

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 movilizadas. 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. Sin embargo, hay profundas discrepancias en cuanto a la categorización y la frecuencia de los eventos, así como

respecto a la cantidad y tipo de daño que puede ser reparado. El código de la Asociación de Ingenieros Estructurales de California (SEAOC), por ejemplo, tolera el comportamiento de la estructura en el rango inelástico durante un sismo mayor, siempre y cuando no se llegue al colapso. Algunos códigos, como el UBC (Ref. 2), definen estructuras esenciales como aquellas que "son necesarias para las operaciones de emergencia subsecuentes 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). De este modo, la fuerzas de diseño se reducen para obtener ventaja de la deformación inelástica o de la absorción de energía y, en caso de que se presente el sismo de diseño, se espera que el daño que ocurra esté controlado y que ni la estructura ni sus elementos colapsen o amenacen la seguridad de sus ocupantes.

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, aunque la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias de Estados Unidos (FEMA) está apoyando al Programa Nacional para la Reducción de la Amenaza Sísmica (NEHRP) en el desarrollo de guías para edificios existentes. 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. Con frecuencia una estructura presenta un comportamiento inadecuado porque fue diseñada sin basarse en un código, o porque este requería parámetros para sismos menores.

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 sólo 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. Algunos programas de computador como DRAIN o IDARC, que efectúan análisis no lineal e histerético de una estructura sometida a movimientos del terreno (Ref. 10) constituyen un análisis de vulnerabilidad, aunque para su aplicación se requiere utilizar varios registros de sismos y casos especiales no complejos, lo cual entraña dificultades para el uso del modelo. 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.

Se plantea el análisis de los esfuerzos internos y la resistencia de los elementos a los mismos, con el fin de determinar las relaciones entre la demanda sísmica de fuerza y la capacidad redundante de resistencia ante esta. 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 (50% de probabilidad de excedencia en 50 años, EQ-I) y la compara con el comportamiento ante otro sismo mayor (10% en 100 años, EQ-II), 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 (aceleración espectral equivalente al cortante en la planta versus período de oscilación que produce el desplazamiento máximo equivalente). De esta forma, la capacidad de la estructura se compara con la demanda de los sismos seleccionados EQ-I y EQ-II.

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). En lugar de los espectros convencionales, este método utiliza el espectro de la energía suministrada a la estructura por el sismo. La energía inducida por el sismo depende tanto de la aceleración del terreno como de la velocidad del sistema.

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 una 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 los métodos probabilísticos, que relacionan la zonificación de la amenaza sísmica con la vulnerabilidad por tipos de edificación estimando el riesgo en términos de pérdidas probables y se utilizan básicamente para estimación de pérdidas económicas acumuladas y cálculo de primas de seguros.

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 siguiendo metodologías como las propuestas por Grases (Ref.17) para Venezuela, Torres y Villalobos para Costa Rica (Ref. 18), tomando como referencia el Uniform Building Code (UBC) (Ref. 19) o el ATC-3-06 (Ref. 20). 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.

En general, el comportamiento de los elementos no estructurales ante eventos sísmicos puede analizarse mediante uno de los siguientes métodos (Ref. 4):

- a. Análisis dinámico del conjunto estructura - componente.
- b. Análisis de la respuesta del componente a partir del dinámico de la respuesta en el tiempo del nivel en que está ubicado.
- c. Análisis de la respuesta del componente a partir del análisis dinámico de la respuesta máxima espectral del nivel en que está ubicado.

Finalmente, para un análisis de vulnerabilidad funcional existen algunos documentos que pueden servir de referencia (Ref. 21 y 22), 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 ser rentables a corto plazo, reducen de manera significativa las pérdidas económicas y sociales a consecuencia de terremotos.

2. El método japonés y el método de energía para el análisis de vulnerabilidad obligan a un serio cuestionamiento del tradicional uso de un factor único de ductilidad para toda la estructura.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. Dentro de los estudios de vulnerabilidad de hospitales debe tenerse en cuenta las líneas vitales que los abastecen y que permiten accesarlos, con el fin de garantizar su funcionamiento sin interrupciones en condiciones críticas. (Ref. 23). 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.