CAPÍTULO 6

INFLUENCIA DE DISPOSITIVOS EN EDIFICIOS DE PERIODO CORTO

En este capítulo se analiza el primer caso de estudio teórico: en él se estudia la influencia que tienen los disipadores en un edificio de cuatro niveles, cuyo periodo inicial es de 0.5 segundos. El objetivo de tratar este caso, como ya se mencionó con anterioridad, es porque en este modelo se controlan los parámetros que se consideran importantes en el comportamiento de los dispositivos histeréticos, como lo son: el porcentaje de rigidez lateral que toman los ADAS y el umbral de cedencia de los disipadores.

6.1 Descripción del edificio

Este edificio tiene cuatro niveles, cuya altura de entrepiso es de 3 m; las dimensiones en planta son: 19 m, en la dirección "X" y 16 m, en la dirección "Y", lo que da un área de 304 m^2. La estructura está formada por cuatro marcos, cada uno de tres claros, conectados a momento, de perfiles de acero estructural A-36, en la dirección de análisis y cuatro marcos, de tres claros también, en la dirección perpendicular. Estos marcos, al igual que los principales, están formados por acero A-36, pero conectados únicamente a cortante. Todos los marcos están constituidos por vigas y columnas del tipo IPR.

En la dirección de análisis, en este caso la dirección "X", en el claro central que es el claro mayor (7 m), se colocan los disipadores de energía, en los contravientos que son del tipo chevrón, ya que, como se discutió en capítulos anteriores, es precisamente este tipo de contravientos el que permite el mejor desempeño de los disipadores histeréticos, del tipo ADAS.

Cabe mencionar que para poder controlar las variables de estudio se colocan los disipadores en una sola dirección, además de que es únicamente en esa dirección en la que se aplica los acelerogramas de los sismos utilizados; por ello, en la dirección que no es la de análisis, además de que no se aplican componentes de los sismos, no se utilizan los disipadores. Sin embargo, si se considera un análisis tridimensional de la estructura y por ello si intervienen en el análisis del edificio la participación modal de los modos correspondientes a la dirección perpendicular a la de análisis y los modos de torsión, participación que no se considera si se analizan marcos planos.

En la dirección perpendicular a la dirección de análisis, dirección "Y", también en el claro central que corresponde al claro de mayor longitud (6 m), se colocan contravientos sin disipadores; en este caso, del tipo cruz, cuyo fin es darle rigidez lateral al edificio en esa dirección.

El sistema de piso lo constituye una losa de concreto de 20 cm, porque se considera que este espesor da a la losa suficiente rigidez en su plano, como para aplicar la hipótesis del diafragma rígido.

Para este edificio se estudiaron tres diferentes combinaciones de rigidez lateral: la primera, cuando los marcos toman el 75 % de la rigidez lateral y los ADAS toman el 25 %; la segunda, en la cual los marcos toman el 50 % y los dispositivos ADAS el otro 50 %; y, por último, una distribución de rigideces tal que los marcos toman el 25 % y los ADAS el otro 75 %. Para conseguir esto se variaron los perfiles que forman los marcos, de tal forma que el periodo inicial de la estructura fuera siempre T = 0.5 s.

La carga, con la que se calcula el peso considerado para cada nivel, ya considerando el peso propio y la carga viva, fue de W = 692 kg/m^2. Es en función de esta carga que se calcula el peso y las masas correspondientes a cada nivel.

Se utilizan dos diferentes pendientes post-fluencia para los dispositivos ADAS. Para los dos primeros niveles se asigna una pendiente igual al 100 por ciento de la rigidez que le toca a cada disipador, en función del cortante basal y los niveles supriores la pendiente, después de la fluencia se toma como la mitad de la pendiente de los disipadores de los primeros niveles, esto con la idea de que es precisamente en los niveles de abajo en donde el cortante es mayor y por eso deben tener un nivel de fluencia mayor que los de los niveles superiores.

Para calcular el valor de esa pendiente se divide el cortante basal entre el número de disipadores que se tienen en el primer nivel y ese valor, como ya se dijo, se le asigna a los dos primeros niveles, mientras que un valor

correspondiente a la mitad de ese se les asigna a los disipadores de los dos niveles superiores.

6.2 Acelerogramas de análisis

Este edificio se analiza suponiéndolo bajo la acción de dos acelerogramas, ambos registrados en terreno firme. Estos dos acelerogramas son: *El Centro*, registrado en Imperial Valley en 1940 y la componente E-W del acelerograma de *CU '85*, registrado en la Ciudad Universitaria, en el Distrito Federal, en 1985.

6.2.1 Acelerograma del sismo El Centro

El registro de aceleraciones que se considera del sismo de El Centro tiene una duración de cuarenta segundos, con una aceleración máxima registrada de 0.3129 g. El acelerograma presenta una fase intensa antes de los cinco segundos en donde se manifiestan los valores máximos de aceleración; posterior a esto mantiene respuestas de alrededor de 0.12 g.

En la figura 6.3 se muestra, de manera gráfica, el acelerograma utilizado. En el gráfico es posible notar la fase intensa del sismo, al principio del movimiento y cómo esta fase no dura por un tiempo prolongado; sino que, posterior a la fase intensa, mantiene aceleraciones no mayores que 0.15g. Así mismo, se indica en el cuadro superior derecho del acelerograma el valor máximo de aceleración registrado en este sismo.

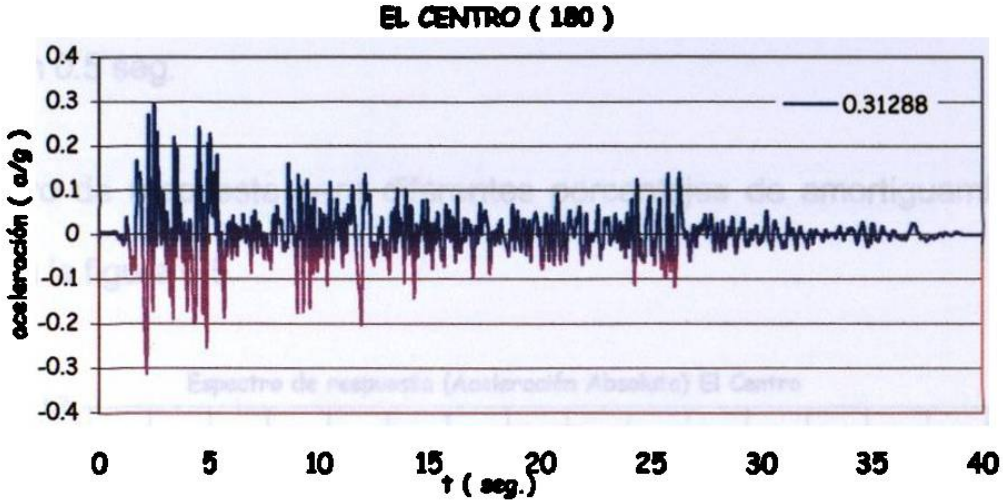

Fig. 6.3 Acelerograma del sismo de El Centro.

En el Espectro de Fourier puede verse que el contenido de frecuencias de este sismo es amplio y va desde 0.1 hasta 10 Hz. (figura 6.4)

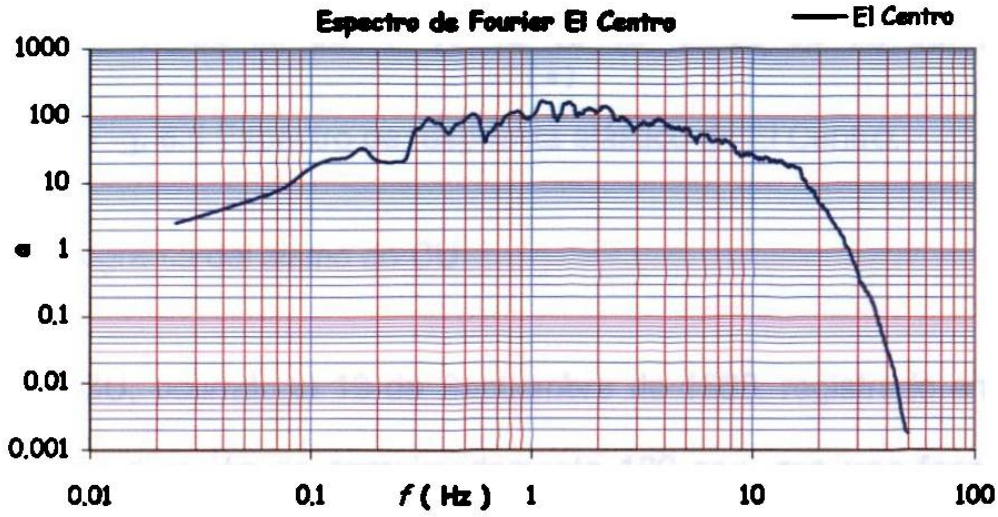

Fig. 6.4 Espectro de Fourier de El Centro.

El espectro de respuesta elástico, correspondiente a este sismo, alcanza sus valores máximos para periodos que van desde 0.1 hasta 1 seg; después de este periodo se nota una disminución en la respuesta; sin embargo, no en todo el conjunto de periodos de máxima respuesta se mantiene constante, sino que hay crestas muy marcados en el espectro, y una de esas crestas está

localizada en 0.55 seg, punto para el cual la respuesta es mayor que la que alcanza en 0.5 seg.

El espectro de respuesta para diferentes porcentajes de amortiguamiento se aprecia en la figura 6.5.

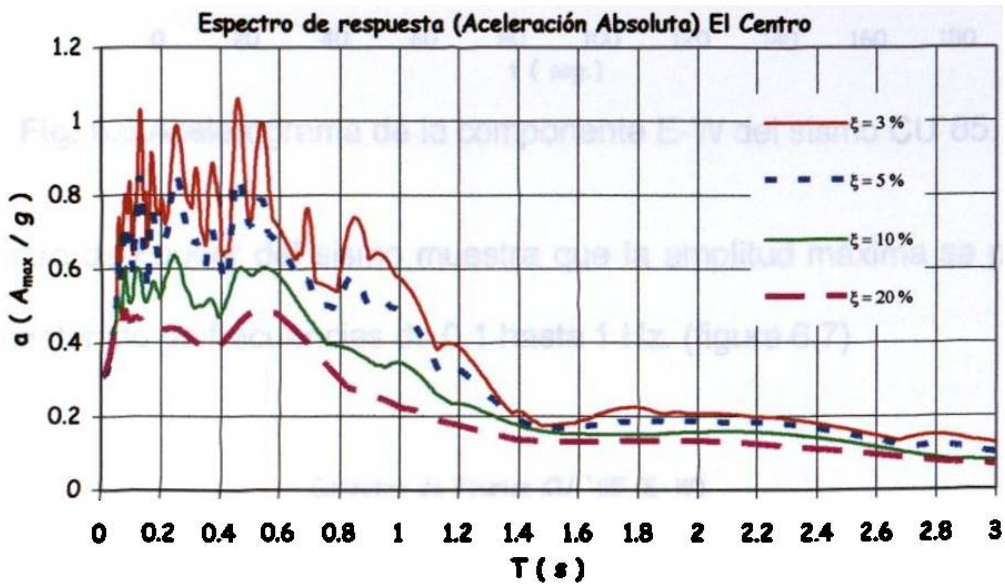

Fig. 6.5 Espectro de respuesta elástico de El Centro.

