



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

INSTITUTO DE INGENIERÍA

Aplicación de los métodos estático y dinámico
modal para el diseño sísmico de edificios con
disipadores de energía

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL – ESTRUCTURAS

P R E S E N T A :

DONOBHAN PRESICHI GERARDO



TUTORA:
DRA. SONIA ELDA RUIZ GÓMEZ

JUNIO DEL 2007

JURADO ASIGNADO:

Presidente: DR. ROBERTO MELI PIRALLA
Secretario: DR. MARIO ORDAZ SCHROEDER
Vocal: DRA. SONIA ELDA RUIZ GÓMEZ
1^{er}. Suplente: DR. ORLANDO JAIME DÍAZ LÓPEZ
2^{do}. Suplente: MI. OCTAVIO GARCIA DOMINGUEZ

Lugar donde se realizó la tesis:

INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM.

TUTORA DE TESIS:

DRA. SONIA ELDA RUIZ GÓMEZ

Agradecimientos

A el amor de mi vida Celida Yuliana Cabrera López mi hermosa prometida y próxima esposa. Por tantos momentos inolvidables que hemos vivido. Te amo princesa.

A mi familia mi papá Natalio Presichi García, mi mamá Socorro Gerardo y mi hermano Christian Presichi por siempre ser un ejemplo de cómo se deben hacer las cosas. Muchas gracias y ese amor tan grande e incondicional.

A mis abuelitos, Nanita y mi Tata por ese amor tan grande y hermoso siempre los llevo en el corazón.

A la Dra. Sonia Elda Ruiz Gómez por su apoyo y confianza en la elaboración de este trabajo y permitirme unirme a su grupo de trabajo. Por su paciencia y amistad muchas gracias doctora.

A mis compañeros del Instituto de Ingeniería por compartir tantos momentos inolvidables. En especial a mis compañeros de piso: Edén, Rangel, Poncho, Luz, Nohemí, Ulises, Roberto, Yasser, Eduardo y los Marcos (Torres y Montiel).

A los compañeros del departamento #302 en donde viví momentos inolvidables. En especial a los que vivieron conmigo: Edén (Sinaloa), Poncho (Sinaloa), Carlos Villa (DF), Miguel Meza (Sinaloa), Mauro (Oaxaca), Rangel (Tampico), Daniel (Sinaloa), Dionisio (Chiapas), Juan Luís (Sinaloa), Adrián (Oaxaca), Luna (Tampico), Edgar (Tampico) y Bowgao (Tampico).

A mi profesor, pero antes que nada mi amigo, Joel M Ojeda Ruiz por su motivación a seguir estudiando y su apoyo a iniciar esta aventura.

A todos mis amigos que de forma directa e indirectamente siempre fueron un aliciente a seguir adelante.

A mis sinodales por sus valiosos comentarios.

A CONACYT por su apoyo económico durante mis estudios.



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN, OBJETIVO Y ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	1
Capítulo 1.	
REVISIÓN DE MÉTODOS DE ANÁLISIS SÍSMICO DE EDIFICIOS CONVENCIONALES	7
1.1. Método estático	8
1.1.1. Método estático según el Apéndice A del RCDF-2004	8
1.2. Método dinámico	9
1.2.1. Método modal espectral	9
1.2.1.1. Método modal espectral según el RCDF-2004	9
1.2.2. Método “paso a paso” en el tiempo	10
1.2.2.1. Método “paso a paso” en el tiempo según el RCDF-2004	10
Capítulo 2.	
ANÁLISIS SÍSMICO PARA EL DISEÑO DE EDIFICIOS CON DISIPADORES DE ENERGÍA	12
2.1. Método estático para edificios con disipadores de energía	13
2.1.1. Revisión inicial	13
2.1.2. Revisión de la condición de aceptación del estado límite de servicio	13
2.1.3. Revisión de las condiciones de aceptación del estado límite último	20
2.2. Método dinámico modal espectral para edificios con disipadores de energía	21
2.2.1. Revisión inicial	21
2.2.2. Revisión de la condición de aceptación del estado límite de servicio	22
2.2.3. Revisión de las condiciones de aceptación del estado límite último	23
Capítulo 3.	
DESCRIPCIÓN DE LOS EDIFICIOS QUE SE ANALIZAN CON LOS MÉTODOS ESTÁTICO Y MODAL	25
3.1. Descripción del edificio de diez niveles	25
3.2. Descripción del edificio veinticuatro niveles	27
Capítulo 4.	
APLICACIÓN DEL MÉTODO ESTÁTICO AL EDIFICIO DE 10 NIVELES CON DISIPADORES DE ENERGÍA TIPO TADAS	30
4.1. Revisión inicial	30
4.2. Revisión de la condición de aceptación del estado límite de servicio	33
4.3. Revisión de las condiciones de aceptación del estado límite último	37



Capítulo 5.	
APLICACIÓN DEL MÉTODO DINÁMICO MODAL A DOS EDIFICIOS CON DISIPADORES DE ENERGÍA TIPO TADAS	43
5.1. Edificio de 10 niveles. Revisión inicial	43
5.2. Edificio de 10 niveles. Revisión de la condición de aceptación del estado límite de servicio	46
5.3. Edificio de 10 niveles. Revisión de las condiciones de aceptación del estado límite último	50
5.4. Edificio de 24 niveles. Revisión inicial	54
5.5. Edificio de 24 niveles. Revisión de la condición de aceptación del estado límite de servicio	56
5.6. Edificio de 24 niveles. Revisión de las condiciones de aceptación del estado límite de último	61
❖ COMENTARIOS FINALES Y RECOMENDACIONES	66
❖ REFERENCIAS	67

APÉNDICES

▪ Apéndice A	
Obtención del factor de reducción por disipación de energía Q_{μ}^d	69
▪ Apéndice B	
Espectro de diseño según el Apéndice A del RCDF-2004	72
▪ Apéndice C	
Archivos de datos del DRAIN2DX	
○ Edificio de 10 niveles	74
○ Edificio de 24 niveles	76
❖ AGRADECIMIENTOS	92



INTRODUCCIÓN, OBJETIVO Y ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

Con la finalidad de aprovechar al máximo la capacidad de las estructuras sismorresistentes, el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF-2004) permite que estas incurran en su intervalo de comportamiento inelástico; lo cual, esto implica que se acepte cierto nivel de daño estructural que, en el caso de sismos intensos, puede llevar a reparaciones costosas. Los daños provocados por temblores han sido objeto de numerosos estudios por parte de investigadores. Se ha buscado continuamente la manera de construir estructuras más seguras ante estos fenómenos naturales. El intento por lograr un desempeño sísmico satisfactorio ha llevado al desarrollo de dispositivos disipadores de energía que al ser colocados en los edificios incrementan su capacidad de disipación de energía. Estos dispositivos buscan concentrar en ellos la disipación de energía y tienen como finalidad disminuir las demandas inelásticas en elementos estructurales, reduciendo así daños en la estructura principal.

En las últimas décadas el número de disipadores de energía fabricados en el mundo ha crecido considerablemente (Tena *et al*, 2003). Las instituciones han dedicado cada vez mayor tiempo al estudio analítico y experimental de estructuras con estos sistemas; sin embargo, *se ha hecho menos para tratar de aplicar estos dispositivos en la práctica profesional*, y así reducir los efectos económicos y sociales que causan los sismos en nuestro país. Es importante contar con métodos de diseño de estructuras con dispositivos disipadores de energía que puedan emplearse en la práctica profesional de la ingeniería como una opción para diseñar edificios.

En esta tesis se utilizan disipadores de energía que se basan en la deformación plástica del acero, por lo que enseguida se hace una breve revisión de los más conocidos y utilizados en México.

Revisión de algunos disipadores de energía que se basan en la deformación plástica del acero

Los disipadores de energía de tipo pasivo se clasifican en aquellos que dependen del desplazamiento entre sus extremos, y aquellos que dependen de su velocidad. En lo que sigue se revisan algunos estudios de disipadores basados en el desplazamiento relativo entre sus extremos. Este tipo de disipadores, y en especial los disipadores TADAS, son los que se utilizan en esta tesis.

Aguirre y Sánchez (1989 y 1990) probaron experimentalmente soleras en forma de U (Figura 1) que mostraron un comportamiento histerético estable; además, desarrollan esfuerzos similares en casi toda la sección transversal. Su comportamiento idealizado es semejante al mostrado en la Figura 1b, la pendiente en la zona inelástica depende de las características de cada dispositivo.



El dispositivo mostrado en la Figura 1 fue estudiado inicialmente por Skinner, Nelly y Heine (1975). Consiste en dos placas en forma de U que disipan energía al desplazarse una cara con respecto a la otra. Los desplazamientos relativos entre los niveles ocasionan el movimiento conocido como rolado por flexión mediante el cual se disipa energía. Chávez y González, (1989) realizaron pruebas experimentales en la mesa vibradora del Instituto de Ingeniería de la UNAM en un marco de una cruzija y dos niveles en donde se utilizaron estos dispositivos (Figura 2).

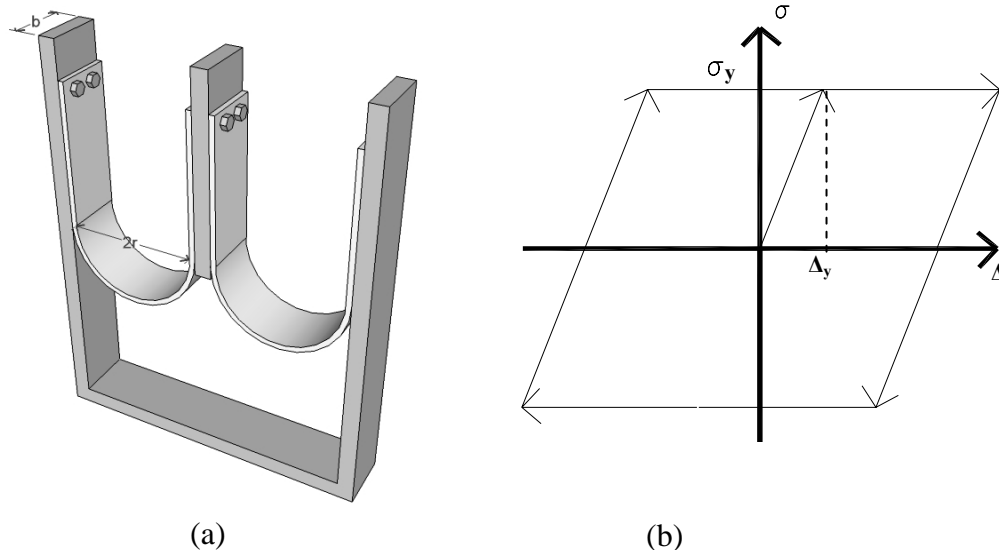


Figura 1. a) Dispositivo en forma de U, b) Comportamiento elastoplástico

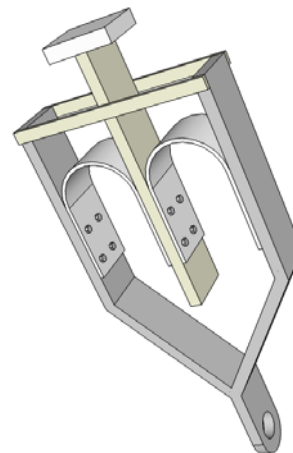


Figura 2. Disipador de energía tipo solera en forma de U

Alonso (1989), Whittaker (1989), Scholl (1990), Su y Hanson (1990) y Bergman y Hanson (1990) estudiaron placas de acero con sección transversal en forma de “X” (Figura 3), llamadas ADAS (*Added Damping And Stiffness*).

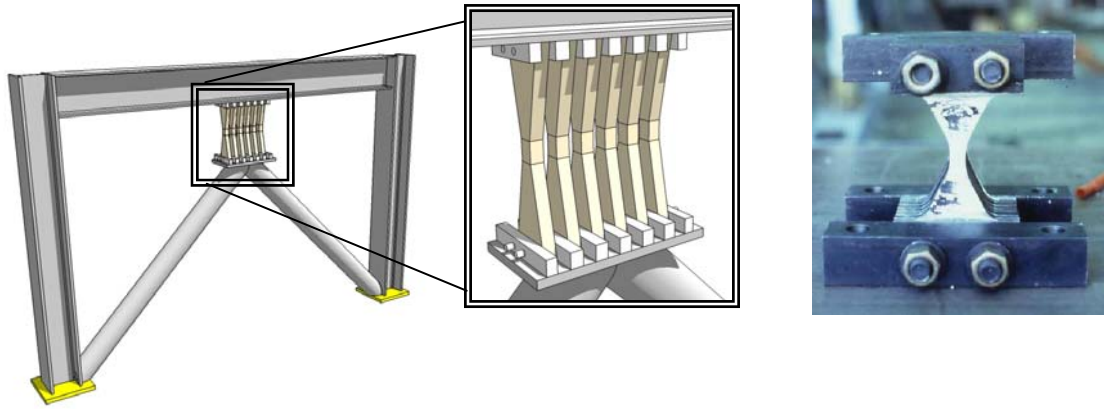
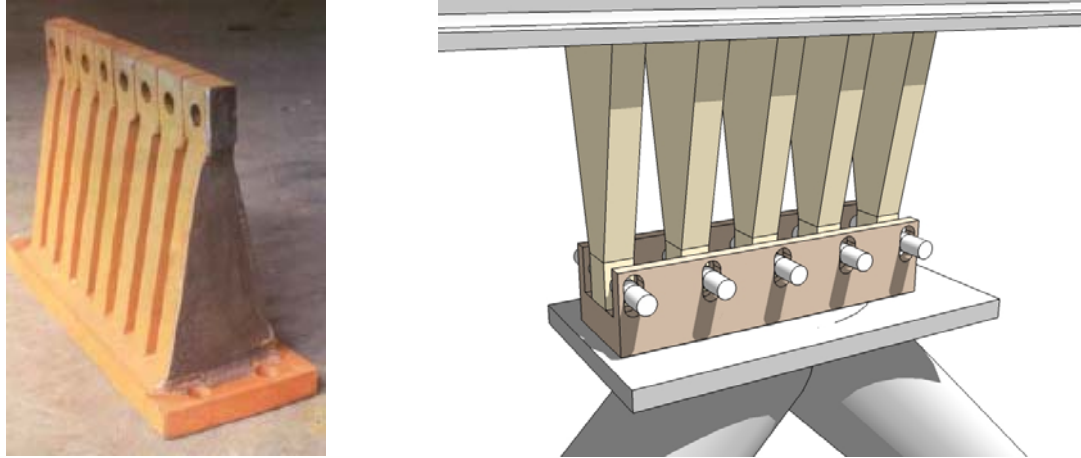
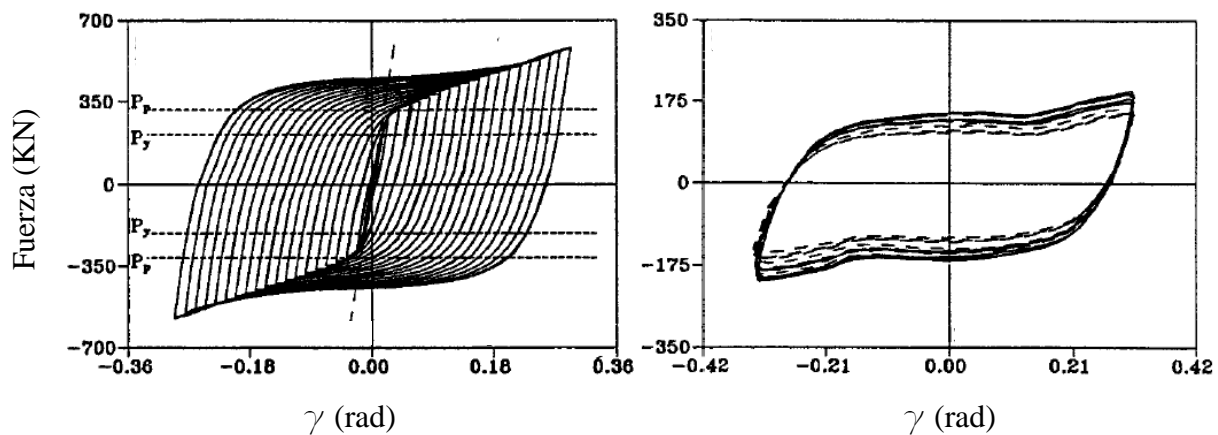


Figura 3. Dispositivo ADAS

La forma de la sección transversal de los dispositivos ADAS obedece a que al desplazarse un nivel respecto al otro, las placas se deforman en doble curvatura, así que, si se empotran las placas, se genera un diagrama de esfuerzos casi uniforme en todo el peralte que cambia de signo en el eje neutro. Esto ocasiona que el esfuerzo de fluencia se alcance prácticamente en todo el volumen al mismo tiempo.

Tsai *et al*, (1993) estudiaron una placa triangular (similar a la mitad de una placa ADAS) llamada TADAS. Las placas se empotran en uno de sus lados a otra placa de acero que se conecta al nivel superior del entrepiso. En el vértice del triángulo se colocan pernos que se conectan a contravientos que parten del nivel inferior del entrepiso (Figura 4). Este tipo de conexión ocasiona que las placas se deformen en curvatura simple. Al incorporarse este sistema en un marco de acero a escala natural se pudo comprobar que las reducciones en la respuesta son similares a las obtenidas con ADAS; sin embargo, de acuerdo con los autores, los resultados del modelo analítico del marco se acercan más al modelo experimental con este dispositivo, debido a que la rigidez lateral de las placas por la forma en que están conectadas, se predice con menor incertidumbre que con las placas ADAS, en las que la rigidez es fuertemente dependiente de la conexión con las placas de apoyo. En la Figura 5 se muestran dos curvas histeréticas típicas de disipadores TADAS probados por Tsai *et al*, (1993).

Figura 4. Disipador tipo TADAS (Tsai *et al*, 1993)Figura 5. Curvas históricas obtenidas en pruebas de laboratorio (Tsai *et al*, 1993)

Kobori *et al* (1992) estudiaron la respuesta experimental de placas de acero en secciones transversales similares a los ADAS pero colocadas en dirección perpendicular y unidas entre sí. Por el espacio que queda entre las placas, se le nombró de tipo Panal (Figura 6a). El sistema se estudió analíticamente en una estructura de 29 niveles colocando el dispositivo entre un nivel y otro, a través de muros. Las reducciones de la respuesta fueron de hasta un 60%. Adicionalmente, los mismos autores, analizaron otro dispositivo de acero de sección circular variable empotrado en dos placas de acero (Figura 6b). Este dispositivo se analizó en el estudio analítico de una rampa de 98 m de altura, cuya respuesta resultó 40% menor que aquella que se obtuvo sin incorporar la barra de acero.

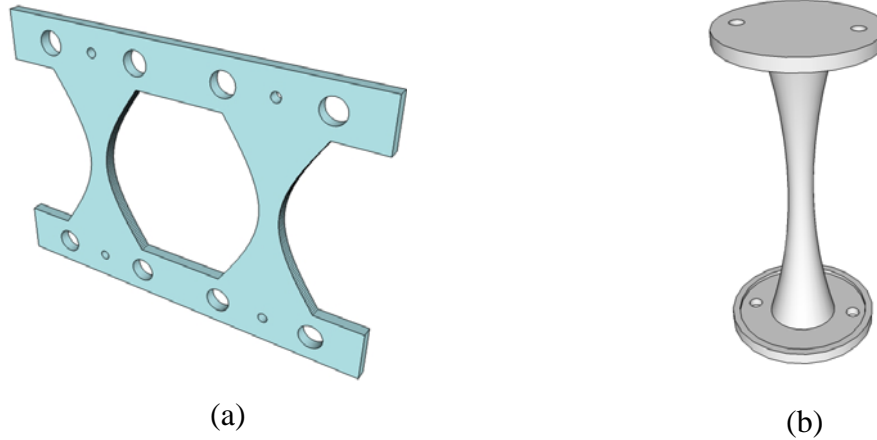


Figura 6. a) Disipador de energía tipo panel, b) Disipador con sección circular variable.

Objetivo de la tesis

El objetivo de esta tesis es ilustrar paso a paso la aplicación de dos criterios para el diseño sísmico de edificios con dispositivos disipadores de energía. Ambos criterios se basan en los métodos de diseño sismo-resistente estático y dinámico modal, similares a los recomendados en el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF-2004) pero ampliados para considerar el efecto de la presencia de los disipadores. Los métodos se aplican a dos estructuras: de diez y de veinticuatro niveles, ambas localizadas en el suelo blando de la ciudad de México.

Los métodos que se aplican en esta tesis se pretenden incorporar en la próxima versión de las ayudas de diseño del Manual de Diseño por Sismo de la Comisión Federal de Electricidad.

Organización de la tesis

La tesis se encuentra organizada de la siguiente manera:

En el Capítulo 1 se hace una breve descripción de los métodos de diseño sismo-resistente mencionados en el RCDF-2004 (método estático y dinámico modal espectral).

En el Capítulo 2 se describen dos criterios para diseñar edificios utilizando disipadores de energía, basado en los métodos estático o dinámico.

En el Capítulo 3 se hace una descripción de los dos edificios estudiados en esta tesis. Los edificios son de diez y de veinticuatro niveles.

El Capítulo 4 consiste en la aplicación del método estático para edificios con disipadores de energía a la estructura de diez niveles.



En el Capítulo 5 se aplica el método dinámico modal espectral para edificios con disipadores de energía a las dos estructuras descritas en el capítulo 3.

Finalmente se hacen algunos comentarios finales relativos al estudio.

El Apéndice A muestra el procedimiento general para obtener el factor de reducción Q_{μ}^d debido a la presencia de disipadores de energía (Ruiz y Rivera, 2007).

El Apéndice B muestra el procedimiento para calcular el espectro de diseño según el Apéndice A del RCDF-2004.

El Apéndice C muestra los archivos de datos del DRAIN2DX utilizados para los análisis presentados en este trabajo.



Capítulo 1

REVISIÓN DE MÉTODOS DE ANÁLISIS SÍSMICO DE EDIFICIOS CONVENCIONALES

En los distintos códigos de diseño del mundo se especifican diversos procedimientos para el análisis sísmico de edificios. El Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF-2004) considera los siguientes tipos de análisis sísmico: simplificado, estático y dinámico.

El método estático toma en cuenta el efecto de las acciones sísmicas mediante la aplicación de un conjunto de fuerzas laterales a lo alto del edificio. Estas fuerzas se aplican en el centro de masas de cada nivel. El conjunto de fuerzas tiene forma de un triángulo invertido. El método dinámico se divide en dos: modal espectral y “paso a paso” en el tiempo. El análisis modal espectral considera los espectros de diseño para el cálculo de las respuestas estructurales. Por otro lado, el método “paso a paso” toma en cuenta el comportamiento de la estructura ante la acción de un acelerograma determinado resolviendo la ecuación de movimiento para cada instante de tiempo. Este último método es el que reproduce de manera más realista la respuesta sísmica de estructuras con comportamiento no-lineal.



1.1. Método estático

Varios reglamentos del mundo especifican procedimientos de análisis sísmico similares al método estático recomendado en el RCDF-2004, debido a su simplicidad, y además, a que la mayoría de las estructuras cumplen con los requisitos necesarios para su aplicación. En lo que sigue se revisan brevemente los métodos del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF-2004).

1.1.1. Método estático según el Apéndice A del RCDF-2004

El análisis estático consiste en someter a la estructura ante cargas horizontales distribuidas a lo alto del edificio. Las demandas a las que se somete están determinadas por una fuerza asociada a la demanda espectral correspondiente al periodo fundamental de la estructura. Para calcular la fuerza en cualquier entrepiso i , se utiliza la siguiente ecuación:

- a). Si T es menor o igual a T_b , cada una de las fuerzas laterales se tomará:

$$F_i = \frac{C_s}{Q'R} W_i h_i \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i} \quad (1.1)$$

donde W_i y h_i son el peso y la altura del i -ésimo nivel sobre el terreno, respectivamente.

- b). Si T es mayor o igual que T_b , cada una de las fuerzas laterales se tomará igual a

$$F_i = W_i (k_1 h_i + k_2 h_i^2) \frac{C_s}{Q'R} \quad (1.1)$$

$$k_1 = [1 - 0.5r(1-q)] \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i} \quad (1.2)$$

$$k_2 = [1 - 0.75r(1-q)] \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i^2} \quad (1.3)$$

$$q = \left(\frac{T_b}{T} \right)^r$$

donde F_i , W_i y h_i son la fuerza total, peso de la masa, altura desde la base de desplante al nivel i -ésimo, C_s es el coeficiente sísmico asociado al periodo de vibración de la estructura (obtenido de la Figura 1.1) y r se tomara de la Tabla 3.1 del RCDF-2004. Q' y R son factores de reducción que se obtiene según las ecuaciones B.7 y B.8 del Apéndice B de esta tesis.

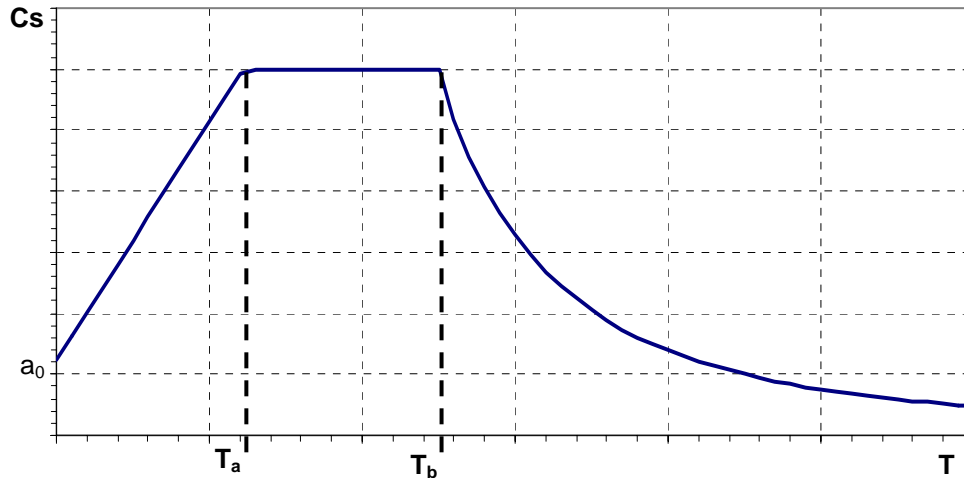


Figura 1.1 Espectro de diseño

La aplicación del método estático está limitado en el RCDF-2004 a las siguientes condiciones:

- Que la altura no sea mayor que 30 m, y para estructuras irregulares no más de 20 m.
- Para edificios ubicados en la zona I (mapa A.1 de zonificación del RCDF-2004) la altura mayor es de 40 m, y para estructuras irregulares de no más de 30 m.
- El comportamiento dinámico de la estructura deberá estar gobernado por el modo fundamental de vibración.
- Se considera que la estructura tiene una configuración geométrica regular.
- La masa se encuentra uniformemente distribuida en el nivel.
- Los entrepisos se modelan como diafragmas rígidos.
- Se considera un análisis lineal que toma en cuenta los efectos no-lineales a través del factor Q' .

1.2. Método dinámico

Con el paso del tiempo, ha existido la necesidad de construir edificios cada vez más altos y esbeltos. Los proyectos arquitectónicos han aumentado las irregularidades estructurales, por tal motivo los métodos simplificado y estático no representan con suficiente aproximación el comportamiento real de las estructuras sujeta a la acción de los sismos. El análisis dinámico da una mejor aproximación del comportamiento real de las estructuras, pues incorpora información ignorada o indirectamente considerada en el análisis estático. La diferencia entre el método estático y el dinámico consiste en la manera de considerar el posible comportamiento inelástico y la forma en que se define la



excitación sísmica de diseño. A continuación se describen brevemente los métodos modal espectral y el “paso a paso”, según el RCDF-2004.

1.2.1. Método modal espectral

El método modal espectral toma en cuenta las propiedades dinámicas de la estructura, tales como su forma de vibrar y la contribución de cada modo en la respuesta. Esto con la finalidad de reproducir con mayor aproximación el comportamiento estructural real ante acciones sísmicas. Este análisis sísmico se utiliza cuando la importancia de la estructura lo amerita (por ejemplo en estructuras del grupo A o si no se cumplen las condiciones de los métodos simplificado y estático).

1.2.1.1. Método modal espectral según el RCDF-2004

Para aplicar el método modal espectral se debe considerar que cuando se desprecia el acoplamiento entre los grados de libertad de traslación horizontal y de rotación con respecto a un eje vertical, deberá incluirse el efecto de todos los modos naturales de vibración con periodo mayor o igual a 0.4s, pero en ningún caso podrán considerarse menos de los tres primeros modos de vibrar en cada dirección del análisis, excepto para estructuras de uno o dos niveles. La ecuación 1.4 se utiliza para calcular los pesos modales efectivos en cada dirección del análisis. Este peso deberá ser mayor o igual al noventa por ciento del peso total de la estructura.

$$W_{ei} = \frac{(\{\phi_i\}^T [W] \{J\})^2}{\{\phi_i\}^T [W] \{\phi_i\}} \quad (1.4)$$

donde $\{\phi_i\}$ es el vector de amplitudes del i-ésimo modo natural de vibrar, $[W]$ es la matriz de pesos de las masas y $\{J\}$ es un vector formado con “unos” en las posiciones correspondientes a los grados de libertad de traslación en la dirección de análisis y “ceros” en las otras posiciones. Para calcular la participación de cada modo natural en las fuerzas laterales que actúan sobre la estructura se supondrán las aceleraciones espectrales de diseño. Las respuestas modales S_i (donde S_i puede ser la fuerza cortante, desplazamiento lateral, momento de volteo, u otras) se combinarán para calcular las respuestas totales de acuerdo con la siguiente expresión:

$$S = \sqrt{\sum S_i^2} \quad (1.5)$$

La anterior ecuación es aplicable siempre que los periodos en cuestión difieran al menos diez por ciento entre sí. Los desplazamientos laterales así calculados, y multiplicados por el factor de comportamiento sísmico Q , se utilizarán para determinar efectos de segundo orden y para verificar que la estructura no excede los desplazamientos máximos establecidos por el RCDF-2004.



1.2.2. Método “paso a paso” en el tiempo

Cuando la importancia y el comportamiento sísmico de las estructuras lo amerita es necesario un estudio más refinado para representar con mayor aproximación el comportamiento no-lineal de las estructuras ante fuerzas sísmicas. El método “paso a paso” en el tiempo consiste en someter a la estructura a un sismo real o sintético pudiendo estar o no escalado.

