CAPÍTULO 8

APLICACIÓN A UN CASO PRÁCTICO

En este capítulo se trata el caso práctico de estudio. Se hace el análisis de un edificio cuyos parámetros de geometría y rigidez no están controlados. El objetivo de este apartado es, después de haber ensayado en dos casos teóricos, llevar a cabo un estudio de la influencia de los dispositivos disipadores de energía en un edificio real. Cabe aclarar que este edificio se encuentra en proceso de construcción, sin embargo, y gracias a que el autor de este trabajo tuvo acceso al proyecto preliminar, le fue posible estudiar la influencia de los disipadores en este edificio en particular.

8.1 Descripción del edificio

De acuerdo con el proyecto, este edificio constará de treinta y tres niveles, con alturas de entrepiso variables: desde 2.1, hasta 4.6 m, dependiendo del uso que tiene cada piso. La estructura se armará mediante marcos, cuyas columnas exteriores son de concreto, las de la fachada tienen una sección circular, mientras que las de la parte de atrás son de sección rectangular. Las columnas interiores estarán formadas por perfiles de acero de secciones IPR. El sistema de piso está constituido por un sistema losa-acero, apoyado sobre vigas de acero, también del tipo IPR.

Para darle rigidez lateral a la estructura, en el cubo de los elevadores, se armará un cajón con muros de concreto con tres líneas, en la dirección corta y dos en la dirección larga. Las líneas de muro de la dirección longitudinal, dirección mayor, serán mayores y, además, tienen un muro más hacia delante y uno más hacia atrás. Esta forma de estructurar un edificio es similar a la que se obtiene cuando se construye un núcleo central rígido y las columnas exteriores formando otro sistema rigidizante separado del núcleo. Este sistema es conocido como *tubo en tubo*, y es el que se utiliza en la construcción de edificios altos, ya que se ha visto su funcionalidad en estructuras existentes, como por ejemplo, la Torre SEARS, las Torres Petronas, las Torres Gemelas de Nueva York, entre otras.

Para este trabajo se considera que el sistema de piso tiene la rigidez suficiente como para utilizar la hipótesis del diafragma rígido.

Una vista de la planta típica se aprecia en la figura 8.1, en ella que se advierte el cajón formado por los muros de concreto en el cubo del elevador y la prolongación de los muros en el sentido longitudinal, así como la sección trasversal de las columnas exteriores. Es posible, en la figura antes mencionada, notar que la planta la distribución que tienen las columnas en la planta del edificio. Vale la pena mencionar que la configuración que se aprecia en la figura 8.1 es la configuración del proyecto original y no la que se utiliza para analizar la influencia de los disipadores en este edificio.

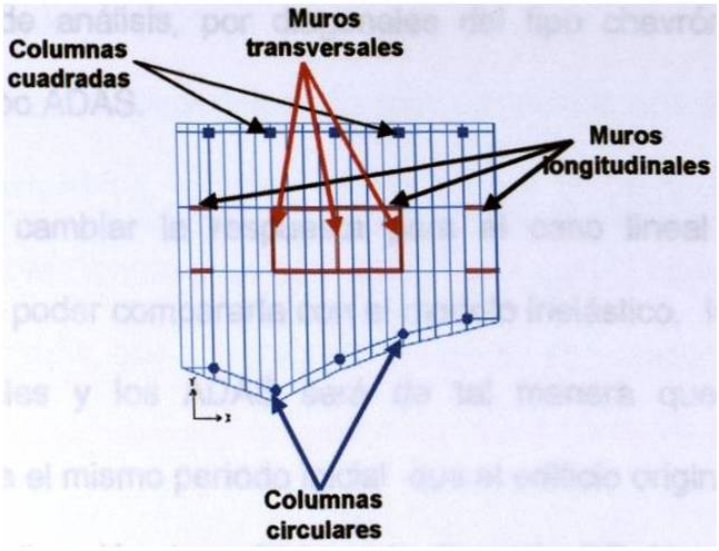

Fig. 8.1. Planta típica del edificio.

Una vista del edificio tridimensional del edificio se muestra en la figura 8.2.

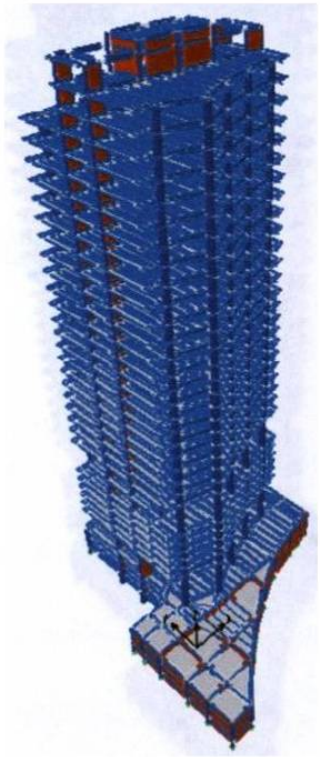

Fig. 8.2. Torre Ángel (modelo original, con muros de concreto)

Para estudiar la influencia de los disipadores del tipo ADAS en esta estructura, se propone cambiar los muros de concreto que se encuentran en la dirección

corta, dirección de análisis, por diagonales del tipo chevrón, provistas con disipadores del tipo ADAS.

En afán de no cambiar la respuesta para el caso lineal del marco con disipadores y así poder compararla con el modelo inelástico, la rigidez provista por las diagonales y los ADAS será de tal manera que el edificio con disipadores tenga el mismo periodo inicial que el edificio original (T = 3.4187 s); en este caso, la dirección de análisis es la dirección "Y". Una vista del modelo propuesto para analizar la influencia de los ADAS se aprecia en la figura 8.3.

Fig. 8.3. Torre Ángel (modelo con ADAS).

En este edificio se estudia únicamente la proporción de rigidez lateral que se obtiene una vez que los muros transversales se han cambiado por los

diagonales y disipadores. Esta proporción, de acuerdo con los cálculos hechos a partir de los periodos obtenidos tanto para el modelo con disipadores como para el modelo esqueletal, es decir, el modelo sin muros ni diagonales, es tal que los marcos solos toman el 22 por ciento de la rigidez lateral del edificio, en la dirección de análisis, que en este caso, como ya se mencionó, es la dirección "Y".

Un detalle que muestra la localización de las diagonales con disipadores se muestra en la figura 8.4.

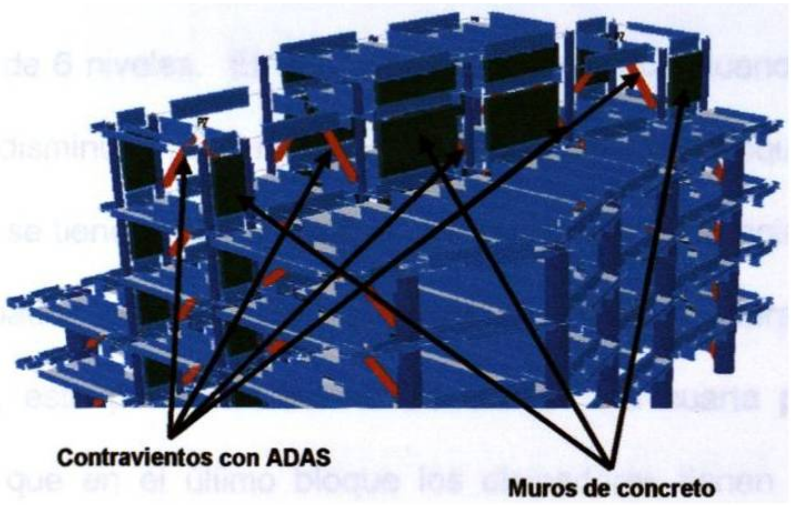

Fig. 8.4. Localización de contravientos con ADAS.

La carga, que está asociada a las masas en cada nivel, en este caso varía dependiendo del uso que tendrá cada entrepiso, así, la carga muerta adicional tiene valores que van desde 375 hasta 1055 Kg/m^2, mientras que la carga viva que se considera tiene valores desde 70 hasta 720 Kg/m^2. Cabe recordar que la carga viva que se considera para análisis bajo cargas accidentales, como lo es el sismo o el viento, es menor que la carga que se considera para análisis de

cargas de gravedad, esto de acuerdo con las recomendaciones que hacen los códigos de diseño sísmico.

Al igual que en el edificio de veinte niveles, debido a que el cortante de entrepiso varía con la altura, se consideran cuatro diferentes pendientes post-fluencia, dependiendo del nivel en el que se encuentren, así, los disipadores del primer nivel tendrán una pendiente post-fluencia mayor que las de los niveles superiores.

Se dividió al edificio en cuatro bloques: tres bloques de nueve niveles y un último bloque de 6 niveles. El valor de la pendiente post-fluencia, como ya se mencionó, va disminuyendo en una cuarta parte para cada bloque. Así, para el primer bloque se tienen valores igual al cien por ciento de la rigidez que le toca a cada disipador, en función del cortante basal y para los bloques subsecuentes, esta pendiente se va reduciendo una cuarta parte por cada bloque hasta que en el último bloque los disipadores tienen una fuerza de fluencia igual a la cuarta parte de la fuerza requerida en los disipadores del primer bloque, los cuales tienen una fuerza de fluencia igual al cortante del primer nivel dividido entre el número de disipadores de ese nivel.

Una vista de los niveles del edificio y las diferentes pendientes post-fluencia se muestra en la figura 8.5.

