



Fig. 23(a).—Vista general



Fig. 23(b) —Vista de detalle mostrando el arrancamiento de un pilote de rozamiento.

Fig. 23.—TERREMOTO DE MÉXICO DE 1985: FOTOGRAFÍAS ILUSTRANDO EL COLAPSO DE UN EDIFICIO POR FALLO DE LA CIMENTACIÓN.

resistencia lateral elástica del orden de 0.20 W y muy rígidos, es decir con periodos cortos, $T < 0.5$ s, situados justo al lado de los edificios flexibles que se derrumbaron o sufrieron daños severos, sobrevivieron al terremoto sin daños serios. *** Esto no sorprende y está de acuerdo con el conocido principio conceptual del diseño sismorresistente de estructuras: utilicen estructuras rígidas en depósitos de suelo blando y estructuras flexibles en suelo duro (firme). Este concepto se reflejó y señaló como punto de gran importancia en las regulaciones sísmicas del UBC en 1982 a través del uso del llamado coeficiente numérico para resonancia emplazamiento-estructura, S. El valor de S varía de 1.0 a 1.5, siendo éste el valor máximo que se debería utilizar cuando la proporción entre T y el periodo característico del emplazamiento, T_e , es igual a 1.0, es decir cuando el edificio está en resonancia con el suelo. Aunque es posible decir que los valores del UBC para S no son adecuados (podrían ser mayores o menores), lo que es importante es el concepto de que la respuesta sísmica depende de T/T_e , y que el requerimiento UBC pretendió que T/T_e se calculara para que los diseñadores reconocieran que, para realizar un diseño eficiente, es necesario evitar respuestas sísmicas intensificadas (fuerzas y/o deformaciones) que pueden ocurrir cuando T/T_e tiende a 1.0, es decir cuando el suelo y la estructura entran en resonancia.

Por la misma razón es difícil justificar los cambios recomendados por la SEAOC 1988 [17] y adoptados como un método alternativo por el UBC 1988 [18] para la evaluación de S. El requerimiento de el UBC 1982 que relaciona el coeficiente S de la resonancia emplazamiento-estructura con la proporción T/T_e fue eliminado por la SEAOC, que ahora recomienda que S debería relacionarse sólo con las características del suelo. Esta recomendación ignora, y no señala como punto clave, la importancia de evitar lo más posible diseños de estructuras flexibles en suelos blandos y edificios rígidos en suelo firme. En el intento de mejorar el diseño sismorresistente, este cambio representa un paso hacia atrás.

Sistemas estructurales de edificios. La mayoría de los edificios dañados de media altura (hasta 15 pisos) tenían sistemas estructurales flexibles con pórticos rígidos de hormigón armado (algunos con vigas y muchos con losas aligeradas). La mayor parte del daño, tanto a nivel de elementos como a nivel estructural se produjo por fallos de tipo no dúctil. Existen dos razones principales para esto. La primera es que, en general, el comportamiento sísmico de edificios con estructura de pórticos rígidos es muy sensible al predimensionado y particularmente al detallado de la armadura de sus elementos y uniones y también a los aspectos de construcción (control de calidad del material y ejecución obras). Cualquier error en el armado y/o construcción de un apoyo y/o una de sus uniones (unión viga-apoyo) puede llevar a un fallo catastrófico. La segunda razón es la práctica mejicana en el diseño de estructuras de hormigón armado. Hasta el año 1985, las estructuras de pórticos rígidos de hormigón podían diseñarse para distintos niveles de ductilidad, representados en los códigos por el factor de ductilidad, Q, para el cual los pórticos de hormigón armado podían tener valores de 6, 4 y 2. El diseño para $Q=6$ requería que el pórtico tuviera una zona de plastificación bien definida, y que el hormigón fuera armado según las normas técnicas complementarias que eran muy similares a aquéllas de la ACI 318-71, Apéndice A, para pórticos rígidos dúctiles. Ingenieros mejicanos sentían que en la práctica era muy difícil satisfacer tan rigurosos requerimientos de ductilidad, y por eso diseñaron sus pórticos rígidos de hormigón armado utilizando un $Q=4$. Los requerimientos de armado para este $Q=4$ no eran muy diferentes de los requerimientos de diseño para cargas normales de gravedad, y como consecuencia resultaron elementos y estructuras prácticamente no dúctiles. Debido al gran número de fallos no dúctiles de estas estructuras con $Q=4$ durante el terremoto de 1985, el nuevo código mejicano ha disminuido el valor permitido de Q a 4, 3 y 2. Sin embargo, todavía está permitido el uso de estructuras de pórticos rígidos prácticamente no dúctiles con $Q=3$. Se considera que ésta no es una buena filosofía. La diferencia en la resistencia elástica requerida que resulta de un $Q=3$ en vez de un $Q=4$ no puede superar el efecto perjudicial de una proporción de ductilidad significativamente menor.

Separación de edificios adyacentes [25]. Muchos edificios en México sufrieron daños serios (Fig. 24) debido al martilleo de los edificios contiguos por falta de la adecuada separación, a pesar del requerimiento del código mejicano de 1976, mucho más estricto que el índice de desplazamiento relativo de pisos del UBC de 1982, calculado a través de un análisis elástico con fuerzas sísmicas específicas. Las separaciones de edificios recomendados por el UBC son inadecuadas. Esto ha sido confirmado por el considerable daño que se produjo debido a martilleo en el terremoto de Loma Prieta de 1989. El ATC ha reconocido ya esta insuficiencia y ha recomendado que la desviación lateral inducida por las fuerzas sísmicas especificadas en el diseño, se determine por análisis elástico, considerando que los edificios están fijados en la base, y que esta desviación aumenta multiplicando las fuerzas sísmicas por el factor de amplificación de desviación C_d . Aunque la SEAOC de 1988 y el UBC de 1988 especifican una limitación del índice de desplazamiento relativo de pisos, similar a la del UBC de 1982 ($\leq 0.04/R_u$, ó ≤ 0.005), también se recomienda que las separaciones entre edificios adyacentes, permitan un desplazamiento de

*** Algunos edificios con $T \leq 0.5$ s, se derrumbaron porque su resistencia lateral elástica era sólo igual o menor que la requerida por el código.