

CAPITULO 4

ESTUDIO PRELIMINAR DE LA VULNERABILIDAD NO-ESTRUCTURAL

Para realizar el análisis de la vulnerabilidad no-estructural y establecer la relación de esta vulnerabilidad con aspectos funcionales, se identifican las actividades típicas que se realizan en un hospital después de ocurrida una emergencia. Este procedimiento permite identificar sistemas y subsistemas dentro del hospital. Estos sistemas y subsistemas se pueden clasificar desde el punto de vista de su función en: críticos, de apoyo o misceláneos.

La tabla 4.1 presenta los sistemas típicos encontrados en hospitales.

Un aspecto de importancia en la evaluación y en la reducción del riesgo funcional en los sistemas hospitalarios es la protección de los Terminaciones-Equipo-Mobiliario-Suministros (TEMS).

Cualquier evaluación de TEMS debe comenzar por el desarrollo de una lista de estos y una clasificación. La clasificación utilizada en el presente estudio es una versión modificada de la propuesta por McGavin, (McGavin, 1981), y corresponde a las siguientes cinco categorías:

Crítico A: Sistema o equipo requerido para el funcionamiento del sistema o para el apoyo de vida o que su falla puede afectar directamente o adversamente el funcionamiento de otro sistema o equipo crítico.

Tabla 4.1 Sistemas encontrados en Hospitales son

Administración
Auditorios
Agua Potable
Aire Acondicionados
Bibliotecas
Bodegas
Calefacción
Circulación vertical (ascensores y escalas)
Cocina
Comunicación
Electricidad
Farmacias
Laboratorios
Lavandería
Oficinas
Pabellones
Procesamiento de datos
Protección contra incendio
Remoción de desperdicios.
Residencias
Sala operaciones
Salas de Reunión
Techos (sistema de luces, acústicos, etc.)
Transporte
Tuberías

Apoyo B : Sistema o equipo requerido para el apoyo de funciones básicas. La unidad que depende de este equipo puede funcionar en forma limitada si ocurre una falla.

Apoyo C: Sistema o equipo requerido para el funcionamiento prolongado del hospital.

Apoyo D: Todo sistema o equipo portátil no incluido en A.

Misceláneo E: Sistema misceláneos.

Los sistemas generalmente se componen de otros sistemas o equipos. La clasificación utilizada entonces es la compuesta, en la cual se clasifica el sistema y cada uno de los sub-sistemas que lo componen.

Una vez que se han identificado y clasificado los sistemas y subsistemas, se procede a calificar el sistema o equipo en función de su vulnerabilidad. Las calificación utilizada en este estudio depende de factores como:

- Categoría del Sistema
- Categoría del equipo
- Función de equipo
- Demanda
- Características de diseño del equipo
- Vida útil del equipo

- Vida útil del Sistemas Fundamental
- Conexión y apoyo del equipo
- Experiencia previas con el equipo
- Proximidad y relación del equipo con otros equipos o sistemas.

En este estudio se califica la vulnerabilidad como baja, media o alta para cada uno de los sistemas y subsistemas analizados. Adicionalmente se indica el riesgo que representa esta vulnerabilidad para hospital.

El diseño y la calificación del equipo debe estar en función directa de su clasificación. McGavin recomienda dos metodologías básicas de calificación, ellas son: La especificación de diseño I, asociado a equipo o sistema clasificados como A y B, y la especificación de diseño II, asociado a las categorías C, D y E.

La calificación utilizando el criterio de diseño I se debe basar en los siguientes procedimientos:

- Pruebas en Mesa Vibradora
- Análisis Matemático (estático y dinámico)
- Experiencia Previa
- Criterio de grupo de expertos
- Combinación de los anteriores.

El objetivo del criterio de diseño II es asegurar que el equipo permanecerá fijo durante la emergencia. Para esta evaluación se recomienda el uso de un coeficiente sísmico y un análisis estático. En situaciones

especiales se pueden requerir los procedimientos establecidos en el criterio de diseño I.

En el presente estudio preliminar se utiliza un criterio basado en experiencias anteriores con equipos similares en conjunto con la evaluación del grupo de expertos.

