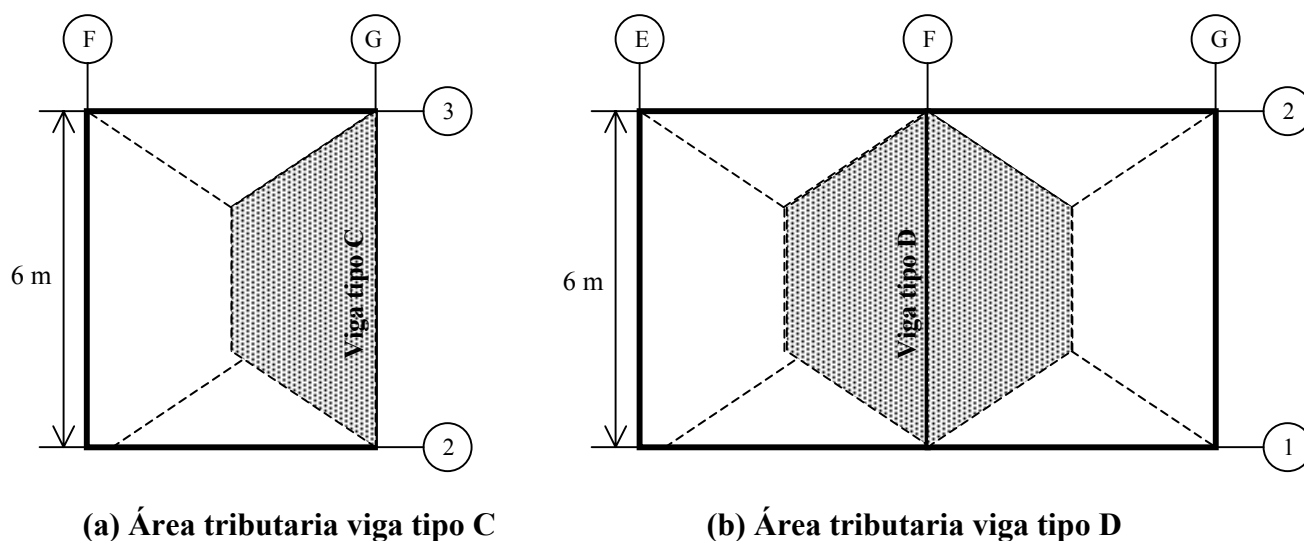
<b>W<sub>CM</sub> en lb/pie</b>	<b>W<sub>CM</sub> en kg/m</b>	<b>W<sub>CV</sub> en lb/pie</b>	<b>W<sub>CV</sub> en kg/m</b>
219.48	326.62	40.00	59.53

**Cuadro 43: Vigas tipo D:**  
**Vigas nivel 2: 125, 129, 133, 137, 141 y 145;**  
**Vigas nivel 3: 126, 130, 134, 138, 142 y 146;**  
**Vigas nivel 4: 127, 131, 135, 139, 143 y 147;**  
**Vigas nivel 5: 128, 132, 136, 140, 144 y 148;**  
**Vigas secundarias.**

$W_{CM}$ en lb/pie	$W_{CM}$ en kg/m	$W_{CV}$ en lb/pie	$W_{CV}$ en kg/m
438.96	653.24	80.00	119.05



**Figura 32: Áreas tributarias y forma de la carga para vigas tipo A y B**

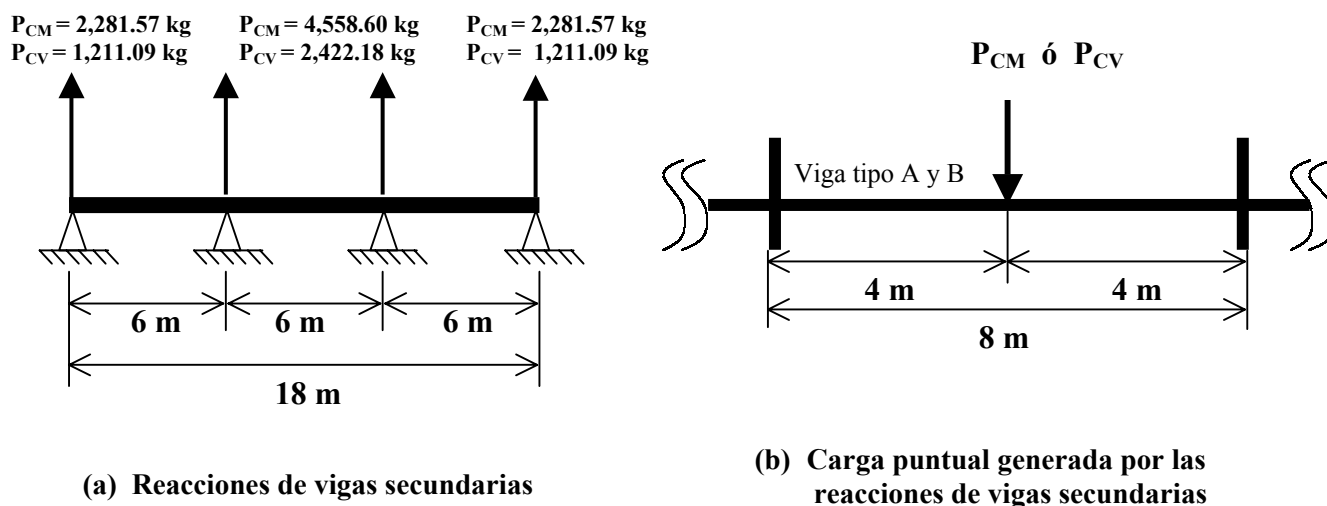


**Figura 33:** Áreas tributarias y forma de la carga para vigas tipo C y D

Las cargas puntuales, generadas por las vigas secundarias en las vigas tipo A y B, se presentan en el Cuadro 44. Estas cargas puntuales se calcularon con el uso del programa SAP 2000 Non Linear V8 y se modelaron con las reacciones generadas por los apoyos simples de las vigas secundarias, como se puede observar en la Figura 34.

**Cuadro 44:** Cargas puntuales generadas por las vigas secundarias en las vigas A y B

Tipo de viga	$P_{CM}$ en lb	$P_{CM}$ en kg	$P_{CV}$ en lb	$P_{CV}$ en kg
<b>A</b>	5,030.00	2,281.57	2,670.00	1,211.09
<b>B</b>	10,050.00	4,558.60	5,340.00	2,422.18



*Figura 34: Localización de cargas puntuales en vigas tipo A y B, generadas por reacciones en vigas secundarias*

### b. Masas en los nudos

La masa se distribuyó en los 16 nudos de cada una de las 5 losas con las que cuenta el edificio. En el Cuadro 45 se muestra el valor de las masas por cada uno de los 16 nudos.

*Cuadro 45: Masas totales por nudo*

Carga muerta		Área losa		Fuerza total		Gravedad		Fuerza por nudo		Masa por nudo	
lb/pie <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	pie <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	lb	kg	pie/s <sup>2</sup>	m/s <sup>2</sup>	lb	kg	lbxs <sup>2</sup> /pie	kgxs <sup>2</sup> /m
109.74	535.80	4,650	432	510,291	231464	32.20	9.81	31,893	14,466	990.47	1,474.66

### c. Propiedades principales del análisis inelástico

#### 1) Propiedades y tipo de articulaciones asignadas a los elementos del edificio

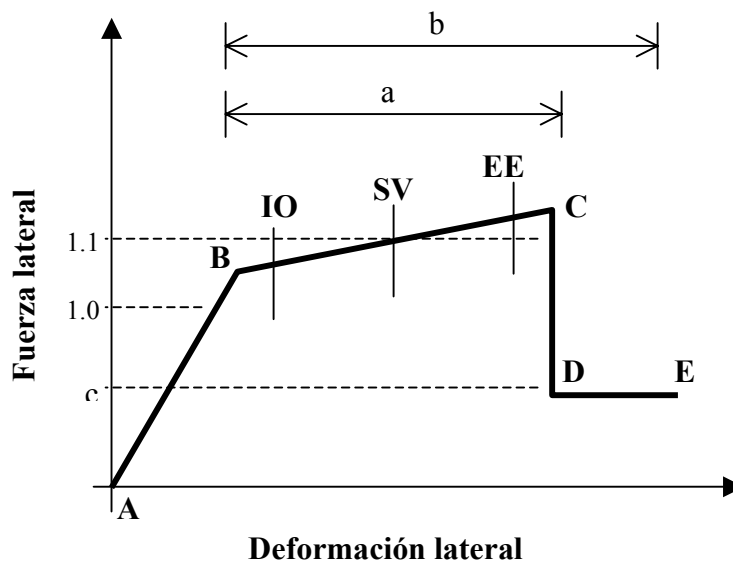
Las articulaciones que se asignaron a los elementos del edificio fueron las que se muestran en el Cuadro 46.

**Cuadro 46: Tipo de articulaciones asignadas a los elementos del edificio**

Tipo de elemento	Articulación PMM <sup>1</sup>	Articulación P <sup>1</sup>	Articulación M3 <sup>1</sup>	Articulación V2 <sup>1</sup>
Vigas			X	X
Columnas	X			X

1. Ver la sección de los lineamientos en el uso de programas de computadora, paso 10.

Cada una de estas articulaciones posee sus propias propiedades de acuerdo al tipo de elemento al que fueron asignadas y según si los elementos están controlados por flexión o corte. Para poder definir en el programa las propiedades específicas de una articulación es necesario especificar los puntos A, B, C, D y E del diagrama fuerza vs. deformación y los parámetros de Ocupación Inmediata (OI), Seguridad de Vida (SV) y Estabilidad Estructural (EE). Los puntos A, B, C, D y E se definen en los cuadros del 31 al 37 y los parámetros IO, SV y EE en los cuadros del 18 al 25. En la Figura 35 se muestra el diagrama de fuerza vs. deformación que se debe definir en el programa para cada tipo de articulación.

**Figura 35: Relaciones fuerza vs. deformación**

En las figuras siguientes se muestran los valores de A, B, C, D, E, IO, SV y EE que se definen en el programa para cada una de las articulaciones. Para poder desplegar, en SAP 2000 Non Linear V8, la ventana que se observa en estas figuras se deben realizar los siguientes pasos:

1. Desplegar la barra “Define” y seleccionar “Hinge Properties”.
2. Escoger el tipo de articulación y seleccionar “Define New Property”.
3. Escribir un nombre para la articulación en el espacio “Property Name”.
4. Desmarcar la opción activa en la columna “Default” y seleccionar “Modify/Show for...”. para que se pueda observar la ventana “Frame Hinge Property Data for...”.