6.2.2 Acelerograma del sismo de CU

El sismo de CU, ocurrido el 19 de Septiembre de 1985, registrado en terreno firme tuvo una duración de aproximadamente 180 seg, con una fase intensa entre los 40 y 60 segundos; alcanzando un valor máximo de 0.0293 g para la componente en la dirección Este- Oeste (E-W), el acelerograma se puede ver en la figura 6.6.

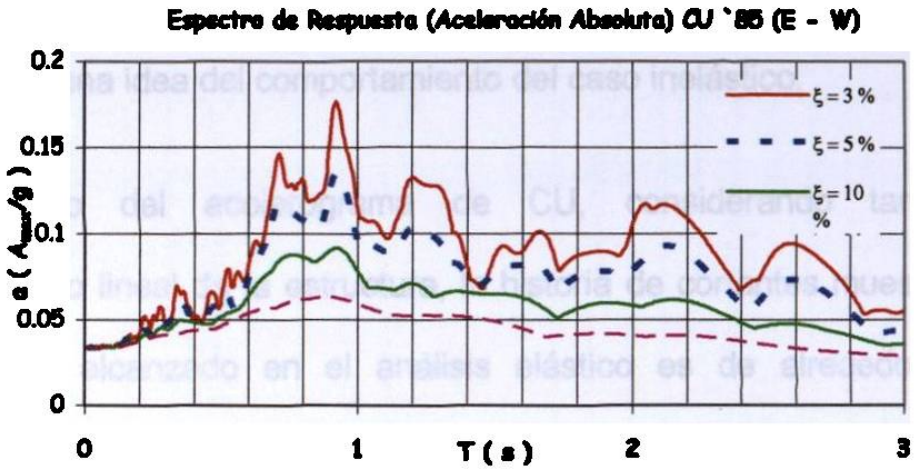

Fig. 6.8 Espectro de respuesta elástico del acelerograma de CU `85 (E-W).

6.3 Coeficiente sísmico (C_s)

La historia de cortantes elásticos para este sismo muestra que el valor máximo de cortante en la base alcanza un valor de 584 Ton. (figura 6.9 a). Por otro lado, la historia de coeficientes sísmicos para el sismo de El Centro, en un análisis lineal del edificio, es decir, considerando que los dispositivos se comportan como resortes cuya rigidez es constante, muestra que el valor máximo que éste alcanza está cercano a 0.4 (figura 6.9 b), a partir de este valor máximo es que se eligen los diferentes umbrales de cedencia que se estudiarán posteriormente para este edificio; recordando que el umbral de cedencia se escoge a partir del coeficiente sísmico, ya que la idea es que los dispositivos disipadores trabajen y cumplan así su función, disipar energía. Esto se puede lograr eligiendo un umbral tal que la estructura no se comporte elásticamente a lo largo de la historia de las aceleraciones a las que se le somete, aunque hay que recordar que una vez que los disipadores fluyen, la estructura pierde rigidez y debido a ello el periodo de la estructura aumenta, lo que hace que el caso

lineal sea diferente del caso no lineal, sin embargo, es posible considerar que el caso lineal da una idea del comportamiento del caso inelástico.

Para el caso del acelerograma de CU, considerando también un comportamiento lineal de la estructura, la historia de cortantes muestra que el valor máximo alcanzado en el análisis elástico es de alrededor de 177 toneladas (figura 6.10 a). En la correspondiente historia de coeficientes símicos C_s se aprecia un valor máximo cercano a 0.12 g, según se aprecia en la figura 6.10 b. Para este caso, los valores máximos que se muestran en la historia de coeficientes sísmicos se localizan entre los 40 y 60 segundos; alcanzando, como ya se mencionó, un valor máximo alcanzado de 0.12 g.

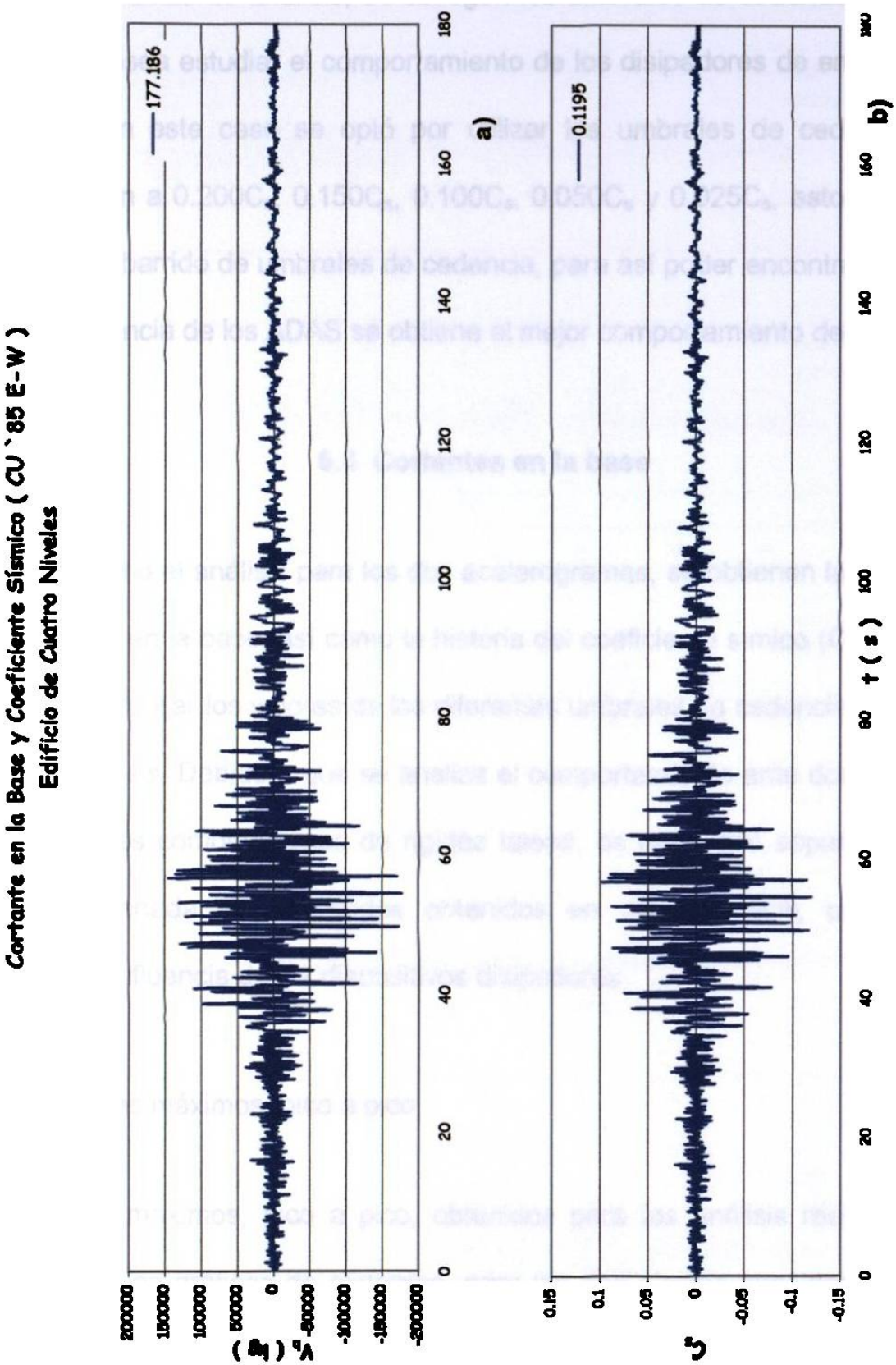

Fig. 6.10 Cortante en la base y Coeficiente sísmico (CU `85 (E-W)).

Una vez que se observan los valores del coeficiente sísmico, para cada uno de los acelerogramas de análisis, se escogen los umbrales de cedencia; para los cuales se desea estudiar el comportamiento de los disipadores de energía. En particular, en este caso se optó por utilizar los umbrales de cedencia que corresponden a $0.200C_s$, $0.150C_s$, $0.100C_s$, $0.050C_s$ y $0.025C_s$, esto con el fin de hacer un barrido de umbrales de cedencia, para así poder encontrar con que límite de fluencia de los ADAS se obtiene el mejor comportamiento del edificio.

6.4 Cortantes en la base

Una vez hecho el análisis para los dos acelerogramas, se obtienen las historias de cortantes en la base, así como la historia del coeficiente símico (C_s), historia que sirve para fijar los valores de los diferentes umbrales de cedencia utilizados en este análisis. Debido a que se analiza el comportamiento ante dos sismos y tres diferentes combinaciones de rigidez lateral, es necesario separar de una manera ordenada los resultados obtenidos en cada análisis, para poder observar la influencia de los dispositivos disipadores.

6.4.1 Valores máximos, pico a pico

Los valores máximos, pico a pico, obtenidos para los análisis realizados se obtienen de las gráficas de cortantes, para los dos sismos considerados. Las historias de cortantes se presentan en las figuras 6.11 a 6.16.

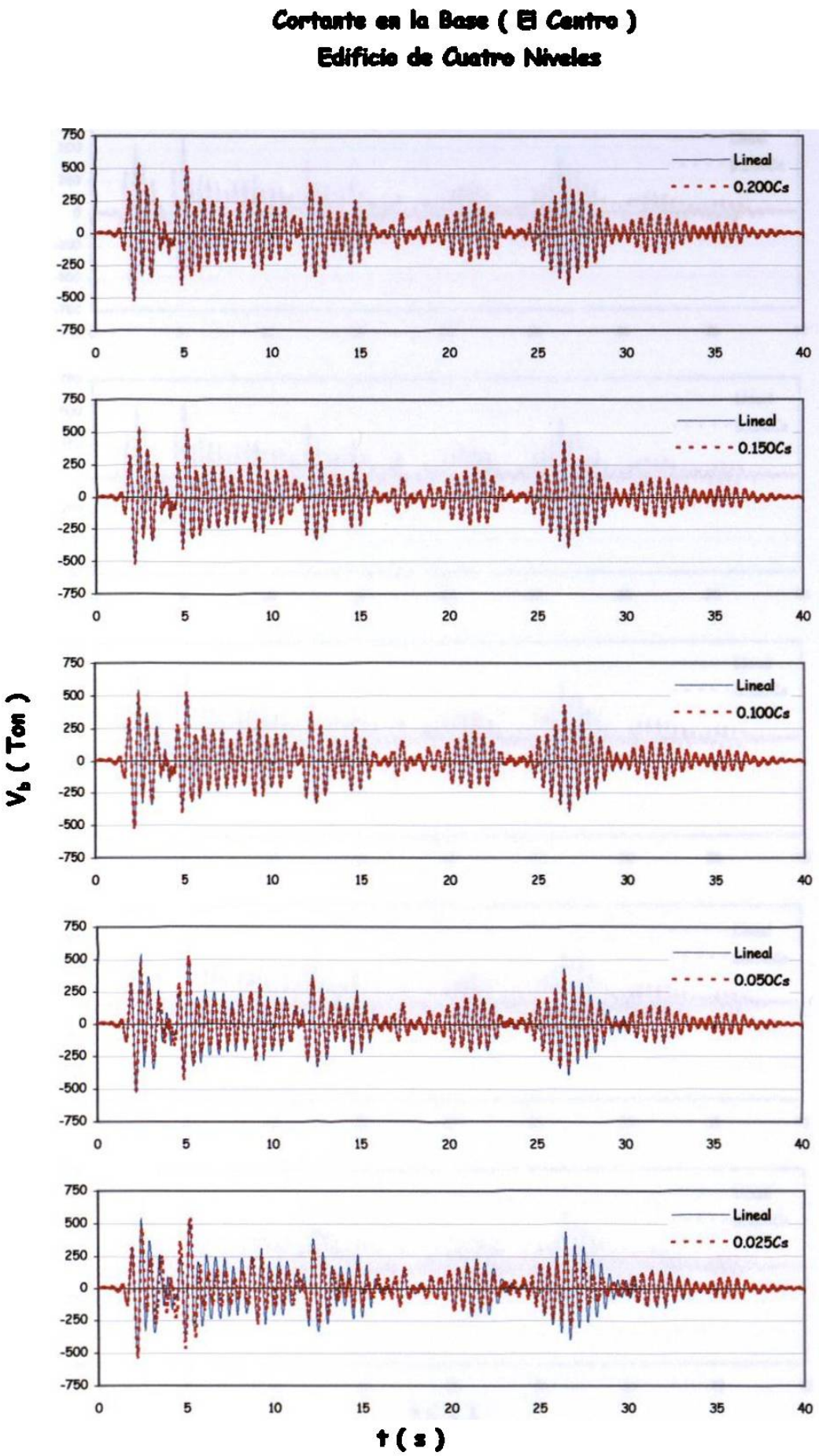

Fig. 6.11 Historia de cortantes en la base (El Centro); K_{ADAS} = 25 %.

