

## VULNERABILIDAD FISICA Y FUNCIONAL DE HOSPITALES

Ing. Vanessa Rosales  
Organización Panamericana de la Salud (O.P.S.)  
Programa Preparativos para Situaciones de Emergencia y  
Coordinación del Socorro en Casos de Desastre (P.E.D.)  
Oficina Subregional para América del Sur  
Quito, Ecuador

### RESUMEN

Se presenta la importancia de los hospitales como estructuras vitales que deben mantenerse en operación en caso de la ocurrencia de un evento sísmico, con una descripción de algunas de las diferentes metodologías que pueden utilizarse para la valoración de su vulnerabilidad estructural y funcional, incluyendo una referencia al método de energía. Además, se proponen recomendaciones generales que deben tenerse en cuenta para el diseño de este tipo de edificaciones.

### EFFECTOS DE LOS TERREMOTOS EN HOSPITALES

Durante e inmediatamente después de la ocurrencia de un terremoto, la primera prioridad es salvar vidas y proporcionar asistencia a los heridos. Los hospitales juegan un papel determinante dentro de los servicios médicos de emergencia que son movilizados. Sin embargo, desde el punto de vista de su estructura, muchos hospitales en América Latina son antiguos y han sufrido diversas modificaciones o ampliaciones en razón de la demanda de sus servicios; otros son contemporáneos y cuentan con equipamiento moderno y atractivos diseños arquitectónicos, pero su diseño no contempla la aplicación de previsiones que les permitan resistir terremotos de una forma aceptable.

Un hospital es una elevada inversión para un país, tanto social como económica. El costo de los equipos médicos puede estimarse como superior al costo de la estructura y, además, por sus características de ocupación y porque deben seguir prestando servicios en caso de un evento sísmico mayor, deben tenerse consideraciones especiales para su diseño o para la intervención de su vulnerabilidad en caso de estructuras existentes.

En la última década, los terremotos en Colombia (1983), México (1985), Chile (1985), El Salvador (1986) y Costa Rica (1990 y 1991) provocaron catastróficas consecuencias en instalaciones hospitalarias. La recuperación de estos

servicios representó para estos países un mayor endeudamiento externo, en algunos casos, o el atraso en programas de mejoramiento y desarrollo por la necesidad de desviar fondos para la reconstrucción. Por esta razón es esencial que exista una conciencia a nivel gubernamental para intervenir la vulnerabilidad de los hospitales, con el fin de que la inversión que representan esté asegurada (Ref. 1).

## CODIGOS Y VULNERABILIDAD

En la mayoría de los códigos de construcción antisísmica existe una filosofía de diseño explícita o implícita basada en el comportamiento esperado de una estructura en caso de un evento sísmico, vinculada a las características del sismo en el sitio en que está asentada la obra. Los códigos establecen que las edificaciones deberán sufrir daños menores en eventos suaves a moderados, daños reparables en eventos moderados a fuertes y que no deben colapsar en eventos mayores. Algunos códigos, como el UBC (Ref. 2), definen estructuras esenciales como aquellas que "son necesarias para las operaciones de emergencia subsiguientes a un desastre natural" y, en este caso, se establecen mayores fuerzas laterales para el diseño.

En general, la premisa fundamental de todos los códigos es la preservación de la vida, aunque se entiende que no resulta económico diseñar estructuras para fuerzas que se desarrollarían si la estructura permanece dentro del rango elástico durante el terremoto (Ref. 3).

La vulnerabilidad, entendida como la predisposición intrínseca de un elemento o estructura a sufrir daño debido a posibles acciones externas (Ref. 4), es un concepto que depende del código al cual hace referencia y es, por ende, un parámetro relativo. En el caso de un hospital, por las consideraciones expuestas sobre su importancia, el nivel de daño aceptable debería ser el mínimo aún en caso de un evento mayor, ya que el daño no estructural, aunque podría ser reparable, probablemente significará una disminución o interrupción del servicio requerido durante la emergencia.

No existe, a la fecha, ningún código que se refiera específicamente a la rehabilitación de estructuras en zonas sísmicas. En Japón y en otros países, como México, se ha trabajado en el desarrollo de métodos para la evaluación y restauración de edificios existentes o dañados. Estas metodologías son válidas para casi todo tipo de edificaciones, si se hace la salvedad de que, en el caso de los hospitales, debe estudiarse con mayor detalle su capacidad disponible de resistencia y ductilidad ante sismos, así como la

vulnerabilidad funcional, organizativa y administrativa del hospital antes de realizar su intervención (Ref. 4).