1.2.2.1. Método “paso a paso” en el tiempo según el RCDF-2004

El RCDF-2004 considera un análisis no-lineal de historia en el tiempo el cual consiste en un modelo matemático que justifica la conducta histerética no-lineal para determinar su respuesta dinámica por métodos de integración numérica.

El análisis “paso a paso” de historia en el tiempo calcula la respuesta de temblores específicos como uno de los métodos aceptables, para reproducir el comportamiento más parecido a la realidad usando sismos de diseño o simulados o una combinación de ellos, siempre que se usen no menos de cuatro movimientos independientes.



Capítulo 2

ANÁLISIS SÍSMICO PARA EL DISEÑO DE EDIFICIOS CON DISIPADORES DE ENERGÍA

En la actualidad las instituciones dedicadas a la investigación han propuesto nuevos dispositivos disipadores de energía, los cuales han demostrado, en muchos casos, un mejor comportamiento de las estructuras ante las acciones sísmicas; sin embargo, existen muy pocos procedimientos prácticos y simplificados para diseñar estructuras con disipadores de energía.

En este trabajo se aplican dos métodos propuestos por Ruiz y Presichi (2007) basados en los métodos estático y dinámico modal para estructuras con disipadores de energía. Dichos métodos implican las siguientes condiciones de aceptación:

Para el estado límite de servicio se debe verificar que el perfil de distorsión máxima sea menor que el tolerable.

Para el estado límite último se deben verificar las siguientes tres condiciones de aceptación:



- a) La resistencia lateral global de la estructura debe ser mayor que la resistencia lateral requerida.
- b) La distorsión máxima de entrepiso que demanda la estructura debe ser menor que la permisible.
- c) La ductilidad que demanda el sistema de disipadores ubicados en un entrepiso debe ser menor que la ductilidad tolerable de dicho sistema. Esta última ductilidad se obtiene a partir de pruebas de laboratorio.

En la Figura 2.1 se presenta un diagrama de bloques de los métodos estático y dinámico modal que se emplean en esta tesis. Ambos contemplan la revisión de dos estados límites: servicio y último. Aquí se tratarán disipadores de energía sísmica que se basan en la deformación plástica del acero.

2.1. Método estático para edificios con disipadores de energía

En lo que sigue se mencionan los pasos que se deben seguir cuando se utiliza el método estático para el diseño de edificios con disipadores que dependen del comportamiento plástico del material con el que están constituidos. Estos pasos corresponden al diagrama de bloques de la Figura 2.1.

2.1.1. Revisión inicial

- 1E. Primeramente se realiza un análisis estático (el cual consiste en aplicar y distribuir verticalmente fuerzas en el centro de masas de cada entrepiso).
- 2E. A partir del análisis estático se verifica que el perfil de distorsión máxima (Δ_{\max}^s), sea menor que el límite establecido por el RCDF-2004 (sección A.4 del Apéndice A del RCDF-2004). Si el perfil de distorsiones máximas se excede del límite tolerable ($\Delta_{\text{permitida}}$), será necesario reforzar (por ejemplo, con disipadores) si no se excede se pasará a revisar el estado último.

2.1.2. Revisión de la condición de aceptación del estado límite de servicio

- 3E. Con el fin de revisar la condición $\Delta_{\max}^s < \Delta_{\text{permitida}}$ primeramente se debe calcular la rigidez de cada entrepiso, k_{ci} a partir de las ecuaciones 2.1 y 2.2.

$$F_i = k_{ci} d_i \quad (2.1)$$

$$k_{ci} = F_i / d_i \quad (2.2)$$

donde F_i , d_i y k_{ci} son la fuerza cortante, desplazamiento de entrepiso y rigidez del i -ésimo entrepiso, respectivamente.

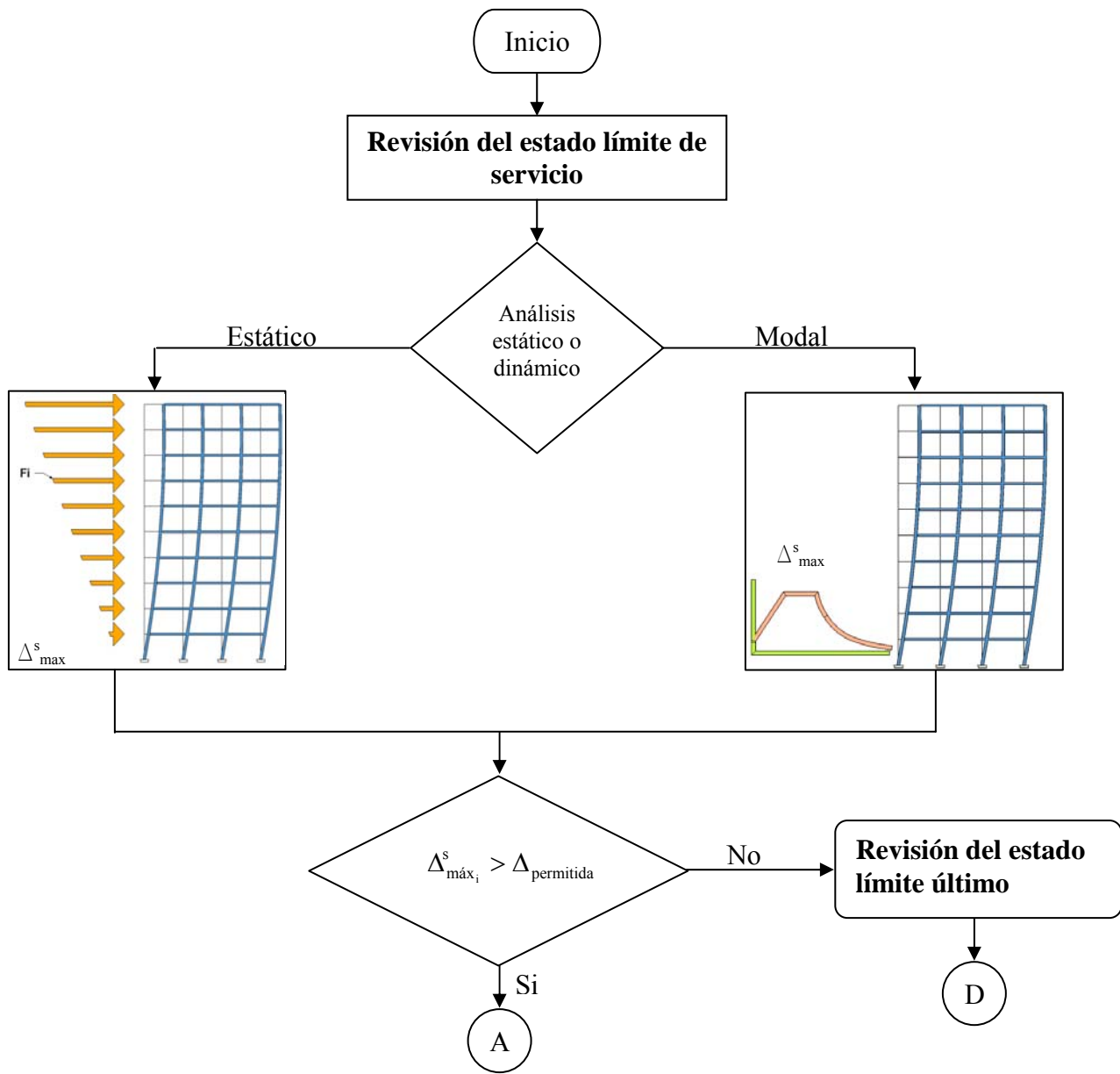
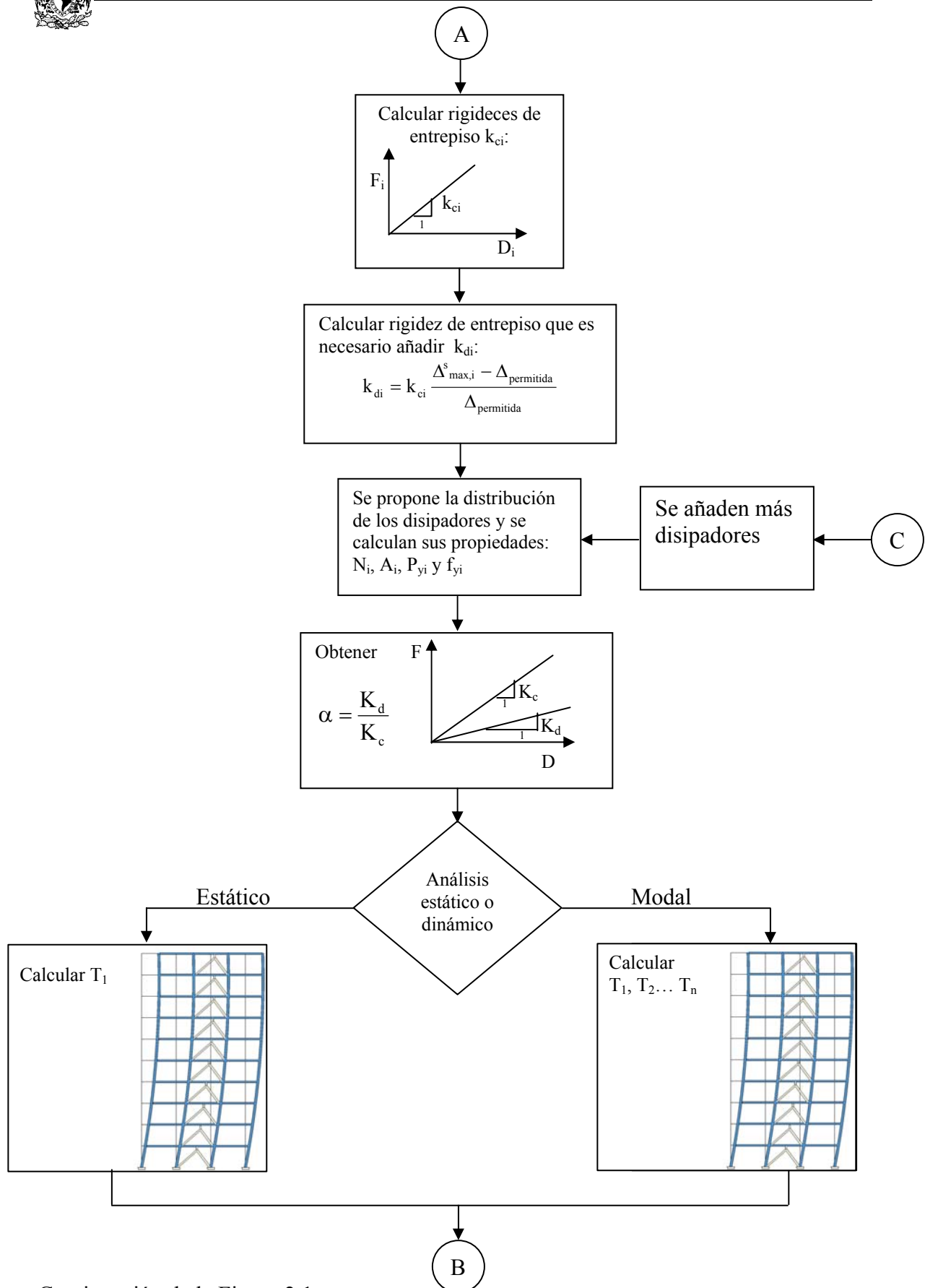
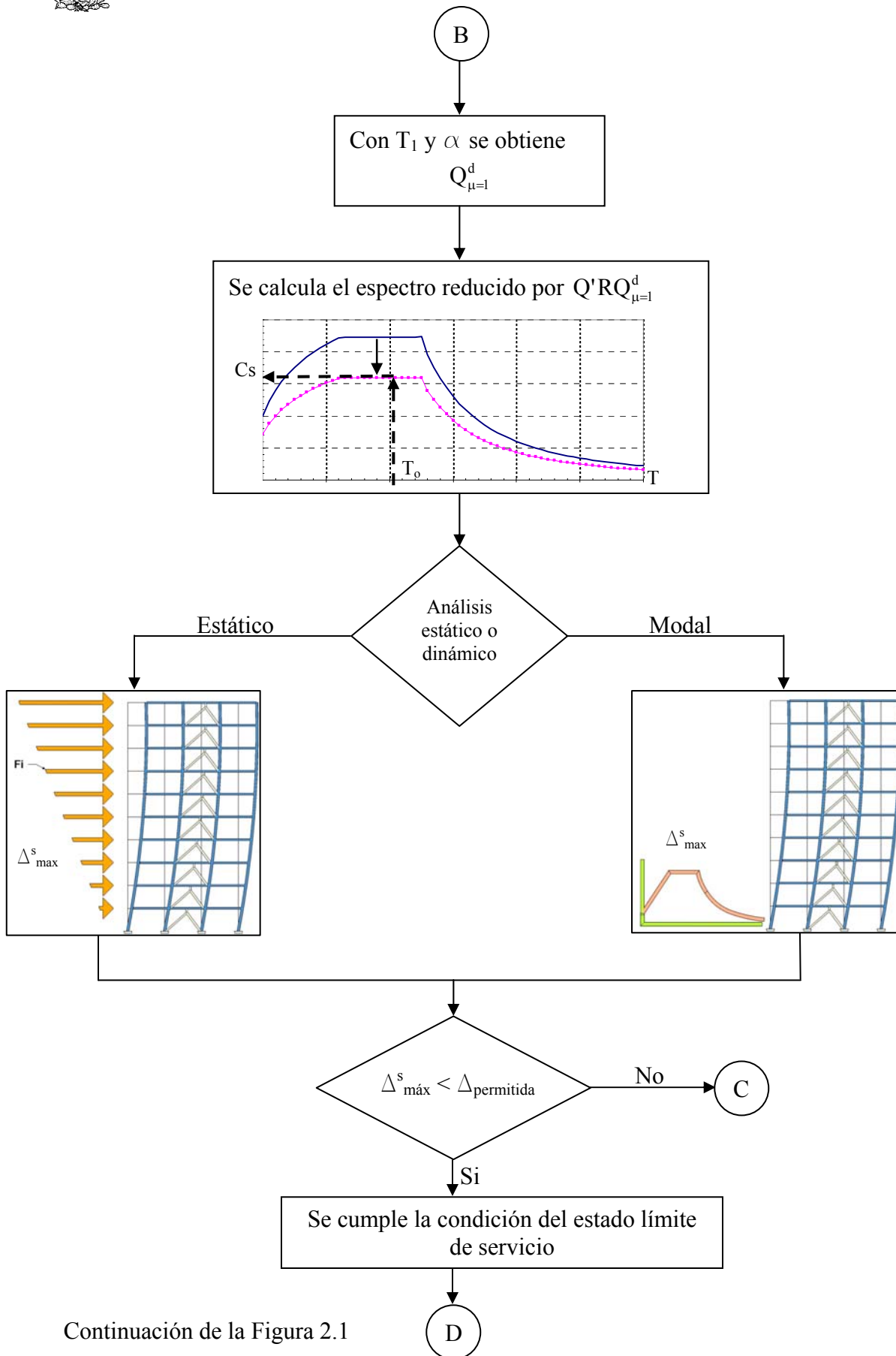


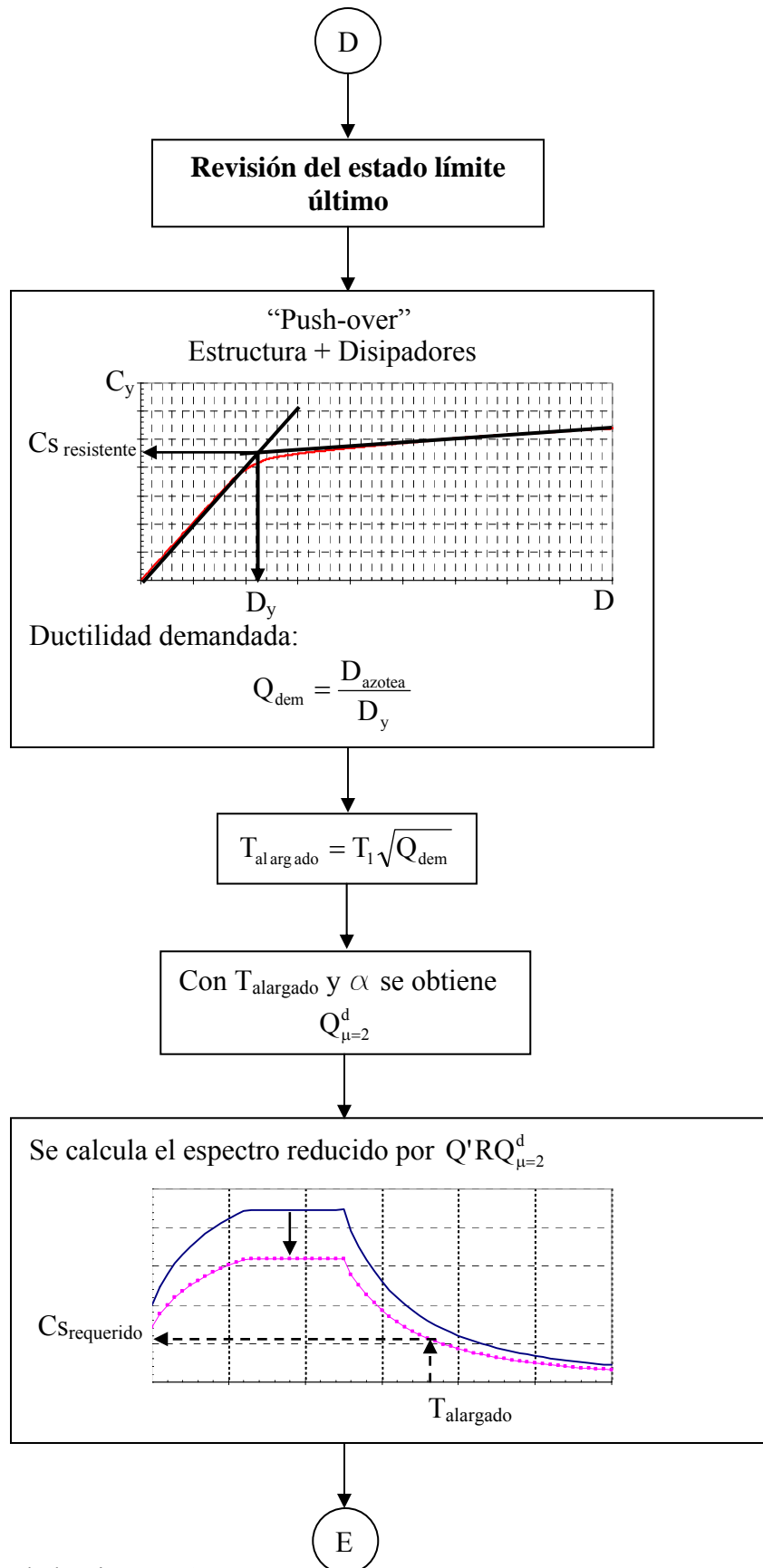
Figura 2.1 Diagrama de bloques del método



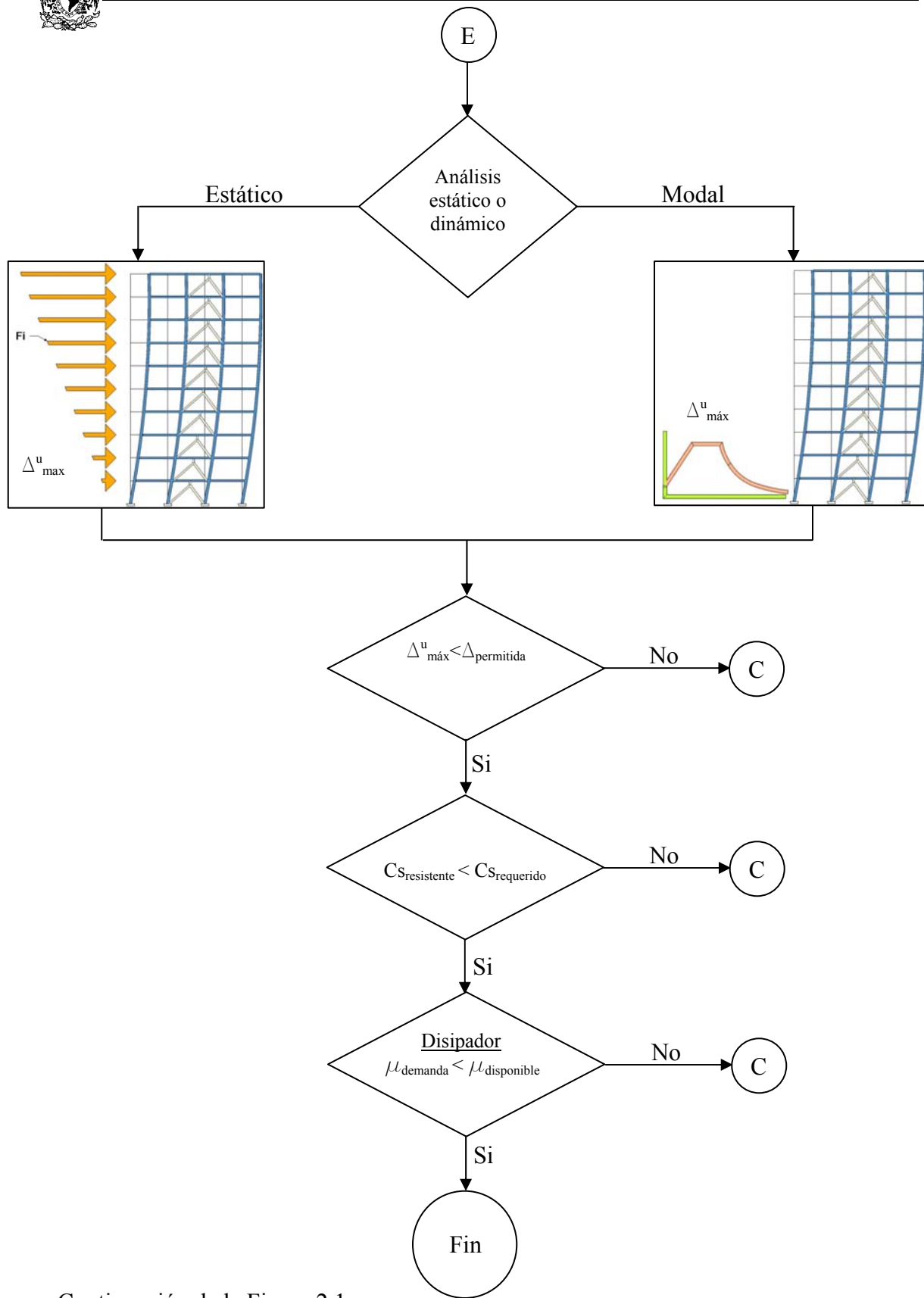
Continuación de la Figura 2.1



Continuación de la Figura 2.1



Continuación de la Figura 2.1



Continuación de la Figura 2.1



- 4E. Posteriormente se calcula la rigidez k_{di} que es necesario añadir al entrepiso para que la distorsión máxima no se exceda de $\Delta_{\text{permitida}}$ (Rivera y Ruiz , 2007):

$$k_{di} = k_{ci} \frac{\Delta_{\text{max},i}^s - \Delta_{\text{permitida}}}{\Delta_{\text{permitida}}} \quad (2.3)$$

donde k_{ci} es la rigidez de cada entrepiso, $\Delta_{\text{permitida}}$ es la distorsión máxima permitida, y $\Delta_{\text{max},i}^s$ es la distorsión máxima del i -ésimo entrepiso obtenida a partir del análisis estático.

- 5E. Se encuentra la rigidez de entrepiso necesaria dada por un sistema disipador de energía. Si los disipadores que se emplearán son tipo TADAS se utiliza la ecuación 2.4 (Tsai *et al*, 1993):

$$k_{di} = \frac{NEbt^3}{6h^3} \quad (2.4)$$

Donde

N = Número de placas.

E = Módulo de elasticidad.

b = Ancho de la base.

t = Espesor de la placa.

h = Altura de la placa.

k_{di} = Rigidez a flexión del sistema de placas.

- 6E. Con la rigidez k_{di} obtenida en el paso anterior se calcula el número de placas por entrepiso (N_i , ecuación 2.5), así como el área de las barras (A_i , ecuación 2.6), la fuerza de fluencia (Py_i , ecuación 2.7) y el esfuerzo de fluencia (fy_i , ecuación 2.8):

$$N_i = \frac{6h^3 k_{di}}{Ebt^3} \quad (2.5)$$

$$A_i = \frac{k_{di}}{4_{\text{barras}}} \frac{L}{E} \quad (2.6)$$

$$Py_i = \frac{fybt^2}{6h} N_i \quad (2.7)$$

$$fy_i = \frac{Py_i}{2A_i} \quad (2.8)$$

- 7E. Enseguida se calcula el valor α . Este es el cociente de rigideces del sistema disipador y de la estructura sin disipadores ($\alpha = K_d / K_c$). Estos valores de rigideces (globales) se obtienen a partir de análisis ante cargas laterales que se aplican a la estructura. El valor de la rigidez del sistema disipador se obtiene de la resta de la rigidez del sistema con disipadores menos la correspondiente al sistema sin disipadores



- 8E. Se estima el periodo fundamental T_1 de vibrar de la estructura con disipadores a partir de la siguiente ecuación:

$$T_1 = \sqrt{\frac{\sum W_i x_i^2}{g \sum F_i x_i}} \quad (2.9)$$

donde x_i es el desplazamiento del nivel i relativo a la base de la altura, en la dirección de la fuerza F_i , g es la aceleración de la gravedad, y las sumatorias se refieren a todos los niveles.

- 9E. Con el valor de α (del paso 7E) y el del periodo fundamental T_1 (del paso 8E) se obtiene el valor de $Q_{\mu=1}^d$ (Ruiz y Rivera, 2007). Este valor es una función del periodo por el que se debe reducir el espectro de diseño debido a la presencia de los disipadores. El subíndice $\mu = 1$ se refiere a la reducción de un espectro lineal elástico (ver Apéndice A de esta tesis).
- 10E. Se dividen las ordenadas espectrales entre $Q'RQ_{\mu=1}^d$ (RCDF-2004), y a partir de la ordenada espectral reducida correspondiente al periodo fundamental, se hace un análisis estático.
- 11E. De los resultados del análisis estático (similar al paso 2E) se verifica que las distorsiones máximas sean menores que la tolerable, $\Delta_{\text{permitida}}$. En caso de que las distorsiones máximas sean mayores, se regresa al paso 5E, se incrementa el número de disipadores, y se repite el procedimiento.
- ✓ Hasta aquí se ha verificado que la distorsión máxima demandada del edificio con disipadores correspondiente al estado límite de servicio es menor que la permitida. En lo que sigue se verifican las condiciones de aceptación correspondientes al estado límite último.

2.1.3. Revisión de las condiciones de aceptación del estado límite último

- 12E. Con ayuda de un programa de análisis estructural se realiza un análisis estático no-lineal con carga monotónica creciente ("pushover", en inglés), para obtener el desplazamiento de fluencia D_y y coeficiente sísmico de fluencia C_y .
- 13E. Con el fin de tomar en cuenta el hecho de que el periodo fundamental de la estructura se incrementa debido a la acción del sismo, es necesario calcular el periodo "alargado" de la estructura. Para ello primeramente se obtiene el desplazamiento máximo de azotea, D_{azotea} , que demanda el sistema.



14E. Posteriormente, para encontrar la ductilidad demandada, Q_{dem} , se divide el desplazamiento máximo de azotea (encontrado en el paso 13E) entre el desplazamiento de fluencia δ_y (obtenido en el paso 12E).

$$Q_{dem} = \frac{D_{azotea}}{D_y} \quad (2.10)$$

15E. El periodo “alargado” ($T_{alargado}$) de la estructura con disipadores se calcula como sigue :

$$T_{alargado} = T_{estructura \text{ con disipadores (servicio)}} \sqrt{Q_{dem}} \quad (2.11)$$

16E. Con el valor del periodo alargado $T_{alargado}$ y el valor α (del paso 7E) se entra a la gráfica $Q_{\mu=2}^d$ (se hace notar que en este caso la función $Q_{\mu=2}^d$ se refiere a un factor asociado a espectros con ductilidad $\mu=2$, ver Apéndice A de esta tesis).

17E. Se dividen las ordenadas espectrales entre $Q'RQ_{\mu=2}^d$ y se calcula el valor del coeficiente sísmico C_s asociado al periodo alargado $T_{alargado}$.

18E. Se verifica que la distorsión máxima de entrepiso sea menor que la tolerable.

19E. Se verifica que la resistencia de la estructura sea mayor que la requerida, comparando el valor de C_y (obtenido del paso 12E) con el de C_s (calculada en el paso 17E).

20E. Se calcula la ductilidad que desarrolla el disipador dividiendo el desplazamiento máximo de entrepiso entre el desplazamiento de fluencia del disipador (Δ_{ydis}). Si los disipadores son tipo TADAS este último valor se calcula con la siguiente expresión:

$$\Delta_{ydis} = \frac{F_y h^2}{Et} \quad (2.12)$$

2.2. Método modal espectral para edificios con disipadores de energía

El método modal es similar al descrito anteriormente, excepto que en vez de calcular la respuesta mediante fuerzas estáticas aplicadas horizontalmente sobre la estructura, se emplea el método modal espectral. Los pasos que se deben seguir se indican en el diagrama de bloques de la Figura 2.1. Estos son como sigue (Ruiz y Presichi 2007):

2.2.1. Revisión inicial

Primeramente se debe hacer una revisión del perfil de distorsiones máximas para saber si es necesario reforzar la estructura por servicio (pasos 1M a 3M):



- 1M. Se obtienen los coeficientes de participación del análisis dinámico modal y se encuentra el número de modos necesarios para que la suma de los pesos efectivos (ecuación 1.6) sea mayor o igual a 90% del peso total de la estructura.
- 2M. Se realiza un análisis modal utilizando el espectro del RCDF-2004 reducido por Q'R (ver capítulo 1, sección 1.2.1, y Apéndice B de esta tesis).
- 3M. A partir de los resultados del análisis modal se verifica que el perfil de distorsiones máximas sea menor o igual al establecido como límite. Si el perfil de distorsiones máximas se excede, entonces será necesario reforzar con disipadores. En este caso se procede con lo siguiente:

2.2.2. Revisión de la condición de aceptación del estado límite de servicio

- 4M. Se calcula la rigidez de cada entrepiso k_{ci} (ecuación 2.2).
- 5M. A partir de las distorsiones excedidas (obtenidas del paso 3M), se calcula la rigidez de entrepiso necesaria, k_{di} , con la siguiente ecuación:

$$k_{di} = k_{ci} \frac{\Delta_{\max,i}^s - \Delta_{\text{permitida}}}{\Delta_{\text{permitida}}} \quad (2.13)$$

donde k_{ci} es la rigidez de cada entrepiso, $\Delta_{\text{permitida}}$ es la distorsión máxima permisible (RCDF-2004), Δ_{\max}^s es la distorsión máxima de cada entrepiso obtenida a partir del análisis modal.