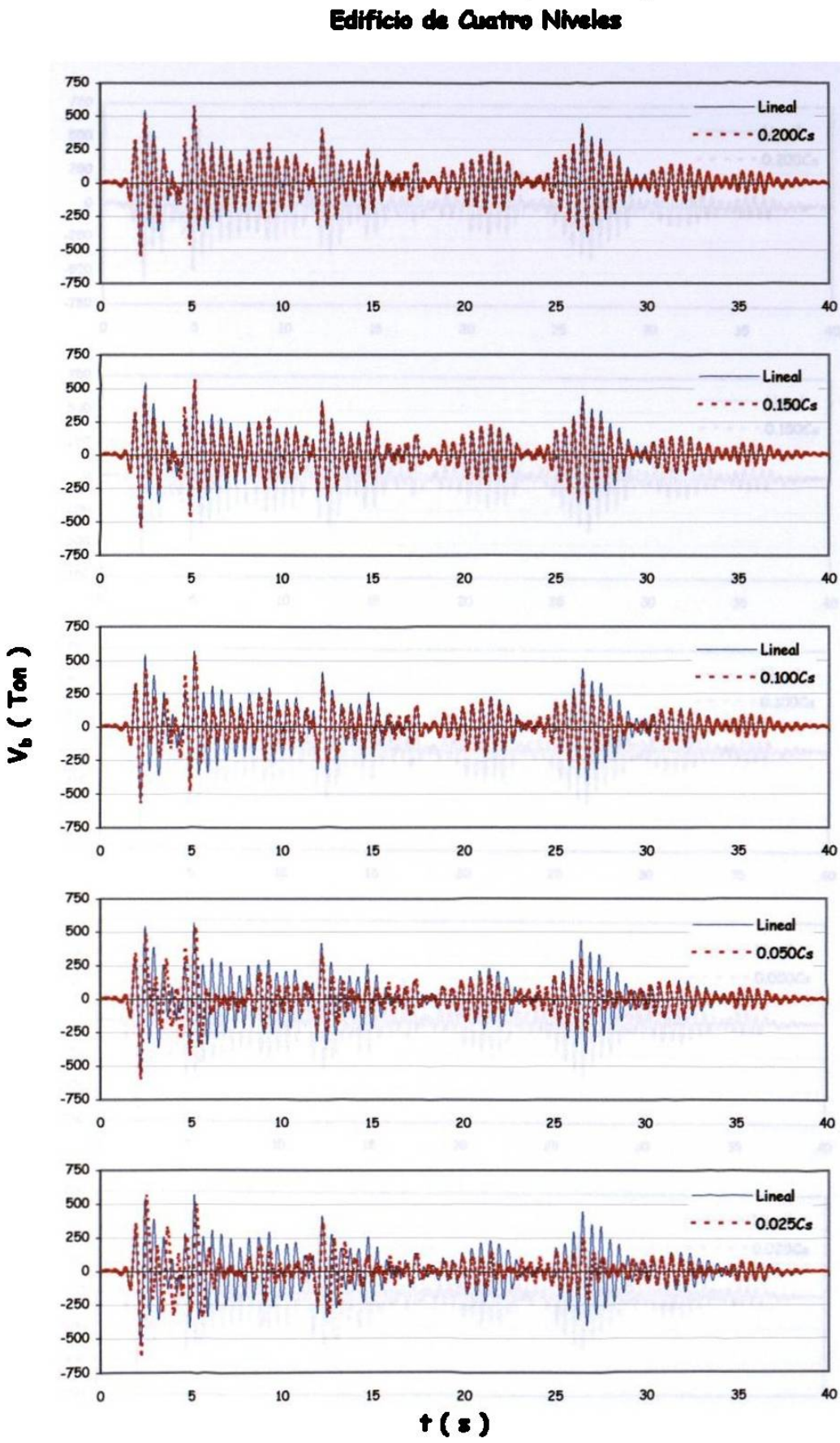

Fig. 6.12 Historia de cortantes en la base (El Centro); K_{ADAS} = 50 %.

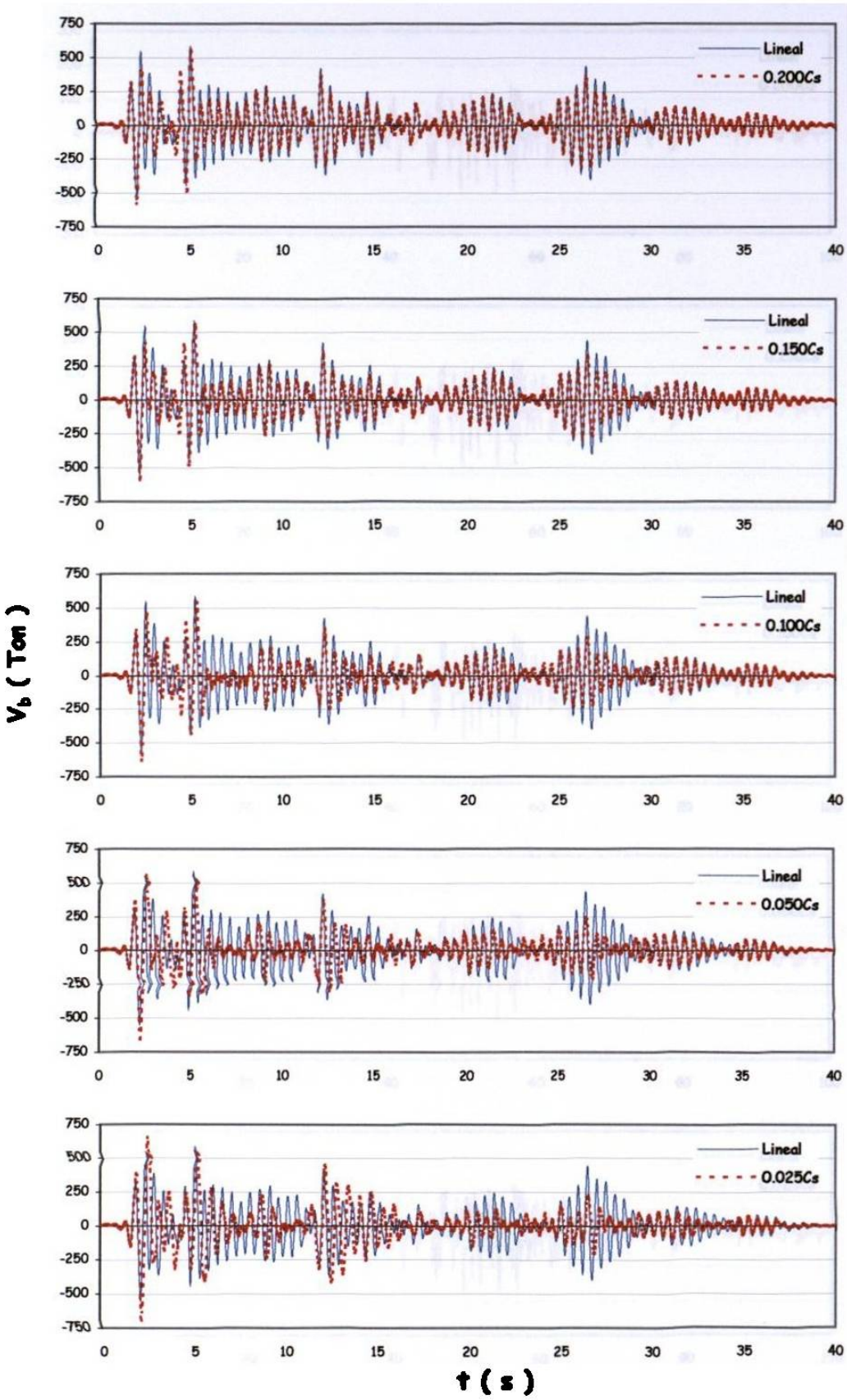

Fig. 6.13 Historia de cortantes en la base (El Centro); K_{ADAS} = 75 %.