En la elección del método de protección de los sistemas o TEMS en hospitales, debe prevalecer las variables del peligro directo o indirecto de la falla del sistema y no un criterio económico. Debido a los recursos limitados con que generalmente cuenta los sistemas hospitalarios esto no es posible para todos los sistemas y equipos y por lo tanto debe existir una decisión del grupo de usuarios y del grupo encargado de la mitigación del riesgo en identificar prioridades realizando estudios de costo-beneficio. Otra variable de consideración es que la reducción de la vulnerabilidad del sistema no implique una limitación en su uso.

En toda evaluación de riesgo es necesario identificar equipos, sistemas o elementos peligrosos. En el estudio se utilizó el criterio desarrollado por la Administración de Hospitales de Veteranos de los Estados Unidos. Este considera como peligroso para la seguridad aquellas situaciones que producen heridas debilitantes o que empeoran sustancialmente la condición de un paciente o del personal hospitalario. Así una cortada producida por vidrio puede ser consideradas tolerable mientras que una fractura o corte mayor no lo serían. Es importante recordar que un enfermo postrado en su cama no puede realizar las técnicas de protección típicas, recomendadas en situación sísmicas, como es esconderse debajo de muebles o estructuras

fuerzas, de tal manera de evitar el impacto de objetos.

De esta manera se consideran situaciones que generan riesgo para la seguridad de las personas las siguientes:

1. Impacto de objetos bajo 5 kilos de peso con bordes afilados o de vidrio.
2. Impacto de objetos sobre 5 kilos de peso, no fijos en altura.
3. Impacto de objetos sobre 25 kilos de peso que se deslizan o ruedan en el piso.
4. Contacto directo o inhalación de contaminantes o sustancias tóxicas.
5. Desconexión o falla de sistema de mantenimiento de vida.
6. Contacto o exposición a servicios como electricidad, vapor, gases de laboratorio, etc.
7. Imposibilidad de alcanzar o utilizar equipo esencial o provisiones.
8. Imposibilidad de evacuar áreas peligrosas.

4.1 Catálogo básico de equipos

Se solicitó al Ingeniero Mecánico a cargo del hospital San Martín de

Tabla 4.2 Listado de Servicios Donde se Ubican Equipos

Anatomía Patológica
Cirugía
Dental
Consultorio de Especialidades
Esterilización
Obstetricia y Ginecología
Kinesiología
Laboratorio
Banco de Sangre
Medicina
Neonatología
Pabellones Quirúrgicos
Pediatría
Pensionado
Unidad de Emergencia
Unidad de Procedimientos
Rayos X

Quillota la elaboración de un catalogo básico de equipos. La Tabla 4.2 presenta el listado de Servicios donde se encuentran los equipos. En el apéndice C se presentan el listado de equipos por servicios elaborado por el Ingeniero a cargo.

4.2 Selección y evaluación de sistemas

En el estudio se acepta como criterio de evaluación de la vulnerabilidad la condición de que el hospital pueda dar los servicios requeridos por la comunidad en forma autosuficiente por cuatro días, después de una emergencia.

En función de la experiencia sísmica hospitalaria del país e internacional, la experiencia propia del hospital San Martín y una evaluación en sitio, se seleccionaron y evaluaron los sistemas indicados en la Tabla 4.3. Todos estos sistemas corresponden a una clasificación tipo Crítico A.

4.2.1 Almacenamiento y distribución de oxígeno

El sistema de almacenamiento y distribución de oxígeno se puede dividir en tres partes: almacenaje, uso local y red de distribución de oxígeno a través de tuberías.

a. Almacenaje de cilindros:

Los cilindros de oxígeno son almacenados en una caseta especialmen-

Tabla 4.3 Sistemas seleccionados y su calificación

	Vulnerabilidad	Riesgo para el hospital
1. Almacenamiento y distribución de oxígeno		
a. Almacenaje de cilindros	Alta	Medio
b. Uso local	Alta	Alto
c. Red de distribución	Alta	Alto
2. Almacenamiento y distribución de agua	Media	Medio
3. Almacenamiento y distribución de comida.	Baja	Bajo
4. Grupo electrógeno	Baja	Bajo
5. Suministro de medicamentos y material médico.		
a. Bodega de medicamentos y material médico.	Alta	Alto
b. Farmacia.	Alta	Alto
6. Laboratorio y banco de sangre	Alta	Alto
7. Ascensor	Baja	Bajo
8. Rayos X	Alta	Alto
9. Archivos	Alta	Medio
10. Bodega de almacenamiento	Alta	Bajo
11. Caldera	Alta	Alto
12. Cielos falsos	Alta	Alto
13. Areas de circulación vertical.	Baja	Bajo
14. Pabellón de quirurgico	Madia	Medio

te diseñada para este fin, Fig. 4.1. Los cilindros son distribuidos de este punto a las distintas áreas del hospital para su uso local y a la red de distribución por tuberías.