- 6M. Se calcula la rigidez de entrepiso necesaria que deben proporcionar los disipadores k_{di} . En el caso de que se proponga un tipo de disipador de energía tipo TADAS, k_{di} se puede calcular como sigue:

$$k_{di} = \frac{NEbt^3}{6h^3} \quad (2.14)$$

- 7M. Con la rigidez obtenida en el paso 6M se calcula el número de disipadores por entrepiso (N_i , ecuación 2.15), así como el área de las barras (A_i , ecuación 2.16), la fuerza de fluencia (Py_i , ecuación 2.17) y el esfuerzo de fluencia (F_{yi} , ecuación 2.18):

$$N_i = \frac{6h^3k_{di}}{Ebt^3} \quad (2.15)$$

$$A_i = \frac{k_{di}}{4_{\text{barras}}} \frac{L}{E} \quad (2.16)$$

$$Py_i = \frac{F_y bt^2}{6h} N_i \quad (2.17)$$

$$F_{yi} = \frac{Py_i}{2A_i} \quad (2.18)$$



- 8M. Con el fin de obtener el valor de $\alpha = K_d / K_c$, se realiza un análisis ante cargas laterales (con distribución de carga del modo fundamental) del sistema con disipadores y sin disipadores. A partir de estos análisis se obtiene $(K_c + K_d)$ y K_c , respectivamente. A partir de la relación de rigideces se calcula α .
- 9M. Se modela la estructura con disipadores y se obtiene su periodo fundamental de vibración (T_1).
- 10M. Con el valor de α (del paso 8M) y el periodo T_1 (del paso 9M) se obtiene $Q_{\mu=1}^d$ (ver Apéndice A de esta tesis).
- 11M. Se dividen las ordenadas espectrales entre $Q'RQ_{\mu=1}^d$, y se realiza un análisis modal de la estructura.
- 12M. Se verifica que las distorsiones máximas de entrepiso sean menores que la tolerable, $\Delta_{\text{permitida}}$.
- ✓ Hasta aquí se ha verificado que la distorsión máxima demandada del edificio con disipadores correspondiente al estado límite de servicio es menor que la distorsión permitida. En lo que sigue se revisan las condiciones de aceptación del estado límite último.

2.2.2. Revisión de las condiciones de aceptación del estado límite último

- 13M. Se realiza un análisis estático con carga monótonica creciente no-lineal ("pushover", en inglés). A partir de este análisis se obtienen los valores de C_y y de D_y .
- 14M. Con el fin de obtener el periodo "alargado" de la estructura, primeramente se obtiene el desplazamiento máximo de azotea, D_{azotea} , que demanda el sistema, (utilizando las ordenadas espectrales reducidas entre $Q'RQ_{\mu=1}^d$ (paso 11M), y multiplicadas por QR).
- 15M. Para encontrar la ductilidad demandada, Q_{dem} , se divide el desplazamiento máximo de azotea entre el desplazamiento de fluencia δ_y .

$$Q_{\text{dem}} = \frac{D_{\text{azotea}}}{D_y} \quad (2.19)$$

- 16M. Se calcula el periodo "alargado" (T_{alargado}) de la estructura con disipadores correspondiente a la ductilidad demandada Q_{dem} , como sigue:

$$T_{\text{alargado}} = T_{\text{estructura con disipadores (servicio)}} \sqrt{Q_{\text{dem}}} \quad (2.20)$$



- 17M. Con el periodo alargado T_{alargado} y α (del paso 10M) se obtiene el valor de $Q_{\mu=2}^d$.
(Nótese que en este caso se utiliza el factor de reducción por disipación de energía que está asociado a un espectro con ductilidad $\mu = 2$).
- 18M. Se dividen las ordenadas espectrales entre $Q'RQ_{\mu=2}^d$.
- 19M. Se verifica que las distorsiones máximas de entrepiso sean menores que la permisible.
- 20M. Se verifica que la resistencia de la estructura sea mayor que la requerida, comparando los coeficientes sísmicos obtenidos en el paso 13M con los calculados en el paso 18M.
- 21M. Se calcula la ductilidad máxima que desarrolla el sistema disipador en cada entrepiso, y se verifica que sea menor que su ductilidad disponible (obtenida de pruebas de laboratorio).



Capítulo 3

DESCRIPCIÓN DE LOS EDIFICIOS QUE SE ANALIZAN CON LOS MÉTODOS ESTÁTICO Y MODAL

En este capítulo se describen las características de los dos edificios que se analizan en esta tesis. El primero es de diez niveles y el segundo de 24 niveles. Ambos se localizan en la zona IIIb del Valle de México.

3.1. Descripción del edificio de diez niveles

a). Las intensidades de las cargas son:

- Para los niveles del 1 al 9 se propuso un valor de carga muerta más viva de 900 kg/m².
- Para el nivel 10 se propuso el 75% del valor de la carga utilizado en los niveles inferiores.

b). El uso que se le dará al edificio es de oficinas, por lo que se considera del grupo B (artículo 174 del RCDF-2004).



c). Se suponen las siguientes propiedades de los materiales:

- Concreto clase I
- Peso volumétrico del concreto $\gamma = 2300 \text{ kg/cm}^3$
- Resistencia del concreto a compresión pura $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de elasticidad del concreto $E_c = 14000 \sqrt{f'c}$
- Esfuerzo de fluencia del acero $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de elasticidad del acero $E_s = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

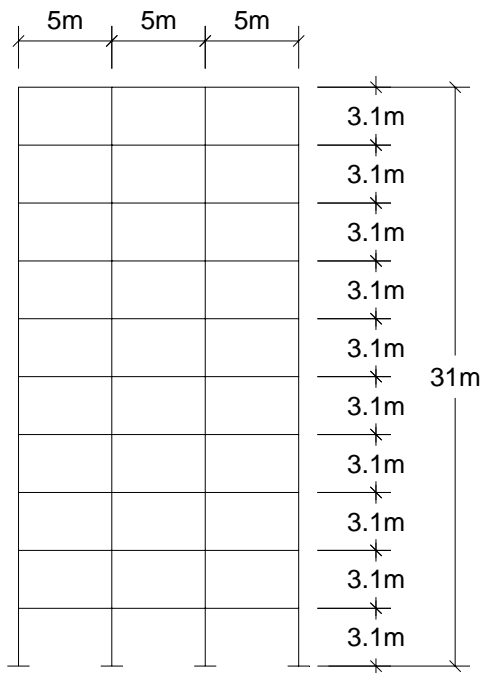
d). La altura de entrepiso es de 3.1 m.

e). La distancia entre ejes de columna es de 5m.

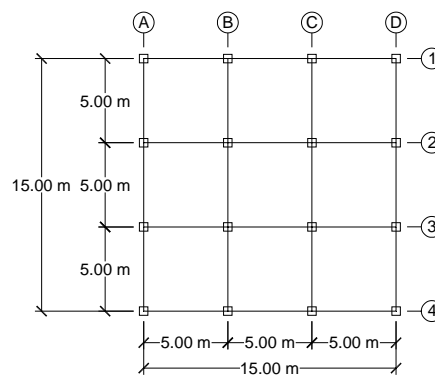
f). Se supone que las losas son diafragmas rígidos en su plano.

g). Los cuatro marcos poseen la misma rigidez lateral, por lo que los cortantes sísmicos que corresponden a un marco son el 25% de los cortantes sísmicos totales de la estructura.

h). Se hace la hipótesis de que los apoyos tienen empotramiento perfecto.



a) Vista en corte



b) Vista en planta

Dimensiones de trabes y columnas		
Nivel	Columnas (cm)	Trabes (cm)
9 y 10	42	35 x 75
7 y 8	50	
5 y 6	54	
1 a 4	56	

Figura 3.1 Geometría y dimensiones del edificio de 10 niveles



3.2. Descripción del edificio de veinticuatro niveles

Se trata de un edificio constituido por columnas de sección compuesta y vigas de perfiles I.

- a). Las intensidades de las cargas de diseño son las siguientes:
- Para los niveles del 1 al 22 se supone una carga muerta más viva de 2806.89 kg/m².
 - Para el nivel 24 se supone el 75% del valor de la carga usada en los niveles inferiores.
- b). El uso que se le dará al edificio es de oficinas por lo que se considera del grupo B (artículo 174 del RCDF-2004).
- c). Se consideran las siguientes propiedades
- Concreto clase 1
 - Peso volumétrico del concreto $\gamma = 2400 \text{ kg/cm}^2$
 - Resistencia del concreto a compresión pura (columnas) $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$
 - Resistencia del concreto a compresión pura (losa) $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$
 - Módulo de elasticidad del concreto $E_c = 14000 \sqrt{f'c}$
 - Esfuerzo de fluencia del acero (losa) $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
 - Esfuerzo de fluencia de perfiles I (columnas y vigas) $f_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$
 - Módulo de elasticidad del acero $E_s = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
- d). El edificio es regular en planta. La profundidad del sótano medida desde el nivel exterior es de 4.0m, y la altura medida sobre la banqueta hasta el nivel de la azotea es de 110.8m. El edificio presenta cuatro cambios en su altura en las dimensiones de secciones transversales de sus columnas, traveses y contravientos: de la cimentación al nivel 3, del nivel 4 al nivel 8, del nivel 9 al nivel 13, y del nivel 14 a la azotea.
- e). En esta tesis se analiza en particular el marco del eje 4 (ver Figura 3.2) del edificio. Las columnas exteriores (correspondientes a los ejes B y H) son de sección compuesta de 1.20m x 1.20m con perfil I de acero estructural. Las columnas de los ejes C, D, E, F y G también son de sección compuesta de 0.80m x 0.80m. Las columnas que están entre los ejes E y F, no tienen recubrimiento de concreto.
- f). Con la intención de suministrar soporte lateral a las traveses principales y disminuir el peralte de la losa debido a la amplitud del claro de los tableros que conforman el sistema de piso, se instalaron traveses secundarios de perfil tipo I (Tabla 3.1). En la Tabla 3.2 se muestran los perfiles empleados en la estructura (ver Figura 3.2).



Tabla 3.1 Secciones de vigas principales y secundarias

NIVEL	TRABES PRINCIPALES	TRABES SECUNDARIAS
Sótano-3	W 36 X 135	W 16 X 26
4-8	W 36 X 194	W 16 X 31
9-13	W 36 X 170	W 12 X 14
14-17	W 21 X 44	W 12 X 14
17-24	W 36 X 160	W 12 X 14

Tabla 3.2 Secciones de columnas y contravientos

NIVEL	COLUMNAS	CONTRAVIENTOS
Sótano	W 14 X 211	W 14 X 132
P. Baja	W 14 X 211	W 14 X 132
1	W 14 X 211	W 14 X 132
2	W 14 X 211	W 14 X 132
3	W 14 X 211	W 14 X 132
4	W 14 X 145	W 14 X 120
5	W 14 X 145	W 14 X 120
6	W 14 X 145	W 14 X 120
7	W 14 X 145	W 14 X 120
8	W 14 X 145	W 14 X 120
9	W 14 X 90	W 14 X 82
10	W 14 X 90	W 14 X 82
11	W 14 X 90	W 14 X 82
12	W 14 X 90	W 14 X 82
13	W 14 X 90	W 14 X 82
14	W 12 X 53	W 12 X 58
15	W 12 X 53	W 12 X 58
16	W 12 X 53	W 12 X 58
17	W 12 X 53	W 12 X 58
18	W 12 X 53	W 12 X 58
19	W 12 X 53	W 12 X 58
20	W 12 X 53	W 12 X 58
21	W 12 X 53	W 12 X 58
22	W 12 X 53	W 12 X 58

Los archivos de datos correspondientes a los edificios de 10 y 24 niveles se presentan en el Apéndice C de esta tesis.



Capítulo 4

APLICACIÓN DEL MÉTODO ESTÁTICO AL EDIFICIO DE 10 NIVELES CON DISIPADORES DE ENERGÍA TIPO TADAS

En este capítulo se ilustra paso a paso la aplicación del método estático para edificios con disipadores de energía al edificio de diez niveles descrito en el capítulo anterior. En este trabajo se considero el análisis de cada edificio en el plano despreciando posibles efectos de torsión

4.1. Revisión inicial

El primer paso consiste en revisar el perfil de distorsión máxima de entrepiso (calculado con el método estático) para saber si la estructura necesita ser reforzada.

1E10. Primeramente se calcula el periodo fundamental de la estructura con la ecuación 2.9 (ver Tabla 4.1).

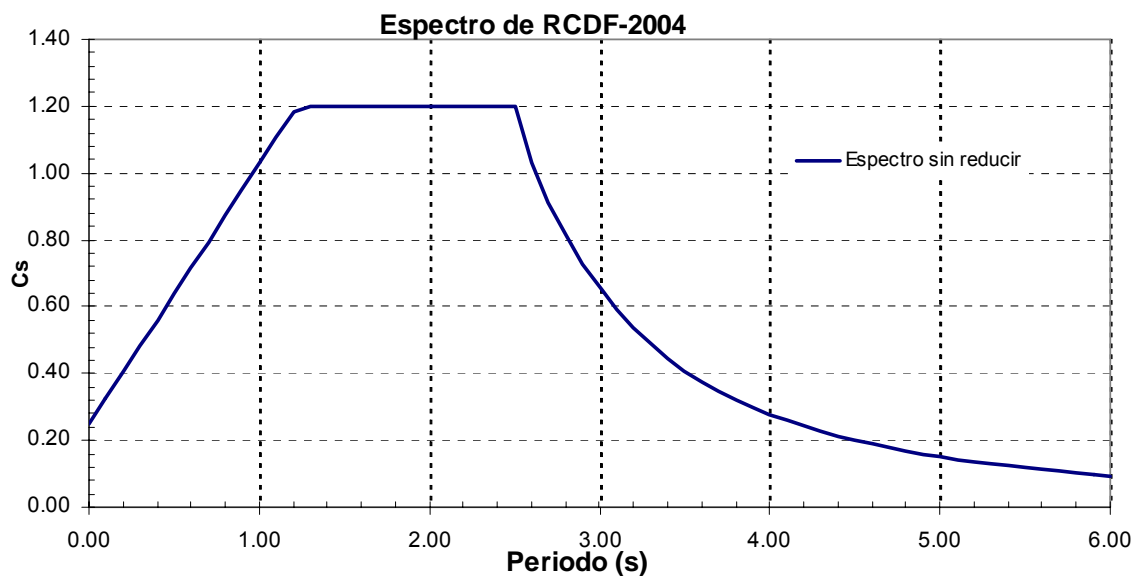


Tabla 4.1 Cálculo del periodo fundamental de la estructura

Nivel	W _i (ton)	F _i (ton)	x _i (m)	W _i x _i ²	F _i x _i
10	39.79	20.00	0.115	0.53	2.30
9	54.28	18.00	0.111	0.67	2.00
8	55.04	16.00	0.103	0.59	1.65
7	55.80	14.00	0.095	0.50	1.33
6	56.23	12.00	0.084	0.40	1.01
5	56.66	10.00	0.073	0.30	0.73
4	56.89	8.00	0.060	0.21	0.48
3	57.12	6.00	0.047	0.13	0.28
2	57.12	4.00	0.033	0.06	0.13
1	57.12	2.00	0.019	0.02	0.04
Σ W _i =	546.04		Σ =	3.40	9.95

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{\sum W_i x_i^2}{g \sum F_i x_i}} = 2\pi \sqrt{\frac{3.40}{9.81(9.95)}} = 1.17s$$

Con el valor del periodo T_1 se obtiene la ordenada espectral de diseño como se indica en el Apéndice A del RCDF-2004. Los parámetros del espectro de diseño son los siguientes: $\beta = 1.0$; factor de reducción por amortiguamiento suplementario, que es igual a uno cuando se ignora la interacción suelo-estructura. $k = 0.35$, $Q = 2.0$, $T_s = 2.07s$ (ver mapa de zonificación de periodos Figura A.1 del RCDF-2004), $T_a = 1.22s$, $T_b = 2.48s$, $R = 2.02$, $Q' = 2.52$. Utilizando estos parámetros se obtienen las Figuras 4.1 y 4.2.

Figura 4.1 Espectro del Apéndice A del RCDF-2004, $T_s = 2.07s$

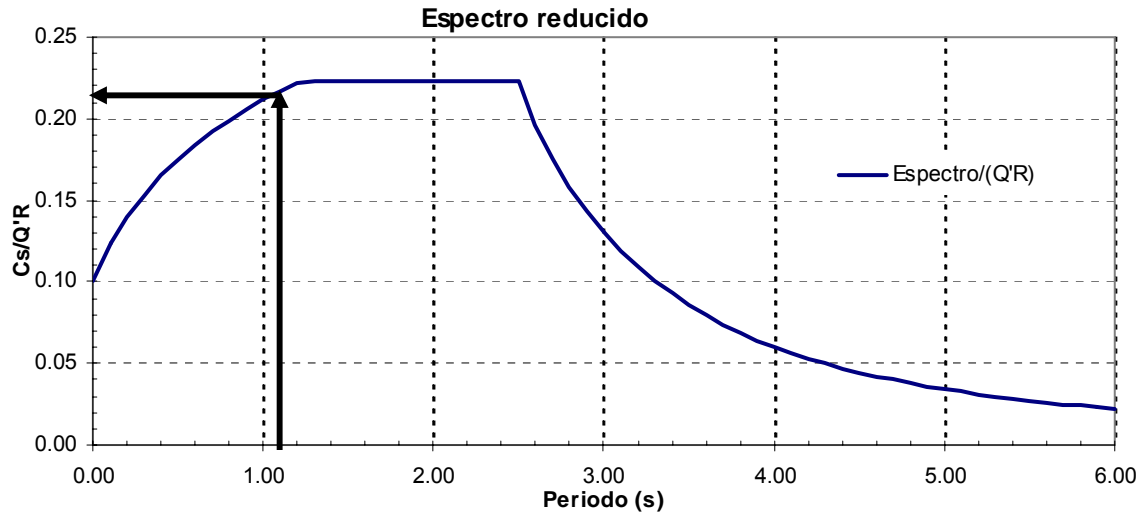


Figura 4.2 Espectro reducido por sobre-resistencia R y por Q'

Con la ecuación 4.1 se calculan las fuerzas horizontales (ver Tabla 4.2) que se aplican en el centro de masas en cada nivel.

$$F_i = \frac{C_s}{Q'R} W_i h_i \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i} \quad (4.1)$$

El coeficiente sísmico reducido C_s ($C_s/Q'R=0.21$) asociado al periodo fundamental de la estructura ($T_1=1.17s$) se obtiene del espectro de diseño (Figura 4.2). El factor de reducción por ductilidad ($Q'=Q$) se obtiene con la ecuación B.7.

Tabla 4.2 Fuerzas cortantes obtenidas a partir del método estático (ecuación 4.1, ver sección 2.1.1 del capítulo 2) actuando en el centro de masas de cada entrepiso

Nivel	W_i (ton)	h_i (m)	$W_i h_i$ (ton-m)	F_i (ton)
10	39.79	31.00	1233.63	15.69
9	54.28	27.90	1514.31	19.26
8	55.04	24.80	1364.95	17.36
7	55.80	21.70	1210.86	15.40
6	56.23	18.60	1045.89	13.30
5	56.66	15.50	878.25	11.17
4	56.89	12.40	705.42	8.97
3	57.12	9.30	531.18	6.76
2	57.12	6.20	354.12	4.50
1	57.12	3.10	177.06	2.25
$\sum W_i =$		546.04	$\sum W_i h_i =$	9015.68

2E10. A partir del análisis estático se obtienen las distorsiones máximas de entrepiso. Se verifica que estas sean menores que la distorsión tolerable (establecida aquí igual a 0.002). Dado que esto no se cumple (ver Figura 4.3), se concluye que es necesario reforzar los entrepisos en los que se excede dicha distorsión. Aquí se



está suponiendo que la distorsión tolerable es 0.002 correspondiente a una estructura con muros ligados según el Apéndice A del RCDF-2004. Rigurosamente esta distorsión tolerable debería ser igual a 0.004, pero se supuso una menor con fines ilustrativos.

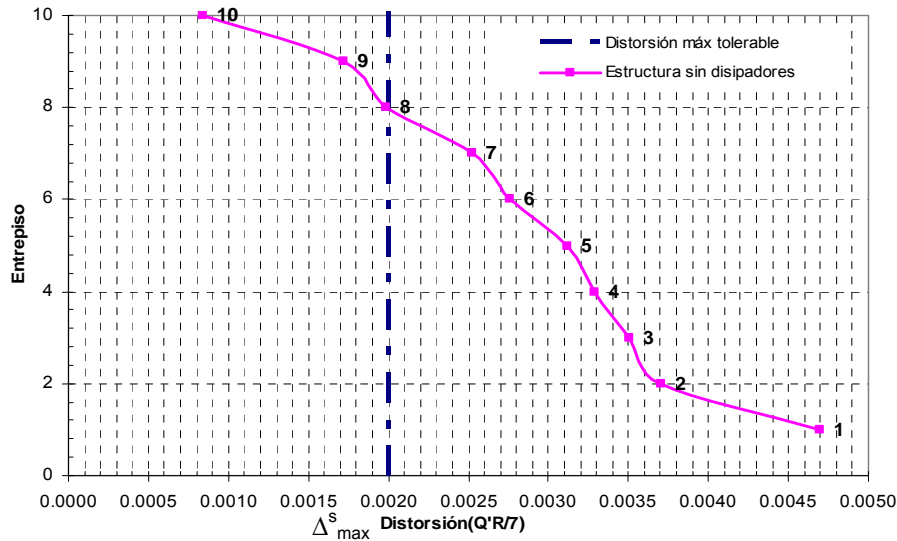


Figura 4.3 Perfil de distorsiones máximas

4.2. Revisión de la condición de aceptación del estado límite de servicio

- 3E10. Para revisar la condición de aceptación del estado límite de servicio ($\Delta^s_{max} < \Delta_{permitida}$) primeramente se calcula la rigidez de cada entrepiso k_{ci} (ecuación 2.2). Dicha rigidez se muestra en la tercera columna de la Tabla 4.3.
- 4E10. Se calcula la rigidez necesaria k_{di} para cada entrepiso (con la ecuación 2.3), tal que no se exceda la distorsión permitida $\Delta_{permitida}$. Dicha rigidez se presenta en la cuarta columna de la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Cálculo de la rigidez de entrepiso necesaria por entrepiso

Entrepiso	Δ^s_{max}	k_{ci} (ton/m)	k_{di} (ton/m)
10	0.00084	1408.87	0
9	0.00172	1508.77	0
8	0.00198	2314.03	0
7	0.00252	2369.91	621
6	0.00276	2397.68	910
5	0.00312	2407.76	1343
4	0.00329	2421.73	1565
3	0.00351	2432.65	1837
2	0.00370	2518.16	2141
1	0.00470	3642.44	4918



5E10. En este ejemplo se supone que se utilizarán disipadores TADAS por lo que se debe satisfacer la ecuación 2.4. Las propiedades del material que constituyen las placas son las siguientes: $E = 21,000,000.00 \text{ ton/m}^2$ y $f_y = 25300 \text{ ton/m}^2$.

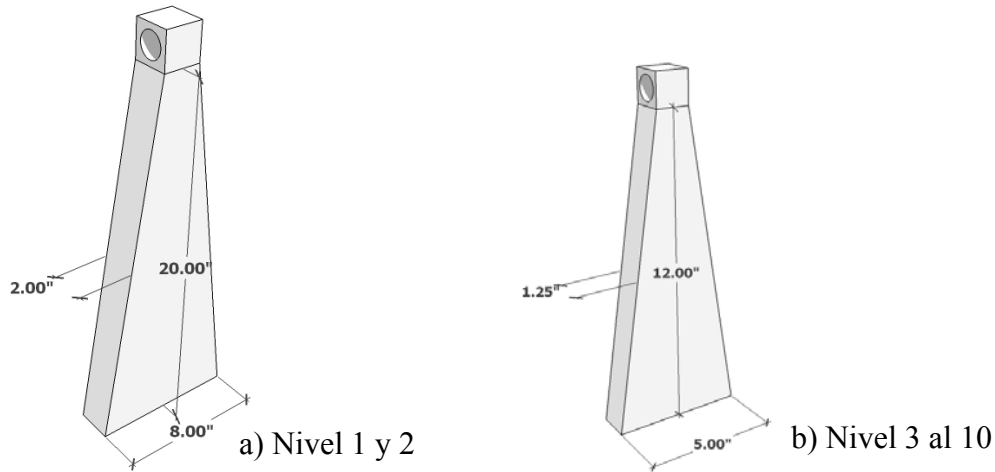


Figura 4.4 Placas tipo TADAS y dimensiones propuestas

6E10. Con la rigidez obtenida en el paso 4E10 se calcula el número de disipadores por entrepiso N_i (ecuación 2.5), así como el área de las barras A_i (ecuación 2.6), la fuerza de fluencia P_{y_i} (ecuación 2.7), y el esfuerzo de fluencia f_{y_i} (ecuación 2.8). Los resultados se muestran en la Tabla 4.4. En la columna 4 de esta Tabla se presenta el número de disipadores calculados con la ecuación 2.5; sin embargo este número no fue suficiente para que se cumpliera la condición de aceptación del estado límite de servicio, por lo que después de tres iteraciones dicho número de disipadores se incrementó como aparece en la columna 5 de la Tabla 4.4. Las propiedades de los disipadores que aparecen en las columnas 6 a 9 corresponden al número de placas que aparece en la columna 5.

Tabla 4.4 Propiedades de los disipadores propuestos

Entrepiso	Rigidez necesita k_{di} (ton/m)	Número de placas por entrepiso	Redondeo de placas (automático) (4)	Número final de placas	Rigidez con placas redondeadas k_{di} (ton/m) (6)	Áreas para cada barra (m^2) (7)	P_y (ton) (8)	f_y (ton/ m^2) (9)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
10	0	0.00	0	2	1,005	2.99E-05	3.54	59224
9	0	0.00	0	2	1,005	2.99E-05	3.54	59224
8	0	0.00	0	2	1,005	2.99E-05	3.54	59224
7	621	1.24	2	6	3,014	8.97E-05	10.63	59224
6	910	1.81	2	6	3,014	8.97E-05	10.63	59224
5	1,343	2.67	3	14	7,034	2.09E-04	24.80	59224
4	1,565	3.12	4	14	7,034	2.09E-04	24.80	59224
3	1,837	3.66	4	14	7,034	2.09E-04	24.80	59224
2	2,141	4.26	5	20	14,224	4.23E-04	87.05	102819
1	4,918	9.79	10	20	14,224	4.23E-04	87.05	102819

La distribución de los disipadores a lo alto del marco se presenta en la Figura 4.5.

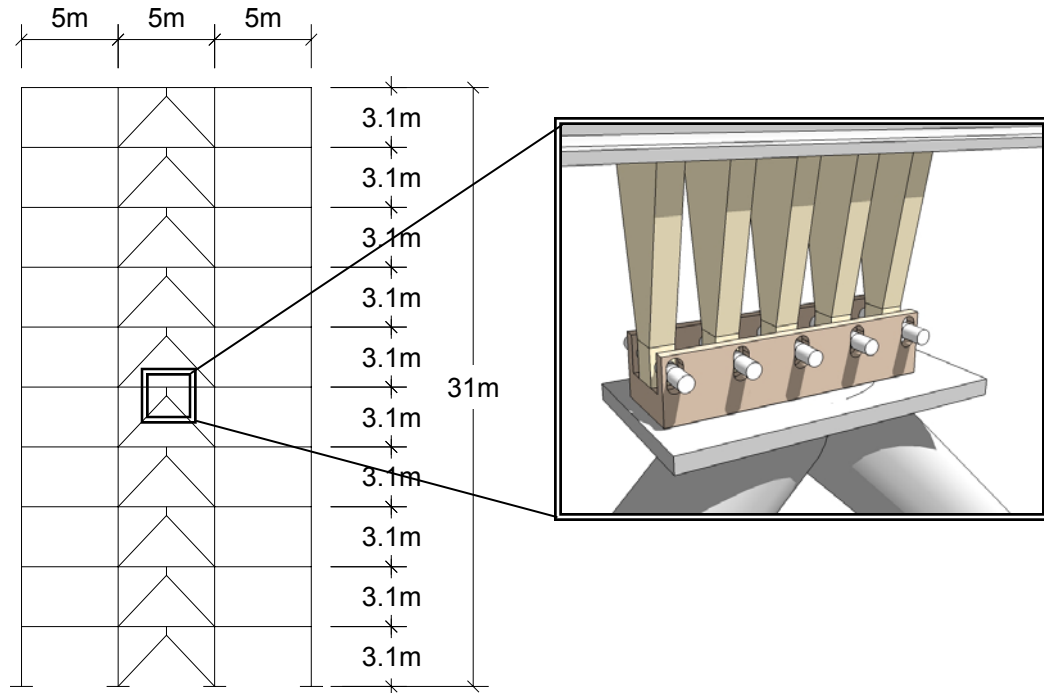


Figura 4.5 Distribución de disipadores en el marco

7E10. Enseguida se calcula el valor de α correspondiente del marco con el número de disipadores que aparece en la columna 5 de la Tabla 4.4. Los valores de las rigideces globales de las estructuras con disipadores, y alternativamente sin disipadores, así como la rigidez del sistema disipador se presentan en la Figura 4.6. A partir de esta se encuentra $\alpha = 0.41$.

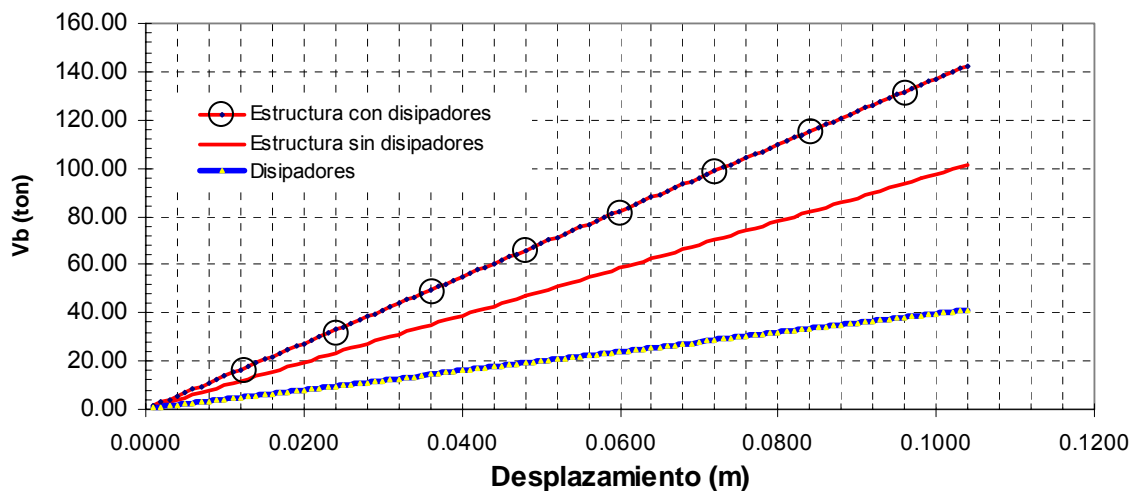


Figura 4.6 Rigideces globales de los sistemas estructurales

8E10. Se modela la estructura con los disipadores propuestos en la columna 5 de la Tabla 4.4, y se obtiene el periodo fundamental igual a $T_1 = 0.95s$ (con la ecuación 2.9).