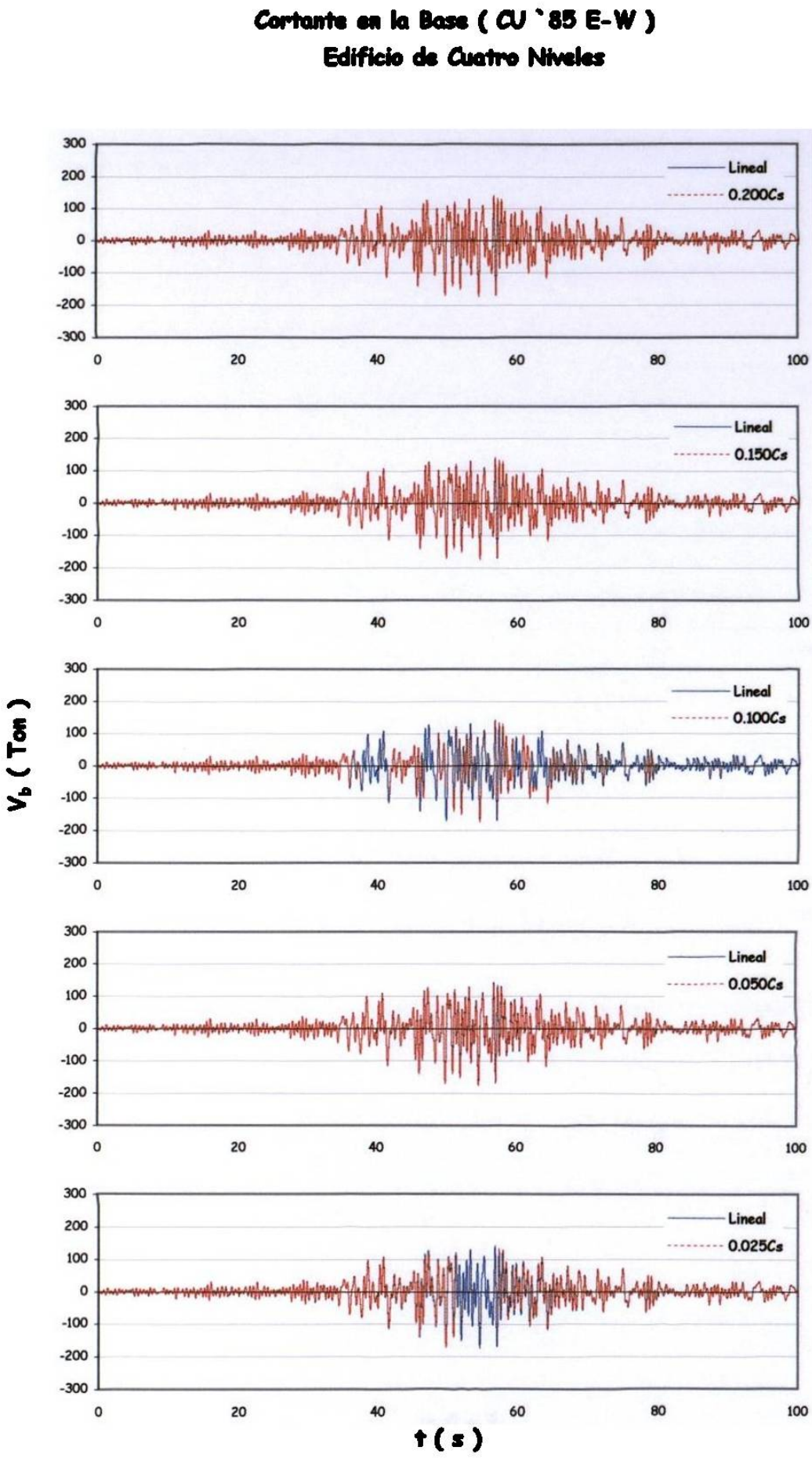

Fig. 6.14 Historia de cortantes en la base (CU `85 (E-W)); K_{ADAS} = 25 %.

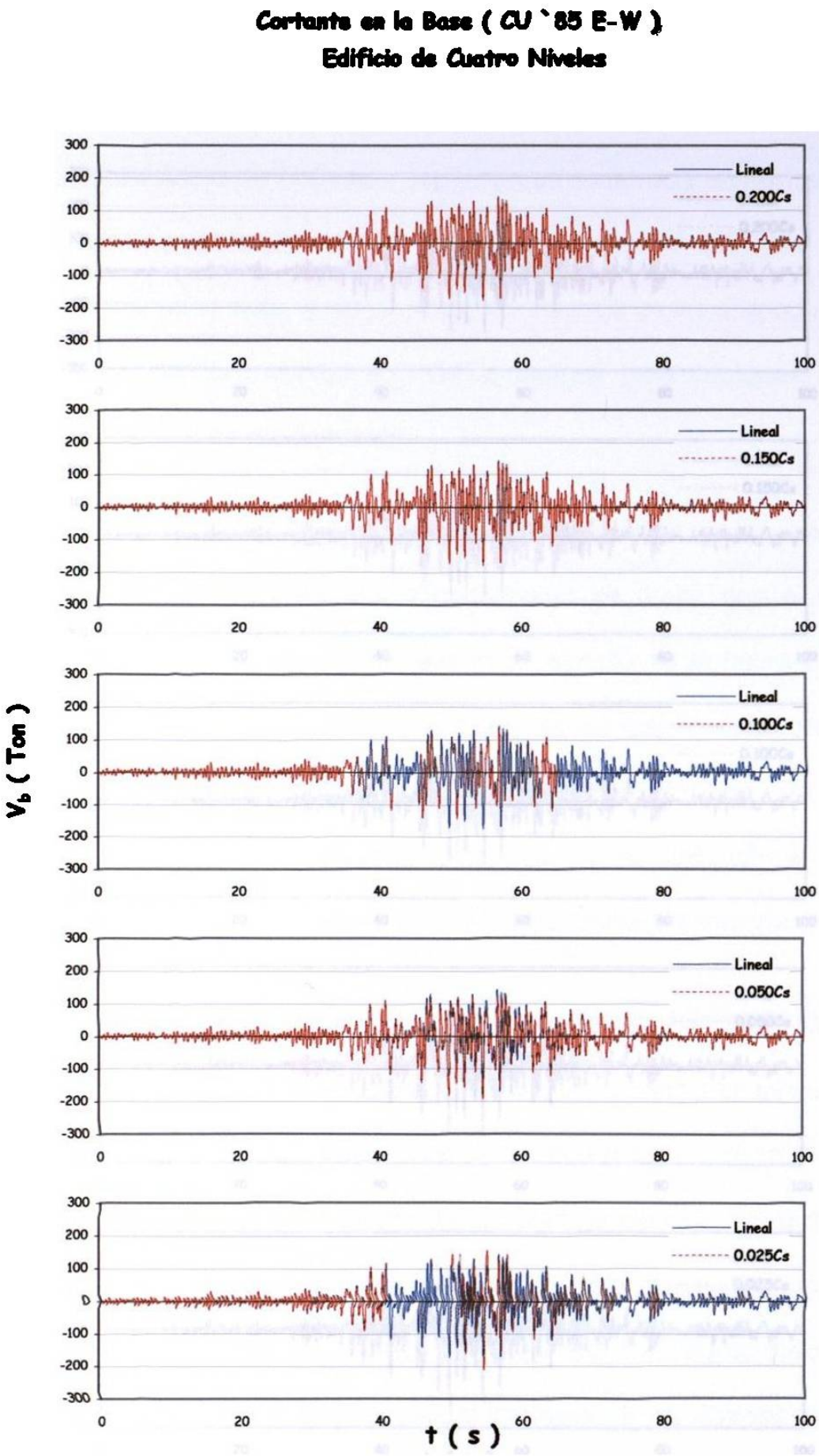

Fig. 6.15 Historia de cortantes en la base (CU `85); K_{ADAS} = 50 %.

Cortante en la Base (CU `85 E-W)
Edificio de Cuatro Niveles

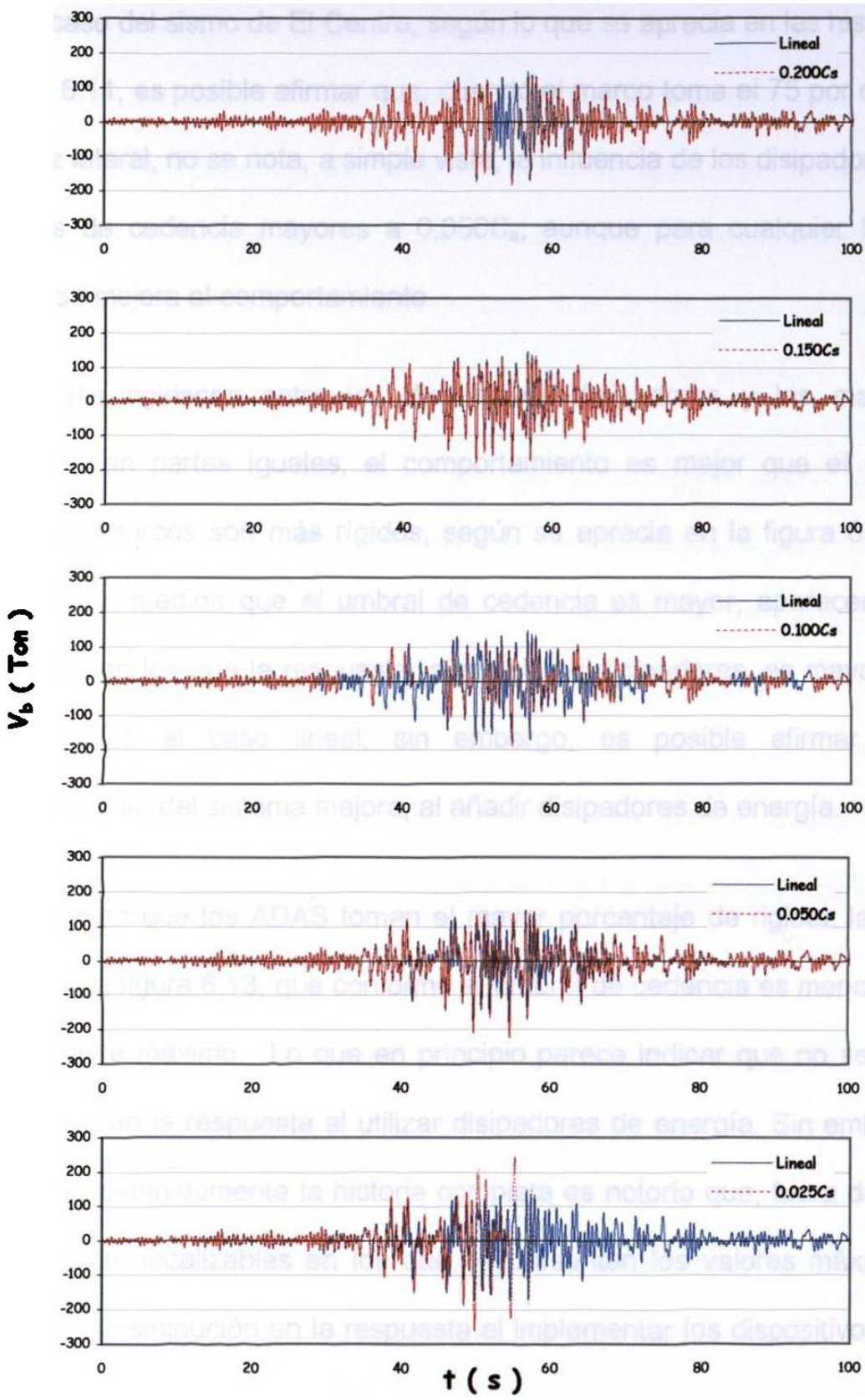

Fig. 6.16 Historia de cortantes en la base (CU `85); K_{ADAS} = 75 %.

En las gráficas anteriores se observaron las historias de cortantes para los dos sismos considerados en este análisis, el sismo de El Centro y el de CU.

Para el caso del sismo de El Centro, según lo que se aprecia en las historias de la figura 6.11, es posible afirmar que, cuando el marco toma el 75 por ciento de la rigidez lateral, no se nota, a simple vista, la influencia de los disipadores, para umbrales de cedencia mayores a $0.050C_s$; aunque para cualquier límite de fluencia se mejora el comportamiento.

Cuando las rigideces entre los dispositivos disipadores y los marcos se distribuyen en partes iguales, el comportamiento es mejor que el obtenido cuando los marcos son más rígidos, según se aprecia en la figura 6.12; sólo que ahora, a medida que el umbral de cedencia es mayor, aparecen puntos localizados en los que la respuesta, al incluir los disipadores, es mayor que la obtenida para el caso lineal; sin embargo, es posible afirmar que el comportamiento del sistema mejora, al añadir disipadores de energía.

En el caso en que los ADAS toman el mayor porcentaje de rigidez lateral, se aprecia en la figura 6.13, que conforme el umbral de cedencia es menor, mayor es el cortante máximo. Lo que en principio parece indicar que no se obtiene una mejoría en la respuesta al utilizar disipadores de energía. Sin embargo, si se observa detenidamente la historia completa es notorio que, fuera de puntos perfectamente localizables en los que se presentan los valores máximos, se obtiene una disminución en la respuesta al implementar los dispositivos ADAS,

sobre todo a partir de la los veinte segundos, una vez que ha pasado la fase más intensa del sismo.