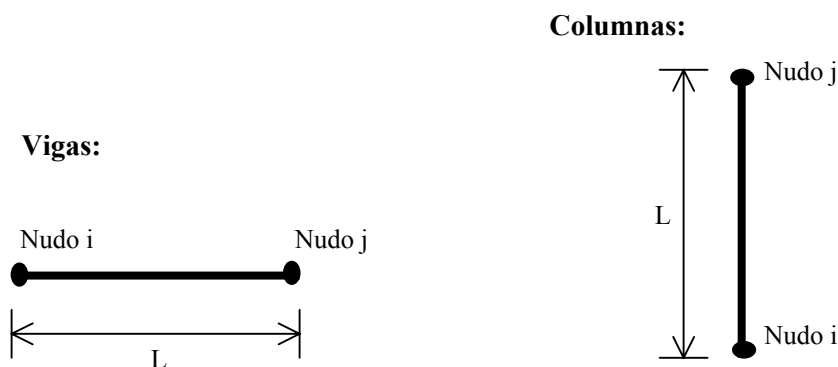
Para las articulaciones definidas en este ejemplo (ver Cuadro 46), se utilizaron los siguientes cuadros para especificar los puntos A, B, C, D y E:

- **Articulación M3 en vigas:** Se utilizó el Cuadro 31 y se promediaron los valores de las dos últimas filas del inciso 1 titulado: Vigas controladas por flexión. Al utilizar estos valores, el programa supone que los estribos están espaciados a una distancia mayor que  $d/2$  en las vigas. Ver Figuras 37 y 38.
- **Articulación V2 en vigas:** Se utilizó el Cuadro 31 y se promediaron los valores de las dos filas del inciso 2 titulado: Vigas controladas por corte. Ver Figuras 37 y 39.
- **Articulación PMM en columnas:** Se utilizó el Cuadro 32 y se promediaron los valores de las dos últimas filas del inciso 1 titulado: Columnas controladas por flexión. Ver Figuras 40 y 41.
- **Articulación V2 en columnas:** Se utilizó el Cuadro 32 y se promediaron los valores de las dos filas del inciso 2 titulado: Columnas controladas por corte. Al utilizar estos valores, el programa supone que los estribos están espaciados a una distancia menor que  $d/2$  en las columnas. Ver Figuras 40 y 42.

Para las articulaciones definidas en este ejemplo, se utilizaron los siguientes cuadros para especificar los puntos IO, SV y EE:

- **Articulación M3 en vigas:** Se utilizó el Cuadro 18 y se promediaron los valores de las dos últimas filas del inciso 1 titulado: Vigas controladas por flexión. Ver Figuras 37 y 38.
- **Articulación V2 en vigas:** Se utilizó el Cuadro 18 y se seleccionó el valor de la segunda fila del inciso 2 titulado: Vigas controladas por corte. Al utilizar estos valores, el programa supone que los estribos están espaciados a una distancia mayor que  $d/2$  en las vigas. Ver Figuras 37 y 39.
- **Articulación PMM en columnas:** Se utilizó el Cuadro 19 y se promediaron los valores de las dos últimas filas del inciso 1 titulado: Columnas controladas por flexión. Ver Figuras 40 y 41.
- **Articulación V2 en columnas:** Se utilizó el Cuadro 19 y se promediaron los valores de las dos filas del inciso 2 titulado: Columnas controladas por corte. Al utilizar estos valores, el programa supone que los estribos están espaciados a una distancia menor que  $d/2$  en las columnas. Ver Figuras 40 y 42.

Para los puntos A y B, de la gráfica de fuerza vs. deformación, se definieron las coordenadas 0.0 y 1.0 para todas las articulaciones. La coordenada de fuerza lateral (eje y, según Figura 35) para el punto C se tomó como un 10% más que la del punto B, es decir 1.1. Además, se definieron los cuatro tipos de articulaciones en el nudo i y j de cada uno de los elementos.



**Figura 36: Localización de articulaciones en elementos**

**Cuadro 31: Parámetros para modelar vigas de concreto reforzado**

Tipo de componente			Parámetros para modelar		
			Angulo de rotación plástica (rad)		Fuerza residual
			a	b	c
<b>1. Vigas controladas por flexión</b>					
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_{bal}}$	Refuerzo transversal	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$			
$\leq 0.0$	C	$\leq 3$	0.025	0.05	0.2
$\leq 0.0$	C	$\geq 6$	0.02	0.04	0.2
$\geq 0.5$	C	$\leq 3$	0.02	0.05	0.2
$\geq 0.5$	C	$\geq 6$	0.015	0.02	0.2
$\leq 0.0$	NC	$\leq 3$	0.02	0.03	0.2
$\leq 0.0$	NC	$\geq 6$	0.01	0.015	0.2
$\geq 0.5$	NC	$\leq 3$	0.01	0.015	0.2
$\geq 0.5$	NC	$\geq 6$	0.005	0.01	0.2
<b>2. Vigas controladas por corte</b>					
Espaciamiento de estribos $\leq d/2$			0.0	0.02	0.2
Espaciamiento de estribos $> d/2$			0.0	0.01	0.2
<b>3. Vigas controladas por un inadecuado desarrollo a lo largo de su luz</b>					
Espaciamiento de estribos $\leq d/2$			0.0	0.02	0.0
Espaciamiento de estribos $> d/2$			0.0	0.01	0.0
<b>4. Vigas controladas por un inadecuado empotramiento en la junta viga - columna</b>					
			0.015	0.03	0.2

38-1

38-2

38-3

Se utilizó el promedio de estas dos filas para definir los valores A, B, C, D y E de la Articulación M3 en vigas. Ver Figura 37.

Se utilizó el promedio de estas dos filas para definir los valores A, B, C, D y E de la Articulación V2 en vigas. Ver Figura 38.

39-3

39-2

39-1

**Cuadro 18: Criterio de aceptación numérica para articulaciones plásticas en vigas de concreto reforzado, en radianes**

Tipo de componente			Nivel de desempeño				
			Primario			Secundario	
			OI	SV	EE	SV	EE
<b>1. Vigas controladas por flexión</b>							
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_{bal}}$	Refuerzo transversal.	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$					
$\leq 0.0$	C	$\leq 3$	0.005	0.02	0.025	0.02	0.05
$\leq 0.0$	C	$\geq 6$	0.005	0.01	0.02	0.02	0.04
$\geq 0.5$	C	$\leq 3$	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
$\geq 0.5$	C	$\geq 6$	0.005	0.005	0.015	0.015	0.02
$\leq 0.0$	NC	$\leq 3$	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
$\leq 0.0$	NC	$\geq 6$	0.0	0.005	0.01	0.01	0.015
$\geq 0.5$	NC	$\leq 3$	0.005	0.01	0.01	0.01	0.015
$\geq 0.5$	NC	$\geq 6$	0.0	0.005	0.015	0.005	0.01
<b>2. Vigas controladas por corte</b>							
Espaciamiento del estribo $\leq d/2$			0.0	0.0	0.0	0.01	0.02
Espaciamiento del estribo $> d/2$			0.0	0.0	0.0	0.005	0.01
<b>3. Vigas controladas por desarrollo inadecuado a lo largo de su luz</b>							
Espaciamiento del estribo $\leq d/2$			0.0	0.0	0.0	0.01	0.02
Espaciamiento del estribo $> d/2$			0.0	0.0	0.0	0.005	0.01
<b>4. Vigas controladas por su colocación inadecuada en la junta de viga y columna</b>							
			0.01	0.01	0.015	0.02	0.03

38-4

38-5

38-6

Se utilizó el promedio de estas dos filas para definir los valores OI, SV y EE de la Articulación M3 en vigas. Ver Figura 37.

Se utilizó el promedio de estas dos filas para definir los valores OI, SV y EE de la Articulación V2 en vigas. Ver Figura 38.

39-6

39-5

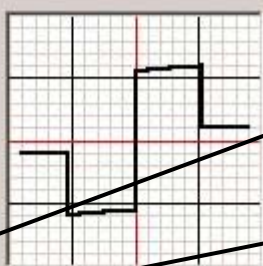
39-4

**Figura 37: Valores de A, B, C, D, E, IO, SV y EE utilizados para definir la articulación M3 y V2 en vigas**

**Frame Hinge Property Data for VIGA-M3 - M3**

Edit

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0.2	-0.0125
D-	-0.2	-0.0075
C-	-1.1	-0.0075
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1.1	7.500E-03
D	0.2	7.500E-03
E	0.2	0.0125



