

Capítulo 3

Vulnerabilidad no estructural

Conceptos generales

Un edificio puede quedar en pie luego de un desastre y quedar inhabilitado debido a daños no estructurales. Un estudio de vulnerabilidad no estructural busca determinar la susceptibilidad a daños que presentan estos elementos, los cuales pueden verse afectados por sismos moderados y por tanto más frecuentes durante la vida del hospital; en cambio, los elementos estructurales se verán afectados frente a sismos severos y poco frecuentes. Debido a la alta probabilidad de ocurrencia de los sismos que pueden afectar a los componentes no estructurales, es necesario tomar las medidas necesarias para proteger estos elementos.

El costo de los elementos no estructurales en la mayoría de los edificios es considerablemente mayor que el de los estructurales. Esto se cumple especialmente en hospitales, donde entre el 85 y el 90% del valor de la instalación no está en las columnas de soporte, pisos y vigas, sino en acabados arquitectónicos, sistemas mecánicos y eléctricos y en el equipo allí contenido. Un movimiento sísmico de menor intensidad puede causar daños no estructurales mayores, sin afectar de manera importante a componentes estructurales. Por lo tanto, los aspectos vitales de un hospital, aquellos que se relacionan directamente con su propósito y función, son los que más fácilmente se ven afectados o destruidos por los sismos. Igualmente, es más fácil y menos costoso readaptarlos y prevenir su destrucción o daño.

No basta con que un hospital simplemente no se caiga después de un sismo, sino que debe seguir funcionando como hospital. Puede quedar con la apariencia externa de un hospital, pero si las instalaciones internas están afectadas, no podrá ser utilizado para atender pacientes. Esta sección está enfocada básicamente a enfatizar la prevención de la pérdida de operatividad debida a las "fallas no estructurales", que también pueden afectar la integridad de la estructura misma.

Elementos no estructurales

En el diseño de toda estructura sometida a movimientos sísmicos debe considerarse que los elementos no estructurales, tales como cielos rasos, paneles, tabiques, ventanas, puertas, cerramientos, etc., así como equipos, instalaciones mecánicas y sanitarias, deben soportar los movimientos de la estructura. Por otra parte, debe tenerse presente que la excitación de los elementos no estructurales es en general mayor que la excitación en la base, por lo cual puede decirse, en muchos casos, que la seguridad de los elementos no estructurales se encuentra más comprometida que la de la estructura misma.

A pesar de lo anterior, en el diseño sísmico de estructuras se concede generalmente poca importancia a estos elementos, al punto de que muchos códigos de diseño no incluyen normas de diseño al respecto. Quizás debido a ello, la experiencia en sismos recientes muestra un buen comportamiento de la estructura diseñada de acuerdo a los modernos criterios de sismorresistencia, acompañado infortunadamente por una deficiente respuesta de los elementos no estructurales. Si se tiene en cuenta la seguridad de los ocupantes de una edificación expuestos al riesgo de colapso de estos elementos, su

costo de reposición y las pérdidas involucradas en la suspensión de funciones del edificio mismo, puede comprenderse la importancia de considerar el diseño sísmico de los elementos no estructurales dentro del proyecto general de la edificación.

En el caso particular de hospitales, el problema es de gran importancia debido a las siguientes razones:

1. Los establecimientos hospitalarios deben mantenerse lo más intactos posible luego de un sismo, para seguir prestando la atención médica de sus pacientes, así como para atender la posible demanda por servicios médicos que se pueda presentar luego del desastre sísmico en la región de injerencia.
2. Los hospitales albergan, en el momento del sismo, un gran número de pacientes prácticamente inhabilitados para la evacuación de la edificación, a diferencia de lo que ocurre con otro tipo de edificios.
3. Los hospitales disponen de una compleja red de instalaciones eléctricas, mecánicas y sanitarias, así como de un número importante de equipos costosos; todo lo anterior resulta indispensable tanto para el normal funcionamiento del hospital como para la atención de una emergencia. Debido a esto, en los hospitales no se puede permitir que un movimiento sísmico genere fallas en dichas instalaciones y equipos, ya que podrían causar un colapso funcional de la edificación.
4. La relación entre el costo de los elementos no estructurales y el costo total de la edificación tiene un valor superior en hospitales que en otras edificaciones. De hecho, mientras en edificios de vivienda y oficinas alcanza un valor de aproximadamente 60%, en hospitales, debido principalmente al costo de los equipos médicos y a las instalaciones especiales, se llega a valores entre el 85% y el 90%.

La experiencia ha demostrado que los efectos de segundo orden causados por daños en elementos no estructurales pueden agravar significativamente la situación. Por ejemplo, cielos rasos y acabados de paredes pueden caer sobre corredores o escaleras interrumpiendo la circulación; incendios, explosiones y escapes de sustancias químicas pueden ser peligrosos para la vida. Los daños o interrupción en los servicios básicos (agua, electricidad, comunicaciones, etc.) pueden hacer que un moderno hospital se convierta en una instalación virtualmente inútil porque su funcionamiento depende de ellos.

Los elementos no estructurales se pueden clasificar en las siguientes tres categorías: elementos arquitectónicos, equipos y mobiliarios, e instalaciones básicas.

- Los elementos arquitectónicos incluyen componentes como muros exteriores no-portantes, paredes divisorias, sistemas de tabiques interiores, ventanas, cielo rasos, sistema de alumbra-dos, etc.
- Los equipos y mobiliarios incluyen elementos como equipo médico, equipo industrial mecáni-co, muebles de oficina, recipientes de medicamentos, etc.
- Las instalaciones básicas incluyen los sistemas de abastecimiento de servicio tales como electri-cidad, agua, gases médicos, vapor, vacío, comunicaciones internas y externas, etc.

Metodología de análisis

Inventario, inspección y evaluación

Es recomendable para realizar el estudio de la vulnerabilidad de los elementos no estructurales, contar previamente con los resultados del estudio de vulnerabilidad estructural, ya que este último entrega resultados valiosos que permiten determinar de manera más acertada la susceptibilidad a sufrir daños de los elementos no estructurales. Por ejemplo, los datos de la aceleración o desplazamiento de cada piso del hospital a causa de un sismo, obtenidos en el estudio de vulnerabilidad estructural, son de gran utilidad para determinar el posible desplazamiento o volcamiento de algunos equipos. Asimismo, la información que se pueda recabar en el estudio de vulnerabilidad estructural sobre el nivel de distorsión de entrepisos (deriva) entrega datos relevantes para poder determinar si las particiones, elementos divisorios, cielos falsos (cielos rasos), vidrios y otro tipo de elementos no estructurales pueden o no sufrir daños.

El primer paso de la implementación de un programa de mitigación no estructural para un hospital es realizar una inspección sistemática y completa de la instalación para evaluar las amenazas existentes. Se recomienda clasificar los elementos no estructurales en tres niveles de riesgo, y así determinar si los aspectos en consideración representan alguno de los riesgos siguientes:

1. Riesgo para la vida
2. Riesgo de pérdida de bienes muebles o pérdida de propiedad
3. Riesgo de pérdida funcional.

Se clasificarán como elementos no estructurales que presentan riesgo para la vida, a aquellos cuya falla o mal funcionamiento a causa de un sismo puede significar la pérdida de vida o el deterioro de la salud de alguno de los ocupantes del hospital. En cambio, aquellos elementos que representen riesgo de pérdida de bienes serán aquellos que, en el caso en que se dañen o presenten fallas, significarían una pérdida importante en el patrimonio del establecimiento de salud, pero no afectarían de manera importante ni a sus ocupantes ni al funcionamiento.

Una pérdida funcional podría ser el generador de electricidad (grupo electrógeno), ya que si este no está correctamente asegurado y/o confinado, podría moverse lo suficiente para romper sus conexiones eléctricas y quedar fuera de servicio. En este caso no habrá pérdida de bienes muebles puesto que el equipo no se habrá averiado, ya que simplemente se habrá soltado de sus amarres y conexiones. No representaría un riesgo para la vida, excepto que casi todo el hospital depende de la electricidad, incluyendo los sistemas de soporte de vida para pacientes en estado crítico. Esto ilustra el hecho de que, en algunos casos, para un determinado componente o sistema pueden corresponder dos o tres tipos de riesgo o peligro: para vidas humanas, para bienes muebles y/o de pérdidas funcionales¹.

Posteriormente se deberá clasificar el riesgo en cada caso según sea bajo, moderado o alto². Un riesgo alto para la vida podría ser un equipo montado en la pared sobre la cama de un enfermo, que podría caer y herir o causar la muerte al paciente. Si un equipo se encuentra sin anclajes sobre un estante, el riesgo de ser arrojado por un sismo a una distancia importante es alto. Si estuviese asegu-

¹ EERI, *Nonstructural Issues of Seismic Designs and Construction* (Publication No. 84-04). Oakland, California, 1984.

² FEMA, *Instructor's Guide for Nonstructural Earthquake Mitigation for Hospitals and other Health Care Facilities*. [Curso ofrecido por Emergency Management Institute, Emmitsburg, Maryland, USA. 1988.] Véase también FEMA, *Seismic Considerations: Health Care Facilities* (Earthquake Hazard Reduction Series 35; FEMA 150). Washington D.C., 1987.

do con pernos pero en forma algo inadecuada, podría clasificarse como moderado. Si estuviese anclado correctamente, con muy poca posibilidad de caer, se clasificaría como bajo.

La tabulación de los tipos y niveles de riesgo para cualquier elemento de un hospital puede lograrse utilizando un formato que satisfaga las necesidades del establecimiento de salud. En el Cuadro 4 se presenta un formato desarrollado con ese fin³, en el cual se incluye un ejemplo de su aplicación.

