

CAPÍTULO 9

COMENTARIOS FINALES

Los daños más relevantes durante el sismo del 15 de junio de 1999 se concentraron en hospitales, viviendas, escuelas y monumentos históricos. La intensidad del daño en los primeros tres casos fue moderada. No obstante, se registraron algunos colapsos de viviendas en las ciudades de Puebla y San Mateo Ozolco, fundamentalmente. Dadas las características y severidad del daño, conviene destacar el comportamiento de hospitales y escuelas por su importancia para la protección civil así como el de viviendas atendiendo a su conocida vulnerabilidad (viviendas de mampostería simple y de adobe). El caso de los monumentos presenta un especial interés por su valor estético y arquitectónico, así como por su relevancia histórica.

Con relación a los hospitales, llama la atención el tipo y severidad del daño, sobre todo en aquellas instalaciones que fueron, presumiblemente, diseñadas estructural y arquitectónicamente, así como construidas, siguiendo criterios modernos. En los dos casos descritos en el informe se advierte la construcción de elementos divisorios en contacto con la estructura sismorresistente, lo que se tradujo en daño de tipo no estructural e incluso estructural. Los daños fueron considerados por las autoridades de los hospitales como suficientemente graves para ordenar la evacuación, en un caso parcial y en otro total. Aquí conviene recordar que los hospitales, así como toda infraestructura fundamental para atender emergencias, deben ser diseñados, tanto en su estructura como en sus instalaciones y componentes, de modo que permanezcan funcionando en su totalidad ante demandas de sismos moderados y del sismo máximo esperado en esa zona o región vecina. Esto implica que la evacuación de los hospitales y centros de salud tenga una probabilidad mínima, casi nula, de ocurrir. Si bien una buena parte de los reglamentos mexicanos pretende cumplir con los objetivos de desempeño citados arriba mediante el llamado *factor de importancia*, no es claro el efecto de este factor en la respuesta ante demandas sísmicas menores que las de diseño. Por lo general, en la práctica establecida de diseño de hospitales se revisan las capacidades resistente y de deformación de la estructura ante el sismo de diseño, pero no se estudia explícitamente las demandas ante sismos moderados y la consiguiente capacidad estructural.

Recientemente se han desarrollado metodologías de evaluación de la vulnerabilidad de hospitales, así como guías para su rehabilitación; estas últimas dentro del programa *Hospital Seguro* de la Organización Panamericana de la Salud. Sin embargo, en particular las guías de rehabilitación son todavía indicativas y cualitativas. Dado el riesgo sísmico en que está un gran número de hospitales y centros de salud en México, demostrado por el nivel de daño registrado en el sismo de Tehuacán, es indispensable iniciar la elaboración y/o adaptación de guías de rehabilitación que sean acordes a las condiciones de nuestro país. Para ello se recomienda adoptar criterios de diseño basados en el desempeño, que no sólo consideren el sistema estructural sino las instalaciones y contenido. Es decir, en el diseño se debe considerar al hospital como un *todo*. El proceso de diseño por desempeño de hospitales conlleva una etapa, necesaria, de evaluación técnica y económica de la respuesta esperada. Además, conviene revisar la idoneidad del actual *factor de importancia* en lograr los objetivos de desempeño ya planteados.

El comportamiento de varias de las escuelas visitadas fue satisfactorio; sin embargo, el de otras más evidenció una vulnerabilidad alta, ya sea por deficiencias constructivas y/o de diseño estructural. Ciertamente no hay lecciones que aprender; los daños observados se han atribuido a defectos y problemas ya conocidos. Aún más, también son ya conocidos los criterios a seguir para rehabilitar las escuelas de modo de reducir su vulnerabilidad. De manera análoga a los hospitales, las escuelas para niños, adolescentes y discapacitados, deben satisfacer objetivos de desempeño más estrictos, e incluso amplios, que para estructuras comunes, como oficinas o viviendas. Aquí vale también la serie de recomendaciones hechas para hospitales de emprender programas de reducción de la vulnerabilidad de la infraestructura escolar del país.

El caso de las viviendas es similar al de las escuelas, en tanto que el tipo de los daños observados es consistente con el registrado en el pasado. Una vez más, el sector de viviendas más afectado fue el construido con muros de mampostería simple, que incluye los de adobe. En este campo existe una muy vasta información y experiencia técnica en el análisis de la vulnerabilidad y la rehabilitación estructural (reparación y refuerzo). Es recomendable adaptar esta información y experiencia lo antes posible, así como difundirlas, tanto entre las autoridades de protección civil como entre la población que vive en zonas de alto y moderado peligro sísmicos. Adicionalmente a este apoyo, se deberán desarrollar programas de escala controlada (programa piloto) en comunidades rurales. En estos esfuerzos es evidente la indispensable participación de autoridades, universidades y colegios de profesionistas locales. El programa debe contemplar la caracterización y análisis de vulnerabilidad, la reducción de la misma mediante rehabilitación de la vivienda, así como proyectos específicos de capacitación y evaluación de la población que participará en las actividades de construcción. Por otro lado, en lo que respecta a la vivienda de interés social, se detectó la necesidad de contar con guías de evaluación del daño y de rehabilitación. Análogamente al ejemplo anteriormente expuesto, la mayor parte de la información técnica está disponible.