9E10. Con el valor de $\alpha=0.41$ y el periodo fundamental ($T_1 = 0.95s$) del edificio con disipadores se obtiene $Q_{\mu=1}^d = 1.10$ (Rivera y Ruiz 2007). Este es un factor de reducción del espectro de diseño lineal debido a la disipación de energía debida a la presencia de los elementos TADAS (ver Apéndice A de esta tesis). Es decir que debido a los disipadores las ordenadas del espectro de diseño se reducen 10%.

10E10. Se divide la ordenada espectral (correspondiente a $T_1=0.95s$) entre $Q'RQ_{\mu=1}^d$, y se hace un análisis estático usando la ecuación 4.11.

$$F_i = \frac{C_s}{RQ'Q_{\mu=1}^d} W_i h_i \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i}; \quad \frac{c}{RQ'} \geq a_o \quad (4.11)$$

11E10. Los resultados de dicho análisis se presentan en las Tablas 4.5 y 4.6 (usando las fuerzas F_i encontradas en el paso anterior, en donde $C_s/Q'RQ_{\mu=1}^d=0.191$).

Tabla 4.5 Resultado del análisis estático de la estructura con disipadores

Nivel	W_i (ton)	h_i (m)	$W_i h_i$ (ton-m)	F_i (ton)
10	39.79	31.00	1233.63	14.26
9	54.28	27.90	1514.31	17.51
8	55.04	24.80	1364.95	15.78
7	55.80	21.70	1210.86	14.00
6	56.23	18.60	1045.89	12.09
5	56.66	15.50	878.25	10.15
4	56.89	12.40	705.42	8.16
3	57.12	9.30	531.18	6.14
2	57.12	6.20	354.12	4.09
1	57.12	3.10	177.06	2.05
$\Sigma W_i=$	546.04	$\Sigma W_i h_i=$	9015.68	104.24

Tabla 4.6 Distorsiones máximas de entrespiso

Entrespiso	Altura de entrespiso (m)	Desplazamiento (reducido) (m)	Distorsión (reducida)	Distorsión ($Q'R/7$) (real)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
10	3.10	0.0773	0.0009	0.0007
9	3.10	0.0744	0.0020	0.0014
8	3.10	0.0683	0.0023	0.0017
7	3.10	0.0611	0.0030	0.0022
6	3.10	0.0519	0.0028	0.0020
5	3.10	0.0432	0.0027	0.0020
4	3.10	0.0348	0.0028	0.0020
3	3.10	0.0261	0.0028	0.0021
2	3.10	0.0173	0.0025	0.0018
1	3.10	0.0096	0.0031	0.0023



En la Tabla 4.6 la columna 3 representa los desplazamientos máximos de los entresijos reducidos por $Q'RQ_{\mu=1}^d$. La columna 4 las correspondientes distorsiones máximas de entresijo obtenidas a partir de la columna 3. La columna 5 es la distorsión real, obtenida al multiplicar la columna 4 por $Q'R/7$.

12E10. Se verifica que las distorsiones máximas calculadas sean menores que la permitida $\Delta_{\text{permitida}} = 0.002$ (ver Tabla 4.6 y Figura 4.7).

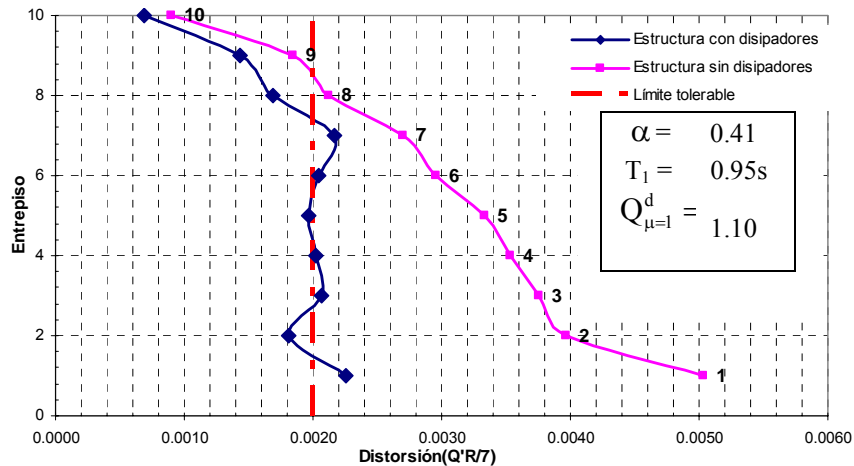


Figura 4.7 Perfil de distorsiones máximas correspondientes al estado límite de servicio

- ✓ Hasta aquí se ha verificado que la distorsión máxima demandada del edificio con disipadores correspondiente al estado límite de servicio sea menor que o aproximadamente igual a 0.002. En lo que sigue se revisan las condiciones de aceptación del estado límite último.

4.3. Revisión de las condiciones de aceptación del estado límite último

13E10. El siguiente paso es realizar un análisis con carga monotónica creciente ("pushover", en inglés) con los disipadores propuestos en la columna 5 de la Tabla 4.3. A partir de este resultado se obtienen los valores de $C_y = 0.16$ y $\delta_y = 0.003$ (ver Figura 4.8), en donde δ_y representa la distorsión de fluencia.

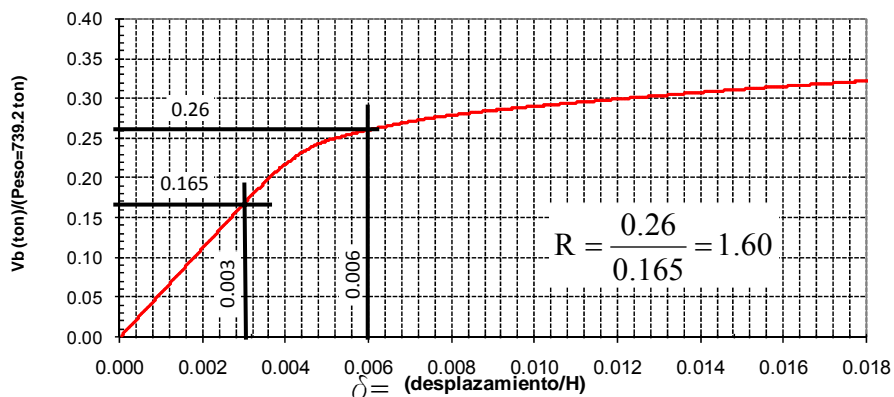


Figura 4.8. Resultado del análisis no-lineal ("pushover")



14E10. En lo que sigue se obtiene el desplazamiento máximo de azotea que demanda el sistema asociado al estado límite cercano al colapso:

$$D_{\text{azotea}} = \overbrace{0.077\text{m}}^{\text{Desplazamiento reducido de azotea}} \times \overbrace{2.00}^Q \times \overbrace{1.60}^R = 0.247\text{m}$$

donde 0.077m es el desplazamiento máximo reducido de azotea (tercera columna, correspondiente al entrepiso 10, de la Tabla 4.6), Q es la ductilidad de diseño del edificio, y R es el factor de sobre-resistencia (Figura 4.8).

15E10. Para encontrar la ductilidad demandada Q_{dem} se divide el desplazamiento máximo de azotea (D_{azotea}) entre el desplazamiento de fluencia

$$Q_{\text{dem}} = \frac{D_{\text{azotea}}}{(H_{\text{edificio}})(\delta_y)} = \frac{0.247}{(31)(0.003)} = 2.66$$

en donde $H_{\text{edificio}} = 31\text{m}$
 $\delta_y = 0.003$

16E10. Se calcula el periodo "alargado" (T_{alargado}) de la estructura con disipadores correspondiente a la ductilidad demandada, Q_{dem} .

$$T_{\text{estructura con disipadores}} = 0.95\text{s}$$

$$Q_{\text{dem}} = 2.66$$

$$T_{\text{alargado}} = 0.95\text{s}\sqrt{2.66} = 1.55\text{s}$$

17E10. Con el T_{alargado} y el valor de $\alpha = 0.41$ (del paso 7E10) se obtiene $Q_{\mu=2}^d$ correspondiente a un espectro con ductilidad $\mu=2$ (ver Apéndice A de esta tesis).

$$T_{\text{alargado}} = 1.55\text{s}$$

$$\alpha = 0.41$$

$$Q_{\mu=2}^d = 1.05$$

En este caso la reducción de las ordenadas espectrales por la presencia de los disipadores es de 5%.

18E10. Con el fin de encontrar el valor del coeficiente sísmico requerido se dividen las ordenadas espectrales entre $Q'RQ_{\mu=2}^d$ (Figura 4.9). A partir del espectro reducido se encuentra que $C_s/Q'RQ_{\mu=2}^d = 0.257$ para un periodo $T_{\text{alargado}} = 1.55\text{s}$

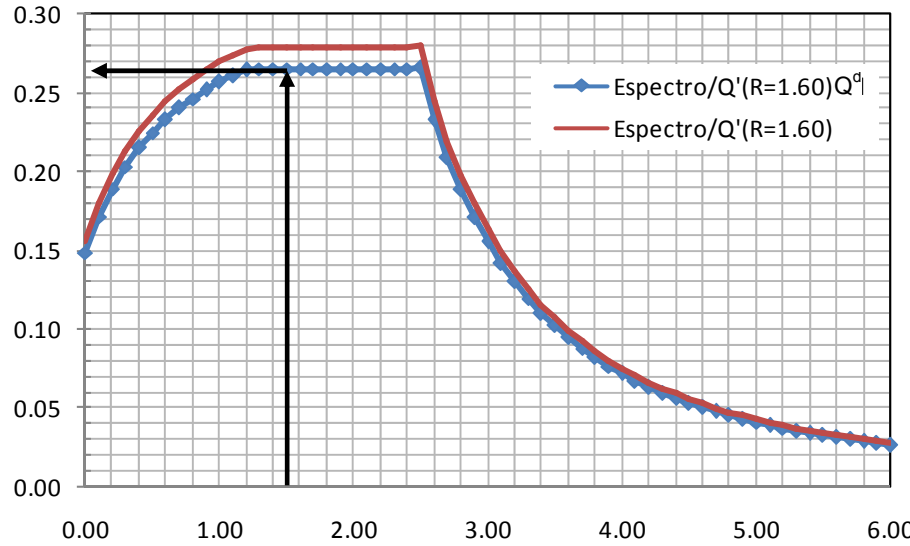


Figura 4.9 Espectro de diseño del Apéndice A del RCDF reducido por $Q'RQ_{\mu=2}^d$

✓ Con lo anterior se tienen los datos para verificar que la resistencia global de la estructura sea mayor que la requerida (ver pasos 13E10 y 18E10).

$$C_{S_{resistente}} = 0.26 > C_{S_{requerido}} = 0.257$$

(de la Figura 4.8) (de la Figura 4.9)

19E10. En lo que sigue se encontrarán las distorsiones máximas de entrepiso. Para ello, con la ordenada espectral reducida que se encontró en el paso 18E10 se obtiene la fuerza cortante basal requerida que se distribuye en la altura de la estructura y se realiza un análisis estático (ver sección 2.1.1 del capítulo 2). Las fuerzas a lo alto de la estructura se muestra en la columna 5 de la Tabla 4.7.

Tabla 4.7 Fuerzas sísmicas del método estático

Nivel	W_i (ton)	h_i (m)	$W_i h_i$ (ton-m)	F_i (ton)	
10	39.79	31.00	1233.63	19.21	
9	54.28	27.90	1514.31	23.58	
8	55.04	24.80	1364.95	21.26	
7	55.80	21.70	1210.86	18.86	
6	56.23	18.60	1045.89	16.29	
5	56.66	15.50	878.25	13.68	
4	56.89	12.40	705.42	10.99	
3	57.12	9.30	531.18	8.27	
2	57.12	6.20	354.12	5.52	
1	57.12	3.10	177.06	2.76	
$\Sigma W_i =$		546.04	$\Sigma W_i h_i =$	9015.68	140.41

20E10. Se obtienen las distorsiones máximas de entrepiso (Tabla 4.8).



Tabla 4.8 Distorsiones máximas de entrepiso

Entrepiso (1)	Altura de entrepiso (m) (2)	Distorsión máxima de entrepiso (real) (3)	Desplazamiento relativo de entrepiso (m) (4)	Desplazamiento máximo (m) (5)
10	3.10	0.0042	0.0131	0.34
9	3.10	0.0088	0.0272	0.33
8	3.10	0.0104	0.0322	0.30
7	3.10	0.0133	0.0413	0.27
6	3.10	0.0126	0.0390	0.23
5	3.10	0.0121	0.0376	0.19
4	3.10	0.0125	0.0386	0.15
3	3.10	0.0127	0.0393	0.11
2	3.10	0.0110	0.0340	0.07
1	3.10	0.0132	0.0408	0.04

En la Tabla 4.8 la columna 3 indica la distorsión máxima reducida de entrepiso y multiplicada por QR. La columna 4 indica el desplazamiento máximo real de entrepiso obtenido al multiplicar los valores de las columnas 2 por los de la 3. En la última columna (5) se representa el desplazamiento máximo real con respecto a la base del sistema.

- ✓ En la Figura 4.10 se verifica que las distorsiones máximas de entrepiso son menores que la permisible (en este caso esta es igual a 0.015, según el Apéndice A del RCDF).

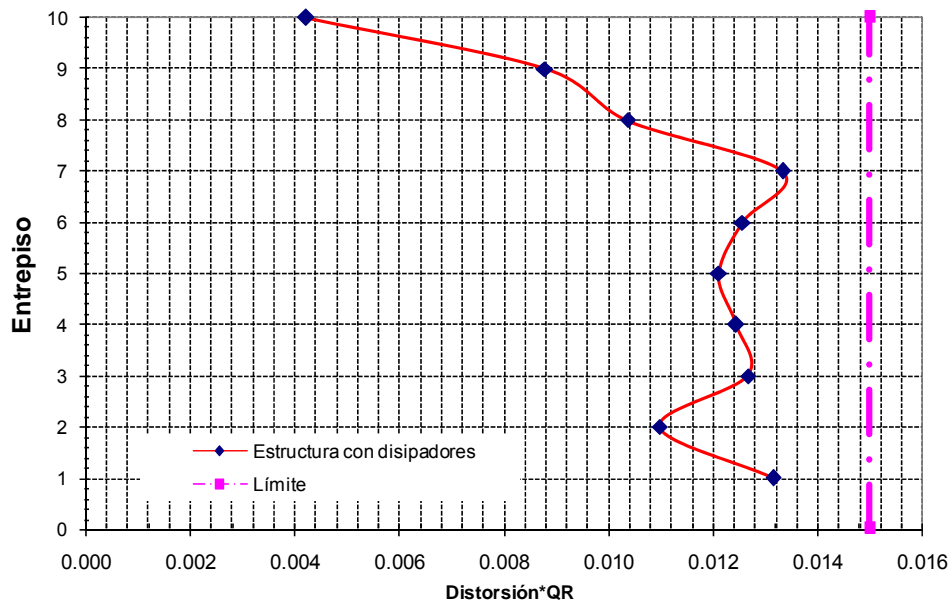


Figura 4.10 Perfil de distorsión máxima correspondiente al estado límite último



21E10. Se revisa la ductilidad que desarrolla el disipador (con la ecuación 2.12). En este caso el desplazamiento de fluencia de los disipadores es igual a 0.0035 m. La ductilidad demandada por el sistema disipador se indica en la cuarta columna de la Tabla 4.9. Esta ductilidad máxima es menor que la permisible obtenida de pruebas de laboratorio (columna 5 de la Tabla 4.9).

Tabla 4.9 Ductilidad demandada y ductilidad tolerable del disipador

Entrepiso	Desplazamiento máximo de entrepiso (m)	Δy Disipador (m)	Ductilidad máxima demandada	Ductilidad disponible
10	0.343	0.0035	3.7	23
9	0.330	0.0035	7.7	23
8	0.303	0.0035	9.1	23
7	0.271	0.0035	11.7	23
6	0.229	0.0035	11.1	23
5	0.190	0.0035	10.7	23
4	0.153	0.0035	10.9	23
3	0.114	0.0035	11.1	23
2	0.075	0.0035	9.7	23
1	0.041	0.0035	11.6	23

donde la ductilidad disponible del disipador (columna 5 de la Tabla 4.6) se obtuvo de pruebas experimentales de laboratorio (por ejemplo ver Figura 5 de la Introducción de esta tesis).

En lo que sigue se presenta el **resumen de la verificación de las condiciones de aceptación del estado límite último del edificio de 10 niveles (método estático)**:

✓ **Resistencia global**

$$C_{S_{resistente}} = 0.26 > C_{S_{requerido}} = 0.257$$

✓ **Distorsión máxima de entrepiso**

$$\delta_y = 0.013 < \delta_{perms} = 0.015$$

✓ **Ductilidad máxima del disipador**

$$\mu_{desarrolla\ disipador} = 11.7 < \mu_{disponible\ disipador} = 23$$



En la Tabla 4.10 se indica el número de placas necesarias por entrepiso (que es igual a las que se indican en la columna 5 de la Tabla 4.4). Esto quiere decir que en el diseño rigió la condición correspondiente al estado límite de servicio.

Tabla 4.10 Distribución final de disipadores

Entrepiso	Número de placas
10	2
9	2
8	2
7	6
6	6
5	14
4	14
3	14
2	20
1	20



Capítulo 5

APLICACIÓN DEL MÉTODO DINÁMICO MODAL A DOS EDIFICIOS CON DISIPADORES DE ENERGÍA TIPO TADAS

En este capítulo se aplica el método dinámico modal para edificios con disipadores de energía que dependen de los desplazamientos relativos entre sus extremos. En este caso se utilizan disipadores tipo TADAS. El criterio se aplica a dos edificios: el primero es de diez y el segundo de veinticuatro niveles. Estos fueron descritos en el capítulo 3.

5.1. Edificio de 10 niveles. Revisión inicial

Primeramente se hace una revisión del perfil de distorsión máxima correspondiente al estado límite de servicio.

- 1M10. Se obtienen los coeficientes de participación del análisis dinámico modal y se encuentra el número de modos necesarios para que la suma de los pesos efectivos sea mayor o igual al 90% del peso total de la estructura. En este caso fué necesario tomar en cuenta la participación de 6 modos.
- 2M10. Se realiza un análisis modal utilizando el espectro correspondiente (reducido) del Apéndice A del RCDF-2004 (ver Figuras 5.1, 5.2 y 5.3 y Apéndice B de



esta tesis). En el análisis se consideran los siguientes datos del espectro: $\beta = 1.00$, $k = 0.35$, $Q = 2.00$, $T_s = 2.07s$, $T_b = 2.48$, $T_a = 1.22s$, $Q' = 2.52$ y $R = 2.02$

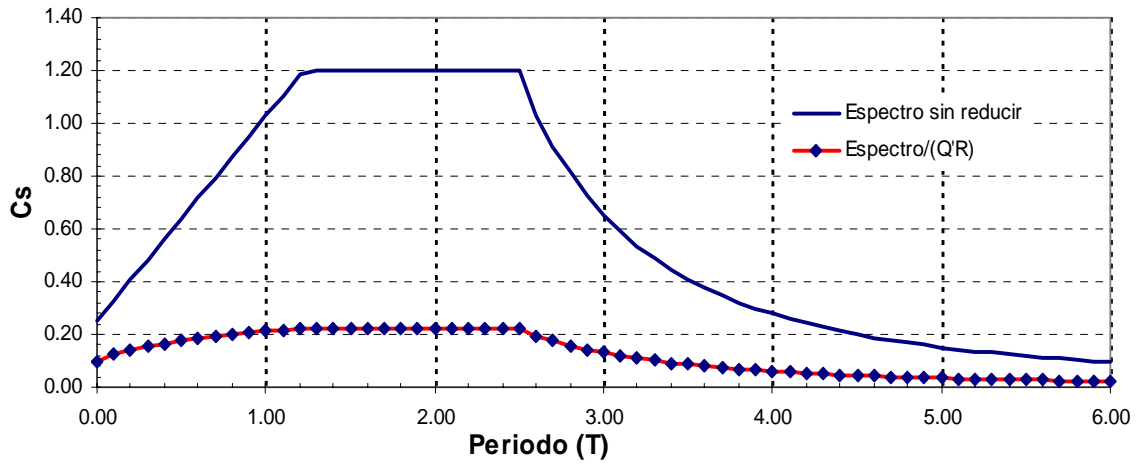


Figura 5.1 Espectro reducido por ductilidad y sobre-resistencia (RCDF-2004)

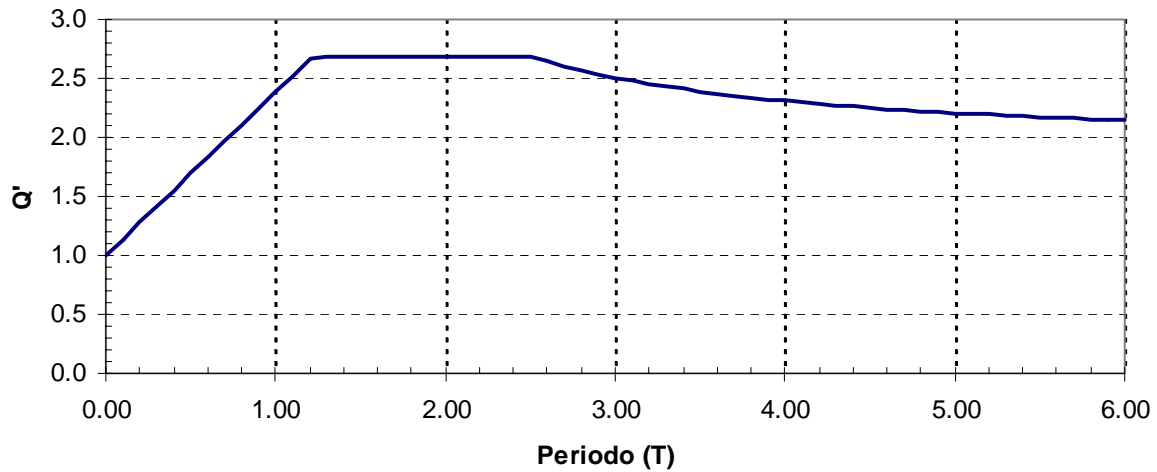


Figura 5.2 Factor Q' obtenido a partir del Apéndice A. RCDF-2004

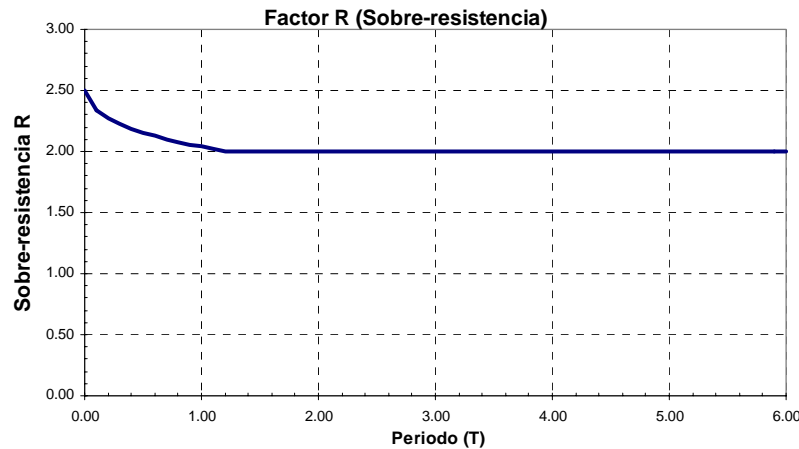


Figura 5.3 Factor de sobre-resistencia obtenido a partir del Apéndice A. RCDF-2004

3M10. Se verifica que el perfil de distorsiones sea menor o igual al límite establecido en el RCDF-2004. En este ejemplo se elige una distorsión máxima permitida $\Delta_{\text{permitida}}=0.002$. Debido a que la condición no se satisface (ver Figura 5.4), es necesario reforzar principalmente los entrepisos en los que se excede dicha distorsión. Aquí se supuso que la distorsión tolerable es 0.002 correspondiente a una estructura con muros ligados según el Apéndice A del RCDF-2004. Rigurosamente esta distorsión tolerable debería ser de 0.004, sin embargo, se eligió menor para fines ilustrativos.

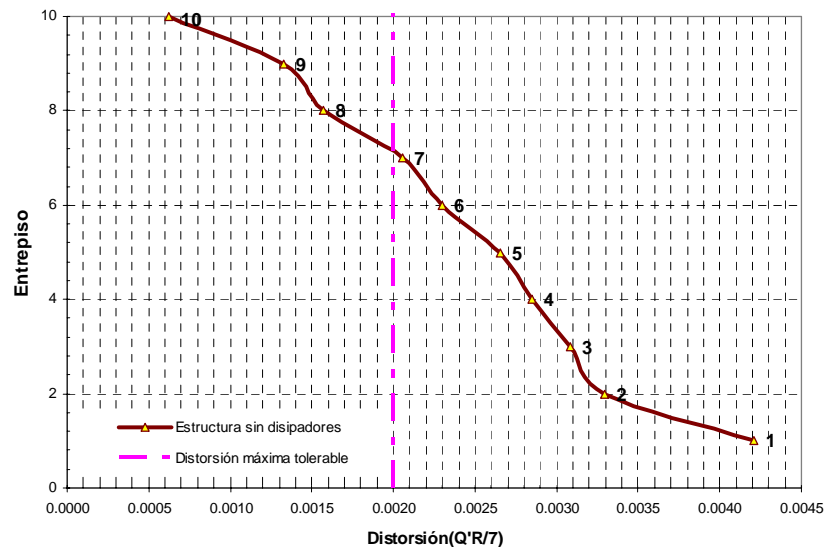


Figura 5.4 Perfil de distorsiones máximas obtenido del análisis modal espectral correspondiente al estado límite de servicio

Nótese que las distorsiones máximas de entrepiso obtenidas con el análisis modal son menores que las calculadas con el método estático (ver Figuras 4.3 y 5.4). Esto se refleja en el número de placas que son necesarias para que las distorsiones máximas de entrepiso sean menores que la permisible.



5.2. Edificio de 10 niveles. Revisión de la condición de aceptación del estado límite de servicio

A continuación se muestran los pasos para revisar la condición de aceptación del estado límite de servicio para el edificio de diez niveles. (El procedimiento que se sigue es el descrito en el capítulo 2).

4M10. Se calcula la rigidez de cada entrepiso k_{ci} (ver Tabla 5.1).

5M10. Se calcula la rigidez necesaria k_{di} para cada entrepiso de manera que no se exceda la distorsión máxima permitida $\Delta_{\text{permitida}} = 0.002$ (ver la Tabla 5.1 en donde k_{ci} es la rigidez de cada entrepiso, y Δ_{max}^s es la distorsión máxima de entrepiso obtenida a partir del análisis modal).

Tabla 5.1 Distorsiones máximas de entrepiso obtenidas del análisis modal espectral

Nivel	Δ_{max}^s	k_{ci} (ton/m)	k_{di} (ton/m)
10	0.0006	1408.87	0
9	0.0013	1508.77	0
8	0.0016	2314.03	0
7	0.0021	2369.91	66
6	0.0023	2397.68	361
5	0.0027	2407.76	785
4	0.0029	2421.73	1032
3	0.0031	2432.65	1320
2	0.0033	2518.16	1625
1	0.0042	3642.44	4027

6M10. En este ejemplo se propone utilizar disipadores tipo TADAS (Figura 5.5). El número de disipadores depende de la rigidez k_{di} que se obtuvo en la Tabla 5.1.

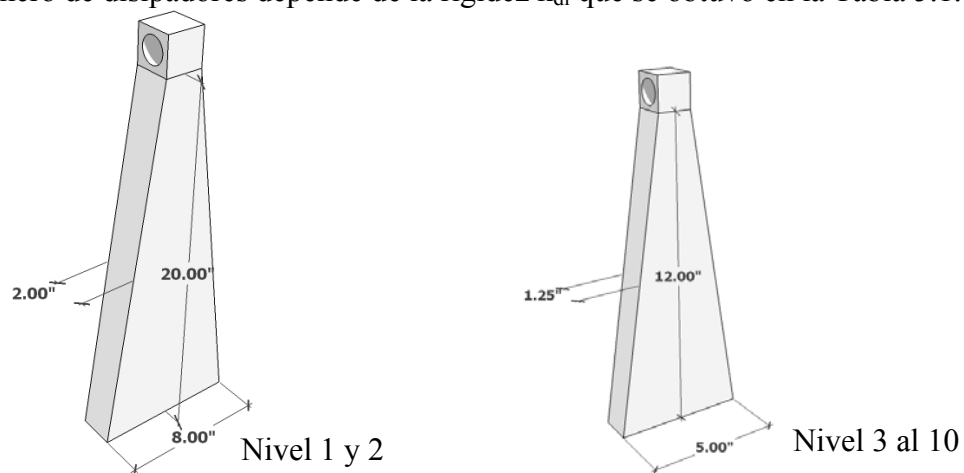


Figura 5.5 Dimensiones de los disipadores propuestos



En la Tabla 5.2 se presenta el cálculo del número necesario de disipadores por entrepiso y en la Figura 5.6 la localización de los disipadores. En la columna 4 de esta Tabla se presenta el número de disipadores calculados con la ecuación 2.5; sin embargo este número no fue suficiente para que se cumpliera la condición de aceptación del estado límite de servicio, por lo que dicho número de disipadores se incrementó como aparece en la columna 5 de la Tabla 5.3.

