

EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD SISMICA DE HOSPITALES

Maximiliano Astroza I.

Rubén Boroschek K.

Departamento de Ingeniería Civil

Universidad de Chile. Santiago. Chile

Casilla 228/3. Santiago. Chile.

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados del estudio desarrollado por el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile sobre la vulnerabilidad sísmica de instalaciones hospitalarias, estudio que se desarrolla desde 1994 hasta la fecha.

La evaluación de la vulnerabilidad sísmica se realiza teniendo en cuenta la continuidad de funcionamiento de los servicios que deben atender las demandas de la población después de ocurrido un evento sísmico, considerando los aspectos relacionados con el sistema estructural, los elementos no estructurales y la organización de los servicios para enfrentar situaciones de emergencia.

En el desarrollo del estudio se ha aprovechado la experiencia siniestral reunida en el período comprendido entre 1940 y 1997, identificando las principales debilidades que existen en las instalaciones del sistema chileno de salud. La alta sismicidad del país ha permitido hacer una comprobación práctica de los métodos utilizados en al menos tres hospitales.

SUMMARY

These paper summarizes the work developed by the Civil Engineering Department of the University of Chile on the seismic vulnerability analysis of health facilities and health systems.

A methodology to estimate the vulnerability of health facilities that considers the complexity and importance of the system was developed. The evaluation of vulnerability considers the preservation of functionality of selected hospital services, the protection of personnel and investment, the control of damage, and the rapid recuperation of hospital capacity and general functionality after moderate and sever earthquake events. To consider the protection of functionality, vulnerability analyses considers the close interaction of the structural and non structural system with the local and regional human and physical organization to response to earthquake emergencies.

In the development of the methodology the experience gained from the study of damage and non damage health systems from 1940 to 1997 was considered. The causes of the vulnerability are identify and due to the high seismicity of Chile the procedure has been validated in recent earthquake events.

INTRODUCCION

El estudio de los daños causados por los terremotos destructores del presente siglo evidencia que el hospital se encuentra entre sus principales afectados. Las consecuencias de un sismo en una instalación hospitalaria no sólo se presentan por el pánico de los funcionarios y pacientes o por el colapso parcial o total de su estructura, los que son ampliamente difundidos por los medios de comunicación, si no también por las pérdidas parciales o totales de la capacidad de función del sistema y por lo tanto de su capacidad de atender las demandas de

la comunidad. Esta pérdida de función no está necesariamente asociada a que ocurra daño en la estructura sino también al nivel de organización y a la seguridad del equipamiento y de los contenidos.

Como un ejemplo se destaca que en Chile en la región afectada por el sismo del 3 de Marzo de 1985 ($M_s = 7,8$), el daño afectó del orden del 33% de los establecimientos de salud, quedando fuera de funcionamiento un 15% de las camas de los hospitales.

Los daños en el sector salud no sólo han tenido un impacto inmediato en la limitación de dar servicio, si no que han significado una pérdida económica para el país. Estas han llegado a ser significativas, por ejemplo la pérdida durante el sismo del 8 de Julio de 1971 ($M_s = 7,5$) alcanzó entre un 5 a 7% del total, siendo el sector muchísimo menor que los otros más afectados (vivienda, industria, obras públicas)

Por otro lado, las restricciones económicas típicas del sector público de salud, normalmente impiden que éste se recupere rápidamente a los niveles anteriores y no son extraños los casos de hospitales en que los efectos de un sismo se perciban por muchos años.

Teniendo en cuenta estos antecedentes se requiere una preocupación permanente para reducir al máximo el riesgo de un sistema de salud en cada uno de sus componentes, estableciendo una estrategia de acuerdo con un nivel deseado de funcionamiento en adición a la protección de la vida de pacientes, funcionarios y otras personas. Los resultados observados en muchas instalaciones que han sobrevivido y que han funcionado adecuadamente después de un sismo destructor permiten ser optimista en el sentido de lograr un sistema de riesgo controlado en que los hospitales puedan dar el apoyo esperado por la comunidad.

