la excepción de un hotel de 9 pisos y algunos edificios altos que se estaban construyendo, ningún edificio de más de cinco pisos sobrevivió al terremoto. Por otro lado, en Kirovakan, de un total de 180 edificios con pórticos prefabricados de hormigón armado, de los cuales la mayoría tenía cinco pisos o menos, no colapsó ni tuvo que derribarse ninguno.

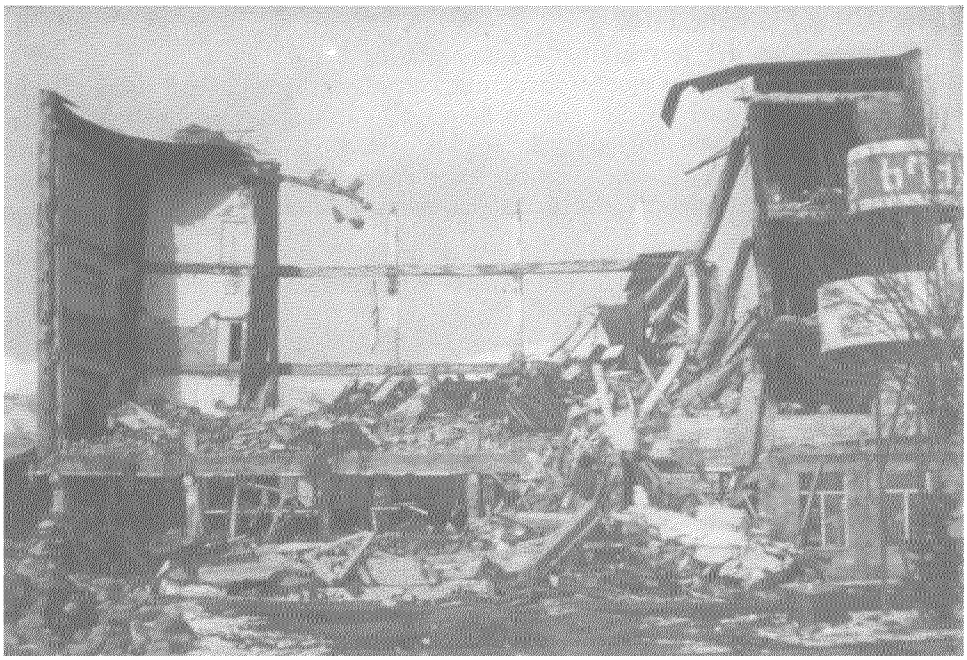

Fig. 32 —COLAPSO DE UN EDIFICIO CON PÓRTICO PREFABRICADO DE HORMIGÓN ARMADO EN SPITAK [28].

Un análisis de los porcentajes de edificios dañados sugirió que, en Leninakan, este porcentaje crecía con el incremento en el periodo del edificio, mientras en Kirovakan el porcentaje bajaba con el crecimiento del periodo [28]. Esta idea es consecuente con la conclusión que, debido a la geología local, los movimientos del suelo en Leninakan tuvieron un periodo predominante más alto que los de Kirovakan. Los rasgos principales mencionados, movimientos del suelo registrados, efectos geotécnicos y comportamientos de estructuras, señalan claramente la importancia de la geología local (condiciones del emplazamiento), cuando se tratan de establecer los terremotos de diseño y seleccionar sistemas estructurales; la necesidad de zonación fiable y microzonación de áreas urbanas y la importancia de proporcionar ductilidad, por medio del predimensionado y detallado adecuados de elementos y de la buena práctica de la construcción (control de calidad de materiales y ejecución de obra).

Comparando el comportamiento entre los paneles y los pórticos prefabricados de hormigón armado, y ya que en ambos tipos de construcción la calidad de las construcciones era muy mala, es evidente que la respuesta sísmica de la estructura aporticada es más sensible al comportamiento de las uniones que al sistema de muros totalmente prefabricados.

EL TERREMOTO DE LOMA PRIETA DEL 17 DE OCTUBRE DE 1989. Las informaciones que siguen, sobre el terremoto de Loma Prieta, representan un resumen del material presentado en una sesión pública acerca de las investigaciones preliminares del terremoto, celebrada el 25 de octubre del 1989 en el campus de Berkeley de la Universidad de California, y publicado en el *Report No UCB/EERC-89/14*, de octubre de 1989, por Earthquake Engineering Research Center en la Universidad de California, en Berkeley [12].

El epicentro de este terremoto, situado en las Montañas de Santa Cruz, estaba a unos 16 km al noreste de Santa Cruz, 30 km al sur de San José y casi 100 km al sur de San Francisco y Oakland (Fig. 1). La magnitud en la escala de Richter M_L, se valoró en 7, y la magnitud media de ondas superficiales M_s en 7,1. Aunque la sacudida fuerte duró sólo unos segundos (menos de 12 segundos en la región epicentral y menos de 7 segundos en el Area de la Bahía), el terremoto produjo daños en un área de 8.000 km^2, causando pérdidas económicas, tan sólo por daños físicos, estimadas en más de 8 mil millones de dólares USA. Aunque el número de muertos fue sorprendentemente

bajo, la mayor pérdida de vidas ocurrió a casi 100 km del epicentro, en el hundimiento de cerca de 1,5 km del tablero superior del Cypress Viaduct en Oakland (Fig.33).