Hinge is Rigid Plastic  
 Symmetric

Scaling for Moment and Rotation

Use Yield Moment    Moment SF    Positive    Negative

Use Yield Rotation    Rotation SF    Positive    Negative

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

Immediate Occupancy    Positive    Negative

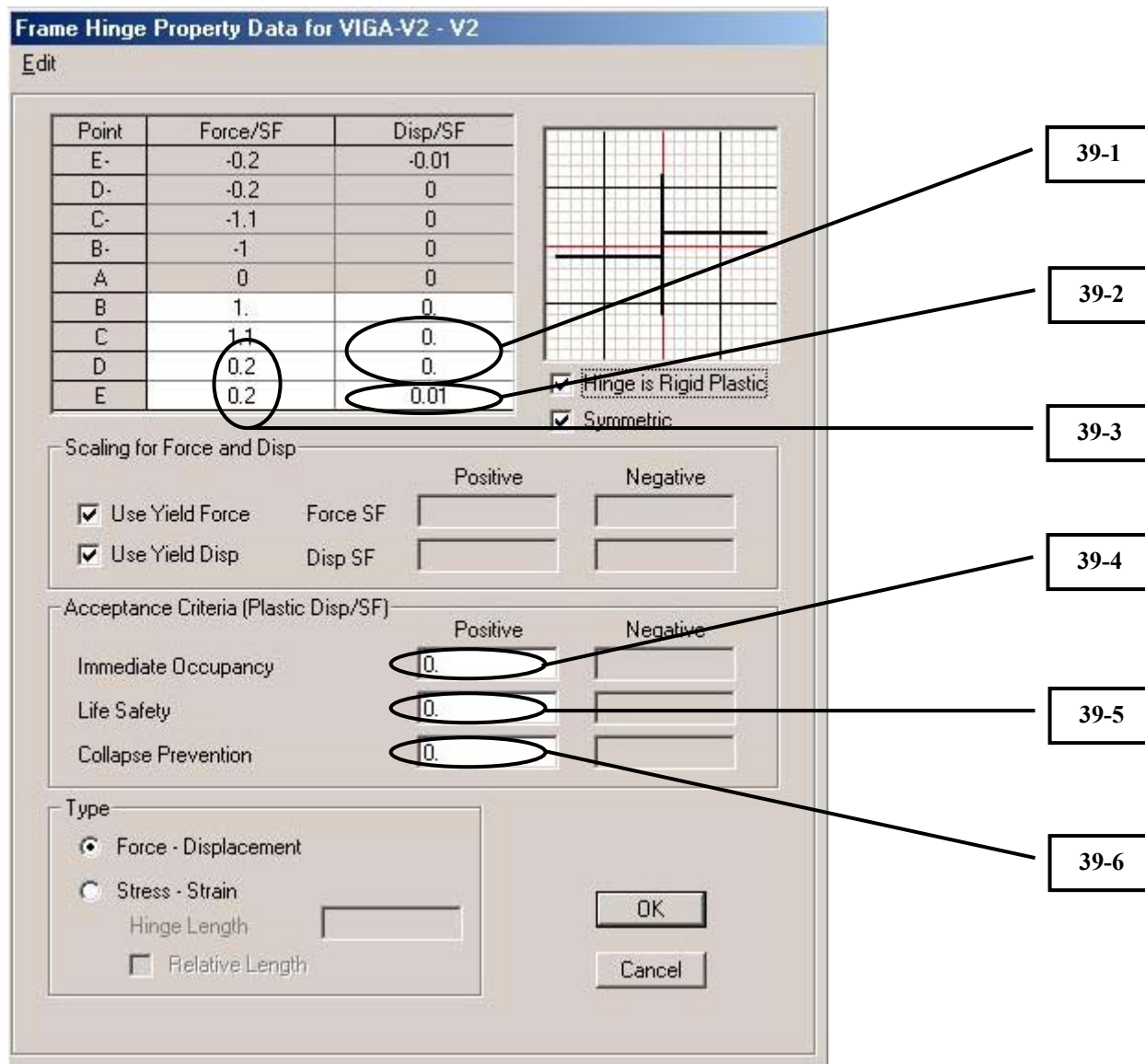
Life Safety    Positive    Negative

Collapse Prevention    Positive    Negative

OK  
Cancel

38-1  
38-2  
38-3  
38-4  
38-5  
38-6

**Figura 38: Ventana de propiedades para la articulación M3 en vigas**



**Figura 39: Ventana de propiedades para la articulación V2 en vigas**

**Cuadro 32: Parámetros para modelar columnas de concreto reforzado**

Tipo de componente			Parámetros para modelar		
			Angulo de Rotación Plástica (rad)		Fuerza residual
			a	b	c
<b>1. Columnas controladas por flexión</b>					
$\frac{P}{A_g f'_c}$	Refuerzo transversal	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$			
$\leq 0.1$	C	$\leq 3$	0.02	0.03	0.2
$\leq 0.1$	C	$\geq 6$	0.015	0.025	0.2
$\geq 0.4$	C	$\leq 3$	0.015	0.025	0.2
$\geq 0.4$	C	$\geq 6$	0.01	0.015	0.2
$\leq 0.1$	NC	$\leq 3$	0.01	0.015	0.2
$\leq 0.1$	NC	$\geq 6$	0.005	0.005	0.0
$\geq 0.4$	NC	$\leq 3$	0.005	0.005	0.0
$\geq 0.4$	NC	$\geq 6$	0.0	0.0	0.0
<b>2. Columnas controladas por corte</b>					
Espaciamiento de sunchos $\leq d/2$					
$\frac{P}{A_g f'_c} \leq 0.1$			0.0	0.015	0.2
Otros casos			0.0	0.0	0.0
<b>3. Columnas controladas por un inadecuado desarrollo a lo largo de su altura</b>					
Espaciamiento de sunchos $\leq d/2$			0.01	0.02	0.4
Espaciamiento de sunchos $> d/2$			0.0	0.01	0.2
<b>4. Columnas con carga axial que excede 0.70P<sub>c</sub></b>					
Refuerzo conformado en toda la longitud			0.015	0.025	0.02
Otros casos			0.0	0.0	0.0

41-1

41-2

41-3

Se utilizó el promedio de estas dos filas para definir los valores A, B, C, D y E de la Articulación PMM en columnas. Ver Figura 40.

Se utilizó el promedio de estas dos filas para definir los valores A, B, C, D y E de la Articulación V2 en columnas. Ver Figura 41.

42-3

42-2

42-1

**Cuadro 19: Criterio de aceptación numérica para articulaciones plásticas en columnas de concreto reforzado, en radianes**

Tipo de componente			Nivel de desempeño				
			Primario			Secundario	
			OI	SV	EE	SV	EE
<b>1. Columnas controladas por flexión</b>							
$\frac{P}{A_s f_c}$	Refuerzo transversal	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$					
$\leq 0.1$	C	$\leq 3$	0.005	0.01	0.02	0.015	0.03
$\leq 0.1$	C	$\geq 6$	0.005	0.01	0.015	0.01	0.025
$\geq 0.4$	C	$\leq 3$	0.0	0.005	0.015	0.01	0.025
$\geq 0.4$	C	$\geq 6$	0.0	0.005	0.01	0.01	0.015
$\leq 0.1$	NC	$\leq 3$	0.005	0.005	0.01	0.005	0.015
$\leq 0.1$	NC	$\geq 6$	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
$\geq 0.4$	NC	$\leq 3$	0.0	0.0	0.005	0.0	0.005
$\geq 0.4$	NC	$\geq 6$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>2. Columnas controladas por corte</b>							
Espaciamiento del suncho $\leq d/2$							
$\frac{P}{A_g f_c} \leq 0.1$			0.0	0.0	0.0	0.01	0.015
Otros casos			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>3. Columnas controladas por desarrollo inadecuado a lo largo de su altura</b>							
Espaciamiento del suncho $\leq d/2$			0.0	0.0	0.0	0.01	0.02
Espaciamiento del suncho $> d/2$			0.0	0.0	0.0	0.005	0.01
<b>4. Columnas con carga axial que excede 0.70P<sub>c</sub></b>							
Refuerzo sobre la longitud total			0.0	0.0	0.005	0.005	0.01
Otros casos			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

41-4

41-5

41-6

Se utilizó el promedio de estas dos filas para definir los valores OI, SV y EE de la Articulación PMM en columnas. Ver Figura 40.

Se utilizó el promedio de estas dos filas para definir los valores OI, SV y EE de la Articulación V2 en columnas. Ver Figura 41.

42-6

42-5

42-4

**Figura 40: Valores de A, B, C, D, E, IO, SV y EE utilizados para definir la articulacion PMM y V2 en columnas**

Frame Hinge Property Data for COLUMNA-PMM - PMM

Edit

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-1.1	-0.025
D-	-1.1	-0.025
C-	-1.1	-0.025
B-	-1	0
A	0	0
B	1.	0
C	1.1	0.025
D	1.1	0.025
E	1.1	0.025

Hinge is Rigid Plastic  
 Symmetric

Scaling for Moment and Rotation

Use Yield Moment      Moment SF      Positive      Negative

Use Yield Rotation      Rotation SF      Positive      Negative

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

Immediate Occupancy      Positive      Negative

Life Safety      Positive      Negative

Collapse Prevention      Positive      Negative

Axial Load - Displacement Relationship

Proportional to Moment - Rotation

Elastic - Perfectly Plastic

Define/Show Interaction...

OK

Cancel

41-1

41-2

41-3

41-4

41-5

41-6

**Figura 41:** Ventana de propiedades para la articulación PMM en columnas

Frame Hinge Property Data for COLUMN-V2 - V2

Edit

Point	Force/SF	Disp/SF
E-	-0.1	-0.0075
D-	-0.1	0
C-	-1.1	0
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1.1	0
D	0.1	0
E	0.1	7.500E-03

Hinge is Rigid Plastic  
 Symmetric

Scaling for Force and Disp

	Positive	Negative
<input checked="" type="checkbox"/> Use Yield Force	Force SF	
<input checked="" type="checkbox"/> Use Yield Disp	Disp SF	

Acceptance Criteria (Plastic Disp/SF)

	Positive	Negative
Immediate Occupancy	0.	
Life Safety	0.	
Collapse Prevention	0.	

Type

Force - Displacement  
 Stress - Strain  
 Hinge Length:   
 Relative Length

OK  
Cancel

42-1  
42-2  
42-3  
42-4  
42-5  
42-6

**Figura 42:** Ventana de propiedades para la articulación V2 en columnas

## 2) Casos de carga estática “pushover”

Como se mencionó con anterioridad, antes de realizar el análisis inelástico en el programa de computadora se deben definir los casos de carga estática “pushover”. Para el edificio en estudio se generó una fuerza lateral a cada uno de los nudos de cada nivel, de acuerdo a la forma del modo de vibración. Esta fuerza lateral se aplicó en la dirección “x” y “y”. Cada una de estas fuerzas es proporcional a la multiplicación de la forma del modo de vibración por la frecuencia circular al cuadrado por la masa tributaria a cada uno de los nudos del edificio. En el Cuadro 47 se muestran las características principales de este caso de carga estática no lineal.

**Cuadro 47: Características del caso de carga estática “pushover”**

Desplazamiento total en el techo (cm)	Número mínimo de pasos guardados	Número máximo de pasos guardados
15	15	200

Es importante hacer notar que el SAP 2000 Non Linear V8 construirá la curva de capacidad y generará las articulaciones en los elementos con base en las características del caso de carga estática. Para definir el desplazamiento total en el techo del edificio, se debe determinar el nivel de protección sísmica y el índice de sismicidad,  $I_0$ . El edificio está localizado en la Ciudad de Guatemala y por lo tanto, según la Figura 7, a la zona sísmica le corresponde un valor de 4.2. Además, según el Cuadro 9, el índice de sismicidad presenta un valor de 4. Entonces, al tener un índice de sismicidad de 4 y clasificar al edificio como una obra importante, el nivel de protección sísmica corresponde es C2, según el Cuadro 9. Para un nivel de protección sísmica de C2, el desplazamiento en el techo del edificio se define por la siguiente ecuación:

$$\Delta_N \leq 0.0125 \times h_N \quad (50)$$

Donde:

$h_N$  = altura total del edificio.

Por lo tanto, al tener una altura total de 12 m el desplazamiento total del edificio es de:

$$\Delta_N = 0.0125 \times 12 = 0.15m = 15cm$$

El programa automáticamente determina el espaciamiento o incremento de los pasos de “pushover” de la siguiente manera: la distancia máxima de cada uno de los pasos es igual a la división del desplazamiento total en el techo dividido el número mínimo de pasos guardados. Por lo tanto, el programa guarda los pasos al usar este incremento. Si un evento significativo ocurre a un incremento menor al estipulado, entonces el programa lo guardará también y empezará un nuevo espaciamiento a partir de ese evento. Para este caso, el incremento de los pasos “pushover” es el siguiente:

$$Incremento = \frac{Desplazamiento\_Total}{\#Mínimo\_Pasos\_Guardados} = \frac{15}{15} = 1cm \quad (51)$$

Por lo tanto, el programa guardará los resultados cada 1 cm hasta llegar al desplazamiento total de 15 cm. Si se detecta algún evento importante con un incremento menor a 1 cm, el programa guardará este paso también. Es importante mencionar que en este caso el desplazamiento total es igual al número mínimo de pasos guardados, pero estos parámetros pueden ser cambiados por el usuario y se pueden utilizar otros valores y hacer que el incremento pueda ser distinto de 1 cm.

### 3. Resultados del análisis modal

A continuación se presentan los siguientes resultados del análisis modal:

- Cuadro 48: Períodos y frecuencias
- Cuadro 49: Factores de participación modal
- Cuadro 50: Factores de participación modal de masa





#### 4. Resultados del análisis estático no lineal

##### a. Gráfica de corte basal vs. desplazamiento

La gráfica de corte basal vs. desplazamiento generada por la aplicación de la fuerza lateral en la dirección "x" y "y" se muestra en las Figuras 43 y 44 respectivamente. Los datos utilizados para plotear estas gráficas, según el número de pasos seleccionados por el programa, fueron los siguientes:

**Cuadro 51: Datos de corte basal y desplazamiento para la carga estática "pushover" en la dirección "x"**

Paso	Desplazamiento (m)	Corte basal (kg)
0	0.000	0
1	0.009	249,333
2	0.021	452,779
3	0.026	512,017
4	0.029	527,855
5	0.035	556,696
6	0.037	561,984
7	0.042	568,799
8	0.051	576,758
9	0.063	584,133
10	0.073	589,846
11	0.088	597,514
12	0.088	412,737
13	0.093	414,205
14	0.093	319,800
15	0.094	319,701
16	0.094	224,150
17	0.095	223,420
18	0.095	90,548
19	0.101	85,976
20	0.101	51,965
21	0.102	51,805
22	0.102	19,131
23	0.103	18,386
24	0.103	-14,942
25	0.103	-48,270
26	0.113	-55,336
27	0.123	-62,399
28	0.133	-69,463
29	0.143	-76,531
30	0.150	-81,599



**Cuadro 52: Datos de corte basal y desplazamiento para la carga estática “pushover” en la dirección “y”**

<b>Paso</b>	<b>Desplazamiento (m)</b>	<b>Corte basal (kg)</b>
0	0.000	0
1	0.010	337,028
2	0.010	344,401
3	0.014	437,243
4	0.016	461,812
5	0.016	465,292
6	0.027	553,856
7	0.035	601,742
8	0.037	606,857
9	0.038	608,442
10	0.048	622,596
11	0.059	633,822
12	0.060	634,151
13	0.070	635,806
14	0.080	637,456
15	0.090	639,106
16	0.100	640,757
17	0.110	642,408
18	0.120	644,059
19	0.130	645,710
20	0.140	647,362
21	0.150	649,015
22	0.150	649,083



### **b. Espectro de capacidad, espectro de la demanda y punto de desempeño**

Para visualizar el espectro de capacidad, el espectro de la demanda y el punto de desempeño del edificio en el programa SAP 2000 Non Linear V8 se deben realizar los siguientes pasos:

1. Correr el análisis no lineal para los casos de carga estática “pushover” planteados.
2. Desplegar la barra “Display” y seleccionar “Show Static Pushover Curve...”.
3. Seleccionar en la ventana desplegada el caso de carga estática “pushover” que se desea observar.
4. Seleccionar la opción “Capacity Spectrum” para visualizar el espectro de capacidad, el espectro de la demanda y el punto de desempeño. Es importante mencionar que si se desea visualizar la gráfica de corte basal vs. desplazamiento se debe seleccionar la opción “Resultant Base Shear vs Monitored Displacement”.