Para lograr este objetivo es necesario establecer una estrategia para racionalizar el sistema, identificando la red asistencial en tiempo normal y en emergencia y la vulnerabilidad de sus componentes (hospitales, clínicas, consultorios, postas, etc).

ALCANCES DEL ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SISMICA DEL SISTEMA CHILENO DE SALUD

La experiencia chilena relacionada con el comportamiento sísmico de los hospitales presenta casos extremos, hospitales localizados en zonas de gran destrucción sin daño estructural alguno y daño no estructural menor hasta casos de daños estructurales severos en zonas de poco efecto sísmico. Esto permite no sólo realizar suposiciones teóricas sobre el comportamiento sísmico sino su comprobación práctica en distintas situaciones.

La primera experiencia en la evaluación de vulnerabilidad y mitigación de riesgo sísmico en hospitales, dentro del marco de análisis que se presenta en este trabajo, se llevó a cabo en el hospital San Martín de Quillota en la V Región de Chile (Boroschek y Astroza, 1994).

Posteriormente se hizo un estudio de vulnerabilidad sísmica del sistema hospitalario chileno, cuyo objetivo principal fue detectar las vulnerabilidades y generar planes de mitigación de ellas (Boroschek et al., 1996). Para realizar este estudio se seleccionó una muestra de 14 hospitales pertenecientes al Sector Público de Salud, esta muestra considera: (1) Los tipos de construcciones hospitalarias que han sido diseñadas y están en uso actualmente. El hospital más antiguo es de 1932 y el más moderno de 1994; considerando que en Chile continental ocurre en promedio un sismo de magnitud mayor o igual a 7 cada 5 años se pudo rescatar las diversas experiencias en eventos sísmicos de diferente severidad, (2) Los hospitales de la muestra se localizan en las zonas, mediana

(2) y alta (3) sismicidad según la clasificación de la norma NCh433.Of96, entre Arica y Puerto Montt. (3) Los hospitales seleccionados corresponden a la clasificación de mayor complejidad y nivel resolutivo (Tipos 1 y 2), cubriendo el 55% de los hospitales de Tipo 1 y un 10% de los Tipo 2 y un 13,7% del total de hospitales del país, con una población asignada que corresponde al 54,7% del total de la población de Chile.

Debido a la constante actividad sísmica del país ha sido posible validar la metodología utilizada en tres eventos que ocurrieron los años 1995 y 1997, los que provocaron daños y alarma en el sector.

Los daños más serios corresponden a los ocurridos en el Hospital de Antofagasta durante el sismo del 30 de Julio de 1995 ($M_s = 7.3$) y en el Hospital de Coquimbo durante el sismo del 14 de Octubre de 1997 ($M_s = 6.9$). En ambas ocasiones se demostró que el enfoque utilizado en el estudio y sus procedimientos pueden detectar con anticipación las deficiencias del sistema y que la solución a este problema es factible. Además se ha podido comprobar que el haber desarrollado el estudio antes de ocurrido el evento, como es el caso del Hospital de Antofagasta, permitió que en menos de 24 horas se establecieran procedimientos de emergencia en el hospital y en 48 horas, se establecieran procedimientos que permitieron recuperar el funcionamiento total del hospital.

Otra validación de la metodología se desarrolló en el Hospital de Vallenar donde se produjo daño en elementos no estructurales debido al sismo del 31 de Octubre de 1995 ($M_s = 6.3$). En esta ocasión además de estimar la importancia del daño se pudo establecer el nivel de riesgo para el sismo máximo esperado en la zona.