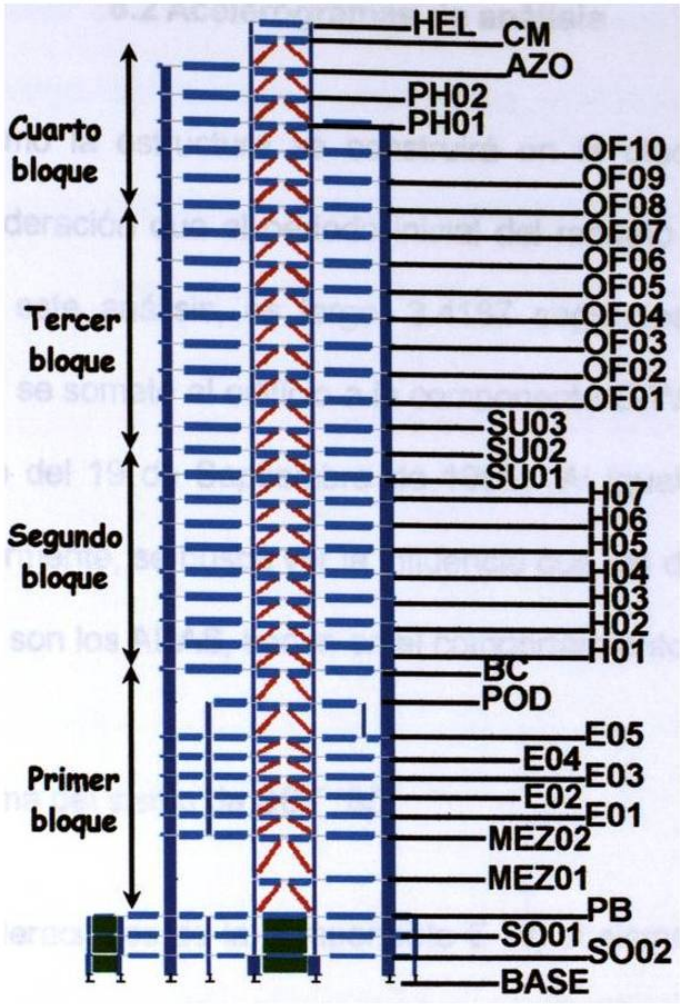

Fig. 8.5. Elevación del marco central la Torre Ángel.

Para calcular el valor de la pendiente posterior a la fluencia de los dispositivos de los primeros niveles, la que se considera como el 100 por ciento, se divide el cortante basal entre el número de disipadores que se tienen en el primer nivel. Ese valor se le asigna al primer bloque; mientras que a los niveles superiores, como ya se dijo, se les asigna un porcentaje de la rigidez de los del primer nivel, dependiendo de la altura a la que se encuentren.

Es necesario tener presente que la rigidez inicial de todos los disipadores es la misma para el rango elástico, lo único que se varía es la fuerza con la cual alcanzan la fluencia los disipadores, de cada bloque.

8.2 Acelerogramas de análisis

En este caso, como la estructura se construirá en la ciudad de México, y tomando en consideración que el periodo inicial del modelo matemático de la torre utilizado en este análisis, es largo, 3.4187 segundos en dirección de análisis estudiada, se somete al edificio a la componente E-W del acelerograma de SCT del sismo del 19 de Septiembre de 1985. Al igual que el los casos estudiados anteriormente, se busca ver la influencia que los disipadores del tipo histeréticos, como son los ADAS, tienen en el comportamiento del edificio.

8.2.1 Acelerograma del sismo de SCT `85

El registro de aceleraciones de la componente E-W, el sismo de SCT utilizado en el análisis tiene una duración de aproximadamente 180 segundos, con una aceleración máxima registrada de 0.16 g. El acelerograma presenta una marcada fase intensa de alrededor de 40 segundos, en donde se presentan los valores máximos de aceleración. El acelerograma de este sismo se puede ver en la figura 8.6.

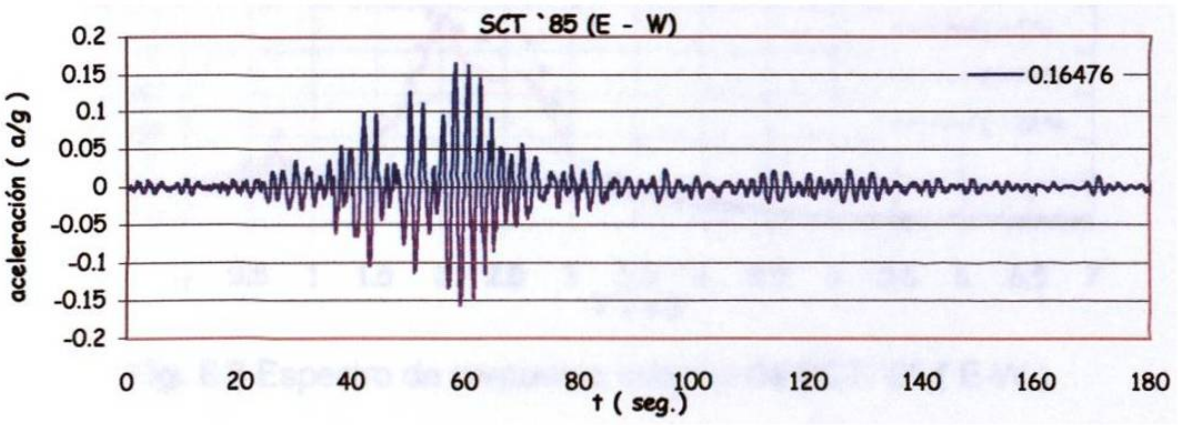

Fig. 8.6 Acelerograma del sismo de SCT `85 (E-W).

El espectro de Fourier de este sismo muestra que su contenido de frecuencias es amplio, sin embargo, las máximas aceleraciones se encuentran alrededor de los 0.5 Hz. (figura 8.7)

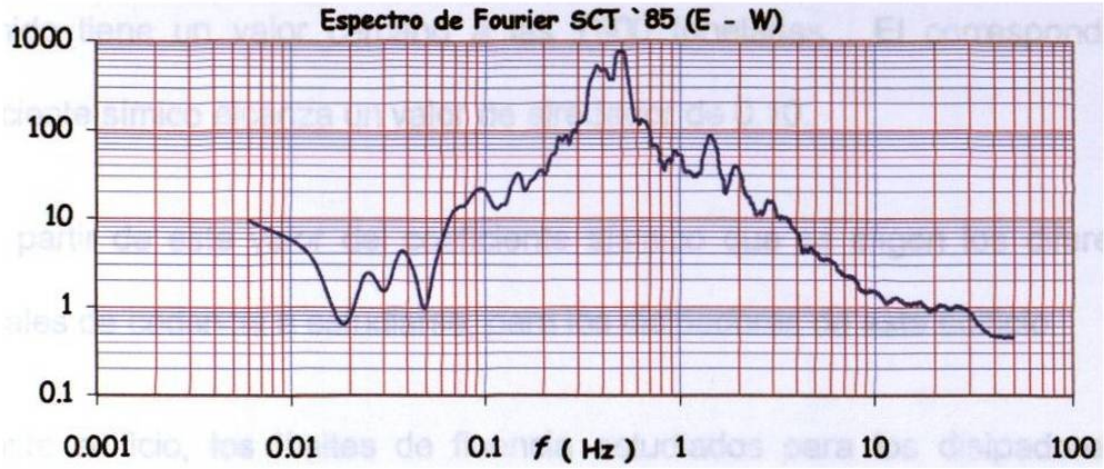

Fig. 8.7 Espectro de Fourier de SCT `85 (E-W).

El espectro de respuesta elástico de este sismo pone en evidencia que existe un pico perfectamente localizado, cercano a los dos segundos.

En la figura 8.8 se aprecia el espectro de respuesta para diferentes porcentajes de amortiguamiento.

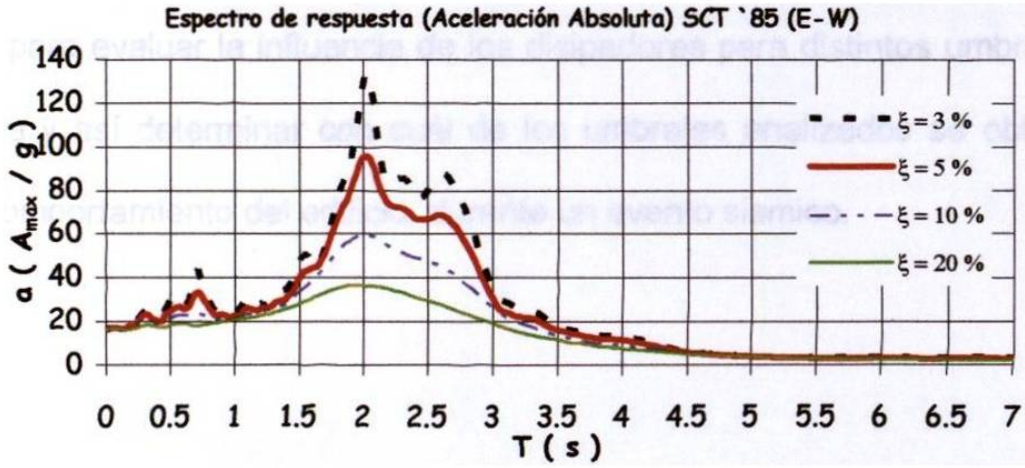

Fig. 8.8 Espectro de respuesta elástico de SCT `85 (E-W).

8.3 Coeficiente sísmico (C_s)

En la figura 8.9 a y b se muestran las historias del análisis lineal de cortante en la base y el coeficiente sísmico. Según se aprecia, el mayor cortante basal obtenido tiene un valor cercano a las 7900 toneladas. El correspondiente coeficiente sísmico alcanza un valor de alrededor de 0.10.

Es a partir de este valor del coeficiente sísmico que se eligen los diferentes umbrales de cedencia a estudiarse, para los disipadores de este edificio.

En este edificio, los límites de fluencia estudiados para los disipadores de energía fueron: $0.2000C_s$, $0.1500C_s$, $0.1000C_s$, $0.0500C_s$ y $0.0250C_s$. Hay que recordar, que se hace un barrido de umbrales de cedencia ya que uno de los objetivos es encontrar el límite de fluencia de los disipadores con el cual el edificio tiene un comportamiento óptimo.

De nuevo, se estudian diferentes valores del límite de fluencia de los disipadores ADAS, los cuales se escriben en función del valor del coeficiente sísmico, para evaluar la influencia de los disipadores para distintos umbrales de cedencia y así determinar con cuál de los umbrales analizados se obtiene el mejor comportamiento del edificio, durante un evento sísmico.