Para el sismo de CU, se observó que cuando la rigidez que toman los marcos es el 75 por ciento de la rigidez lateral total, los valores obtenidos para los distintos umbrales de cedencia muestran, como se aprecia en la figura 6.14, que conforme el umbral de cedencia es menor, los cortantes máximos son mayores. Comparando la respuesta de cada uno de los casos contra el caso lineal, no se aprecia gran mejoría en el comportamiento del edificio.

En el caso en que los ADAS toman la mitad de la rigidez lateral, según se observa en la figura 6.15, se presentan crestas en la respuesta para cuando los dispositivos están trabajando en conjunto con el marco. Al comparar cada una de las respuestas obtenidas para los diferentes umbrales de cedencia es notorio que conforme el umbral de cedencia es menor, mejora el comportamiento global del edificio, ya que se observa que los valores máximos encontrados son, en todo momento, mayores que los que se presentan para el caso lineal.

Cuando los marcos proporcionan el 25 por ciento de la rigidez lateral, según lo que se observa en la figura 6.16, es posible apreciar, a lo largo de la historia, que los cortantes máximos son mayores, conforme el umbral de cedencia es menor. Se observa que, en general, el comportamiento mejora, salvo en puntos máximos, localizados en el intervalo de 40 a 65 segundos, en donde los valores

de respuesta que se obtienen al utilizar los dispositivos disipadores son mayores que los obtenidos para el caso lineal.

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

Los resultados en rms son un mejor indicador del comportamiento global de la estructura; en este caso, el edificio analizado, ya que ponderan los valores obtenidos a lo largo de la historia; es por eso que se obtienen y comparan las respuestas, utilizando este índice para evaluar la conducta que tiene el edificio, con los valores máximos obtenidos pico a pico. Esto se hace para cada caso de rigidez estudiado, para los dos sismos de análisis.

En este caso, se presentan las gráficas que comparan los valores máximos tanto en valores pico a pico, como en rms, para los distintos umbrales de cedencia estudiados. Estas gráficas se muestran en las de las figuras 6.17 a 6.22 y se incluye en cada una de ellas una línea que muestra la tendencia del comportamiento de los valores máximos, en valores pico y en rms, encontrados para cada límite de fluencia. Es gracias a esa línea de tendencia, que se obtiene el punto óptimo del umbral de cedencia, tanto en valores pico, como utilizando el índice de rms.

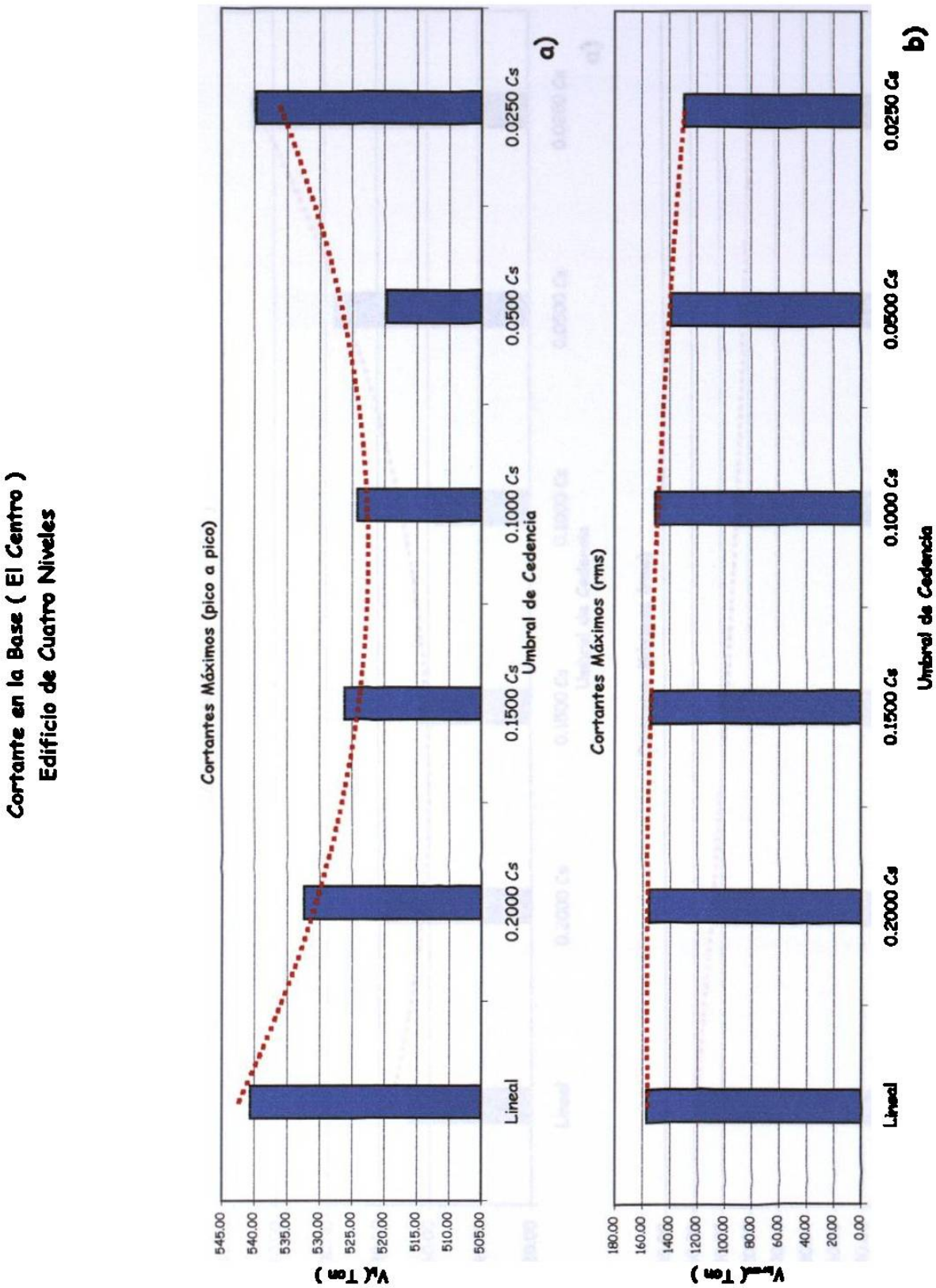

Fig. 6.17 Valores máximos de cortantes (El Centro); K_{ADAS} = 25 %.

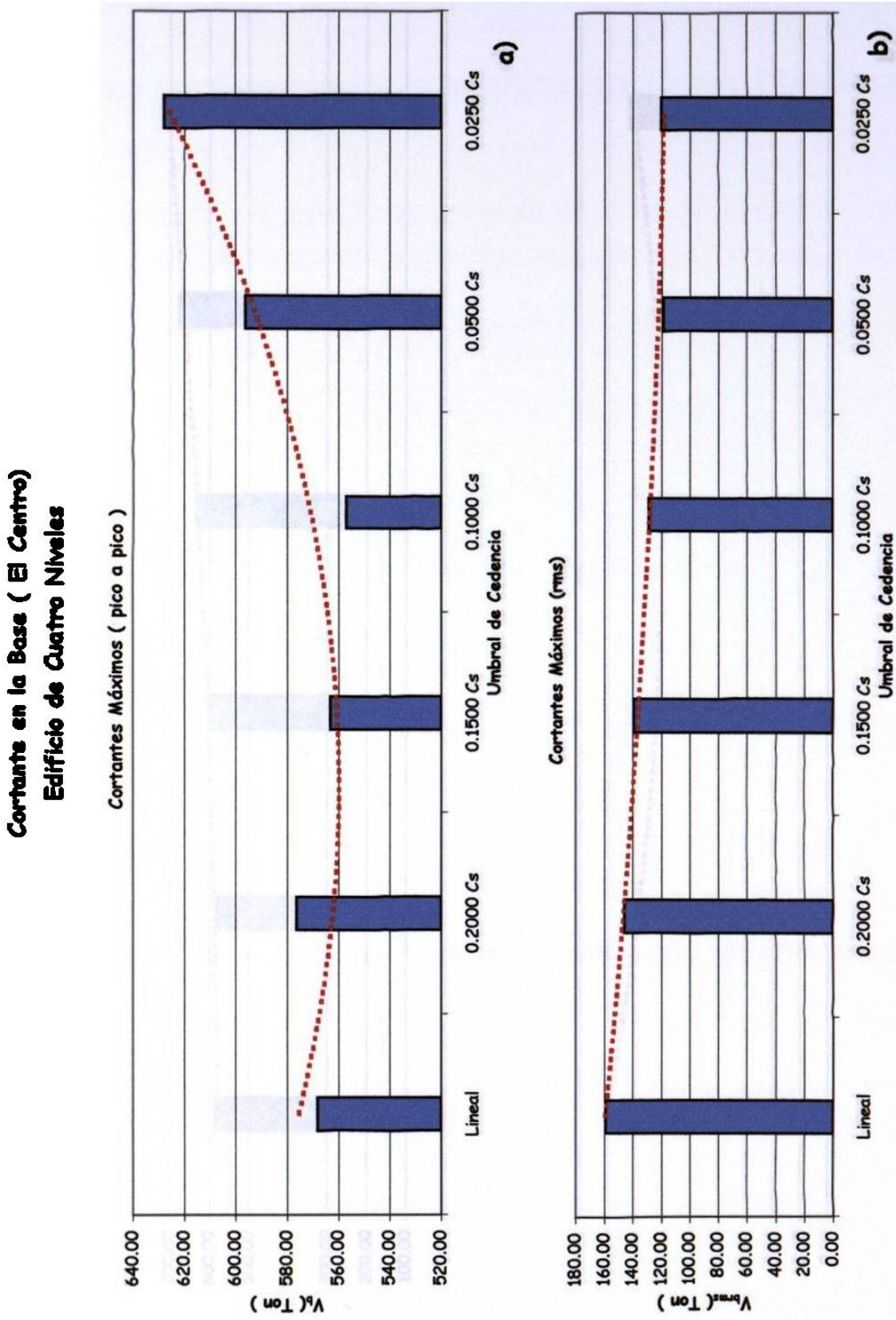

Fig. 6.18 Valores máximos de cortantes (El Centro); K_{ADAS} = 50 %.