METODOLOGIA DE EVALUACION

La metodología utilizada para la evaluación de la vulnerabilidad de los hospitales seleccionados ha sido descrita en detalle por Boroschek, Astroza, Osorio y Kausel (1996). En términos generales se establecen criterios básicos de función para el hospital identificando las distintas actividades que se realizan en él al momento de atender una emergencia sísmica, reconociendo la estrecha interacción entre ellas. Se realiza una priorización de los servicios y equipamiento a proteger y luego se estudia el hospital en forma integral considerando aspecto tanto organizativos como físicos.

En los aspectos organizativos se establece el nivel de organización ante la emergencia, la complejidad del sistema y los recursos humanos del mismo. Los aspectos físicos propios del hospital se separan en dos grandes grupos: los estructurales y los no estructurales; los elementos no estructurales se clasifican en tres grupos: elementos arquitectónicos, equipamiento y líneas vitales, considerando tanto los elementos internos a la estructura como aquellos que pueden afectar el funcionamiento del hospital.

Análisis de vulnerabilidad de aspectos estructurales.

Para la determinación de la vulnerabilidad estructural de los hospitales existen varios métodos de distinto grado de complejidad en concordancia con el objetivo, éstos pueden ser del tipo cualitativo o cuantitativo.

Los métodos de tipo cualitativo son aquellos que utilizan características generales para calificar a las estructuras; generalmente estas metodologías están asociadas a índices globales que han sido calibrados con experiencias en estructuras existentes y que permiten no sólo identificar en términos generales el

riesgo sino también en algunos casos el nivel de daño. Estas técnicas son el procedimiento más adecuado en las etapas preliminares de evaluación y especialmente cuando es necesario tener un diagnóstico de un conjunto de hospitales.

Entre los índices que han demostrado ser útiles, se pueden destacar los desarrollados por Shiga (1977) e Hirosawa (1992), los que se han aplicado de preferencia a estructuras con muros de hormigón armado de altura media. En particular el índice de Hirosawa incorpora aspectos relacionados con la forma de la planta y elevación, características de los materiales, mantenimiento, etc. El nivel más simple de evaluación, y por lo tanto el más recomendable de usar cuando se desea tener un diagnóstico de la vulnerabilidad estructural del conjunto de edificios de un sistema, establece los niveles de seguridad en términos de la resistencia al corte y de las características del comportamiento de los elementos verticales de la estructura sismorresistente

Los métodos cuantitativos son generalmente más exhaustivos, pero no necesariamente más precisos. Típicamente son extensiones propias de los procedimientos de análisis y diseño antisísmico. Estos métodos son indispensables en el momento de establecer soluciones de mitigación y en las etapas finales de verificación de aquellos casos críticos, es decir de los casos que resultan de alta vulnerabilidad estructural al aplicar un método preliminar.

Los aspectos que deben considerarse en la evaluación de la vulnerabilidad estructural se indican en la tabla 1.

Análisis de vulnerabilidad de los aspectos no estructurales

La historia ha dejado en evidencia que la protección del sistema estructural no es suficiente para asegurar el funcionamiento del hospital. El daño a los

elementos no estructurales, como es la caída de cielos falsos, rompimiento de tuberías de gases y agua, daño a elementos divisorios, bloqueo de vías de circulación y daños en el equipamiento, deja fuera de servicio en forma parcial o total a un hospital. Además el daño que se produce tiene un fuerte impacto si se considera que el costo asociado a estos elementos es del orden de un 85 a 90% del valor total de las instalaciones de mayor complejidad en países desarrollados y del orden de un 50% en las instalaciones de salud construidas en nuestro país.

Es importante tener en cuenta que para evaluar estos aspectos se debe considerar los efectos sísmicos directamente sobre los elementos, como también los efectos de estos elementos interactuando con el sistema estructural que está resistiendo el evento. De esta manera para evaluar la vulnerabilidad de este tipo de elemento se deben considerar aspectos como los indicados en la tabla 2.

Para analizar la vulnerabilidad no estructural existen métodos de tipo cualitativo y cuantitativo tal como en el caso estructural. Las metodologías para la determinación de la vulnerabilidad de este tipo de elementos se pueden clasificar en los siguientes grupos: (1) experiencia previa, (2) análisis matemático, (3) pruebas de laboratorio, y (4) opinión de grupo de expertos.