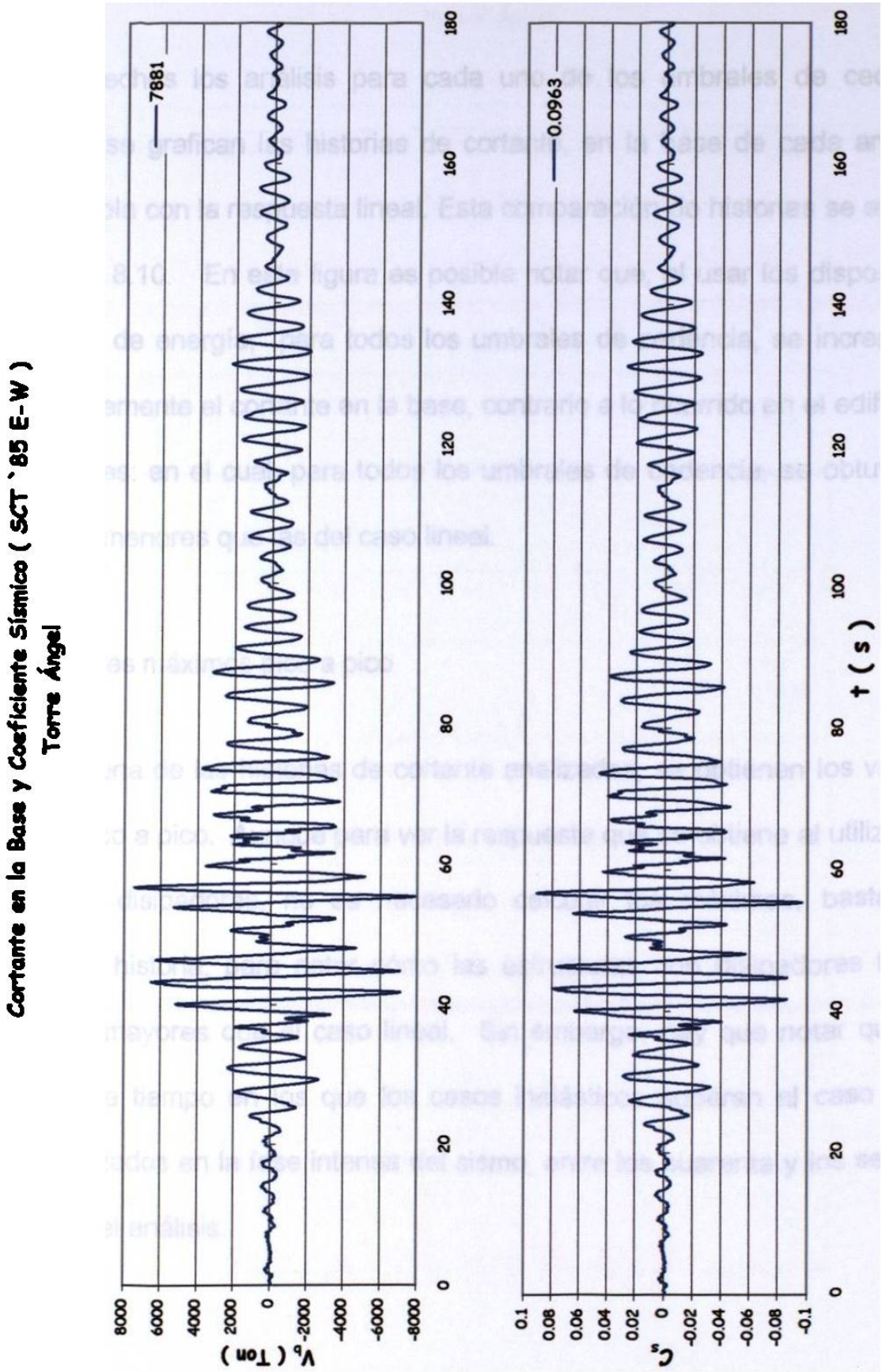

Fig. 8.9. Cortante en la base y Coeficiente sísmico (SCT `85 (E-W)).

8.4 Cortantes en la base

Una vez hechos los análisis para cada uno de los umbrales de cedencia escogidos, se grafican las historias de cortante, en la base de cada análisis, comparándola con la respuesta lineal. Esta comparación de historias se aprecia en la figura 8.10. En esta figura es posible notar que, al usar los dispositivos disipadores de energía, para todos los umbrales de cedencia, se incrementa considerablemente el cortante en la base, contrario a lo ocurrido en el edifico de veinte niveles: en el cual, para todos los umbrales de cedencia, se obtuvieron respuestas menores que las del caso lineal.

8.4.1 Valores máximos pico a pico

Para cada una de las historias de cortante analizadas, se obtienen los valores máximos pico a pico. Aunque para ver la respuesta que se obtiene al utilizar los dispositivos disipadores, no es necesario calcular los máximos, basta con observar la historia, para notar cómo las estructuras con disipadores tienen respuestas mayores que el caso lineal. Sin embargo, hay que notar que los intervalos de tiempo en los que los casos inelásticos superan al caso lineal están localizados en la fase intensa del sismo, entre los cuarenta y los sesenta segundos del análisis.

Cortante en la Base (SCT `85 E-W)
Torre Ángel

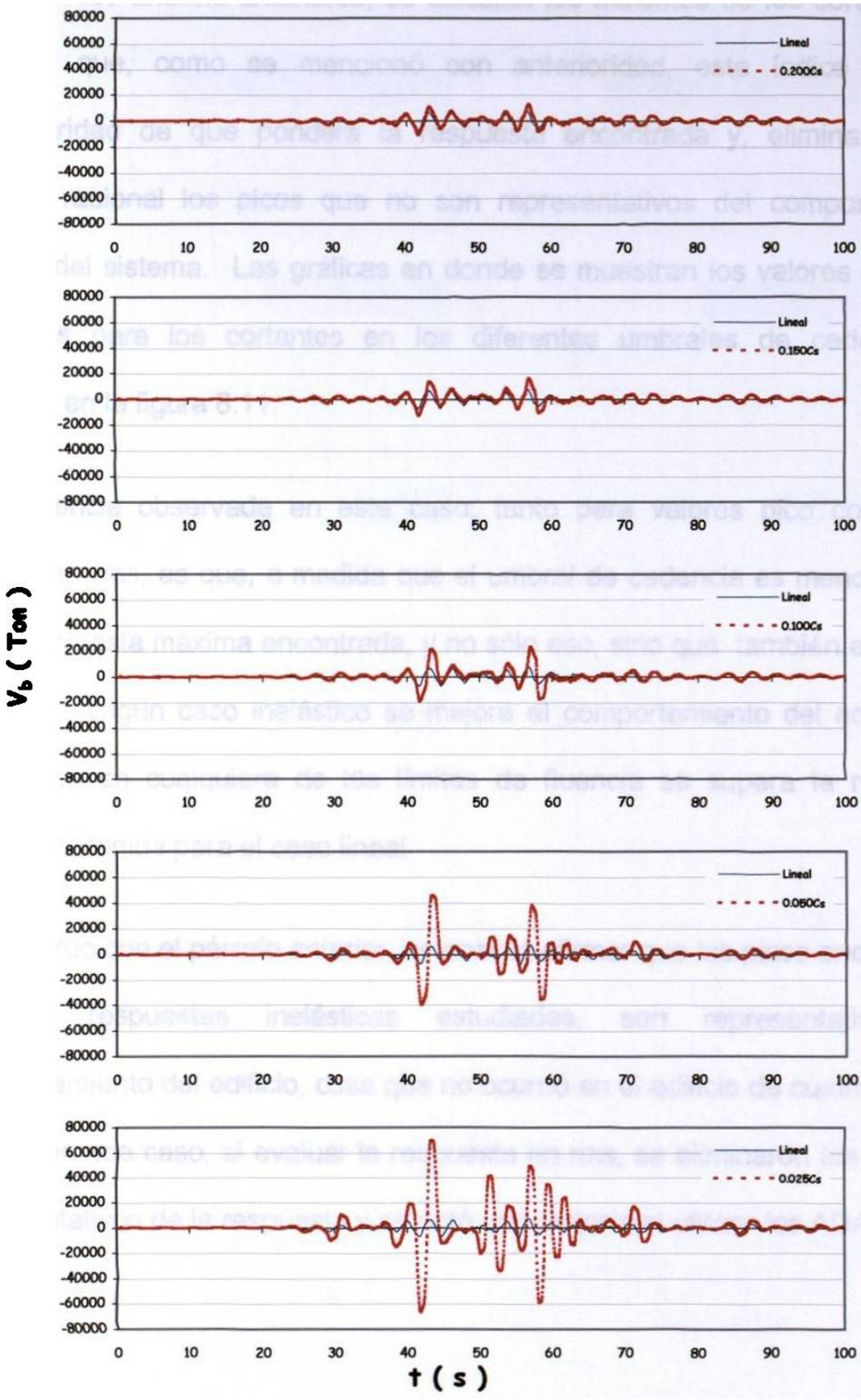

Fig. 8.10 Historia de cortantes en la base (SCT `85 (E-W)).

8.4.2 Valores máximos en rms y punto óptimo del umbral de cedencia

Como en los análisis anteriores, se calculan los máximos de los cortantes en rms; ya que, como se mencionó con anterioridad, este índice tiene la particularidad de que pondera la respuesta encontrada y, elimina de una manera racional los picos que no son representativos del comportamiento general del sistema. Las gráficas en donde se muestran los valores máximos obtenidos para los cortantes en los diferentes umbrales de cedencia se aprecian en la figura 8.11.

La tendencia observada en este caso, tanto para valores pico como para valores en rms, es que, a medida que el umbral de cedencia es menor, mayor es la respuesta máxima encontrada, y no sólo eso, sino que también es notorio que para ningún caso inelástico se mejora el comportamiento del edificio, es decir, que en cualquiera de los límites de fluencia se supera la respuesta máxima obtenida para el caso lineal.

De acuerdo con el párrafo anterior, es posible afirmar que los picos encontrados en las respuestas inelásticas estudiadas, son representativos del comportamiento del edificio, cosa que no ocurrió en el edificio de cuatro niveles, ya que en ese caso, al evaluar la respuesta en rms, se eliminaron los picos no representativos de la respuesta y se notó una mejoría al utilizar los ADAS.