En la ventana en donde se muestra el espectro de capacidad, el espectro de la demanda y el punto de desempeño (ver Figura 46), se deben definir los siguientes parámetros:

#### **1) Coeficientes sísmicos $C_A$ y $C_V$**

Los coeficientes sísmicos  $C_A$  y  $C_V$  se definen en los Cuadros 53, 54, 55 y 56.

**Cuadro 53: Coeficiente sísmico  $C_A$** 

Tipo de suelo	Intensidad del movimiento sísmico ( $ZEN_A$ ) <sup>1,2</sup>					
	0.075	0.15	0.20	0.30	0.40	> 0.40
S <sub>B</sub>	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0(ZEN)
S <sub>C</sub>	0.09	0.18	0.24	0.33	0.40	1.0(ZEN)
S <sub>D</sub>	0.12	0.22	0.28	0.36	0.44	1.0(ZEN)
S <sub>E</sub>	0.19	0.30	0.34	0.36	0.36	0.9(ZEN)
S <sub>F</sub>	Se requiere investigación geotécnica para determinar $C_A$					

1.  $Z$  = factor de zona sísmica que depende de la aceleración de diseño,  $N_A$  = factor de fuente cercana definido en el Cuadro 54 y  $E = 0.5$  para sismo de serviciabilidad, 1.0 para sismo de diseño y 1.25 (aceleraciones de 0.30g) ó 1.50 (aceleraciones de 0.40g) para el sismo máximo.
2. Se permite la interpolación entre los valores de  $C_A$ .

**Cuadro 54: Coeficiente sísmico  $C_V$** 

Tipo de suelo	Intensidad del movimiento sísmico ( $ZEN_V$ ) <sup>1,2</sup>					
	0.075	0.15	0.20	0.30	0.40	> 0.40
S <sub>B</sub>	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0(ZEN)
S <sub>C</sub>	0.13	0.25	0.32	0.45	0.56	1.0(ZEN)
S <sub>D</sub>	0.18	0.32	0.40	0.54	0.64	1.0(ZEN)
S <sub>E</sub>	0.26	0.50	0.64	0.84	0.96	0.9(ZEN)
S <sub>F</sub>	Se requiere investigación geotécnica para determinar $C_V$					

1.  $Z$  = factor de zona sísmica que depende de la aceleración de diseño,  $N_V$  = factor de fuente cercana definido en el Cuadro 54 y  $E = 0.5$  para sismo de serviciabilidad, 1.0 para sismo de diseño y 1.25 (aceleraciones de 0.30g) ó 1.50 (aceleraciones de 0.40g) para el sismo máximo.
2. Se permite la interpolación entre los valores de  $C_V$ .

**Cuadro 55: Factores de fuente cercana  $N_A$  y  $N_V$** 

Tipo de fuente sísmica	Distancia más cercana a la fuente sísmica <sup>1,2</sup>							
	≤ 2 km		5 km		10 km		≥ 15 km	
	$N_A$	$N_V$	$N_A$	$N_V$	$N_A$	$N_V$	$N_A$	$N_V$
A	1.5	2.0	1.2	1.6	1.0	1.2	1.0	1.0
B	1.3	1.6	1.0	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

1. La localización y el tipo de la fuente sísmica que se utilizará para el diseño se debe determinar con base en información geotécnica.
2. La distancia más cercana a la fuente sísmica se debe tomar como la distancia mínima entre el sitio y el área descrita por la proyección vertical de la fuente en la superficie. La proyección de la superficie no debe incluir porciones de la fuente a profundidades de 10 km o más. Se debe usar para el diseño el valor más grande del factor de fuente cercana para todas las fuentes.

**Cuadro 56: Tipo de fuente sísmica**

Tipo de fuente sísmica	Descripción de la fuente sísmica	Definición de la fuente sísmica	
		Magnitud, M	Tasa de actividad sísmica, SR (mm/año)
A	Fallas que producen eventos con magnitudes grandes y que tienen una tasa alta de actividad sísmica.	$M \geq 7.0$	$SR \geq 7.0$
B	Todas las fuentes que no son A y C	N/A	N/A
C	Fallas que producen eventos con magnitudes grandes y que tienen una tasa baja de actividad sísmica.	$M < 6.5$	$SR < 2$

**Cuadro 57: Tipos de Suelo**

Tipo de Suelo	Descripción	Propiedades de los Primeros 100 pie de Suelo		
		Velocidad de Onda de Corte, $V_s$ (pie/seg)	Prueba de Penetración Estándar N (golpes/pie)	Esfuerzo de Corte no Drenado $S_u$ (lb/pie <sup>2</sup> )
$S_A$	Roca dura	$V_s > 5,000$	N/A	
$S_B$	Roca	$2,000 < V_s \leq 5,000$	N/A	
$S_C$	Suelo denso y Roca Suave	$1,200 < V_s \leq 2,500$	$N > 50$	$S_u > 2,000$
$S_D$	Suelo rígido	$600 \leq V_s \leq 1,200$	$15 \leq N \leq 50$	$1,000 \leq S_u \leq 2,000$
$S_E^1$	Suelo suave	$V_s < 600$	$N < 15$	$S_u < 1,000$
$S_F$	Se requiere evaluación del sitio			

1. Incluye suelos con más de 10 pies de arcilla suave con  $PI > 20$ ,  $W_{MC} \geq 40\%$  y  $S_u < 500 \text{ lb/pie}^2$ . El  $PI$  y  $W_{MC}$  se determinan según el ASTM D4318-93 y el ASTM D2216-92 respectivamente.

Por lo tanto, para poder determinar los coeficientes sísmicos  $C_A$  y  $C_V$ , se deben determinar los parámetros  $Z$ ,  $E$ ,  $N_A$  o  $N_V$  y, además, el tipo de suelo en donde está localizada la estructura. Se supondrá que el suelo donde se encuentra el edificio es rígido y se le asignará un tipo de suelo  $S_D$ , según el Cuadro 57. Se utilizará el sismo de diseño, el cual representa un movimiento sísmico que tiene un 10% de probabilidad de ser excedido en un período de 50 años. Por consiguiente, el factor de zona sísmica  $Z$  para la Ciudad de Guatemala, que representa la aceleración de diseño, según la Figura 9 es de  $0.44g$ . El factor  $E$  es igual a 1.0 para el sismo de diseño.

Además, se supondrá que los sismos que se pueden producir en la Ciudad de Guatemala tienen una magnitud mayor a 7 y que sus fallas se encuentran a una distancia mayor a los 15 km del sitio. Por lo tanto, la fuente sísmica es tipo A, según el Cuadro 56. Entonces, según el Cuadro 55, los factores  $N_A$  y  $N_V$  son iguales a 1.0 y las intensidades del movimiento sísmico  $ZEN_A$  y  $ZEN_V$  se determinan por medio de las siguientes ecuaciones:

$$ZEN_A = 0.44 \times 1.0 \times 1.0 = 0.44 \quad (52)$$

$$ZEN_V = 0.44 \times 1.0 \times 1.0 = 0.44 \quad (53)$$

Entonces, según los Cuadros 53 y 54, los coeficientes sísmicos  $C_A$  y  $C_V$ , según el tipo de suelo  $S_D$ , son iguales a:

$$C_A = 0.9(ZEN_A) = 0.9 \times 0.44 = 0.396 \quad (54)$$

$$C_V = 1.0(ZEN_A) = 1.0 \times 0.44 = 0.440 \quad (55)$$

En el Cuadro 58 se resumen los resultados que se utilizaron para determinar los coeficientes sísmicos  $C_A$  y  $C_V$ .

**Cuadro 58: Coeficientes sísmicos  $C_A$  y  $C_V$**

Parámetro	Resultado
Tipo de suelo	$S_D$
Factor Z (de acuerdo al sismo de diseño para la Ciudad de Guatemala)	0.44g
Factor E	1.0
Magnitud de sismos en la Ciudad de Guatemala	$M > 7.0$
Distancia epicentral	$\geq 15$ km
Factor de fuente cercana, $N_A$	1.0
Factor de fuente cercana, $N_V$	1.0
Intensidad del movimiento sísmico, $ZEN_A$	0.44
Intensidad del movimiento sísmico, $ZEN_V$	0.44
<b>Coeficiente sísmico, <math>C_A</math></b>	<b>0.396</b>
<b>Coeficiente sísmico, <math>C_V</math></b>	<b>0.440</b>

## 2) Relaciones de amortiguamiento para cada espectro especificado

Para el edificio en estudio se incluyeron los cuatro espectros de la demanda que se pueden tomar en cuenta al utilizar SAP 2000 Non Linear V8. Las relaciones de amortiguamiento que se especificaron para cada espectro fueron las que se muestran en el Cuadro 59.

**Cuadro 59: Relaciones de amortiguamiento para cada espectro especificado**

Espectro	Relación de amortiguamiento
1	0.05 (5 %)
2	0.10 (10 %)
3	0.15 (15 %)
4	0.20 (20 %)

## 3) Líneas de períodos

En el programa de computación utilizado, se pueden incluir cuatro líneas de períodos constantes. Para el edificio en estudio se especificaron los períodos que se muestran en el Cuadro 60.

**Cuadro 60: Líneas de períodos especificados**

Identificación del período	Valor del período (seg)
1	0.5
2	1.0
3	1.5
4	2.0

## 4) Tipo de comportamiento estructural

Para poder definir el tipo de comportamiento estructural, se debe especificar el amortiguamiento total de la estructura ( $\beta_{\text{Total}}$ ), el cual tendrá un 5% de amortiguamiento viscoso inherente ( $\beta_{\text{Inherente}}$ ) más un amortiguamiento viscoso adicional ( $\beta_{\text{Adicional}}$ ). El amortiguamiento adicional es el que se considera cuando la estructura presenta disipadores de energía o amortiguamiento pasivo. El

amortiguamiento total de la estructura se tomó como un 5%, con 0% de amortiguamiento adicional, es decir:

$$\beta_{Total} = \beta_{Inherente} + \beta_{Adicional} = 0.05 + 0.00 = 0.05 = 5\% \quad (56)$$

Se supondrá que el edificio presenta un comportamiento estructural tipo B y, por lo tanto, según el Cuadro 12 y teniendo un amortiguamiento viscoso total ( $\beta_o$ )  $\leq 25$ , se tendrá un Factor K = 0.67, es decir:

**Cuadro 12: Valores de factor de modificación de amortiguamiento**

Tipo de comportamiento estructural	$\beta_o$ (%)	Factor K
<b>Tipo A</b>	$\leq 16.25$	1.0
	$> 16.25$	$1.13 - \frac{0.51(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
<b>Tipo B</b>	$\leq 25$	0.67
	$> 25$	$0.845 - \frac{0.446(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
<b>Tipo C</b>	Cualquier valor	0.33

Teniendo un  $\beta_o \leq 25$ , el Factor K para un comportamiento estructural tipo B es de 0.67.