Cuadro 4.
Formato con los datos del ejemplo

Instalación: _____ Intensidad esperada: _____

Prioridad	Elementos no estructurales	Localización	Vulnerabilidad			RI	Costo estimado de intervención		Comentarios	
			Cantidad	RV	PP		PF	Unitaria		Subtotal
2	Aire acondicionado	Techo	1	A	A	M	SI	\$500 (estimado)	\$500	Colocación sobre un sistema de resortes
1	Cielos rasos suspendidos	Por todos lados	200 m ²	A	A	A		\$20/ m ²	\$4000	Sin alambres diagonales
5	Calentador de agua	Cuarto de servicio	1	M	M	M		\$200	\$200	Gases inflamables, tuberías poco flexibles sin enclajes
4	Estantes	Sitios de almacenamiento	40 pies lineales 10 ml	A	M	M		\$80	\$800	Baja prioridad debido a que no contiene items esenciales; sin anclaje; 2,40m de altura
6	Divisiones de media altura	Estaciones de trabajo	20 cada 2 m	M	M	M		\$602	\$1200	Nivel estable
3	Luces fluorescentes suspendidas	Oficinas y vestíbulo	50	A	M	M		\$50	\$2500	Conectores sueltos del techo
								TOTAL		

RV(Seguridad de Vida) PP(Pérdida de Propiedad) PF(Pérdida de Funcionamiento) RI(Requerimiento de Ingenieros) B(Bajo) M(Moderado) A(Alto)

Formulario de inventario

La identificación de la instalación para la cual será utilizada el formato puede ser Habitación del Paciente, Rayos X, Cuarto de Operaciones, Sala de Urgencia, Zona de Consultorios, Laboratorio, Corredor, Suministros, Puesto de Enfermería, Sala Cuna, Cocina, Zonas de Estacionamiento, Escalera, etc. Los elementos no estructurales que deben considerarse y clasificarse incluirían sistemas como los de iluminación, agua, comunicaciones, paneles en techos, equipo en carros, gabinetes de archivo, equipo especial montado en estantes o muros, estantería, divisiones, tuberías, químicos y otros elementos que se muestran en el cuadro 5 u otros que tengan especial interés.

³ FEMA, *Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage: A Practical Guide*. (FEMA 74 Supersedes 1985 Edition). Washington 1994.

Cuadro 5.
Elementos no estructurales a considerar en la evaluación de vulnerabilidad*

Arquitectónicos	Equipos y mobiliario	Instalaciones básicas
<ul style="list-style-type: none"> • Divisiones y tabiques • Interiores • Fachadas • Cielos falsos (cielos rasos) • Elementos de cubierta • Cornisas • Terrazas • Chimeneas • Recubrimientos • Vidrios • Apéndices (letreros, etc.) • Techos • Antenas 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo médico • Equipo industrial • Equipo de oficina • Mobiliario • Contenido • Suministros • Archivos clínicos • Estanterías de farmacia 	<ul style="list-style-type: none"> • Gases médicos • Gas industrial • Electricidad • Telecomunicaciones • Vacío • Agua potable • Agua industrial • Aire acondicionado • Vapor • Tuberías en general

Existen algunos peligros no estructurales que pueden afectar la vida o la salud de los ocupantes de un hospital, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

- Muebles con bordes puntiagudos
- Vidrios que pueden caer en zonas de circulación
- Objetos que caen de estantes, gabinetes y cielo raso
- Impacto por objetos que se deslizan o ruedan por el piso
- Inhalación de gases tóxicos o médicos
- Contacto con líquidos corrosivos o peligrosos
- Quemaduras producidas por vapor
- Incendio
- Desconexión o fallas en sistemas de soporte de vida
- Incapacidad para abandonar el lugar

En muchos casos, personas sin formación especializada podrían realizar una evaluación preliminar del nivel de riesgo mediante el uso de este tipo de técnicas, teniendo en cuenta dos preguntas básicas para cada elemento no estructural en consideración:

- ¿Podría sufrir daño dicho elemento en caso de un sismo?
- ¿Podría la interrupción del funcionamiento de dicho elemento ser un problema para el establecimiento?

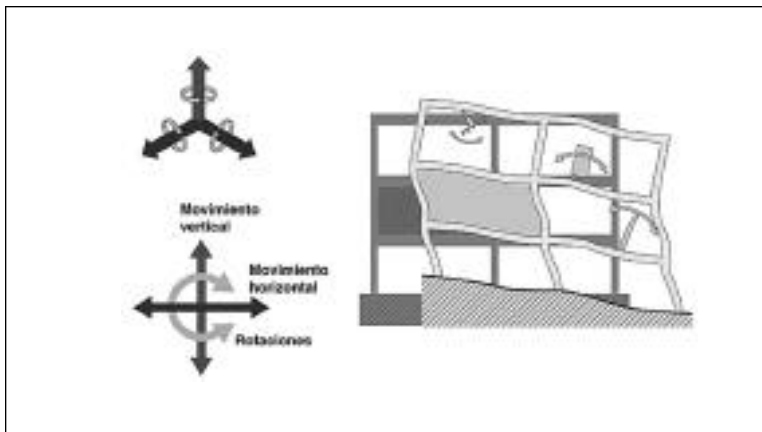
Esto producirá una lista preliminar de elementos para una consideración más detallada. En esta etapa es preferible ser conservador y sobrestimar vulnerabilidades. Luego de identificar un elemento no estructural que puede sufrir o causar daño, o que tiene una incidencia negativa en términos de pérdida de vidas, de bienes muebles y/o funcional, debe adoptarse una medida apropiada para reducir o eliminar el peligro.

* Boroschek, R., Astroza, M., Osorio, C., *Capacidad de respuesta de hospitales ante desastres sísmicos—Aspectos no estructurales*. Conferencia internacional sobre mitigación de desastres en instalaciones de salud, OPS, México, 1996.

Metodología de evaluación

Se considera que los elementos no estructurales son sensibles a las deformaciones si se ven afectados por la deformación de la estructura principal, determinada por la deriva, entendiéndose en general como deriva el desplazamiento lateral relativo entre los pisos. Dentro de esta categoría, por ejemplo, se encuentran las divisiones u otros elementos no estructurales conectados de piso a piso o entre muros estructurales o columnas. Cuando no hay interacción directa por deformación entre el elemento no estructural y la estructura, el elemento no estructural es considerado como sensible a la aceleración, como es el caso de un equipo mecánico en algún piso del edificio, ya que a medida que se ubique en pisos más altos, debido al comportamiento y el desplazamiento estructural, mayor será la aceleración y por lo tanto mayor será la fuerza a la que se verá sometido ante la vibración sísmica.

Figura 15.
Patrones de respuesta de diferentes porciones de la edificación ante los efectos de un sismo



McCue, Skaffand, Boyce

Instalaciones básicas y equipos

Los daños observados en sismos pasados en establecimientos de la salud, pueden ilustrar el tipo de problemas que pueden presentarse, algunos de los cuales se describen a continuación:

- Volcamiento del generador de electricidad debido a la corrosión y poca resistencia del anclaje con la fundación, causando interrupción del sistema de energía.
- Volcamiento total o parcial de transformadores de alto voltaje y derramamiento de aceite, causando también interrupción del sistema de energía de emergencias.
- Desplazamiento de la consola de control de comunicaciones telefónicas, causando una interrupción temporal de las comunicaciones del hospital.
- Volcamiento de cilindros de oxígeno y de gases inflamables, con pérdida de su contenido, creando una situación de alta peligrosidad.
- Volcamiento de estanterías para el almacenamiento, y rompimiento de los frascos de los gabinetes, dando como resultado la pérdida de su contenido y por consiguiente la pérdida de drogas, medicamentos requeridos y muestras biológicas.

- Caída de equipos de laboratorio y rompimiento de sistemas de instrumentación.
- Rotura de tuberías al interior del hospital, de sistemas de abastecimiento de agua, gases clínicos y/o vapor. Esto generalmente se presenta en zonas donde dichas tuberías se cruzan con juntas de dilatación, o cuando se encuentran embebidas dentro de muros de tabiquería que son dañados por sismos.

Para el estudio de estos elementos, se hace una selección previa a partir de un inventario general de los equipos considerados importantes o estratégicos por sus características físicas (dimensiones, peso, forma), por su alto costo económico, por su importancia para la operación de los servicios esenciales del hospital o por las condiciones de su anclaje.

Con el objetivo de determinar las prioridades de intervención, se consideran dos parámetros:

1. la *vulnerabilidad* del elemento o sistema, entendiéndolo por ello la susceptibilidad al daño, que se mide en términos de:
 - características de la aceleración del suelo
 - respuesta del edificio en cuanto a aceleración y desplazamientos
 - tamaño y peso del elemento
 - localización del elemento en el edificio
 - tipo de sistema resistente a fuerzas laterales del edificio, rigidez relativa del componente respecto a la del edificio
 - características de la conexión o unión (o falta de ella) entre el componente y la estructura, o entre el componente y otro elemento no estructural de soporte

La vulnerabilidad de las instalaciones y equipos puede determinarse mediante metodologías cualitativas y cuantitativas⁴, y se mide en tres categorías: baja, mediana y alta.

Baja vulnerabilidad: el componente evaluado está razonablemente bien anclado, y hay una baja probabilidad de que se dañe ante las fuerzas de diseño y la deformación del edificio.

Mediana vulnerabilidad: el componente está anclado, pero hay una moderada probabilidad de falla de esta sujeción ante las fuerzas de diseño y las deformaciones del edificio.

Alta vulnerabilidad: el componente carece de anclaje o este es insuficiente o inapropiado, por lo tanto existe una alta probabilidad de daño ante fuerzas de diseño y deformaciones del edificio.

2. las *consecuencias*, como un estimado del efecto de la falla o daño en el componente, en términos de:
 - localización del componente en el edificio (según el servicio o área)
 - ocupación del edificio o servicio, y el posible impacto sobre las vidas de los ocupantes o sobre la operatividad del edificio o servicio en caso de que el elemento falle

⁴ Véase por ejemplo McGavin, Gary L. *Earthquake Hazard Reduction for Life Support Equipment in Hospitals*. Ruhnau McGavin Ruhnau/Associates, julio de 1986.

Las consecuencias pueden medirse también en tres categorías:

Bajas consecuencias: por su ubicación en el edificio o por su tipo, el daño en el componente representa una baja probabilidad de ocasionar lesiones a los ocupantes o de interferir con el funcionamiento del establecimiento.

Moderadas consecuencias: por su ubicación o por su tipo, el componente representa una moderada probabilidad de causar lesiones a los ocupantes o de interferir con el funcionamiento del establecimiento.

Altas consecuencias: el componente representa una alta probabilidad de causar lesiones (e inclusive muertes) a los ocupantes, o de comprometer seriamente el funcionamiento del edificio.