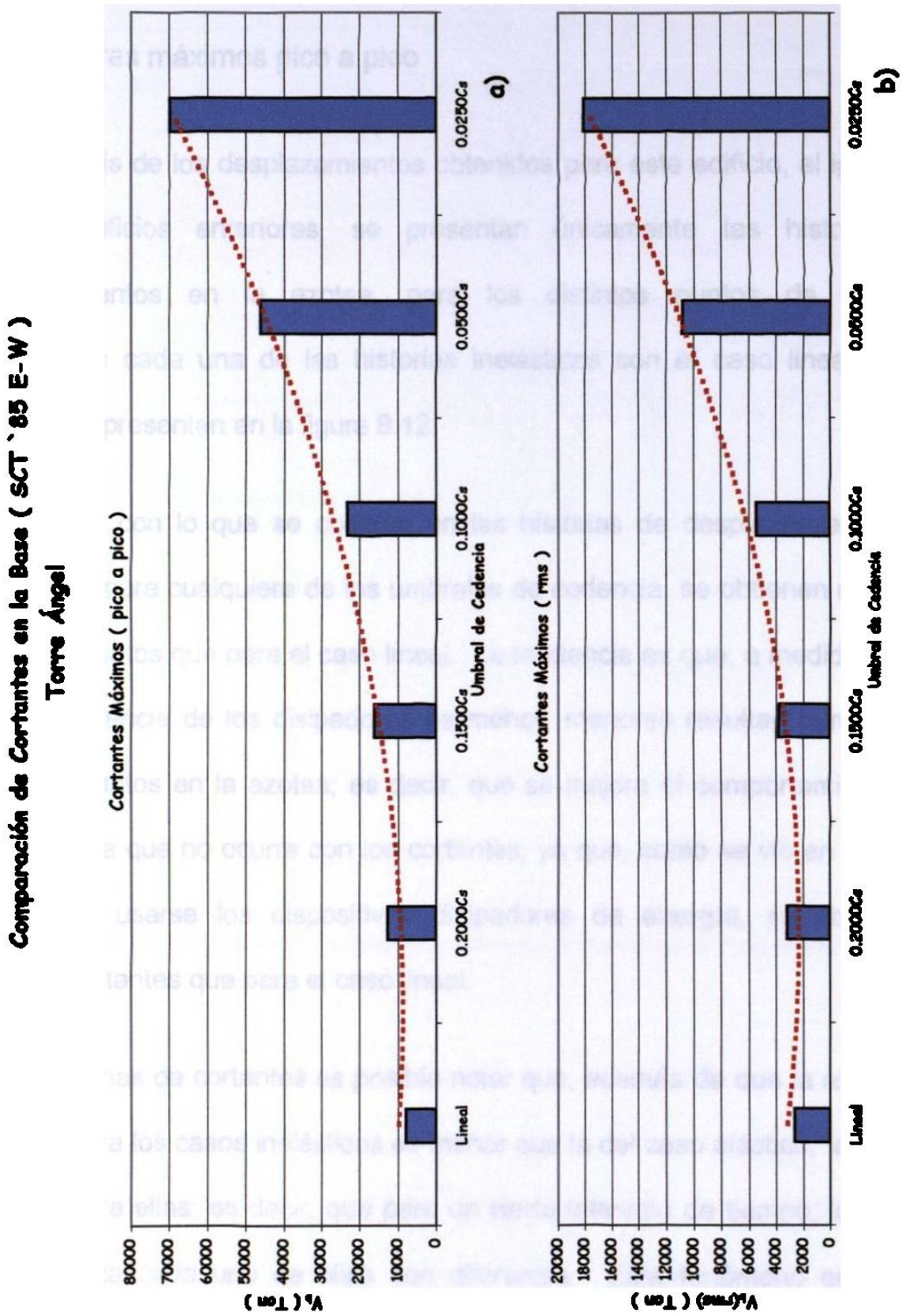

Fig. 8.11 Valores máximos de cortantes (SCT `85 (E-W)).

8.5 Desplazamientos

8.5.1 Valores máximos pico a pico

En el análisis de los desplazamientos obtenidos para este edificio, al igual que en los edificios anteriores, se presentan únicamente las historias de desplazamientos en la azotea, para los distintos puntos de fluencia, comparando cada una de las historias inelásticas con el caso lineal. Estas historias se presentan en la figura 8.12.

De acuerdo con lo que se observa en las historias de desplazamientos, es notorio que para cualquiera de los umbrales de cedencia, se obtienen menores desplazamientos que para el caso lineal. La tendencia es que, a medida que el límite de fluencia de los disipadores es menor, menores resultan también los desplazamientos en la azotea; es decir, que se mejora el comportamiento del edificio, cosa que no ocurre con los cortantes; ya que, como se vio en el punto anterior, al usarse los dispositivos disipadores de energía, se obtuvieron mayores cortantes que para el caso lineal.

En las historias de cortantes es posible notar que, además de que la respuesta obtenida para los casos inelásticos es menor que la del caso elástico, existe un desfase entre ellas; es decir, que para un cierto intervalo de tiempo, los ciclos que presenta cada uno de ellos son diferentes. Este fenómeno encuentra explicación en que, debido a la fluencia de los disipadores, se pierde rigidez en el edificio, lo que se traduce en un cambio en el periodo del edificio.

Historia de Desplazamientos en Azotea (SCT `85 E-W)
Torre Ángel

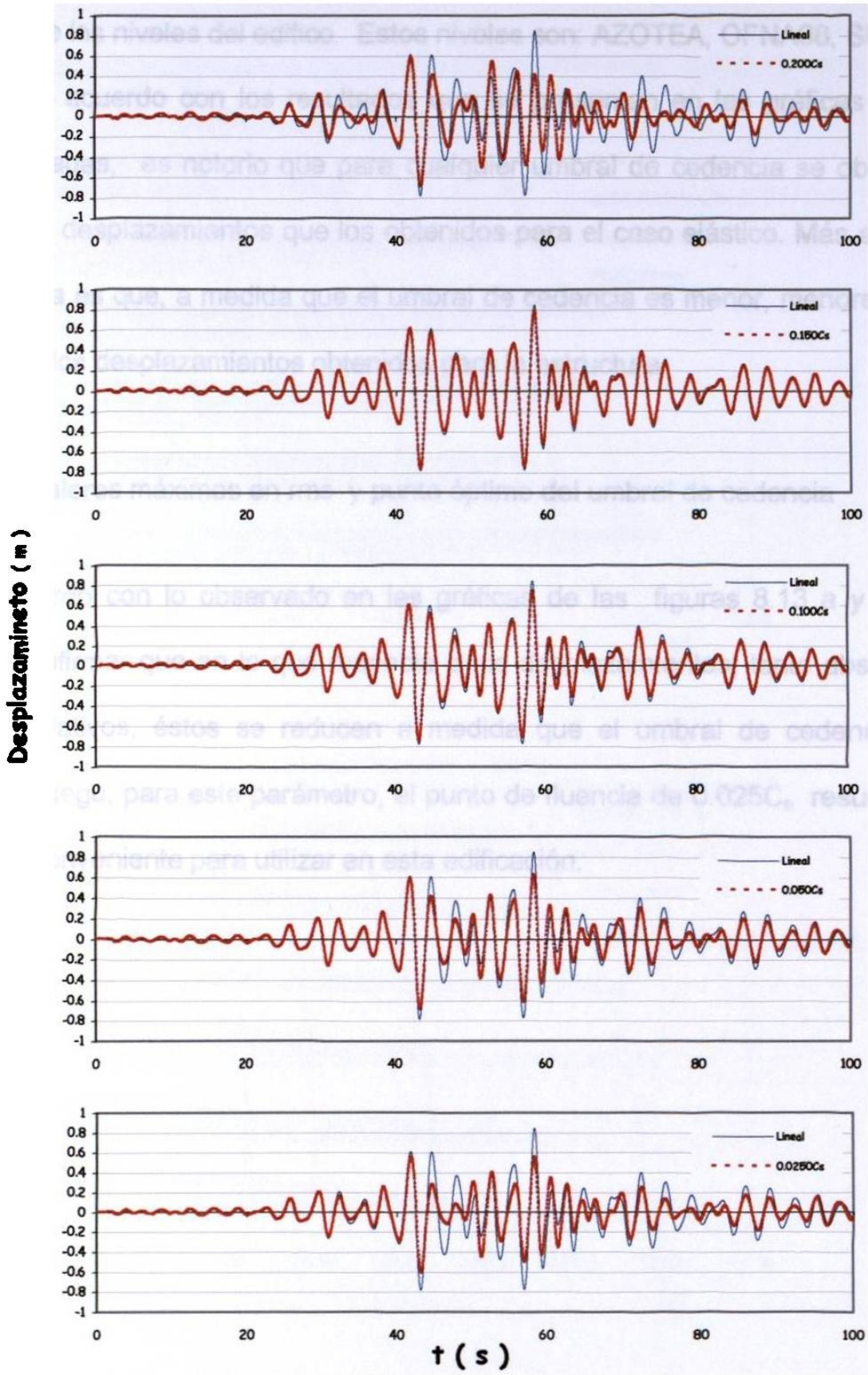

Fig. 8.12 Historia de desplazamientos en azotea (SCT `85).

En las figuras 8.13 a y b se incluyen gráficas que contienen un resumen de los desplazamientos máximos absolutos y relativos, únicamente en rms, para cuatro de los niveles del edifico. Estos niveles son: AZOTEA, OFNA08, SU02, y H01. De acuerdo con los resultados que se presentan en las gráficas antes mencionadas, es notorio que para cualquier umbral de cedencia se obtienen menores desplazamientos que los obtenidos para el caso elástico. Más aún, la tendencia es que, a medida que el umbral de cedencia es menor, menores son también los desplazamientos obtenidos para la estructura.

8.5.2 Valores máximos en rms y punto óptimo del umbral de cedencia

De acuerdo con lo observado en las gráficas de las figuras 8.13 a y b, es posible afirmar que en lo que respecta a los desplazamientos, tanto absolutos como relativos, éstos se reducen a medida que el umbral de cedencia es menor, luego, para este parámetro, el punto de fluencia de $0.025C_s$ resulta ser el más conveniente para utilizar en esta edificación.