El daño más destacable, por su cantidad e intensidad, fue en monumentos históricos. No obstante la gran difusión que ha recibido, conviene recordar que en sismos pasados su comportamiento ha sido comparable. Es decir, los daños no son exclusivos de este sismo. Como se indicó en su oportunidad, el daño se debió a las intrínsecas debilidades de materiales y estructuración de los monumentos históricos; a ellas, sin duda, contribuyeron el intemperismo y un mantenimiento inadecuado. Se debe reconocer que en la rehabilitación de los monumentos históricos no es posible del todo aplicar soluciones generales; aún más, el enfoque en muchos edificios debe ser casuístico. Sin embargo, lo anterior no cancela la conveniencia de contar, aunque de modo cualitativo, con propuestas de rehabilitación que hayan demostrado un comportamiento satisfactorio. Al respecto, y con fundamento en las observaciones hechas durante los recorridos, conviene identificar las técnicas que han sido empleadas en México, así como evaluar su idoneidad y clasificarlas según ella. Esto facilitará la toma de decisiones al estar apoyados en datos técnicos robustos. Asimismo, proceder de esta manera redundará en el uso más eficiente de los recursos económicos. La evidencia de sismos pasados muestra la recurrencia de daño en los monumentos históricos.

En la rehabilitación estructural de monumentos históricos en el pasado se ha aceptado, implícitamente, que los monumentos sean intervenidos cada vez que sean dañados. Sin embargo, estas intervenciones, aunque procuran mantener la estética y el concepto arquitectónico, son limitadas en cuanto a mejorar las características estructurales. Esto se traduce a que tras cada sismo de similar intensidad o superior que los dañe, los monumentos sean restaurados con los consecuentes costos. Con base en sismos históricos y presentes, la zona de Puebla-Oaxaca se ve sujeta a sismos similares al del 15 de junio cada 20 a 30 años. Si, en contraste, se aceptara una intervención en los monumentos que mejorara sustancialmente sus características estructurales, se incrementaría la *utilidad* de la inversión, ya que la tasa de daños en el tiempo disminuiría. Los recursos que se ahorrarían en los años futuros al no ser necesaria una restauración tan amplia se podrían destinar a programas de reducción de la vulnerabilidad de las viviendas, por ejemplo. Este enfoque no significa sacrificar el valor estético del monumento a costa de incrementar la seguridad. Si bien las intervenciones serían incluso explícitas, se deberá buscar que su impacto visual y constructivo sea el menor posible. En esta familia de técnicas estarían algunas discutidas en el cuerpo del informe, como son la instalación de tensores entre arranques de arcos y bóvedas o de zunchos y anillos de confinamiento para limitar los desplazamientos horizontales relativos.

Daños en algunas estructuras, en ciudades como Puebla, por ejemplo, se pueden explicar por *efectos de sitio* al ser modificadas las características del sismo por estratos de suelo blando o por rellenos artificiales. Es obvia, entonces, la conveniencia de procesar, en su caso, o bien desarrollar un trabajo para zonificar, sísmica y geotécnicamente, las poblaciones más relevantes. En esta misma dirección se debe caracterizar con detalle los movimientos sísmicos en la cúspide de la Pirámide de Cholula, con objeto de rehabilitar adecuadamente la Iglesia de Nuestra Señora de los Remedios.

Si bien, como se señaló al inicio de este trabajo, la información recabada y presentada sobre este sismo no es exhaustiva, sí permite identificar tipos e intensidad de daños que son considerados característicos en la

zona afectada. Del análisis de ellos se aprecia una clara diferencia, sobre todo en magnitud y consecuencia, de aquéllos afirmados por algunos medios de comunicación y por autoridades locales. El sismo de Tehuacán del 15 de junio fue un claro ejemplo de la tendencia a sobrestimar la intensidad de los daños. En ocasiones, esto se puede atribuir a la premura con que se respondió ante la emergencia; en otras, a la dificultad o poco cuidado en discriminar los daños que fueron causados directamente por el sismo de aquéllos previos que habían sido provocados por un mantenimiento nulo o inadecuado, asentamientos, sismos u otras sobrecargas.

La evaluación del impacto económico de los sismos en la región y en el país es un ejercicio que no se ha realizado de manera sistemática y organizada en México. Se recomienda iniciar con estos ejercicios tomando el caso del sismo de Tehuacán. Dado que las consecuencias fueron en términos relativos, moderadas (tanto en pérdidas económicas directas como indirectas), la cuantificación y valuación de los daños debe ser relativamente fácil. Es altamente conveniente la aplicación de metodologías desarrolladas para el efecto, como la elaborada por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe de la Organización de Naciones Unidas.