El almacenamiento presenta problemas de vulnerabilidad ya que a pesar de existir un sistema de fijación mecánico (cadenas o correas metálicas) para cada cilindro, dentro del sector de almacenamiento, este no es utilizado. En el momento del sismo varios de estos cilindros puede caer e impedir la apertura de las puertas o dificultar el acceso a los cilindros. La ocurrencia de esto no implica necesariamente una dificultad mayor.

Vulnerabilidad: Alta

Riesgo para el Hospital: Medio

b. Uso local:

Los cilindros de oxígeno en las distintas áreas presentan una alta vulnerabilidad ya que estos no se encuentran fijos mecánicamente con excepción de la zona de emergencia, Fig. 4.2. Esto puede provocar serios peligros de funcionamiento inmediatamente después de un evento. Estos peligros están asociados a la posible de discontinuidad en el suministro y bloqueos de vías de acceso o tránsito, Figs. 4.3-4.4. Estas situaciones se han presentado en sismos anteriores en el hospital.

Vulnerabilidad: Alta

Riesgo para el Hospital: Alto

c. Red de Distribución:

Para el sector de emergencias existe una red de tuberías de distribución de oxígeno, Figs. 4.5 y 4.6. Esta red presenta una alta vulnerabilidad ya que en el punto de distribución a pesar de existir amarres mecánicos para fijar los cilindros de suministro, estos no son utilizados, Fig. 4.7.

Se espera que esta vulnerabilidad desaparezca con el nuevo sistema de distribución que se está implementando.

Vulnerabilidad: Alta

Riesgo para el Hospital: Alto

4.2.2 Almacenamiento y distribución de agua

El suministro de agua del hospital proviene de dos fuentes: red de agua potable de la ciudad de Quillota y pozo situado en la inmediación del hospital, Figs. 4.8-4.16. La fuente principal de agua es el pozo la que es tratada químicamente en el sitio.

Ambos suministros de agua son dirigidos al estanque ubicado en la parte superior de la estructura del cuerpo 5 del edificio (Fig. 3.1). Existen adicionalmente dos estanques que son llenados con agua proveniente del primer estanque. La distribución al hospital se realiza por gravedad desde una salida en el primer estanque.

El agua almacenada en los estanques permite un suministro de 2

horas aproximadamente.

El almacenamiento y distribución de agua potable presenta las siguientes vulnerabilidades:

- i-. El sistema a pesar de ser redundante, desde el punto de vista de las fuentes de suministro (red de agua potable y pozo), depende de la buena operación del primer estanque para el suministro de agua al hospital. Por ejemplo cuando ha sido necesario limpiar los estanques, el suministro de agua al hospital ha tenido que ser suspendido. Los estanques ya han presentado problemas de agrietamiento en sismos anteriores.
- ii-. La tubería de distribución presenta muestras de deterioro por su antigüedad, Figs. 4.11-4.15.
- iii-. El sistema de llaves de paso de la tubería de distribución no está operativo y por tanto no permite distribuir el agua en función de la demanda o eliminar su distribución a sectores dañados.
- iv-. La posible falta de suministro de agua puede producir riesgos en el uso de la caldera. Estos son analizados posteriormente.
- v-. El estanque de cloración se encuentra en el sector de pozo, Figs. 4.15-4.16. Este no está amarrado mecánicamente y tiene un aspecto (esbeltez) que puede producir su volcamiento en caso de sismo.

Vulnerabilidad: Media

Riesgo para el Hospital: Medio

4.2.3 Almacenamiento y distribución de comida

El sector de cocina no presenta alta vulnerabilidad. Sin embargo la mayoría de los artefactos no están anclados en forma apropiada. Esta situación conlleva a que después de un sismo se deba destinar tiempo a la reubicación de los mismos.