Mediante estos dos parámetros puede definirse una matriz de prioridades⁵, que se presenta en el Cuadro 6:

Cuadro 6.
Matriz de prioridades

Vulnerabilidad	Consecuencias		
	Altas	Medias	Bajas
Alta	1	4	7
Media	2	5	8
Baja	3	6	9

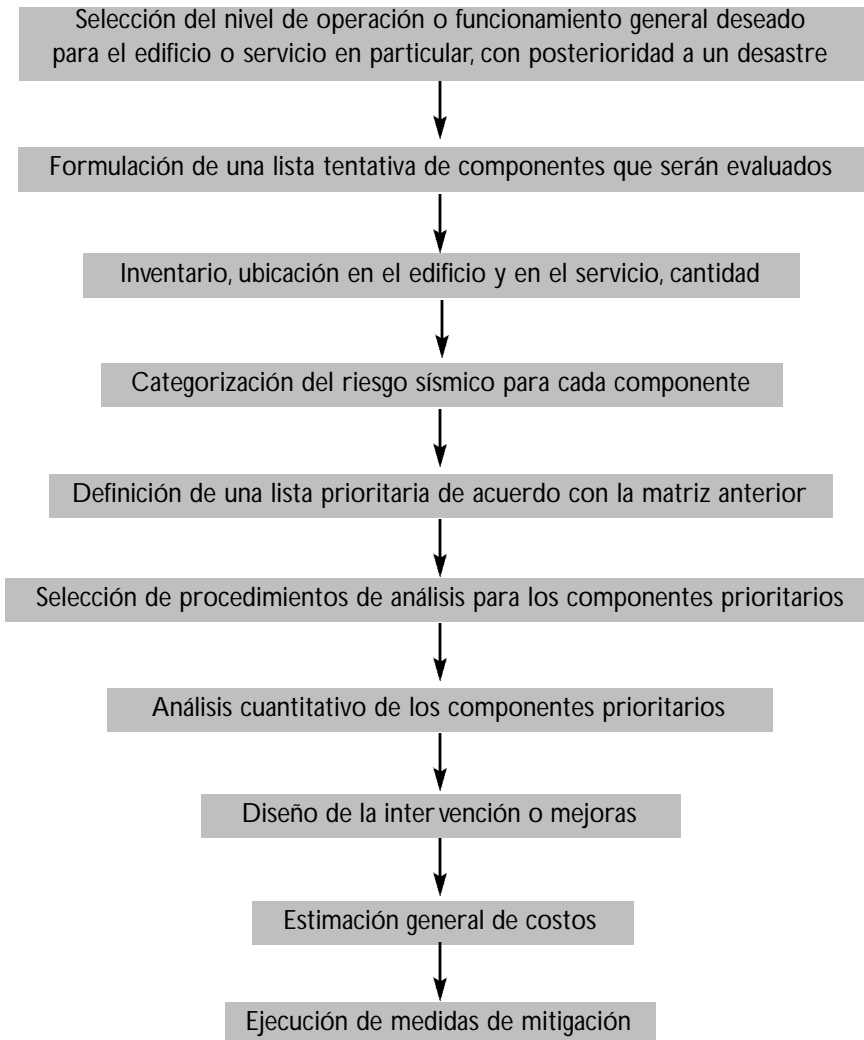
siendo 1 la prioridad más alta para la intervención (reforzamiento o rehabilitación del componente), 2 la segunda, y así sucesivamente.

En base a estos principios, se establece el procedimiento de evaluación, que sigue básicamente los pasos que se describen en el flujograma de la página siguiente.

En general, son notorias las deficiencias de los anclajes o sujeciones de equipos no prioritarios, con la ventaja de que las medidas correctivas son, por lo general, de fácil aplicación y bajo costo. La importancia de los detalles de este tipo radica en que, si no son intervenidos, pueden provocar problemas en la prestación del servicio después de un sismo.

Nagasawa⁶ describe que, a raíz del sismo de Kobe (Japón, 1995), una importante cantidad de hospitales reportó daños por caída de estantes, por desplazamiento de equipo con ruedas que carecían de frenos o no estaban en uso, por caída de equipos de escritorio, equipo médico y equipos de laboratorio que carecían de sujeción. En algunos casos, hasta los equipos pesados como resonancia magnética, tomógrafo axial computarizado (TAC) y rayos X se desplazaron de 30 centímetros a 1 metro, y equipos suspendidos del cielo raso, como el angiógrafo, se desprendió de su soporte y cayó, dañando a su vez otros elementos importantes.

⁵ ATC (Report ATC 33-03), *Guidelines for Seismic Rehabilitation of Buildings*, 75% Submittal, Third Draft, 3 Volumes, Redwood City, 1995; *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, (FEMA 273).



Un ejemplo de listado de los equipos evaluados aparece en el Cuadro 7. En él se detalla el tipo de equipo, sus características o dimensiones, su ubicación según servicio, su grado estimado de vulnerabilidad, las consecuencias de su falla y una prioridad asignada consecuentemente. Además, se describe el tipo de apoyo, anclaje o sujeción del equipo.

⁶ Nagasawa, Y., *Daños Provocados en Hospitales y Clínicas por Terremoto en Kobe, Japón*. Japan Hospital No. 15.

Cuadro 7.
Ejemplo de listado de equipos evaluados

TIPO DE EQUIPO	UBICACIÓN	DIMENSIÓN	VULNERABILIDAD (V)	CONSECUENCIA (C)	PRIORIDAD	
Componente	Sistema o servicio	Características	(A,M,B)	(A,M,B)	f (V, C)	Tipo de soporte
Tanque oxígeno	Red Oxígeno	5,5 x 2,3	A	A	1	Patas,c/pernos
Transformador	Red eléctrica	3 x 2,5 x 2	A	A	1	Pernos
Tableros	Red eléctrica	6 x 2 x 1	A	A	1	Apoyo simple
Máq.anestesia C/monitor	Quirófanos	1 x 2 x 2,2	A	A	1	
Tanques aéreos (agua)	Red agua potable		M	A	2	
Acometida de gas	Red de gas		M	A	2	Sin anclaje
Planta de emergencia	Red eléctrica		M	A	2	Pernos
Planta de emergencia	Red eléctrica		M	A	2	Pernos
Equipos varios	Laboratorio clínico	Varios	B	A	3	Equipos sobre mesa
Central telefónica	Comunicaciones	5 x 1,4	A	M	4	Apoyo simple
Estantes	Central Esterilización	Varios	A	M	4	Sin anclaje
Estantes	Suministros	2,2 x 1 x 0,6	A	M	4	Sin anclajes
Congelador	Banco de sangre	2,5 x 2 x 0,5	A	M	4	Apoyo simple
Cilindros de oxígeno	Quirófanos	Varios	A	M	4	
Motor ascensores	Ascensores		M	M	5	Pernos
Controles ascensores	Ascensores	2,5 x 1	M	M	5	Pernos
Poleas ascensores	Ascensores		M	M	5	Pernos
Unidad diálisis	Hemodiálisis	0,8 x 1,2	M	M	5	Apoyo simple c/rodillos
Lámpara cielítica	Cirugía plástica	Varios	M	M	5	Empotrado
Incubadora	Neonatología	Varios	M	M	5	Apoyo simple c/rodillos

Un ejemplo de aplicación de otras metodologías cualitativas de determinación de daños probables según el tipo de riesgo al que está sometido un componente arquitectónico o de mobiliario se presenta a continuación:

Ejemplo de aplicación de evaluación de componentes no estructurales: el Hospital Nacional Edgardo Rebagliati Martins del Instituto Peruano del Seguro Social⁷

Sistema de iluminación	Nivel de daño por instalación inadecuada	Consecuencias y daños probables debido a inadecuada protección o instalación	Tipo de riesgo
INCANDESCENTES Iluminación fija Iluminación suspendida Tipo braquete	Leve a pérdida	<ul style="list-style-type: none"> • En caso de focos fijos generalmente no se presentan daños • Los sistemas suspendidos no arriostrados pueden golpearse quedando inoperativos. • Los sistemas suspendidos que corren sobre rieles presentan posibilidad de salida de su eje. • Posibilidad de focos inoperativos 	■
Iluminación de emergencia	Leve a pérdida	<ul style="list-style-type: none"> • Caída del equipo debido a inexistente o inadecuado anclaje a medio de soporte • Rotura del equipo en caso de caída • Rotura de la conexión eléctrica 	☄ ▲ ■
LÁMPARAS Sobre muebles De pie	Leve a pérdida	<ul style="list-style-type: none"> • Volteo y/o caídas • Rotura del equipo 	▲ ■
C.A.03.- ORNAMENTOS Y APÉNDICES PERMANENTES			
Parapetos Cornisas Volados Balcones Barandas Rejas Postes Pedestales Enchapes Letreros	Leve a pérdida	<ul style="list-style-type: none"> • Desplazamiento • Caída • Volteo • Rotura • Desplomar 	☄ ▲ ■
C.A.04.- JUNTAS CONSTRUCTIVAS			
Tapa junta Estado de conservación Separación libre Material	Leve a moderado	<ul style="list-style-type: none"> • Daño en tarrajeo o muros debido a junta constructiva rellena (evitar llenar de material de obra el espacio de junta entremuros). • Confusión y pánico de los usuarios en general al relacionar erróneamente el comportamiento de la junta constructiva con el colapso físico de las edificaciones. • Desprendimiento del protector de la junta (metálica, madera, aluminio, cobre, bronce, etc.) 	■
☄ = Riesgo para la vida ■ = Riesgo de la pérdida funcional ▲ = Riesgo de pérdida del bien			

⁷ Bellido Retamozo, J.; García, Enrique et al. *Proyecto de diagnóstico de la vulnerabilidad sísmica de hospitales del Perú*. Sección III: Componente No-Estructural. OPS/OMS, ECHO, Lima-Perú, 1997.