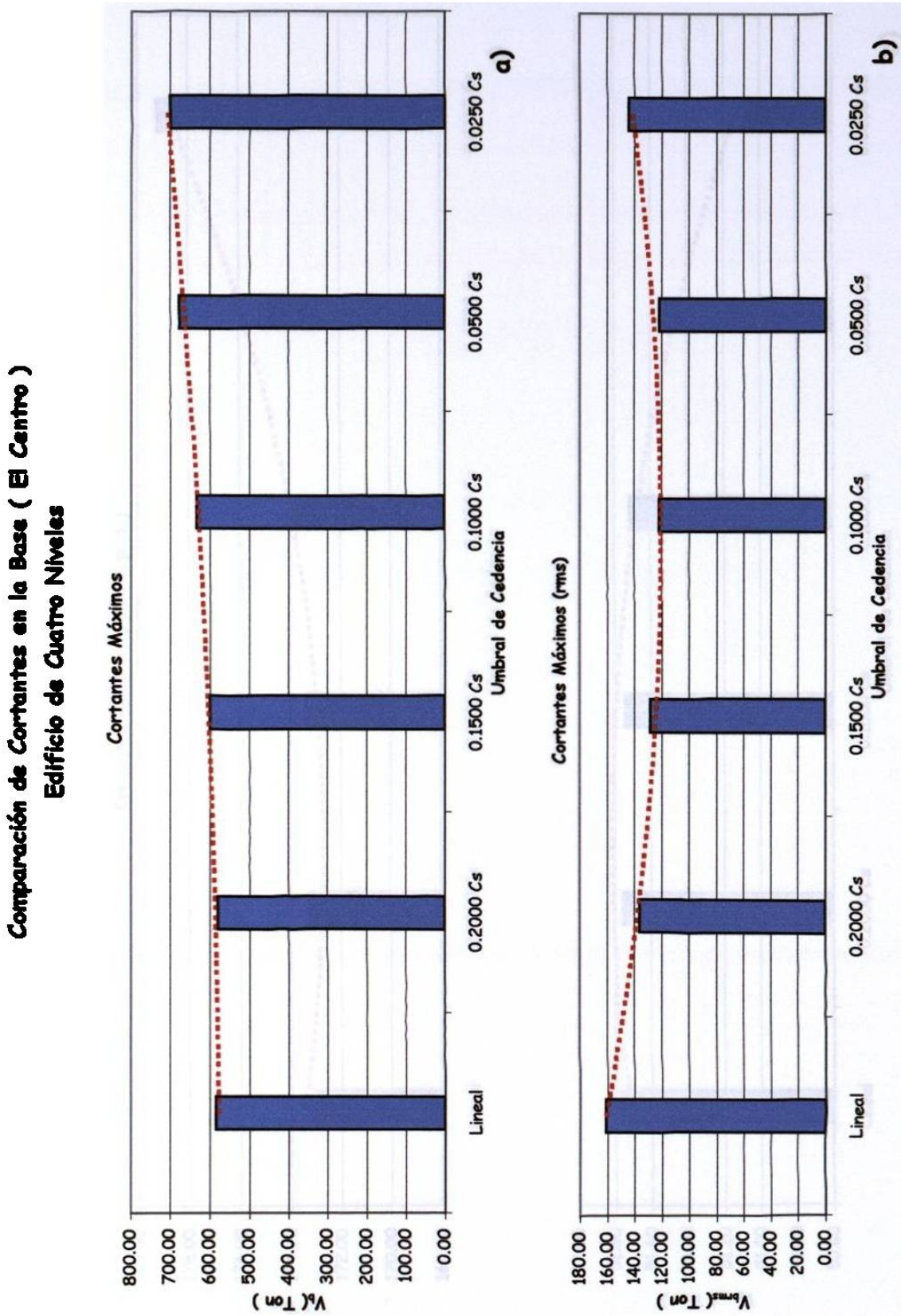

Fig. 6.19 Valores máximos de cortantes (El Centro); K_{ADAS} = 75 %.

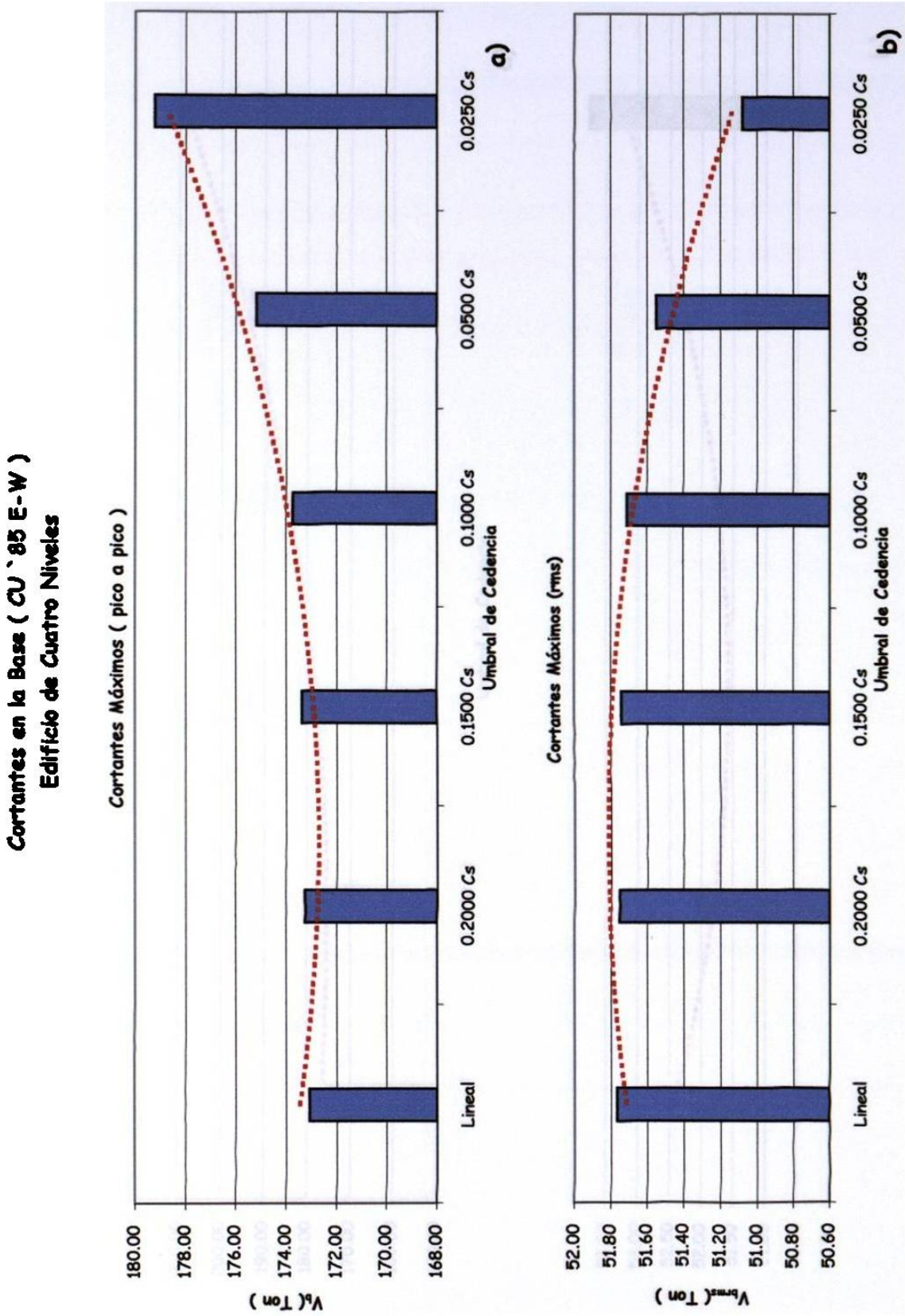

Fig. 6.20 Valores máximos de cortantes (CU `85); K_{ADAS} = 25 %.

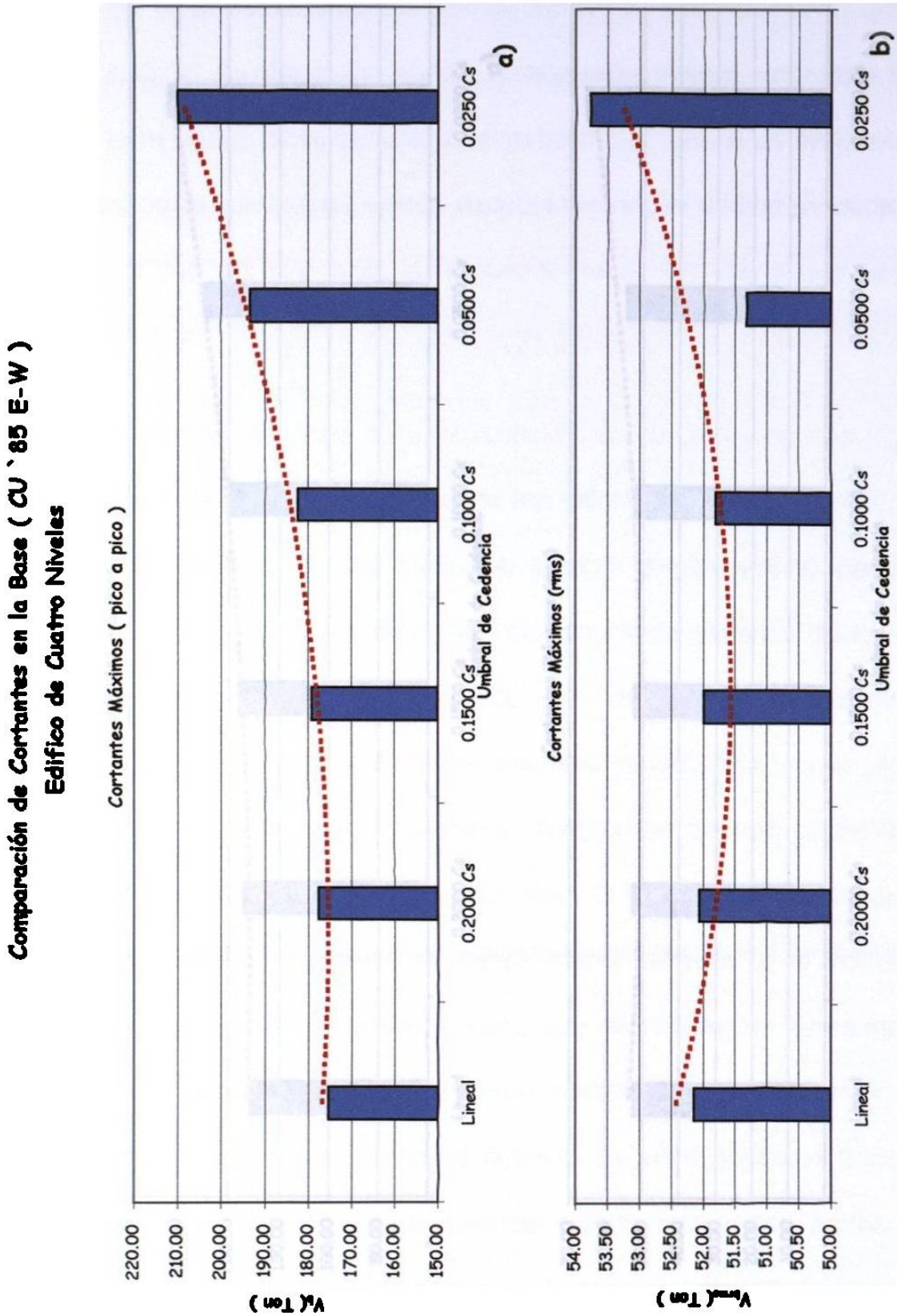

Fig. 6.21 Valores máximos de cortantes (CU `85); K_{ADAS} = 50 %.