## ANALISIS DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

El análisis de vulnerabilidad implica no sólo la determinación de las características geométricas del edificio, sino también resistencia e integridad de los materiales, cambios en la construcción con respecto a lo establecido en los planos o en el diseño, detalles de elementos no estructurales que pueden modificar el comportamiento esperado y fallas ocurridas en el pasado, para tener una idea más precisa sobre posibles errores de estructuración (Ref. 5).

Algunas veces, y esto es particularmente cierto en el caso de los hospitales más antiguos, los planos originales no están disponibles. Además, el deterioro de los materiales con el tiempo puede ser difícil de determinar, aunque para ello se puede recurrir a las pruebas no destructivas. Es imperativo conocer los antecedentes sísmicos del sitio de la obra, en términos de características del suelo y aceleraciones, con el fin de analizar las deficiencias y daños presentes.

Los métodos para el análisis de vulnerabilidad de una estructura existente pueden agruparse en tres grandes categorías (Ref. 4):

- a. Métodos cualitativos
- b. Métodos experimentales
- c. Métodos analíticos

Los métodos cualitativos se utilizan primordialmente para revisiones rápidas, semejantes a las establecidas para la evaluación post-sismo, como se define en el ATC-20 (Ref. 6), y conducen únicamente a una categorización preliminar de las edificaciones para definir cuáles requieren estudios de mayor profundidad y detalle. Dentro de este grupo pueden mencionarse el ATC-21 (Ref. 7), el primer nivel de los métodos japonés y de Iglesias para la ciudad de México y otros desarrollados en algunos países como adaptaciones del método para evaluaciones post-sismo propuesto por el Instituto de Investigaciones en Ingeniería de Terremotos de California (EERI) (Ref. 8 y 9). En general, estos métodos conducen a una descripción de la estructura en términos de su uso, año de construcción, área bruta, sistema estructural principal, materiales, particularidades arquitectónicas, evidencias de

daños por sismos anteriores, modificaciones, características visibles de los elementos no estructurales, irregularidades geométricas, etc., que no requieren para su valoración de cálculos complejos de oficina.

Los métodos experimentales determinan el comportamiento de la estructura por medición directa de vibraciones ambientales (Ref. 4), por lo cual solo proporcionan información sobre la respuesta dinámica ante vibraciones de baja amplitud. Por esta razón, pueden utilizarse también como un primer paso para determinar si se requieren estudios más detallados y deben complementarse con análisis de resistencia de materiales, disipación de energía, estudio del sistema estructural y de la geometría, etc.

Los métodos analíticos proporcionan una evaluación más detallada de la vulnerabilidad de una edificación existente. Entre los métodos analíticos similares a las prácticas de diseño se pueden citar los siguientes:

1. Método japonés: conocido como "Normas para la Evaluación de la Capacidad en Estructuras Existentes de Concreto Reforzado", es avalado oficialmente para su uso por el Ministerio de Construcción de Japón. Este método establece tres niveles de evaluación, de lo simple a lo detallado y califica el comportamiento sísmico de cada piso de un edificio por medio de un índice, haciendo uso para ello del proceso estático equivalente y por ende pueden analizarse con él edificaciones de concreto reforzado de hasta siete pisos.

Este constituye el primer nivel del método, basado primordialmente en promedios de resistencia de columnas y muros. Esta estimación es conservadora para edificios con sistema estructural de marcos dúctiles, aunque es adecuado para estructuras con predominancia de muros (Ref. 5). En este método no es necesario realizar un análisis detallado de los esfuerzos internos, ya que confiere mayor importancia al análisis de resistencia (Ref. 10). Para el segundo nivel se requiere conocer sobre las características de los elementos verticales y el tercer nivel analiza el aporte de los elementos horizontales en la disipación o almacenamiento de energía de los elementos verticales.

2. Métodos ATC-14 y ATC-22: (Ref. 11 y 12) ambos son avalados por FEMA y se basan en ecuaciones aproximadas para la estimación de esfuerzos y deformaciones. El ATC-14 se basa en el diseño mediante esfuerzos de trabajo propuesto por la SEAOC, y el ATC-22 en el diseño límite expuesto en el ATC-3. La principal limitación de este método radica en que no

determina la capacidad de ductilidad de la estructura en sus diferentes tipos de elementos y pisos (Ref. 10).