A continuación se presenta, a modo de ejemplo, el análisis cualitativo del tanque de oxígeno líquido del Hospital Ramón González Valencia de Bucaramanga, Colombia, en donde claramente se detecta que en su diseño no se consideró la posibilidad de un movimiento sísmico fuerte (Cuadro 8). Aparte de ser un tanque esbelto que fácilmente puede volcarse por tener su centro de gravedad relativamente alto, sus apoyos no están debidamente conectados para evitar el deslizamiento y el volcamiento causado por una fuerza lateral inercial. (Fotografías 15 y 16)

Cuadro 8.
Tanque de oxígeno líquido

ELEMENTO: Tanque de oxígeno

DESCRIPCION DEL ELEMENTO	CALIFICACIÓN					
	BIEN	REGULAR	MAL	NO APLICA	NO EXISTE	NO VISIBLE
FUNDACIÓN:						
Tipo: Patas metálicas			X			
Material aislante				X		
FIJACIÓN:						
Superficie amplia y adecuada para el anclaje			X			
Elemento fijamente asegurado al pedestal			X			
Tamaño o cantidad de pernos			X			
Aisladores de vibración					X	
Amortiguadores sísmicos					X	
CONEXIONES:						X
Junta flexible o flexibilidad de la tubería				X		
Conexión eléctrica flexible				X		
Conexión flexible al ducto						
OTROS:						
Dique o drenaje de emergencia				X		
Protección contra corrosión del anclaje				X		

Elementos arquitectónicos

Los elementos arquitectónicos detallados a continuación han resultado ser los más sensibles a la deformación; por lo tanto, si se quiere garantizar un nivel de seguridad que permita al menos la ocupación inmediata del establecimiento hospitalario después de un sismo, es indispensable limitar las deformaciones de la estructura en caso de sismo, o tomar consideraciones especiales con dichos elementos. Para ello, se requiere ineludiblemente la rehabilitación sísmica de la estructura o la total independencia entre los elementos arquitectónicos y los componentes estructurales como muros, vigas y columnas.

Muros no estructurales

Se definen como muros no estructurales a las paredes de mampostería (albañilería), u otro material que sirva con fines divisorios de espacios, que soportan su propio peso y tienen una capacidad muy limitada para soportar fuerzas laterales, así como para absorber deformaciones significativas.



O.D.Cardona

Fotografía 15. Vista lateral del tanque de oxígeno

En estos muros, la falla ocurre por agrietamiento y desplazamiento lateral a lo largo de las grietas. Las grietas pequeñas, debidas al leve movimiento de la estructura portante, por lo general no son críticas aunque inducen a desprendimientos del recubrimiento (pañetes, revoques, cerámica), lo cual podría eventualmente interferir con el funcionamiento del hospital dependiendo del tamaño de los pedazos que se desprendan. Las grietas de más de 0,007 milímetros son señal de pérdida de capacidad de soporte al cortante y, por lo tanto, de falla grave del muro. En general, para un nivel de seguridad de ocupación inmediata, se admite que las grietas no comprometan la capacidad al cortante del muro y que no haya deformaciones fuera del plano.

Algunos datos sobre la capacidad de formación lateral de tabiques, donde algunos de ellos son utilizados en establecimientos hospitalarios, se muestran en el cuadro 9.



O.D.Cardona

Fotografía 16. Detalle de conexión en los soportes

Cuadro 9.
Capacidad de deformación lateral en (%)⁸

Tipo panel	Estado de servicio	Estado último	Relación alto * ancho (cm)
Albañilería confinada con ladrillo artesanal	0,125	0,40	240x240
Albañilería confinada con ladrillo hecho a máquina	0,25	0,70	240x240
Madera revestida con planchas de yeso-cartón	0,70	1,10	240x240
Madera revestida con yeso-cartón y asbesto-cemento	0,65	1,00	240x240
Hormigón liviano	0,20	0,70	240x100
Bastidor de acero revestido con asbesto-cemento	–	0,55	200x100
Bastidor de acero relleno con paneles de hormigón liviano	0,35	0,95	230x97
Poliestireno expandido reforzado con malla de acero y estucado	0,35	0,80	240x112
Alma de poliestireno expandido revestido con asbesto-cemento	0,50	0,75	240x120
Estado de servicio: Nivel de deformación para el cual comienza el daño en el tabique. Estado último: Cuando el nivel de daño del tabique obliga a su reparación o reemplazo.			

Aunque la mampostería de relleno no reforzada, o muros no estructurales, por lo general no se consideran parte estructural, los muros de mampostería le dan rigidez al edificio hasta el momento en



Fotografía 17. Por privilegiar aspectos estéticos de las edificaciones, algunas veces se aumenta su vulnerabilidad.

⁸ Astroza, M.; Aguila, V.; Willat, C. "Capacidad de deformación lateral de tabiques" 7as Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Vol. 1, La Serena – Chile, Noviembre 1997

que dichos muros comiencen a fallar por la interacción con la estructura flexible. Si estos muros fallan irregularmente, pueden causar graves concentraciones de esfuerzos en columnas y vigas que no se previeron en el diseño, lo que puede comprometer incluso la estabilidad de la estructura.

Acabados y terminaciones

Si el pesado recubrimiento en el exterior del edificio cae durante un movimiento sísmico en forma parcial (Fotografía 17), es decir, si un costado del edificio pierde buena parte de su revestimiento mientras otro lado no, además de provocar daños en las personas o bienes en la periferia del edificio, se presentará una excentricidad que induciría efectos de torsión al edificio. Esta torsión que no se tuvo en cuenta en los cálculos estructurales originales podría dar como resultado algunos colapsos parciales. Es importante destacar que, después de un sismo, lo que en apariencia se califica como un daño importante podría ser únicamente daño de la tabiquería que no compromete la estabilidad estructural del hospital, pero que sí puede ocasionar dificultades de operación por falta de asepsia u obstrucciones, etc.

Los códigos de diseño contemplan usualmente el requisito de limitar la deriva de piso con el fin de asegurar indirectamente la protección de los elementos no estructurales adosados a los diafragmas. Un límite aceptado para hospitales por el código ATC-3 es el de 0,01 veces la altura libre del piso, para el sismo de diseño. Sin embargo, si se tienen dudas sobre el límite propuesto, resulta conveniente proveer sistemas de aislamiento de tales elementos con el resto de la estructura.

En lo que se refiere a muros de mampostería unidos a la estructura, el aislamiento debe ser considerado dependiendo de la concepción global del diseño de la estructura. En efecto, si el diseño estructural no contempla dichos muros como parte del sistema de resistencia sísmica, estos pueden causar problemas de torsión debido a su posición asimétrica, o de pisos débiles debido a su concentración en solamente unos pisos. Estos son los problemas más comunes presentados por este tipo de muros, por lo cual es conveniente aislarlos de la estructura. Rosenblueth⁹ presenta varios esquemas de aislamiento del muro con respecto al diafragma y al pórtico.

En el caso en que los muros no estructurales no causen problemas por su disposición en planta y en altura, es conveniente considerarlos en el análisis como parte de la estructura resistente a sismos. Este hecho es de gran importancia debido a que la respuesta sísmica de la construcción en su conjunto puede ser muy diferente de la reportada por el modelo en el que se ignore la presencia de dichos muros. De hecho, la variación de rigidez en el modelo conduce a fuerzas de diseño diferentes, tanto en sismos moderados como intensos.

Columna corta

Otro problema arquitectónico que tiene impacto sobre la estructura se denomina "el efecto de columna corta" (Fotografía 18). Algunas veces se cierran vanos de la estructura con mampostería de relleno hasta cierto nivel, dejando en la parte superior únicamente espacio para ventanas altas. Esto confina la parte inferior de las columnas y, esencialmente, acorta su longitud efectiva. Ha quedado en evidencia que dichas "columnas cortas" fallan frágilmente en caso de sismos.

Cielos rasos (cielos falsos)

Los cielos rasos son elementos no estructurales sensibles a la deformación y a la aceleración producida por sismos. La deformación de las losas puede causar distorsión horizontal, y la deformación de

⁹ Rosenblueth, E. (ed.), Design of Earthquake Resistant Structures. Nueva York, 1981.



O.D.Cardona

Fotografía 18. Efecto de columna corta

la estructura principal puede provocar que el cielo raso pierda su soporte y caiga. El comportamiento sísmico de los cielos rasos suspendidos depende primordialmente de la respuesta sísmica de su soporte. El diafragma de aluminio por lo general muestra un buen comportamiento, siempre y cuando esté debidamente anclado (cables o soportes adecuados) y si el material adhesivo que une las láminas a los perfiles es efectivo.

Es recomendable que los paneles livianos no sean frágiles, o sea, deben ser capaces de soportar deformaciones sin quebrarse o agrietarse.

Cierto rango de deformaciones en el diafragma de aluminio puede provocar caída masiva de los paneles, lo que constituye una amenaza de posibles lesiones a los ocupantes y puede provocar daños en equipos y bloquear rutas de circulación (Fotografía 19).

Asimismo, se debe tener cuidado de que las lámparas, que forman parte de los cielos rasos, cuenten con un sistema de soporte independiente, de manera que si se produce la caída masiva de los paneles el sistema de iluminación pueda seguir funcionando.



O.D.Cardona

Fotografía 19. Daños en cielos rasos

Ventanería

Los marcos metálicos anclados a la estructura o a los muros no estructurales al ser sometidos a grandes deformaciones se torcerán y sufrirán pandeo, provocando que el vidrio se salga del marco o que se quiebre. Este problema se debe a varias causas:

- El vidrio ha sido cortado muy pequeño respecto a la abertura.
- El vidrio ha sido cortado muy grande respecto a la abertura, dejando por lo tanto poco o ningún margen para su adecuación a las deformaciones del marco.
- El vidrio no está bien ajustado al marco, de forma que se presenta movimiento independiente del marco, provocando ruptura o caída.

Debido a lo anterior, y a que la estructura no se encuentra debidamente rigidizada para restringir las deformaciones laterales y la distorsión angular de los vanos en los cuales se encuentran las ventanas, es de esperarse que en caso de un sismo moderado o intenso se rompan un número importante de vidrios por el daño o deformación de los marcos de las ventanas (Fotografía 20).



R. Boroschek

Fotografía 20. La rotura de vidrios puede causar daños a los ocupantes del hospital, así como obstaculizar las vías de circulación y evacuación.

Intervención y reducción de la vulnerabilidad no estructural

Para lograr una efectiva reducción de la vulnerabilidad no estructural se debe realizar un plan de mitigación hospitalaria, en donde intervengan por lo menos los siguientes profesionales: director del hospital, administrador, jefe de mantenimiento, jefes de servicios clínicos y de apoyo, profesionales expertos en mitigación.

Una vez identificado un elemento no estructural de amenaza potencial y establecida su prioridad en términos de pérdida de vidas, de bienes muebles y/o funcionamiento, deberán adoptarse las medidas apropiadas para reducir o eliminar el peligro. A veces, simplemente se debe ser creativo y utilizar la imaginación¹⁰. A continuación se incluye una lista de doce medidas aplicables de mitigación, eficaces en muchos casos:

¹⁰ FEMA, *Non-Structural Earthquake Hazard Mitigation for Hospitals and Other Care Facilities* (FEMA IG 370). Washington, D.C., 1989.

