

Fig. 24 —COLAPSO DE DOS PLANTAS INTERMEDIAS POR MARTILLO DE EDIFICIOS ADYACENTES.

$(3/8)R_w$ veces el desplazamiento debido a las fuerzas sísmicas de cálculo. La razón fundamental para la elección de este factor de amplificación no está muy clara, ya que parece ser que las estructuras diseñadas para satisfacer la limitación de $0,04/R_w$ bajo las fuerzas sísmicas especificadas en el diseño, sufrirán desviaciones mayores que $(3/8)R_w$ veces el desplazamiento debido a dichas fuerzas, cuando estén sometidas a sacudidas del suelo importantes en un terremoto.

Se necesita una revisión urgente de las regulaciones del UBC acerca de los desplazamientos aceptables entre pisos y la separación de edificios. Con el fin de evitar el martilleo de edificios altos contiguos, la separación que se requeriría podría llevar a serios problemas en el aspecto económico, habitualmente muy caro, de los terrenos actuales. Así parece que, para evitar daño entre edificios adyacentes será necesario desarrollar otras regulaciones o requerimientos, aparte de las únicas especificaciones de separación adecuada como, por ejemplo, incluir la posibilidad de martilleo en el diseño y armado de edificios contiguos. Una de las regulaciones de ese tipo debería ser que dos edificios contiguos, con separación insuficiente, hayan de tener los suelos de los pisos al mismo nivel.

Los problemas que presenta identificar de modo real valores aceptables de los índices de desplazamiento entre pisos, en diferentes estados límite y definir la adecuada separación entre edificios adyacentes, requiere urgentemente una mejor solución que las que se ofrecen en los códigos actuales. Se deberían investigar inmediatamente las soluciones económicas para reajuste y modernización de edificios adyacentes que no tienen la adecuada separación.

EL TERREMOTO DE SAN SALVADOR DEL 10 DE OCTUBRE DE 1986 [26]. Aunque éste fue un terremoto de moderada magnitud ($M_s=5.4$), debido a su proximidad a la ciudad de San Salvador (prácticamente en el borde sur de la ciudad) y a su foco poco profundo (unos 7 km), produjo grandes daños y causó un número relativamente alto de víctimas: aproximadamente 1200 muertos y casi 10000 heridos. Para la economía del país, ya en malas condiciones a causa de la guerra civil, este terremoto de magnitud moderada tuvo consecuencias devastadoras: más de 1,5 miles de millones de dólares USA en pérdidas (más de un cuarto del producto interior bruto del Salvador) y 100000 personas sin hogar. Lo que sigue son las lecciones principales que se aprendieron de este terremoto.

Movimientos del suelo registrados. Un total de nueve registros de movimientos fuertes, cada uno de 3 componentes, se obtuvieron de los acelerógrafos instalados en siete estaciones. Todas las estaciones estaban dentro de un radio de 6 km del epicentro. Las aceleraciones pico registradas de las componentes horizontales se encontraban en el intervalo entre 0,32 y 0,72 g. Las componentes verticales de la aceleración del suelo fueron muy altas y variaban entre 0,15 y 0,46 g. Shakal et al.[26] han presentado una detallada evaluación y discusión de los

datos registrados. Las aceleraciones registradas en el Centro de Investigaciones Geotécnicas (CIG) se muestran en la Fig. 25. La aceleración pico horizontal en la dirección E00W era 0,69 g. Los picos de velocidad y desplazamiento calculados para este registro son 80 cm/s y 11,9 cm respectivamente. El desplazamiento pico máximo calculado es 17,8 cm para el registro obtenido en el Instituto Geográfico Nacional. El registro del CIG se utilizará más tarde para mostrar que la aceleración pico no es un parámetro fiable para estimar el potencial de daño de un terremoto. Se demostrará que el potencial de daño de este registro era pequeño porque la duración del movimiento fuerte fue muy corta, unos tres segundos.

Los movimientos del suelo registrados durante este terremoto son muy importantes, por la información que proporcionan sobre las características de movimientos fuertes a distancias muy pequeñas de la fuente del terremoto. Existen muy pocos datos disponibles de este tipo.

Efectos geotécnicos. El terremoto principal causó varios centenares de deslizamientos en un área de más de 200 km. También produjo desprendimientos de rocas. Otros tipos de fenómenos observados incluían reptación, agrietamientos y compactación diferencial y asentamientos. Las condiciones geológicas locales y del suelo (perfil y topografía) afectaron a la severidad de los movimientos del suelo y, como consecuencia, al daño en la ciudad entera. El periodo predominante del lugar se encontraba en el intervalo de 0,5 a 1,0 segundos.

Comportamiento de edificios. Los edificios sufrieron graves daños en toda la ciudad. Aunque no se aprendió ninguna lección nueva, el daño observado enfatizó las siguientes lecciones ya conocidas:

- Una construcción defectuosa, consistente en mal control de calidad de materiales, mala ejecución de obra y deficiencias en el detalle y colocación de armaduras, fueron causas comunes de serios daños.
- Es importante considerar el periodo predominante probable de los movimientos del suelo en el cálculo de un edificio e intentar prevenir que la respuesta del edificio pueda entrar en resonancia con el suelo.
- Es necesario evitar los efectos torsionales lo más posible (Fig. 26).
- Los edificios con sistemas estructurales basados en el uso de pantallas de cortante, se comportan mejor que los edificios que utilizan sistemas estructurales de pórticos rígidos (Fig. 27).
- Es importante evitar la creación de condiciones de soportes cortos en estructuras de pórticos rígidos, evitando el uso de rellenos de fábrica a altura parcial.
- Es necesario modernizar o derribar los edificios que han sido condenados por su mal comportamiento en terremotos anteriores.