Entre los elementos no estructurales que deben considerarse se pueden destacar los de la tabla 3, los que se agrupan de acuerdo con la clasificación indicada anteriormente.

RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD

La realización de los estudios de vulnerabilidad sísmica de los hospitales chilenos ha permitido establecer una metodología de evaluación de la vulnerabilidad en términos de la capacidad de función del hospital, adaptando y

generando nuevos procedimientos de tipo cualitativo y cuantitativo apropiados a las características del sistema de salud pública chileno.

Del estudio de los 14 hospitales se concluye que los hospitales seleccionados y el sistema hospitalario en general, presenta un riesgo asociado tanto a aspectos estructurales, no estructurales y organizativos. Para cada hospital fue posible identificar los riesgos existentes y establecer su impacto y cuando fue necesario se esbozaron los procedimientos de mitigación.

El estudio detectó dos causas principales que generan la vulnerabilidad estructural del sistema; la primera está asociada principalmente a un diseño sin criterios sismorresistentes adecuados o al deterioro. En esta condición no sólo se encuentran estructuras relativamente antiguas (de la primera mitad del siglo) sino también algunas construcciones recientes.

La segunda causa está asociada a la elección del tipo de sistema estructural, siendo el pórtico el sistema preferido actualmente, desde un punto de vista médico y arquitectónico, por considerarse muy adecuado para el cambiante mundo de la medicina. Esto ha significado la incorporación de sistemas estructurados con pórticos de hormigón armado en los que solamente se ha limitado a cumplir con las disposiciones mínimas establecidas por la norma de diseño sísmico de 1972 (INN, 1972) cuyo objetivo es proteger la vida de los ocupantes de los edificios..

Además se ha comprobado que no se han usado las limitaciones que se exigen actualmente en el diseño de elementos de hormigón armado de estructuras de pórticos ubicadas en zonas de alta sismicidad (INN, 1996, ACI, 1995). También se comprueba que no se han materializado los detalles de construcción de los elementos no estructurales más adecuados para este tipo de estructuras flexibles.

El riesgo de los elementos no estructurales surge como consecuencia de las características del proceso de creación del centro de salud. En los proyectos hospitalarios se observa que la protección sísmica queda relegada a la parte de la estructura, por este motivo el diseñador estructural no se involucra en los aspectos relacionados con la seguridad sísmica de las redes de distribución de agua, electricidad, gases, etc., ni tampoco en la protección del equipamiento y suministros. Estos aspectos son resueltos por técnicos e incluso por los usuarios del sistema, los que no disponen de la preparación y de la información básica de los posibles efectos que puede tener el sismo. Es así como en repetidos casos no se considera la existencia de distintos cuerpos en un mismo edificio, ni las deformaciones relativas entre estos cuerpos, ni tampoco las deformaciones esperadas entre pisos consecutivos o posibles amplificaciones de los movimientos en los pisos superiores de un mismo cuerpo. Estos aspectos han probado ser muy relevantes y generan un impacto de tal magnitud en el sistema que se ha planteado la necesidad de desarrollar un plan urgente para la reducción del riesgo no estructural.

La evolución histórica de la seguridad sísmica de los hospitales chilenos desde 1930 a la fecha indica que ésta ha ido en constante reducción en el período analizado, lo que significa un mayor riesgo. Esta situación se produce principalmente por dos tendencias, una es la constante reducción del número de muros utilizados para resistir las acciones sísmicas, lo que ha llegado al extremo de que un grupo importante de estructuras construidas en los últimos 25 años sólo posean pórticos como estructura sismorresistente. La otra tendencia es el creciente número y complejidad de los elementos no estructurales, especialmente del equipamiento el cual ha ido en franco aumento y no se ha considerado su protección e interacción con el sistema estructural.