- | | |
|-----------------------------|------------------------------------|
| 1. Remoción | 2. Reubicación |
| 3. Movilización restringida | 4. Anclaje |
| 5. Acoples flexibles | 6. Soportes |
| 7. Sustitución | 8. Modificación |
| 9. Aislamiento | 10. Refuerzo |
| 11. Redundancia | 12. Rápida respuesta y preparación |

La remoción

Es la alternativa más conveniente de mitigación en muchos casos. Por ejemplo, un material peligroso podría derramarse pero podría perfectamente almacenarse fuera de los predios. Otro ejemplo sería el uso de un revestimiento muy pesado en piedra o concreto en el exterior del edificio, que podría desprenderse fácilmente durante un sismo. Una solución sería un mejor anclaje o el uso de soportes más fuertes, pero la más efectiva sería la remoción y la sustitución.

La reubicación

Reduciría el peligro en muchos casos. Por ejemplo, un objeto muy pesado encima de un estante podría caer y herir gravemente, así como podría averiarse causando cuantiosas pérdidas. Si se reubica en un estante a nivel del piso no representaría peligro para las vidas humanas ni para la propiedad.

La restricción en la movilización de ciertos objetos

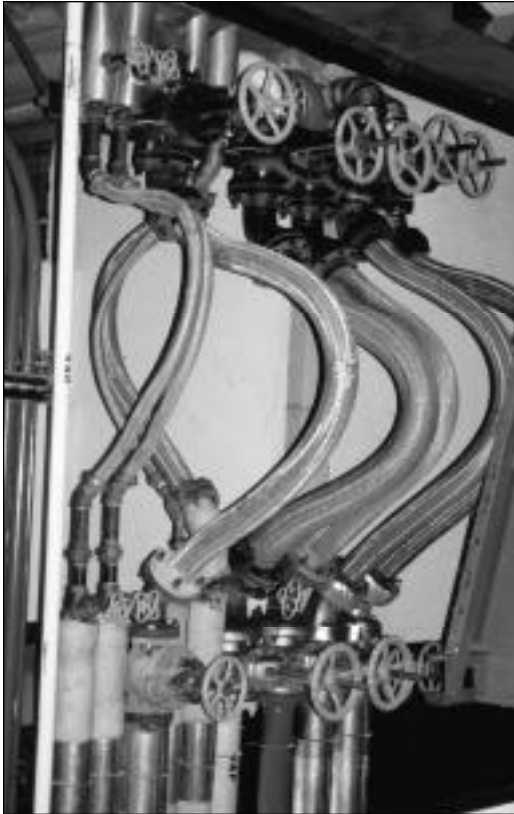
tales como cilindros de gas y generadores de electricidad, es una buena medida. No importa que los cilindros se muevan un poco, mientras no caigan y no se rompan sus válvulas. En ocasiones se desea montar los generadores de potencia alterna sobre resortes para reducir el ruido y las vibraciones cuando estén operando, pero los resortes amplificarían los temblores de tierra. Por lo tanto, deberían colocarse también soportes de restricción o cadenas alrededor de estos resortes de montaje para evitar que el generador salte de su puesto o sea derribado.

El anclaje

Es la medida de mayor aplicación. Es buena idea asegurar con pernos, amarrar, utilizar cables o evitar que piezas de valor o de tamaño considerable caigan o se deslicen. Cuanto más pesado sea el objeto, más factible es que se mueva debido a las fuerzas producidas por un sismo. Un buen ejemplo es un calentador de agua; posiblemente habrá varios en un hospital, son pesados y caen fácilmente, pudiendo romper una línea principal de agua. La solución simple es utilizar una cinta metálica para asegurar la parte inferior y superior del calentador contra un muro firme u otro soporte.

Los acoples flexibles

Algunas veces se usan entre edificios y tanques exteriores, entre diferentes partes del mismo edificio separados por juntas de dilatación sísmica (Fotografías 21 y 22). Su utilización se debe a que cada uno de los objetos se moverá independientemente como respuesta a un sismo: algunos se mueven rápidamente, otros lentamente. Si hay un tanque fuera del edificio con una tubería rígida de conexión que los une, el tanque vibrará a frecuencias, direcciones y amplitudes diferentes a las del edificio, pudiendo romper la tubería; un tubo flexible entre los dos evitaría rupturas de esta naturaleza (Figura 16).



OPIS/OMIS, C. Osorio

Fotografía 21. El uso de tuberías flexibles en zonas críticas como juntas de dilatación sísmica, uniones con equipos y cruce de edificios, ayuda a reducir la vulnerabilidad.

Soportes

Son apropiados en muchos casos. Por ejemplo, los cielo rasos por lo general están colgados de cables metálicos que solo resisten la fuerza de la gravedad. Al someterlos a las fuerzas horizontales y de torsión que resultan de un sismo, caen fácilmente (Figura 17). Al caer, puede producir serios accidentes a las personas que están debajo y obstaculizar las vías de evacuación.

La sustitución por algo que no represente un peligro sísmico es lo correcto en algunas situaciones: por ejemplo, un pesado techo de teja no sólo hace pesada la cubierta de un edificio, sino que es más susceptible al movimiento del terreno en un sismo; las tejas individuales tienden a desprenderse, creando peligro para la gente y los objetos. Una solución sería el cambio por una cubierta más liviana y segura.

Modificación

Algunas veces es posible modificar un objeto que represente un peligro sísmico. Por ejemplo, los movimientos de la tierra retuercen y contorsionan un edificio, el vidrio rígido de las ventanas puede romperse violentamente lanzando afilados pedazos de vidrio contra los ocupantes y transeúntes en la periferia del hospital. Es

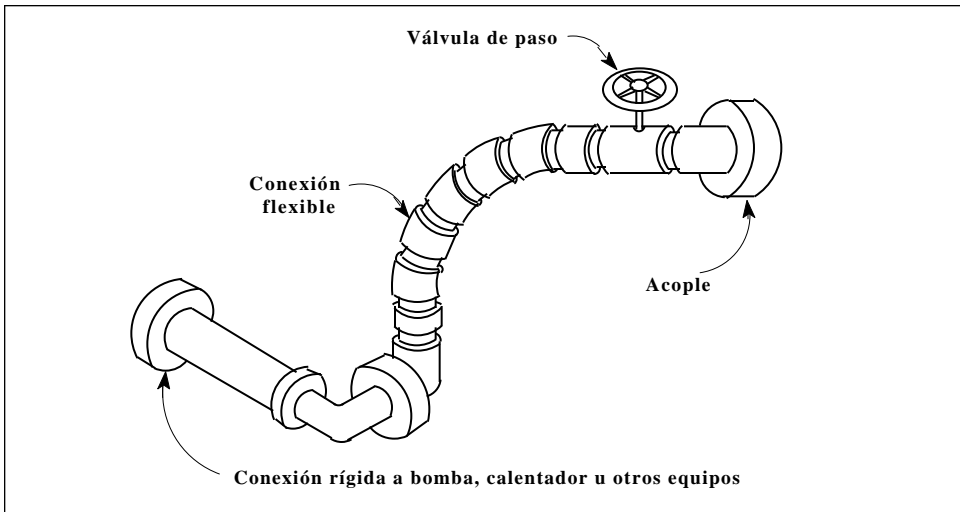


O.D.Cardona

Fotografía 22. Tuberías rígidas

posible adquirir rollos de plástico adhesivo transparente, para cubrir las superficies internas y evitar que se rompan y amenacen a los que están dentro. El plástico es invisible y reduce el potencial del vidrio de producir lesiones.

Figura 16.
Acople y conexión flexible



El aislamiento

Es útil para pequeños objetos sueltos. Por ejemplo, si se colocan paneles laterales en estantes abiertos o puertas con pestillos en los gabinetes, su contenido quedará aislado y probablemente no será arrojado por el recinto en caso de producirse un sismo.

Los refuerzos

Son factibles en muchos casos. Por ejemplo, se puede reforzar un muro de relleno o una chimenea, sin mayor costo, cubriendo la superficie con una malla de alambre y cementándola.

Redundancia

Los planes de respuesta a emergencias con existencias adicionales constituyen una buena idea. Es posible almacenar cantidades adicionales de ciertos productos e insumos, los cuales darán un cierto grado de independencia del suministro externo, que puede verse interrumpido en caso de sismos.

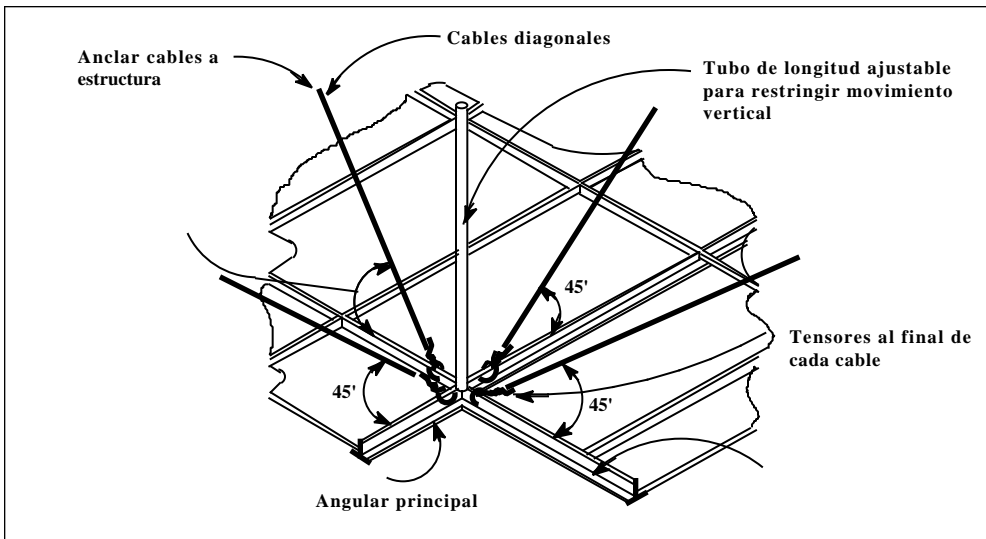
La respuesta rápida y reparación

Es una metodología de mitigación empleada en largos oleoductos. Algunas veces no es posible hacer algo para evitar la ruptura de una línea en un sitio dado, por lo que se almacenan repuestos cerca y se hacen los arreglos necesarios para entrar rápidamente a la zona en caso de ruptura de la línea durante un sismo. Se podrían tener a mano en un hospital piezas de plomería, electricidad y demás, junto con las herramientas apropiadas, de manera que si algo se daña pueda arreglarse fácilmente. Por ejemplo,

durante un sismo se pueden romper las tuberías de agua; tal vez no se pueda acoplar cada uno de los tubos y tomar cada una de las medidas para eliminar totalmente este riesgo, pero pueden tenerse a mano los medios para arreglar las cosas rápidamente. Con esta planificación previa al sismo es posible ahorrar enormes costos en daños ocasionados por agua con una inversión mínima en unos pocos artículos y pensando por anticipado en lo que podría ocurrir.