**Figura 45: Determinación del factor K**

Por lo tanto, el amortiguamiento efectivo ( $\beta_{eff}$ ) se puede determinar al utilizar la ecuación 35, es decir:

$$\beta_{eff} = K\beta_o + 5 = (0.67 \times 5) + 5 = 8.35 \quad (57)$$

Para comprobar que este tipo de comportamiento estructural es adecuado según el amortiguamiento total especificado, se deben calcular los factores de reducción espectral  $SR_A$  y  $SR_V$ , con las ecuaciones 36 y 37:

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eff})}{2.12} = \frac{3.21 - 0.68 \ln(8.35)}{2.12} = 0.833 \quad (58)$$

$$SR_V = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}{1.65} = \frac{2.31 - 0.41 \ln(8.35)}{1.65} = 0.873 \quad (59)$$

Comparando estos resultados con los valores mínimos de  $SR_A$  y  $SR_V$ , en el Cuadro 13, con un comportamiento estructural tipo B, se puede observar que los valores calculados son mayores que los mínimos. Por lo tanto, se puede utilizar un comportamiento estructural tipo B, es decir:

**Cuadro 13: Valores mínimos de  $SR_A$  y  $SR_V$**

Tipo de Comportamiento Estructural	$SR_A$	$SR_V$
Tipo A	0.33	0.50
Tipo B	0.44	0.56
Tipo C	0.56	0.67

**Figura 46: Comparación de  $SR_A$  y  $SR_V$  calculados con  $SR_A$  y  $SR_V$  mínimos**

En la Figura 47 se muestra la ventana “Pushover Curve”, en donde se puede observar el espectro de capacidad, el espectro de la demanda y el punto de desempeño del caso de carga estática “pushover” especificado.



En el Cuadro 61 se muestran los datos utilizados por el programa para construir el espectro de capacidad y el espectro de la demanda, para el caso de carga estática “pushover” en la dirección “x”.

**Cuadro 61: Datos utilizados para plotear el espectro de capacidad y el espectro de demanda para el caso de carga estática “pushover” en la dirección “x”**

<b>Paso</b>	<b>S<sub>d</sub> (m) Espectro de capacidad</b>	<b>S<sub>a</sub> (unidades de g) Espectro de capacidad</b>	<b>S<sub>d</sub> (m) Espectro de demanda</b>	<b>S<sub>a</sub> (unidades de g) Espectro de demanda</b>
0	0.000	0.000	0.038	0.990
1	0.006	0.175	0.038	0.990
2	0.016	0.320	0.038	0.745
3	0.020	0.364	0.039	0.698
4	0.022	0.374	0.039	0.658
5	0.027	0.388	0.039	0.559
6	0.030	0.387	0.039	0.514
7	0.033	0.386	0.04	0.461
8	0.041	0.386	0.042	0.400
9	0.050	0.379	0.046	0.344
10	0.059	0.376	0.049	0.311
11	0.071	0.376	0.053	0.282
12	0.072	0.255	0.065	0.230
13	0.078	0.253	0.068	0.222
14	0.078	0.194	0.078	0.193
15	0.079	0.194	0.078	0.193
16	0.079	0.135	0.094	0.160
17	0.080	0.134	0.095	0.159
18	0.082	0.054	0.151	0.100
19	0.088	0.051	0.161	0.094
20	0.088	0.031	0.208	0.073
21	0.089	0.031	0.208	0.072
22	0.089	0.011	0.344	0.044
23	0.090	0.011	0.353	0.043

En el Cuadro 62 se muestra el punto de desempeño de la estructura para el caso de carga estática “pushover” en la dirección “x”.

**Cuadro 62: Punto de desempeño para el caso de carga estática “pushover” en la dirección “x”**

<b>S<sub>d</sub> (m)</b>	<b>S<sub>a</sub> (unidades de g)</b>
<b>0.043</b>	<b>0.384</b>

En el Cuadro 63 se muestran los datos utilizados por el programa para construir el espectro de capacidad y el espectro de la demanda, para el caso de carga estática “pushover” en la dirección “y”.

**Cuadro 63: Datos utilizados para plotear el espectro de capacidad y el espectro de demanda para el caso de carga estática “pushover” en la dirección “y”**

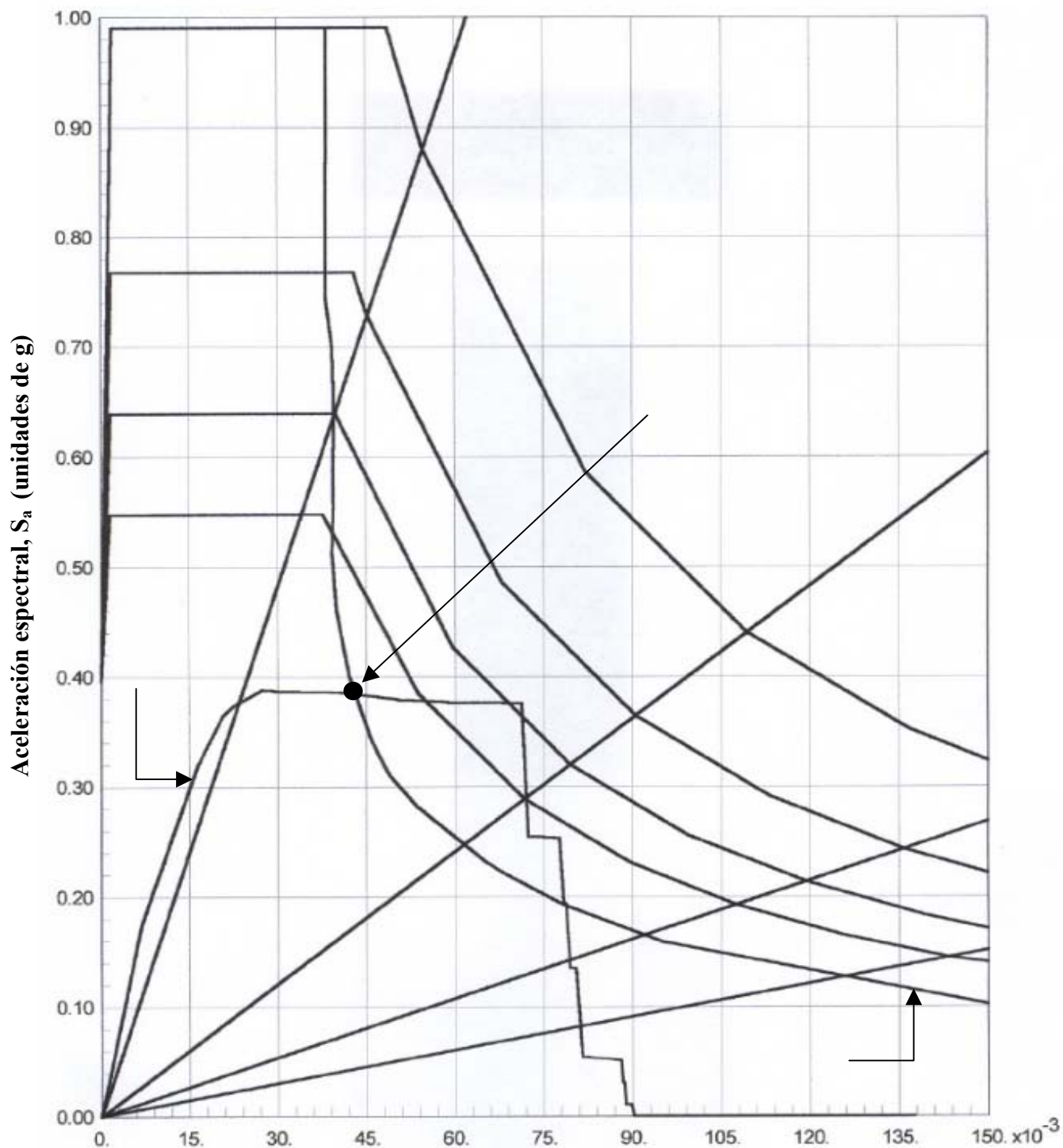
Paso	S <sub>d</sub> (m) Espectro de capacidad	S <sub>a</sub> (unidades de g) Espectro de capacidad	S <sub>d</sub> (m) Espectro de demanda	S <sub>a</sub> (unidades de g) Espectro de demanda
0	0.000	0.000	0.033	0.990
1	0.008	0.235	0.033	0.990
2	0.008	0.240	0.033	0.988
3	0.011	0.304	0.031	0.829
4	0.012	0.321	0.030	0.774
5	0.013	0.323	0.030	0.760
6	0.021	0.389	0.032	0.593
7	0.028	0.425	0.035	0.546
8	0.029	0.427	0.036	0.530
9	0.030	0.427	0.036	0.520
10	0.038	0.429	0.039	0.442
11	0.046	0.433	0.042	0.390
12	0.047	0.433	0.042	0.387
13	0.054	0.435	0.044	0.355
14	0.062	0.437	0.047	0.331
15	0.069	0.439	0.049	0.311
16	0.077	0.440	0.051	0.294
17	0.084	0.442	0.054	0.282
18	0.091	0.443	0.056	0.270
19	0.099	0.445	0.058	0.260
20	0.106	0.446	0.060	0.251
21	0.114	0.447	0.062	0.243
22	0.114	0.447	0.062	0.243

En el Cuadro 64 se muestra el punto de desempeño de la estructura para el caso de carga estática “pushover” en la dirección “y”.