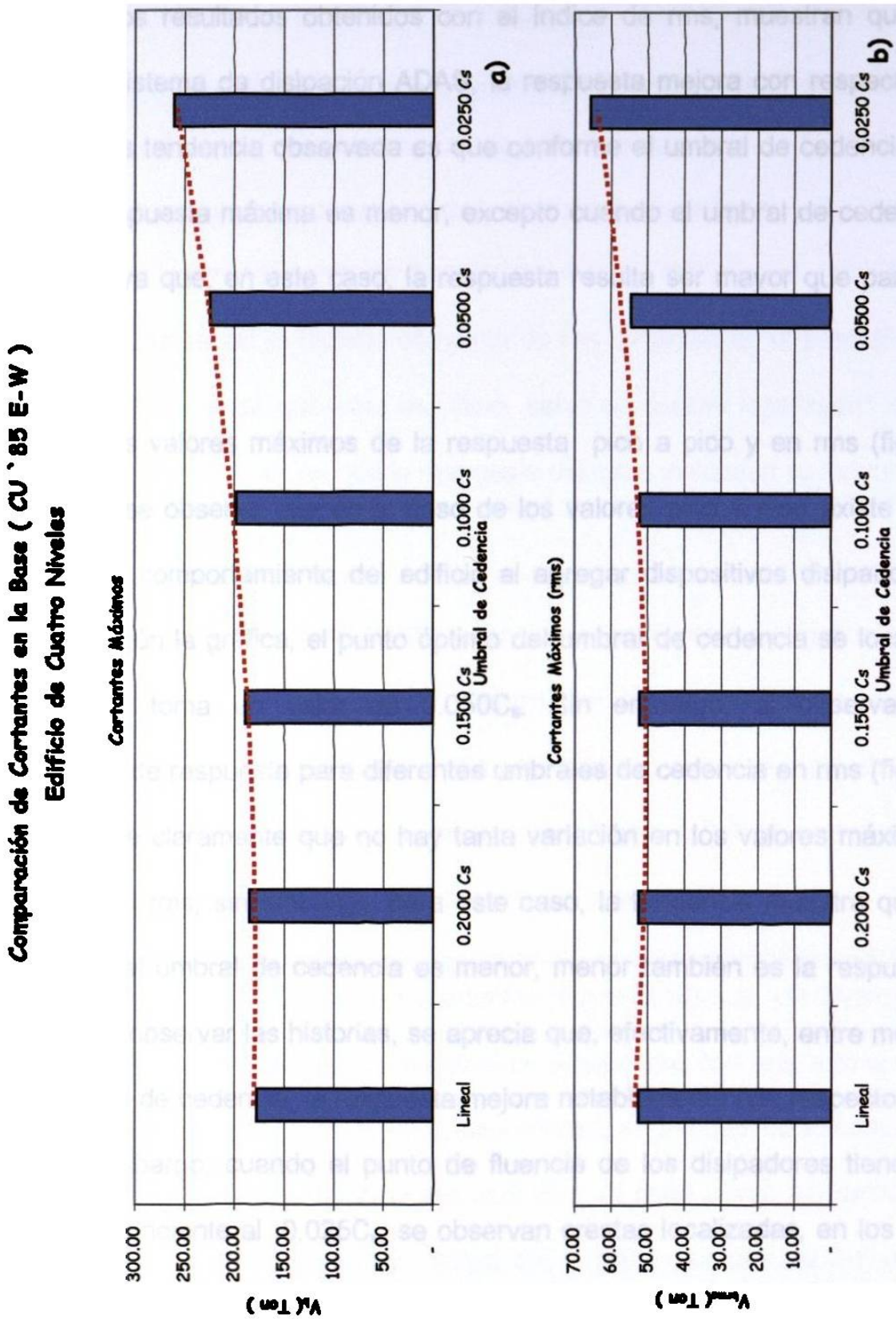

Fig. 6.22 Valores máximos de cortantes (CU `85); K_{ADAS} = 75 %.

Para el sismo de El Centro, cuando es tomado por el marco el mayor porcentaje de rigidez, los resultados obtenidos con el índice de rms, muestran que al agregar un sistema de disipación ADAS, la respuesta mejora con respecto al caso lineal, la tendencia observada es que conforme el umbral de cedencia es menor, la respuesta máxima es menor, excepto cuando el umbral de cedencia es $0.025C_s$, ya que, en este caso, la respuesta resulta ser mayor que para el caso lineal.

Al graficar los valores máximos de la respuesta pico a pico y en rms (figura 6.17 a y b), se observa que en el caso de los valores pico a pico existe una mejora en el comportamiento del edificio al agregar dispositivos disipadores; más aún, según la gráfica, el punto óptimo del umbral de cedencia se localiza cuando éste toma un valor de $0.050C_s$. Sin embargo, al observar la comparación de respuesta para diferentes umbrales de cedencia en rms (figura 6.17 b), se ve claramente que no hay tanta variación en los valores máximos reportados en rms; sin embargo, para este caso, la tendencia muestra que a medida que el umbral de cedencia es menor, menor también es la respuesta obtenida. Al observar las historias, se aprecia que, efectivamente, entre menor sea el umbral de cedencia, la respuesta mejora notablemente con respecto a la lineal; sin embargo, cuando el punto de fluencia de los disipadores tiene un valor correspondiente al $0.025C_s$, se observan crestas localizadas, en los que la respuesta obtenida para el caso plástico es mayor que la obtenida para el caso lineal.

En el mismo sismo de El Centro, sólo que cuando las rigideces laterales se comparten por mitades, si se observa la comparación de respuesta máximas en la figura 6.18 a y b, se aprecia que para los valores máximos pico a pico, el punto óptimo del umbral se obtiene cuando éste tiene un valor de $0.100C_s$; sin embargo, al comparar la respuesta en rms, es notorio que la tendencia es que a medida que el valor del punto de fluencia es menor, menor será también la respuesta. Al observar la historia completa de los cortantes en la base (figura 6.12), se ve claramente que esto es cierto, salvo en puntos localizados en la fase intensa del sismo, en los que la respuesta del caso inelástico es mayor que la respuesta del caso lineal.

Ahora, en el caso en el que los ADAS toman mayor porcentaje de rigidez lateral que los marcos, para el sismo de El Centro, las comparaciones de valores máximos presentadas en las figuras 6.19a y b muestran que el punto óptimo de los disipadores ADAS, en rms, se localiza entre $0.100C_s$ y $0.050C_s$, ya que son justamente estos dos valores los que presentan la menor respuesta.

Ya se había visto en las historias de cortantes (figura 6.13) que, efectivamente, la respuesta mejora al agregar los dispositivos disipadores con respecto al caso lineal, pero que aparecen puntos, en la fase intensa, en los que los valores para el caso inelástico resultan ser mayores que para el caso lineal; sin embargo, una vez que ha pasado la primera mitad del evento, después de los veinte segundos, se nota que al comparar la historia lineal contra cualquiera otra respuesta inelástica, siempre se obtienen valores menores para los casos no-lineales.

En general, para este sismo y con las proporciones de rigideces estudiadas, es posible afirmar que, de acuerdo con los resultados obtenidos en cuestión de cortantes, al adoptar el índice de rms, los valores máximos obtenidos para cualquiera de los casos de umbral de cedencia resultan menores que los que reportan los casos lineales, lo que indica que los disipadores son una buena opción para reducir la respuesta en cortantes.

Para el sismo de CU, al comparar las respuestas máximas obtenidas para los distintos puntos de fluencia de los disipadores, en el caso en que los marcos toman el mayor porcentaje de rigidez lateral, según se observó en la figura 6.20a y b. En valores pico a pico, la tendencia muestra que a media que menor es el umbral de cedencia mayor resulta ser la respuesta que se obtiene, y los casos inelásticos, siempre presentan respuestas mayores que el caso lineal. Sin embargo, se comparan los valores máximos en rms, se observa que la tendencia cambia radicalmente, ya que con este índice la tendencia es que a medida que el umbral de cedencia es menor, menor es también la respuesta, en particular resalta que para cuando el umbral de cedencia es $0.025C_s$, la respuesta es mucho menor que para cualquiera de los otros caso, inclusive el caso lineal.

En el mismo sismo de CU, pero cuando la rigidez que toman los ADAS es la mitad de la rigidez lateral la tendencia que se obtiene al graficar las respuestas máximas para los distintos umbrales de cedencia, figura 6.21 a y b, se aprecia que para valores pico a pico, la respuesta tiende a ser mayor, a medida que el umbral de cedencia es menor, y en todos los casos no lineales, la respuesta

máxima obtenida resulta mayor que para los casos lineales; no obstante, la respuesta en rms muestra que para todos los casos no lineales, excepto para cuando el punto de fluencia en $0.025C_s$, el comportamiento mejora; es decir, que la respuesta es menor; más aún, es notorio que en $0.050C_s$ es cuando mejor se comporta la estructura, si se utiliza el índice de rms. Lo anterior se puede constatar si se observa la historia completa de cortantes para este punto de fluencia (figura 6.15). Es notorio que la respuesta para el caso inelástico es mejor, con respecto al caso lineal, en especial en la fase intensa del sismo, entre los 40 y 65 seg; sin embargo, es cierto que existen algunos puntos en donde la respuesta del caso inelástico resulta mayor que la que se obtiene para el caso lineal.

En el caso en que los ADAS toman el 75 por ciento de la rigidez lateral, según lo visto en las figuras 6.22 a y b, es posible afirmar que en valores pico a pico la tendencia es que, a medida que el umbral de cedencia es menor, mayor es la respuesta máxima obtenida; no obstante, al observar los resultados obtenidos en rms, éstos muestran que la estructura se comporta prácticamente sin mejora alguna.

En el análisis hecho a este edificio con el sismo de CU '85, se pudo observar que al implementar disipadores de energía en la estructura no se encontraron mejorías dignas de consideración en la respuesta en cortantes. En valores pico a pico se vio que los cortantes para los casos con ADAS, comparados con las respuestas lineales resultaron siempre mayores. Se aplicó el índice rms para eliminar las crestas no representativas y se encontró que en los tres casos de

porcentajes de rigidez estudiados, las disminuciones obtenidas en cortantes no fueron mayores que el 1.6% (K_{ADAS} = 50%). Debido a ello, es posible afirmar que en este caso no se obtienen grandes beneficios en cortantes, al usar los dispositivos ADAS.

6.5 Desplazamientos

6.5.1 Valores máximos pico a pico

Al igual que en el caso de los cortantes, se grafican únicamente las historias de desplazamientos obtenidas en la azotea, para cada una de las distribuciones de rigidez estudiadas. Se comparan las respuestas obtenidas en cada caso de límites de fluencia analizado, con su correspondiente caso lineal, esto con afán de poder observar las diferencias en comportamientos obtenidas para cada uno de los umbrales estudiados.

Para complementar el análisis de la respuesta en desplazamientos se presenta un resumen, a manera de gráfica, de los desplazamientos máximos absolutos y relativos; pero únicamente en rms, ya que los valores pico a pico no se consideran un buen índice para evaluar la respuesta del edificio. Los resultados obtenidos en cada piso se agrupan de acuerdo con el umbral de cedencia, para poderlos comparar con el correspondiente caso lineal. Las historias de desplazamientos para los dos sismos analizados y los diferentes porcentajes de rigidez considerados en cada sismo se presentan de la figura 6.23 a la 6.28.