Comparación de Desplazamientos (SCT `85 E-W)
Torre Ángel

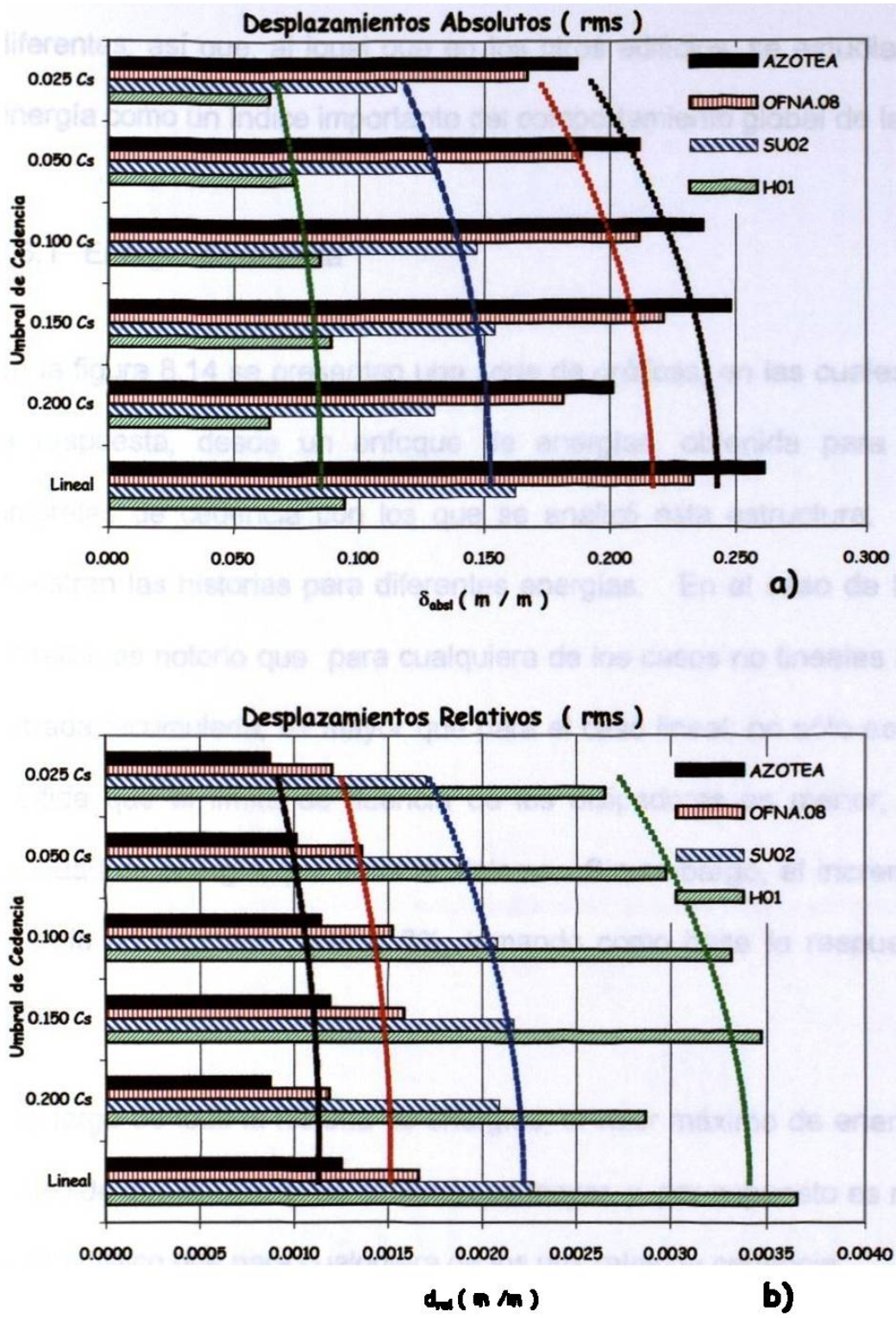

Fig. 8.13 Valores máximos de desplazamientos.

8.6 Energías

Hasta ahora se ha evaluado la respuesta del edificio, atendiendo a los cortantes en la base y los desplazamientos, ambos parámetros han mostrado tendencias diferentes; así que, al igual que en los otros edificios, se estudiará también la energía como un índice importante del comportamiento global de la estructura.

8.6.1 Energía de entrada

En la figura 8.14 se presentan una serie de gráficas, en las cuales se compara la respuesta, desde un enfoque de energías, obtenida para los distintos umbrales de cedencia con los que se analizó esta estructura. Las gráficas muestran las historias para diferentes energías. En el caso de la energía de entrada, es notorio que para cualquiera de los casos no lineales la energía de entrada, acumulada, es mayor que para el caso lineal; no sólo eso, sino que a medida que el límite de fluencia de los disipadores es menor, mayor es la cantidad de energía que entra al sistema. Sin embargo, el incremento en esa energía no es mayor que el 8%, tomando como base la respuesta del caso lineal.

A lo largo de toda la historia de energías, el valor máximo de energía es mayor a medida que el umbral de cedencia es mayor, y, por supuesto es mayor para el caso elástico que para cualquiera de los umbrales de cedencia.

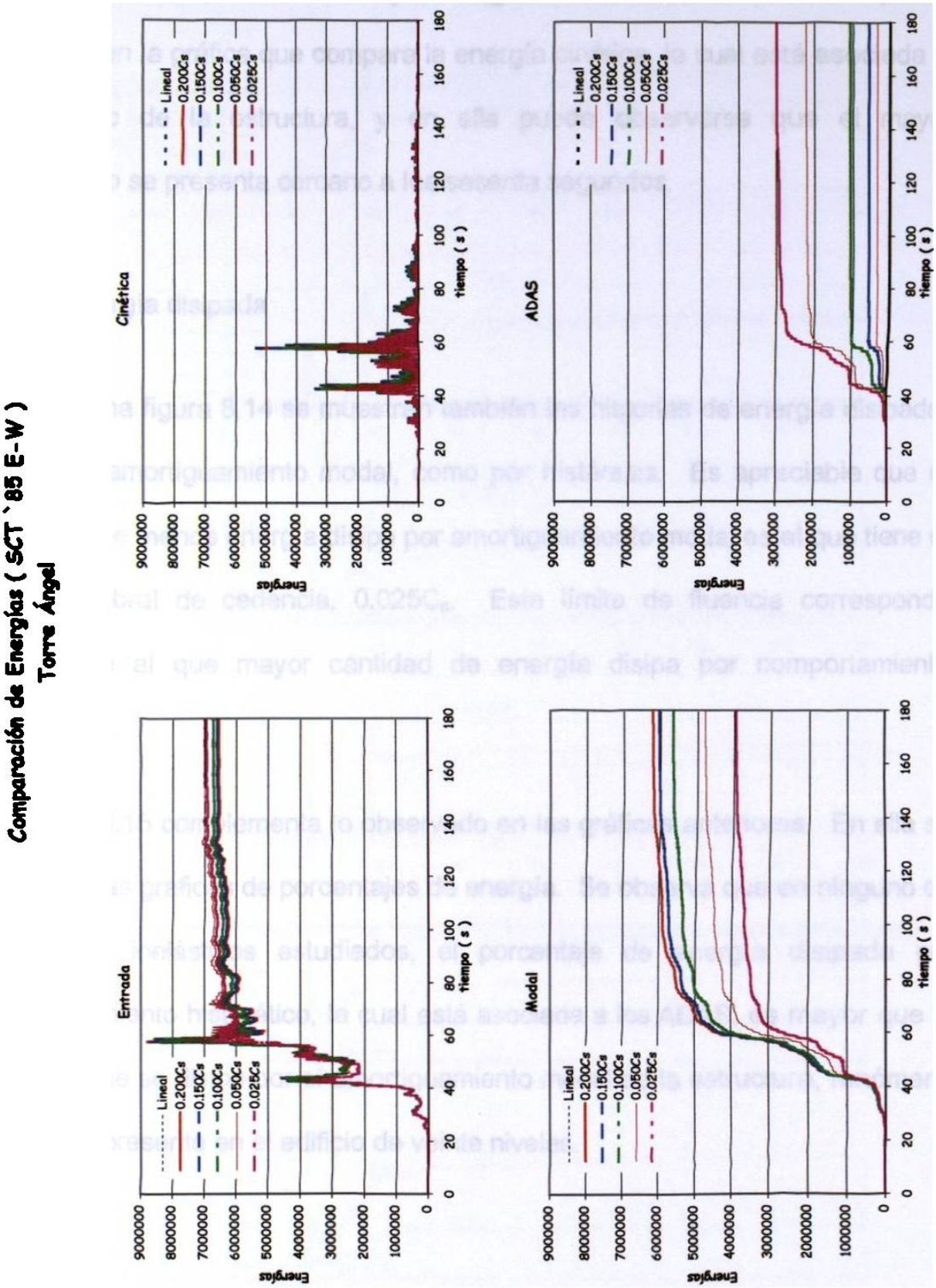

Fig. 8.14 Historias de energías (SCT `85 (E-W)).

Sin embargo, este valor máximo se presenta, como era de esperarse, en la fase intensa del sismo, entre los 40 y 60 segundos de análisis. Esto se puede constatar en la gráfica que compara la energía cinética, la cual está asociada al movimiento de la estructura, y en ella puede observarse que el mayor movimiento se presenta cercano a los sesenta segundos.

8.6.2 Energía disipada

En la misma figura 8.14 se muestran también las historias de energía disipada, tanto por amortiguamiento modal, como por histéresis. Es apreciable que el sistema que menos energía disipa por amortiguamiento modal es el que tiene el menor umbral de cedencia, $0.025C_s$. Este límite de fluencia corresponde justamente al que mayor cantidad de energía disipa por comportamiento histerético.

La figura 8.15 complementa lo observado en las gráficas anteriores. En ella se presenta las gráficas de porcentajes de energía. Se observa que en ninguno de los casos inelásticos estudiados, el porcentaje de energía disipada por comportamiento histerético, la cual está asociada a los ADAS, es mayor que la energía que se disipa por el amortiguamiento modal de la estructura, fenómeno que sí se presentó en el edificio de veinte niveles.