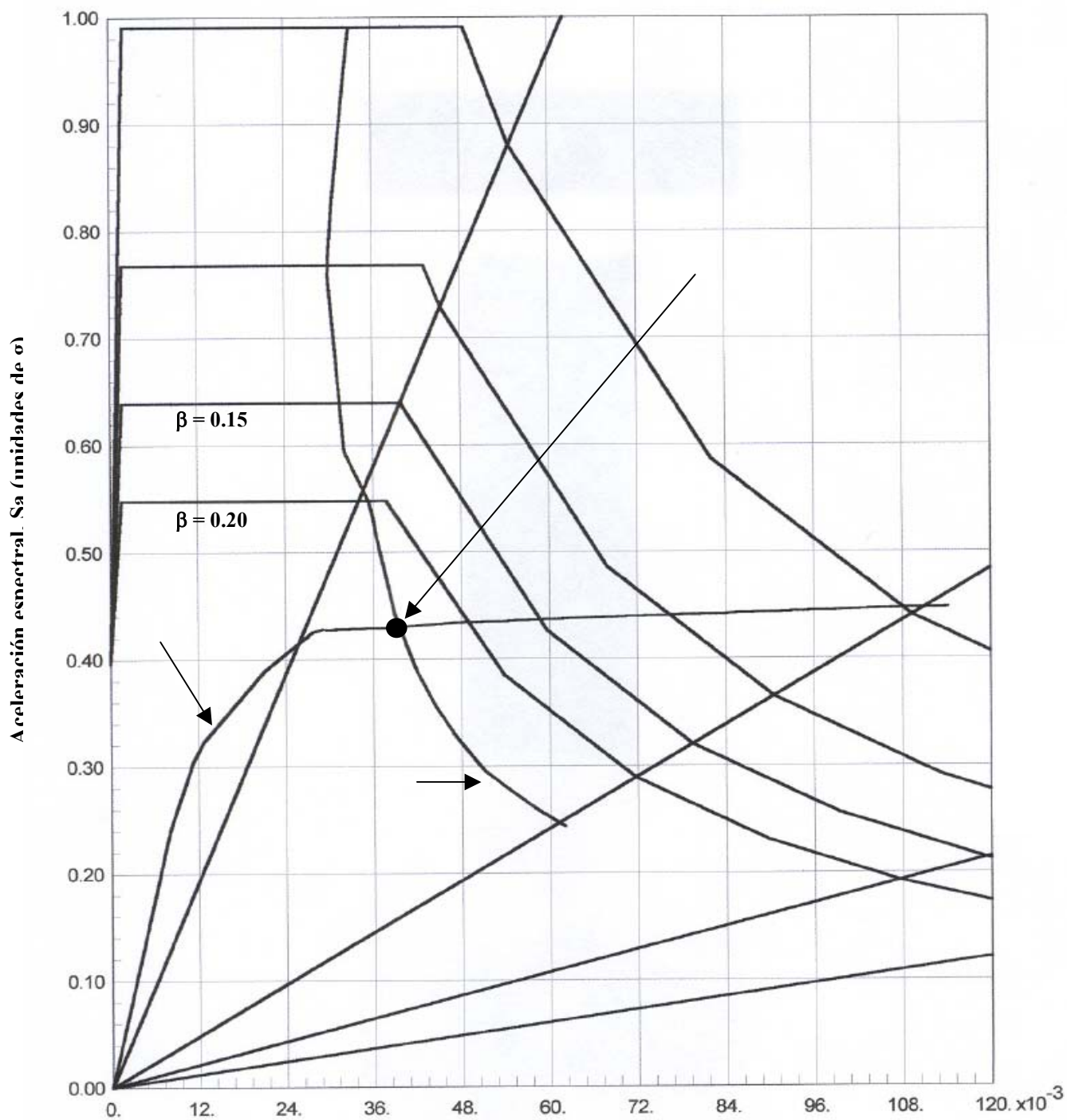
**Cuadro 64: Punto de desempeño para el caso de carga estática “pushover” en la dirección “y”**

S <sub>d</sub> (m)	S <sub>a</sub> (unidades de g)
0.039	0.430

En las Figuras 48 y 49 se muestra el espectro de capacidad, el espectro de demanda y el punto de desempeño para el caso de carga estática “pushover” en la dirección “x” y “y” respectivamente.



**Figura 48:** Espectro de capacidad, espectro de demanda y punto de desempeño para la carga estática “pushover” en la dirección “x”



*Figura 49: Espectro de capacidad, espectro de demanda y punto de desempeño para la carga estática "pushover" en la dirección "y"*

### c. Cálculo del punto de desempeño por medio del Procedimiento A

Se ejemplificará el cálculo del punto de desempeño para el caso de carga estática “pushover” en la dirección “x” y “y”, por medio del procedimiento A descrito en la sección E, inciso 3 de este trabajo. Es importante mencionar que el cálculo del punto de desempeño con el uso de este método consiste básicamente en un procedimiento gráfico. Para el caso de la carga estática “pushover” en la dirección “x” el proceso es el siguiente (ver Figura 50):

1. Desplegar el espectro de demanda inelástico con un 5% de amortiguamiento y el espectro de la demanda en la misma gráfica.
2. Seleccionar un punto de desempeño arbitrario ( $a_{p1}$ ,  $d_{p1}$ ). Para este caso se utilizó el método de aproximación de desplazamiento que se basa en suponer que el desplazamiento inelástico es igual al elástico. Por lo tanto, el punto  $a_{p1}$ ,  $d_{p1}$  se determina con el trazo de una línea desde el espectro de capacidad hasta el espectro de la demanda con un 5% de amortiguamiento, seguido de la misma pendiente del rango elástico del espectro de capacidad. El punto  $a_{p1}$ ,  $d_{p1}$  fue el siguiente:

$$a_{p1}, d_{p1} = 0.385, 0.039$$

3. Desarrollar la representación bilineal del espectro de capacidad con el uso del punto  $a_{p1}$ ,  $d_{p1}$ .
4. Desplegar los espectros de la demanda con amortiguamientos mayores al 5%. Para este caso, se desplegaron los espectros con 15%, 20% y 25% de amortiguamiento.
5. Determinar si los espectros con 15%, 20% y 25% de amortiguamiento interceptan al espectro de capacidad en el punto  $a_{p1}$ ,  $d_{p1}$ . Para este caso, ninguno de los espectros intercepta este punto y por lo tanto se debe tomar

el espectro que esté más cercano al punto  $a_{p1}$ ,  $d_{p1}$  y determinar si está dentro del rango de tolerancia aceptable.

6. Escoger el espectro con 25% de amortiguamiento y determinar el punto en donde se intercepta con el espectro de capacidad. Este punto es el siguiente:

$$a_i, d_i = 0.385, 0.0375.$$

7. Comparar los puntos  $a_i$ ,  $d_i$  y  $a_{p1}$ ,  $d_{p1}$  y determinar si están dentro del rango de tolerancia, el cual se define así:

$$0.95d_{p1} \leq d_i \leq 1.05d_{p1} = 0.0371 < 0.0375 > 0.041.$$

Se cumple el rango de tolerancia y por lo tanto el punto de desempeño es:

$$a_{p1}, d_{p1} = 0.385, 0.039$$

En el Cuadro 65 se compara el punto de desempeño calculado por el SAP 2000 Non Linear V8 con el calculado según el procedimiento A.

**Cuadro 65: Punto de desempeño calculado por el SAP 2000 Non Linear V8 vs. punto de desempeño calculado según el procedimiento A**

	$S_d$ (m)	$S_a$ (unidades de g)
<b>SAP 2000 Non Linear V8</b>	0.043	0.384
<b>Procedimiento A</b>	0.039	0.385

En la Figura 50 se muestra el punto de desempeño del caso de carga estática “pushover” en la dirección “x”, calculado según el procedimiento A.

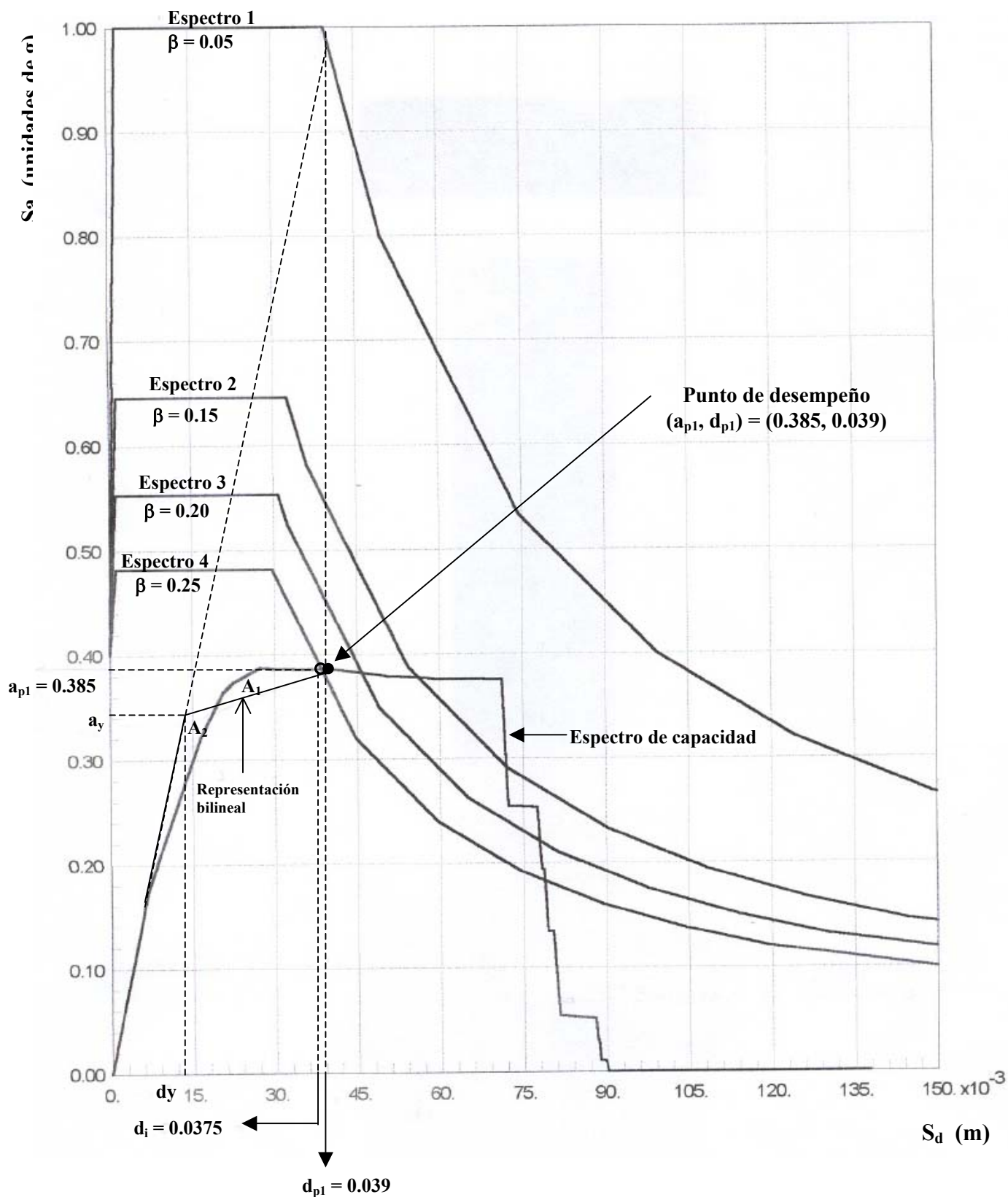


Figura 50: Punto de desempeño de la carga estática “pushover” en la dirección “x”, según el procedimiento A

Para el caso de la carga estática “pushover” en la dirección “y” el proceso de cálculo del punto de desempeño al aplicar el procedimiento A es el siguiente (ver Figura 51):

1. Desplegar el espectro de demanda inelástico con un 5% de amortiguamiento y el espectro de la demanda en la misma gráfica.
2. Seleccionar un punto de desempeño arbitrario ( $a_{p1}$ ,  $d_{p1}$ ). Para este caso se utilizó el método de aproximación de desplazamiento que se basa en suponer que el desplazamiento inelástico es igual al elástico. Por lo tanto, el punto  $a_{p1}$ ,  $d_{p1}$  se determina con el trazo de una línea desde el espectro de capacidad hasta el espectro de la demanda con un 5% de amortiguamiento, seguido de la misma pendiente del rango elástico del espectro de capacidad. El punto  $a_{p1}$ ,  $d_{p1}$  fue el siguiente:

$$a_{p1}, d_{p1} = 0.425, 0.0336$$

3. Desarrollar la representación bilineal del espectro de capacidad con el uso del punto  $a_{p1}$ ,  $d_{p1}$ .
4. Desplegar los espectros de la demanda con amortiguamientos mayores al 5%. Para este caso, se desplegaron los espectros con 15%, 20% y 25% de amortiguamiento.
5. Determinar si los espectros con 15%, 20% y 25% de amortiguamiento interceptan al espectro de capacidad en el punto  $a_{p1}$ ,  $d_{p1}$ . Para este caso, ninguno de los espectros intercepta este punto y por lo tanto se debe tomar el espectro que esté más cercano al punto  $a_{p1}$ ,  $d_{p1}$  y determinar si está dentro del rango de tolerancia aceptable.