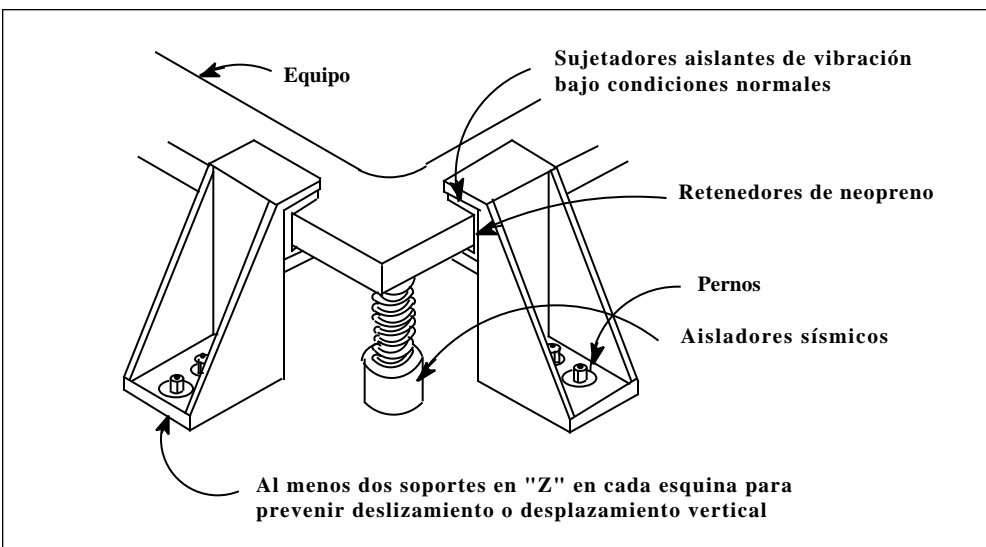
Las medidas generales anotadas y discutidas se aplicarán a casi todas las situaciones. Sin embargo, en muchos casos simplemente se debe ser creativo y pensar en una solución de mitigación propia.

Figura 17.
Arriostramiento de cielo raso



FEMA

Figura 18.
Sujetadores aislantes de vibración



FEMA

Mitigación de daños en las instalaciones básicas

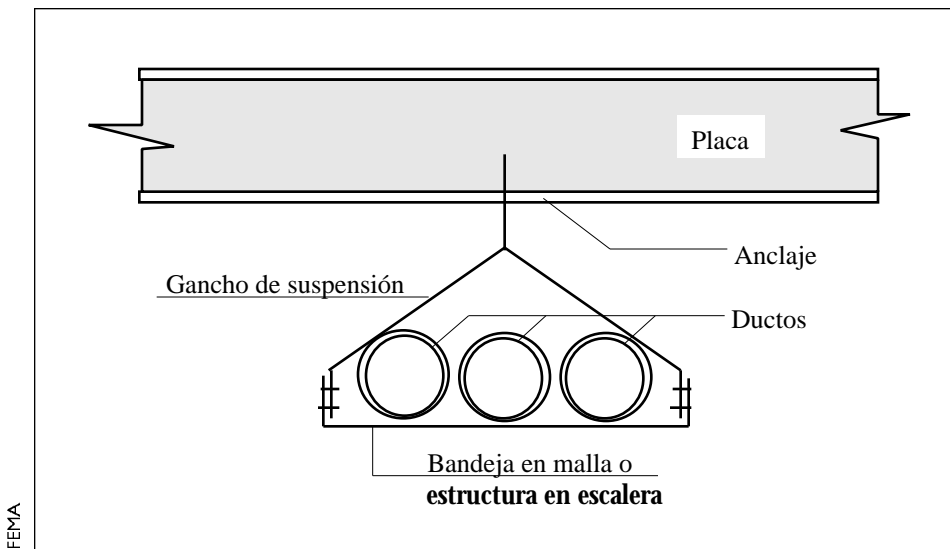
El objetivo fundamental de la mitigación será que el hospital tenga asegurado el servicio de ciertos suministros de manera continua, tales como agua y electricidad, contando, por ejemplo, con fuentes propias de agua, reservorios de tamaño adecuado para garantizar la autonomía, y plantas eléctricas.

Las instalaciones de suministro de agua, gases clínicos, vapor y electricidad son puntos vulnerables y en la mayoría de los casos se ubican sobre el cielo raso. Si se tiene especial cuidado en los aspectos constructivos para tender estas redes, como por ejemplo suspenderlas en placas y soportes especiales anclados a las placas, se puede evitar que en caso de sismo estas instalaciones caigan o se desacoplen. Otra ventaja que da la malla soporte es poder extender la red rígida, combinada con tramos de redes flexibles, cada cierto número de metros, evitando de esta manera que la red se fracture¹¹.

Igual tratamiento merecen los ductos verticales que, si están bien ubicados, con espacios suficientes, pueden absorber los movimientos sísmicos. Es importante también dejar previstas en estos ductos puertas que permitan acceder para inspeccionar y dar adecuado mantenimiento al sistema (Figura 18).

Una solución que recientemente se viene utilizando, es dejar sobre fachadas y a la vista todas las instalaciones mecánicas. Esto permite no solamente la revisión normal de las instalaciones, sino también que en caso de daños estas instalaciones sean fácilmente reparables. Sería conveniente también, en habitaciones individuales u otros ambientes, prever instalaciones mecánicas que permitan aumentar el número de camas en situaciones que lo ameriten. Esto permite aumentar el número de camas, mejorando la capacidad de respuesta a las situaciones de emergencia.

Figura 19.
Detalle del ducto colgante



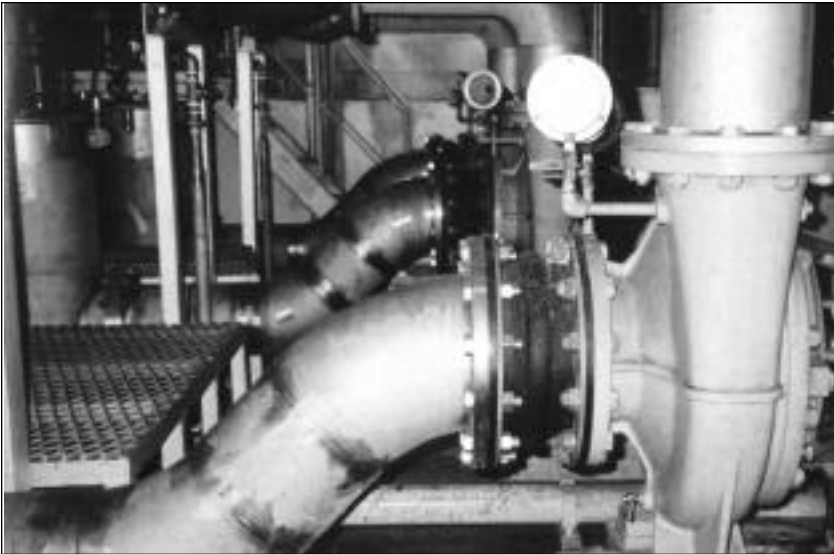
¹¹ FEMA, *Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage: A Practical Guide*. (FEMA 74 Supersedes 1985 Edition) Washington, D.C., 1994.

El agua caliente y el vapor de las zonas de cocina se convierten en factores potenciales de peligro; por lo tanto, es necesario revisar permanentemente estos sectores por parte del personal de mantenimiento, que verifique entre otras cosas que la tubería de conducción esté perfectamente anclada y que no existan posibilidades de escape.

Una gran parte de los equipos de un hospital requiere conexiones a sistemas eléctricos o mecánicos. En caso de sismo es necesario acudir inmediatamente a hacer una revisión, ya que aunque el equipo esté perfectamente instalado, quizás haya suficiente movimiento como para alterar las conexiones rígidas. Esta alteración puede causar peligro a las vidas de los pacientes en caso de que se presente un mal funcionamiento del equipo cuando esté conectado a las redes de agua, vapor o gas.

Se puede anotar como posibles soluciones las siguientes:

- Conexiones con mangueras flexibles.
- Conexiones de mover giratorias.
- Válvulas automáticas de interrupción de suministros.



O.D. Cardona

Fotografía 23. Tubería con conexión flexible

Las plantas de emergencia son objetos pesados, y cuanto más pesadas sean mayores serán las posibilidades de que se muevan. Los montajes de este tipo de equipos sobre resorte amplifican el movimiento en el sismo, razón por la cual se debe tener en cuenta esto al diseñar las medidas de restricción. El movimiento de un generador puede bloquear entradas, desplazar partes estructurales o romper las líneas de suministros eléctrico y de combustible. Por lo tanto, las conexiones e instalación deben tener un tratamiento especial. Se recomienda para este caso utilizar conexiones flexibles (Fotografía 23).

Dentro de las recomendaciones para proteger la planta de emergencia, vale mencionar las siguientes:

- La planta debe estar anclada o frenada de tal forma que no tenga movimientos ni se pueda deslizar.
- La fuente de combustible debe estar disponible durante y después del sismo.
- Las baterías de arranque o el automático de entrada deben estar en perfectas condiciones de funcionamiento.

En lo relacionado a la disponibilidad de combustible para operar la planta de emergencia, este debe ser continuo y estar disponible en todo momento, independientemente de los daños que se produzcan por cualquier movimiento o accidente. También es necesario cerciorarse de que las baterías de repuestos estén en estantes correctamente asegurados, de manera que no se caigan.

Las comunicaciones tanto internas como externas deben seguir funcionando en todo momento; por tal motivo, en situaciones de emergencia hay necesidad de tener a mano sistemas de radio portátiles, altavoces, etc., para organizar tanto al personal como a los usuarios del edificio. Las comunicaciones son fundamentales también para mantener contacto con el exterior, con otros hospitales de referencia o con familiares de pacientes.