Tabla 5.2 Propiedades de los disipadores propuestos

Nivel	Rigidez necesaria k_{di} (ton/m)	Número de placas por entrepiso (N)	Redondeo de placas (automático)	Número final de placas (N)	Rigidez redondeada k_{di} (ton/m)	Áreas para cada barra A_i (m ²)	Py (ton)	f_y (ton/m ²)
10	0	0.00	0	2	1005	2.991E-05	3.54	59224
9	0	0.00	0	2	1005	2.991E-05	3.54	59224
8	0	0.00	0	2	1005	2.991E-05	3.54	59224
7	66	0.13	1	4	2010	5.981E-05	7.08	59224
6	361	0.72	1	4	2010	5.981E-05	7.08	59224
5	785	1.56	2	8	4019	1.196E-04	14.17	59224
4	1,032	2.05	3	8	4019	1.196E-04	14.17	59224
3	1,320	2.63	3	8	4019	1.196E-04	14.17	59224
2	1,625	3.23	4	18	12802	3.810E-04	78.35	102819
1	4,027	8.01	9	20	14224	4.233E-04	87.05	102819

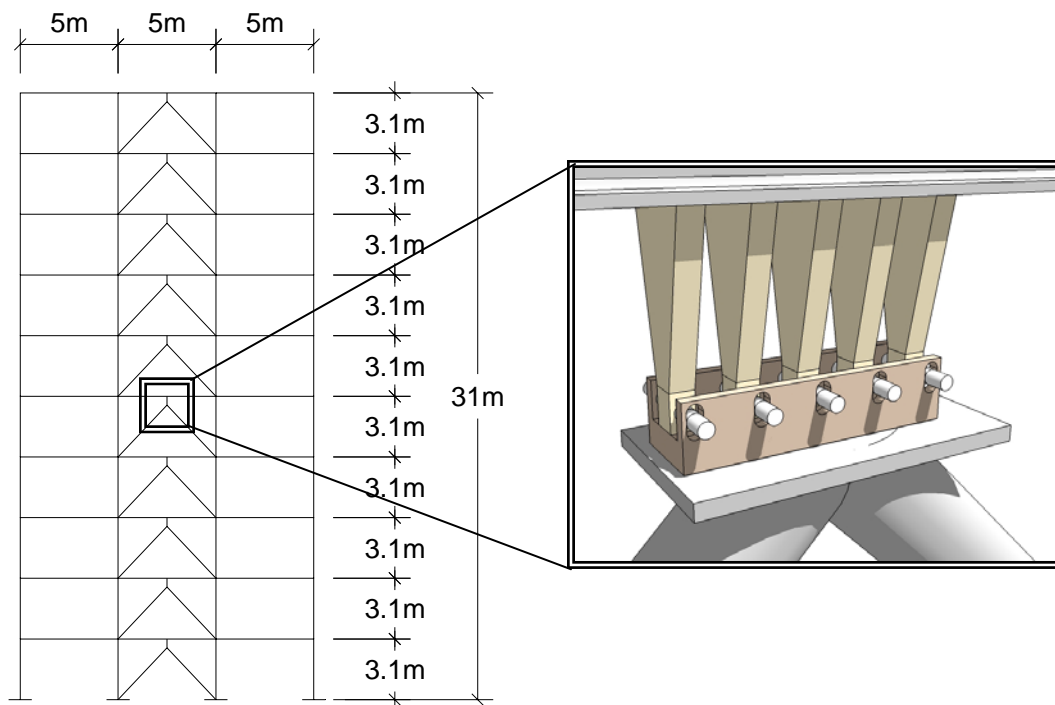


Figura 5.6 Distribución de disipadores a lo alto del marco

7M10. Se modela la estructura con disipadores, con ayuda del programa DRAIN2DX se obtienen sus periodos naturales de vibrar.



Tabla 5.3 Periodos naturales de vibrar

Periodos de la estructura con disipadores	Periodos de la estructura sin disipadores
$T_1 = 0.99s$	$T_1 = 1.17s$
$T_2 = 0.36s$	$T_2 = 0.40s$
$T_3 = 0.21s$	$T_3 = 0.24s$

8M10. Se calcula la relación de rigideces $\alpha = K_d / K_c$, en donde K_d es la rigidez del sistema disipador y K_c es la rigidez global del sistema sin disipadores de energía (ver Figura 5.7). Con el valor de α y el del periodo fundamental T_1 del edificio con disipadores, se obtiene el valor de $Q_{\mu=1}^d$ (Ruiz y Rivera 2007).

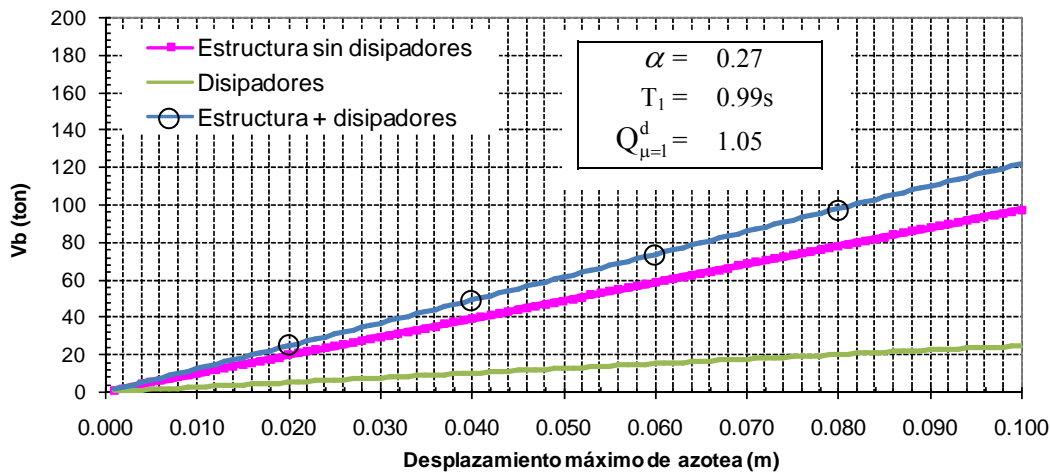


Figura 5.7 Rigidez de la estructura con y sin disipadores

La reducción de las ordenadas espectrales por la presencia de los disipadores es en este caso de 5%

9M10. Se dividen las ordenadas espectrales entre $Q'RQ_{\mu=1}^d$, y se hace un análisis modal de la estructura con disipadores.

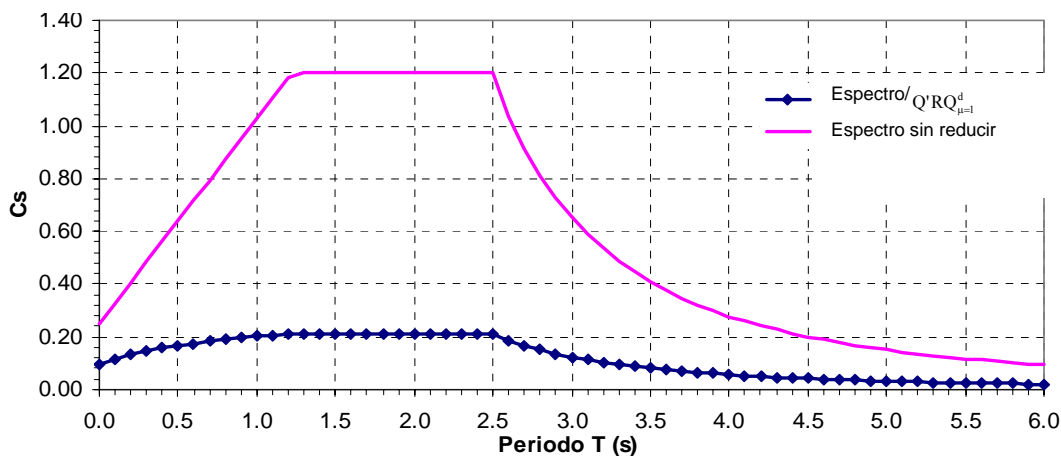


Figura 5.8 Espectro original de diseño y espectro reducido



10M10. Se verifica que las distorsiones máximas sean menores que la permitida $\Delta_{\text{permitida}} = 0.002$ (ver Tabla 5.4 y Figura 5.9).

Tabla 5.4 Desplazamientos de entrepiso obtenidos del análisis modal

Nivel	Altura de entrepiso (m)	Desplazamiento "reducido" (m)	Distorsión "reducida"	Distorsión (Q'R/7) (real)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
10	3.10	0.06665	0.00078	0.00057
9	3.10	0.06422	0.00166	0.00121
8	3.10	0.05908	0.00194	0.00141
7	3.10	0.05307	0.00244	0.00177
6	3.10	0.04551	0.00242	0.00176
5	3.10	0.03801	0.00251	0.00183
4	3.10	0.03021	0.00261	0.00190
3	3.10	0.02212	0.00261	0.00190
2	3.10	0.01402	0.00212	0.00154
1	3.10	0.00746	0.00241	0.00175

En la Tabla 5.4 la columna 3 es el desplazamiento máximo de entrepiso obtenida del análisis modal cuando el espectro se divide entre $Q'RQ_{\mu=1}^d$. La columna 4 es la correspondiente distorsión máxima de entrepiso (a partir de la columnas 3). La columna 5 es la distorsión de entrepiso real que se obtiene de multiplicar la columna 4 por $Q'R/7$, donde Q' y R se definen en las ecuaciones B.7 y B.8. En la Figura 5.9 se muestra el perfil de distorsión máxima de la estructura con disipadores de energía.

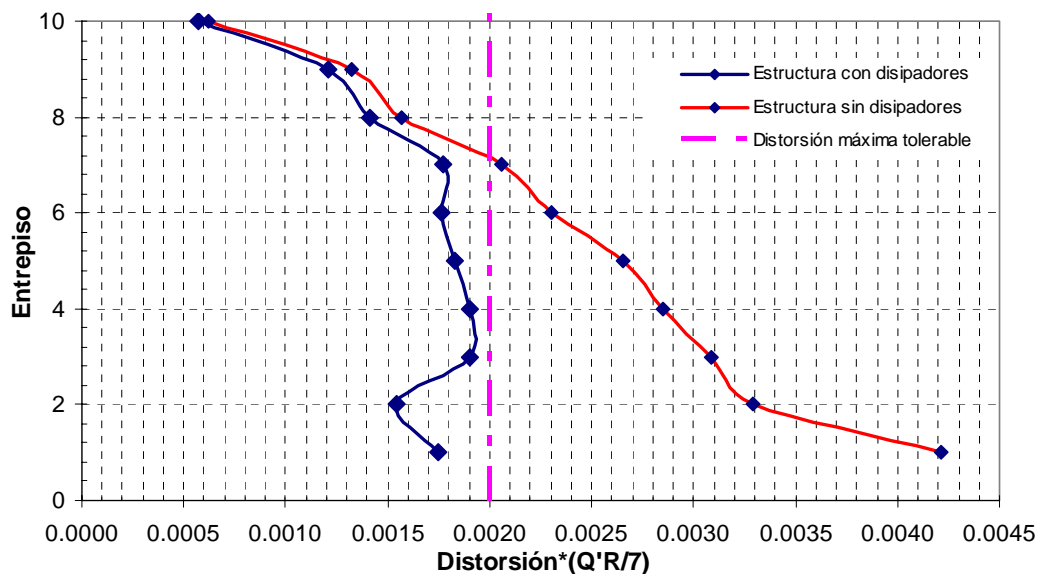


Figura 5.9 Perfil de distorsiones máximas de entrepiso correspondiente al estado límite de servicio



- ✓ Hasta aquí se ha verificado que la distorsión máxima demandada del edificio con disipadores correspondiente al estado límite de servicio es menor que 0.002. En lo que sigue se verifican las condiciones de aceptación para el estado límite último (cercano al colapso).

5.3. Edificio de 10 niveles. Revisión de las condiciones de aceptación del estado límite último

11M10. En el siguiente paso se realiza un análisis estático no-lineal con carga creciente monótonica ("pushover," en inglés) de la estructura que contiene el número de disipadores que se indican en la Tabla 5.2 y en la Figura 5.6.

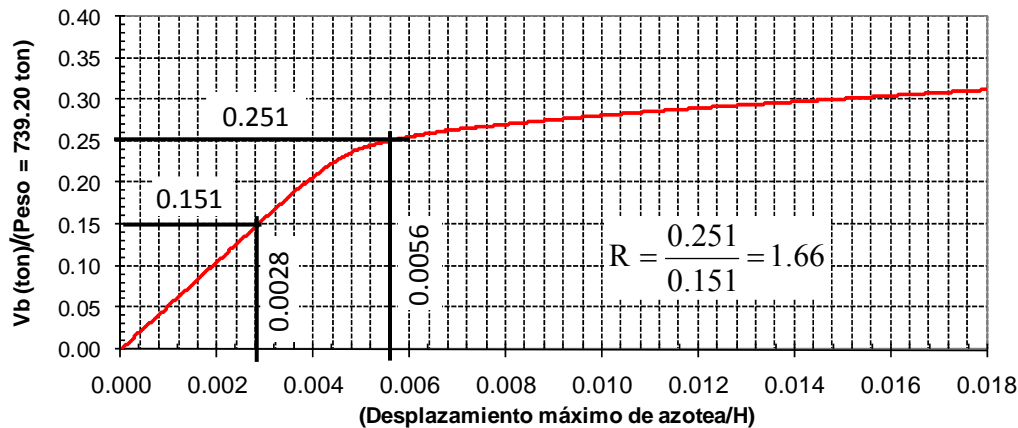


Figura 5.10 Resultado del análisis con carga monótonica creciente ("pushover," en inglés)

12M10. Se obtiene el desplazamiento máximo de azotea (D_{azotea}) que demanda el sistema, correspondiente al estado límite último:

$$D_{azotea} = \overbrace{0.067}^{\text{Desplazamiento reducido de azotea}} \times \overbrace{2.00}^Q \times \overbrace{1.66}^R = 0.221\text{m}$$

donde 0.067m es el desplazamiento de azotea (columna 3 de la Tabla 5.4) calculado a partir del análisis modal del paso 10M10. Q es la ductilidad de diseño y R es el factor de sobre-resistencia (calculado en la Figura 5.10).

13M10. Para encontrar la ductilidad demandada Q_{dem} se divide el desplazamiento máximo de azotea entre el desplazamiento de fluencia:

$$Q_{dem} = \frac{D_{azotea}}{(H_{edificio})(\delta_y)} = \frac{0.067}{(31)(0.0028)} = 2.55$$

donde

$$H_{edificio} = 31\text{m}$$

$$\delta_y = 0.0028$$

D = Desplazamiento

δ = Distorsión



14M10. Se calcula el periodo "alargado" ($T_{alargado}$) de la estructura con disipadores correspondiente a la ductilidad demandada Q_{dem} .

$$T_{estructura \text{ con disipadores}} = 0.99s$$

$$Q_{dem} = 2.55$$

$$T_{alargado} = 0.99\sqrt{2.55} = 1.58s$$

15M10. Con el periodo "alargado" $T_{alargado}$ y $\alpha = 0.27$ (del paso 8M10) se obtiene $Q_{\mu=2}^d$ (Ruiz y Rivera 2007):

$$T_{alargado} = 1.58s$$

$$\alpha = 0.27$$

$$Q_{\mu=2}^d = 1.04$$

En este caso la reducción de las ordenadas espectrales por la presencia de los disipadores es de 4%.

16M10. Se dividen las ordenadas espectrales entre $Q'RQ_{\mu=2}^d$.

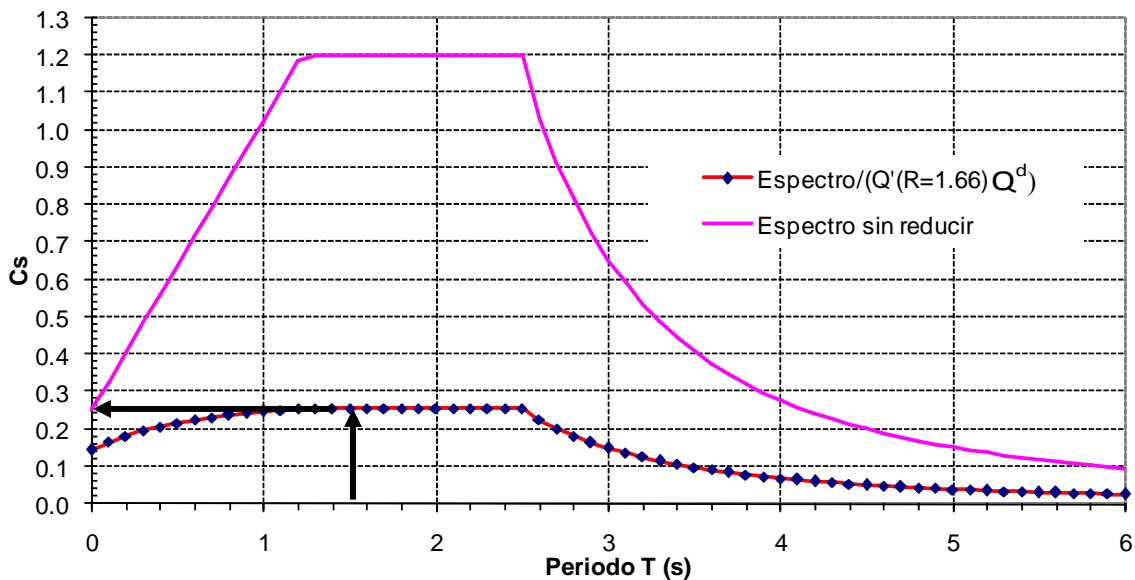


Figura 5.11 Espectro reducido por $Q'RQ_{\mu=2}^d$

17M10. Se verifica que la resistencia de la estructura sea mayor que la requerida.

$$C_{Sresistente} = 0.251 > C_{Srequerido} = 0.25$$

(de la Figura 5.10) (de la Figura 5.11)

18M10. En el siguiente paso, se obtiene mediante un análisis modal el desplazamiento máximo de entrepiso (Tabla 5.5).



Tabla 5.5 Resumen de desplazamientos máximos de entrepiso

Entrepiso (1)	Desplazamiento máximo reducido (m) (2)	Altura de entrepiso (m) (3)	Distorsión máxima de entrepiso real (4)	Desplazamiento máximo de entrepiso (m) (5)
10	0.0818	3.10	0.0032	0.0099
9	0.0788	3.10	0.0068	0.0209
8	0.0725	3.10	0.0079	0.0245
7	0.0651	3.10	0.0099	0.0308
6	0.0559	3.10	0.0099	0.0306
5	0.0466	3.10	0.0102	0.0318
4	0.0371	3.10	0.0106	0.0330
3	0.0271	3.10	0.0106	0.0330
2	0.0172	3.10	0.0086	0.0267
1	0.0092	3.10	0.0098	0.0304

En la Tabla 5.5 la columna 2 es el desplazamiento máximo calculado del análisis modal en donde el espectro se encuentra reducido entre $Q'RQ_{\mu=2}^d$. La columna 4 es la correspondiente distorsión máxima de entrepiso (a partir de las columnas 2 y 3), y multiplicada por QR. La columna 5 es el desplazamiento máximo real de entrepiso (resulta de multiplicar las columnas 3 y 4).

- ✓ En la Figura 5.12 se verifica que las distorsiones máximas de entrepiso son menores que la permisible (que es igual a 0.015).

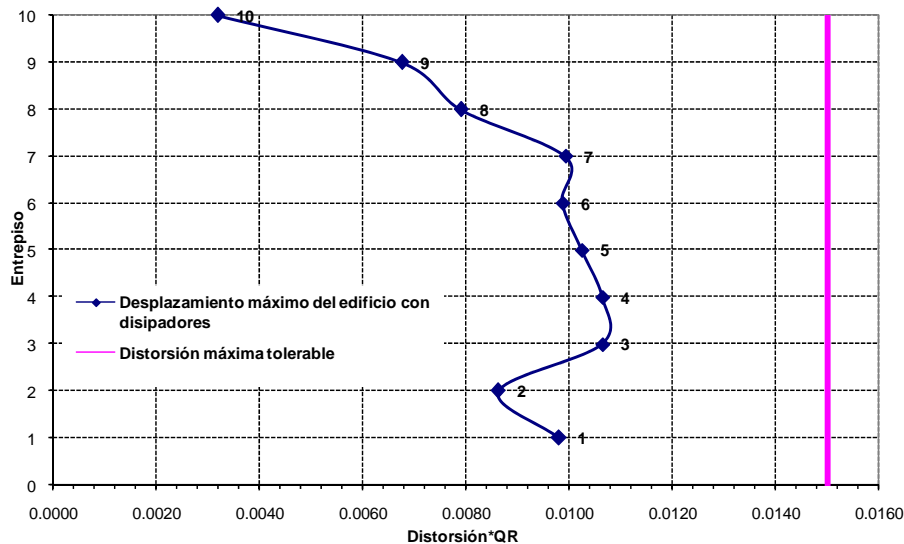


Figura 5.12 Perfil de distorsión máxima de entrepiso correspondiente al estado límite último

19M10. Enseguida se calcula la ductilidad máxima que demanda el sistema disipador. Se obtuvo un desplazamiento de fluencia de 0.0035. La ductilidad máxima que demanda el disipador ocurre en los entrepisos 3 y 4, es igual a 9.4 (ver columna 4 de la Tabla 5.6).



Tabla 5.6 Ductilidad máxima que demanda el disipador y ductilidad disponible

Nivel	Desplazamiento relativo máximo de entrepiso (m)	Δy Disipador (m)	Ductilidad que demanda el sistema disipador	Ductilidad disponible del disipador
10	0.0099	0.0035	2.8	23
9	0.0209	0.0035	5.9	23
8	0.0245	0.0035	7.0	23
7	0.0308	0.0035	8.7	23
6	0.0306	0.0035	8.7	23
5	0.0318	0.0035	9.0	23
4	0.0330	0.0035	9.4	23
3	0.0330	0.0035	9.4	23
2	0.0267	0.0035	7.6	23
1	0.0304	0.0035	8.6	23

La ductilidad disponible del disipador (columna 5 de la Tabla 5.6) se obtuvo de pruebas experimentales de laboratorio (por ejemplo ver Figura 5 de la Introducción de esta tesis).

En lo que sigue se presenta el **resumen de la verificación de las condiciones de aceptación del estado límite último del edificio de 10 niveles (método modal espectral)**:

- ✓ Resistencia global:

$$C_{S_{requerido}} = 0.25 < C_{S_{resistente}} = 0.251$$

- ✓ Distorsión máxima de entrepiso:

$$\delta = 0.011 < \Delta_{perms} = 0.015$$

- ✓ Ductilidad máxima del disipador:

$$\mu_{desarrolla\ disipador} = 9.4 < \mu_{disponible\ disipador} = 23$$

En la Tabla 5.7 se indica el número de placas necesarias por entrepiso. Dicho número coincide con la columna 5 de la Tabla 5.2, lo que indica que para el diseño rigió la condición correspondiente al estado límite de servicio y resistencia.

Tabla 5.7 Distribución final de placas por entrepiso

Entrepiso	Número de placas
10	2
9	2
8	2
7	4
6	4
5	8
4	8
3	8
2	18
1	20

En lo que sigue se aplica el método modal para el diseño de la estructura de 24 niveles con disipadores. Esta estructura se describió en el capítulo 3.



5.4. Edificio de 24 niveles. Revisión inicial

- 1M24. Con el fin de obtener las distorsiones máximas de entrepiso, primeramente se obtienen los coeficientes de participación del análisis dinámico modal y se encuentra el número de modos necesarios para que la suma de los pesos efectivos sea mayor o igual al 90% del peso total de la estructura. En este caso fue necesario tomar en cuenta la participación de 12 modos.
- 2M24. Se realiza un análisis modal utilizando el espectro correspondiente (reducido por Q'R) del Apéndice A del RCDF-2004 (ver Figura 5.13). Aquí se consideran los siguientes datos del espectro: $\beta=1$, $k = 0.35$, $Q=2$, $T_s=2.07s$, $T_b=2.48s$ y $T_a=1.22s$.

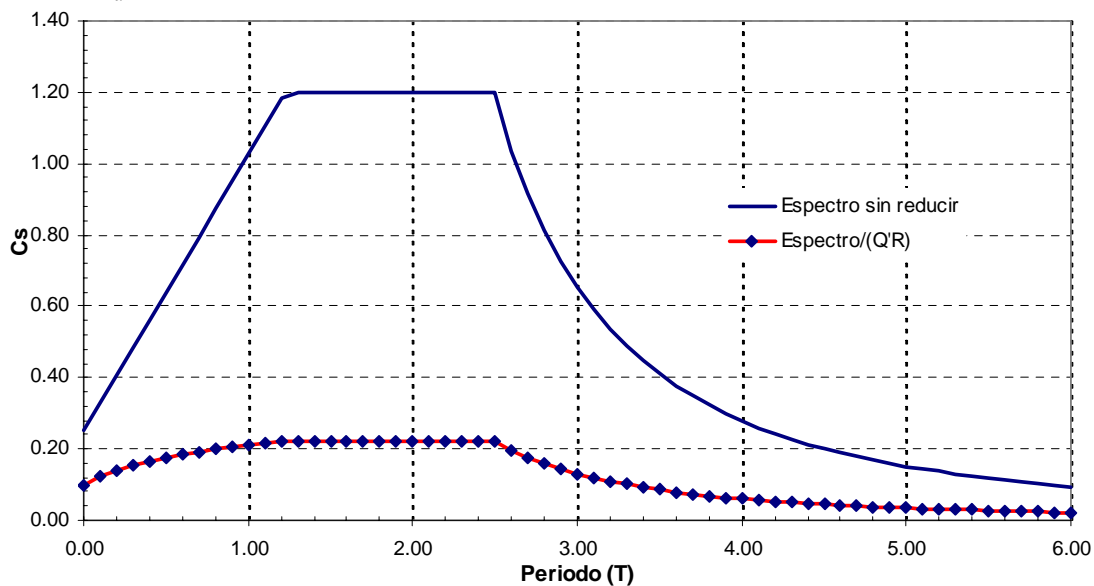


Figura 5.13 Espectro del Apéndice A reducido entre Q'R

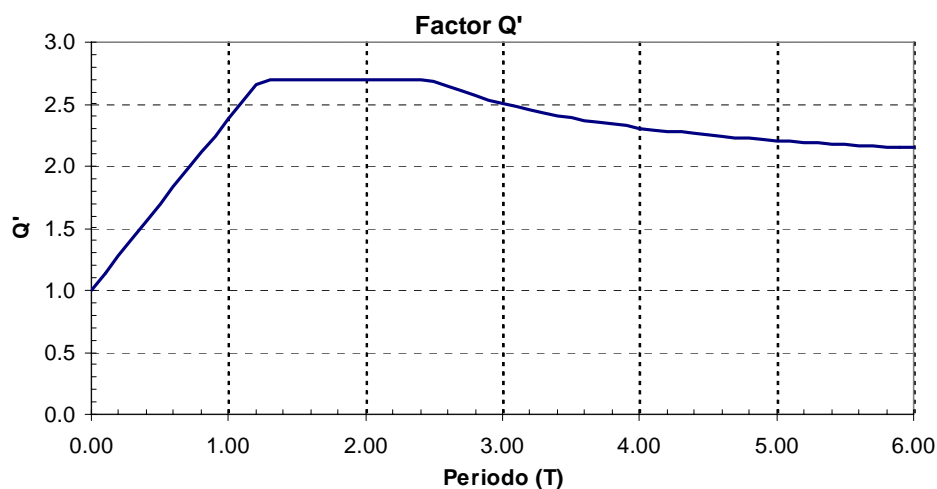


Figura 5.14 Factor de reducción por ductilidad

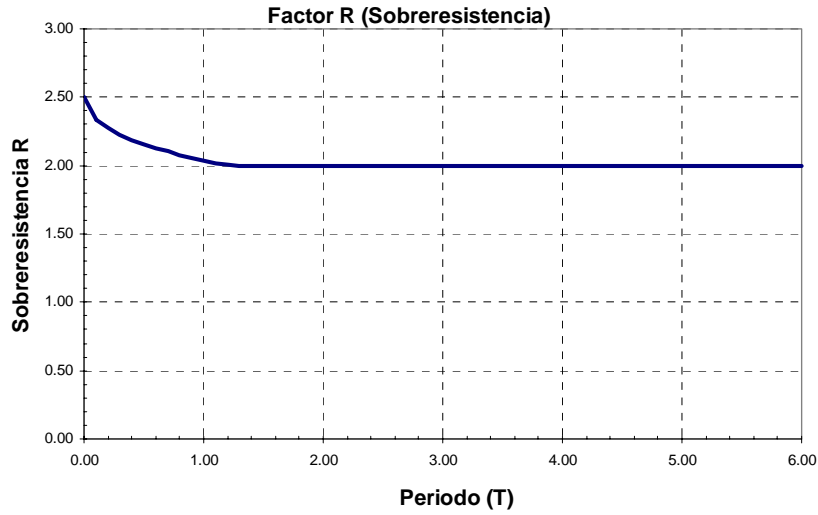


Figura 5.15 Factor de reducción por sobre-resistencia

3M24. Se verifica que el perfil de distorsión máxima correspondiente al estado límite de servicio sea menor o igual al límite establecido en el RCDF-2004. En este ejemplo se elige $\Delta_{\text{permitida}}=0.002$. La Figura 5.16 muestra que es necesario introducir disipadores en varios entrepisos.

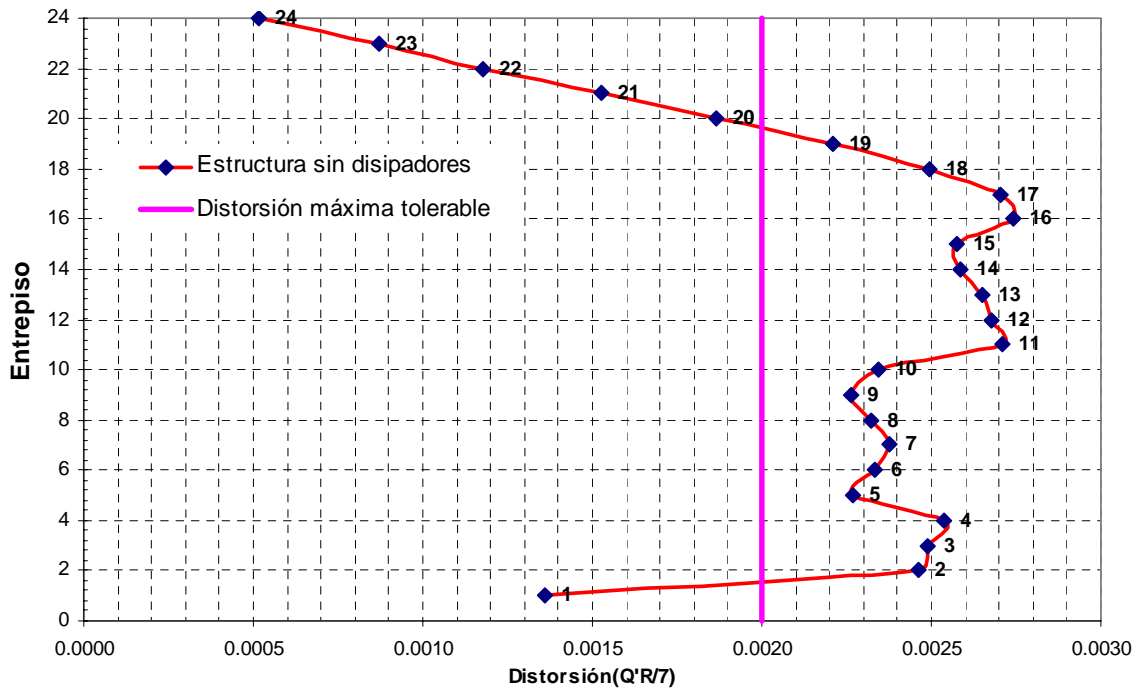


Figura 5.16 Perfil de distorsión máxima de entrepiso correspondiente al estado límite de servicio



5.5. Edificio de 24 niveles. Revisión de la condición de aceptación del estado límite de servicio.

A continuación se muestran los pasos referentes a la introducción de disipadores para cumplir con la condición del estado límite de servicio.