Energías (SCT `85 E-W)
Torre Ángel

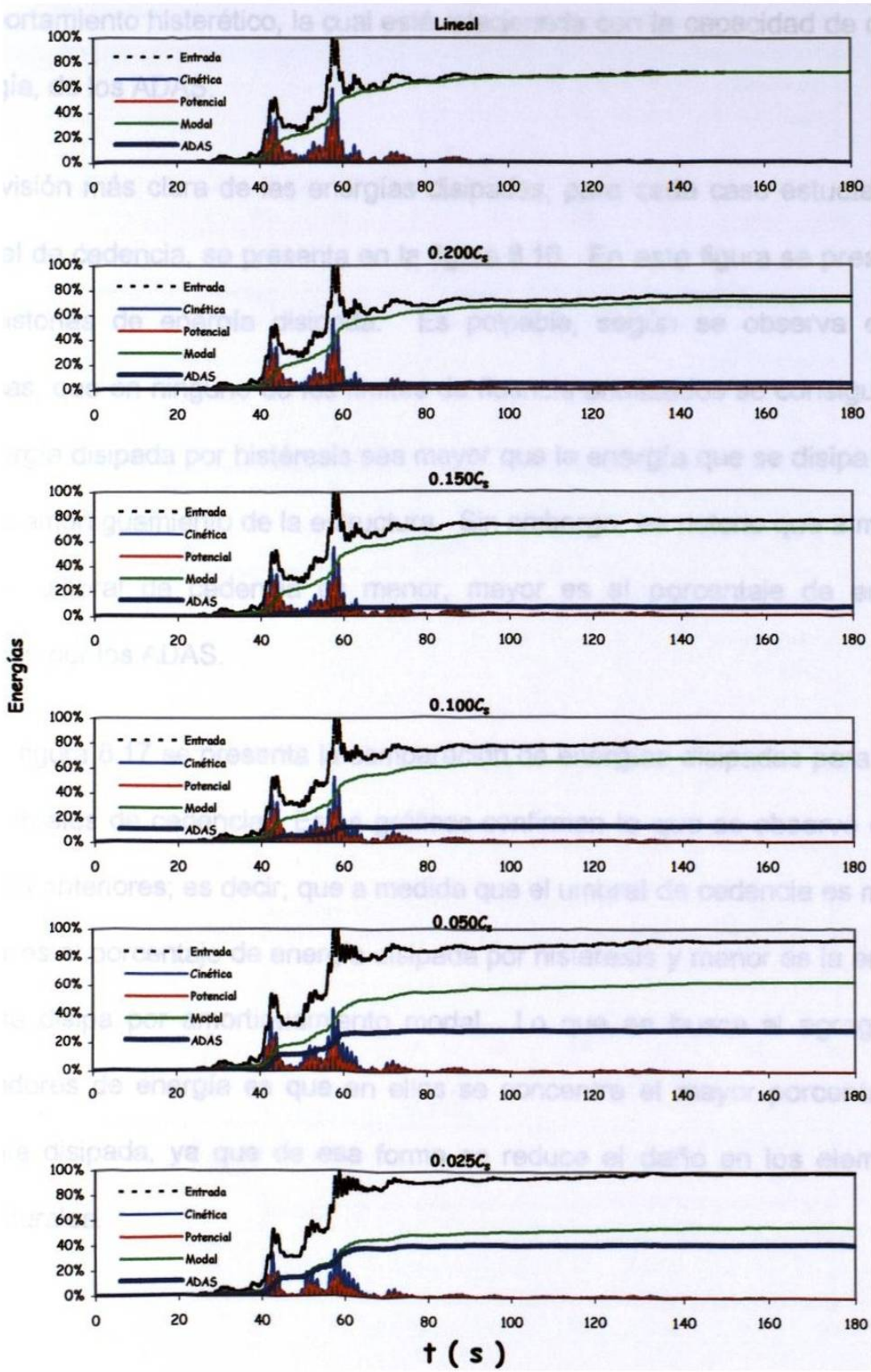

Fig. 8.15 Porcentajes de energías (SCT `85 (E-W)).

Hay que recordar que la energía disipada por amortiguamiento modal es la que está asociada al daño que puede sufrir la estructura, no así la de comportamiento histerético, la cual está relacionada con la capacidad de disipar energía, de los ADAS.

Una visión más clara de las energías disipadas, para cada caso estudiado de umbral de cedencia, se presenta en la figura 8.16. En esta figura se presentan las historias de energía disipada. Es palpable, según se observa en las gráficas, que en ninguno de los límites de fluencia analizados se consigue que la energía disipada por histéresis sea mayor que la energía que se disipa por el propio amortiguamiento de la estructura. Sin embargo, es notorio que a medida que el umbral de cedencia es menor, mayor es el porcentaje de energía disipado por los ADAS.

En la figura 8.17 se presenta la comparación de energías disipadas para todos los umbrales de cedencia. Estas gráficas confirman lo que se observó en las gráficas anteriores; es decir, que a medida que el umbral de cedencia es menor, mayor es el porcentaje de energía disipada por histéresis y menor es la energía que se disipa por amortiguamiento modal. Lo que se busca al agregar los disipadores de energía es que en ellos se concentre el mayor porcentaje de energía disipada, ya que de esa forma se reduce el daño en los elementos estructurales.

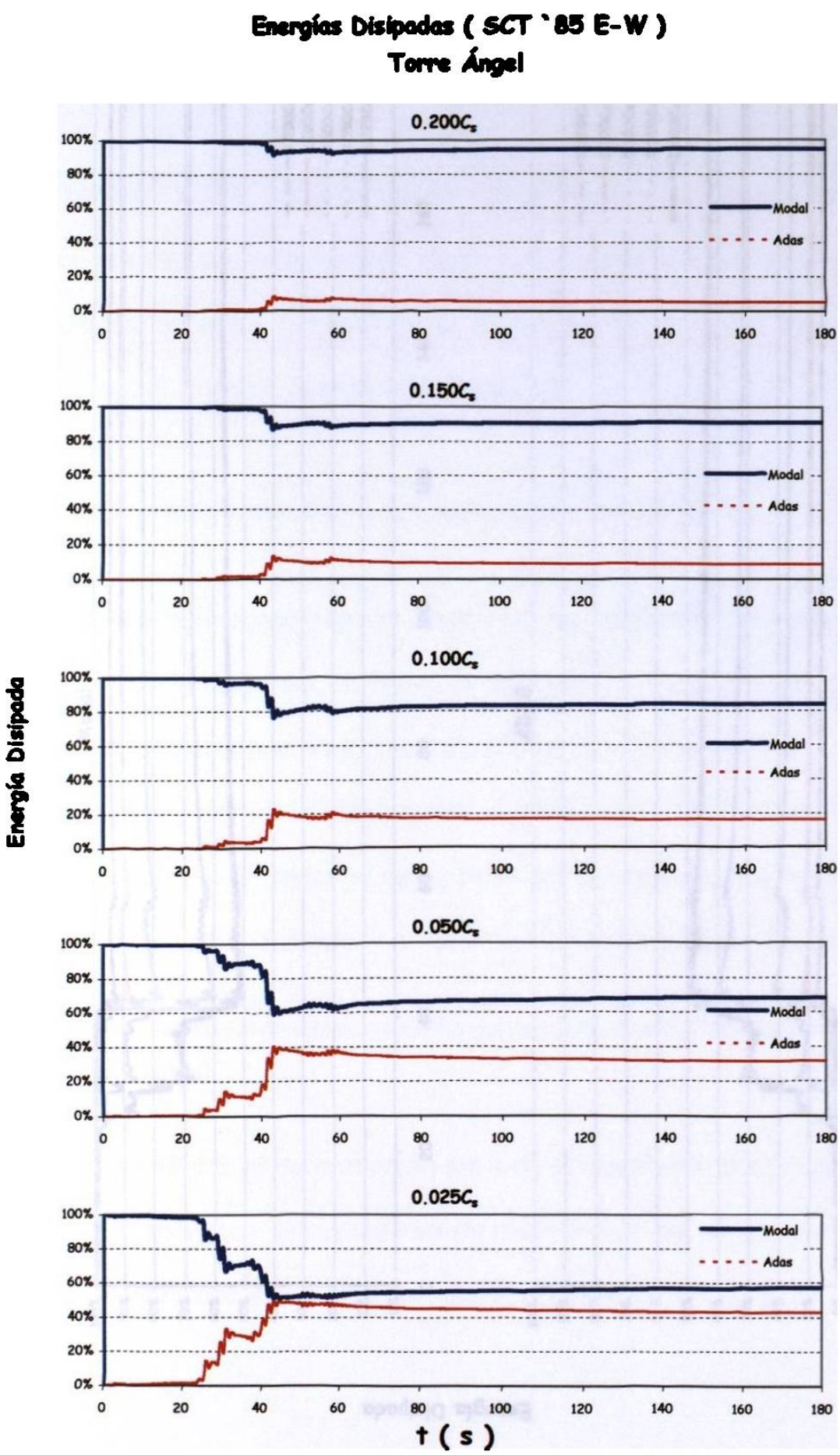

Fig. 8.16 Energías disipadas (SCT `85 (E-W)).