6. Escoger el espectro con 25% de amortiguamiento y determinar el punto en donde se intersepta con el espectro de capacidad. Este punto es el siguiente:

$$a_i, d_i = 0.425, 0.0348.$$

7. Comparar los puntos  $a_i, d_i$  y  $a_{p1}, d_{p1}$  y determinar si están dentro del rango de tolerancia, el cual se define así:

$$0.95d_{p1} \leq d_i \leq 1.05d_{p1} = 0.0319 < 0.0348 > 0.0353.$$

Se cumple el rango de tolerancia y por lo tanto el punto de desempeño es:

$$a_{p1}, d_{p1} = 0.425, 0.0336$$

En el Cuadro 66 se compara el punto de desempeño calculado por el SAP 2000 Non Linear V8 con el calculado según el procedimiento A.

**Cuadro 66: Punto de desempeño calculado por el SAP 2000 Non Linear V8 vs. punto de desempeño calculado según el procedimiento A**

	$S_d$ (m)	$S_a$ (unidades de g)
<b>SAP 2000 Non Linear V8</b>	0.0390	0.430
<b>Procedimiento A</b>	0.0336	0.425

En la Figura 51 se muestra el punto de desempeño del caso de carga estática “pushover” en la dirección “y”, calculado según el procedimiento A.

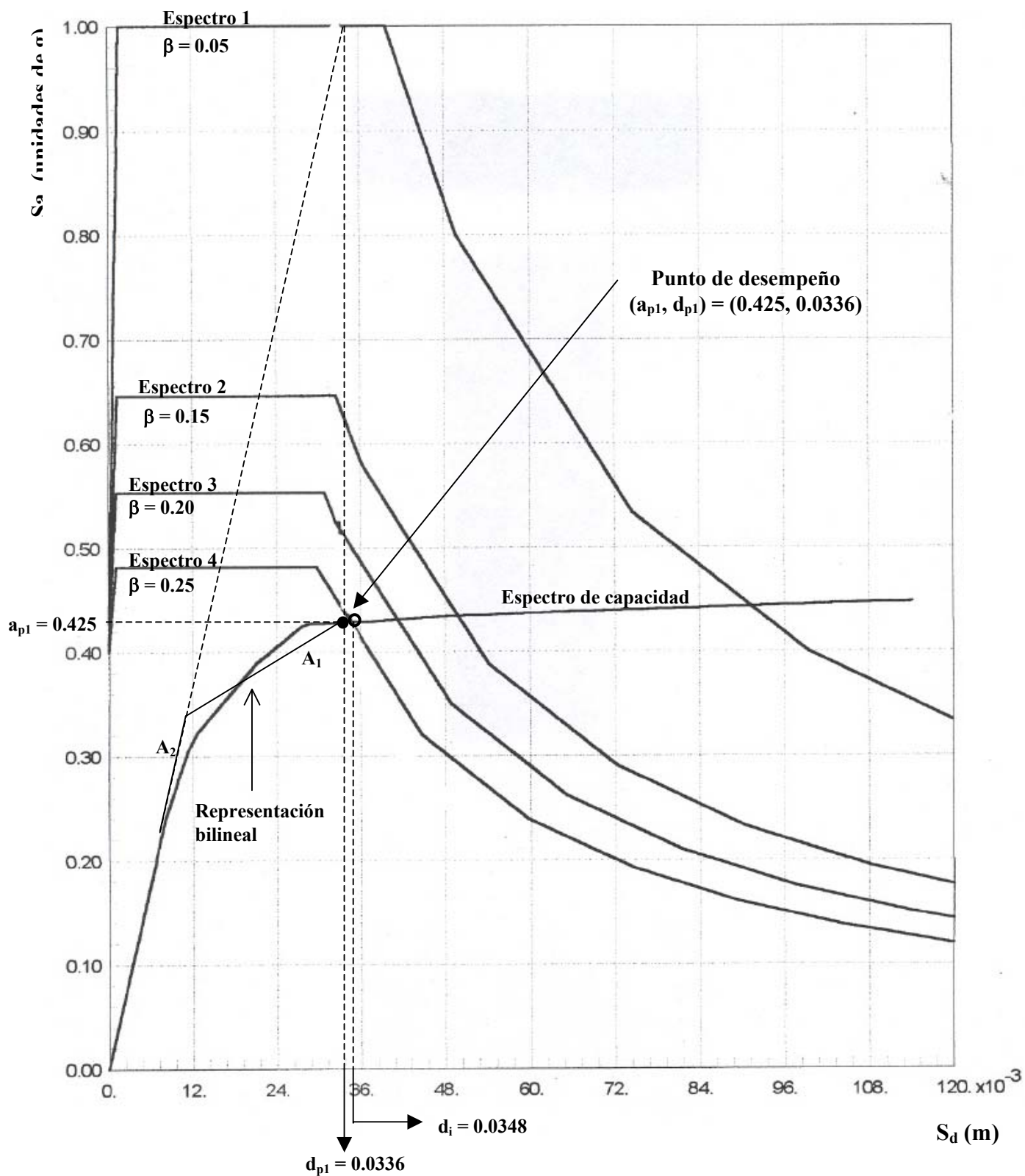


Figura 51: Punto de desempeño de la carga estática “pushover” en la dirección “y”, según el procedimiento A

#### d. Estado de las articulaciones generadas

En los Cuadros 67 y 68 se muestra el número total de articulaciones formadas por cada uno de los tramos de la curva de carga lateral vs. desplazamiento (ver Figura 35), en cada uno de los pasos originados en los casos de carga estática “pushover” en la dirección “x” y “y”.

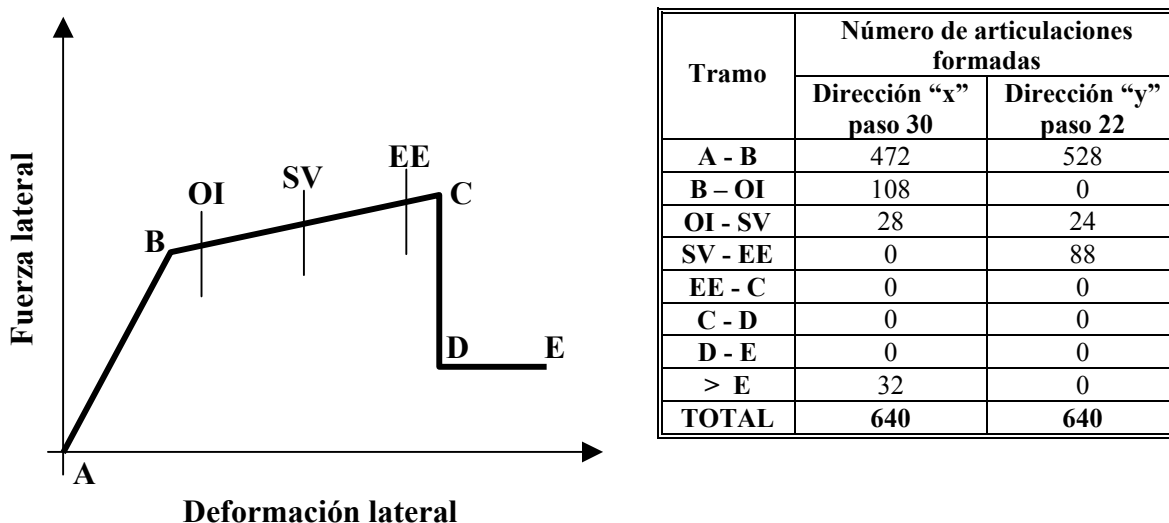
**Cuadro 67: Número total de articulaciones para cada paso para la carga estática “pushover” en la dirección “x”**

Paso	Número de articulaciones								
	Tramo en la curva de carga lateral vs. desplazamiento								
	A - B	B - OI	OI - SV	SV - EE	EE - C	C - D	D - E	> E	TOTAL
0	640	0	0	0	0	0	0	0	640
1	634	6	0	0	0	0	0	0	640
2	602	38	0	0	0	0	0	0	640
3	550	90	0	0	0	0	0	0	640
4	548	92	0	0	0	0	0	0	640
5	518	122	0	0	0	0	0	0	640
6	514	126	0	0	0	0	0	0	640
7	488	152	0	0	0	0	0	0	640
8	484	146	10	0	0	0	0	0	640
9	480	130	30	0	0	0	0	0	640
10	476	122	26	16	0	0	0	0	640
11	472	108	44	0	8	8	0	0	640
12	472	108	28	16	0	0	16	0	640
13	472	108	28	0	12	4	16	0	640
14	472	108	28	0	8	0	24	0	640
15	472	108	28	0	4	4	24	0	640
16	472	108	28	0	0	0	32	0	640
17	472	108	28	0	0	0	24	8	640
18	472	108	28	0	0	0	16	16	640
19	472	108	28	0	0	0	12	20	640
20	472	108	28	0	0	0	12	20	640
21	472	108	28	0	0	0	8	24	640
22	472	108	28	0	0	0	8	24	640
23	472	108	28	0	0	0	4	28	640
24	472	108	28	0	0	0	0	32	640
25	472	108	28	0	0	0	0	32	640
26	472	108	28	0	0	0	0	32	640
27	472	108	28	0	0	0	0	32	640
28	472	108	28	0	0	0	0	32	640
29	472	108	28	0	0	0	0	32	640
30	472	108	28	0	0	0	0	32	640

**Cuadro 68: Número total de articulaciones para cada paso para la carga estática “pushover” en la dirección “y”**

Paso	Número de articulaciones								
	Tramo en la curva de carga lateral vs. desplazamiento								TOTAL
	A - B	B - OI	OI - SV	SV - EE	EE - C	C - D	D - E	> E	
0	640	0	0	0	0	0	0	0	640
1	640	0	0	0	0	0	0	0	640
2	636	4	0	0	0	0	0	0	640
3	608	32	0	0	0	0	0	0	640
4	590	50	0	0	0	0	0	0	640
5	588	52	0	0	0	0	0	0	640
6	566	74	0	0	0	0	0	0	640
7	554	86	0	0	0	0	0	0	640
8	552	88	0	0	0	0	0	0	640
9	550	90	0	0	0	0	0	0	640
10	540	100	0	0	0	0	0	0	640
11	530	48	62	0	0	0	0	0	640
12	528	50	62	0	0	0	0	0	640
13	528	48	64	0	0	0	0	0	640
14	528	36	76	0	0	0	0	0	640
15	528	24	88	0	0	0	0	0	640
16	528	24	88	0	0	0	0	0	640
17	528	8	78	26	0	0	0	0	640
18	528	0	50	62	0	0	0	0	640
19	528	0	44	68	0	0	0	0	640
20	528	0	24	88	0	0	0	0	640
21	528	0	24	88	0	0	0	0	640
22	528	0	24	88	0	0	0	0	640

En la Figura 52 se ejemplifica el número total de articulaciones en cada uno de los tramos de la gráfica de fuerza lateral vs. deformación, para el paso 30 de la carga estática “pushover” en la dirección “x” y para el paso 23 de la carga estática “pushover” en la dirección “y”.