4M24. Para ello se calcula la rigidez de cada entrepiso k_{ci} (tercera columna de la Tabla 5.8).

5M24. Se calcula la rigidez necesaria k_{di} para cada entrepiso, de manera que no se exceda la distorsión permitida $\Delta_{permitida}$ (cuarta columna de la Tabla 5.8).

Tabla 5.8 Cálculo de la rigidez de entrepiso necesarias, k_{di}

Entrepiso	Δ_{max}^s	k_{ci} (ton/m)	k_{di}
1	0.00136	92635	0
2	0.00246	35509	8232
3	0.00249	34890	8542
4	0.00254	32234	8706
5	0.00227	49047	6597
6	0.00233	49284	8174
7	0.00238	49086	9290
8	0.00232	51655	8271
9	0.00226	53746	7008
10	0.00234	53366	9142
11	0.00271	46340	16435
12	0.00268	47399	16033
13	0.00265	48293	15741
14	0.00258	49663	14525
15	0.00258	49593	14327
16	0.00274	46167	17091
17	0.00271	45447	16025
18	0.00250	47263	11741
19	0.00221	50074	5251
20	0.00187	53966	0
21	0.00153	57188	0
22	0.00118	60878	0
23	0.00087	49071	0
24	0.00052	52116	0

6M24. Al igual que en el edificio de diez niveles, se propone utilizar disipadores tipo TADAS (Figura 5.17). El número de disipadores depende de la rigidez k_{di} que se muestra en la Tabla 5.8. El cálculo del número de disipadores por nivel se presenta en la Tabla 5.9.

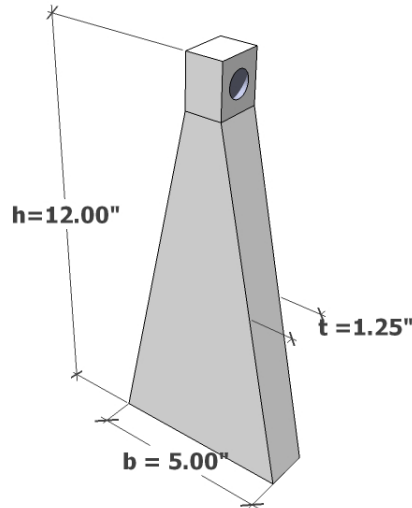


Figura 5.17 Dimensiones propuestas de las placas TADAS

Tabla 5.9 Propiedades de los disipadores TADAS para el edificio de 24 niveles

Nivel	Rigidez necesaria k_{di} (ton/m)	Número de placas por entrepiso (N_i)	Redondeo de placas (automático)	Número final de placas (N)	Rigidez redondeada k_{di} (ton/m)	Areas A_i para cada barra (m^2)	P_y (ton)	f_y (ton/ m^2)
1	0	0.00	0	18	17190	4.604E-04	50.50	27418
2	8,232	8.62	9	18	17190	4.604E-04	50.50	27418
3	8,542	8.94	9	18	17190	4.604E-04	50.50	27418
4	8,706	9.12	10	18	17190	4.604E-04	50.50	27418
5	6,597	6.91	7	18	17190	4.604E-04	50.50	27418
6	8,174	8.56	9	18	17190	4.604E-04	50.50	27418
7	9,290	9.73	10	18	17190	4.604E-04	50.50	27418
8	8,271	8.66	9	18	17190	4.604E-04	50.50	27418
9	7,008	7.34	8	24	22920	6.139E-04	67.33	27418
10	9,142	9.57	10	24	22920	6.139E-04	67.33	27418
11	16,435	17.21	18	24	22920	6.139E-04	67.33	27418
12	16,033	16.79	17	24	22920	6.139E-04	67.33	27418
13	15,741	16.48	17	24	22920	6.139E-04	67.33	27418
14	14,525	15.21	16	24	22920	6.139E-04	67.33	27418
15	14,327	15.00	16	24	22920	6.139E-04	67.33	27418
16	17,091	17.90	18	24	22920	6.139E-04	67.33	27418
17	16,025	16.78	17	10	9550	2.558E-04	28.05	27418
18	11,741	12.29	13	10	9550	2.558E-04	28.05	27418
19	5,251	5.50	6	10	9550	2.558E-04	28.05	27418
20	0	0.00	0	4	3820	1.023E-04	11.22	27418
21	0	0.00	0	4	3820	1.023E-04	11.22	27418
22	0	0.00	0	4	3820	1.023E-04	11.22	27418
23	0	0.00	0	4	3820	1.023E-04	11.22	27418
24	0	0.00	0	4	3820	1.023E-04	11.22	27418

En la columna 5 de la Tabla 5.9 se presenta el número final de placas después de hacer cuatro iteraciones.



7M24. Enseguida se modela la estructura con disipadores, y se obtienen sus periodos naturales de vibrar. La Figura 5.18 muestra la distribución de los disipadores TADAS en las dos crujeas externas del marco.

Tabla 5.10 Periodos naturales de vibración

Periodos con disipadores	Periodos sin disipadores
$T_1 = 1.87s$	$T_1 = 2.03s$
$T_2 = 0.71s$	$T_2 = 0.77s$
$T_3 = 0.43s$	$T_3 = 0.46s$
$T_4 = 0.31s$	$T_4 = 0.33s$

Los periodos de vibrar corresponden a la estructura cuando no se permite deformación axial en sus columnas.

8M24. Posteriormente se calcula el valor de α (a partir de la Figura 5.19) así como el periodo fundamental T_1 del edificio con disipadores. Con estos valores (α y T_1) se obtiene el valor de $Q_{\mu=1}^d$ (Ruiz y Rivera 2007).

$$\begin{aligned}\alpha &= 0.12 \\ T_1 &= 1.87s \\ Q_{\mu=1}^d &= 1.10\end{aligned}$$

La reducción de las ordenadas espectrales por la presencia de los disipadores es de 10%.

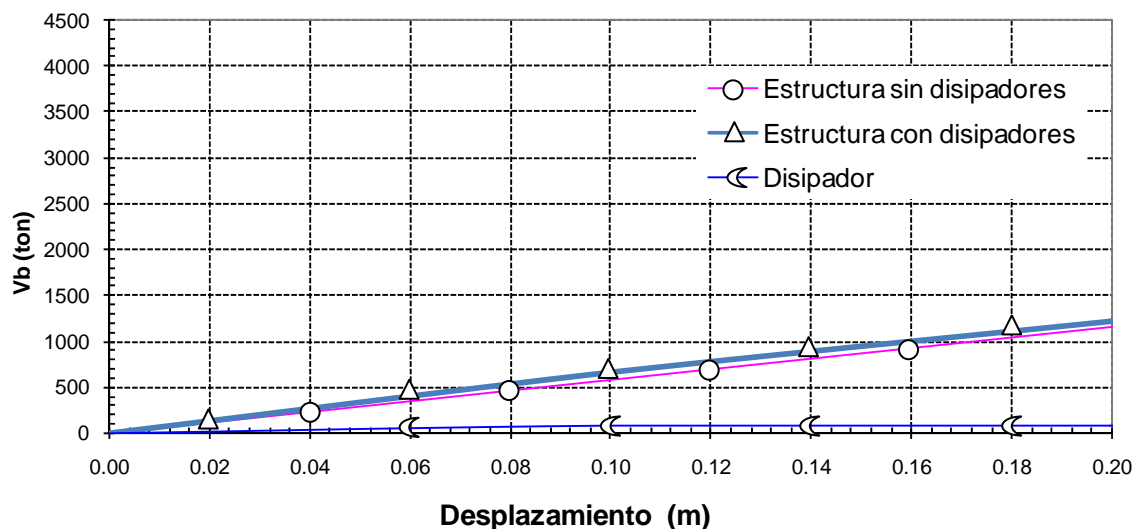


Figura 5.18 Rigidez de la estructura y de los disipadores

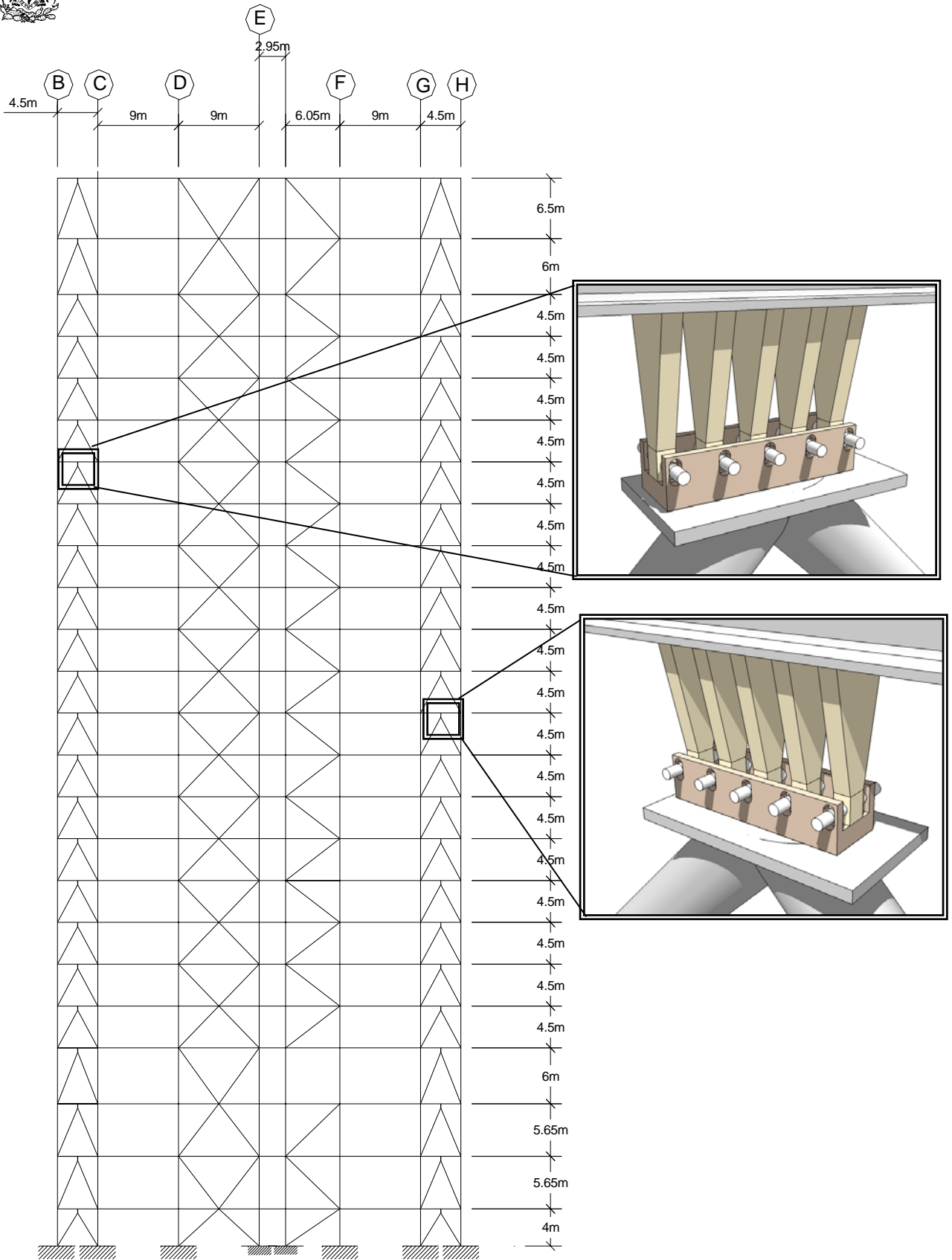


Figura 5.19 Distribución de disipadores entre los ejes B-C y G-H



9M24. Se dividen las ordenadas espectrales entre $Q'RQ_{\mu=1}^d$, y se hace un análisis modal.

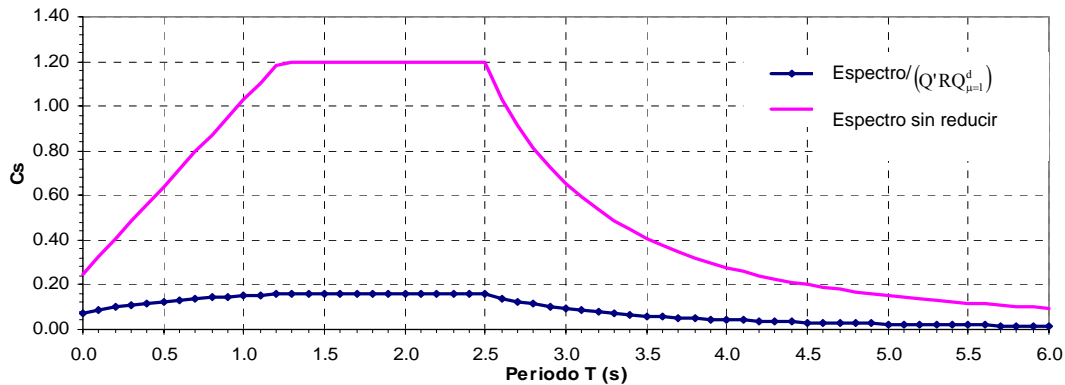


Figura 5.20 Espectro de diseño del Apéndice A del RCDF y espectro reducido

10M24. Se verifica que las distorsiones máximas sean menores que la permitida $\Delta_{\text{permitida}} = 0.002$. Las distorsiones máximas de entrepiso que resultan del análisis se muestran en la Tabla 5.11 y en la Figura 5.21.

Tabla 5.11 Distorsiones máximas de entrepiso correspondientes al estado límite de servicio

Nivel (1)	Altura de entrepiso (m) (2)	Desplaza- miento "reducido" (m) (3)	Distorsión "reducida" (4)	Distorsión (Q'R/7) (real) (5)
1	4.00	0.0061	0.0015	0.0012
2	5.65	0.0207	0.0026	0.0020
3	5.65	0.0352	0.0026	0.0020
4	6.00	0.0509	0.0026	0.0020
5	4.50	0.0617	0.0024	0.0018
6	4.50	0.0728	0.0025	0.0019
7	4.50	0.0842	0.0025	0.0019
8	4.50	0.0951	0.0024	0.0019
9	4.50	0.1055	0.0023	0.0018
10	4.50	0.1161	0.0023	0.0018
11	4.50	0.1279	0.0026	0.0020
12	4.50	0.1396	0.0026	0.0020
13	4.50	0.1510	0.0025	0.0019
14	4.50	0.1620	0.0024	0.0019
15	4.50	0.1727	0.0024	0.0018
16	4.50	0.1839	0.0025	0.0019
17	4.50	0.1951	0.0025	0.0019
18	4.50	0.2063	0.0025	0.0019
19	4.50	0.2164	0.0023	0.0017
20	4.50	0.2252	0.0019	0.0015
21	4.50	0.2327	0.0017	0.0013
22	4.50	0.2385	0.0013	0.0010
23	6.00	0.2442	0.0009	0.0007
24	6.50	0.2478	0.0005	0.0004

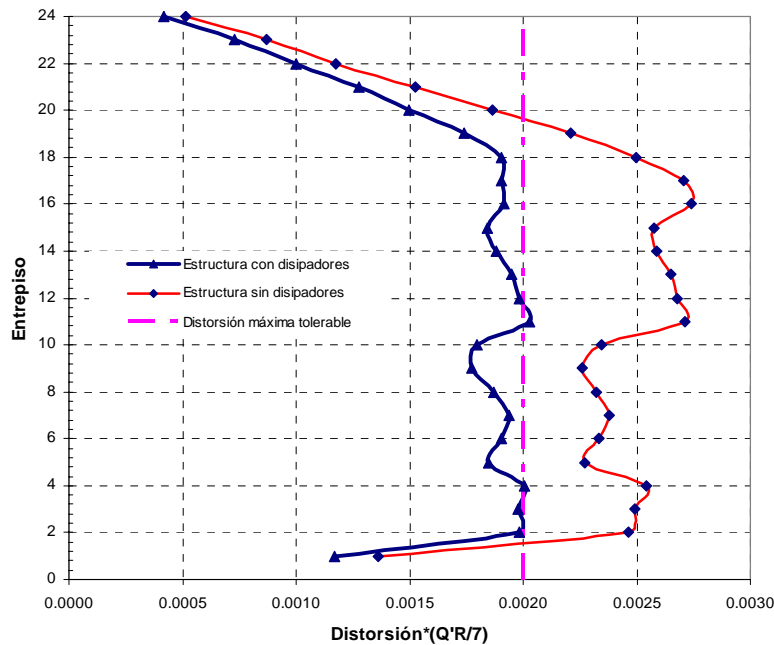


Figura 5.21 Perfil de distorsión máxima de la estructura

- ✓ La Figura 5.21 muestra que la distorsión máxima demandada por el edificio con disipadores (correspondiente al estado límite de servicio) es menor que 0.002. En lo que sigue se revisan las condiciones de aceptación correspondientes al estado límite último.

5.6. Edificio de 24 niveles. Revisión de las condiciones de aceptación del estado límite último

11M24. Primeramente se realiza un análisis estático no-lineal ("pushover") del edificio con los disipadores propuestos.

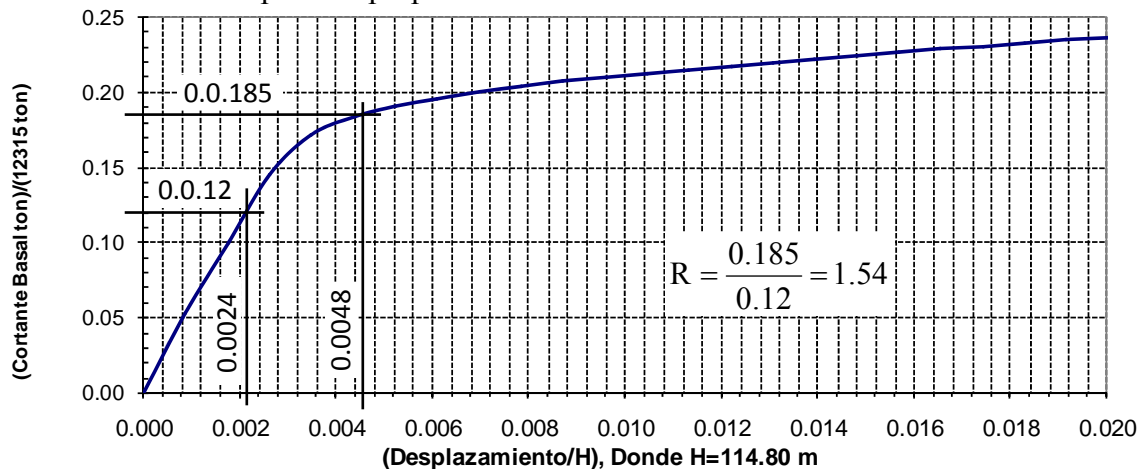


Figura 5.22 Resultado del análisis estático no-lineal

12M24. Se obtiene el desplazamiento máximo de azotea D_{azotea} que demanda el sistema correspondiente al estado límite último.



$$D_{\text{azotea}} = \overbrace{0.248\text{m}}^{\text{Desplazamiento reducido de azotea}} \times \overbrace{2.00}^Q \times \overbrace{1.54}^R = 0.7632\text{m}$$

donde 0.248m se calcula en la columna 3 de la Tabla 5.11. Q y R se calculan con la ecuación B.7 y Figura 5.22.

13M24. Para encontrar la ductilidad global demandada Q_{dem} se divide el desplazamiento máximo de azotea entre el desplazamiento de fluencia.

$$Q_{\text{dem}} = \frac{D_{\text{azotea}}}{(H_{\text{edificio}})(\delta_y)} = \frac{0.7632}{(114.8)(0.0024)} = 2.77$$

donde

$$H_{\text{edificio}} = 114.8\text{m}$$

$$\delta_y = 0.0024 \text{ (de la Figura 5.22)}$$

14M24. Se calcula el periodo "alargado" (T_{alargado}) de la estructura con disipadores correspondiente a la ductilidad demandada Q_{dem} .

$$T_{\text{estructura con disipadores}} = 1.87\text{s}$$

$$Q_{\text{dem}} = 2.77$$

$$T_{\text{alargado}} = 1.87\text{s} \sqrt{2.77} = 3.15\text{s}$$

Nótese que en este caso el periodo "alargado" se presenta en la rama descendente del espectro (Figura 5.23)

15M24. Con los valores de T_{alargado} y $\alpha = 0.27$ se obtiene el valor de $Q_{\mu=2}^d$ (Ruiz y Rivera 2007):

$$T_{\text{alargado}} = 3.15\text{s}$$

$$\alpha = 0.12$$

$$Q_{\mu=2}^d = 1.02$$

En este caso la reducción de las ordenadas espectrales por la presencia de los disipadores es muy poca (2%).

16M24. Se dividen las ordenadas espectrales entre $Q'RQ_{\mu=2}^d$.

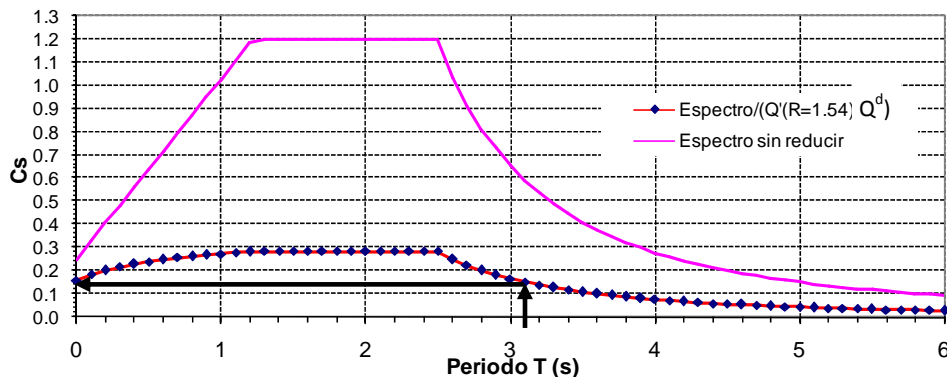


Figura 5.23 Espectro de diseño reducido por $Q'RQ_{\mu=2}^d$



17M24. Se verifica que la resistencia de la estructura sea mayor que la requerida:

$$C_{S_{\text{requerido}}}=0.15 < C_{S_{\text{resistente}}}=0.185$$

(de la Figura 5.23) (de la Figura 5.22)

18M24. Se obtienen las distorsiones máximas de entrepiso (ver Tabla 5.12) y se verifica que dichas distorsiones máximas de entrepiso sean menores que la permisible (que es igual a 0.015).

Tabla 5.12 Resumen de los desplazamientos máximos de entrepiso

Nivel (1)	Desplazamiento máximo reducido (m) (2)	Altura de entrepiso (m) (3)	Desplazamiento máximo real (4)	Desplazamiento máximo relativo de entrepiso (m) (5)
1	0.0085	4.00	0.00655	0.026
2	0.0289	5.65	0.01114	0.063
3	0.0493	5.65	0.01110	0.063
4	0.0712	6.00	0.01126	0.068
5	0.0864	4.50	0.01037	0.047
6	0.1020	4.50	0.01070	0.048
7	0.1179	4.50	0.01087	0.049
8	0.1333	4.50	0.01051	0.047
9	0.1478	4.50	0.00997	0.045
10	0.1626	4.50	0.01009	0.045
11	0.1792	4.50	0.01138	0.051
12	0.1955	4.50	0.01113	0.050
13	0.2114	4.50	0.01093	0.049
14	0.2269	4.50	0.01055	0.047
15	0.2420	4.50	0.01034	0.047
16	0.2576	4.50	0.01074	0.048
17	0.2733	4.50	0.01070	0.048
18	0.2889	4.50	0.01070	0.048
19	0.3032	4.50	0.00977	0.044
20	0.3155	4.50	0.00841	0.038
21	0.3259	4.50	0.00716	0.032
22	0.3341	4.50	0.00560	0.025
23	0.3421	6.00	0.00410	0.025
24	0.3471	6.50	0.00236	0.015

19M24. Se calcula la ductilidad máxima que demanda el sistema disipador. En este caso se obtuvo una ductilidad máxima demandada de 21.3 (cuarta columna de la Tabla 5.12). El desplazamiento de fluencia del disipador es de $\Delta_{y_{\text{dis}}} = 0.0029\text{m}$. La ductilidad disponible (columna 5 de la Tabla 5.13) se obtiene de pruebas de laboratorio.

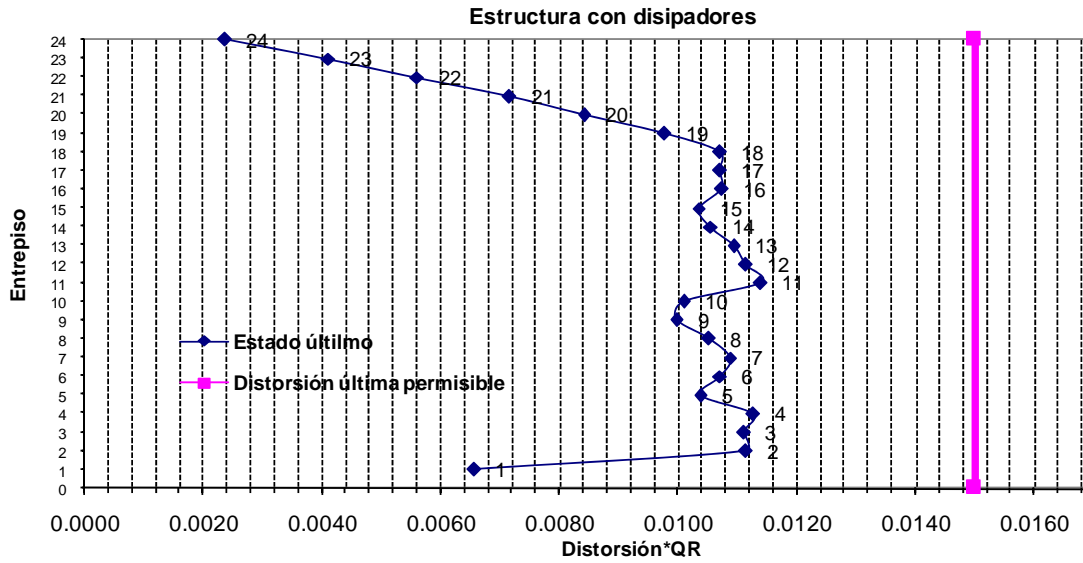


Figura 5.24 Perfil de distorsión máxima correspondiente al estado límite último

Tabla 5.13 Ductilidades máxima y disponible del disipador

Nivel	Desplazamiento máximo relativo de entrepiso (m)	Δy_{dis} (Disipador)	Ductilidad máxima del disipador real	Ductilidad disponible del disipador
1	0.00655	0.0029	8.9	23
2	0.01114	0.0029	21.4	23
3	0.01110	0.0029	21.3	23
4	0.01126	0.0029	22.8	23
5	0.01037	0.0029	15.9	23
6	0.01070	0.0029	16.4	23
7	0.01087	0.0029	16.6	23
8	0.01051	0.0029	16.1	23
9	0.00997	0.0029	15.3	23
10	0.01009	0.0029	15.5	23
11	0.01138	0.0029	17.4	23
12	0.01113	0.0029	17.0	23
13	0.01093	0.0029	16.7	23
14	0.01055	0.0029	16.2	23
15	0.01034	0.0029	15.8	23
16	0.01074	0.0029	16.4	23
17	0.01070	0.0029	16.4	23
18	0.01070	0.0029	16.4	23
19	0.00977	0.0029	15.0	23
20	0.00841	0.0029	12.9	23
21	0.00716	0.0029	11.0	23
22	0.00560	0.0029	8.6	23
23	0.00410	0.0029	8.4	23
24	0.00236	0.0029	5.2	23



En lo que sigue se presenta el **resumen de la verificación de las condiciones de aceptación del estado límite último del edificio de 24 niveles (método modal espectral)**:

- ✓ Resistencia global

$$C_{S_{\text{requerido}}} = 0.15 < C_{S_{\text{resistente}}} = 0.18$$

- ✓ Distorsión máxima de entrepiso

$$\delta = 0.011 < \delta_{\text{perms}} = 0.015$$

- ✓ Ductilidad del sistema disipador

$$\mu_{\text{desarrolla disipador}} = 22.8 < \mu_{\text{disponible disipador}} = 23$$

En la Tabla 5.14 se indica el número de placas por entrepiso. Este número coincide con los indicados en la columna 5 de la Tabla 5.9, lo que indica que en el diseño rigió la condición correspondiente al estado límite de servicio.

Tabla 5.14 Distribución de disipadores

Entrepiso	Número de placas
1	18
2	18
3	18
4	18
5	18
6	18
7	18
8	18
9	24
10	24
11	24
12	24
13	24
14	24
15	24
16	24
17	10
18	10
19	10
20	4
21	4
22	4
23	4
24	4



COMENTARIOS FINALES Y RECOMENDACIONES

Se ilustró paso a paso la aplicación de dos métodos para el refuerzo de edificios con disipadores de energía sísmica (método estático y modal espectral para edificios con disipadores de energía). Los métodos se emplearon para diseñar dos edificios con disipadores TADAS. Estos se supusieron localizados en suelo blando del valle de México.

La ventaja de los métodos aquí aplicados es que toman como base los espectros del Apéndice A del RCDF-2004. Esto hace que los ingenieros que están acostumbrados a usar el RCDF no tengan que seguir un procedimiento complejo cuando diseñen edificios con disipadores de energía, si no que solamente apliquen factores de reducción a las ordenadas espectrales por la presencia de los disipadores.