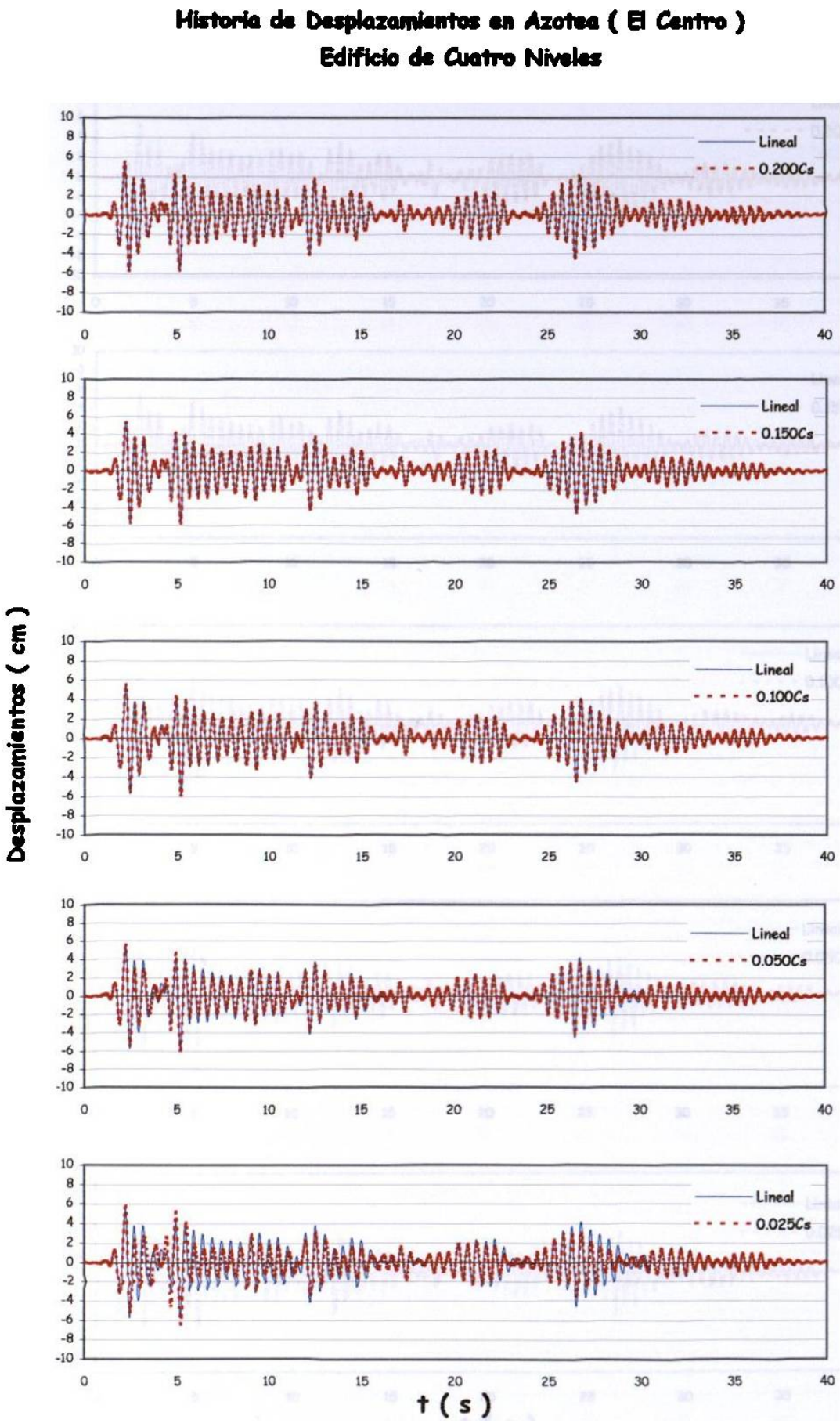

Fig. 6.23 Historia de desplazamientos en azotea (El Centro); K_{ADAS} = 25 %.

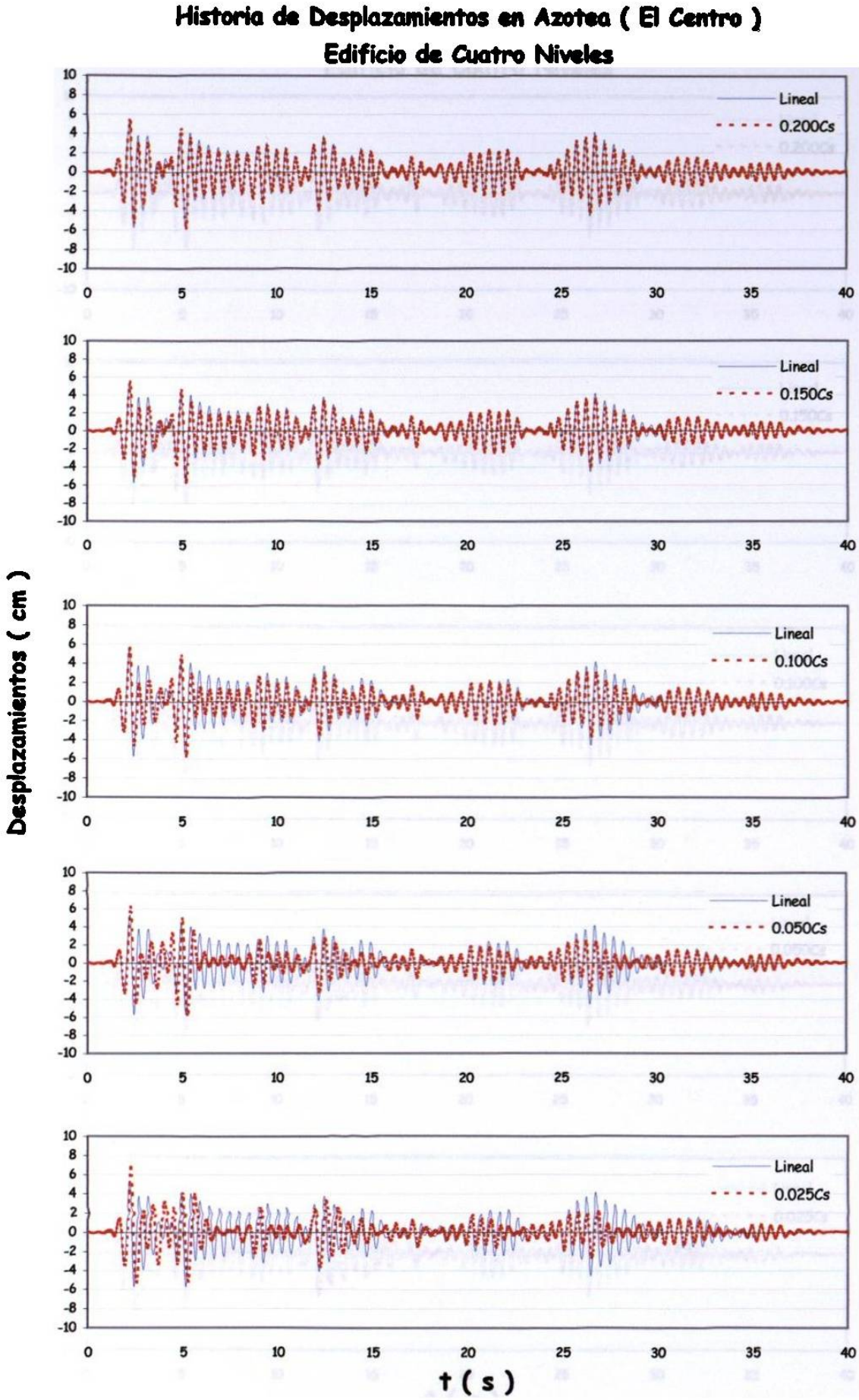

Fig. 6.24 Historia de desplazamientos en azotea (El Centro); K_{ADAS} = 50 %.

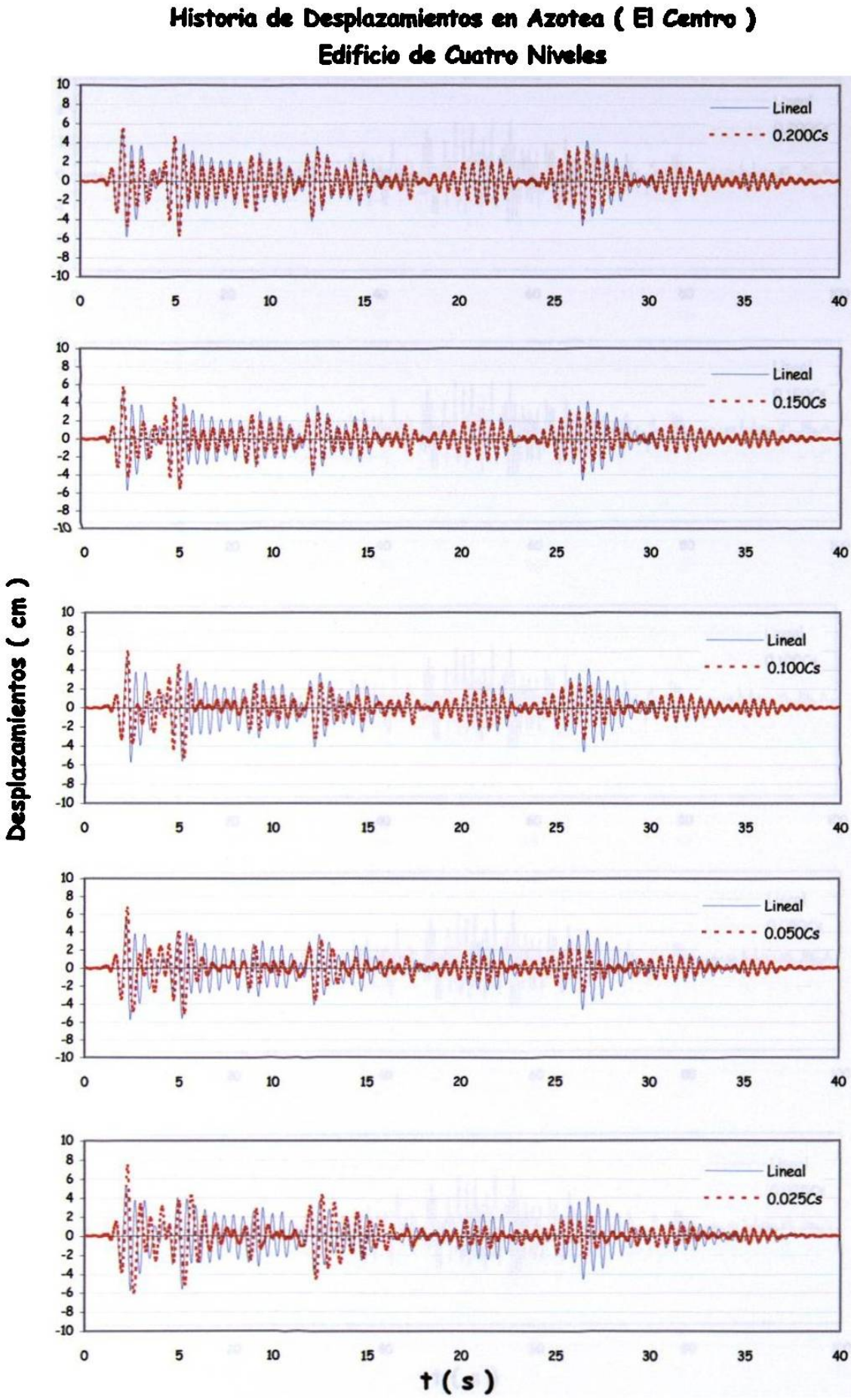

Fig. 6.25 Historia de desplazamientos en azotea (El Centro); K_{ADAS} = 75 %.