Los movimientos del suelo generados por este terremoto se registraron por instrumentos de movimientos fuertes en más de 130 estaciones. El instrumento más cercano al epicentro estaba en la Estación Corralitos, a 7 km del epicentro (Fig. 1) y quizás a sólo 1 km de la falla. En esta estación, la aceleración pico horizontal registrada fue 0,64 g, y la vertical 0,47 g. La estación más lejana que registró movimientos fuertes del suelo producidos por este terremoto fue la de Bodega Head Doran Beach estaba a 175 km del epicentro. La aceleración pico horizontal en esta estación fue 0,04 g y la vertical 0,02 g.

Lecciones aprendidas del terremoto de Loma Prieta del 17 de octubre de 1989. Cuando nos proponemos juzgar las lecciones que nos enseñó este terremoto, debemos tener en cuenta que fue un terremoto de M_S=7,1, cuyo epicentro estaba a casi 100 km de San Francisco y Oakland. Los movimientos del suelo que se registraron pueden considerarse como un moderado ensayo de diagnóstico para estructuras situadas en estas ciudades: en el Area de la Bahía seguramente ocurrirán terremotos más grandes y más devastadores.

Los rasgos más importantes (características) de los efectos de este terremoto pueden resumirse en:

1. La colección más grande de datos bien registrados de un terremoto de $M_S \geq 7,0$ generó muchos registros de movimientos fuertes. Se obtuvieron registros de las respuestas de más de 57 estructuras (53 edificios, 2 puentes y 2 presas).
2. La duración de los movimientos del suelo fue corta (<12 s) para un terremoto de M_S=7,1.
3. Las variaciones en las características dinámicas de los movimientos del suelo en el Area de la Bahía, e incluso en estaciones de registro situadas a la misma distancia del epicentro, revelan considerables efectos de las condiciones del suelo (perfil y topografía).
4. Hubo daños extensos inducidos por licuefacción en zonas de relleno de la costa de la bahía tanto en el área de San Francisco como en el de Oakland/Alameda.
5. Hubo un gran número de deslizamientos y desprendimientos.
6. Hubo gran cantidad de daños en el sistema de transporte, lo que tuvo como consecuencia el cierre de varias autopistas y carreteras principales. Este tipo de daños incluye también el hundimiento dramático del viaducto de dos niveles, Interstate 880 Cypress Street Viaduct, una sección del Bay Bridge y daños serios causados en otros puentes y pasos superiores.
7. Los edificios de Marina District en San Francisco se hundieron como consecuencia de la fuerte sacudida, la licuefacción del suelo y los inadecuados sistemas cimiento-superestructura.
8. Un gran número de casas sufrió daños.
9. Mucha gente fue trasladada de sus casas.
10. Hubo grandes pérdidas económicas, consecuencia del cese de funcionamiento (trabajo continuo) de instalaciones, por el daño en sus estructuras, en el caso de líneas vitales, y en particular a causa de daño en componentes y contenidos no estructurales, en el caso de instalaciones industriales y edificios.

Aunque ninguna de estas características se puede considerar inesperada, enfatizan la importancia de ciertas lecciones que se habían aprendido en terremotos anteriores. El terremoto de Loma Prieta podría llamarse "el terremoto de ingenieros geotécnicos y de transporte", por el gran número de autopistas, carreteras y puentes que sufrieron daños [y fallos espectaculares de algunos de estos puentes (Fig. 34) y viaductos de dos niveles (Fig. 33)], el impacto económico de estos deterioros, los muchos fallos relacionados con efectos geotécnicos, y la riqueza de registros de movimientos fuertes que permitirán el estudio de estos efectos. Sin embargo, estos rasgos también enfatizan que la mayor amenaza actual para la vida y la seguridad en áreas urbanas, asumiendo movimientos del suelo moderados, la representan las instalaciones peligrosas existentes, incluyendo no sólo edificios sino también otras instalaciones como viaductos y puentes. Además, se resalta la necesidad de considerar los aspectos funcionales de las instalaciones durante e inmediatamente después del terremoto. A continuación ofrecemos una breve discusión sobre los aspectos principales mencionados anteriormente.

Los registros de 131 estaciones [38 manejados por el U.S. Geological Survey y 93 manejados por el California Strong Motion Instrumentation Program (CSMIP)] están ya disponibles. Se espera que puedan estarlo otros registros obtenidos por grupos privados, la mayoría de ellos de instalaciones privadas instrumentadas. No cabe duda de que el análisis de los numerosos registros será tremendamente útil para aumentar nuestros conocimientos sobre las características de los movimientos del suelo generados por terremotos, la fiabilidad de las leyes de atenuación presentadas actualmente, y la importancia de las condiciones locales del emplazamiento (perfil del suelo y topografía) para las características dinámicas del movimiento. Desafortunadamente, no existen prácticamente registros de instrumentos down-hole, datos que son de gran interés para aumentar nuestros conocimientos sobre los efectos de las condiciones locales. Es necesario mejorar la planificación e instalación de instrumentos down-hole. El estudio de los registros obtenidos por los instrumentos situados en más de 57 estructuras tendrá gran interés en la mejora del diseño sismorresistente y construcción de instalaciones. Existe la esperanza de que habrá fondos