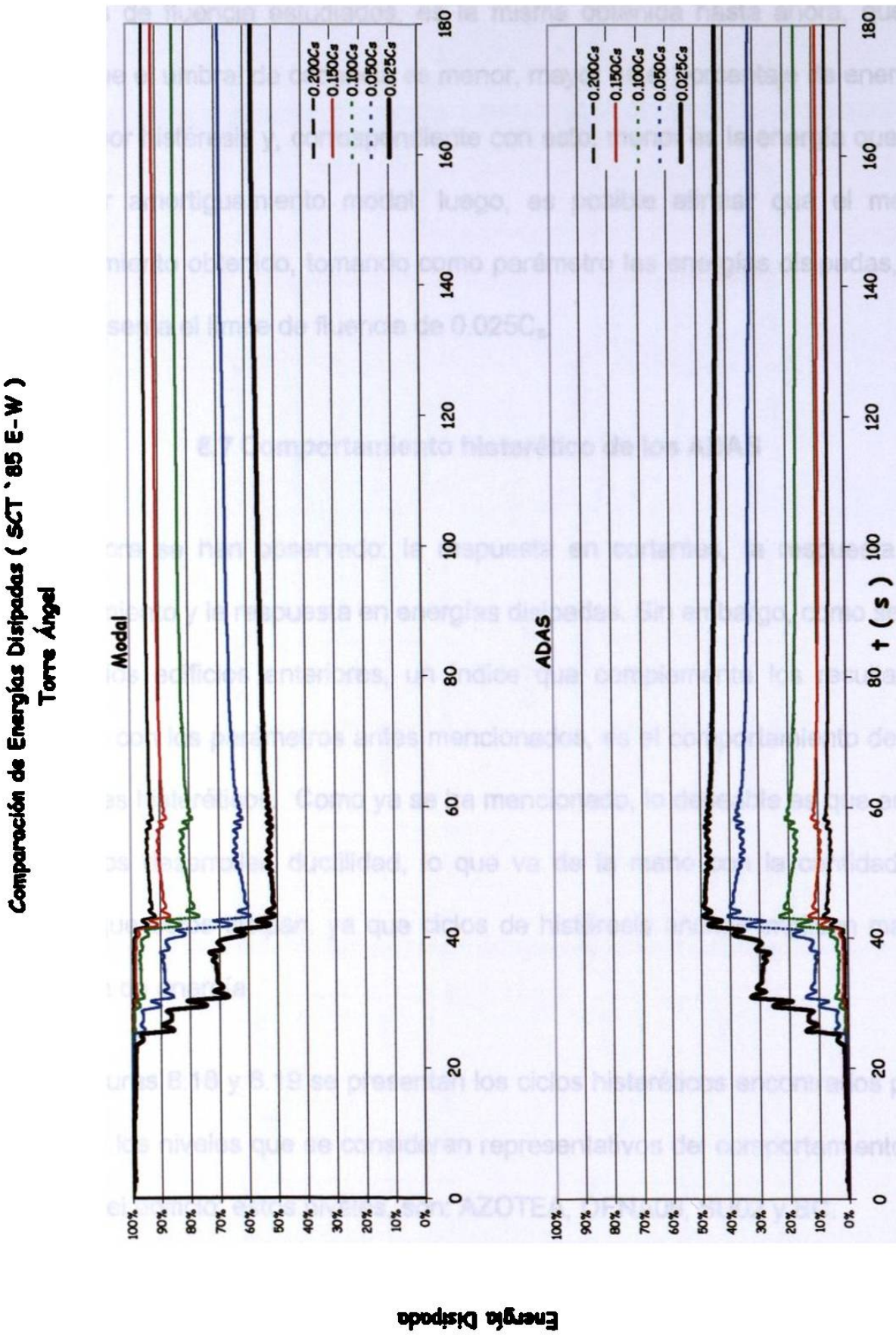

Fig. 8.17 Comparación de energías disipadas (SCT `85 E-W)).

La tendencia observada en esta gráfica, que compara los resultados para todos los límites de fluencia estudiados, es la misma obtenida hasta ahora, que a medida que el umbral de cedencia es menor, mayor es el porcentaje de energía disipado por histéresis y, correspondiente con esto, menor es la energía que se disipa por amortiguamiento modal, luego, es posible afirmar que el mejor comportamiento obtenido, tomando como parámetro las energías disipadas, es el que presenta el límite de fluencia de $0.025C_s$.

8.7 Comportamiento histerético de los ADAS

Hasta ahora se han observado: la respuesta en cortantes, la respuesta en desplazamiento y la respuesta en energías disipadas. Sin embargo, como se ha visto en los edificios anteriores, un índice que complementa los resultados obtenidos con los parámetros antes mencionados, es el comportamiento de los disipadores histeréticos. Como ya se ha mencionado, lo deseable es que estos dispositivos desarrollen ductilidad, lo que va de la mano con la cantidad de energía que éstos disipan, ya que ciclos de histéresis anchos implican mayor disipación de energía.

En las figuras 8.18 y 8.19 se presentan los ciclos histeréticos encontrados para cuatro de los niveles que se consideran representativos del comportamiento de general del edificio; estos niveles, son: AZOTEA, OFNA08, SU02 y BC.

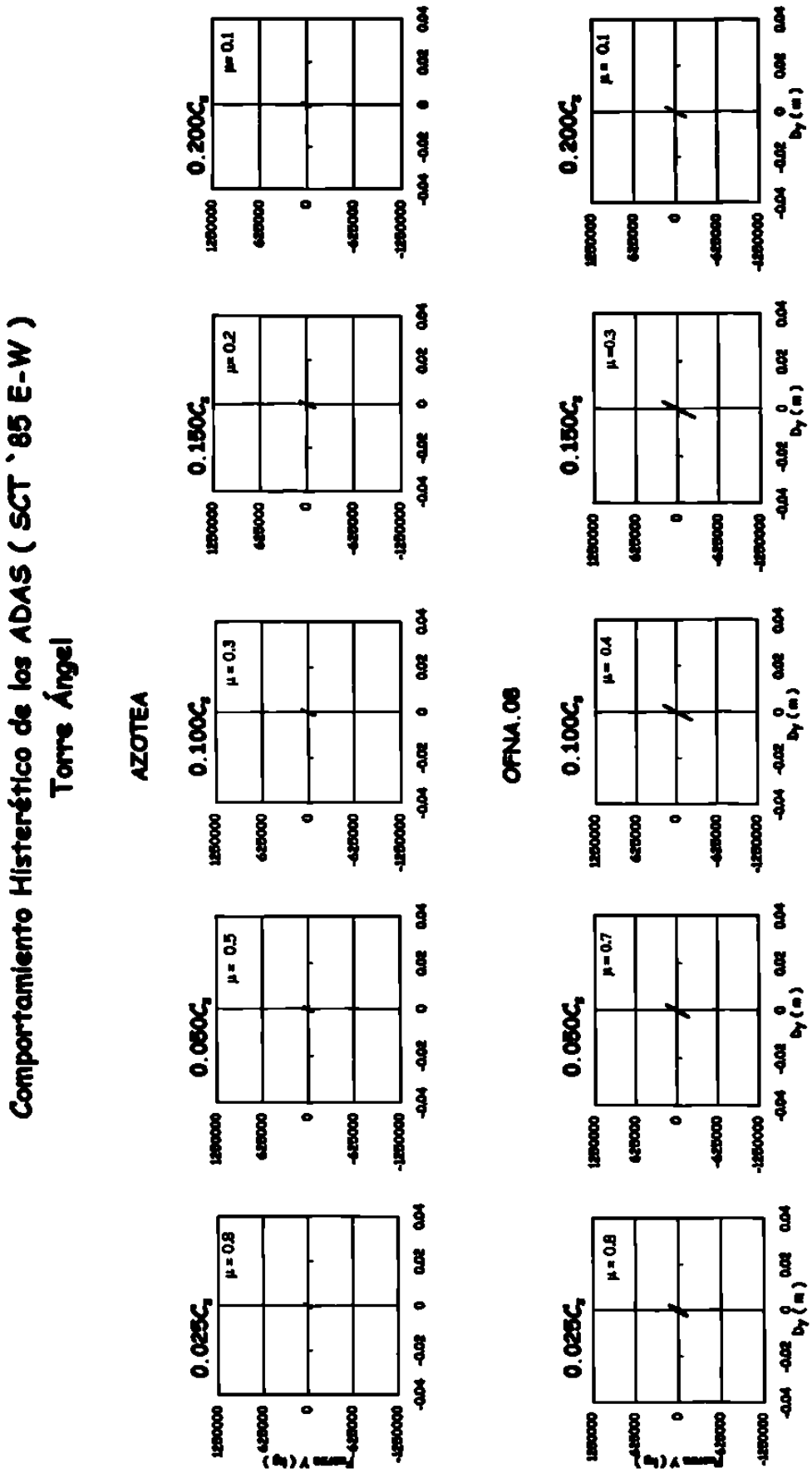

Fig. 8.18 Ciclos histeréticos en niveles superiores (SCT `85 (E-W)).

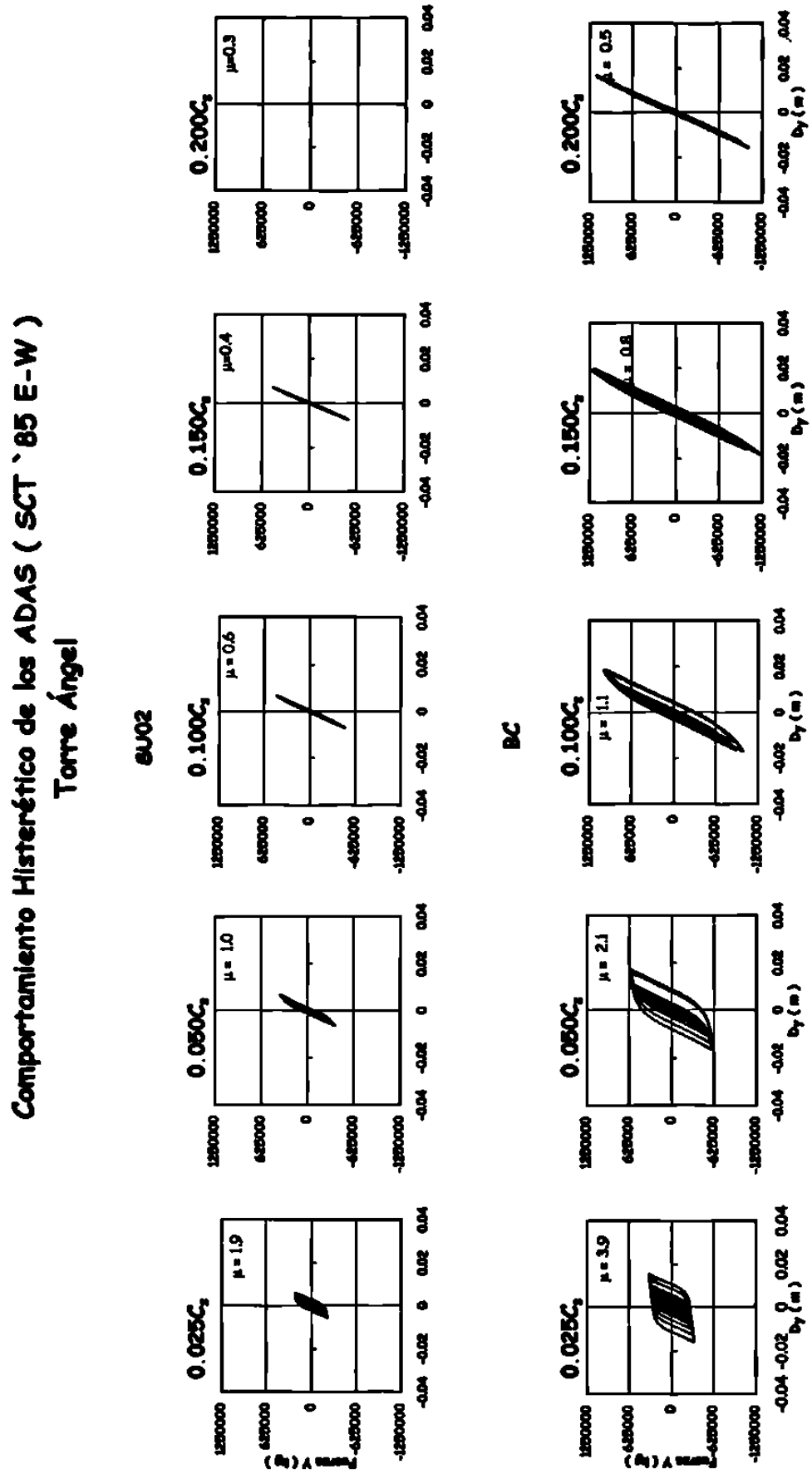

Fig. 8.19 Ciclos histeréticos en niveles inferiores (SCT `85 (E-W)).