Algunos equipos necesarios en hospitales están suspendidos del cielo raso o la placa de piso, tal como sucede con las lámparas cielíticas en el centro quirúrgico y obstétrico, unidades de rayos X que tienen cierto amperaje, algunos equipos en salones de ejercicios en terapias, campanas extractoras en cocina y algunos laboratorios. Es necesario tener en cuenta las recomendaciones y especificaciones de anclaje suministradas por las casas productoras, las cuales en la mayoría de los casos especifican vigas y cáncamos especiales para suspender dichos equipos.

También es recomendable que los muebles que contengan medicamentos, frascos y recipientes de diferente índole tengan una especie de baranda frontal en cada uno de sus entrepaños, para evitar que los elementos allí almacenados caigan o se derramen ocasionando peligro u obstáculos para los usuarios.

Muchas son las medidas de mitigación que se deben tener en cuenta en el planeamiento de un establecimiento de salud, a diferencia de otros tipos de edificación. Tal como se mencionó, muchos de los daños se deben al colapso o al deterioro parcial de la estructura. Sin embargo, existen casos donde una vez ocurrido el sismo, el edificio ha quedado en pie pero inhabilitado debido a daños no estructurales, cuyos costos son muy superiores a los estructurales.

El estudio de vulnerabilidad no estructural

Bucaramanga es una ciudad localizada al nororiente de Colombia, en una zona de amenaza sísmica alta. Su principal instalación de salud, el Hospital Ramón González Valencia, es una edificación masiva de doce pisos diseñada y construida a principios de los años 50, en una estructura aporcada cimentada en zapatas aisladas a una profundidad de no más de dos metros, debido a que el suelo tiene una capacidad que supera los 4 kg/cm². Por la época de su construcción y por sus características de configuración estructural, fácilmente se puede concluir que este tipo de edificación es significativamente vulnerable a los sismos, situación que no obedece a falta de cuidado en su diseño y construcción, sino a que en la época, 1950, no se tenían los conocimientos que hoy se tienen sobre la amenaza sísmica en la zona y el

comportamiento estructural de este tipo de estructura ante sismos. Por varios años las autoridades del hospital y de la región estuvieron intentando identificar recursos tanto del orden local como regional y nacional, con el fin de llevar a cabo el estudio de vulnerabilidad sísmica estructural, sin resultados positivos. En 1996, el Ministerio de Salud pudo obtener en primera instancia algunos recursos presupuestarios que permitieron financiar los estudios de vulnerabilidad no estructural y funcional, lo que se consideró de especial importancia para avanzar en la evaluación de la vulnerabilidad en general del hospital. Este estudio fue el primer trabajo formal de evaluación de vulnerabilidad no estructural que se llevó a cabo en el país. Su desarrollo permitió conocer de manera significativa la forma de llevar a cabo este tipo de diagnósticos y las intervenciones respectivas, además de haber servido de orientación para la realización de otros estudios en hospitales de Santa Fe de Bogotá y Manizales¹².

No obstante, uno de los resultados más importantes del estudio no estructural fue la ratificación de la necesidad de emprender los estudios de la respuesta estructural de la edificación en caso de sismos fuertes. Debido a la flexibilidad de la estructura y a su potencial mal comportamiento en caso de eventos sísmicos fuertes se concluyó, por métodos simplificados y cualitativos, que las deformaciones que podría llegar a tener la estructura causarían graves daños en los elementos no estructurales, fueran equipos, instalaciones o componentes arquitectónicos. En consecuencia, los resultados del estudio indicaron que, aunque la intervención de la vulnerabilidad no estructural y funcional era altamente beneficiosa, el daño potencial que podía sufrir la estructura comprometería la operación del hospital. En 1997, después de superar varias dificultades de carácter burocrático, se lograron identificar finalmente los recursos para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica estructural y el diseño del reforzamiento.

Mitigación de daños en elementos arquitectónicos

La selección de los materiales de revestimiento y acabados en un hospital no solamente tiene connotaciones estéticas y de durabilidad, sino también de mitigación de riesgos. De su estabilidad depende que no se conviertan en un peligro para las personas que habitan el edificio en caso de un sismo. Este aspecto es muy importante, dado que no se trata simplemente de que el hospital no falle estructuralmente, sino que sus acabados, muros, puertas, ventanas, cielos rasos, etc., puedan permanecer en su sitio evitando convertirse en un peligro para la vida u obstaculicen los movimientos de pacientes, personal médico, paramédico y del resto de personas que se encuentren o acudan al edificio en el momento de un desastre.

El cielo raso por lo general se encuentra colgado de las losas del edificio y en los hospitales se convierte en un sistema casi inevitable, razón por la cual en el espacio que se forma con la placa de piso se ubican las redes de suministro de agua, luz, gases clínicos, comunicaciones, etc. Las especificaciones

¹² Cardona, O.D., *Análisis de vulnerabilidad no-estructural y funcional del Hospital Ramón González Valencia de Bucaramanga*, Contrato de Consultoría 972-96, Ministerio de Salud, Bogotá, 1997.

del cielo raso deben cumplir con las condiciones de asepsia, y deben ser construidos con materiales incombustibles, livianos y susceptibles de absorber movimientos.

Algunas veces hay necesidad de sacrificar aspectos estéticos para satisfacer necesidades de mitigación; tal sucede en las cubiertas, en especial en edificios para hospitales de características horizontales. Una cubierta de teja de barro tiene un peso bastante elevado, situación que hace más vulnerable la cubierta a los sismos, además de que contiene múltiples elementos pequeños que al caer atentan contra la integridad física de los usuarios.

Comúnmente se utilizan materiales de revestimiento en fachada, los cuales pueden desprenderse en el caso de sismos. Para mitigar este aspecto es recomendable utilizar materiales integrales en la fachada, tales como el ladrillo a la vista u otro tipo de ventanales que no hayan presentado problemas en sismos pasados.

Superficies muy grandes de vidrio ofrecen peligro inminente en caso de sismo. Dado que los vidrios pueden aumentar la vulnerabilidad, los diseñadores pueden especificar vidrios de seguridad y/o reducir su tamaño.

Existe la tendencia de utilizar elementos prefabricados para antepechos en balcones y en la mayoría de los casos no se especifican anclajes suficientes para que éstos elementos formen parte integral de la edificación, ofreciendo por tal razón el peligro de desprenderse. Igual sucede al diseñar barandas, pasamanos, etc.: estos elementos deben anclarse de una manera firme a la estructura, para que no ofrezcan riesgo de desprendimiento.

Algunos diseñadores deciden ubicar, en las fachadas, jardineras que aumentan las cargas; este tipo de elementos no debe ser utilizado en hospitales.



O.D.Cardona

Fotografía 24. Muros destruidos por flexibilidad de la estructura

En la arquitectura actual se utilizan, en zonas de solarío, grandes marquesinas para las que, en muchos de los casos, las especificaciones de acabado son vidrios. Aunque las láminas de acrílicos no son lo suficientemente seguras, se pueden utilizar con mayor grado de confiabilidad, para evitar riesgos de accidentes en caso de que ocurran movimientos y que los elementos de la marquesina se desprendan.

Para los muebles es importante recomendar que, hasta donde sea posible, deben quedar empotrados entre muros, asegurados de ser posible por su parte posterior y sus costados.

La decisión sobre aislamiento de la mampostería de la estructura debe tomarse con cuidado, debido a la necesidad de asegurar un adecuado anclaje de la misma para compensar su independencia y prevenir su colapso. Generalmente, es recomendable aislar la mampostería de la estructura en los siguientes casos:

1. Cuando su disposición en planta tienda a causar fuertes excentricidades de la rigidez y por ello, grandes pares de torsión.
2. Cuando tienda a producir excesiva rigidez de uno o varios pisos en relación con los restantes, los cuales en tal caso pasarían a ser pisos débiles.

Se deja a la imaginación del lector la infinita gama de factores que en materia de arquitectura deben considerarse con el fin de mitigar riesgos.

Mitigación de daños en equipos y mobiliario

La mayoría de estos equipos, así como también los materiales de suministro, son fundamentales para el funcionamiento del hospital y para la vida de sus ocupantes, y pueden representar un peligro en caso de sismo¹³. Algunos de los equipos y mobiliario que han sido considerados para ser incluidos en estudios de análisis de vulnerabilidad se presentan en el cuadro 10. La selección se ha hecho considerando su importancia – tanto para el soporte de la vida de los pacientes como para la atención de la demanda que se pueda generar a causa del desastre – y su costo.

A continuación se presentan algunas consideraciones especiales para estos equipos y mobiliario, así como para otros elementos:

Instrumentos esenciales para el diagnóstico:

Fonendoscopios, tensiómetros, termómetros, otoscopios, oftalmoscopios, martillo para reflejos, linternas (éstas deben estar disponibles tanto para la parte médica como la paramédica y administrativa).

Carros móviles:

Este tipo de dotación, con sus equipos especiales para intervenir en momentos de crisis, es de especial importancia para salvar vidas y almacenar suministros. Se encuentran en todas las zonas de cuidado de pacientes. Los objetos deben estar asegurados al carro, y los carros, cuando no estén en uso, deben estar frenados y recostados sobre muros divisorios.

Respiradores y equipos de succión:

Para garantizar su funcionamiento es necesario que estén asegurados de tal manera que no se desconecten de los pacientes.

¹³ FEMA, *Seismic Protection Provisions for Furniture, Equipment, and Supplies for Veterans Administration Hospitals*, Washington, D.C., 1987.