3. Espectro de capacidad: (Ref. 5) se basa en el "Seismic Design for Buildings 1982", de Freeman. La metodología estudia la respuesta de un sistema estructural ante un sismo de mediana intensidad mediante la construcción de una curva aproximada de capacidad elástica e inelástica del sistema a partir del historial de cedencias. Finalmente, se obtiene una curva de capacidad que relaciona el cortante en planta con los desplazamientos en el nivel superior, que se transforma luego en una curva de capacidad espectral. De esta forma, la capacidad de la estructura se compara con la demanda de los sismos seleccionados.

4. Método de energía: (Ref. 10) establece claramente los pisos débiles de una estructura, los elementos de los mismos que tienden a fallar en primer lugar, las demandas de ductilidad asociadas a la energía absorbida en cada piso y, en consecuencia, refleja de manera adecuada la respuesta probable de una edificación ante un sismo fuerte (Ref. 4). Idealmente, la energía debería ser absorbida mediante deformaciones inelásticas en proporción y por todos los pisos de la estructura y por ende el factor de ductilidad sería semejante en todos los pisos. Sin embargo, en la realidad factores como un distribución irregular de la masa o de la rigidez alteran esta uniformidad y provocan que la energía se concentre en algunos pisos, que consecuentemente alcanzan factores de ductilidad mucho mayores a los esperados.

Una descripción más detallada de este método, incluyendo el cálculo de la distribución de energía absorbida por la estructura por medio de deformaciones inelásticas escapa a los alcances del presente trabajo, pero se puede encontrar con amplios detalles en las Referencias 10 y 13.

5. Otros métodos: (Ref. 14) Existen otros métodos, como el mexicano, desarrollado por J. Iglesias, que evalúa la capacidad sísmica de edificios de concreto de mediana altura, en tres niveles de complejidad; el método venezolano desarrollado por I. Rivera para edificios bajos de concreto reforzado o de mampostería, y otros.

## ANALISIS DE VULNERABILIDAD NO ESTRUCTURAL

Los elementos no estructurales y sus apoyos y anclajes o sujeciones al sistema estructural principal deben evaluarse para proporcionar un nivel de seguridad adecuado que evite el daño local y el colapso durante un terremoto, y no deberán interferir con el comportamiento sismo-resistente de la estructura ni crear amenazas para los ocupantes de un edificio (Ref. 15). Para ello, los apoyos y las sujeciones deben ser consistentes con el grado de protección contra el daño que se estimó en el diseño. Si se pretende una muy baja probabilidad de daño, el componente debe unirse a la estructura de modo que no siga las deformaciones de esta durante un sismo severo, a no ser que se demuestre que es lo suficientemente rígido para evitar deformaciones más allá de lo permisible.

Estas consideraciones son indispensables en el caso de un hospital, ya que se requiere que todos los sistemas electromecánicos continúen operando después de un terremoto, y que los elementos no estructurales no colapsen de modo que el servicio quede inutilizado, como sucedió con el Hospital Tony Facio durante el terremoto de Limón, Costa Rica, en 1991 (Ref. 16).

Para el estudio de la vulnerabilidad no estructural existen muy pocas previsiones en los códigos, ya que la mayoría de ellas se refieren a normas para diseño. La cuantificación de este rubro se basa, por lo general, en apreciaciones oculares, tomando como referencia el Uniform Building Code (UBC) o el ATC-3-06 (Ref. 17). Estos últimos proponen métodos estáticos equivalentes para el cálculo de la carga sísmica, o una reducción de la misma mediante la utilización de métodos dinámicos.

Finalmente, para un análisis de vulnerabilidad funcional existen algunos documentos que pueden servir de referencia (Ref. 18 y 19), que incluyen diseño, actualización y prueba de planes de contingencia hospitalarios, programas educativos y entrenamiento del personal, cuyo estudio no corresponde únicamente al ingeniero estructural sino que forman parte de un análisis multidisciplinario.

## CONCLUSIONES

1. La estimación de la vulnerabilidad de los hospitales y su intervención, a pesar de que no son rentables a corto plazo, reducen de manera significativa las pérdidas económicas y sociales a consecuencia de terremotos.