En lo referente a la capacidad del hospital para funcionar independientemente por al menos 4 días, esta se ve bastante limitada en relación con este sistema. No existe en estos momentos la capacidad de refrigerar alimentos. El suministro de alimentos frescos se realiza en forma diaria. No existe un plan para mantener un stock básico de alimentos que no necesitan refrigeración.

Vulnerabilidad: Baja

Riesgo para el Hospital: Bajo

4.2.4 Grupo Electrónico

El grupo eléctrico, en funcionamiento desde 1975, consiste en un generador de capacidad limitada el cual da suministro a los distintos sectores del hospital, Fig. 4.17. En el momento de entrar en funcionamiento el suministro de electricidad se suspende al elevador y al sector de lavandería. El elevador sin embargo puede ser reconectado manualmente.

El generador y el estanque de alimentación (un estanque y dos bidones de aproximadamente 60 litros) se encuentran localizado en una estructura externa al hospital. Estos equipos se encuentran debidamente anclados a sus apoyos. Fig. 4.18. Sin embargo, para verificar el sistema es necesario desarrollar cálculos para estimar la capacidad de estos anclajes. Esta evaluación está fuera del alcance de este trabajo..

Las baterías de encendido del generador no están fijadas. Sin embargo el pedestal, donde se encuentran apoyadas, tiene un borde que limita su deslizamiento, Fig. 4.19.

El suministro de combustible se realiza periódicamente y siempre se mantiene una reserva (1 tambor de 200 ltrs.). Considerando la reserva, se considera que el sistema puede operar en forma continua al menos 8 horas, sin embargo no existe conocimiento real del rendimiento del sistema. No existe capacidad para funcionar en forma independiente por 4 días.

El sistema se prueba periódicamente cada 15 días.

Vulnerabilidad: Baja

Riesgo para el Hospital: Bajo

4.2.5 Suministro de Medicamentos Material Médico.

El sistema de suministro de medicamentos se puede dividir en dos: bodega de medicamentos y material médico y farmacia (distribución). El sistema ha sido afectado en forma repetida en sismo anteriores.

a. Bodega de medicamentos y material médico:

La bodega se encuentra localizada en una estructura liviana externa al hospital. Los materiales se encuentran almacenados en estanterías y apilados, Figs. 4.20-4.28.

La estantería está fija a la estructura, Fig. 4.24. Sin embargo la estantería no presenta forma de limitar la caída de los elementos almacenados. Por este motivo es de esperar que durante un sismo se produzca la caída de estos con la consecuente pérdida y mezcla de materiales.

Las pilas se ubican en lugares de tránsito y no cuenta con formas que limiten su derrumbe lo que dificultará la evacuación y puesta en orden del sistema, Figs. 4.21-4.24.

Vulnerabilidad: Alta

Riesgo para el Hospital: Alto

b. Farmacia:

El área de farmacia adolece en un menor grado de los mismos problemas de la zona de bodega. Sin embargo presenta una vulnerabilidad alta debido a que las estanterías no se encuentran debidamente ancladas, Fig. 4.29-4.30.

Vulnerabilidad: Alta

Riesgo para el Hospital: Alto

4.2.6 Laboratorio y banco de sangre

El sector de laboratorio y banco de sangre se caracteriza por tener una serie de cuartos independientes con un gran número de equipos. En general, este sistema se puede considerar como de alta vulnerabilidad ya que la mayoría de sus equipos, que por sus características son susceptibles de desplazarse o volcarse, no cuenta con ningún tipo de fijación, Fig. 4.31-4.40. Adicionalmente muchos equipos se encuentran localizados en estructuras (muebles) de seguridad cuestionable, Fig. 4.34.

Por la vulnerabilidad de este sistema, las pérdidas pueden ser altas en términos de servicio y costo económico (asociado a los posibles daños) durante el terremoto esperado o incluso durante uno de menor intensidad (típicamente Intensidades entre V y VII en la escala de Mercalli Modificada).