Los factores de reducción Q_{μ}^d que se aplicaron en los ejemplos redujeron las ordenadas espectrales de diseño entre 2% y 10%. Si se hubiesen diseñado estructuras con otros periodos de vibración (por ejemplo cercanos a dos segundos) y con mayor relación de rigideces $\alpha = K_d/K_c$, entonces los factores de reducción de las ordenadas espectrales Q_{μ}^d habrían sido mayores.

En el diseño de los dos ejemplos ilustrativos rigió la condición correspondiente al estado límite de servicio y resistencia. Una posible solución habría sido añadir contravientos en vez de disipadores de energía, sin embargo esta solución implica un aumento de la fuerza axial en la cimentación.

En el presente estudio la estructura se considera empotrada en la base. Esta suposición en suelos blandos no resulta del todo cierta ya que el efecto de la interacción suelo-estructura puede ser importante. Este efecto provoca un alargamiento en el periodo de vibración de la estructura por la rotación de su base. Sería deseable que en futuras investigaciones se considerara este efecto.

En este trabajo se consideró el análisis de cada edificio en el plano despreciando posibles efectos de torsión. Es deseable que se realicen en futuras investigaciones consideración de torsión.

También es conveniente que se calibren los resultados de los métodos estático y dinámico modal comparándolos con los obtenidos con el método “paso a paso” en el tiempo.



Referencias

Aguirre, M y Sánchez, R (1990), “Disipadores de energía sísmica”, *Construcción y Tecnología*, Vol. III, No 27, pp 15-19.

Aguirre, M y Sánchez, R (1989), “Pruebas de elementos disipadores de energía sísmica” IMCYC.

Alonso, J L (1989), “Mechanical Characteristic of X-plate energy dissipators”, CE 299 Report, University of California at Berkeley.

Berman, D M y Goel, S C (1987) “Evaluation of cyclic testing of steel-plate device for added damping and stiffness” Report UMCE 87-10, Department of civil Engineering, University of Michigan Ann Arbor, Michigan.

Berman, D M y Hanson, R D (1990), “Viscoelastic versus steel plate mechanical damping devices and experimental comparison”, Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, California, pp 469-477.

Chávez, J H y González, R (1989), “Efecto de dos tipos de amortiguamiento externo en la respuesta de una estructura metálica de los niveles”, VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica y VII Congreso Nacional de Ingeniería Estructuras, Acapulco, Guerrero, Vol III, pp F341-F350.

Comisión Federal de Electricidad CFE (2007), Manual de Obras Civiles. Diseño por sismo. En preparación.

FEMA 450 (2006) “Federal Emergency Management Agency”.
<http://www.bssconline.org/>

Kobori, T, Miura, Y, Fukuzawa, E, Yamada, T, Arita, T, Takenaka, Y, Miyagawa, N, Tanaka, N y Fukumoto, T (1992), “Development and application of hysteretic steel dampers”, Then World Conference on Earthquake Engineering, España, V4, pp 2241-2346.

Tena Colunga, A (2003), “Disipación Pasiva de Energía en México: un Estado del Arte”, Memorias, VII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Barquisimeto, Venezuela, noviembre.

Tsai, K Ch, Li J W, Hong, Ch P, Chen, H W y Su Y F (1993), ”Welded steel triangular plate device for seismic energy dissipation”, Proceeding of Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation, and Active Control, San Francisco, California, V2, pp 687-698.



Rivera, J L (2006), “Espectros de confiabilidad uniforme para sistemas estructurales con disipadores de energía” Tesis presentada en el programa de Maestría y Doctorado del Instituto de Ingeniería, UNAM, como requisito para obtener el grado de Doctora en Ingeniería (Estructuras).

Rivera y Ruiz (2007), “Design approach based on UAFR spectra for structures with displacement-dependent dissipating elements” *Earthquake Spectra*, Volume 23, No. 2.

Ruiz, y Rivera, (2007), “Factores de reducción para espectros de diseño sísmico debidos a la presencia de disipadores de energía”, sometido al XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Ixtapa Zihuatanejo.

Ruiz, S E y Presichi, D (2007), “Métodos estático y dinámico para el diseño sísmico de edificios con disipadores de energía”, sometido al XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Ixtapa Zihuatanejo.

Silva, G L, (1993), “Criterio para diseño sísmico de estructuras con dispositivos disipadores de energía” Tesis presentada en la Facultad de Ingeniería, UNAM, como requisito para obtener el título de Ingeniero Civil.

Skinner, R I, Nelly, J M y Heine A J (1975), “Hysteretic dampers for earthquake resistant structures”, *Earth Eng Struct Dynamics*, Vol, 3, pp 287-296.

Su, Y F y Hanson, R D (1990), “Seismic response of building structures with mechanical damping devices”, Department of Civil Engineering, University of Michigan.

Soong, T T y Mahomoodi, P (1990), “Seismic behavior of structures with added viscoelástico dampers”, *Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Palm Springs, California, pp 499-506.

Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, (2004), Normas Técnicas Complementarias Para Diseño Por Sismo, RCDF-2004.

Xia, C y Hanson, R D (1992), “Influence of ADAS element parameters of building seismic response”, *Journal of Structural Engineering*, ASCE Vol 118, No 7.

Whittaker, A, Bertero V, Alonso J y Thompson Ch (1989), “Earthquake Simulator testing of steel plate added damping and stiffness elements”, *Earthquake Engineering Research Center*, Report No UCB/EERC-89/02, University of California, Berkeley.

Apéndice A

A continuación se presenta el procedimiento general para obtener el factor Q_{μ}^d propuesto por Ruiz y Rivera (2007) para considerar el efecto de los disipadores de energía en la respuesta estructural.

1. Con la base en un estudio de peligro sísmico para el sitio en donde se ubica la estructura de interés (con las mismas características sismo tectónicas y mismo tipo de suelo) se calcula la curva de peligro sísmico correspondientes al periodo fundamental de vibrar de la estructura en estudio (Figura A.1).

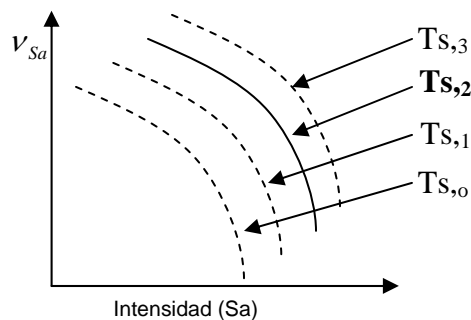


Figura A.1 Curvas de peligro sísmico para un sitio específico (Log-Log) y para distintos periodos fundamentales de vibrar

2. Se calcula la probabilidad de falla de la estructura representada por un sistema de un grado de libertad (S1GL) para cierto nivel de intensidad $P[Q \geq 1 | S_a]$, en donde:

$$Q = \frac{\text{Ductilidad demandada por la estructura (SIGDL)}}{\text{Ductilidad que es capaz de desarrollar la estructura (SIGDL)}} \quad (\text{A.1})$$

3. Se calcula, mediante integración numérica, la curva de peligro de demanda:

$$v_{Cy}(Cy) = \int \left| \frac{dv_{Sa}}{dSa} \right| P[Q \geq 1 | Sa] dSa \quad (\text{A.2})$$

donde v_{Cy} representa la probabilidad de que se exceda por año cierto valor de la resistencia representada por el coeficiente sísmico C_y , y S_a es la intensidad representada por la ordenada espectral asociada al periodo fundamental del sistema.



4. Se obtiene una curva de demanda estructural para el periodo de vibración de interés de un sistema de un grado de libertad (S1GDL) con disipadores de energía (con un valor de $\alpha = K_d/K_c$ fijo) y, alternativamente, del sistema sin disipadores de energía, ambos asociados a la misma ductilidad de diseño μ , y a un amortiguamiento crítico $\xi = 5\%$ (Figura A.2).

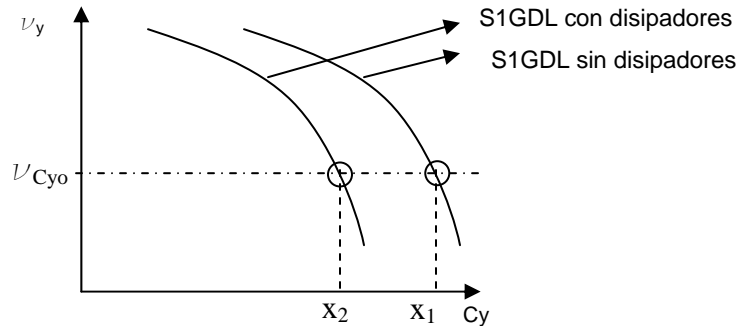


Figura A.2 Curvas de peligro de demanda estructural para un sistema con valores fijos de periodo fundamental T_1 , amortiguamiento ξ , ductilidad μ , y relación de rigideces $\alpha = K_d/K_c$ donde K_d representa la rigidez del disipador y K_c la rigidez del sistema principal.

Una vez obtenidas las curvas de peligro de demanda (dada por C_y) se obtienen los valores x_1 y x_2 correspondientes a un valor fijo de ν_{Cy_0} (por ejemplo: $\nu_{Cy_0} = 0.008$). Después se obtienen las relaciones de los coeficientes sísmicos C_y correspondiente al del sistema sin disipadores entre el del sistema con disipadores:

$$Q_\mu^d = \frac{x_1}{x_2} \quad (\text{A.3})$$

Actualmente se están calculando en el Instituto de Ingeniería de la UNAM gráficas del factor Q_μ^d correspondiente a distintos periodos de vibración, para distintas ductilidades (por ejemplo ver Figura A.3) y distintos valores α .

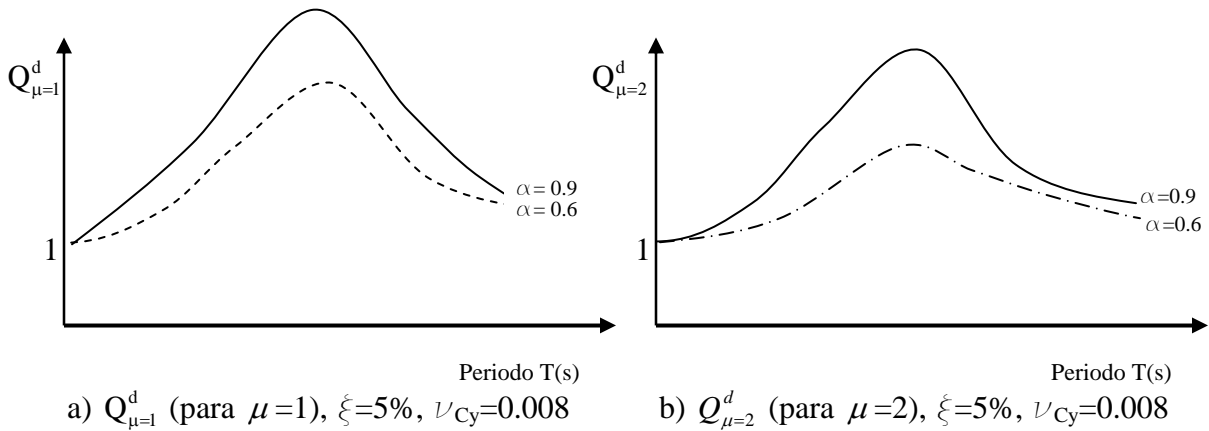


Figura A.3 Ejemplos de distintos factores Q_{μ}^d para dos diferentes ductilidades (μ), distintos valores de α , y amortiguamiento crítico de 5%.

Los factores Q_{μ}^d (Ruiz y Rivera, 2007) utilizados en este trabajo para considerar el efecto de los disipadores de energía en la respuesta estructural son válidos solamente para los periodos fundamentales, y los valores de ductilidad μ , α y amortiguamiento de los edificios aquí estudiados.



Apéndice B

Espectro de diseño según el Apéndice A del RCDF-2004

Para definir el espectro de diseño se debe definir el valor del periodo del suelo T_s el cual depende de la ubicación del edificio, de acuerdo con el mapa A.1 de zonificación del RCDF-2004. Los valores que definen el espectro de diseño se obtienen a partir de las siguientes ecuaciones (Figura B.1).

$$T_a = \begin{cases} 0.2 + 0.65(T_s - 0.5); & \text{si } T_s \leq 1.125 \text{ s} \\ 1.5; & \text{si } 1.125 < T_s \leq 3.5 \text{ s} \\ 4.75 - T_s; & \text{si } T_s > 3.5 \text{ s} \\ 0.85; & \text{si } T_s > 3.9 \text{ s} \end{cases} \quad (\text{B.1})$$

$$T_b = \begin{cases} 1.35; & \text{si } T_s \leq 1.125 \text{ s} \\ 1.2 T_s; & \text{si } 1.125 < T_s \leq 3.5 \text{ s} \\ 4.2; & \text{si } T_s > 3.5 \text{ s} \end{cases} \quad (\text{B.2})$$

$$k = \begin{cases} 2 - T_s; & \text{si } 0.5 < T_s \leq 1.65 \text{ s} \\ 1.2 T_s; & \text{si } T_s > 3.25 \text{ s} \end{cases} \quad (\text{B.3})$$

$$a_0 = \begin{cases} 0.1 + 0.15(T_s - 0.5); & \text{si } 0.5 \leq T_s \leq 1.5 \text{ s} \\ 0.25; & \text{si } T_s > 1.5 \text{ s} \end{cases} \quad (\text{B.4})$$

$$c = \begin{cases} 0.28 + 0.92(T_s - 0.5); & \text{si } 0.5 \leq T_s \leq 1.5 \text{ s} \\ 1.2; & \text{si } 1.5 < T_s \leq 2.5 \text{ s} \\ 1.2 - 0.5(T_s - 2.5); & \text{si } 2.5 < T_s \leq 3.5 \text{ s} \\ 0.7; & \text{si } T_s > 3.5 \end{cases} \quad (\text{B.5})$$

$$p = k + (1 - k)(T_b/T)^2 \quad (\text{B.6})$$

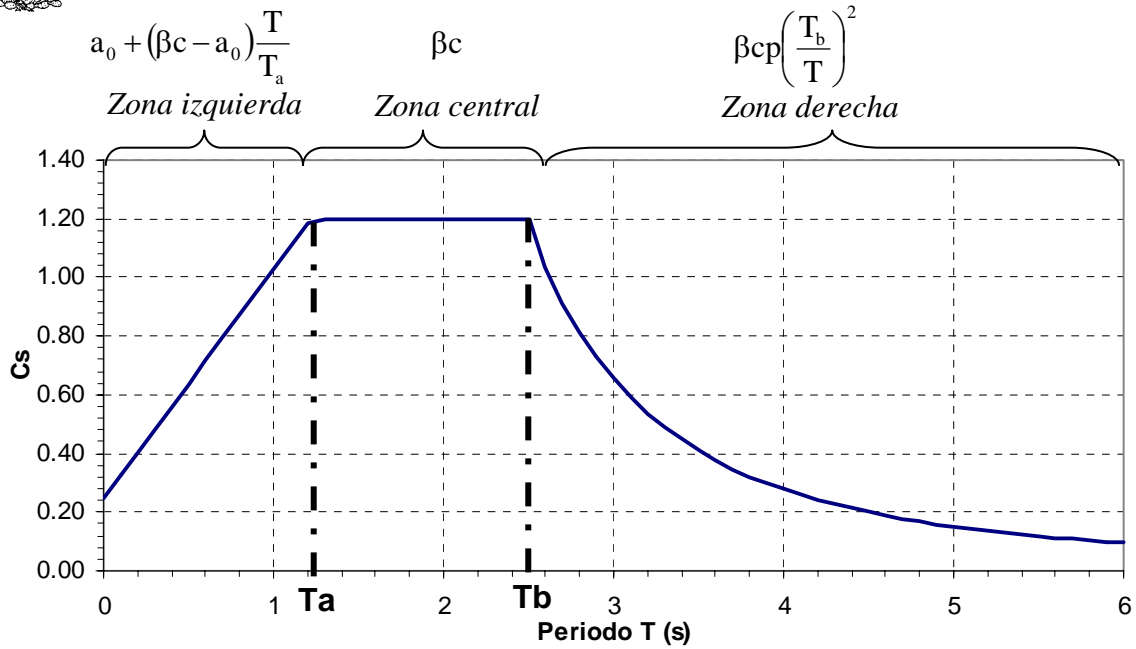


Figura B.1 Espectro del Apéndice A (RCDF-2004)

donde β es un factor de reducción por amortiguamiento suplementario, que es igual a uno cuando se ignora la interacción suelo-estructura y k es una variable para calcular el factor de reducción por ductilidad (ecuación B.7).

- Para realizar el análisis sísmico, las ordenadas espectrales de aceleración obtenidas de la Figura 2.1 podrán ser reducidas por los factores de ductilidad, Q' , y de sobrerresistencia, R , de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$Q' = \begin{cases} 1 + (Q-1) \sqrt{\frac{\beta}{k} \frac{T}{T_a}}; & \text{si } T \leq T_a \\ 1 + (Q-1) \sqrt{\frac{\beta}{k}}; & \text{si } T_a < T \leq T_b \\ 1 + (Q-1) \sqrt{\frac{\beta p}{k}}; & \text{si } T > T_b \end{cases} \quad (B.7)$$

donde Q es el factor de comportamiento sísmico por ductilidad (ecuación B.2). La reducción por sobrerresistencia está dada por el factor R (ecuación B.8).

$$R = \begin{cases} \frac{10}{4 + \sqrt{T/T_a}}; & \text{si } T \leq T_a \\ 2; & \text{si } T_a < T \leq T_b \end{cases} \quad (B.8)$$



Apéndice C

Archivo de DRAIN2DX del edificio de 10 niveles

```

*STARTXX
NEWBORR      0 1 0 0 F          MARCO CON/DISIPADORES 10N . Ton-m
*NODECOORDS
C   1   0   30
C   2   5   30
C   3  10   30
C   4  15   30
C  41   0   0
C  42   5   0
C  43  10   0
C  44  15   0
C  45  7.5  30
C  54  7.5   3.
L   1  41   4  9   3.
L   2  42   4  9   3.
L   3  43   4  9   3.
L   4  44   4  9   3.
L  45  54   1  8   3.
*RESTRAINTS
S 111  41  44   1
S 001  45  54   1
*SLAVING
S 100   1   2   4   1
S 100   5   6   8   1
S 100   9  10  12   1
S 100  13  14  16   1
S 100  17  18  20   1
S 100  21  22  24   1
S 100  25  26  28   1
S 100  29  30  32   1
S 100  33  34  36   1
S 100  37  38  40   1
*MASSES
S 100 9.94863   1   4   1          9.810.55436120
S 100 13.56912   5   8   1
S 100 13.75956   9  12   1
S 100 13.95000  13  16   1
S 100 14.05764  17  20   1
S 100 14.16528  21  24   1
S 100 14.22221  25  28   1
S 100 14.27913  29  32   1
S 100 14.27913  33  36   1
S 100 14.27913  37  40   1
*ELEMENTGROUP   !VIGAS
02 1 0 .00359693          VIGAS DEL MARCO
1 4 4
11131370.85  0.03 0.2275.008009890  4 4 2 0.21875 0.2 1.
1 0.210 -0.210  0  0
2 0.250 -0.250  0  0
3 0.270 -0.270  0  0
4 0.280 -0.280  0  0
1 1 17.948 -17.948
2 1 17.948 -17.948
3 1 17.950 -21.160
4 1 21.165 -29.155
1 1 2 1 1 1 1 1
4 5 6 1 1 1 1 1
7 9 10 1 1 2 2 2
10 13 14 1 1 2 2 2
13 17 18 1 1 3 3 3
16 21 22 1 1 3 3 3
19 25 26 1 1 4 4 4
22 29 30 1 1 4 4 4

```



```

25 33 34 1 1 4 4 4
28 37 38 1 1 4 4 4
30 39 40 0 1 4 4 4
*ELEMENTGROUP !COLUMNAS
02 1 0 .00359693
4 1 4
11131370.85 0.03 0.1E+40.00259308 4 4 2 0.14700 0.2 1.
21131370.85 0.03 0.2E+40.00520833 4 4 2 0.20833 0.2 1.
31131370.85 0.03 0.2E+60.00708588 4 4 2 0.24300 0.2 1.
41131370.85 0.03 0.3E+60.00819541 4 4 2 0.26133 0.2 1.
1 0 0 -0.75 0
1 3 31.721 -31.721 396.346 -204.422 1.1 0.2 1.1 0.2
2 3 40.465 -40.465 476.422 -204.422 1.2 0.3 1.2 0.3
3 3 45.093 -45.093 521.683 -204.422 1.2 0.3 1.2 0.3
4 3 47.378 -47.378 545.619 -204.422 1.2 0.3 1.2 0.3
1 1 5 1 1 1 1 1
5 5 9 1 1 1 1 1
9 9 13 1 2 1 2 2
13 13 17 1 2 1 2 2
17 17 21 1 3 1 3 3
21 21 25 1 3 1 3 3
25 25 29 1 4 1 4 4
29 29 33 1 4 1 4 4
33 33 37 1 4 1 4 4
37 37 41 1 4 1 4 4
40 40 44 0 4 1 4 4

```

```

*ELEMENTGROUP
01 1 0 .00359693 DISIPADORES DEL MARCO
8
1 2.1E7 0.03 8.972E-05 105287 -105287 0 1.0
2 2.1E7 0.03 2.392E-04 105287 -105287 0 1.0
3 2.1E7 0.03 2.392E-04 105287 -105287 0 1.0
4 2.1E7 0.03 2.392E-04 105287 -105287 0 1.0
5 2.1E7 0.03 1.196E-04 105287 -105287 0 1.0
6 2.1E7 0.03 1.196E-04 105287 -105287 0 1.0
7 2.1E7 0.03 1.196E-04 105287 -105287 0 1.0
8 2.1E7 0.03 1.00E+08 25300 -25300 0 1.0
1 14 48 0 7
2 15 48 0 7
3 18 49 0 6
4 19 49 0 6
5 22 50 0 5
6 23 50 0 5
7 26 51 0 4
8 27 51 0 4
9 30 52 0 3
10 31 52 0 3
11 34 53 0 2
12 35 53 0 2
13 38 54 0 1
14 39 54 0 1
15 42 54 0 8
16 54 43 0 8
17 38 53 0 8
18 53 39 0 8
19 34 52 0 8
20 52 35 0 8
21 30 51 0 8
22 51 31 0 8
23 26 50 0 8
24 27 50 0 8
25 22 49 0 8
26 49 23 0 8

```

```

*RESULTS
NSD 001 1 41 4
*ELEMLOAD
CMCV CARGAS PARA VIGAS
G 1 2
1 0 1 0 2.94488 2.306830 0 2.94488 -2.306830
2 0 1 0 3.79080 2.921020 0 3.79080 -2.921020

```




1 3 1 1 1
4 30 1 2 1

*NODALOAD

CTV	CARGAS DE LOS MARCOS TRANSVERSALES				
S 0 -2.94489	0	1	4	3	
S 0 -4.57876	0	2	3	1	
S 0 -3.79081	0	5	37	4	
S 0 -6.29198	0	6	38	4	
S 0 -6.29198	0	7	39	4	
S 0 -3.79081	0	8	40	4	

*NODALOAD

CPAI	FUERZA PARA ANALISIS ESTATICO NO LINEAL.			
S 0.13578	0.0	0.0	1	
S 0.17401	0.0	0.0	5	
S 0.15719	0.0	0.0	9	
S 0.13903	0.0	0.0	13	
S 0.11760	0.0	0.0	17	
S 0.09695	0.0	0.0	21	
S 0.07576	0.0	0.0	25	
S 0.05470	0.0	0.0	29	
S 0.03424	0.0	0.0	33	
S 0.01473	0.0	0.0	37	

*SPECTRUM

ESPE	SP1	*ANALISIS ESPECTRAL ACELR 1.2	
61	1 0 1 1	1.0	1.0

*PARAMETERS

F 0.001 0.001
OS 0 0 1 0 1300

*MODE

10 2 0 0 CALCULO DE PERIODO INICIAL

*GRAV

E CMCV 1.
N CTV 1.

*SPEC

0 2 ESPE 1.

*STOP

Archivo de DRAIN2DX del edificio de 24 niveles

*STARTXX

DISPCON1 0 0 1 1 1 F M 24 NIVELES

*NODECOORDS

C 1	0.000	0
C 2	4.500	0
C 3	13.50	0
C 4	22.50	0
C 5	25.45	0
C 6	31.50	0
C 7	40.50	0
C 8	45.00	0
C 9	0.000	4.0
C 10	4.500	4.0
C 11	13.50	4.0
C 12	22.50	4.0
C 13	25.45	4.0
C 14	31.50	4.0
C 15	40.50	4.0
C 16	45.00	4.0
C 17	0.000	9.65
C 18	4.500	9.65
C 19	13.50	9.65
C 20	22.50	9.65
C 21	25.45	9.65
C 22	31.50	9.65
C 23	40.50	9.65
C 24	45.00	9.65
C 25	0	15.3
C 26	4.5	15.3



C	27	13.5	15.3
C	28	22.5	15.3
C	29	25.45	15.3
C	30	31.50	15.3
C	31	40.50	15.3
C	32	45.00	15.3
C	33	0	21.3
C	34	4.5	21.3
C	35	13.5	21.3
C	36	22.5	21.3
C	37	25.45	21.3
C	38	31.50	21.3
C	39	40.50	21.3
C	40	45.00	21.3
C	177	0	102.3
C	178	4.5	102.3
C	179	13.5	102.3
C	180	22.5	102.3
C	181	25.45	102.3
C	182	31.50	102.3
C	183	40.50	102.3
C	184	45.00	102.3
C	185	0	108.3
C	186	4.5	108.3
C	187	13.5	108.3
C	188	22.5	108.3
C	189	25.45	108.3
C	190	31.50	108.3
C	191	40.50	108.3
C	192	45.00	108.3
C	193	0	114.8
C	194	4.5	114.8
C	195	13.5	114.8
C	196	22.5	114.8
C	197	25.45	114.8
C	198	31.50	114.8
C	199	40.50	114.8
C	200	45.00	114.8
C	201	18.0	4
C	202	18.0	15.3
C	203	18.0	25.8
C	211	18.0	97.80
C	212	18.0	108.30
C	213	2.25	4.0
C	214	47.75	4.0
C	215	2.25	9.65
C	216	42.75	9.65
C	217	2.25	15.30
C	218	42.75	15.30
C	219	2.25	21.30
C	220	42.75	21.30
C	221	2.25	25.80
C	222	42.75	25.80
C	223	2.25	30.30
C	224	42.75	30.30
C	225	2.25	34.80
C	226	42.75	34.80
C	227	2.25	39.30
C	228	42.75	39.30
C	229	2.25	43.80
C	230	42.75	43.80
C	231	2.25	48.30
C	232	42.75	48.30
C	233	2.75	52.80
C	234	42.75	52.80
C	235	2.25	57.30
C	236	42.75	57.30
C	237	2.25	61.80
C	238	42.75	61.80
C	239	2.25	66.30



C	240	42.75	66.30		
C	241	2.25	70.80		
C	242	42.75	70.80		
C	243	2.25	75.30		
C	244	42.75	75.30		
C	245	2.25	79.80		
C	246	42.75	79.80		
C	247	2.25	84.30		
C	248	42.75	84.30		
C	249	2.25	88.80		
C	250	42.75	88.80		
C	251	2.25	93.30		
C	252	42.75	93.30		
C	253	2.25	97.80		
C	254	42.75	97.80		
C	255	2.25	102.30		
C	256	42.75	102.30		
C	257	2.25	108.30		
C	258	42.75	108.30		
C	259	2.25	114.80		
C	260	42.75	114.80		
L	33	177	8	17	4.5
L	34	178	8	17	4.5
L	35	179	8	17	4.5
L	36	180	8	17	4.5
L	37	181	8	17	4.5
L	38	182	8	17	4.5
L	39	183	8	17	4.5
L	40	184	8	17	4.5
L	203	211	1	7	9.0
*RESTRAINTS					
S	111	1	8	1	
IS	111	16			
*SLAVING					
S	100	196	197	200	1
S	100	196	193	195	1
S	100	188	189	192	1
S	100	188	185	187	1
S	100	180	181	184	1
S	100	180	177	179	1
S	100	172	173	176	1
S	100	172	169	171	1
S	100	164	165	168	1
S	100	164	161	163	1
S	100	156	157	160	1
S	100	156	153	155	1
S	100	148	149	152	1
S	100	148	145	147	1
S	100	140	141	144	1
S	100	140	137	139	1
S	100	132	133	136	1
S	100	132	129	131	1
S	100	124	125	128	1
S	100	124	121	123	1
S	100	116	117	120	1
S	100	116	113	115	1
S	100	108	109	112	1
S	100	108	105	107	1
S	100	100	101	104	1
S	100	100	97	99	1
S	100	92	93	96	1
S	100	92	89	91	1
S	100	84	85	88	1
S	100	84	81	83	1
S	100	76	77	80	1
S	100	76	73	75	1
S	100	68	69	72	1
S	100	68	65	67	1
S	100	60	61	64	1
S	100	60	57	59	1



S 100	52	53	56	1	
S 100	52	49	51	1	
S 100	44	45	48	1	
S 100	44	41	43	1	
S 100	36	37	40	1	
S 100	36	33	35	1	
S 100	28	29	32	1	
S 100	28	25	27	1	
S 100	20	21	24	1	
S 100	20	17	19	1	
S 100	12	13	16	1	
S 100	12	09	11	1	
S 010	1	9	193	8	
S 010	2	10	194	8	
S 010	3	11	195	8	
S 010	4	12	196	8	
S 010	5	13	197	8	
S 010	6	14	198	8	
S 010	7	15	199	8	
S 010	8	16	200	8	
*MASSES					
S 100	101.63	9	16	1	9.81 0.1582666
S 100	101.63	17	24	1	
S 100	101.63	25	32	1	
S 100	59.38	33	40	1	
S 100	59.38	41	48	1	
S 100	59.38	49	56	1	
S 100	59.38	57	64	1	
S 100	59.38	65	72	1	
S 100	59.38	73	80	1	
S 100	59.38	81	88	1	
S 100	59.38	89	96	1	
S 100	59.38	97	104	1	
S 100	59.38	105	112	1	
S 100	59.38	113	120	1	
S 100	59.38	121	128	1	
S 100	59.38	129	136	1	
S 100	59.38	137	144	1	
S 100	59.38	145	152	1	
S 100	59.38	153	160	1	
S 100	59.38	161	168	1	
S 100	59.38	169	176	1	
S 100	59.38	177	184	1	
S 100	59.38	185	192	1	
S 100	47.00	193	200	1	
*ELEMENTGROUP					
01	1	1	0.01236598	DISIPADORES ELEMT 169-264	
13					
1	2.039E7	0.03	0.0250	35150	-35150 1 1.0
2	2.039E7	0.03	0.0228	35150	-35150 1 1.0
3	2.039E7	0.03	0.0155	35150	-35150 1 1.0
4	2.039E7	0.03	0.0110	35150	-35150 1 1.0
5	2.039E7	0.03	3.837E-04	28786	-28786 1 1.0
6	2.039E7	0.03	4.604E-04	28786	-28786 1 1.0
7	2.039E7	0.03	4.604E-04	28786	-28786 1 1.0
8	2.039E7	0.03	6.139E-04	28786	-28786 1 1.0
9	2.039E7	0.03	6.139E-04	28786	-28786 1 1.0
10	2.039E7	0.03	5.116E-04	28786	-28786 1 1.0
11	2.039E7	0.03	1.023E-04	28786	-28786 1 1.0
12	2.039E7	0.03	1.023E-04	28786	-28786 1 1.0
13	2.039E7	0.03	5.400E+07	28786	-28786 1 1.0
1	3	201	1	1	
2	4	201	1	1	
3	5	14	1	1	
4	201	19	1	1	
5	201	20	1	1	
6	14	21	1	1	
7	19	202	1	1	
8	20	202	1	1	
9	21	30	1	1	