Los estudios han permitido establecer y consolidar un grupo de trabajo multidisciplinario y multinstitucional con gran capacidad técnica y resolutive,

introduciendo en el sector público los conceptos de manejo de riesgo sísmico en forma seria, eliminando cualquier posición fatalista. Adicionalmente la visibilidad del estudio ha motivado al sector privado a atender sus resultados y ha promocionado estudios similares a nivel internacional y el apoyo a otros grupos extranjeros.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen la colaboración de las siguientes instituciones: Ministerio de Salud de Chile, a través del Departamento de Asuntos de Emergencias y Catástrofes y del Departamento de Recursos Físicos, de la Organización Panamericana de la Salud y de la Comunidad Económica Europea. Además agradecen la colaboración de los Servicios de Salud Regionales, de los Directores y funcionarios de los hospitales, del profesor Edgar Kausel V. y de los alumnos del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile que participaron en el estudio.

REFERENCIAS

ACI, (1995), " ACI 318. Building code requirements for structural concrete". American Concrete Institute, U.S.A.

Boroschek, R., Astroza, M., (1994), "Estudio de la vulnerabilidad física del hospital San Martín de Quillota", Ministerio de Salud de Chile-OPS.

Boroschek, R., Astroza, M., Osorio, C. y Kausel, E., (1996), "Análisis de vulnerabilidad y preparativos para enfrentar desastres naturales en hospitales en Chile", Informe Organización Panamericana de la Salud.

Hirosawa, M., (1992), "Retrofitting and restoration of building in Japan", IISEE. Lecture Note Seminar Course.

I.N.N., (1972), " Norma Chilena NCh 433. Cálculo antisísmico de edificios". Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile.

I.N.N., (1996), " Norma Chilena NCh 433. Diseño sísmico de edificios". Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile.

Shiga, T., (1977), "Earthquake damage and the amount of walls in reinforced concrete building", Procc. 6th WCEE, Nueva Delhi, India, pp 2467-2472.

Tabla 1

Aspectos a considerar en la evaluación de la vulnerabilidad estructural

FORMA		ESTRUCTURA		FUNDACION-SUELO
PLANTA	ELEVACIÓN	ACTUAL	HISTORIA	
Regularidad	Continuidad	Material	Edad	Napa freática
Proporción	Proporción	Regularidad	Concepción de diseño	Estratigrafía
Continuidad	Dimensión	Simetría	Mantenimiento	Caract. dinámicas
Forma		Uniformidad	Daños	Caract. Mecánicas
Dimensión		Detallamiento		Estabilidad
		Conexiones		Amplificación
		Interacción		Intensidad esperada
		Rigidez		Tipo de fundación
		Resistencia		
		Ductilidad		

Tabla 2

Aspectos a considerar en la evaluación de la vulnerabilidad de un elemento no estructural .

Importancia	Estabilidad
Peligrosidad	Conexión
Dependencia	Material
Estado	Resistencia
Ubicación	Rigidez
Interacción	Capacidad de deformación

Tabla 3

Elementos no estructurales a considerar en la evaluación de la vulnerabilidad.

ARQUITECTONICOS	EQUIPAMIENTO	LINEAS VITALES
Divisiones interiores	Equipo médico	Gases médicos
Fachadas	Equipo de laboratorio	Gases industriales
Cielos falsos	Equipo industrial	Vacío
Techos o cubiertas	Equipo de oficina	Vapor
Parapetos	Mobiliario	Aire acondicionado
Chimeneas	Suministros	Calefacción
Recubrimientos		Ventilación
Vidrios y ventanas		Electricidad básica
Letreros		Electricidad de emergencia
Antenas		Comunicaciones
Ornamentos		Agua potable
Marquesinas		Agua industrial
Luminarias		Alcantarillado
Barandas		Red de incendio
Puertas y rutas de salida		Otras tuberías
Condición junta de dilatación		Circulación vertical
		Movilización