Vulnerabilidad: Alta

Riesgo para el Hospital: Alto

4.2.7 Ascensor

Existen un único ascensor en el hospital. Este se encuentra localizado en el hall central. El ascensor es del tipo de tracción. El sistema no ha presentado problemas graves en sismos anteriores. Una evaluación preliminar del sistema de guías del ascensor y contrapeso y del sistema de fijación del motor del ascensor indican que tienen las características adecuadas, Fig. 4.41-4.46. Sin embargo, para verificar el sistema es necesario desarrollar cálculos de los esfuerzos esperados en conexiones y

guías del sistemas. Esta evaluación está fuera del alcance de este trabajo.

Vulnerabilidad: Baja

Riesgo para el Hospital: Bajo

4.2.8 Rayos X

Existen tres equipos de Rayos X, Figs. 4.47-4.48. El sistema presenta las siguientes vulnerabilidades:

i-. Uno de los equipo no se encuentra anclado a la estructura y ya ha experimentado movimientos durante sismos, Fig. 4.47.

ii-. Existen una serie de estanterías esbeltas en el sector las cuales no se encuentran ancladas en forma apropiada. El volcamiento de estas estructuras puede limitar o dañar el funcionamiento de este sistema.

Vulnerabilidad: Alta

Riesgo para el Hospital: Alta

4.2.9 Archivos

El sistema de archivos consiste en un almacenamiento de carpetas con datos de pacientes. Estas carpetas se guardan en estanterías en tres habitaciones contiguas, Figs. 4.49-4.53.

El sistema de archivos presenta la siguiente vulnerabilidades:

i-. La estantería donde se almacenan las carpeta no dispone de un sistema para limitar la caída de los archivos. (Esta situación ha ocurrido en eventos sísmicos pasados).

ii-. Existe un gran numero de carpetas sobre las vías de tránsito e ingreso los que limitaría la circulación en este sector.

La estantería sí se encuentra anclada a la estructura principal, Fig. 4.53. Sin embargo, para verificar el sistema es necesario desarrollar cálculos para estimar la capacidad de la conexión. Esta evaluación está fuera del alcance de este trabajo.

Vulnerabilidad: Alta

Riesgo para el Hospital: Medio

4.2.10 Bodegas de Almacenamiento

Existe una serie de bodegas de almacenamiento en el "piso bajo" del cuerpo 5 del edificio. En estas bodegas se almacenan materiales varios utilizados en el hospital. La disposición de estantería y la forma de almacenamiento presenta una alta vulnerabilidad, Figs. 4.54-4.59.

Vulnerabilidad: Alta

Riesgo para el Hospital: Bajo

4.2.11 Caldera

La caldera se encuentra localizada en una estructura contigua a la estructura principal del hospital, Fig. 4.60-4.68. El combustible de la caldera consiste en leña la cual se almacena en un recinto de esta estructura.

El agua a calentar proviene del estanque de distribución. Esta es decantada, filtrada y ablandada químicamente antes de ser calentada, Figs. 4.60, 4.66, 4.68.

Existen dos boiler para el calentamiento del agua de distribución. Estos están apoyados en pedestales de hormigón, Fig. 4.65.

El suministro a la caldera proviene de un estanque el cual tiene una capacidad para un funcionamiento aproximado de dos horas de la caldera, Fig. 4.66.

La leña para consumo diario se acumula en la boca de la caldera para su posterior alimentación, Fig. 4.61.

En el sistema se detectan las siguientes vulnerabilidades:

- i-. El edificio de la caldera y los apoyos de esta se encuentran con algún grado de deterioro, Figs. 4.62, 4.67.
- ii-. El sistema de almacenamiento de leña para el consumo diario puede

provocar limitaciones de tránsito y limita la capacidad de respuesta del personal en la eventualidad de tener que disminuir el combustible en la caldera, Fig. 4.61.

iii-. El sistema de tubería no cuenta con elementos para controlar la distribución de agua.

iv-. Las conexiones de la caldera con las tuberías son del tipo rígido sin posibilidad de acomodar desplazamientos producidos por sismos severos, Fig. 4.60.

v-. No existe un plan coordinado de reducción del calor en la caldera en la eventualidad de un corte en el suministro de agua.

vi-. La puerta de ingreso a la estructura de caldera da al pasillo principal de salida del hospital. Esto presenta un alto riesgo en la eventualidad de haber problemas en este sector, Fig. 4.60.

vii- Los estanques de entrada de agua a caldera Figs. 4.60 y 4.68 no están debidamente anclados.