Cuadro 10.
Equipos a evaluar en caso de emergencia*

Analizador bioquímico	Extractores de aire
Analizador de funcionamiento pulmonar	Fotómetro de llama
Analizador de gases	Freezer
Analizador de orina	Gamma cámara
Analizador Elisa	Grupo electrógeno
Ascensor y/o montacarga	Incubadora
Autoclave	Intensificador de imágenes
Bilirrubinómetro	Lámpara de pabellón
Bodegas de material estéril y no estéril	Lavadoras
Bomba de aspiración	Máquina de anestesia con ventilador
Bomba de infusión	Máquinas de hemodiálisis
Calderas	Máquina o bomba de aspiración
Central telefónica	Marmitas
Centrífugas	Mesa quirúrgica
Cilindro de oxígeno	Microcentrifuga
Cocinas a gas	Microscopios
Contador gamma	Monitor elctrocardiógrafo desfibrilador
Contador geiger	Monitores de signos vitales
Contador hematíes automáticos	Osmómetros
Destilador de agua	Oxímetro de pulso
Ecotomógrafo o ultrasonido	Pupinel
Electrodiatermia	Refrigerador banco de sangre
Electroestimulador	Refrigerador industrial
Electrofotómetro	Respiradores
Equipo de laparoscopia	Reveladoras placas
Equipo de rayos X	Secadoras
Equipo lontofor	Sistema de bombeo de agua
Equipo procesador de placas	T.A.C.
Esterilizador en óxido etileno	Tanque criogénico de oxígeno
Estufa cultivo	

* Boroschek R., Astroza, M., Osorio, C., Kausel, E., *Análisis de vulnerabilidad y preparativos para enfrentar desastres naturales en hospitales de Chile*, Universidad de Chile, estudio realizado para OPS/OMS-ECHO, Santiago, Chile, 1996.

Sustancias peligrosas:

Varios de los productos de un hospital están clasificados dentro del orden de productos peligrosos. Los anaqueles de almacenamiento con medicamentos o químicos en momentos que se volteen pueden constituir amenaza por toxicidad, tanto en forma líquida como gaseosa. En muchas ocasiones los incendios se originan por acción de químicos, cilindros de gas que se voltean o ruptura de las líneas de suministro de gas.

Artículos pesados:

Se clasifican dentro de este tipo de elementos aquellos tales como televisores en repisas altas cerca de las camas, en salas de espera o espacios de reunión. Ya se mencionaron algunas piezas especializadas como en rayos X, lámparas cielíticas, subestaciones, etc., que pueden dañarse si las especificaciones de anclaje no son lo suficientemente fuertes.

Archivadores:

En la mayoría de los casos conservan las historias clínicas y una gran cantidad de información necesaria para una adecuada atención a los pacientes. Deben estar asegurados a los pisos y paredes para evitar posibles volcamientos.

Computadoras:

Mucha de la información general está contenida en computadoras; éstas deben estar bien aseguradas a las mesas para evitar que caigan y pierdan su función. Es necesario para este servicio tener en cuenta las recomendaciones dadas para redes, y su funcionamiento debe estar respaldado por la planta de emergencia.

Refrigeradores:

En especial el refrigerador del banco de sangre, que debe mantener un enfriamiento continuo, debe estar conectado al suministro de energía de emergencia; de no ser así se puede perder el contenido de sangre de reserva, alimentos u otros insumos que requieran refrigeración y que sean necesarios para situaciones de emergencias.

Medicina nuclear:

Este sector presenta situaciones especialmente peligrosas, dado el tipo de equipo y materiales que allí se utilizan.

Área de cocina:

Como se mencionó en capítulos anteriores, en momentos de emergencia es necesario garantizar este servicio; por lo tanto, todo su equipamiento como marmitas, hornos, quemadores, campanas extractoras, picadoras, pelapapas, licuadoras industriales, carro termo, etc., deben estar lo suficientemente adosadas a placas, muros, techos, etc., para garantizar su funcionamiento y para evitar que caigan sobre los usuarios.

Central de gases:

Se ha observado muchas veces que la ubicación de este servicio constituye un riesgo importante en caso de sismo, por lo que es necesario aplicar las normas que al respecto existen, tales como que dicha central debe quedar lo suficientemente aireada, preferiblemente fuera del bloque del edificio y dirigida a espacios que no sean habitados y susceptibles de daños en momentos de una posible explosión.

Los cilindros de gas también son usados por algunos hospitales y se encuentran dispersos en el edificio, principalmente en las áreas de apoyo; algunos contienen gases tóxicos y otros gases inflamables. Deben ser aislados para evitar daños al personal, a pacientes o a los cilindros mismos.

Talleres de mantenimiento:

Son de una gran importancia tanto en situaciones normales como de emergencia, pues a ellos se acude para la reparación de elementos, instalaciones eléctricas, sanitarias, hidráulicas, etc., que en situaciones de desastres se hace necesaria.

Es prácticamente interminable el listado completo que podría efectuarse de todos los elementos involucrados en el funcionamiento de un hospital. Por lo anterior, se hace necesario que, para la aplicación de la mitigación, en cada paso se aplique el sentido común, como por ejemplo evitar colocar equipos y otros insumos sobre pacientes, funcionarios y zonas de circulación a fin de evitar que estos se desplacen o se vuelquen.

La elaboración de un trabajo completo de investigación para la mitigación del riesgo sísmico o de otro tipo de desastre es una labor compleja. Por lo tanto, vale la pena aclarar que se trata de formular inquietudes que pueden ser ampliadas y elaboradas con el tiempo, y que cada persona u organismo puede añadir sus propios procedimientos, implementando a lo establecido nuevas soluciones, siempre y cuando se establezcan prioridades, puesto que es casi imposible hacerlo todo. Cualquier avance representa un paso importante en la mitigación y por lo tanto en la disminución de factores de riesgo y de la posibilidad de perder la función del hospital cuando más se lo necesita.

En general, es posible dividir las recomendaciones de mitigación en dos categorías:

- Aquellas que son fáciles de implementar y deben ser realizadas por el personal de mantenimiento del hospital o por pequeños contratistas.
- Aquellas que requieren asesoría de especialistas y de capital, como modificaciones costosas o construcciones nuevas por implementar a mediano y largo plazo.

En muchos casos, la implementación de este tipo de medidas es de la responsabilidad del grupo de mantenimiento, lo que puede ser una ventaja dado su conocimiento del sitio y su posibilidad de llevar a cabo revisiones periódicas de las medidas adoptadas. En efecto, el mejoramiento de edificios existentes y estructuras puede llevarse a cabo mediante la realización de reparaciones rutinarias y de mantenimiento.

Bibliografía recomendada para este capítulo

- AIS, *Código colombiano de construcciones sismo resistentes, comentarios, manuales y especificaciones*. Bogotá, 1991.
- AIS, *Normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente NSR-98*, Ley 400 de 1997, Decreto Ley 33 de 1998, Santa Fe de Bogotá, 1998.
- AIS, *Seminario sobre Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones y de Líneas Vitales*, Boletín Técnico No. 50, AIS/Universidad de los Andes, Bogotá, junio 1996.
- Astroza, M.; Aguila, V.; Willatt, C. "Capacidad de deformación lateral de tabiques," 7as Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Vol 1, La Serena – Chile, noviembre 1997.
- ATC (Report ATC 33-03), *Guidelines for Seismic Rehabilitation of Buildings*, 75% Submittal, Third Draft, 3 Volumes, Redwood City, 1995; *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, (FEMA 273).
- ATC (Report ATC-29-1), *Seminar on Seismic Design, Retrofit, and Performance of Nonstructural Components*, Proceedings, NCEER, Redwood City, 1998.
- Bazán, E., Meli, R., *Manual de diseño sísmico de edificios*, Limusa, México, 1987.
- Bellido Retamozo, J., García, E., *Proyecto de diagnóstico de la vulnerabilidad sísmica de Hospitales del Perú*. Sección III: Componente No estructural. Lima, s.f.
- Boroschek, R., Astroza, M., Osorio, C., *Capacidad de respuesta de hospitales ante desastres sísmicos: aspectos no estructurales*, Conferencia Internacional sobre Mitigación de Desastres en Instalaciones de Salud, OPS, México, 1996.
- Cardona, O.D., *Análisis de vulnerabilidad no estructural y funcional del Hospital Ramón González Valencia de Bucaramanga*, Contrato de Consultoría 972-96, Ministerio de Salud, Bogotá, 1997.
- EERI, *Nonstructural Issues of Seismic Design and Construction* (Publication No. 84-04). Oakland, California, 1984.
- FEMA, *Instructor's Guide for Nonstructural Earthquake Mitigation for Hospitals and other Health Care Facilities*. [Curso ofrecido por Emergency Management Institute, Emmitsburg, Maryland, USA, 1988.] Véase también FEMA, *Seismic Considerations: Health Care Facilities* (Earthquake Hazard Reduction Series 35; FEMA 150). Washington, D.C., 1987.
- FEMA, *Non-Structural Earthquake Hazard Mitigation for Hospitals and Other Care Facilities* (FEMA IG 370). Washington, D.C., 1989.
- FEMA, *Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage : A Practical Guide*. (FEMA 74 Supersedes 1985 Edition) Washington, D.C., 1994.
- FEMA, *Seismic Protection Provisions for Furniture, Equipment, and Supplies for Veterans Administration Hospitals*, Washington, D.C., 1987.

- FEMA, *Student Manual for Nonstructural Earthquake Mitigation for Hospitals and Other Health Care Facilities*. [Curso ofrecido por Emergency Management Institute, Emmitsburg, Maryland, USA, 1988.]
- McGavin, Gary L. *Earthquake Hazard Reduction for Life Support Equipment in Hospitals*. Ruhnu McGavin Ruhnu/Associates, julio de 1986.
- Nagasawa, Y., *Daños Provocados en Hospitales y Clínicas por Terremoto en Kobe, Japón*. Japan Hospital No. 15.
- OPS, *Guías para la Mitigación de Riesgos Naturales en las Instalaciones de la Salud de los Países de América Latina*. Washington, D.C., 1992.
- OPS, *Lecciones Aprendidas en América Latina de Mitigación de Desastres en Instalaciones de Salud, Aspectos de Costo - Efectividad*, DHA, Secretariado del IDNDR, OPS, Washington, D.C., 1997.
- OPS, set de diapositivas *Mitigación de desastres en instalaciones de salud—Aspectos no estructurales*, 1998.
- Pan American Health Organization (PAHO), *Disaster Mitigation Guidelines for Hospitals and Other Health Care Facilities in the Caribbean*. Washington, D.C., 1992.
- Reitherman, R., *Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage: A Practical Guide*. Bay Area Earthquake Preparedness Project, San Francisco, CA, USA. 1986. [FEMA 74]
- Rosenblueth, E. (ed.), *Design of Earthquake Resistant Structures*. Nueva York, 1981.
- Stewart, D., "Vulnerabilidad Física y Funcional de Hospitales Localizados en Zonas de Riesgo Sísmico", Seminario Desastres Sísmicos en Grandes Ciudades, ONAD, Bogotá, 1990.
- Veterans Administration, *Study of Establish Seismic Protection Provisions for Furniture, Equipment and Supplies for VA Hospitals*, Office of Construction, Washington, D.C., 1980.