Esfuerzos como el anterior se deben realizar también para eventos pasados para los cuales exista información completa y suficiente, para servir como base de extrapolación para escenarios de macrosismos futuros, así como para analizar los resultados de actividades mitigación y para proponer planes preventivos de reducción de vulnerabilidad. Estos últimos tenderán a minimizar las pérdidas esperadas para el país.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Auvinet, G. (1976). "Puebla, Pue.", Memorias de la VIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Guanajuato, Gto., Vol. 2, pp. 183-210.
- Azomoza, G., Vera, A. y Reyes, L. (1998). "Zonificación geotécnica para el área urbana del valle de Puebla", Memorias de la XIX Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Puebla, Pue., Vol. 1, pp. 67-74.
- Chávez-García, F.J., Cuenca, J., Lermo, J. y Mijares, H. (1995). "Seismic microzonation of the city of Puebla, Mexico", Proceedings of the Third International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, Vol. 2, pp. 545-548.
- Departamento del Distrito Federal (DDF, 1987). "Normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de mampostería", Gaceta Oficial del Departamento del D.F., 28 de septiembre de 1987, 21 pp.
- Departamento del Distrito Federal (DDF, 1996). "Normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de concreto", Gaceta Oficial del Departamento del D.F., 25 de marzo de 1996, 68 pp.
- Fundación ICA (1988). "Experiencias derivadas de los sismos de septiembre de 1985", Editorial Limusa, 133 pp.
- Gobierno Constitucional del Estado de Puebla (GCEP, 1994). "Reglamento de construcciones para el municipio de Puebla", Periódico Oficial del Estado de Puebla, 22 de abril de 1994, 182 pp.
- Gutiérrez, C. (1999). Comunicación personal.
- López, A. (1999). Comunicación personal.
- López, B., Quaas, R., Ruíz, R., Ortega, M., Almora, D. y Vázquez, R. (1999). "Red de Observación Sísmica del CENAPRED. Registros obtenidos durante 1998", Cuaderno de Investigación, CENAPRED, 139 pp.
- Meli, R. (1998). "Ingeniería estructural de los edificios históricos", Fundación ICA, 220 pp.
- Ordaz, M. (1999). Comunicación personal.
- Pestana-Nascimento, J.M., Mendoza, M.J., Mayoral, J.M., Moss, R.E.S., Sancio, R.B., Seed, R.B., Bray, J.D. y Romo, M.P. (1999). "Preliminary report on the geotechnical engineering aspects of the June 15 and June 21, 1999 Mexico earthquakes of the churches", Web site: www.eerc.berkeley.edu.
- Romo, M.P. y Ovando, E. (1995). "Zonificación sísmica y geotécnica. Estado del Arte", Memorias del X Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Guadalajara, Jal., Vol. 4, pp. 558-614.
- Ruiz, J., Zepeda, J.A., Alcocer, S.M. y Meli, R. (1994). "Reparación y refuerzo de una estructura tridimensional de mampostería confinada de dos niveles a escala natural", Memorias del IX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, octubre-noviembre, Zacatecas, Zac., Vol. 2, pp. 596-605.
- Singh, S.K., Ordaz, M., Pacheco, J.F., Quaas, R., Alcántara, L., Alcocer, S., Gutiérrez, C., Meli, R., Ovando, E., et al. (1999). "A preliminary report on the Tehuacan, Mexico Earthquake of June 15, 1999 (Mw=7.0)", *Seismological Research Letters*.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. Roberto Meli los comentarios y revisiones a este informe. Asimismo se reconoce el apoyo de los distintos funcionarios del Sistema Nacional de Protección Civil, ingenieros residentes y personal encargado, en general, que contribuyeron al buen desarrollo de las visitas. En la siguiente lista se tratan de incluir a todos ellos. De antemano una disculpa por las inevitables omisiones.

Ing. Gabriel Maldonado Velázquez; recorrido por el Hospital San Alejandro del IMSS, Puebla
Ing. José Luis Galeazzi Birra; Presidente Municipal, Atlixco, Puebla
Ing. Raúl López; estudio inicial de mecánica de suelos del Hospital San Alejandro del IMSS, Puebla
Ing. Roberto Sánchez Trejo; revisión estructural del Hospital San Alejandro del IMSS, Puebla
Ing. Saúl Cruz Roa; INFONAVIT, México D.F.
Ing. Sergio Martínez Romo; Jefe de Conservación de la Zona 6, Hospital San José del IMSS, Puebla
Ing. Víctor Manuel Méndez Huerta; Jefe de Conservación y Apoyo Operativo de la Zona 7, Hospital de Traumatología y Ortopedia del IMSS, Puebla
Lic. Anselmo Sotelo; Protección Civil del Estado de Morelos
Lic. Jorge Peimenet; Protección Civil del Estado de Morelos
Profr. Guillermo Melgarejo Palafox; Director del Sistema Estatal de Protección Civil, Puebla
Profra. María Luisa Hernández Quiroz; Directora de la Escuela Primaria Rural Federal Miguel Negrete, San Mateo Ozolco, Puebla
Sr. Arturo Tapia Lezama; Coordinador de Bomberos, Atlixco, Puebla
T.L. Carlos Gómez Pérez; Coordinador Municipal de Protección Civil, Atlixco, Puebla