Según se aprecia en los ciclos histeréticos de los niveles antes mencionados, para los niveles inferiores, SU02 y BC, la ductilidad se presenta sólo si el umbral de cedencia es menor o igual que $0.050C_s$, ya que, para umbrales mayores, los valores de ductilidad encontrados son menores que 1, *ie*, $\mu<1$, lo que se traduce como que no existe ductilidad, lo cual implica que no se disipa energía.

De acuerdo con lo observado en los ciclos histeréticos, es posible afirmar que el límite de fluencia que mejor se comporta, hablando de histéresis en los ADAS, es el de $0.025C_s$, ya que es el que mayor ductilidad desarrolla y las ductilidades encontradas son menores que 10, que es el valor de ductilidad recomendado para fines de diseño.

8.8 Análisis general de la respuesta

Hasta ahora, para esta estructura en particular, se ha encontrado que al cambiar los muros de concreto por diagonales provistas con disipadores de energía, en cuestiones de desplazamientos y energía se mejora el comportamiento del edificio. Sin embargo, el análisis de cortantes en la base mostró que para ninguno de los límites de fluencia estudiados se consiguió que la respuesta fuese menor, ni si quiera eliminando las crestas en las historias, al utilizar el valor en rms. Lo que pone de manifiesto que los picos que se pretendía eliminar, al utilizar este índice, son en realidad representativos del comportamiento de la estructura.

Si se observan detenidamente las historias de cortantes (figura 8.10), es posible advertir dos cosas. La primera es que al agregar dispositivos ADAS, la respuesta en cortantes es mayor que, para el caso lineal, y que el intervalo de tiempo en donde se obtiene esta tendencia está perfectamente localizado en la historia de cortantes, justo en la fase intensa del acelerograma utilizado para el análisis, entre 40 y 60 segundos. Y lo segundo que se percibe es que, si se cuentan los ciclos en un cierto intervalo de tiempo, para el caso lineal y el caso inelástico, es notorio que el periodo global del edificio es diferente. Este fenómeno se debe a que, cuando los ADAS se encuentran fluyendo, es decir, una vez que han incursionado en su rango inelástico, su rigidez cambia con respecto a la que tenían al encontrarse en el intervalo de comportamiento lineal.

Debido a la fluencia de los disipadores, el periodo aparente de la estructura cambia, y, por supuesto, su comportamiento es diferente que el del caso elástico, en el cual se toma como una verdad que el periodo equivalente de la estructura no varía en el tiempo, sino que se mantiene constante, lo cual no ocurre en la realidad, ya que la fluencia o la pérdida de rigidez, y por ende, el cambio en el periodo aparente de las estructuras es un hecho que ocurre al ser sometidas a sismos intensos.

Ha quedado claro entonces, como ya es sabido, que el periodo de la estructura juega un papel muy importante en la respuesta que ésta tiene ante cualquier excitación que sea una suma de armónicos; en este caso, esa fuente de excitación es el sismo.

El espectro de respuesta es una herramienta que aclara que para diferentes periodos se obtienen diferentes respuestas. En la figura 8.20 se presenta el espectro de respuesta elástico, para la componente este-oeste del sismo de SCT `85. Está claro que estructuras con un periodo cercano a 2 segundos son las que mayor respuesta tienen al excitarse con este sismo.

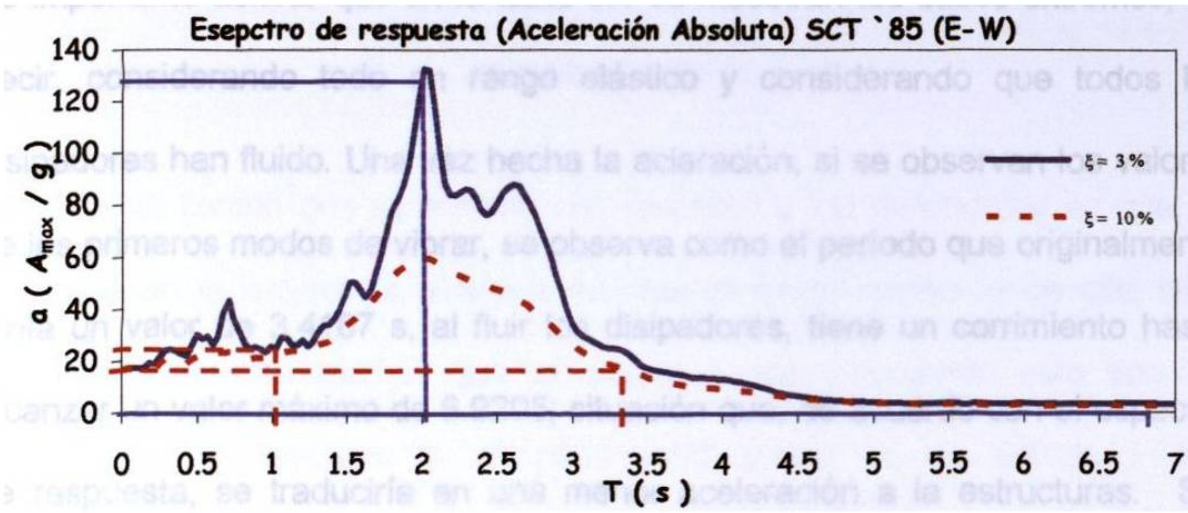

Fig. 8.20 Espectro de respuesta elástico de SCT `85 (E-W).

En la figura se presenta el espectro de respuesta para dos diferentes fracciones del amortiguamiento crítico, 3 y 5 por ciento. Antes de hacer alguna observación respecto a la gráfica, es necesario ver la tabla siguiente; en ella se presentan los valores de los modos encontrados para la estructura de este caso, únicamente en la dirección de análisis. En la columna de la izquierda se presentan los modos para el caso elástico y en la de la derecha los modos considerando que la rigidez de los ADAS es el 25 por ciento de la rigidez que tenían originalmente; es decir, considerando que todos los disipadores han alcanzado su nivel de fluencia.

Tabla 8.1
Modos de vibrar

Modos	Elástico	Inelástico
1	3.4187	6.9205
2	1.0442	2.1073
3	0.5646	1.1290
4	0.4024	0.5885

Es importante aclarar que en la tabla 8.1 se muestran los casos extremos, es decir, considerando todo en rango elástico y considerando que todos los disipadores han fluido. Una vez hecha la aclaración, si se observan los valores de los primeros modos de vibrar, se observa como el periodo que originalmente tenía un valor de 3.4187 s, al fluir los disipadores, tiene un corrimiento hasta alcanzar un valor máximo de 6.9205; situación que, de acuerdo con el espectro de respuesta, se traduciría en una menor aceleración a la estructuras. Sin embargo, el segundo modo, que originalmente se encontraba en 1.0442 s, en el intervalo elástico, una vez que los ADAS han alcanzado su umbral de cedencia, es posible llegar como máximo al valor de 2.1073 s.

Si se observa el espectro de respuesta, es notorio que en este caso el corrimiento del periodo trae como consecuencia una amplificación en la respuesta y no una disminución.

Si bien es cierto que no todos los disipadores pueden fluir al mismo tiempo, el hecho del corrimiento del periodo, al fluir un cierto número de ADAS es inminente, como inminente también es que el segundo modo de vibrar se acerca a la zona de máxima respuesta. También es cierto, por definición, que

al fluir los ADAS, el amortiguamiento global de la estructura aumenta; sin embargo, la zona de máxima respuesta en el espectro permanece aunque el amortiguamiento se aumente, eso se puede constatar al comparar el espectro de respuesta para dos fracciones de amortiguamiento, que es justamente lo que se representa en la figura 8.20.

8.9 Comentarios

La creencia común que se maneja con respecto a los disipadores es que, al utilizarlos en la estructura, siempre mejoran el comportamiento de ella; más aún, existe la creencia de que al disipar energía mediante este tipo de mecanismos se favorece el comportamiento global de los edificios. Sin embargo, según los resultados obtenidos en este trabajo y para este caso en particular, se ha podido constatar que esas ideas no necesariamente son ciertas; ya que, como se pudo observar en este edificio, colocar disipadores de energía del tipo histeréticos no favoreció el comportamiento, sino que el edificio se vio afectado en vez de beneficiarse. Según lo observado en las historias de cortante, figura 8.11, fue notorio que al utilizar los disipadores en este edificio, los cortantes en la base aumentaron considerablemente, desde el doble hasta siete veces el cortante elástico, dependiendo del límite de fluencia de los disipadores.

Otro aspecto que sobresale de este estudio, es que, en general, en el medio profesional, se mantiene la idea de que los modos superiores no contribuyen de manera significativa, como lo hace el primer modo, al comportamiento de la

estructura. No obstante, al menos en este caso específico, se observó que es precisamente el segundo modo el que responde y domina el comportamiento de la estructura, hablando de los resultados en cortantes.

Si bien, es cierto que al utilizar los disipadores de energía se encontró que los desplazamientos son menores que para el caso lineal; además de que para ninguno de los límites de fluencia estudiados los desplazamientos relativos excedieron de 0.004, valor menor a 0.006, el cual es el máximo permitido por los códigos de diseño.

Por otro lado, y de acuerdo a lo que se ha observado en este trabajo es posible afirmar que al presentarse el fenómeno de histéresis, la cantidad de energía disipada por amortiguamiento modal es menor, situación que no necesariamente se traduce como una mejora en el comportamiento global del edificio, sino que pueden existir algunos casos, como el estudiado en este capítulo, en que se perjudique a la estructura si se le provee de dispositivos disipadores de energía, en este caso los ADAS.