10	202	35	1	1
11	202	36	1	1
12	30	37	1	1
13	35	203	1	1
14	36	203	1	1
15	37	46	1	1
16	203	51	1	2
17	203	52	1	2
18	46	53	1	2
19	51	204	1	2
20	52	204	1	2
21	53	62	1	2
22	204	67	1	2
23	204	68	1	2
24	62	69	1	2
25	67	205	1	2
26	68	205	1	2
27	69	78	1	2
28	205	83	1	2
29	205	84	1	2
30	78	85	1	2
31	83	206	1	3
32	84	206	1	3
33	85	94	1	3
34	206	99	1	3
35	206	100	1	3
36	94	101	1	3
37	99	207	1	3
38	100	207	1	3
39	101	110	1	3
40	207	115	1	3
41	207	116	1	3
42	110	117	1	3
43	115	208	1	3
44	116	208	1	3
45	117	126	1	3
46	208	131	1	4
47	208	132	1	4
48	126	133	1	4
49	131	209	1	4
50	132	209	1	4
51	133	142	1	4
52	209	147	1	4
53	209	148	1	4
54	142	149	1	4
55	147	210	1	4
56	148	210	1	4
57	149	158	1	4
58	210	163	1	4
59	210	164	1	4
60	158	165	1	4
61	163	211	1	4
62	164	211	1	4
63	165	174	1	4
64	211	179	1	4
65	211	180	1	4
66	174	181	1	4
67	179	212	1	4
68	180	212	1	4
69	181	190	1	4
70	212	195	1	4
71	212	196	1	4
72	190	197	1	4
73	1	213	1	13
74	2	213	1	13
75	7	214	1	13
76	8	214	1	13
77	9	215	1	13
78	10	215	1	13
79	15	216	1	13



80	16	216	1	13
81	17	217	1	13
82	18	217	1	13
83	23	218	1	13
84	24	218	1	13
85	25	219	1	13
86	26	219	1	13
87	31	220	1	13
88	32	220	1	13
89	33	221	1	13
90	34	221	1	13
91	39	222	1	13
92	40	222	1	13
93	41	223	1	13
94	42	223	1	13
95	47	224	1	13
96	48	224	1	13
97	49	225	1	13
98	50	225	1	13
99	55	226	1	13
100	56	226	1	13
101	57	227	1	13
102	58	227	1	13
103	63	228	1	13
104	64	228	1	13
105	65	229	1	13
106	66	229	1	13
107	71	230	1	13
108	72	230	1	13
109	73	231	1	13
110	74	231	1	13
111	79	232	1	13
112	80	232	1	13
113	81	233	1	13
114	82	233	1	13
115	87	234	1	13
116	88	234	1	13
117	89	235	1	13
118	90	235	1	13
119	95	236	1	13
120	96	236	1	13
121	97	237	1	13
122	98	237	1	13
123	103	238	1	13
124	104	238	1	13
125	105	239	1	13
126	106	239	1	13
127	111	240	1	13
128	112	240	1	13
129	113	241	1	13
130	114	241	1	13
131	119	242	1	13
132	120	242	1	13
133	121	243	1	13
134	122	243	1	13
135	127	244	1	13
136	128	244	1	13
137	129	245	1	13
138	130	245	1	13
139	135	246	1	13
140	136	246	1	13
141	137	247	1	13
142	138	247	1	13
143	143	248	1	13
144	144	248	1	13
145	145	249	1	13
146	146	249	1	13
147	151	250	1	13
148	152	250	1	13
149	153	251	1	13



150	154	251	1	13
151	159	252	1	13
152	160	252	1	13
153	161	253	1	13
154	162	253	1	13
155	167	254	1	13
156	168	254	1	13
157	169	255	1	13
158	170	255	1	13
159	175	256	1	13
160	176	256	1	13
161	177	257	1	13
162	178	257	1	13
163	183	258	1	13
164	184	258	1	13
165	185	259	1	13
166	186	259	1	13
167	191	260	1	13
168	192	260	1	13
169	9	213	1	12
170	213	10	1	12
171	15	214	1	12
172	214	16	1	12
173	17	215	1	12
174	215	18	1	12
175	23	216	1	12
176	216	24	1	12
177	25	217	1	5
178	217	26	1	5
179	31	218	1	5
180	218	32	1	5
181	33	219	1	5
182	219	34	1	5
183	39	220	1	5
184	220	40	1	5
185	41	221	1	5
186	221	42	1	5
187	47	222	1	5
188	222	48	1	5
189	49	223	1	6
190	223	50	1	6
191	55	224	1	6
192	224	56	1	6
193	57	225	1	6
194	225	58	1	6
195	63	226	1	6
196	226	64	1	6
197	65	227	1	6
198	227	66	1	6
199	71	228	1	6
200	228	72	1	6
201	73	229	1	7
202	229	74	1	7
203	79	230	1	7
204	230	80	1	7
205	81	231	1	7
206	231	82	1	7
207	87	232	1	7
208	232	88	1	7
209	89	233	1	7
210	233	90	1	7
211	95	234	1	7
212	234	96	1	7
213	97	235	1	8
214	235	98	1	8
215	103	236	1	8
216	236	104	1	8
217	105	237	1	8
218	237	106	1	8
219	111	238	1	8



220	238	112	1	8
221	113	239	1	8
222	239	114	1	8
223	119	240	1	8
224	240	120	1	8
225	121	241	1	9
226	241	122	1	9
227	127	242	1	9
228	242	128	1	9
229	129	243	1	9
230	243	130	1	9
231	135	244	1	9
232	244	136	1	9
233	137	245	1	9
234	245	138	1	9
235	143	246	1	9
236	246	144	1	9
237	145	247	1	10
238	247	146	1	10
239	151	248	1	10
240	248	152	1	10
241	153	249	1	10
242	249	154	1	10
243	159	250	1	10
244	250	160	1	10
245	161	251	1	10
246	251	162	1	10
247	167	252	1	10
248	252	168	1	10
249	169	253	1	11
250	253	170	1	11
251	175	254	1	11
252	254	176	1	11
253	177	255	1	11
254	255	178	1	11
255	183	256	1	11
256	256	184	1	11
257	185	257	1	11
258	257	186	1	11
259	191	258	1	11
260	258	192	1	11
261	193	259	1	11
262	259	194	1	11
263	199	260	1	11
264	260	200	1	11

*ELEMENTGROUP

02	1	1	0.01236598	PROPIEDADES DE LAS COLUMNAS						
7	1	16								
1	2619160.	0.03	1.44	.17280000	4.	4.	2.	1.440000	0.2	1
2	2619160.	0.03	0.64	0.0341300	4.	4.	2.	0.640000	0.2	1
3	20390000	0.03	0.04	0.0011070	4.	4.	2.	0.009900	0.2	1
4	20390000	0.03	0.0276	0.0007100	4.	4.	2.	0.006500	0.2	1
5	20390000	0.03	0.0171	0.0004160	4.	4.	2.	0.004000	0.2	1
6	20390000	0.03	0.01	0.0001800	4.	4.	2.	0.002700	0.2	1
7	16500708.	0.03	0.64	0.0341300	4.	4.	2.	0.640000	0.2	1
1	0.	0.	0.	000.						
1	1	1053.00	-1053.00							
2	1	916.00	-916.00							
3	1	701.00	-701.00							
4	1	644.00	-644.00							
5	1	605.00	-605.00							
6	1	569.00	-569.00							
7	1	400.00	-400.00							
8	1	362.00	-362.00							
9	1	349.00	-349.00							
10	1	285.00	-285.00							
11	1	244.00	-244.00							
12	1	215.00	-215.00							
13	1	225.00	-225.00							
14	1	150.00	-150.00							



15	1	90.00	-90.00						
16	1	45.00	-45.00						
001	001	009		1	1	1	1	1	1
002	002	010		1	2	1	7	7	
003	003	011		1	7	1	7	7	
004	004	012		1	7	1	7	7	
005	005	013		1	3	1	13	13	
006	006	014		1	7	1	7	7	
007	007	015		1	2	1	7	7	
008	008	016		1	1	1	1	1	
009	009	017		1	1	1	1	1	
010	010	018		1	2	1	7	7	
011	011	019		1	7	1	7	7	
012	012	020		1	7	1	7	7	
013	013	021		1	3	1	13	13	
014	014	022		1	7	1	7	7	
015	015	023		1	2	1	7	7	
016	016	024		1	1	1	1	1	
017	017	025		1	1	1	1	1	
018	018	026		1	2	1	7	7	
019	019	027		1	7	1	7	7	
020	020	028		1	7	1	7	7	
021	021	029		1	7	1	13	13	
022	022	030		1	2	1	7	7	
023	023	031		1	2	1	7	7	
024	024	032		1	1	1	1	1	
025	025	033		1	1	1	2	2	
026	026	034		1	2	1	7	7	
027	027	035		1	7	1	7	7	
028	028	036		1	7	1	7	7	
029	029	037		1	3	1	13	13	
030	030	038		1	7	1	7	7	
031	031	039		1	2	1	7	7	
032	032	040		1	1	1	2	2	
033	033	041		1	1	1	2	2	
034	034	042		1	2	1	8	8	
035	035	043		1	7	1	8	8	
036	036	044		1	7	1	8	8	
037	037	045		1	3	1	13	13	
038	038	046		1	7	1	8	8	
039	039	047		1	2	1	8	8	
040	040	048		1	1	1	2	2	
041	041	049		1	1	1	3	3	
042	042	050		1	2	1	8	8	
043	043	051		1	7	1	8	8	
044	044	052		1	7	1	8	8	
045	045	053		1	4	1	14	14	
046	046	054		1	7	1	8	8	
047	047	055		1	2	1	8	8	
048	048	056		1	1	1	3	3	
049	049	057		1	1	1	3	3	
050	050	058		1	2	1	8	8	
051	051	059		1	7	1	8	8	
052	052	060		1	7	1	8	8	
053	053	061		1	4	1	14	14	
054	054	062		1	7	1	8	8	
055	055	063		1	2	1	8	8	
056	056	064		1	1	1	3	3	
057	057	065		1	1	1	3	3	
058	058	066		1	2	1	8	8	
059	059	067		1	7	1	8	8	
060	060	068		1	7	1	8	8	
061	061	069		1	4	1	14	14	
062	062	070		1	7	1	8	8	
063	063	071		1	2	1	8	8	
064	064	072		1	1	1	3	3	
065	065	073		1	1	1	4	4	
066	066	074		1	2	1	8	8	
067	067	075		1	7	1	8	8	
068	068	076		1	7	1	8	8	



069	069	077	1	4	1	14	14
070	070	078	1	7	1	8	8
071	071	079	1	2	1	8	8
072	072	080	1	1	1	4	4
073	073	081	1	1	1	4	4
074	074	082	1	2	1	8	8
075	075	083	1	7	1	8	8
076	076	084	1	7	1	8	8
077	077	085	1	4	1	14	14
078	078	086	1	7	1	8	8
079	079	087	1	2	1	8	8
080	080	088	1	1	1	4	4
081	081	089	1	1	1	5	5
082	082	090	1	2	1	9	9
083	083	091	1	7	1	9	9
084	084	092	1	7	1	9	9
085	085	093	1	5	1	15	15
086	086	094	1	7	1	9	9
087	087	095	1	2	1	9	9
088	088	096	1	1	1	5	5
089	089	097	1	1	1	5	5
090	090	098	1	2	1	9	9
091	091	099	1	7	1	9	9
092	092	100	1	7	1	9	9
093	093	101	1	7	1	15	15
094	094	102	1	2	1	9	9
095	095	103	1	2	1	9	9
096	096	104	1	1	1	5	5
097	097	105	1	1	1	5	5
098	098	106	1	2	1	9	9
099	099	107	1	7	1	9	9
100	100	108	1	7	1	9	9
101	101	109	1	5	1	15	15
102	102	110	1	7	1	9	9
103	103	111	1	2	1	9	9
104	104	112	1	1	1	5	5
105	105	113	1	1	1	6	6
106	106	114	1	2	1	10	10
107	107	115	1	7	1	10	10
108	108	116	1	7	1	11	11
109	109	117	1	5	1	15	15
110	110	118	1	7	1	16	16
111	111	119	1	2	1	10	10
112	112	120	1	1	1	6	6
113	113	121	1	1	1	6	6
114	114	122	1	2	1	10	10
115	115	123	1	7	1	10	10
116	116	124	1	7	1	10	10
117	117	125	1	5	1	15	15
118	118	126	1	7	1	10	10
119	119	127	1	2	1	10	10
120	120	128	1	1	1	6	6
121	121	129	1	1	1	6	6
122	122	130	1	2	1	10	10
123	123	131	1	7	1	10	10
124	124	132	1	7	1	10	10
125	125	133	1	6	1	16	16
126	126	134	1	7	1	10	10
127	127	135	1	2	1	10	10
128	128	136	1	1	1	6	6
129	129	137	1	1	1	6	6
130	130	138	1	2	1	10	10
131	131	139	1	7	1	10	10
132	132	140	1	7	1	10	10
133	133	141	1	6	1	16	16
134	134	142	1	7	1	10	10
135	135	143	1	2	1	10	10
136	136	144	1	1	1	6	6
137	137	145	1	1	1	6	6
138	138	146	1	2	1	10	10



139	139	147	1	7	1	10	10
140	140	148	1	7	1	10	10
141	141	149	1	6	1	16	16
142	142	150	1	7	1	10	10
143	143	151	1	2	1	10	10
144	144	152	1	1	1	6	6
145	145	153	1	1	1	6	6
146	146	154	1	2	1	10	10
147	147	155	1	7	1	10	10
148	148	156	1	7	1	10	10
149	149	157	1	6	1	16	16
150	150	158	1	7	1	10	10
151	151	159	1	2	1	10	10
152	152	160	1	1	1	6	6
153	153	161	1	1	1	6	6
154	154	162	1	2	1	11	11
155	155	163	1	7	1	11	11
156	156	164	1	7	1	11	11
157	157	165	1	6	1	16	16
158	158	166	1	7	1	11	11
159	159	167	1	2	1	11	11
160	160	168	1	1	1	6	6
161	161	169	1	1	1	6	6
162	162	170	1	2	1	11	11
163	163	171	1	7	1	11	11
164	164	172	1	7	1	11	11
165	165	173	1	6	1	16	16
166	166	174	1	7	1	11	11
167	167	175	1	2	1	11	11
168	168	176	1	1	1	6	6
169	169	177	1	1	1	6	6
170	170	178	1	2	1	11	11
171	171	179	1	7	1	11	11
172	172	180	1	7	1	11	11
173	173	181	1	6	1	16	16
174	174	182	1	7	1	11	11
175	175	183	1	2	1	11	11
176	176	184	1	1	1	6	6
177	177	185	1	1	1	6	6
178	178	186	1	2	1	12	12
179	179	187	1	7	1	12	12
180	180	188	1	7	1	12	12
181	181	189	1	6	1	16	16
182	182	190	1	7	1	12	12
183	183	191	1	2	1	12	12
184	184	192	1	1	1	6	6
185	185	193	1	1	1	6	6
186	186	194	1	2	1	12	12
187	187	195	1	7	1	12	12
188	188	196	1	7	1	12	12
189	189	197	1	6	1	16	16
190	190	198	1	7	1	12	12
191	191	199	1	2	1	12	12
192	192	200	0	1	1	6	6

*ELEMENTGROUP

02	1	1	0.01236598	PROPIEDADES DE LAS TRABES						
16	1	16								
01	20390000	0.03	.02560	.00324600	4.	4.	2.	0.137600	0.2	1
02	20390000	0.03	.008387	0.0003500	4.	4.	2.	0.004665	0.2	1
03	20390000	0.03	.034600	0.0047000	4.	4.	2.	0.017000	0.2	1
04	20390000	0.03	.030300	0.0040580	4.	4.	2.	0.015100	0.2	1
05	20390000	0.03	.017000	0.0015000	4.	4.	2.	0.009000	0.2	1
06	20390000	0.03	.028500	0.0037600	4.	4.	2.	0.014400	0.2	1
07	20390000	0.03	.024700	.00280000	4.	4.	2.	0.012380	0.2	1
08	20390000	0.03	.022400	0.0024000	4.	4.	2.	0.012000	0.2	1
09	20390000	0.03	.020500	0.0018600	4.	4.	2.	0.010500	0.2	1
10	20390000	0.03	.014400	0.0008700	4.	4.	2.	0.006800	0.2	1
11	20390000	0.03	.016000	0.0012000	4.	4.	2.	0.007900	0.2	1
12	20390000	0.03	.013000	0.0007600	4.	4.	2.	0.006400	0.2	1
13	20390000	0.03	.01440	0.0008700	4.	4.	2.	0.006800	0.2	1



14	20390000	0.03	.01170	0.0006500	4.	4.	2.	0.006600	0.2	1
15	20390000	0.03	.01170	0.0006560	4.	4.	2.	0.006600	0.2	1
16	20390000	0.03	.01050	0.0005600	4.	4.	2.	0.006000	0.2	1
1	00.	00.	00.	00.						
1	1	293.00	-293.00							
2	1	55.00	-55.00							
3	1	414.00	-414.00							
4	1	359.00	-359.00							
5	1	163.00	-163.00							
6	1	335.00	-335.00							
7	1	269.00	-269.00							
8	1	239.00	-239.00							
9	1	199.00	-199.00							
10	1	115.00	-115.00							
11	1	140.00	-140.00							
12	1	102.00	-102.00							
13	1	115.00	-115.00							
14	1	88.00	-88.00							
15	1	88.00	-88.00							
16	1	77.00	-77.00							
001	009	010	0	1	1	1	1			
002	010	011	0	2	1	2	2			
003	011	201	0	4	1	4	4			
004	012	013	0	4	1	4	4			
005	013	014	0	4	1	4	4			
006	014	015	0	2	1	2	2			
007	015	016	0	1	1	1	1			
008	17	18	0	1	1	1	1			
009	18	19	0	2	1	2	2			
010	19	20	0	4	1	4	4			
011	20	21	0	4	1	4	4			
012	21	22	0	4	1	4	4			
013	22	23	0	2	1	2	2			
014	23	24	0	1	1	1	1			
015	25	26	0	1	1	1	1			
016	26	27	0	2	1	2	2			
017	27	202	0	4	1	4	4			
018	28	29	0	4	1	4	4			
019	29	30	0	4	1	4	4			
020	30	31	0	2	1	2	2			
021	31	32	0	1	1	1	1			
022	33	34	0	1	1	1	1			
023	34	35	0	2	1	2	2			
024	35	36	0	4	1	4	4			
025	36	37	0	4	1	4	4			
026	37	38	0	4	1	4	4			
027	38	39	0	2	1	2	2			
028	39	40	0	1	1	1	1			
029	41	42	0	1	1	1	1			
030	42	43	0	2	1	2	2			
031	43	203	0	4	1	4	4			
032	44	45	0	4	1	4	4			
033	45	46	0	4	1	4	4			
034	46	47	0	2	1	2	2			
035	47	48	0	1	1	1	1			
036	49	50	0	5	1	5	5			
037	50	51	0	2	1	2	2			
038	51	52	0	6	1	6	6			
039	52	53	0	6	1	6	6			
040	53	54	0	6	1	6	6			
041	54	55	0	2	1	2	2			
042	55	56	0	5	1	5	5			
043	57	58	0	5	1	5	5			
044	58	59	0	2	1	2	2			
045	59	204	0	6	1	6	6			
046	60	61	0	6	1	6	6			
047	61	62	0	6	1	6	6			
048	62	63	0	2	1	2	2			
049	63	64	0	5	1	5	5			
050	65	66	0	5	1	5	5			



051	66	67	0	2	1	2	2
052	67	68	0	6	1	6	6
053	68	69	0	6	1	6	6
054	69	70	0	6	1	6	6
055	70	71	0	2	1	2	2
056	71	72	0	5	1	5	5
057	73	74	0	5	1	5	5
058	74	75	0	2	1	2	2
059	75	205	0	6	1	6	6
060	76	77	0	6	1	6	6
061	77	78	0	6	1	6	6
062	78	79	0	2	1	2	2
063	79	80	0	5	1	5	5
064	81	82	0	5	1	5	5
065	82	83	0	2	1	2	2
066	83	84	0	7	1	7	7
067	84	85	0	7	1	7	7
068	85	86	0	7	1	7	7
069	86	87	0	2	1	2	2
070	87	88	0	5	1	5	5
071	89	90	0	5	1	5	5
072	90	91	0	2	1	2	2
073	91	206	0	7	1	7	7
074	92	93	0	7	1	7	7
075	93	94	0	7	1	7	7
076	94	95	0	2	1	2	2
077	95	96	0	5	1	5	5
078	097	098	0	5	1	5	5
079	098	099	0	2	1	2	2
080	099	100	0	8	1	8	8
081	100	101	0	8	1	8	8
082	101	102	0	8	1	8	8
083	102	103	0	2	1	2	2
084	103	104	0	5	1	5	5
085	105	106	0	5	1	5	5
086	106	107	0	2	1	2	2
087	107	207	0	8	1	8	8
088	108	109	0	8	1	8	8
089	109	110	0	8	1	8	8
090	110	111	0	2	1	2	2
091	111	112	0	5	1	5	5
092	113	114	0	5	1	5	5
093	114	115	0	2	1	2	2
094	115	116	0	9	1	9	9
095	116	117	0	9	1	9	9
096	117	118	0	9	1	9	9
097	118	119	0	2	1	2	2
098	119	120	0	5	1	5	5
099	121	122	0	5	1	5	5
100	122	123	0	2	1	2	2
101	123	208	0	9	1	9	9
102	124	125	0	9	1	9	9
103	125	126	0	9	1	9	9
104	126	127	0	2	1	2	2
105	127	128	0	5	1	5	5
106	129	130	0	5	1	5	5
107	130	131	0	2	1	2	2
108	131	132	0	9	1	9	9
109	132	133	0	9	1	9	9
110	133	134	0	9	1	9	9
111	134	135	0	2	1	2	2
112	135	136	0	5	1	5	5
113	137	138	0	10	1	10	10
114	138	139	0	2	1	2	2
115	139	209	0	11	1	11	11
116	140	141	0	11	1	11	11
117	141	142	0	11	1	11	11
118	142	143	0	2	1	2	2
119	143	144	0	10	1	10	10
120	145	146	0	10	1	10	10



121	146	147	0	2	1	2	2
122	147	148	0	11	1	11	11
123	148	149	0	11	1	11	11
124	149	150	0	11	1	11	11
125	150	151	0	2	1	2	2
126	151	152	0	10	1	10	10
127	153	154	0	12	1	12	12
128	154	155	0	2	1	2	2
129	155	210	0	13	1	13	13
130	156	157	0	13	1	13	13
131	157	158	0	13	1	13	13
132	158	159	0	2	1	2	2
133	159	160	0	12	1	12	12
134	161	162	0	12	1	12	12
135	162	163	0	2	1	2	2
136	163	164	0	13	1	13	13
137	164	165	0	13	1	13	13
138	165	166	0	13	1	13	13
139	166	167	0	2	1	2	2
140	167	168	0	12	1	12	12
141	169	170	0	14	1	14	14
142	170	171	0	2	1	2	2
143	171	211	0	14	1	14	14
144	172	173	0	14	1	14	14
145	173	174	0	14	1	14	14
146	174	175	0	2	1	2	2
147	175	176	0	15	1	15	15
148	177	178	0	14	1	14	14
149	178	179	0	2	1	2	2
150	179	180	0	14	1	14	14
151	180	181	0	14	1	14	14
152	181	182	0	14	1	14	14
153	182	183	0	2	1	2	2
154	183	184	0	15	1	15	15
155	185	186	0	14	1	14	14
156	186	187	0	2	1	2	2
157	187	212	0	16	1	16	16
158	188	189	0	16	1	16	16
159	189	190	0	16	1	16	16
160	190	191	0	2	1	2	2
161	191	192	0	15	1	15	15
162	193	194	0	14	1	14	14
163	194	195	0	2	1	2	2
164	195	196	0	16	1	16	16
165	196	197	0	16	1	16	16
166	197	198	0	16	1	16	16
167	198	199	0	2	1	2	2
168	199	200	0	15	1	15	15
169	201	012	0	4	1	4	4
170	202	028	0	4	1	4	4
171	203	044	0	4	1	4	4
172	204	060	0	6	1	6	6
173	205	076	0	6	1	6	6
174	206	092	0	7	1	7	7
175	207	108	0	8	1	8	8
176	208	124	0	9	1	9	9
177	209	140	0	11	1	11	11
178	210	156	0	13	1	13	13
179	211	172	0	14	1	14	14
180	212	188	0	16	1	16	16

*RESULTS

NSD 001 1 193 8

*ELEMLOAD

CMVI

1.1 C. MUERTA + C. VIVA INST.

G 03 15

01	0	1.0	0.0	10.9000	8.200	0.0	10.9000	-8.200
02	0	1.0	0.0	21.8000	32.700	0.0	21.8000	-32.700
03	0	1.0	0.0	7.2000	3.500	0.0	7.2000	-3.500
04	0	1.0	0.0	14.7000	14.800	0.0	14.7000	-14.800
05	0	1.0	0.0	10.5000	7.800	0.0	10.5000	-7.800



06	0	1.0	0.0	20.9000	31.400	0.0	20.9000	-31.400
07	0	1.0	0.0	6.9000	3.400	0.0	6.9000	- 3.400
08	0	1.0	0.0	14.1000	14.200	0.0	14.1000	-14.200
09	0	1.0	0.0	15.0000	11.300	0.0	15.0000	-11.300
10	0	1.0	0.0	30.0000	45.000	0.0	30.0000	-45.000
11	0	1.0	0.0	9.8000	4.800	0.0	9.8000	- 4.800
12	0	1.0	0.0	20.2000	20.300	0.0	20.2000	-20.300
13	0	1.0	0.0	21.8000	0.000	0.0	21.8000	0.000
14	0	1.0	0.0	20.9000	0.000	0.0	20.900	0.000
15	0	1.0	0.0	30.0000	0.000	0.0	30.0000	0.000
1	15	7	9	1.0				
22	155	7	5	1.0				
162		1		1.0				
2	16	7	15	1.0				
23	156	7	14	1.0				
163		13		1.0				
3	17	14	9	1.0				
31	157	14	5	1.0				
10		10		1.0				
24	150	14	6	1.0				
164		2		1.0				
169	170	1	9	1.0				
171	180	1	5	1.0				
4	18	7	11	1.0				
25	158	7	7	1.0				
165		3		1.0				
5	19	7	12	1.0				
26	159	7	8	1.0				
166		4		1.0				
6	20	7	15	1.0				
27	160	7	14	1.0				
167		13		1.0				
7	21	7	9	1.0				
28	161	7	5	1.0				
168		5	1.0					

*NODALOAD

FE1			CARGAS EN LOS NODOS GENERADA POR CRUJÍAS			
S	0.0	-15.05	0.0	9	25	8
S	0.0	-68.08	0.0	10	26	8
S	0.0	-68.08	0.0	11	27	8
S	0.0	-68.08	0.0	12	28	8
S	0.0	-68.08	0.0	13	29	8
S	0.0	-68.08	0.0	14	30	8
S	0.0	-68.08	0.0	15	31	8
S	0.0	-15.05	0.0	16	32	8
S	0.0	-10.50	0.0	33	185	8
S	0.0	-48.20	0.0	34	186	8
S	0.0	-48.20	0.0	35	187	8
S	0.0	-48.20	0.0	36	188	8
S	0.0	-48.20	0.0	37	189	8
S	0.0	-48.20	0.0	38	190	8
S	0.0	-48.20	0.0	39	191	8
S	0.0	-10.50	0.0	40	192	8
S	0.0	- 8.80	0.0	193	200	7
S	0.0	-35.00	0.0	194	199	1

*NODALOAD

CONT			DESPLAZAMIENTO NORMALIZADOS C/R AZOTEA 1ER MODO			
S	0.08811	0.0	0.0	196		
S	0.08376	0.0	0.0	188		
S	0.07932	0.0	0.0	180		
S	0.07580	0.0	0.0	172		
S	0.07203	0.0	0.0	164		
S	0.06805	0.0	0.0	156		
S	0.06386	0.0	0.0	148		
S	0.05952	0.0	0.0	140		
S	0.05509	0.0	0.0	132		
S	0.05069	0.0	0.0	124		
S	0.04644	0.0	0.0	116		
S	0.04225	0.0	0.0	108		



```
S 0.03817 0.0 0.0 100
S 0.03427 0.0 0.0 92
S 0.03028 0.0 0.0 84
S 0.02637 0.0 0.0 76
S 0.02256 0.0 0.0 68
S 0.01882 0.0 0.0 60
S 0.01519 0.0 0.0 52
S 0.01185 0.0 0.0 44
S 0.00903 0.0 0.0 36
S 0.00543 0.0 0.0 28
S 0.00256 0.0 0.0 20
S 0.00055 0.0 0.0 12
S 0.0 0.0 0.0 04
*SPECTRUM
ESPE SP1 *ANALISIS ESPECTRAL ACELR 1.2
61 1 0 1 1 1.0 1.0
*PARAMETERS
F 0.01 0.01
OS 0 0 1 0 250
*MODE FORMAS MODALES Y CALCULO DE PERIODO
4 2 0 1
*GRAV ANALISIS GRAVITACIONAL
E CMVI 1.0
N FE1 1.0
*SPEC
0 2 ESPE 1.
*STOP
```

Fin del código