Vulnerabilidad: Alta

Riesgo para el Hospital: Alto

4.2.12 Cielos Falsos

El edificio original del hospital no contemplaba cielos falsos. En remodelaciones recientes estos han sido incluidos, Fig. 4.69. Esencialmente existen dos tipos de cielos falso, el ubicado en los pensionados, recientemente remodelados, y los formados por planchas de macisa ubicados en el hall central.

En la Fig. 4.69 se muestra el detalle de anclaje de los cielos de los pensionados. En términos generales se puede indicar que la fijación no es la más adecuada ya que existen solo alambres verticales y los sistemas de iluminación no cuentan con anclajes independientes. Este tipo de sistema ha presentado daños considerables en sismos pasados, por ejemplo en el hospital de Olive View en California y el de San Isidro del General en Costa Rica.

La fijación de las planchas de madera en el sector de hall central no fueron inspeccionadas. Sin embargo el ingeniero mecánico a cargo del hospital indicó que estas aparentemente se encuentran colgando de las tuberías existentes, mediante listones de madera. Si este es el caso, es necesario hacer una revisión más detallada para establecer la vulnerabilidad del sistema.

Las consecuencias de daño severo en cielos falsos son graves. En sismo anteriores (como es el caso de los hospitales mencionados) la falla de estos elementos ha causado heridas a las personas, dificultades en el

tránsito (para emergencias, evacuaciones, etc.) e influido negativamente en el aspecto del hospital, lo que ha redundado en un sentimiento de inseguridad de los usuarios.

Vulnerabilidad: Alta

Riesgo para el Hospital: Alta

4.2.13 Areas de circulación vertical

El hospital tiene dos áreas de circulación vertical, una en el sector del hall central y otra en el extremo del cuerpo 3.

Por la configuración propia del edificio y por el reducido número de áreas de circulación vertical es de esperar dificultades en el momento de requerir la evacuación del edificio.

Adicionalmente la escalera del hall central sale del edificio directamente al sector de la caldera lo que representa un riesgo adicional.

Las escaleras tienen dimensiones adecuadas para permitir el tránsito de pacientes.

Vulnerabilidad: Media

Riesgo para el Hospital: Medio

4.2.14 Pabellones Quirurgicos

Los pabellones de cirugía se encuentran ubicados en el tercer piso del cuerpo 3.

En este sector se presentan dos vulnerabilidades, los cilindros de oxígeno no están fijos y varias estanterías no se encuentran debidamente ancladas.

En este sector sí se encuentran fijos o tienen medio de fijación (los cuales son utilizados) equipos como: mesas de operación, sistemas de anestesia y otros equipos, Figs. 4.70 y 4.71.

Vulnerabilidad: Media

Riesgo para el Hospital: Medio

4.2.15 Otros

Adicionalmente a los sistemas y equipos detallados se deben incluir los siguientes que también fueron inspeccionados:

- i-. Central Telefónica: fijación requiere de una evaluación, Fig. 4.72, 4.73.
- ii-. Tablero Eléctrico: no está anclado.
- iii-. Tanque Gas: presenta anclaje inadecuado, Fig. 4.74 y 4.75.
- iv-. Equipos de aire acondicionado: no anclados: Fig. 4.76.

4.3 Observaciones Generales

En general se observó que los TEMS ubicados en el hospital no cuentan con dispositivos que los protejan de daño en la eventualidad de un evento sísmico. Esto implica que existe un alto riesgo asociado a daños, pérdidas, salidas de función y atrasos de servicios para el sismo de intensidad máxima esperada en la zona (Intensidad VIII en la escala de Mercalli Modificada).

Esta vulnerabilidad ya ha sido observada en el hospital en sismos anteriores. Las consecuencias de estos sismos no han sido serias y han significado salidas de servicio de los sistemas de pocas horas hasta un día. Los daños económicos han sido relativamente menores y no se ha tenido que lamentar heridos o pérdidas de vidas humanas a causa de esta vulnerabilidad. Esto es alentador, sin embargo se debe tomar en cuenta que varias de las vulnerabilidades presentadas en este informe no estaban presentes en los sismos a los cuales se ha visto sometido el hospital.

REFERENCIA

McGavin, G. "Earthquake Protection of Essential Building Equipment",
Editorial John Willey.