**Figura 52:** *Número de articulaciones formadas en cada tramo de la curva de fuerza lateral vs. deformación en el último paso del caso "x" y "y"*

También es importante saber el tipo de articulaciones formadas en cada uno de los elementos del modelo estructural. Para el caso de carga estática "pushover" en la dirección "x" se mostrará el tipo de articulaciones generadas en cada uno de los elementos de los marcos del Eje C y del Eje 1. En ambos ejes se mostrarán las articulaciones generadas en el paso 30. Para el caso de carga estática "pushover" en la dirección "y" se mostrará el tipo de articulaciones generadas en cada uno de los elementos de los marcos del Eje A y del Eje 4. En ambos ejes se mostrarán las articulaciones generadas en el paso 22. Para cada uno de los dos ejes y para cada articulación se mostrará la carga axial, de corte y de momento aplicada, el valor de la deformación, según su dirección o giro, y el tramo en donde se localiza la articulación en la gráfica de fuerza lateral vs. deformación.

En los Cuadros 69 y 70 se mostrarán los datos del Eje 1 y del Eje C. En las Figuras 53 y 54 se muestran las articulaciones formadas en los marcos del Eje 1 y del Eje C. En los Cuadros 71 y 72 se mostrarán los datos del Eje A y del Eje 4. En las Figuras 55 y 56 se muestran las articulaciones formadas en los marcos del Eje A y del Eje 4.





















**e. Carga Axial, corte y momento en cada paso “pushover”**

También es importante visualizar los valores de la carga axial, corte y momento de los elementos de la estructura en cada uno de los pasos “pushover”. Por lo tanto, en el Cuadro 73 se muestran estos valores para los elementos del marco del Eje 2 para la carga estática “pushover”, en la dirección “x” de los pasos 1, 15 y 30. Además, en el Cuadro 74 se muestran los mismos valores para los elementos del marco del Eje C para la carga estática “pushover”, en la dirección “y” de los pasos 1, 11 y 22.























#### f. Variación del modelo estructural

Con el objetivo de poder comparar resultados, también se incluyen los espectros de capacidad, de demanda y el punto de desempeño del modelo estructural anterior, con la única variante de que las columnas se modelaron con una sección de 60 x 60 cm y con un refuerzo de 8 varillas # 8. Todas las demás propiedades del modelo y del análisis no lineal estático permanecieron iguales.

En el Cuadro 75 se muestra el punto de desempeño para el caso de carga estática “pushover”, en la dirección “x” y en la dirección “y” para este modelo modificado estructural.

**Cuadro 75: Puntos de desempeño del modelo modificado**

Carga estática “pushover”	$S_d$ (m)	$S_a$ (unidades de g)
Dirección “x”	0.055	0.276
Dirección “y”	0.046	0.347

En las Figuras 57 y 58 se muestran el espectro de capacidad, el de demanda y el punto de desempeño para los casos de carga estática “pushover”, en la dirección “x” y dirección “y” del modelo modificado. En el Cuadro 76 se comparan los puntos de desempeño, en ambas direcciones de carga, del modelo original y del modelo modificado:

**Cuadro 76: Puntos de desempeño del modelo original y del modelo modificado**

Modelo	Carga estática “pushover”	$S_d$ (m)	$S_a$ (unidades de g)
Original	Dirección “x”	0.043	0.384
Modificado	Dirección “x”	0.055	0.276
Original	Dirección “y”	0.039	0.430
Modificado	Dirección “y”	0.046	0.347

En las Figuras 59 y 60 se comparan los espectros de capacidad y demanda del modelo original y del modelo modificado.

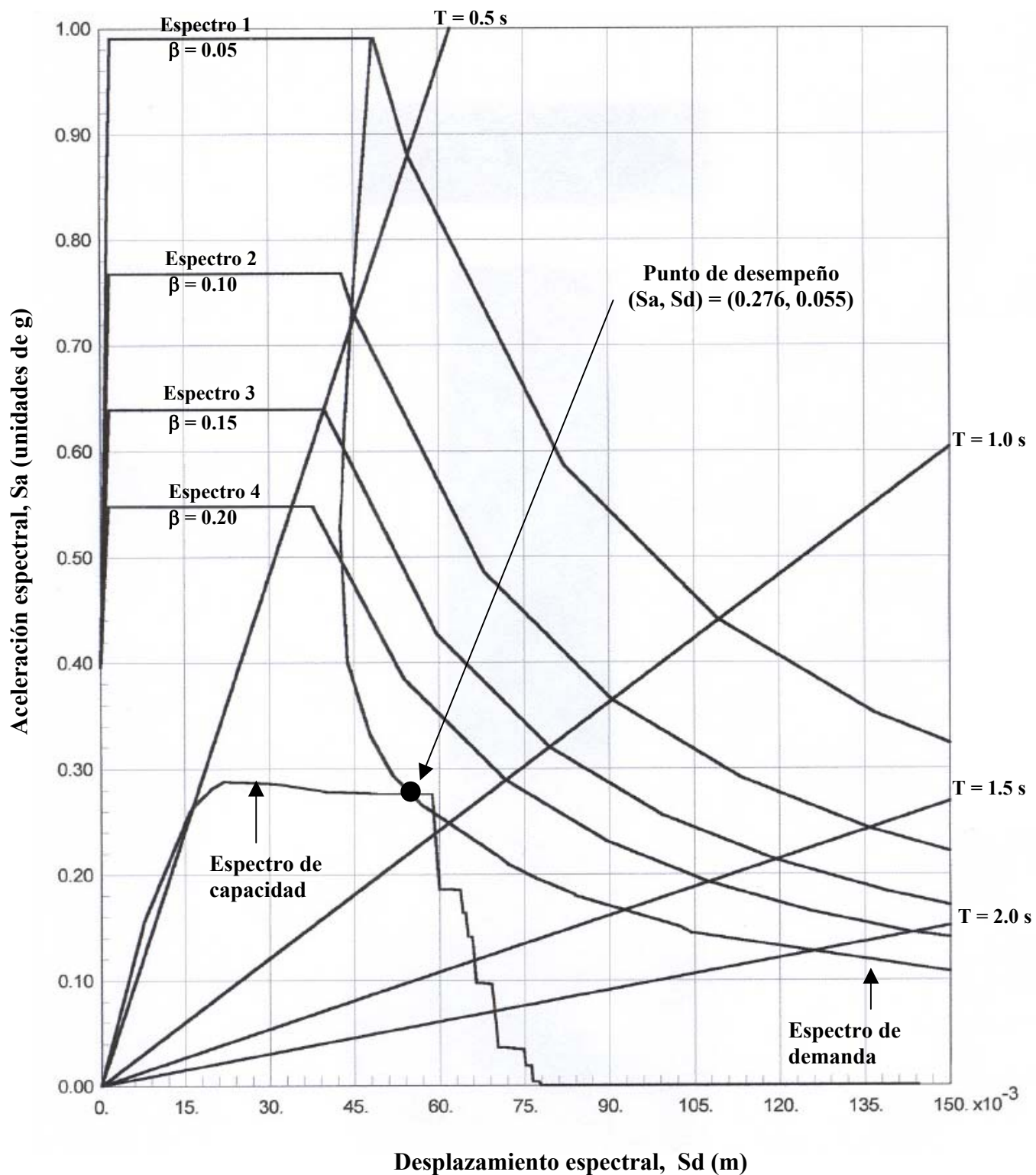
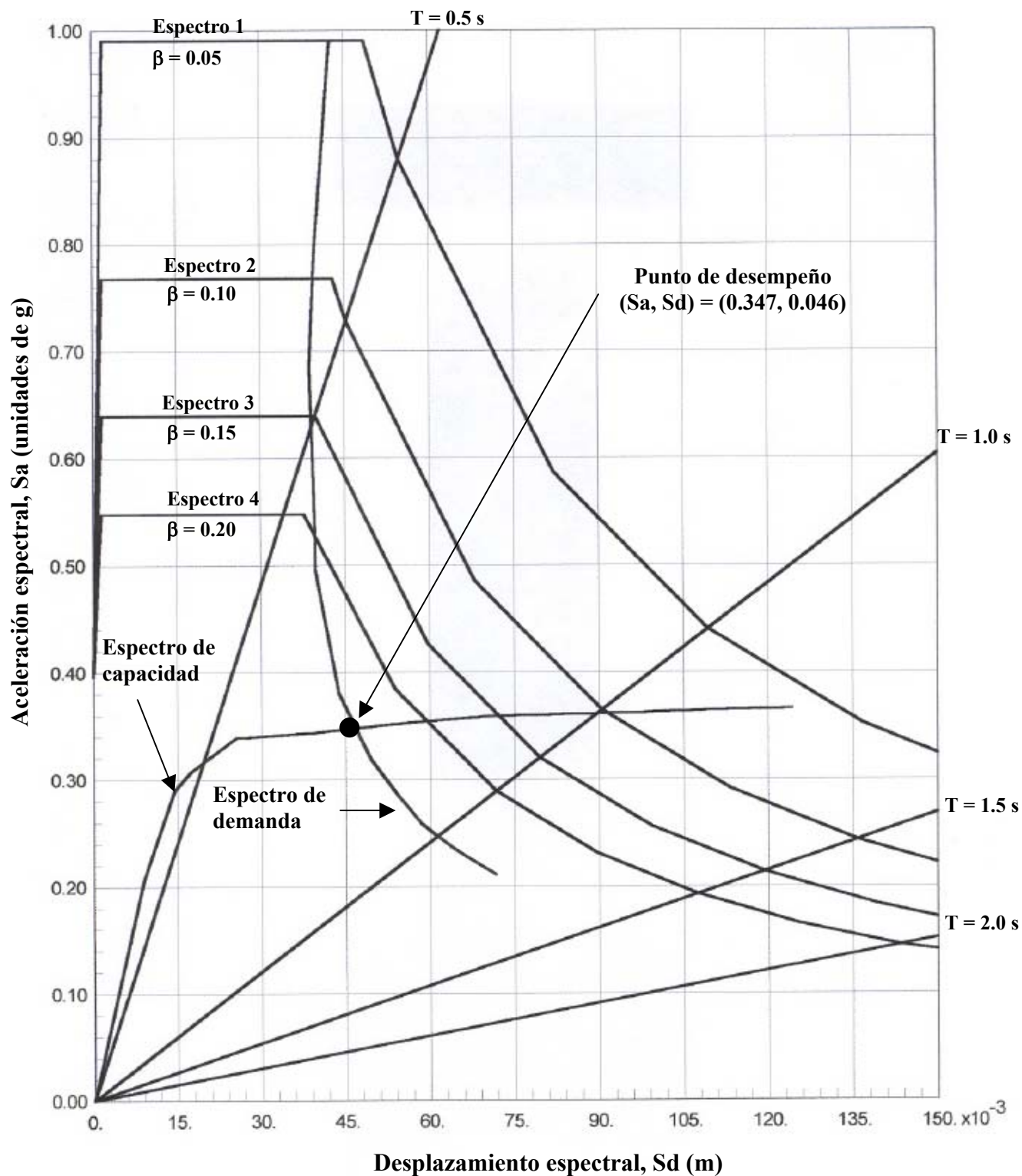


Figura 57: Espectro de capacidad, espectro de demanda y punto de desempeño para la carga estática "pushover" en la dirección "x" del modelo modificado



**Figura 58:** Espectro de capacidad, espectro de demanda y punto de desempeño para la carga estática “pushover” en la dirección “y” del modelo modificado