2. Es necesario estimar e intervenir la vulnerabilidad de los componentes no estructurales, por el elevado costo que representan en el caso de un hospital y por la necesidad de que el mismo continúe prestando servicios después de un sismo y establecer, en el marco del ejercicio profesional, el manejo de los conceptos de vulnerabilidad y mitigación por parte de arquitectos e ingenieros electromecánicos.

3. En el caso de los hospitales, debe plantearse un nivel de daño aceptable mínimo, más allá de las consideraciones que plantean la mayoría de los códigos como filosofía de diseño.

4. El ingeniero estructural debe brindar asesoría en la gestión de planes hospitalarios de emergencia y participar en el establecimiento de programas de mantenimiento preventivo de las instalaciones, así como en el establecimiento de medidas de seguridad para el personal hospitalario, pacientes y visitantes.

5. Dentro de los estudios de vulnerabilidad de hospitales debe tenerse en cuenta las líneas vitales que los abastecen y que permiten accederlos, con el fin de garantizar su funcionamiento sin interrupciones en condiciones críticas. (Ref. 20). Para ello, puede ser necesario contar con sistemas redundantes.

#### REFERENCIAS

1. Organización Panamericana de la Salud. "Guías para la Mitigación de Riesgos Naturales en las Instalaciones de la Salud en los Países de América Latina". Washington D.C.: PAHO, 1990.

2. Building Seismic Safety Council. "NEHRP Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings". Washington D.C.: FEMA, 1991.

3. Committee on Mitigation of Damage to the Built Environment. "Buildings: General Issues and Characteristics". Memphis: 1993 National Earthquake Conference, Central United States Earthquake Consortium, 1993.

4. Organización Panamericana de la Salud. "Mitigación de Desastres en las Instalaciones de la Salud: Evaluación y Reducción de la Vulnerabilidad Física y Funcional - Módulo IV". Washington D.C.: PAHO, 1993.

5. Fernández, C. y Santana, G. "Bases para la Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica en Estructuras Existentes". V Seminario de Ingeniería Estructural. San José, Costa Rica, 1990.
6. Applied Technology Council. "Building Evaluation Techniques". Report ATC-20. Redwood City, 1988.
7. Applied Technology Council. "Rapid Visual Screening of Seismic Hazards". Report ATC-21. Redwood City, 1989.
8. Earthquake Engineering Research Institute. "Earthquake Response and Field Guide". Publication No. 91-A. Oakland, 1991.
9. Comisión Nacional de Emergencia de Costa Rica. "Evaluación de Daños en Edificios". San José, 1991.
10. Cardona, O. y Hurtado, J. "Análisis de Vulnerabilidad Sísmica de Estructuras de Concreto Reforzado". VIII Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sísmo-Resistente. Mérida, Venezuela, 1993.
11. Applied Technology Council. "Seismic Evaluation of Existing Buildings". Report ATC-22. Redwood City, 1989.
12. Applied Technology Council. "Evaluating the Seismic Resistance of Existing Buildings". Report ATC-14. Redwood City, 1987.
13. Akiyama, H. "A Method for the Evaluation of the Seismic Capacity of Existing Reinforced Concrete Buildings in Japan". Bulletin of the New Zealand National Society of Earthquake Engineers, Vol. 14, No. 3, September 1981.
14. Cardona, O. "Metodologías para la Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones y de Centros Urbanos". VII Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sísmo-Resistente. Bogotá, Colombia, 1991.
15. The International Association for Earthquake Engineering. "Basic Concepts for Seismic Codes". Vol. II. Tokyo, 1982.
16. Sauter, F. "Philosophy and Techniques of Seismic Retrofitting". International Symposium on Earthquake Disaster Prevention. México, 1992.
17. Applied Technology Council. "Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings". Report ATC-3-06. Redwood City, 1984.



18. Office of Construction - Veterans Administration. "Seismic Protection Provisions for Furniture, Equipment, and Supplies for VA Hospitals". FEMA: Washington D.C., 1991.
19. Pomonis, A., Sakai, S., Coburn, A. and Spence, R. "Assessing Human Casualties Caused by Building Collapse in Earthquakes". International Conference on the Impact of Natural Disasters. Los Angeles, 1991.
20. Zeballos, J.L. "The Effects of Natural Disasters on the Health Infrastructure - Lessons from a Medical Perspective". Washington D.C.: FAHO, 1993.