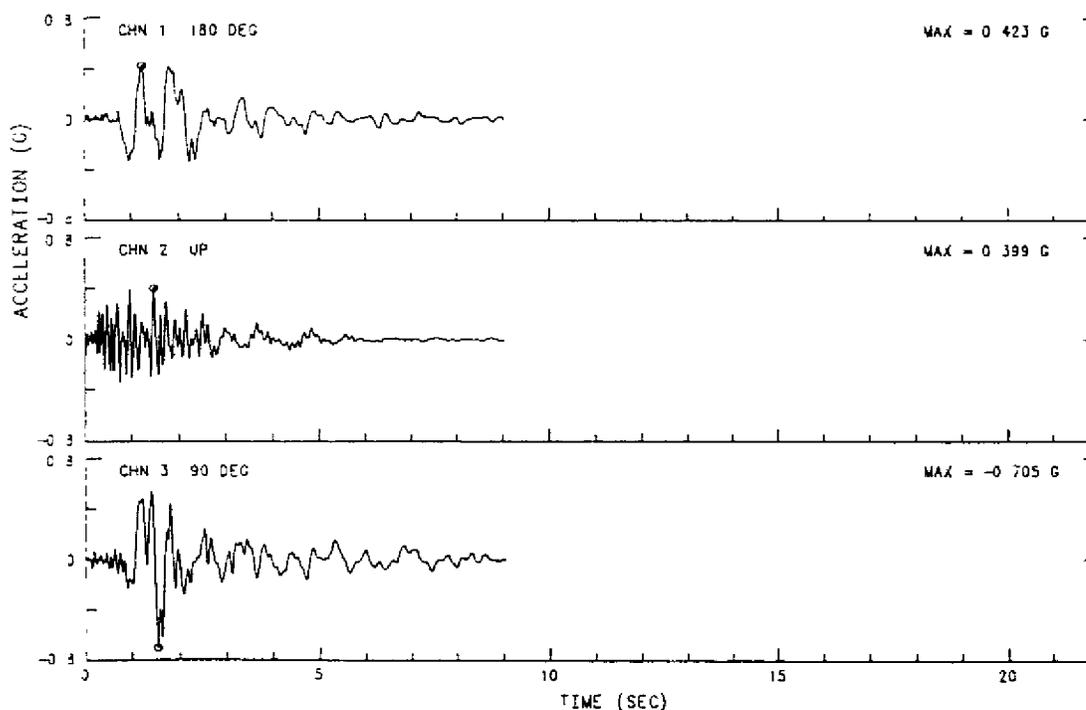


Fig. 25.—TERREMOTO DE SAN SALVADOR DE 1986. ACCELEROGRAMAS REGISTRADOS EN EL CENTRO DE INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS (CIG) (Shakal et al. [26]).



Fig. 26—FOTOGRAFÍA
ILUSTRANDO EL COLAPSO
DE UNA PLANTA DEBIDO
A EFECTOS TORSIONALES

EL TERREMOTO DE WHITTIER NARROWS DEL 1 DE OCTUBRE DE 1987 [27]. Aunque el número de muertos (3) y heridos (1350) era relativamente pequeño, este terremoto de magnitud moderada ($M_L=5.9$) generó el mayor conjunto de datos de movimientos fuertes jamás obtenido antes. También causó considerable trastorno social. Los movimientos del suelo, originados por este terremoto testificaron y proporcionaron importante información sobre el comportamiento sísmico de edificios de fábrica no armados en la ciudad de Los Angeles. Los edificios habían sido reacondicionados conforme a un decreto promulgado en febrero de 1981. Aproximadamente 1100 edificios de ese tipo habían sido arreglados antes de que ocurriera el terremoto y, aunque los movimientos del suelo que éste produjo se consideraban moderados, varios edificios sufrieron daños. Un estudio de Deppe [27] indica que 85 edificios completamente preparados sufrieron daños, 15 de los cuales daños fuertes. El daño observado indica la necesidad de mejorar ciertos aspectos de las normas de diseño del código para reacondicionar edificios de este tipo. Como informan Moore et al. [27], los daños que sufrieron los edificios de fábrica modernizados (y también los que no lo habían sido) no produjeron pérdida de vidas o lesiones graves, pero los ladrillos que cayeron debido a estos daños sí presentaron tal peligro.

Los rasgos principales de este terremoto, que se utilizarán más adelante para valorar las implicaciones de las lecciones aprendidas, son los siguientes.

Movimientos del suelo registrados. Este terremoto disparó más de 250 acelerógrafos. La máxima aceleración horizontal fue 0,63 g, registrada en el sótano del edificio de 10 pisos que se muestra en la Fig. 28, situado cerca de Uptown Whittier a una distancia de 10 km del epicentro. La estación de Cedar Hill Nursery en Tarzana, situada a 44 km del epicentro, registró un aceleración pico horizontal de 0.62 g. Este valor es considerado anómalamente alto. No se ajusta a ninguna curva de atenuación disponible.

Registros de Bright Avenue 7215 en Whittier. La Fig. 29 muestra las tres componentes de la aceleración registradas en el sótano del edificio de hormigón armado de 10 pisos de la Fig. 28. A pesar de la gran intensidad de las dos componentes horizontales (0,63 y 0,40 g) el edificio no sufrió ningún daño visible. La Fig. 29 muestra también los espectros de aceleración para la componente horizontal 90° . Del análisis de estos espectros y la